

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VIKTOR BOYADJIAN PEREIRA

**ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES MÉDIAS HISTÓRICAS E DECENAIS
PARA DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA, COM FOCO
NA GESTÃO DO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA**

**Ilha Solteira
2023**

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL
EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS –
PROFÁGUA

VIKTOR BOYADJIAN PEREIRA

**ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES MÉDIAS HISTÓRICAS E DECENAIS
PARA DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA, COM FOCO
NA GESTÃO DO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA**

Categoria do trabalho de Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre na Especialidade de Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – Prof Água.

Prof. Dr. Felipe André dos Santos

Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P436a Pereira, Viktor Boyadjian.
Análise de precipitações médias históricas e decenais para determinação de disponibilidade hídrica, com foco na gestão do abastecimento público de água / Viktor Boyadjian Pereira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
169 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Regulação e Governança de Recursos Hídricos, 2023

Orientador: Felipe André dos Santos
Inclui bibliografia

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Segurança hídrica. 3. Suficiência hídrica. 4. Plano Municipal de Saneamento Básico.


Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES MÉDIAS HISTÓRICAS E DECENAIS PARA DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA, COM FOCO NA GESTÃO DO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA

AUTOR: VIKTOR BOYADJIAN PEREIRA

ORIENTADOR: FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS
Data: 07/07/2023 18:09:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Biosistemas / FCE / UNESP - Tupã

Prof. Dr. PAULO DA COSTA MEDEIROS (Participação Virtual)
Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Prof. Dr. DIOVANY DOFFINGER RAMOS (Participação Virtual)
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)

Ilha Solteira, 03 de julho de 2023

DioVany Ramos

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos meus pais, ao meu irmão, à minha namorada, aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof^água, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado em meu desenvolvimento.

Agradeço ao meu orientador Prof Dr Felipe André dos Santos por toda dedicação e incentivo na realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof Dr Rodrigo Lilla Manzione pelo apoio e orientação sobre o desenvolvimento dos estudos de análise de tendência e ponto de mudança de séries históricas de precipitações.

Agradeço aos meus pais Astkhig Boyadjian Pereira e Nivaldo Pereira por terem me trazido à vida e ao meu irmão Igor Thomaz Boyadjian Pereira pela parceria e apoio sempre dedicados.

À minha namorada Luciane de Oliveira Souza pelo apoio dedicado e à compreensão pelos períodos sem convívio em razão da dedicação a este trabalho.

Agradeço à Paula Márcia Sapia Furukawa, Antônio Fernandes Garcia Júnior, Caroline Governatori e Amanda de Alcântara Etruri por terem concedido a oportunidade de minha ausência vespertina das sextas-feiras de 2021 para dedicação às aulas, e pelo incentivo em meu desenvolvimento.

Agradeço aos meus colegas e professores de mestrado pela generosidade na troca de experiências e conhecimento.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, pelo incentivo na realização deste trabalho.

Enfim, agradeço à Deus por me conceder saúde e por me abençoar a cada dia despertado.

Epígrafe

“Lembre-se de cavar o poço bem antes de sentir sede”.
Provérbio chinês.

RESUMO

Tradicionalmente os diagnósticos de disponibilidade hídrica para abastecimento público de água de municípios, quer seja em aspecto qualitativo ou quantitativo, buscam determinar as vazões características de cursos d'água mediante dos índices médios anuais de precipitação, assim como apurar as vazões demandadas pelos diversos usuários em uma bacia hidrográfica, a qualidade das águas dos mananciais, suas características, tais como fisiográficas, pedológicas, hidrogeológicas, etc; e o modo como é praticado o uso e ocupação do solo, de maneira a identificar os potenciais poluentes gerados em decorrência das atividades antrópicas desenvolvidas na região. Contudo, quanto ao aspecto quantitativo, os estudos relacionados ao uso da água devem considerar um novo componente nas análises de disponibilidade hídrica, qual seja, os efeitos das mudanças climáticas, principalmente em relação às estiagens mais severas e de extensa duração sobre o serviço de abastecimento público. Isto posto, o presente estudo teve por finalidade propor uma metodologia alternativa de determinação e análise de disponibilidade hídrica, considerando, além do tradicional estudo da série histórica, uma avaliação de cenários decenais recentes, em que as precipitações anuais têm registrado acumulados inferiores à média histórica, resultando na redução das vazões de referência. Para composição do estudo por múltiplos cenários, foram colhidos registros oficiais de precipitações mensais de 1970 a 2019, apuradas as demandas de uso de água outorgadas para seis sub-bacias hidrográficas do município de Bragança Paulista; e registros de qualidade dos mananciais eleitos. Partindo dessas informações foram determinadas a precipitação média do município (Método dos Polígonos de Thiessen), as vazões referenciais, o total de demandas por sub-bacia, o balanço entre disponibilidade e demanda, as vazões remanescentes disponíveis para uso e o índice de estresse hídrico de cada sub-bacia hidrográfica. Das seis sub-bacias estudadas foi constatado que apenas duas apresentam vazões remanescentes suficientes para atender a um aumento de demanda para abastecimento público futuro. Ao fim, concluiu-se que a metodologia proposta de análise de múltiplos cenários de precipitação média anual, foi validada como produto a ser aplicado em estudos para determinação de disponibilidade hídrica, não devendo esses estarem limitados à média da série histórica da região estudada.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos; segurança hídrica; suficiência hídrica; Plano Municipal de Saneamento Básico.

ABSTRACT

Traditionally, diagnoses of water availability for public water supply in municipalities, whether qualitatively or quantitatively, seek to determine the characteristic flows of watercourses through average annual precipitation rates, as well as to determine the flows demanded by the various users in a hydrographic basin, the quality of water from springs, their characteristics, such as physiographic, pedological, hydrogeological, etc.; and the way in which the use and occupation of the soil is practiced, in order to identify the potential pollutants generated as a result of the anthropic activities carried out in the region. However, regarding the quantitative aspect, studies related to water use must consider a new component in the analyzes of water availability, that is, the effects of climate change, mainly in relation to the most severe and long-lasting droughts on the supply service. public. That said, the present study aimed to propose an alternative methodology for determining and analyzing water availability, considering, in addition to the traditional study of the historical series, an evaluation of recent ten-year scenarios, in which annual precipitation has registered less than the historical average, resulting in the reduction of the reference flows. For the composition of the study by multiple scenarios, official records of monthly precipitation were collected from 1970 to 2019, the water use demands granted for six hydrographic sub-basins in the municipality of Bragança Paulista were determined; and quality records of the chosen sources. Based on this information, the average precipitation in the municipality (Thiessen Polygon Method), the reference flows, the total demands per sub-basin, the balance between availability and demand, the remaining flows available for use and the water stress index were determined. of each hydrographic sub-basin. Of the six sub-basins studied, it was found that only two have sufficient remaining flows to meet an increase in demand for future public supply. In the end, it was concluded that the proposed methodology for analyzing multiple scenarios of average annual precipitation was validated as a product to be applied in studies to determine water availability, which should not be limited to the average of the historical series of the studied region.

Keywords: Water Resources Management; water security; water sufficiency; Municipal Basic Sanitation Plan.

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IQA – Índice de Qualidade de Água

IAP – Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de abastecimento público

ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PNSH – Plano Nacional de Segurança Hídrica

$Q_{7,10}$ – Vazão mínima de sete dias em um período de dez anos de retorno

$Q_{95\%}$ - Vazão de permanência em 95% do tempo

Q_{mlt} – Vazão média de longo termo

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.3	HIPÓTESE	16
3	CONTRIBUIÇÃO DESTE TRABALHO (PRODUTO)	17
4	REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1	DISPONIBILIDADE HÍDRICA, ESCASSEZ HÍDRICA, ESTRESSE HÍDRICO E SEGURANÇA HÍDRICA	18
4.2	PROBLEMÁTICAS DA ÁGUA	20
4.2.1	Crise hídrica do período de 2013-2015 no Estado de São Paulo	20
4.3	ALGUMAS MEDIDAS REGIONAIS E/OU MUNICIPAIS PARA RESOLVER A QUESTÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA DECORRENTE DA REDUÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DO AUMENTO DE DEMANDA POR ÁGUA	22
4.4	PROGRAMA DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA	23
4.5	DETERMINAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA PELO MÉTODO DOS POLÍGONOS DE THIESSEN	24
4.6	A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM ESFERA LOCAL	26
4.6.1	A experiência da Iniciativa Intermunicipal para a Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Ayuquila, no México	27
4.6.2	A proposta de gestão local de recursos hídricos na cidade de Bredasdorp, na África do Sul, considerando o efeito das mudanças climáticas	28
4.7	QUALIDADE DA ÁGUA DE UM MANANCIAL	30
4.7.1	Lei Federal nº 9.433/1.997 e Resolução CONAMA nº 357/2.005	32
4.7.2	Índice de qualidade das águas (IQA)	33
4.7.3	Índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público (IAP)	35
5	METODOLOGIA	38
5.1	ÁREA DE ESTUDO	38
5.1.1	Aquífero Cristalino Fraturado (Aquífero Pré-Cambriano)	44
5.2	ANÁLISE QUANTITATIVA	46
5.2.1	Apuração de registros de precipitações mensais incidentes na área de estudo, análise e preenchimento de falhas	46
5.2.2	Aplicação do Método dos Polígonos de Thiessen	49
5.2.3	A Missão de Medição de Chuvas Tropicais (Satélite TRMM)	52
5.2.4	Método do uso de Múltiplos Testes	53

5.2.4.1	<i>Detecção de mudança e análise de tendência das precipitações anuais registradas na região</i>	54
5.2.4.1.1	<i>Descrição dos testes aplicados</i>	54
5.2.4.1.2	<i>Breve caracterização dos testes realizados</i>	55
5.3	DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA, APURAÇÃO DE DEMANDAS PRESENTES E BALANÇO HÍDRICO DAS PRINCIPAIS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO	61
5.4	METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS DEMANDAS DE ÁGUA POR SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	64
5.5	ANÁLISE QUALITATIVA	65
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
6.1	APURAÇÃO E ANÁLISE DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS DO MUNICÍPIO	66
6.1.1	Levantamento dos registros dos postos pluviométricos adotados, análise de consistência e preenchimento de falhas	66
6.2	DETERMINAÇÃO DA CHUVA MÉDIA DO MUNICÍPIO, NAS BACIAS DOS RIO JAGUARI E ATIBAIA EM BRAGANÇA PAULISTA – MÉTODO DOS POLÍGONOS DE THIESSEN	68
6.3	RESULTADOS DOS TESTES MÚLTIPLOS APLICADOS	69
6.3.1	Resultados dos testes de análise de tendência e de ponto de mudança para os postos pluviométricos	70
6.3.2	Resultados dos testes de análise de tendência e de ponto de mudança para os registros de precipitações do Satélite TRMM (NASA) nas coordenadas dos postos pluviométricos	76
6.3.3	Análise dos resultados do Método dos Polígonos de Thiessen e dos Testes Múltiplos	86
6.4	ESTUDO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DEMANDAS DAS SEIS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	87
6.4.1	Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Araras 124,22 Km²	87
6.4.1.1	<i>Determinação da disponibilidade hídrica</i>	87
6.4.1.2	<i>Determinação das demandas de água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Araras</i>	94
6.4.1.2.1	<i>Trecho da bacia no município de Pedra Bela</i>	94
6.4.1.2.2	<i>Trecho da bacia hidrográfica no município de Pinhalzinho</i>	99
6.4.1.2.3	<i>Trecho da bacia no município de Bragança Paulista</i>	100
6.4.1.2.4	<i>Balanço hídrico de usos consuntivos x vazões de referência na sub-bacia do Ribeirão das Araras. Determinação de Disponibilidade hídrica remanescente e Estresse hídrico</i>	105
6.4.3	Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Curitibanos 53,489 Km²	108
6.4.3.1	<i>Determinação da disponibilidade hídrica</i>	108

6.4.3.2	Determinação das demandas de água da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Curitibanos	111
6.4.3.2.1	Balanço hídrico de usos consuntivos x vazões de referência na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos. Determinação de Disponibilidade hídrica remanescente e Estresse hídrico	115
6.4.4	Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés 97,505 Km²	117
6.4.4.1	Determinação da disponibilidade hídrica	117
6.4.4.2	Determinação das demandas de água da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Lavapés	120
6.4.4.2.1	Balanço hídrico de usos consuntivos x vazões de referência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés. Determinação de Disponibilidade remanescente e Estresse hídricos	127
6.4.5	Sub-bacia do Ribeirão do Campo Novo 36,169 Km²	129
6.4.5.1	Determinação da disponibilidade hídrica	129
6.4.5.2	Determinação das demandas de água da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Campo Novo, determinação da disponibilidade remanescente e do estresse hídrico	132
6.4.6	Sub-bacia do Ribeirão da Fazenda Velha 66,317 Km²	134
6.4.6.1	Determinação da disponibilidade hídrica	134
6.4.6.2	Determinação das demandas de água da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Fazenda Velha, determinação da disponibilidade remanescente e do estresse hídrico	137
6.4.7	Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mato Dentro 43,037 Km²	139
6.4.7	Determinação da disponibilidade hídrica	139
6.4.7.1	Determinação das demandas de água da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Mato Dentro, determinação da disponibilidade remanescente e do estresse hídrico	140
6.4.8	Consolidação das sub-bacias hidrográficas com disponibilidade hídrica quantitativa	142
7	ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE QUALITATIVA	145
7.1	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS DE QUALIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARI, NO TRECHO CONTIDO EM BRAGANÇA PAULISTA	148
7.1.1	Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB JARI00800	149
7.1.2	Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB JAGR02010	152
7.1.3	Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB LAPE 04850	154
7.1.4	Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB JAGR02100	155
7.2	CONDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PARÂMETROS PARA VAZÃO Q7,10 APURADOS NO ANO DE 2020 NO PLANO	

	DE BACIAS DO PCJ PARA OS RIBEIRÕES LAVAPÉS E DAS ARARAS	157
7.2.1	Análise em relação à qualidade do Ribeirão das Araras	158
7.2.2	Análise em relação à qualidade do Ribeirão Lavapés	159
8	CONCLUSÃO	160
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
	REFERÊNCIAS	164

1 INTRODUÇÃO

A água, além de ser “um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (Artigo 1º, Inciso II - PNRH – Lei 9.433/1997)”, trata-se de substância vital à sobrevivência dos seres vivos, e conseqüentemente à existência de cidades (BRASIL, 1997).

Porém, excetuada sua essencial importância para garantia da vida, o desenvolvimento das atividades humanas, ao longo da história, resultou na aplicação da água para uma diversidade de usos, tais como, aquelas elencadas na Instrução Técnica DPO nº 09, de 30/05/2017, emitida pelo DAEE, quais sejam: industrial, urbano, irrigação, rural, mineração, geração de energia, recreação e paisagismo, comércio e serviços, doméstico, dentre outros (SÃO PAULO, 2017).

A diversidade de usuários, e as distintas finalidades de uso para a água, podem representar um risco para ocorrência de conflitos de interesse/necessidade quando a disponibilidade hídrica é insuficiente para atender à vazão total demandada, assim como, às vazões mínimas para preservação dos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, a PNRH estabelece que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (Artigo 1º, Inciso VI)”. (BRASIL, 1997).

As empresas (públicas ou privadas), autarquias ou serviços municipais que operam o abastecimento público não tem por atribuição conduzir a gestão de recursos hídricos, competindo tal missão aos integrantes do SINGREH, quais sejam, aqueles relacionados no Artigo 33 da Lei Federal 9.433, de 08/01/1997 (PNRH), porém, conforme prevê a citada lei, como usuários, devem participar dessa gestão. (BRASIL, 1997)

Os operadores de abastecimento público têm na água a sua matéria-prima, assim, conhecer a conjunção da disponibilidade hídrica e das demandas por água dos diversos tipos de uso, em seus municípios de atuação, e da região onde esses se inserem, trata-se de significativa questão de caráter estratégico em horizontes de curto, médio e longo prazos.

Tradicionalmente os diagnósticos de disponibilidade hídrica, quer seja em aspecto qualitativo ou quantitativo, buscam conhecer as vazões características, os índices médios anuais de precipitação, as vazões demandadas pelos diversos usuários das bacias hidrográficas em estudo e o modo como ocorre o uso e ocupação do solo,

de maneira a verificar os potenciais poluentes gerados em decorrência de atividade humana desenvolvida.

Contudo, estudos e planejamentos relacionados ao uso da água, e dentre esses, o abastecimento público, deve trazer um novo elemento interferente como componente a ser considerado em análises de disponibilidade e segurança hídricas, qual seja, os efeitos das mudanças climáticas, o que tem resultado em uma maior ocorrência de eventos extremos, tais como períodos com chuvas intensas ou estiagens mais severas e de extensa duração.

Em resposta aos recentes relatórios sobre os impactos das mudanças climáticas, especialmente no setor de abastecimento de água, é proposta uma metodologia que incorpore os impactos das mudanças climáticas no planejamento dos recursos hídricos em nível de pequenos e médios municípios. As demandas de longo prazo geralmente usam métodos simplistas que ignoram todas as influências no uso da água, exceto a população e, na maioria dos casos, superestimam o uso futuro da água. O abastecimento de água, embora reconhecido como incerto no curto prazo, tem sido considerado estacionário no longo prazo. Espera-se que a oferta futura seja, em média, igual a oferta atual. Portanto, é necessário que a gestão de recursos hídricos nos níveis locais seja estreitamente integrada aos planos de desenvolvimento dos governos locais (MUKHEIBIR, 2007).

Nesse contexto e em face aos desequilíbrios decorrentes das mudanças climáticas, quer sejam de origem natural ou decorrentes de impactos causados por atividades antrópicas, o presente estudo incorporou as previsões contidas no sexto relatório do IPCC no que tange ao comportamento das precipitações médias anuais projetadas, sendo a área de estudo para desenvolvimento deste trabalho o município de Bragança Paulista, localizado no Estado de São Paulo.

Ressalta-se que este trabalho não teve foco na discussão sobre o planejamento do abastecimento público de água de regiões metropolitanas e conurbadas, alternativa essa que mudaria a direção do estudo de nível municipal para âmbito regional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma possível metodologia de determinação de disponibilidade hídrica considerando múltiplos cenários de precipitação média anual.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) composição do contexto do uso da água na área objeto de estudo, mediante levantamento bibliográfico, as atividades demandantes de água; ocorrência de eventos extremos recentes e alternativas de uso que possam reduzir a pressão de demanda por água.
- b) tratamento de registros de precipitações e de outorgas de uso concedidas.
- c) seleção de sub-bacias hidrográficas para determinação de disponibilidade hídrica, de vazões demandadas e cálculo do balanço hídrico; e análise qualitativa de suas águas, visando ao uso para abastecimento público da zona urbana.
- d) aplicação do Método de Thiessen para estimar média pluviométrica na área de estudo, nas escalas plurianual, decenal e determinação da disponibilidade hídrica (Q7,10 e Q95%) nas subbacias estudadas.
- e) uso de método dos testes múltiplos na análise de tendência nos índices de precipitação média anual.
- f) diagnóstico de demandas futuras pelo uso da água no município de Bragança Paulista e avaliação quanto à suficiência da disponibilidade.
- e) balanço final entre as vazões disponíveis e as demandas presentes e futuras para as sub-bacias hidrográficas estudadas.

2.3 HIPÓTESE

Quanto a sua natureza, o estudo será dedutivo, partindo da hipótese de que o planejamento do serviço de abastecimento público de água, adotando como cerne a segurança hídrica, deve compreender o conhecimento quanto a magnitude do volume de perdas do sistema de abastecimento público, a situação da disponibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos do município operado, bem como, conhecer as demandas, presentes e pretendidas, destinadas ao abastecimento público, e a outras atividades econômicas e à preservação ecológica, de modo que sejam previstas medidas estruturantes necessárias para garantir a suficiência do abastecimento público e mitigar o risco de potenciais conflitos pelo uso da água e impactos ao meio ambiente.

3 CONTRIBUIÇÃO DESTE TRABALHO (PRODUTO)

O produto deste estudo se caracteriza pela proposição de uma possível metodologia de determinação de disponibilidade hídrica de sub-bacias hidrográficas, considerando múltiplos cenários de precipitação média anual, com foco no suprimento de matéria prima para o serviço de abastecimento público de água.

O propósito da redação dessa metodologia é a orientação e o apoio à profissionais e empresas, sejam operadores de abastecimento público ou não, que em razão da relação de sua atividade-fim com o uso da água, busquem conhecer o cenário de disponibilidade de um município onde se pretenda implantar ou ampliar um empreendimento, considerando os recentes cenários de escassez hídrica decorrentes de longas estiagens.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA, ESCASSEZ HÍDRICA, ESTRESSE HÍDRICO E SEGURANÇA HÍDRICA

A disponibilidade hídrica é uma estimativa da quantidade de água ofertável aos mais diversos usos, que para fins de gestão no Brasil, considera um determinado nível de garantia. Para realizar balanços hídricos em trechos de rios, a ANA adota como disponibilidade hídrica a vazão de estiagem $Q_{95\%}$ (vazão que passa no rio em pelo menos 95% do tempo, ou seja, em 95% do tempo existe no rio uma vazão igual ou maior). Em rios com regularização, considera-se também o efeito dos reservatórios artificiais (BRASIL, 2019b).

No Estado de São Paulo, até o ano de 2016, a vazão de referência para fins de determinação de balanços hídricos era a vazão $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias consecutivos em um período de retorno de dez anos), conforme estabelecido no artigo 13, Inciso II da Lei Estadual nº 9034/1994, sendo que o artigo 14 da referida lei registrava que quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia hidrográfica, ou em parte desta, superasse 50% (cinquenta por cento) da respectiva vazão de referência, a mesma seria considerada crítica.

Contudo, em 2016 foi sancionada a Lei Estadual nº 16.337, que revogou a lei de 1994 e determinou, em seu artigo 13, Inciso III, que quando o uso ou a interferência no recurso hídrico depender de outorga ou de licenciamento ambiental, as autoridades competentes deverão considerar, a vazão de referência utilizada no cálculo da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica.

Nesse sentido, a área de estudo está contida na Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Capivari/Jundiaí, que por se tratar de uma bacia crítica, se mantém a aplicação da vazão $Q_{7,10}$ como referência em estudos de balanço hídrico, e de modo concomitante, em seu Plano de Bacias 2020-2035, constam cenários de estudos de demandas e disponibilidade hídrica tanto com a vazão $Q_{7,10}$ como com a vazão $Q_{95\%}$.

De acordo com ANA (2017), a escassez hídrica é a situação presente ou potencial na qual não há recursos hídricos suficientes para todos os usos, em determinado sistema hídrico e período de tempo, seja por deficiência quantitativa ou qualitativa dos mananciais.

O estresse hídrico tratado neste trabalho está relacionado ao quanto da disponibilidade hídrica é demandado em uma sub-bacia, sendo o limite de criticidade a metade da vazão de referência, no caso a vazão de longo termo (Q_{mlt}). Isto posto, quanto maior a quantidade de água demandada em relação à disponibilidade hídrica, mais estressada é a sub-bacia hidrográfica em estudo.

Observa-se que para medir o estresse hídrico há um indicador do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6 – Água potável e saneamento, na qual relaciona a retirada de água doce e o total dos recursos de água doce disponíveis do país. Esse indicador considera a parcela necessária à conservação dos ecossistemas aquáticos, representando uma parcela de 50% (cinquenta por cento) da vazão de referência, no caso a vazão média de longo termo (Q_{mlt}).

A Segurança Hídrica, de acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país (BRASIL, 2019).

A ilustração do conceito de segurança hídrica é apresentada na Figura 1:

Figura 1 - Dimensões da Segurança Hídrica



Fonte: (BRASIL, 2019).

4.2 PROBLEMÁTICAS DA ÁGUA

A água tende a ser o precioso líquido que irá fomentar as disputas entre as nações (sic) neste século XXI, substituindo o papel que durante o século XX foi representado pelo petróleo. Isto se deve à crise do acesso à água, evidenciada na crescente diminuição dos recursos hídricos no planeta, com as reservas de água própria para consumo humano existentes no planeta ameaçadas pela poluição e outras alterações ecológicas, pelo consumo desenfreado e, ainda, pela má gestão da água em regiões com histórica escassez, fazendo com que parte significativa da população do planeta sofra com a falta de água. Nesse contexto, abordar a questão da água se faz um imperativo (GORDILHO; OLIVEIRA, 2016, grifo nosso)

4.2.1 Crise hídrica do período de 2013-2015 no Estado de São Paulo

No verão de 2014, ocorreram em diversas regiões do estado de São Paulo seca e altas temperaturas que ultrapassaram diversos recordes. Ao final da estação chuvosa vários reservatórios responsáveis pelo abastecimento de água para a população do estado atingiram seus volumes críticos, em particular o sistema Cantareira, o principal

fornecedor de água para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), que na época abastecia mais de 8 milhões de pessoas (BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018).

[...] as secas ocorridas nos verões de 2013/2014 e 2014/2015 foram excepcionais e estão entre as mais fortes já registradas. Os impactos da seca, que podem incluir a redução no fornecimento de água, o aumento do número de casos de dengue (e doenças como o zika vírus e a febre chikungunya), o aumento dos preços da energia gerada por hidroelétricas e outros, são resultado da baixa disponibilidade de água em combinação com o número de pessoas e infraestruturas afetadas. Mostrou-se que o consumo de água tem crescido acima da capacidade dos reservatórios em razão do crescimento populacional que, particularmente para São Paulo, foi acima de 20% nos últimos 20 anos" (BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018, grifo nosso).

Fragmentação de rios, por meio da construção de reservatórios, desmatamentos, drenagem de banhados e poluição são fatores que afetam diretamente a segurança hídrica e também levam a perda da biodiversidade nessas áreas (BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018).

De acordo com os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), eventos climáticos extremos deverão se tornar cada vez mais comuns nos próximos anos. A grande estiagem que ocorreu na região que abastece a RMSP entre o ano 2012 e o início de 2015 é um exemplo dessas situações extremas. A falta de chuvas levou ao rebaixamento extremo do nível da água dos reservatórios ao redor de São Paulo e a uma conseqüente grave crise no abastecimento de água na cidade, que afetou diretamente todos os moradores (BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018, grifo nosso).

A vulnerabilidade aos impactos relacionados à mudança climática e do clima extremo já é sentida em todos os principais setores e deve se intensificar no futuro, por exemplo, na agricultura; energia e indústria, água para saúde e saneamento; água para setores urbanos, periurbanos e municipais e ecossistemas de água doce. (IPCC, 2022)

A escassez hídrica se refere à restrição de água para as atividades humanas e para a manutenção dos processos vitais da natureza. Ela é determinada por quatro fatores principais: i) diminuição dos níveis normais de pluviosidade; ii) capacidade natural do ambiente em armazenar a água no solo, subsolo e nos corpos hídricos, determinada, grosso modo, pelas características de cobertura, uso e ocupação da terra e aspectos geológicos e pedológicos da região; iii) reservação, que é a capacidade de se armazenar as águas das chuvas em reservatórios; e iv) demanda, ligada ao

consumo da água para as diferentes finalidades (BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018, grifo nosso).

4.3 ALGUMAS MEDIDAS REGIONAIS E/OU MUNICIPAIS PARA RESOLVER A QUESTÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA DECORRENTE DA REDUÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DO AUMENTO DE DEMANDA POR ÁGUA

Para superar o desafio global da segurança hídrica, o Brasil necessitará investir esforços em pesquisa e desenvolvimento de novas ferramentas para a gestão dos recursos hídricos aliado a tecnologias adaptativas. Esses esforços visam superar tanto desafios mais antigos quanto recentes, como, por exemplo, as recorrentes secas no Nordeste ou a recuperação de bacias hidrográficas, como a do Rio Doce. Outras abordagens deverão ser dadas a esse tema, como: [...] (iii) os usos múltiplos da água, especialmente por meio do desenvolvimento e uso de tecnologias de uso sustentável e reutilização. (BRASIL, 2016, grifo nosso)

Segundo os autores, Buckeridge e Ribeiro (2018) *apud* Bicudo, Tundisi e Scheuenstuhl (2010), são necessários insumos de pesquisa:

- a) Para ensejar o reúso de água:
 - Estudo e o desenvolvimento de padrões de qualidade;
 - Desenvolvimento tecnológico para o aproveitamento de águas de reúso e o acompanhamento de cada etapa do processo;
 - Avanços na tecnologia para maior eficiência no tratamento;
 - Estudos na capacidade de recarga dos aquíferos com águas de reúso;
 - Eficiência na irrigação na agricultura com águas de reúso;
 - Caracterização de problemas de saúde humana relacionados com o reuso de águas residenciais tratadas; e
 - Tecnologias de controle e disponibilização das águas de precipitação para os usos múltiplos.
- b) Para monitoramento de recursos hídricos:
 - Avanços e investimentos tecnológicos para promover um banco de informações adequadas sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas envolvendo:
 - Monitoramento em tempo real de águas superficiais e subterrâneas, com terminais à disposição dos usuários;
 - Monitoramento da qualidade e quantidade da água em tempo real, com estações hidrometeorológicas; e
 - Desenvolvimento tecnológico em sensores de qualidade da água para diminuir os custos da implantação das estações automáticas.

De acordo com Mukheibir (2007), em estudo realizado para a cidade de Bredasdorp, na África do Sul, dentre exemplos de opções atuais de gerenciamento de abastecimento de água urbana estão listados os itens a seguir. Essas, no entanto, não têm sido implementadas de forma estruturada e planejada em todos os municípios da África do Sul:

- a) Recarga artificial de águas subterrâneas;
- b) Utilização conjunta de águas superficiais e subterrâneas;
- c) Programas de educação;
- d) Gestão e monitoramento de recursos hídricos locais;
- e) Aumento da precipitação;
- f) Programas de redução de perdas;
- g) Planejamento regional de recursos hídricos;
- h) Restrições de água.

4.4 PROGRAMA DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Desde 1980, com o início do Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativa 5 o DAEE vem desenvolvendo uma metodologia para estimar a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas do território paulista, que não disponham de dados hidrográficos observados (grifo nosso). Fruto desta pesquisa resultou no estudo de regionalização das variáveis hidrológicas: vazões médias e mínimas, volumes de regularização intra-anual e curvas de permanência. O estudo baseou-se nos totais anuais precipitados em 444 postos pluviométricos, o que permitiu a elaboração da carta de isoietas médias anuais, as séries de descargas mensais observadas em 219 estações fluviométricas e as séries de vazões diárias de 88 postos fluviométricos. (SÃO PAULO, 1988)

A ferramenta computacional de regionalização hidrológica, disponibilizada no sítio eletrônico do DAEE, <http://www.daee.sp.gov.br/site/outorga/>, tem sua operação baseada em duas variáveis, quais sejam, as coordenadas geográficas do ponto de interesse ou ponto de estudo, e a área da bacia de contribuição desse ponto de interesse.

Sendo alimentadas essas variáveis, são obtidas, conforme mencionado na citação, vazões médias e mínimas, volumes de regularização intra-anual e curvas de

permanência, além ainda de ser trazida a precipitação média anual da bacia em estudo. Contudo, a ferramenta permite que sejam feitas as determinações das vazões características mediante a inserção de outro valor de precipitação média anual que não aquela calculada pelo próprio sistema.

Entretanto, o programa apresenta uma limitação no sentido de que seu banco de dados contém registros de precipitações até o ano 2000, situação essa que, no presente estudo, foi contornada mediante a determinação da precipitação média anual de cinquenta anos (1970 a 2019) e por década do referido período, a partir dos registros de precipitações mensais disponíveis no banco de dados do DAEE, combinada com a aplicação do Método dos Polígonos de Thiessen.

Importante observar que o autor, em sua rotina de trabalho, aplica a ferramenta de Regionalização Hidrológica do órgão gestor do Estado de São Paulo, e há aproximadamente dez anos foram experimentadas situações, verificadas em campo, em que o fluxo de escoamento de um curso d'água estudado era ínfimo ou até inexistente, apesar de que o programa BcDAEE2000 indicasse qual seria a vazão $Q_{7,10}$ ou $Q_{95\%}$ para determinado ponto de interesse, com base nos registros de precipitação até o ano 2000.

A priori poderia ser relacionada tal situação a uma excessiva demanda de captações em uma bacia hidrográfica, contudo, houve oportunidades de visitas a campo em que se constatou a inexistência de afloramento de nascentes, contexto esse que igualmente motivou o desenvolvimento do presente estudo.

4.5 DETERMINAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA PELO MÉTODO DOS POLÍGONOS DE THIESSEN

De acordo com Collischonn e Dornelles (2003):

A precipitação é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Assim sendo, ela fornece subsídios para quantificação do abastecimento de água (grifo nosso), irrigação, controle de inundações, erosão do solo, etc, e seu conhecimento é fundamental para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas, entre outros.

A chuva é a causa mais importante dos processos hidrológicos de interesse da engenharia e é caracterizada por uma grande aleatoriedade no tempo e no espaço.

A quantidade total de precipitação num ano é uma das mais interessantes características de uma estação pluviométrica, pois fornece de imediato uma ideia

sintética do fenômeno local. O valor da altura pluviométrica anual varia de região para região, desde próximo a zero, nas regiões desérticas, até o máximo conhecido de 25.000 mm (Charranpuji, Índia, em 1836) (GARCEZ; ALVAREZ, 1998).

Conforme ensinam Collischonn e Dornelles (2003, grifo nosso):

Os dados de chuva dos pluviômetros e pluviógrafos referem-se a uma área de coleta de 400 cm². Comparando com a área de uma bacia hidrográfica, esta é uma estimativa pontual da chuva. Por outro lado, o maior interesse na hidrologia é por chuvas médias que atingem uma região, como uma bacia hidrográfica.

O cálculo da chuva média em uma bacia pode ser realizado utilizando o método da média aritmética; das isoietas; dos Polígonos de Thiessen ou através de interpolação em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs).

Quanto aos métodos de determinação de precipitações médias, Garcez e Alvarez (1998, grifo nosso), registram que:

A aplicação desses diferentes métodos em relação a uma mesma bacia leva a resultados bastante discrepantes devido a limitações e aproximações inerentes a cada um. Assim, uma comparação feita para uma bacia de cerca de 600 Km², com 4 estações internas e 7 externas vizinhas, levou aos seguintes resultados para a lâmina pluviométrica média relativa a uma dada precipitação: média aritmética (4 estações): 70,60 mm; método de Thiessen 75,4; método das isoietas: valores entre 78,2 e 67,0 mm (conforme o traçado das isoietas considerado). As discrepâncias entre esses valores demonstram o interesse da aplicação do método aproximado de Thiessen, pela simplicidade que representa para os cálculos.

O método de Thiessen (sic) apesar de ser mais preciso que o aritmético, também apresenta limitações, pois não considera as influências orográficas, ele simplesmente admite uma variação linear da precipitação entre as estações e designa cada porção da área para a estação mais próxima (CARVALHO; SILVA, 2006).

Contudo, os mesmos autores, sobre o método do traçado das Isoietas, manifestam que este é o:

[...] mais preciso par (sic) avaliar a precipitação média de uma área. Entretanto, a sua precisão depende altamente da habilidade do analista. Se for usado uma interpolação linear entre as estações para o traçado das isolinhas, o resultado será o mesmo obtido com o método de Thiessen (sic).

4.6 A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM ESFERA LOCAL

Conforme estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de

Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Ainda no âmbito da Política Nacional de Recursos Hídricos, são previstas como suas diretrizes gerais de ação (artigo 3º):

I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;

II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;

III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;

IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional; (grifo nosso)

V - a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo; (grifo nosso)

VI - a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras (BRASIL, 1997).

Quando se estabelece que a gestão de recursos hídricos deverá ser adequada às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais, assim como estar integrada à gestão ambiental, articulada com o uso do solo, e que será necessário que estejam articulados os planejamentos de recursos hídricos com os planejamentos regionais, há que se compreender que tal construção resulta em um mosaico na qual cada peça é representada por um município, na qual devem ser consideradas as características de sua formação original e evolução da ocupação antrópica, quer seja em sua porção rural ou urbana.

De acordo com a Constituição Federal, seu artigo 30 estabelece as competências dos municípios, dentre os quais destacam-se:

I - legislar sobre assuntos de interesse local;

II - suplementar a legislação federal e a estadual no que couber;

VIII - promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (BRASIL, 1988).

Nesse cenário, a participação efetiva das prefeituras na gestão de recursos hídricos é primordial, visto que, a adoção de medidas de natureza administrativa, o estabelecimento de regras de zoneamento do uso e ocupação do solo, e as diretrizes de planos diretores estratégicos são estabelecidos em âmbito municipal, envolvendo tanto o poder executivo, como o legislativo municipal e a população (audiências públicas).

Para que as prefeituras possam planejar seu ordenamento territorial, sua expansão urbana e até mesmo a ampliação ou implantação de distritos industriais, deveria ser imprescindível que, tanto os corpos legislativos como o executivo municipal tivessem conhecimento sobre a disponibilidade hídrica em seu território, assim como, da região ao qual seu município se encontra inserido, condição essa que permitiria ao gestor municipal avaliar a viabilidade de seu planejamento, ou em caso de insuficiência hídrica, tal situação sinalizará a necessidade de que medidas de infraestrutura fossem concomitantemente previstas para atendimento às demandas vindouras.

Considerando que o presente estudo visa desenvolver uma proposta de determinação de disponibilidade hídrica para a gestão do abastecimento público de água, considerando os demais usuários de água das bacias hidrográficas, em nível municipal, buscou-se identificar experiências semelhantes em outros países, para os quais serão apresentadas duas a seguir.

4.6.1 A experiência da Iniciativa Intermunicipal para a Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Ayuquila, no México

O Rio Ayuquila/Armería é um dos mais importantes da região oeste do México, atravessando os estados de Jalisco e Colima e desaguando no Oceano Pacífico, sendo que em período pretérito seu principal problema referia-se à poluição de suas águas, quer fosse por esgotos domésticos, quer fosse pelo Engenho Melchor Ocampo, o qual todos os anos, durante a estação da colheita da cana-de-açúcar, o efluente dessa refinaria matava um grande número de peixes e crustáceos, comprometendo as fontes de alimentos e causando sérios impactos às comunidades ripárias dos municípios de Tuxcacueco, Tolimán e Zapotitlán de Vadillo (MONTERO *et al.*, 2006).

Dentro do artigo denominado “Governança colaborativa para gestão sustentável de recursos hídricos: a experiência da iniciativa intermunicipal para a gestão integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Ayuquila, México” (MONTERO *et al.*, 2006), são identificados aspectos relacionados à participação de municípios na gestão integrada de recursos hídricos, em nível local e regional.

De acordo com o artigo, "quando associada à crescente demanda por água devido ao crescimento populacional nos centros urbanos e ao aumento da produção agrícola, a necessidade de perfurar mais fundo para extrair água subterrânea ou

transportar água de distâncias maiores pode, por sua vez, produzir conflitos locais e regionais.” (MONTERO *et al.*, 2006)

Note-se que o crescimento da população resulta como um gatilho para um potencial conflito entre duas nobres e essenciais finalidades para o uso da água, quais sejam, o abastecimento público e a produção de alimentos (agricultura).

Além disso, dada a escala e a complexidade da degradação das bacias hidrográficas, os níveis de governo federal e estadual muitas vezes carecem de capacidade operacional para lidar com esse tipo de problema ambiental. É aqui que os governos municipais podem desempenhar um papel de destaque, pois é justamente no nível da bacia hidrográfica que o governo local responde mais diretamente às demandas e iniciativas locais. Quando vários governos municipais enfrentam problemas comuns em relação à gestão de território, devido à intersecção de processos ecológicos e socioeconômicos em bacias hidrográficas que transcendem aos limites administrativos, é de fundamental importância aumentar a capacidade institucional para a gestão dos recursos hídricos por meio de arranjos intermunicipais, no âmbito do quadro de gestão integrada de bacias hidrográficas e/ou gestão integrada de recursos hídricos. (MONTERO *et al.*, 2006).

No México, os governos municipais iniciaram e consolidaram importantes mudanças que fortalecem sua capacidade de formular políticas compatíveis com o desenvolvimento externo. Desta forma, realizaram uma reestruturação interna que lhes permitiu assumir novas responsabilidades como a gestão ambiental, adotaram novos processos para uma organização mais eficiente e desenvolveram os seus recursos humanos. Todas essas melhorias têm fomentado novas formas de cooperação com os governos estadual e federal, bem como com a população local. (MONTERO *et al.*, 2006).

4.6.2 A proposta de gestão local de recursos hídricos na cidade de Bredasdorp, na África do Sul, considerando o efeito das mudanças climáticas

A África do Sul é um país com estresse hídrico com uma média de precipitação anual de 500 mm (60% da média mundial). Apenas uma estreita região ao longo da costa sudeste recebe significativas precipitações, enquanto a maior parte do interior e da parte oeste do país é árida ou semi-árida. 65% do país recebe menos de 500 mm por ano, que usualmente é considerada o mínimo para agricultura de sequeiro, 21% recebe menos de 200 mm por ano (MUKHEIBER, 2015 *apud* DWAF, 1994).

A fim de ilustrar os efeitos dos impactos das mudanças climáticas no planejamento dos recursos hídricos e gestão em pequenos municípios, foi desenvolvido um estudo de caso para uma pequena cidade a oeste da Cidade do Cabo. (MUKHEIBIR, 2015)

A abordagem defendida por Mukheibir (2015) para planejar os impactos climáticos nos recursos hídricos locais para Bredasdorp inclui o estabelecimento dos quatro componentes principais a seguir:

1. Uso e demanda futura de água.
2. Mudanças climáticas projetadas para o futuro.
3. Impactos futuros do clima nos recursos hídricos.
4. Estratégias futuras de gestão de recursos hídricos.

Nesse contexto a proposta de Mukheibir abrange tanto a questão de planejamento em escala municipal, o que se observa quanto a considerar a necessidade de se conhecer a projeção de demandas futuras de água, assim como, trazer para esse planejamento a componente das mudanças climáticas e seus impactos no que tange a disponibilidade hídrica, estabelecendo, a partir do cenário diagnosticado, as estratégias futuras para a gestão de recursos hídricos.

Por fim, sobre o estudo da atuação local/municipal relacionada à gestão de recursos hídricos, Mukheibir (2015) traz que:

Com base nos resultados do estudo de caso de Mukheibir e Sparks, os obstáculos e limitações para implementação dessas estratégias com sucesso em nível municipal local, dois pontos se destacaram:

1. Capacidade local: A questão mais notável que afeta a viabilidade dessas estratégias é a percepção falta de capacidade local para implementar as estratégias. O ex-diretor-geral da DWAF, Mike Muller, afirmou que há uma grave escassez de gestores de água qualificados em municípios de pequeno e médio porte, o que resultou em 63% dos municípios não cumprindo os padrões de qualidade da água potável. Há uma necessidade urgente de treinamento formal neste setor (Venter 2005).

2. Financeiro: Isso é ainda mais agravado pela baixa base de recursos financeiros para cobrir o capital e custos operacionais da maioria das estratégias. O governo local compete por recursos alocados nacionalmente fundos para despesas de capital. Os custos de funcionamento são cobertos principalmente pelas receitas locais, que pelos municípios locais menores e remotos, são insuficientes para garantir a segurança hídrica neste nível.

Além disso, o apoio político para algumas das estratégias, como restrições de água e saneamento seco terá de ser obtido através de programas de educação, no entanto, estes também exigem recursos humanos e recursos financeiros.

Diante da experiência apresentada, a dificuldade relacionada quanto a disponibilidade de gestores qualificados representa um dos principais entraves para uma melhor gestão de recursos hídricos em nível local, haja visto que tal condição resultou no descumprimento de padrões de qualidade de água potável distribuída.

Não obstante ao exposto, a proposta apresentada por Mukheibir (2015) guarda significativa relação com o presente projeto, no que tange a percepção quanto a necessidade da condução da gestão de recursos hídricos com uma presença mais efetiva por representantes municipais, assim como quanto ao aspecto de trazer o efeito das mudanças climáticas para o planejamento da gestão de recursos hídricos e para o abastecimento público.

4.7 QUALIDADE DA ÁGUA DE UM MANANCIAL

A avaliação da qualidade da água de um manancial requer muita atenção. A água pode ser adequada para determinado uso e insatisfatória ou não indicada para outra atividade. Além disso, a qualidade da água deve ser acompanhada ao longo do tempo, pois pode sofrer variações (ALMEIDA, 2021).

Cada corpo de água doce tem um padrão individual de características físicas e químicas que são determinadas em grande parte pelas condições climáticas, geomorfológicas e geoquímicas predominantes na bacia de drenagem e no aquífero subjacente. Características resumidas, como sólidos totais dissolvidos, condutividade e potencial redox, fornecem uma classificação geral de corpos d'água de natureza semelhante. O conteúdo mineral, determinado pelo total de sólidos dissolvidos presentes, é uma característica essencial da qualidade de qualquer corpo d'água, resultante do equilíbrio entre dissolução e precipitação. O conteúdo de oxigênio é outra característica vital de qualquer corpo porque influencia muito a solubilidade dos metais para todas as formas de vida biológica (CHAPMAN, 1992).

Cabe ser observado que a questão de qualidade da água deve ser analisada, por operadores de abastecimento público, em dois aspectos, quais sejam, o primeiro em relação à água bruta, ou seja, aquela relativa ao manancial, e o segundo em relação à qualidade da água para consumo humano. Tal distinção é necessária, visto que a legislação que se aplica à qualidade das águas naturais é diferente daquela que

estabelece os parâmetros e padrões de qualidade da água a ser distribuída para a população.

Conforme Almeida (2021):

De acordo com o disposto na legislação cabe ao CONAMA deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (BRASIL, 1981). Neste sentido, o Regimento Interno do conselho define como competências a elaboração de resoluções, decisões, moções, recomendações e proposições, cada um deles aplicável às diferentes atuações do órgão. As resoluções são utilizadas para deliberação vinculada a diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais. Três resoluções são importantes quanto às definições de padrões aceitáveis de qualidade de água (grifo nosso), utilizados na elaboração dos índices de qualidade de água:

- Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- Resolução CONAMA N° 396 de 3 de abril de 2008 (BRASIL, 2008a), especifica para as águas subterrâneas, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- Resolução CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.

Para o Estado de São Paulo, especificamente, vale observar que as questões afetas à classificação de corpos d'água e condições e padrões de lançamento de efluentes são tratados no âmbito do Decreto Estadual n° 8.468, de 08 de setembro de 1976, que "Aprova o Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente." Complementar a esse diploma legal, deve ser observado o Decreto Estadual 10.755, de 22 de novembro de 1977, que "Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto n. 8.468 (1), de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas", isto é, enquanto o decreto de 1976 estabelece quais são as classes de cursos d'água, suas características e finalidades de usos, o segundo decreto determina, por bacia hidrográfica, a qual classe cada um desses encontra-se enquadrado.

Considerando que o foco deste trabalho está relacionado ao estudo sobre a disponibilidade hídrica, aspecto atinente à água bruta, não se adentrará na questão da legislação que versa sobre qualidade da água tratada.

4.7.1 Lei Federal nº 9.433/1.997 e Resolução CONAMA nº 357/2.005

A Lei Federal nº 9.433/1.997 (BRASIL,1997) instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos vigente, sendo que dentre seus instrumentos, discriminados no Artigo 5º, traz no Inciso II, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo seus usos preponderantes.

Na “seção II – Do enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo seus usos preponderantes” (BRASIL, 1997, grifo nosso), dessa lei, é estabelecido o seguinte preceito:

Art 10º - As classes dos corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental.”

Ainda sobre a Lei Federal 9.433/1.997, o Capítulo IV – Das agências das águas, consta de seu artigo 44 e respectivo inciso XI, alínea “a”, que:

Art. 44. Compete às Agências de Água, no âmbito de sua área de atuação:

XI - propor ao respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica:

a) o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso, para encaminhamento ao respectivo Conselho Nacional ou Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com o domínio destes.

Atualmente as classes dos corpos d'água, em âmbito federal, estão estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, documento a partir do qual as agências de água deveriam observar para embasar o enquadramento dos cursos d'água contidos em suas unidades de gerenciamento de recursos hídricos.

De acordo com Brasil (2013):

O enquadramento dos corpos d'água representa o estabelecimento da **meta de qualidade da água** a ser alcançada, ou mantida, em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos pretendidos, segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2005.

Para estabelecer um objetivo de qualidade da água é preciso: avaliar a condição atual do rio, ou seja, “*o rio que temos*”; discutir, com a população da bacia, a condição da qualidade desejada para aquele rio, “*o rio que queremos*”, e, por fim, discutir e pactuar a meta com os diferentes atores da bacia hidrográfica, “*o rio que podemos ter*”, levando em conta as limitações técnicas e econômicas para seu alcance. Vale lembrar que o enquadramento se aplica a qualquer corpo de água (reservatórios, lagos, estuários, águas costeiras, águas subterrâneas), não somente aos rios.

Em alguns casos, é possível que a qualidade da água atual do rio seja boa e os atores da bacia já tenham o rio desejado. Nesse caso, é preciso discutir e planejar quais são as ações necessárias para manter a qualidade da água desejada e que permitam promover a gestão dos usos múltiplos.

Considerando que o objeto de estudo está relacionado ao uso de água doce existente no município, será tratado somente sobre a classificação estabelecida para esse enquadramento.

Especificamente para este trabalho, no que tange às Bacias Hidrográficas do Piracicaba, Capivari e Jundiaí:

Vale destacar que a proposta de reenquadramento, aprovado pelo Comitê de Bacia, mantém, em linhas gerais, o enquadramento definido em 1977 pelo Decreto Estadual nº 10.755 (BRASIL, 2013).

Tal fato foi confirmado mediante consulta ao “Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 – 2020, com Propostas de Atualização de Enquadramento dos Corpos d’água e de Programa para Efetivação do Enquadramento dos Corpos d’água até o Ano de 2035”, para o qual apurou-se como meta a manutenção do enquadramento do Rio Jaguari em trechos de Classes 1 e 2 em que, na época da elaboração do plano, apresentavam parâmetros de qualidade abaixo dos padrões estabelecidos pela legislação.

4.7.2 Índice de qualidade das águas (IQA)

A partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Foundation” dos Estados Unidos, a CETESB adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público. (CETESB, 2021, grifo nosso).

Segundo relatam Brown *et al.* (1970), o índice tanto pode ser usado para monitorar mudanças temporais da qualidade de água em um manancial específico, como pode ajudar na comparação da qualidade de uma fonte de água com outros mananciais de água na região ou de qualquer outro lugar ao redor do mundo, como também para determinar se um trecho em particular pode ser considerado “saudável” (ALMEIDA, 2021).

De acordo com o Apêndice E, do Relatório de Águas Interiores do Estado de São Paulo, emitido pela CETESB para o ano de 2020, a determinação do IQA é calculada mediante a seguinte fórmula ilustrada na Figura 2:

Figura 2 – Fórmula de cálculo do IQA

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Fonte: (CETESB, 2021).

ou seja,

$$IQA = (q_1^{w_1}) \times (q_2^{w_2}) \times (q_3^{w_3}) \times (q_4^{w_4}) \times (q_5^{w_5}) \times (q_6^{w_6}) \times (q_7^{w_7}) \times (q_8^{w_8}) \times (q_9^{w_9})$$

Na qual:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número de 0 a 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que: em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

De acordo com o Apêndice E – Índice de Qualidade das Águas (SÃO PAULO, 2021) a partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100”, conforme ilustrado na tabela da Figura 3:

Figura 3 – Tabela de Classificação do IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	79 < IQA ≤ 100
BOA	51 < IQA ≤ 79
REGULAR	36 < IQA ≤ 51
RUIM	19 < IQA ≤ 36
PÉSSIMA	IQA ≤ 19

Fonte: (CETESB, 2021).

4.7.3 Índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público (IAP)

De acordo com o Apêndice E - Índice de Qualidade das Águas (SÃO PAULO, 2021, grifo nosso):

Este índice é calculado nos pontos de amostragem dos rios e reservatórios que são utilizados para o abastecimento público.

O IAP é o produto da ponderação dos resultados atuais do IQA (Índice de Qualidade de Águas) e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), que é composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, bem como de substâncias tóxicas. Assim, o índice será composto por três grupos principais de variáveis:

IQA – grupo de variáveis básicas (Temperatura da água, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Coliformes Termotolerantes/E.coli, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólido Total e Turbidez);
ISTO

- a) Variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (Potencial de Formação de Trihalometanos – PFTHM, Número de Células de Cianobactérias, Cádmio, Chumbo, Crômio Total, Mercúrio e Níquel);
- b) Grupo de variáveis que afetam a qualidade organoléptica (Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre e Zinco).

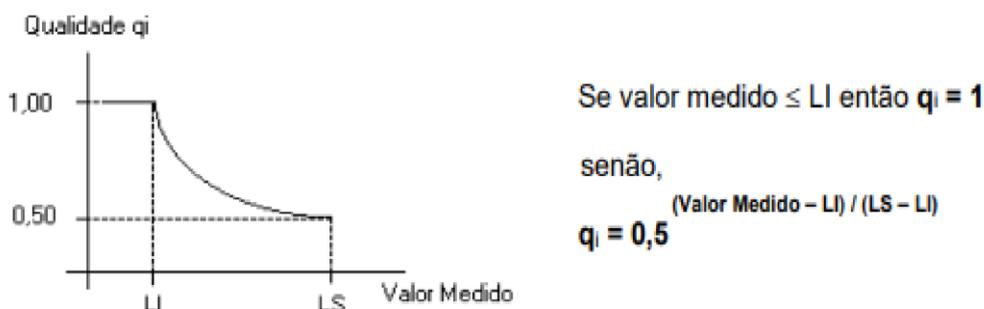
[...]

Para cada parâmetro incluído no ISTO são estabelecidas curvas de qualidade que atribuem ponderações variando de 0 a 1.

As curvas de qualidade, representadas através das variáveis potencial de formação de trihalometanos e metais, foram construídas utilizando-se dois níveis de qualidade (q_i), que associam os valores numéricos 1.0 e 0.5, respectivamente, ao limite inferior (LI) e ao limite superior (LS).

Na Figura 4 é ilustrada a curva de qualidade padrão utilizada para determinação dos valores dos índices que compõem o cálculo do ISTO.

Figura 4 – Curva de qualidade padrão para variáveis incluídas no ISTO, com exceção da variável número de célula de cianobactérias



Fonte: (CETESB, 2021).

As faixas de variação de qualidade (q_i), que são atribuídas aos valores medidos para o potencial de formação de trihalometanos, para os metais que compõem o ISTO, refletem as seguintes condições de qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público:

Valor medido \leq LI: águas destinadas para o consumo humano. Atendem aos padrões de potabilidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 de 2017 do Ministério da Saúde em relação às variáveis avaliadas.

LI < Valor medido \leq LS: águas adequadas para tratamento convencional ou avançado. Atendem aos padrões de qualidade da Classe 3 da Resolução CONAMA nº 357/2005 em relação às variáveis determinadas.

Valor medido > LS: águas que não devem ser submetidas apenas a tratamento convencional. Não atendem aos padrões de qualidade da Classe 3 da Resolução CONAMA nº 357/2005 em relação às variáveis determinadas.”

Os limites superiores e inferiores adotados para metais e o potencial de formação de trihalometanos são indicados na tabela da Figura 5.

Figura 5 – Limites superiores e inferiores dos metais e PFTHM

Grupo	Variáveis	Unidade	Limite Inferior	Limite Superior
Tóxicos	Cádmio	mg/L	0,005	0,01
	Chumbo	mg/L	0,01	0,033
	Crômio Total	mg/L	0,05	0,059
	Níquel	mg/L	0,02	0,025
	Mercúrio	mg/L	0,001	0,002
	PFTHM	µg/L	373	461
Organolépticos	Alumínio	mg/L	0,2	2
	Cobre	mg/L	2	8
	Ferro	mg/L	0,3	5
	Manganês	mg/L	0,1	0,5
	Zinco	mg/L	5	5,9

Fonte: (CETESB, 2021).

[...] A ponderação do grupo de substâncias tóxicas (ST) é obtida através da multiplicação dos dois valores mínimos mais críticos do grupo de variáveis que indicam a presença dessas substâncias na água:

$$ST = \text{Mín-1} (q_{\text{THMFP}}; q_{\text{Cd}}; q_{\text{Cr}}; q_{\text{Pb}}; q_{\text{Ni}}; q_{\text{Hg}}; q_{\text{NCC}}) \times \text{Mín-2} (q_{\text{THMFP}}; q_{\text{Cd}}; q_{\text{Cr}}; q_{\text{Pb}}; q_{\text{Ni}}; q_{\text{Hg}}; q_{\text{NCC}})$$

A ponderação do grupo de substâncias organolépticas (SO) é obtida através da média aritmética das qualidades padronizadas das variáveis pertencentes a este grupo:

$$SO = \text{Média Aritmética} (q_{\text{Al}}; q_{\text{Cu}}; q_{\text{Zn}}; q_{\text{Fe}}; q_{\text{Mn}})$$

• Cálculo do ISTO

O ISTO é resultado do produto dos grupos de substâncias tóxicas e as que alteram a qualidade organoléptica da água, como descrito a seguir: $\text{ISTO} = ST \times SO$

- **Cálculo do IAP**

O IAP é calculado a partir do produto entre o antigo IQA e o ISTO, segundo a seguinte expressão: $IAP = IQA \times ISTO$

A classificação do IAP é apresentada na tabela constante da Figura 6.

Figura 6 – Tabela de Classificação do IAP

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IAP \leq 100$
BOA	$51 < IAP \leq 79$
REGULAR	$36 < IAP \leq 51$
RUIM	$19 < IAP \leq 36$
PÉSSIMA	$IAP \leq 19$

Fonte: (CETESB, 2021).

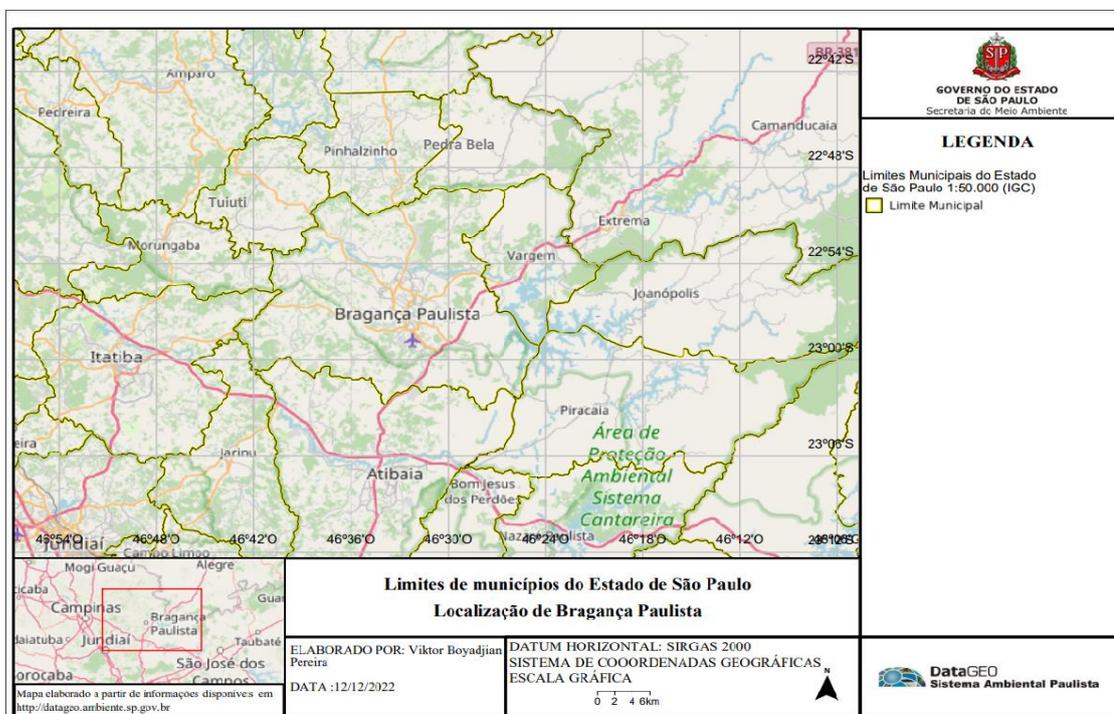
5 METODOLOGIA

Este estudo teve como abordagem uma pesquisa quantitativa, considerando a pretensão em desenvolver um estudo com base em registros de dados de pluviometria, vazões disponíveis, demandas por água, assim como, sobre resultados de análise de monitoramento de qualidade de mananciais.

5.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com consulta com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, no censo de 2010 o município de Bragança Paulista contava com 146.744 habitantes, sendo que para 2021 a população estimada era de 172.346 pessoas, instaladas em 43.413 domicílios urbanos e 1.240 domicílios rurais. Com extensão territorial de 512,584 Km², o município está situado na região intermediária de Campinas, inserido em bioma da Mata Atlântica, e apresentando limites com os municípios ilustrados no Figura 7.

Figura 7 – Localização de Bragança Paulista, em escala regional



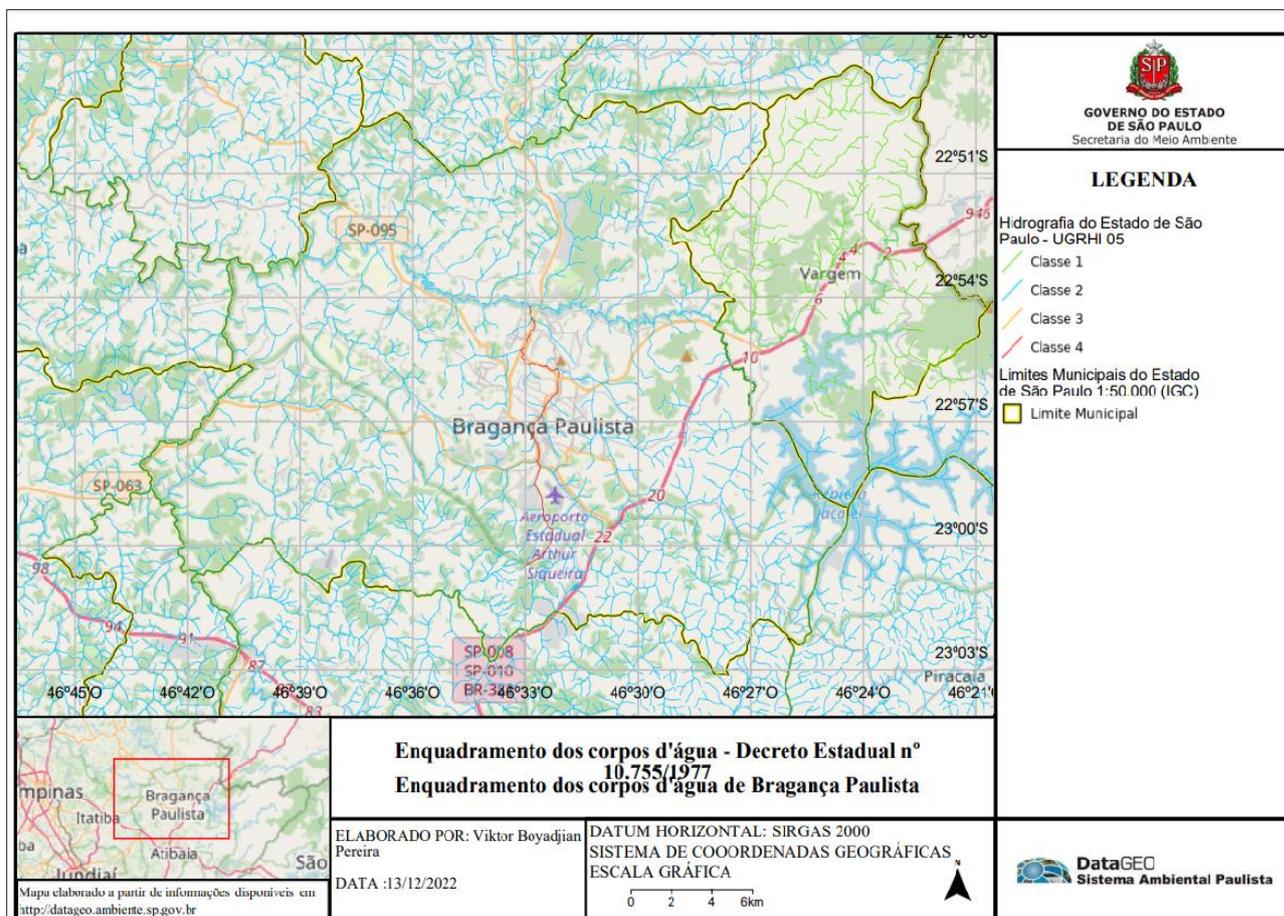
Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

O acesso ao município pode ser realizado por intermédio das seguintes alternativas:

- a) Rodovia Fernão Dias (BR-381), combinada com a Rodovia Capitão Bardoíno (SP-106);
- b) Rodovia Dom Pedro I (SP-065), combinada com a Rodovia Alkindar Monteiro Junqueira (SP-063); e
- c) Rodovia Benevenuto Moretto (SP-095);
- d) Rodovia Capitão Bardoíno (SP-106), partindo da região do Circuito das Águas.

Contido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí (UGRHI 05), no que tange ao enquadramento dos cursos d'água do município, no âmbito do Decreto Estadual 10.755/1977, na Figura 8 está identificada a predominância de enquadramento dos cursos d'água do município em Classe 2, à exceção do Ribeirão Lavapés (Classe 4) considerando que esse curso d'água atravessa a zona urbana.

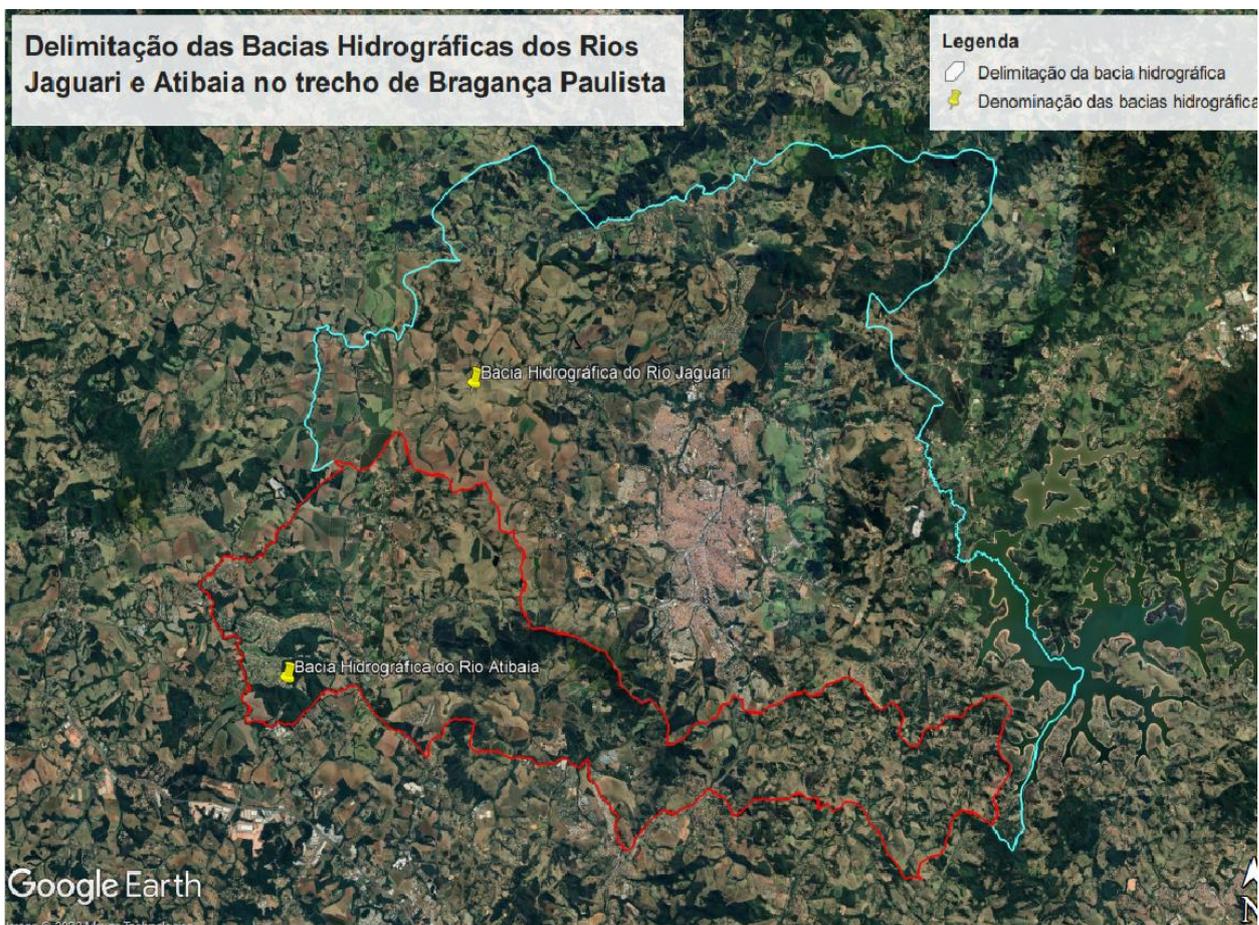
Figura 8 – Hidrografia e enquadramento dos corpos d'água do município de Bragança Paulista



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Ainda quanto a sua hidrografia, Bragança Paulista tem 158,000 Km² (30,82%) de seu território, em sua porção sul, contida nas vertentes das sub-bacias hidrográficas de afluentes da margem direita do Rio Atibaia, e a parte predominante do município, com superfície de 354,584 Km² (69,18% do território), faz parte da Bacia do Rio Jaguari, sendo os limites dessas sub-bacias indicados na Imagem 1.

Imagem 1 – Perímetros das sub-bacias hidrográficas do município de Bragança Paulista



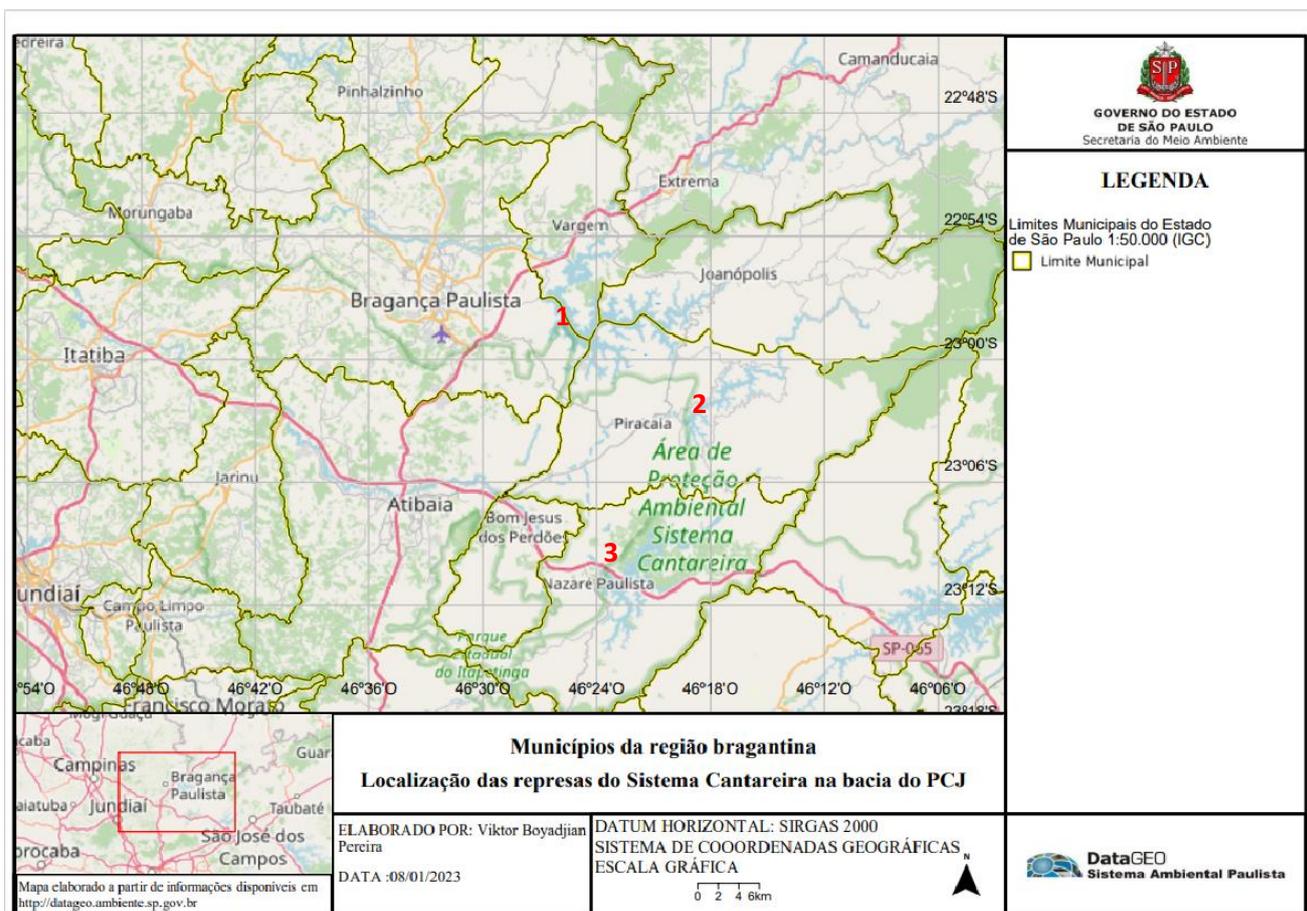
Fonte: Adaptado de DataGEO e Google Earth Pro (2023).

A montante do município de Bragança Paulista o Rio Jaguari é represado conjuntamente com o Rio Jacareí, formando a Represa Jaguari-Jacareí, primeira reservação de água bruta do Sistema Cantareira, isto posto, o principal curso d'água do município de Bragança Paulista tem sua vazão regularizada conforme regras de operação estabelecidas na Resolução Conjunta ANA/DAEE nº 925, de 29 de maio de 2017.

Um aspecto de interesse do presente estudo é que a captação superficial que abastece ao município de Bragança Paulista, atualmente, está instalada no rio Jaguari, a jusante da barragem da represa Jaguari-Jacareí.

Na Figura 9 é ilustrada a localização de cada uma das represas do Sistema Cantareira.

Figura 9 – Identificação das represas do Sistema Cantareira na região de Bragança Paulista



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

- 1- Represa Jaguari-Jacareí (abrangendo os municípios de Bragança Paulista, Vargem, Joanópolis e Piracaia);
- 2- Represa do Cachoeira (município de Piracaia); e
- 3- Represa do Atibainha (município de Nazaré Paulista).

Vale observar que a parcela da área de contribuição da bacia que forma a represa Jaguari-Jacareí é maior que o próprio município de Bragança Paulista, sendo tal fato constatado por intermédio de consulta às Cartas Topográficas do IBGE, disponíveis no sítio eletrônico <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>, sendo composta, por parte dos seguintes municípios:

- a) no Estado de São Paulo: Vargem, Bragança Paulista, Piracaia e Joanópolis; e
- b) no Estado de Minas Gerais: Sapucaí Mirim, Camanducaia e Extrema.

A captação de água superficial para abastecimento público ao município localiza-se no Rio Jaguari, em ponto por onde flui a vazão regularizada pela descarga da represa Jaguari-Jacareí, somada à vazão de contribuição da bacia compreendida entre o ponto de captação para abastecimento público e o barramento da represa.

Conforme Contrato de Programa do Município de Bragança Paulista, celebrado entre a Prefeitura e a SABESP, disponível no sítio eletrônico https://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/contratos_municipios/braganca_paulista.pdf consta de sua página 515 que a referida empresa de saneamento dispõe de outorga para captação de 2.100,00 m³/h ou 583,33 L/s, no Rio Jaguari. Além desse uso, ainda é operada uma captação subterrânea para abastecimento do sistema isolado Chácara Fernão Dias, conforme consta da página 553 do referido contrato, sendo a vazão captada de 14,94 m³/h ou 4,15 L/s.

Em consulta ao sítio eletrônico <https://www.sabesp.com.br/site/interna/Municipio.aspx?secaold=18&id=456>, datada de 28/05/2023, foi apurado que a empresa que abastece ao município com água tem 59.413 ligações de água, que se desdobram em 70.556 economias (por exemplo, um prédio com vinte apartamentos tem uma ligação de água e vinte economias abastecidas).

Em seu plano de investimento, datado de junho de 2020 estava prevista para o ano de 2019 uma vazão máxima diária demandada de 446,20 L/s para atendimento à 59.831 domicílios (153.888 habitantes), e para 2048 está projetada uma vazão de 544,10 L/s (170.228 habitantes), devendo essas projeções serem revisadas a cada quatro anos.

De acordo com o texto do referido plano, o estudo de demandas foi desenvolvido, tendo como base a premissa de atendimento à área atendível com sistemas públicos de abastecimento de água, definida no Anexo I desse documento.

A demanda média foi definida como sendo a soma do consumo total e da perda total, calculada para a totalidade da área citada, e complementarmente a demanda máxima diária considerou o fator $K1 = 1,2$, referente ao dia de maior consumo.

Ocorre que as perdas consideradas são aquelas existentes no sistema de distribuição de água, não tendo sido contabilizado um acréscimo de 12% do volume captado pela ETA para limpeza de filtros e decantadores, denominada água de processo.

Nesse sentido, as demandas máximas a serem captadas passariam a ser de 446,20 L/s para 499,74L/s e de 2048 passaria de 544,10 L/s para 609,39 L/s, condição essa que demonstra a necessidade de se buscar outro manancial para complemento de vazão da atual captação operada no Rio Jaguari, com outorga de 583,33 L/s.

5.1.1 Aquífero Cristalino Fraturado (Aquífero Pré-Cambriano)

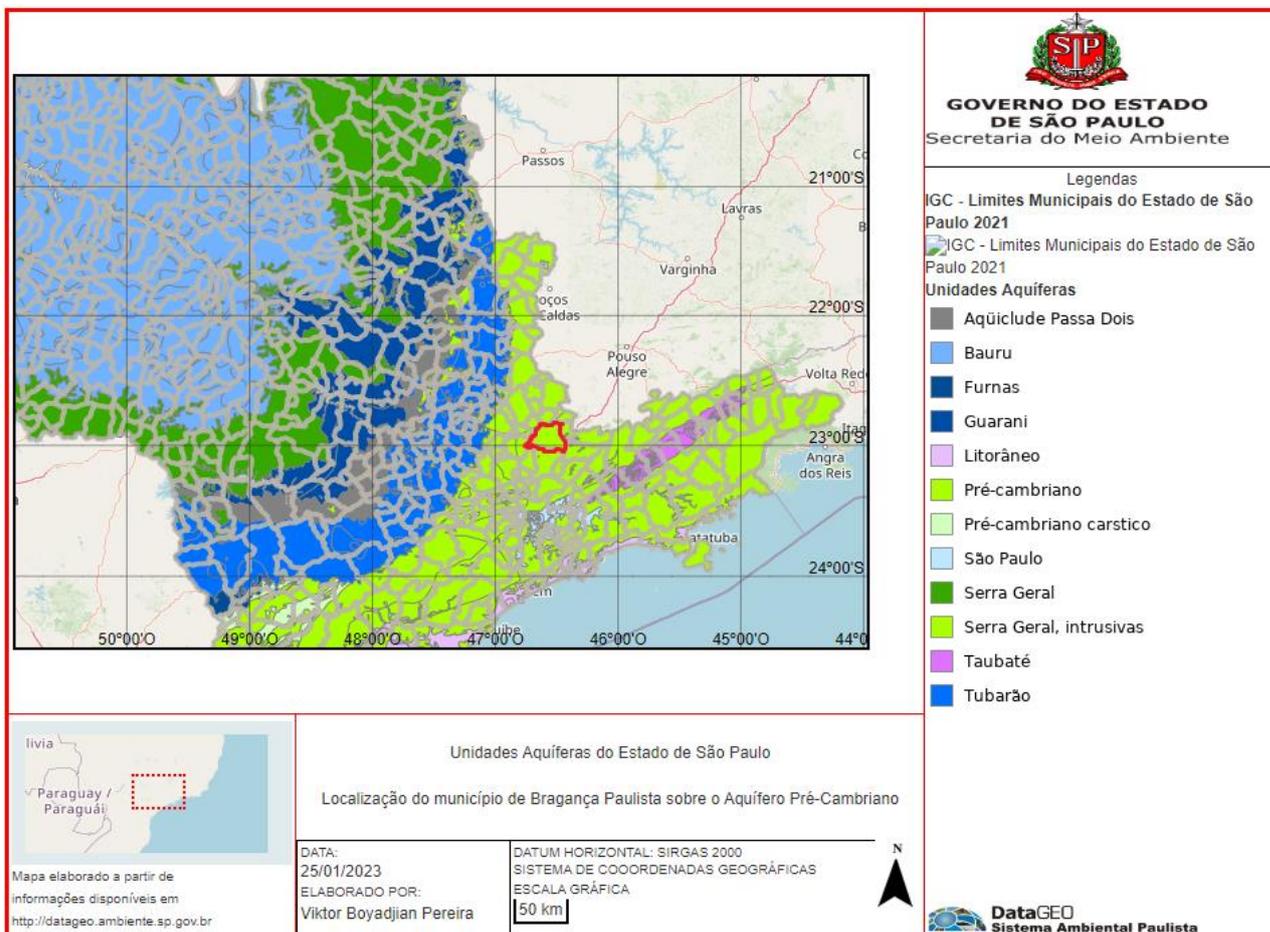
O Cristalino é um aquífero fraturado e de extensão regional. Formado há mais de 550 milhões de anos, é composto pelas rochas mais antigas do Estado de São Paulo. Aflora na porção leste do território paulista, em área de 53.400 km², abrangendo cidades como Campos de Jordão, Águas de Lindóia, Jundiá, Tapiraí, Iporanga, dentre outras, a Região Metropolitana de São Paulo, chegando até o litoral (IRITANI; EZAKI, 2008).

De acordo com informação da CETESB (2022):

O embasamento cristalino São Paulo cobre uma área de aproximadamente 57.000 km², localizado em toda a porção leste do Estado. É composto por rochas ígneas e metamórficas geralmente granitos, gnaisses, filitos, xistos e quartzitos, que são, em sua origem, praticamente impermeáveis. Entretanto, os eventos tectônicos, ou seja, aqueles eventos geológicos que estabelecem a movimentação da crosta do planeta, afetaram esses maciços cristalinos e, aliados à ação das intempéries na superfície, formaram sistemas de falhas e fraturas e porções de rochas alteradas, propiciando condições de percolação e acúmulo das águas subterrâneas, constituindo assim um aquífero fraturado.

Conforme ilustrado na Figura 10, o município de Bragança Paulista está assentado sobre a Formação Pré-Cambriana, ou também denominado Aquífero Cristalino Fraturado ou apenas Aquífero Cristalino.

Figura 10 – Unidades aquíferas do Estado de São Paulo, com destaque para localização de Bragança Paulista



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Este aquífero é denominado de Pré-Cambriano (pε) e aflora na porção leste do Estado de São Paulo. Localmente ocorrem rochas intrusivas mais jovens (do início do Fanerozóico ou do Cretáceo) que apresentam comportamento hidráulico similar às rochas pré-cambrianas. O potencial de produção de águas subterrâneas do Aquífero Pré-Cambriano é, de modo geral, mais baixo que o dos aquíferos granulares, no entanto, é de grande importância para o abastecimento local de, por exemplo, indústrias, propriedades rurais e condomínios (SÃO PAULO, 2005).

Deve-se, no entanto, dar especial atenção à proteção de qualidade das águas da unidade Pré-Cambriana, por ocorrer como aquífero livre (grifo nosso) em áreas populosas e industrializadas, como na Região Metropolitana de São Paulo e na região entre Campinas e Sorocaba. (IRITANI; EZAKI, 2008).

A condição desse recurso hídrico ocorrer como aquífero livre é corroborada pelo registro constante do sítio eletrônico <https://cetesb.sp.gov.br/aguas->

[subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-pre-cambriano-cristalino/](#), na qual consta que:

A recarga natural do Aquífero Pré-Cambriano se dá em decorrência das chuvas, que escoam através das camadas de rocha alterada e zonas fissuradas, sendo, dessa forma, armazenada. Geralmente, a baixa transmissividade desse aquífero e a ausência de fluxos de água em escala regional, condiciona a formação de unidades independentes, existindo aí um regime de escoamento próprio, sem relacionar-se a áreas relativamente distantes, constituindo o escoamento básico de rios e riachos que drenam esses vales. (CETESB, 2022, grifo nosso).

Considerando que o Cristalino ocorre como aquífero livre, tanto como naturalmente com o freático, as demandas de captação em ambos foram somadas àquelas decorrentes de captações superficiais para fins de determinação de disponibilidade e estresse hídricos. Importante observar que, caso se tratasse de um aquífero confinado, essa abordagem não poderia ser adotada.

5.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

Para determinação da disponibilidade hídrica e do índice de estresse hídrico, foi necessário o desenvolvimento de análises gráficas, pesquisa e tratamento de registros de precipitações mensais apuradas por órgãos do Estado de São Paulo, e aplicação de ferramentas computacionais, conforme serão descritos.

5.2.1 Apuração de registros de precipitações mensais incidentes na área de estudo, análise e preenchimento de falhas

Considerando a aleatoriedade espacial e temporal mencionada por Collischonn e Dornelles (2003), o levantamento dos postos pluviométricos teve por finalidade identificar a existência e qualidade dos registros de chuva mensal precipitada (mm), assim como o período da série histórica de cada ponto de medição, de modo a subsidiar a determinação da precipitação média anual por intermédio do Método dos Polígonos de Thiessen.

Sendo a precipitação a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica e, conseqüentemente, configurando-se como um dos elementos fundamentais para manutenção da disponibilidade hídrica, conjuntamente com o uso racional e adequado das águas, como passo inicial deste trabalho, foi realizada uma consulta ao sítio eletrônico do DAEE, com a finalidade de se identificar quais seriam os postos pluviométricos existentes na área de estudo.

Como critério para seleção dos postos pluviométricos, foi estabelecido a disponibilidade de registros de precipitações mensais no período de 1970 a 2019, considerando que nem todos os postos dispunham de registros anteriores ao primeiro ano. O resultado da consulta ao sítio eletrônico do DAEE foi a identificação dos postos pluviométricos elencados no Quadro 1:

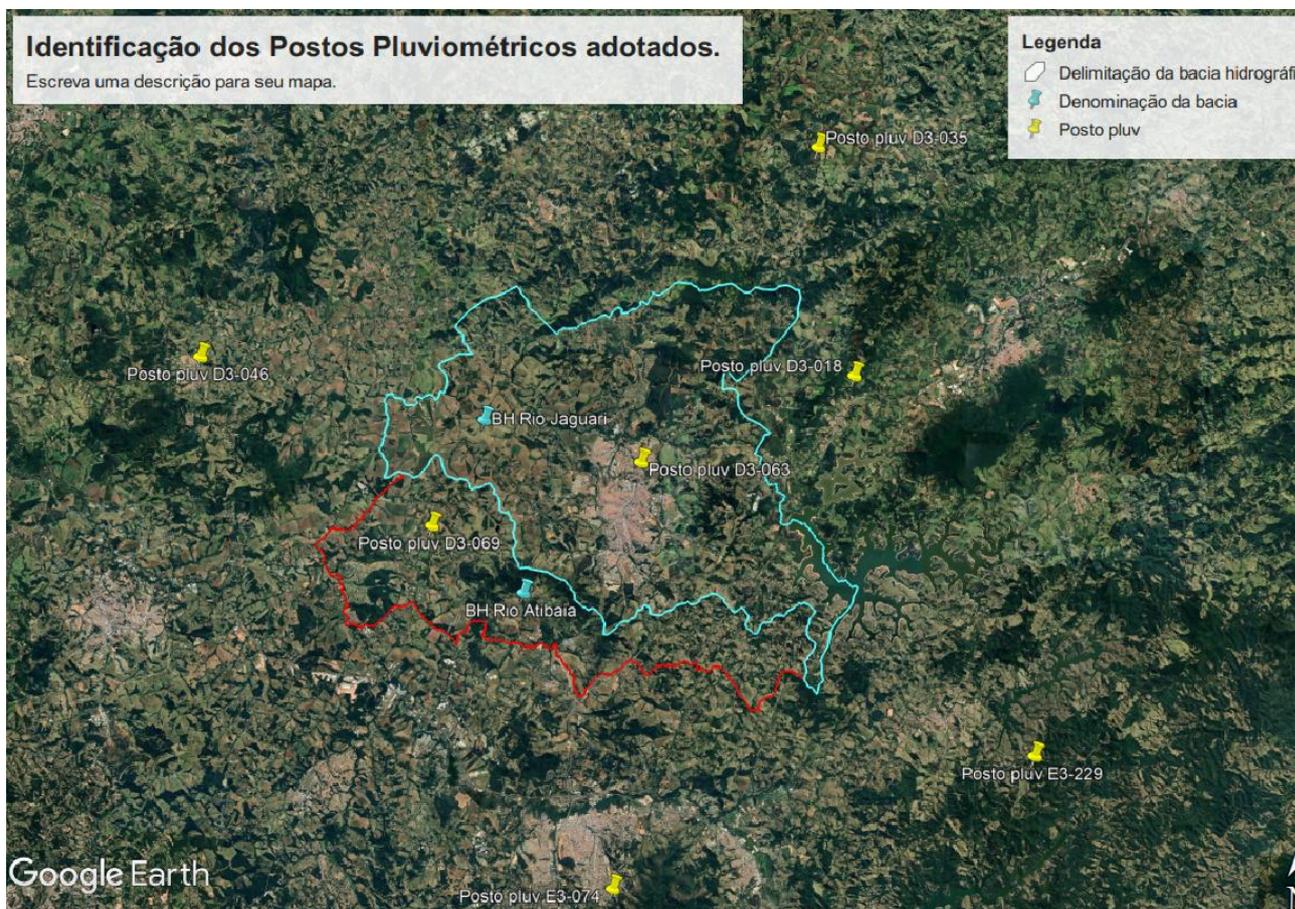
Quadro 1 – Identificação dos postos pluviométricos

Prefixo	Município	Denominação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Série Histórica
D3-063	Bragança Paulista	Bragança Paulista	22°55'32"	46°32'03"	827,00	1970-2021
D3-018	Vargem	Vargem	22°52'35"	46°24'40"	865,00	1937-2021
D3-035	Pedra Bela	Pedra Bela	22°45'15"	46°26'07"	1130,00	1940-2021
D3-046	Morungaba	Morungaba	22°52'23"	46°47'31"	760,00	1947-2021
D3-069	Bragança Paulista	Bairro Campinho	22°57'43"	46°39'18"	843,00	1971-2021
E3-074	Atibaia	Atibaia	23°09'23"	46°32'44"	773,00	1960-2019
E3-229	Piracaia	Crioulos	23°04'46"	46°18'06"	847,00	1970-2020

Fonte: Próprio autor.

Para ilustrar a interface desses postos pluviométricos e potenciais influências em relação à área de estudo, foi reproduzida na Imagem 2 a localização dos postos pluviométricos em relação às respectivas bacias de estudo, posicionamento esse indicado por intermédio de marcadores amarelos.

Imagem 2 – Identificação dos postos pluviométricos da bacia do Rio Jaguari (pontos amarelos)



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2022).

Os registros de medição mensal dos postos pluviométricos traziam algumas falhas de preenchimento, sendo essas ausências corrigidas mediante a aplicação do método da regressão linear.

Na regressão linear simples, as precipitações do posto com falhas (Y) e de um posto vizinho (X) são correlacionadas. A correlação produz uma equação, cujos parâmetros podem ser estimados por métodos como o de mínimos quadrados, ou graficamente através da plotagem cartesiana dos pares de valores (X,Y), traçando a reta que melhor representa os pares de pontos. Uma vez definida a equação semelhante à apresentada a seguir, as falhas podem ser preenchidas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

$$Y = a + b.X \quad (1)$$

Neste estudo a regressão linear foi desenvolvida por intermédio do uso de planilha Excel, na qual, tomando por base o posto pluviométrico com maior número de registros

mensais, foram alinhados em colunas os índices de mesmos mês e ano, do posto base e de outro posto, procedendo dessa maneira, aos pares, com cada posto pluviométrico de modo pontual.

Após preenchidos os meses com falha de registro, foram calculadas as precipitações acumuladas anuais, e por conseguinte, foram calculadas as médias anuais em relação ao histórico de 50 anos (1970-2019) e a média anual para cada década (1970,1980, 1990, 2000 e 2010).

5.2.2 Aplicação do Método dos Polígonos de Thiessen

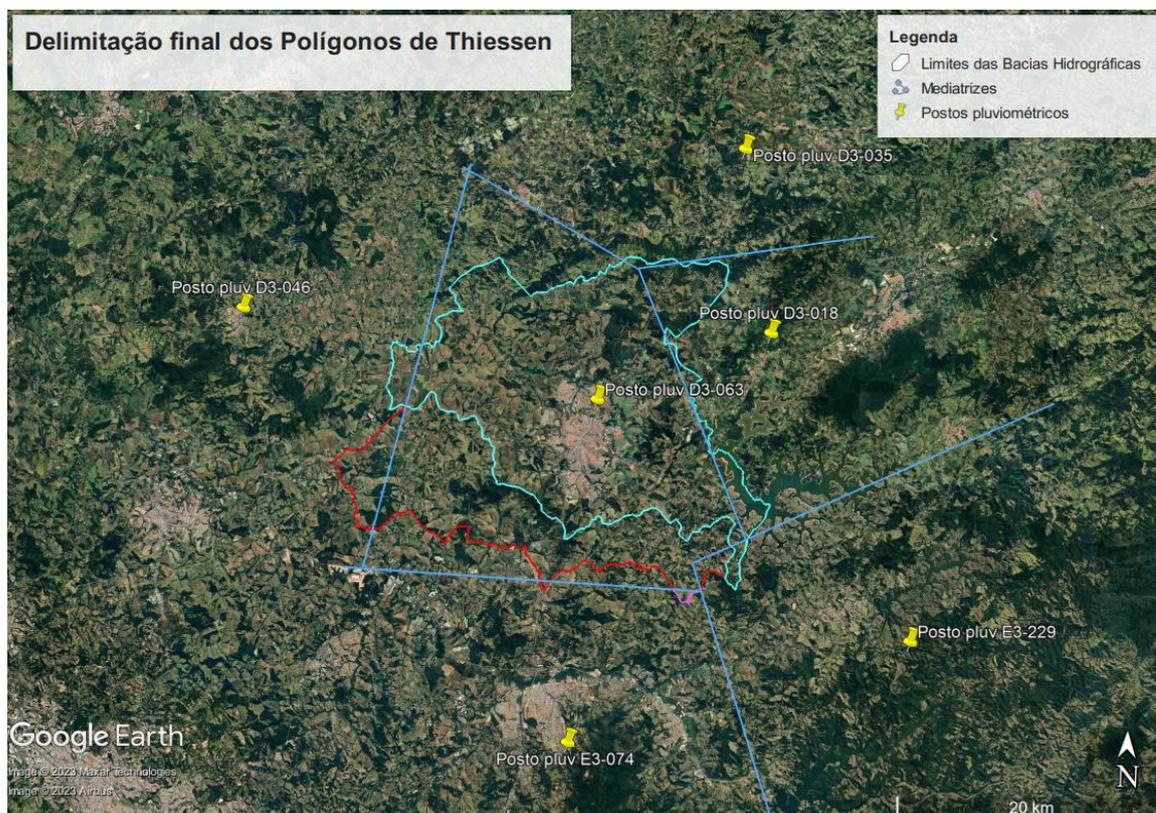
A adoção da construção dos Polígonos de Thiessen teve por finalidade a determinação da precipitação média anual incidente no município em estudo, bem como, a atualização do índice de precipitação média anual, considerando que foi utilizado o Programa de Regionalização Hidrológica do DAEE para determinação das vazões características, porém, como esse programa está carregado com registros apurados até o ano de 2000, e no banco de dados de registros pluviométricos do próprio órgão há informações mais atualizadas, foi considerado prudente apurar a média atualizada da precipitação anual, o que abarcaria, inclusive, o período de estiagem prolongada do período de 2013 a 2015.

Nesse método aproximado, considera-se que as precipitações da área arbitrariamente determinada por um traçado gráfico sejam representadas pela estação nela compreendida. O traçado gráfico é feito da seguinte forma: ligam-se as estações adjacentes por retas (formando triângulos), e pelo meio dos segmentos assim obtidos traçam-se normais aos mesmos. As mediatrizes traçadas vão formar, então, um polígono em torno de cada estação. Admite-se que a altura pluviométrica seja constante em toda área do polígono assim definido (GARCEZ; ALVAREZ, 1998).

A aplicação desse método impõe às observações de cada estação um “peso” constante, obtido pela porcentagem da área total representada por essa estação. O cálculo de altura média de toda a área é feito pela média ponderal baseada nesses pesos, o que simplifica extraordinariamente os cálculos, evitando-se o traçado de isoietas para cada precipitação. Nesse caso, para o cálculo do peso deve ser levada em conta somente a área significativa dos Polígonos. Também devem ser levadas em conta as estações externas à área em estudo, o que pode ser feito dentro das considerações anteriores. (GARCEZ; ALVAREZ, 1998).

Para o traçado gráfico descrito por Garcez e Alvarez (1998), foi utilizado o programa Google Earth Pro, ilustrado na Imagem 3, para o qual, na sequência descreve-se a forma como foi construído seu traçado:

Imagem 3 – Traçado dos Polígonos de Thiessen



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2022).

As áreas das bacias dos rios Jaguari e Atibaia no território de Bragança Paulista, assim como os postos pluviométricos estudados, foram lançados no programa mencionado.

Com a função “Régua” foi selecionada a opção “linha”, e com essa função carregada, foram traçados segmentos de reta entre os postos pluviométricos previamente lançados.

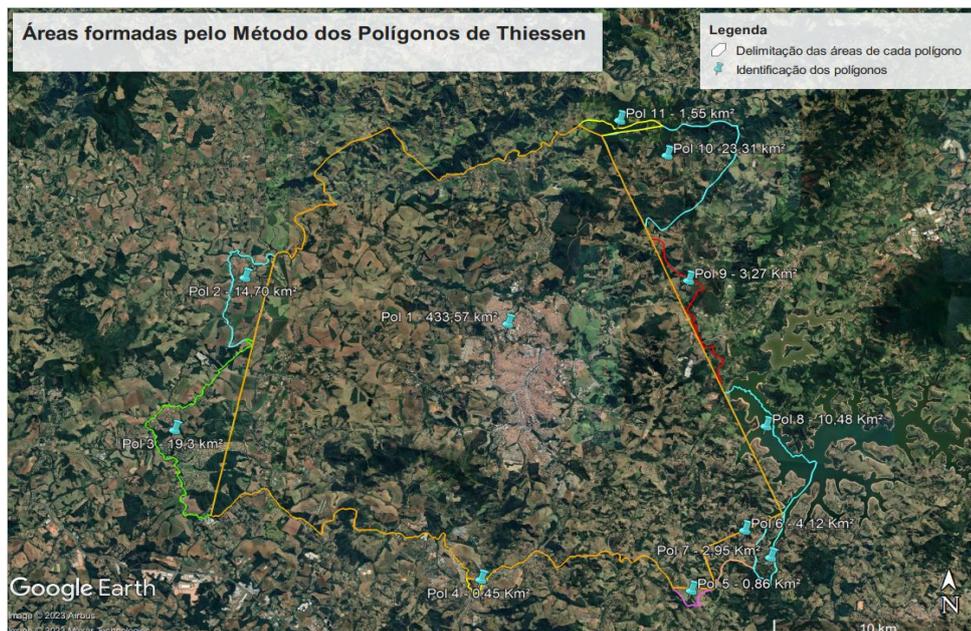
Na sequência, ainda com a função “Régua”, foi utilizada a seleção “círculo”, para aplicação como se fosse um compasso, para determinar o traçado das mediatrizes de cada uma das retas definidas entre os pares de postos pluviométricos. A aplicação foi realizada posicionando a origem do traçado de um círculo com o centro em um dos postos pluviométricos e definindo uma distância além do ponto médio da reta, e posteriormente produzindo a mesma ação a partir do posto pluviométrico na

ponta oposta, traçando a mesma distância, e por fim traçando uma reta perpendicular (mediatriz) que cruzasse os dois pontos de intersecção das duas circunferências.

Considerando a observação de que um ponto desfavorável para aplicação do Método dos Polígonos de Thiessen é que esse não considera as influências orográficas, e sendo de conhecimento o fato de que o Programa de Regionalização Hidrológica (BcDAEE2000) foi desenvolvido com base em curvas isoietas, consultou-se ao mapa digital das isoietas desse programa, para o qual foi apurado que o município se encontra assentado em uma região com curvas de precipitação média anual de 1.400 a 1600 mm, desse modo, a precipitação média anual encontrada resultou em valor contido nesse intervalo.

No caso dos postos pluviométricos cujos registros foram aplicados neste estudo, há que se observar que a altitude dessas instalações varia entre as cotas de 760 a 865 metros, com exceção do posto pluviométrico D3-035 (Pedra Bela), locado a 1130 metros de altitude, ou seja, a amplitude predominante é de 105 metros. O traçado final dos polígonos é ilustrado na Imagem 4.

Imagem 4 – Traçado final das áreas dos Polígonos de Thiessen



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2022).

5.2.3 A Missão de Medição de Chuvas Tropicais (Satélite TRMM)

O TRMM foi um satélite de pesquisa em operação de 1997 a 2015, projetado para melhorar nossa compreensão da distribuição e da variabilidade da precipitação nos trópicos como parte do ciclo d'água no sistema climático atual. Ao cobrir as regiões tropicais e subtropicais da Terra o TRMM forneceu informações muito necessárias sobre precipitação e sua liberação de calor associada, que ajuda a alimentar a circulação atmosférica global que molda o tempo e o clima. Em coordenação com outros satélites do Sistema de Observação da Terra da NASA, o TRMM forneceu informações importantes sobre precipitação usando vários instrumentos espaciais para aumentar nossa compreensão das interações entre vapor d'água, nuvens e precipitação que são essenciais para regular o clima da Terra (NASA, 2022).

Para realização de um exercício comparativo em relação à análise de tendência e ponto de mudança das séries de precipitações dos postos pluviométricos, foram levantados os registros de precipitações do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) da NASA, cujo período abrange registros de 1998 a 2019.

A forma de aplicação desses testes está descrita no próximo subitem.

5.2.4 Método do uso de Múltiplos Testes

Para desenvolvimento dos estudos relacionados à detecção de mudança da média de precipitações anuais, assim como de tendência, foi considerada a metodologia descrita no artigo intitulado “Análise estatística para detecção de mudança e avaliação de tendência em parâmetros climatológicos” de autoria de JAISWAL et al (2015), aplicado em estudo de parâmetros climatológicos para o município de Raipur, capital do recente Estado de Chhattisgarh, criado na Índia. No caso do presente estudo a metodologia em questão foi dirigida para os índices de precipitação média anual.

O estudo de Jaiswal *et al.* (2015) aplica um conjunto de análises paramétricas e não paramétricas para detecção de ponto de mudança na média dos parâmetros estudados e se há uma tendência significativa de incremento ou decréscimo desses.

Para detecção do ponto de mudança foram aplicados os testes de Pettitt (1979), von Neumann Ratio (1966), Buishand Range (1982) e para análise de tendência foram aplicados os testes de regressão linear, o Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) e o Spearman's Rho (1973).

Considerando o uso de múltiplos testes, para seleção do ponto de mudança de um parâmetro, JAISWAL et al (2015) estabeleceram o seguinte critério:

- a) sem ponto de mudança ou homogêneo (SH): a série pode ser considerada como homogênea, se nenhum ou um teste rejeitar a hipótese nula com 5% de nível de significância;
- b) Série duvidosa (SD): uma série pode ser considerada como não homogênea e criticamente avaliada antes de uma análise mais aprofundada se dois dos quatro testes rejeitarem a hipótese nula em nível significativo de 5%; e
- c) Ponto de mudança ou não homogênea (PM): uma série pode ter ponto de mudança ou ser não homogênea naturalmente, se mais de dois testes rejeitarem a hipótese nula em nível significativo de 5%.

Quando o teste de hipóteses é feito em computador, através de programa estatístico, recebemos como output o p-valor (*p-value*), nível descritivo ou probabilidade de significância do teste que é a probabilidade de ocorrência de valores da variável [...] do teste [...] mais extremos que o obtido através dessa amostra (OLIVEIRA, 2017).

Assim a decisão pode ser feita em termos do p-valor: rejeitamos ou não H_0 , conforme o p-valor seja; respectivamente, menor ou não que o nível α , de significância, estabelecido a priori (OLIVEIRA, 2017).

No caso deste estudo, foi utilizado o programa R, que de acordo com MATOS (2020), trata-se de uma ferramenta como “um projeto aberto, bastante popular tanto no meio corporativo como no meio acadêmico e extremamente ativo, mantido por uma comunidade de colaboradores com lançamento frequente de atualizações”.

Por intermédio desse programa foram realizados os seguintes testes para este estudo, para os registros de precipitação dos anos de 1970 a 2019 dos postos pluviométricos e de 1998 a 2019 do satélite TRMM da NASA:

- a) Para detecção de ponto de mudança:
 - Teste de Pettitt (1979);
 - Buishand Range Test (1982);
 - Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) (ALEXANDERSSON, 1986);
 - Bartels's test for randomness (1982); e
 - Wallis and Moore Phase-Frequency test (1941).
- b) Para análise de tendência foram aplicados os seguintes testes conjugados:
 - Análise de autocorrelação;
 - Mann-Kendall test (Mann, 1945 e Kendall, 1975); e
 - Sen's Slope estimator.

5.2.4.1 Detecção de mudança e análise de tendência das precipitações anuais registradas na região

5.2.4.1.1 Descrição dos testes aplicados

Atualmente, são muitas as técnicas estatísticas propostas para homogeneizar dados climáticos e aceites pela comunidade científica. A aplicação de uma ou mais técnicas, à mesma série temporal, faz parte do processo de homogeneização (MONTEIRO, 2021).

A maioria dos testes pode ser integrada em três grupos distintos: métodos estatísticos paramétricos, não paramétricos baseados em probabilidade e métodos de regressão linear. Os mais frequentemente utilizados em estudos climáticos são: Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Buishand Test, Pettitt Test, entre outros.

Estes testes informam-nos do nível de heterogeneidade da série em estudo e detetam o break-point mais provável. Outros testes, nomeadamente, von Neumann ratio test, não calculam a data do break, mas estimam o nível de não homogeneidade dos dados (MONTEIRO, 2021).

5.2.4.1.2 Breve caracterização dos testes realizados

a) Buishand Range test

De acordo com Jaiswal *et al.* (2015) a soma ajustada (S_k), que é o desvio cumulativo da média para k -ésima observação de uma série $x_1, x_2, x_3 \dots x_k \dots x_n$ com média (\bar{x}) pode ser calculado usando a seguinte expressão:

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

Uma série pode ser homogênea sem nenhum ponto de mudança se $S_k \cong 0$, porque em séries aleatórias, o desvio da média será distribuído em ambos os lados da média da série. A significância da mudança pode ser avaliada calculando o intervalo ajustado de redimensionamento (R) usando a seguinte equação:

$$R = \text{Max}(S_k) - \text{Min}(S_k) / \bar{x} \quad (2)$$

O valor calculado R/\sqrt{n} é comparado com valores críticos dados por Buishand (1982) e Winingaard *et al.* (2003) e tem sido utilizado para detecção de possível alteração (Tabela 2) (JAISWAL *et al.*, 2015). No caso a Tabela 2 do trabalho de Jaiswal *et al.* (2015) é retratada na Figura 6.

Figura 6 – Tabela de valores críticos dos diferentes testes estatísticos para detecção de ponto de mudança

Tabela 2 - Valores críticos de testes estatísticos para diferentes testes para detecção de ponto de mudança								
Número de observação	Valores críticos para teste estatístico para diferentes níveis de significância							
	Pettitt		SNHT		Buishand Range (R/n ^{0,5})		von Neumann Ratio test	
	1%	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%
20	71	57	9,56	6,95	1,60	1,43	1,04	1,30
30	133	107	10,45	7,65	1,70	1,50	1,20	1,42
40	208	167	11,01	8,10	1,74	1,53	1,29	1,49
50	293	235	11,38	8,45	1,78	1,55	1,36	1,54
70	488	393	11,89	8,80	1,81	1,59	1,45	1,61
100	841	677	12,32	9,15	1,86	1,62	1,54	1,67

Fonte: (JAISWAL et al., 2015).

b) Pettitt test

O Pettitt test trata-se de um teste não-paramétrico capaz de detetar o mês ou o ano onde um possível *break* tenha ocorrido. Este teste assume a mesma hipótese nula e alternativa do Buishand Range Test e apresenta-se, igualmente mais sensível, a *breaks* que ocorram no meio da série (MONTEIRO, 2021).

Ainda de acordo com Monteiro (2021), as classificações r_1, \dots, r_n de Y_1, \dots, Y_n são utilizados para calcular as estatísticas:

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad (3)$$

Para $k=1, \dots, n$

Se ocorrer um *break* no ano/mês K , X_k assume um valor máximo ou mínimo perto do ano/mês $k = K$.

$$X_k = \max |X_k| (1 \leq k \leq n) \quad (4)$$

c) Standard Normal Homogeneity Test (SNHT)

É um teste de probabilidade e segue a mesma hipótese nula e alternativa que o Buishand Range Test com a exceção de que apresenta uma maior sensibilidade a *breaks* perto do início ou do fim da série (MONTEIRO, 2021).

Ainda de acordo com Monteiro (2021), Alexandersson e Moberg em 1997 melhorou (sic) o método deste teste para conseguir detetar tendências (SNHT com tendência) e propôs uma estatística $T(k)$. Esta estatística compara as médias entre os primeiros k anos/meses registados com os últimos $n - k$ anos meses [...], do seguinte modo,

$$T(k) = k\bar{z}^2_1 + (n - k)\bar{z}^2_2 \quad (5)$$

Para $k=1, \dots, n$ e na qual

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})/s \quad (6)$$

e

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y})/s \quad (7)$$

Na qual,

$$s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (8)$$

Se ocorrer um break no ano/mês K , então $T(k)$ atinge um máximo perto do ano/mês $k = K$. Esse teste estatístico T_0 é definido como:

$$T_0 = \max T(k) (1 \leq k \leq n) \quad (9)$$

A hipótese nula deste teste é rejeitada se T_0 se encontrar abaixo de um certo nível, tendo em conta o tamanho da amostra, conforme tabela constante da Figura 6, na página 53, retirada do artigo da JAISWAL et al (2015).

Bartels's test for randomness (VERETEL'NIKOVA; LEMESHKO, 2014)

Suponha que na sequência de n medições R_i seja o posto i da observação x_i . Bartels [...] ofereceu um teste de classificação de aleatoriedade de séries com base em estatísticas

$$B = \sum_{i=1}^{n-1} (R_i - R_{i+1})^2 / \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \quad (10)$$

A hipótese H_0 em teste é rejeitada em geral nos valores de módulo das estatísticas

$$B = B - 2/2\sqrt{5/(5n + 7)} \quad (11)$$

que na ausência da tendência obedece aproximadamente à lei normal padrão.

d) Wallis and Moore Phase-Frequency test (1941)

De acordo com informação registrada no sítio eletrônico <https://rdrr.io/cran/trend/man/wm.test.html>, este é um teste não paramétrico de frequência de fase utilizado para testar a hipótese H_0 , se a série compreende dados aleatórios, contra a hipótese H_A , de que a série é significativamente diferente da aleatoriedade (teste bilateral).

Ainda de acordo com o conteúdo do referido sítio eletrônico, o teste estatístico de fase-frequência para $n > 30$ é calculado conforme:

$$z = \left| h - \frac{2n-7}{3} \right| / \sqrt{\frac{16n-29}{90}} \quad (12)$$

Na qual h denota o número de fases, considerando que a primeira e a última fases não são contabilizadas. A estatística z é normalmente distribuída. Para $n \leq 30$ uma correção de continuidade de $-0,5$ é incluída no denominador.

e) Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975)

Os estudiosos Mann-Kendall propuseram para a análise de tendência em uma série temporal de dados de precipitação o teste não paramétrico de Mann-Kendall. As séries de dados de períodos longos podem não seguir uma determinação sobre a forma da distribuição considerando-a uma análise não paramétrica. (FERNANDES *et al.*, 2022).

A Equação 13 apresenta a estatística de teste de Mann-Kendall, que considera a hipótese nula (H_0) de que os dados vêm de uma população na qual as variáveis aleatórias são independentes e identicamente distribuídas, enquanto a hipótese alternativa (H_1) representa a existência de tendência monotônica. Nas Equações 13 e 14, S é a estatística de teste de Mann-Kendall, no tamanho da amostra, sgn é o sinal da diferença de valores [...] subsequentes. Nas equações 15 e 16, $E[S]$ é a média de S , p é o número de grupos amarrados (conjunto de dados da amostra com os mesmos

valores) e t_j é o número de dados do grupo amarrado de ordem j . Z (Equação 17) é a estatística de teste para amostrar com $n > 10$, que se aproxima da distribuição normal. (VILANOVA, 2014).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (13)$$

$$\text{sgn}(x) = \{+1, x > 0, 0, x = 0, -1, x < 0\} \quad (14)$$

$$E[S]=0 \quad (15)$$

$$\text{Var}[S] = \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5) \right\} / 18 \quad (16)$$

$$Z = \left\{ \frac{S-1}{\text{Var}(S)^{0,5}}, \text{para } S > 0, \text{para } S = 0 \frac{S+1}{\text{Var}(S)^{0,5}}, \text{para } S < 0 \right\} \quad (17)$$

De acordo com o conteúdo apresentado por Gutierrez (2022), o método de análise de Mann-Kendall apresenta duas hipóteses:

- f) H_0 (hipótese nula): Não há tendência nos dados;
- g) H_A (hipótese alternativa): Há tendência nos dados.

A equação da estatística de S é dada por:

$$S = \sum_{t'=1}^{N-1} \sum_{t=t'+1}^N y_t \quad (18)$$

No caso da equação apresentada por Gutierrez (2022), o índice y_t refere-se a somatória dos resultados de uma nova série de valores variando entre -1, 0 e 1; estabelecidos conforme os resultados obtidos na série de diferenças $(X_i - X_j)$, que no caso das equações de Vilanova (2014) seria $(X_j - X_k)$. O índice N representa o número de dados contidos na série estudada e t os registros de precipitação.

O processo de construção do método se inicia com a determinação da diferença das séries subsequentes, referente ao primeiro registro de precipitação anual da série histórica estudada e a precipitação anual de cada ano.

Partindo dos resultados encontrados, procede-se com a conversão da série ordenada (X_i, X_j) , em uma nova série com valores 1, 0 e -1, conforme segue:

$$\begin{aligned} \text{Se } (X_i - X_j) > 0 &\longrightarrow 1 \\ \text{Se } (X_i - X_j) = 0 &\longrightarrow 0 \\ \text{Se } (X_i - X_j) < 0 &\longrightarrow -1 \end{aligned} \quad (19)$$

Concluída a conversão dos resultados para os parâmetros 1, 0 e -1, efetua-se a somatória dos resultados para a obtenção de S e uma vez determinado esse valor é estabelecido o coeficiente m, conforme segue:

Se $S > 0$, $m = -1$

Se $S = 0$, $m = 0$ (20)

Se $S < 0$, $m = 1$

A determinação da variância nessa versão envolve somente o número de registros de precipitação que compõem a série estudada, conforme a seguinte equação:

$$Var[S] = \{N(N - 1)(2N + 5)\}/18 \quad (21)$$

Para a determinação do parâmetro Z, de estatística de teste [que se assume com uma distribuição N (0,1), proveniente de uma soma], a equação aplicada é:

$$Z = \frac{S-m}{\sqrt{Var(S)_{0,5}}} \quad (22)$$

Para determinação do nível de significância de eventual tendência, adotou-se o limite de 5%, deste modo $\alpha=0,05$. Por intermédio do valor de alpha, será determinado $U_{1-\alpha/2}$, que é o quantil $(1- \alpha/2)$ da distribuição normal padrão.

Uma vez conhecidos Z e $U_{1-\alpha/2}$, determina-se se a série histórica estudada apresenta tendência, assim, caso o módulo de $|Z| > U_{1-\alpha/2}$ é rejeitada a hipótese de ocorrência de H_0 .

f) Teste estimador de Sen's Slope (1968)

De acordo com Matos (2022), o Estimador Sen's Slope (Sen 1968) é uma opção da estatística não-paramétrica para determinar a taxa de variação de parâmetros em séries temporais, usado geralmente em conjunto com o Teste de Mann-Kendall (MANN 1945; KENDALL, 1975).

Ainda de acordo com Matos (2022), quando uma tendência é demonstrada usando o teste de Mann-Kendall e a tendência tem aspecto linear, o Estimador Sen's Slope pode ser utilizado para estimar a inclinação da tendência em conjunto de dados

de uma série temporal; sendo que esse determina a magnitude da inclinação da reta pelo cálculo da mediana das inclinações de todas as linhas entre cada par de pontos de uma série temporal que pode apresentar uma tendência positiva ou negativa, estatisticamente significativa no Teste Mann-Kendall.

Por fim, Matos (2022) descreve que:

Este teste calcula a taxa linear de mudança, ou seja, a inclinação e os níveis de confiança de um conjunto de inclinações lineares é (sic) calculado para todos os pares de pontos ordenado da seguinte forma:

$$d_k = (x_j - x_i) / (j - i) \text{ para } i < j \quad (23)$$

d é a inclinação;

x denota a variável;

k é o número de pares de pontos da série temporal;

i, j são índices para os pares de dados

A inclinação é então calculada como a mediana de todas as inclinações:

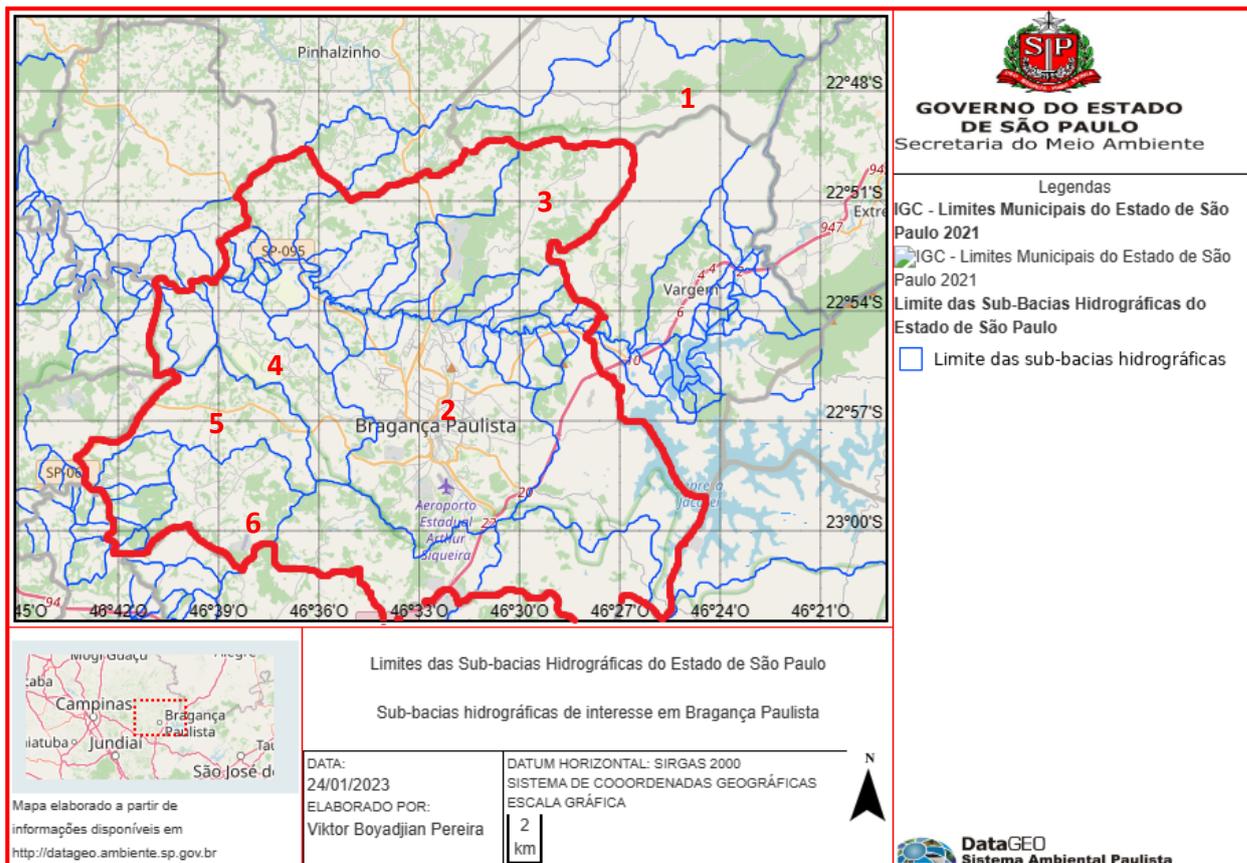
$med = \text{mediana}(d_k)$.

Esta função também calcula o intervalo de confiança superior e inferior para a inclinação sensível com base no nível de confiança escolhido.

5.3 DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA, APURAÇÃO DE DEMANDAS PRESENTES E BALANÇO HÍDRICO DAS PRINCIPAIS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO

Considerando que a análise de disponibilidade deste estudo tem foco em identificar a viabilidade para eventual complementação e/ou substituição de manancial para abastecimento público, após análise visual das maiores sub-bacias hidrográficas contidas no município de Bragança Paulista, foram selecionadas seis, elencadas no Quadro 2, sendo a referida análise desenvolvida sobre a camada de informações denominada “Limites das sub-bacias do Estado de São Paulo” disponível no Sistema Ambiental Paulista - DATAGEO, ilustrado na Figura 11, sendo os números indicativos de cada sub-bacia identificados no Quadro 2.

Figura 11 – Sub-bacias Hidrográficas do município de Bragança Paulista



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Quadro 2 – Principais sub-bacias hidrográficas de Bragança Paulista em superfície

Nº	Denominação da Bacia	Rio Principal	Margem afluente	Municípios abrangidos	Área de Contribuição (Km ²)
1	Ribeirão das Araras	Jaguari	direita	Pedra Bela (75,406Km ²); Pinhalzinho (13,686 Km ²) e Bragança Paulista (35,128 Km ²)	124,220
2	Ribeirão Lavapés		esquerda	Bragança Paulista	97,505
3	Ribeirão dos Curitibanos		direita	Bragança Paulista	53,489
4	Ribeirão do Campo Novo		esquerda	Bragança Paulista	36,169
5	Ribeirão da Fazenda Velha	Atibaia	direita	Bragança Paulista (40,642 Km ²) e Itatiba (25,675 Km ²)	66,317
6	Ribeirão do Mato Dentro		direita	Bragança Paulista (35,690 Km ²) e Atibaia (7,347 Km ²)	43,037

Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Para essas sub-bacias hidrográficas foram desenvolvidos estudos sobre a disponibilidade hídrica, as demandas existentes e sobre as condições de uso e ocupação do solo. Nesse contexto, não foi objeto de análise a bacia hidrográfica a montante do ponto de captação superficial atualmente explorada, podendo tal questão ser objeto de estudos futuros.

Definidas as sub-bacias hidrográficas de maior superfície de contribuição, foram determinadas as vazões características de cada uma dessas nos seguintes cenários:

- a) Considerando o cálculo automático do Programa de Regionalização Hidrológica, com o banco de dados original, com base em registros de precipitações até o ano 2000;
- b) Simulando a precipitação média anual para o período de 1970 a 2019 determinado por intermédio do Método dos Polígonos de Thiessen;
- c) Considerando as precipitações das décadas de 2000 e 2010, em razão da redução sequencial de 5,87% e 6,16% em relação à média plurianual de 50 anos, situação ratificada pela indicação de tendência de queda das precipitações anuais, apuradas para o período de 1998 a 2019 do satélite TRMM, mediante a aplicação dos testes múltiplos propostos por JAISWAL et al (2015).
- d) A simulação de cada cenário no programa de regionalização hidrológica foi conduzida mediante a inserção das coordenadas geográficas da foz de cada sub-bacia, da medida de área da bacia de contribuição desses pontos de interesse, e das precipitações médias anuais.
- e) Sendo alimentadas essas variáveis, foram obtidas as vazões médias e mínimas, volumes de regularização intra-anual e curvas de permanência;
- f) Foi levantado o banco de usos cadastrados para cada município indicado no Quadro 2, informação essa consultada no endereço eletrônico (SÃO PAULO, 2022).

Para seleção dos usos pertinentes a cada sub-bacia procedeu-se conforme segue:

- a) Para os usos superficiais foram consultadas as Cartas Topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, disponíveis no sítio eletrônico <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>, de modo a identificar a denominação dos cursos d'água contidos em cada bacia hidrográfica;
- b) Para as águas subterrâneas, foram identificados os limites das coordenadas ao qual cada bacia estava contida, de modo a segregar os usos do aquífero freático e do Cristalino fraturado, existentes nessa área de superfície;
- c) Para determinação das vazões diárias demandadas, para cada uso foram multiplicadas as vazões horárias pelo período de uso diário outorgado, de modo que o balanço hídrico fosse determinado na mesma base, uma vez que o período de operação de cada uso varia conforme o que consta em cada outorga concedida;
- d) Consolidadas as informações sobre os usos por sub-bacia hidrográfica procedeu-se com os balanços hídricos e com a determinação das vazões remanescentes e do índice de stress hídrico.

5.4 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS DEMANDAS DE ÁGUA POR SUB-BACIA HIDROGRÁFICA

Para determinação das demandas de usos de captações superficiais e subterrâneas e de lançamentos superficiais, foi consultado o banco de dados de usos cadastrados no DAEE, assim como, foram consideradas as implantações autorizadas, visto que tal permissão retrata uma quantidade de água que, a partir de determinado momento, passará a ser demandada.

De posse das relações de usos, foram segregadas, por sub-bacia, as captações e lançamentos superficiais, e as captações subterrâneas nos aquíferos freático (raso), Cristalino Fraturado (profundo livre), e posteriormente foi procedida a organização dos registros de informação conforme segue:

Tipos de usuário: Aquicultor; Criador; Construtor; Industrial; Irrigante; Loteador; Minerador; Pecuarista; Solução alternativa (I – abastecimento particular, II – abastecimento por caminhão tanque); Uso rural e Uso urbano.

Para cada tipo de usuário foi avaliada a finalidade do uso a que se destinava a água, conforme segue:

Finalidades de uso identificadas: Dessedentação; Doméstico; Industrial; Irrigação; Hidroagricultura; Lazer/paisagismo; Piscicultura; Rega de jardim; Rural; Sanitário; Sistema alternativo de abastecimento particular; Outros (não definido).

Para cada tipo de usuário foram apuradas a vazão diária captada e sua representatividade, em relação ao todo captado ou lançado.

5.5 ANÁLISE QUALITATIVA

A avaliação qualitativa foi desenvolvida por intermédio do estudo dos registros de monitoramento da CETESB publicados para quatro pontos da bacia hidrográfica do Rio Jaguari, com o fim de compreender os aspectos antrópicos interferentes na qualidade das águas do município.

As informações foram consultadas nas publicações do Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo (CETESB) para o período compreendido entre 2016 a 2020, para os quais foram compilados e tabelados os resultados do Índice de Qualidade das Águas (IQA) e do Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público (IAP), de quatro postos de monitoramento existentes no município, construindo um quadro evolutivo da performance desses indicadores, e identificando as ocorrências de qualidade ruim ou péssima e os fatores que causaram tais resultados.

Em complemento, foram consultados e compilados os registros da matriz de enquadramento de qualidade das águas registrados no Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2020-2035, referente às concentrações dos parâmetros atuais (2020) para vazão de referência $Q_{7,10}$ para os parâmetros de Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Fósforo e Coliformes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 APURAÇÃO E ANÁLISE DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS DO MUNICÍPIO

6.1.1 Levantamento dos registros dos postos pluviométricos adotados, análise de consistência e preenchimento de falhas

O objetivo da instalação de um posto de medição de chuvas é obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos. Ao longo do tempo podem ocorrer erros de medição ou pode ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com os aparelhos de registro ou com o operador do posto. A análise de consistência é uma forma de identificar e, eventualmente, corrigir alguns erros e falhas desse tipo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2003).

Foi identificado, durante a análise de consistência dos dados, que os sete postos pluviométricos adotados, continham falhas pontuais e, em algumas circunstâncias, contínuas, conforme registrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Identificação das falhas de registro apuradas e preenchidas por regressão linear

Posto Pluviométrico	Nº de falhas apuradas	Concentração de falhas (por ano)	Forma de preenchimento de falhas
D3-018 (Vargem)	26	2018 (6) e 2019 (5)	Regressão linear: Posto D3-035 (décadas 1980 e 1990) Posto D3-063 (décadas 2000 e 2010)
D3-063 (Bragança Paulista)	43	09/1995 a 09/1997	Regressão linear Posto D3-018 (Vargem)
D3-035 (Pedra Bela)	68	10/1998 a 10/1996 e 09/1997 a 11/2006	Regressão linear Posto D3-018 (Vargem)
D3-046 (Morungaba)	33	4 trimestres distintos nos anos de 1984, 1986, 1989 e 2019	Regressão linear Posto D3-018 (Vargem)
D3-069 (Campinho)	37	Inexistência de dados de 1970 e de 11/2014 a 05/2015	Regressão linear Posto E3-074 (Atibaia)
E3-074 (Atibaia)	58	09/2003 a 03/2004; 01/2008 a 05/2009 e 03 a 12/2019	Regressão linear D3-069 (Campinho)
E3-229 (Crioulos)	84	01 a 09/1970; 08/1984 a 01/1985; 10/2004 a 10/2006; 09/2007 a 05/2009	Regressão linear Posto E3-074 (Atibaia)

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022).

Após terem sido efetuados os trabalhos de análise de consistência e preenchimento de falhas, mediante a aplicação de equações de regressão linear a cada década, na qual os registros dessa etapa encontram-se lançados no Anexo III deste estudo, foram compiladas as informações que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados apurados a partir da análise de consistência e preenchimento de falhas

Posto pluviométrico	Média anual original (mm)	Precipitação anual corrigida (mm)			Precipitação média por década - corrigido (mm)				
		mínima	média	máxima	1970 - 1979	1980 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2009	2010 - 2019
D3-063	1481,29	641,20	1513,26	2494,70	1515,08	1568,92	1650,65	1403,82	1427,81
D3-018	1524,57	1023,38	1544,83	2422,10	1456,94	1634,61	1623,61	1578,25	1430,75
D3-035	1511,78	1106,10	1607,11	2919,10	1651,24	1811,59	1605,53	1444,36	1522,82
D3-046	1503,27	911,21	1576,40	2700,33	1515,62	1739,37	1643,61	1601,89	1381,53
D3-069	1220,09	338,86	1228,55	2330,10	1117,86	933,12	1310,33	1416,06	1365,41
E3-074	1531,43	1022,60	1565,86	2358,90	1457,12	1634,77	1721,45	1390,21	1625,75
E3-229	1477,78	704,80	1485,78	2321,77	1432,97	1460,09	1605,51	1478,05	1452,26

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022a).

A coluna denominada “Média anual original” refere-se à somatória das chuvas médias mensais da série histórica de cada posto pluviométrico, desde o início de suas operações, informação essa registrada no próprio sítio eletrônico do DAEE.

No conjunto de colunas “precipitação anual corrigida”, após o preenchimento de falhas mediante ao emprego do método de regressão linear, são trazidos: a nova média de precipitação anual, a menor precipitação anual registrada em cinco décadas e a maior precipitação anual apurada no mesmo período.

As colunas do conjunto denominado “precipitação média por década” trazem as médias para cada decênio, com a finalidade de ilustrar e verificar a evolução de ocorrência de chuvas a cada ciclo.

Há que ser destacado que em face dos resultados apurados para o posto pluviométrico D3-069 (Bairro Campinho) serem muito distintos, como sua precipitação média anual estando 21% a menor em relação à média dos outros seis postos, assim como a precipitação mínima anual registrando acumulado 73% inferior a média mínima dos demais postos pluviométricos, definiu-se por descartar esse posto pluviométrico da construção dos Polígonos de Thiessen.

6.2 DETERMINAÇÃO DA CHUVA MÉDIA DO MUNICÍPIO, NAS BACIAS DOS RIO JAGUARI E ATIBAIA EM BRAGANÇA PAULISTA – MÉTODO DOS POLÍGONOS DE THIESSEN

Com a delimitação dos Polígonos de Thiessen foram encontrados os resultados indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Determinação das precipitações anuais médias por período

Polígono	Área (Km ²)	Percentual da bacia (%)	Posto pluviométrico de influência	Precipitações Anuais Médias (mm)					
				1970 - 2019	Década 1970	Década 1980	Década 1990	Década 2000	Década 2010
1	433,57	84,26%	D3-063	1513,23	1515,08	1568,92	1650,65	1403,82	1427,81
2	14,70	2,86%	D3-046	1576,40	1515,62	1739,37	1643,61	1601,89	1381,53
3	19,30	3,75%	D3-046	1576,40	1515,62	1739,37	1643,61	1601,89	1381,53
4	0,45	0,09%	E3-074	1565,86	1457,12	1634,77	1721,45	1390,21	1625,75
5	0,86	0,17%	E3-074	1565,86	1457,12	1634,77	1721,45	1390,21	1625,75
6	4,12	0,80%	E3-229	1485,78	1432,97	1460,09	1605,51	1478,05	1452,26
7	2,95	0,57%	E3-229	1485,78	1432,97	1460,09	1605,51	1478,05	1452,26
8	10,48	2,04%	D3-018	1544,83	1456,94	1634,61	1623,61	1578,25	1430,75
9	3,27	0,64%	D3-018	1544,83	1456,94	1634,61	1623,61	1578,25	1430,75
10	23,31	4,53%	D3-018	1544,83	1456,94	1634,61	1623,61	1578,25	1430,75
11	1,55	0,30%	D3-035	1607,11	1651,24	1811,59	1605,53	1444,36	1522,82
Total	514,56	100,00%	Média	1519,72	1510,06	1584,32	1647,66	1430,58	1426,09
				Varição	-0,64%	4,25%	8,42%	-5,87%	-6,16%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022a).

Foram determinadas as áreas e proporção em relação a área total do município, estabelecendo-se os pesos a serem multiplicados pelas precipitações anuais médias relativa ao posto pluviométrico incidente em cada um desses, constantes da Tabela 2.

Nessa Tabela 2 na primeira coluna são indicados cada um dos polígonos delimitados, sendo seguida pelos dados da coluna dois na qual foram relacionadas as áreas delimitadas de cada um dos polígonos. Foi apurada uma divergência entre a área real do município, qual seja, de 512,584 Km² e a somatória de áreas medidas com o Google Earth Pro que resultou em 514,56 Km² (erro de 0,33%), contudo, como o estudo da pluviometria se dará com base na proporção percentual de cada parte sobre o todo da superfície delimitada, tal erro não será representativo.

Considerando que a determinação da precipitação média por este método é determinada por um cálculo ponderal, na terceira coluna consta a proporção de cada subárea em relação a área total.

A quarta coluna destina-se à indicação sobre a que posto pluviométrico é incidente sobre a respectiva área indicada na coluna dois.

Entre a quinta e a décima colunas são apresentados os resultados das precipitações médias anuais de cada posto pluviométrico para os seguintes períodos: plurianual de 50 anos e para as décadas de 1970, 1980, 1990, 2000 e 2010.

Por fim, nos campos preenchidos com a cor verde estão apresentadas as precipitações médias anuais para o município, resultantes da aplicação do Método dos Polígonos de Thiessen, para o mesmo período plurianual de 50 anos e para as mesmas décadas indicadas no item anterior.

Isto posto, com exceção das décadas de 1980 e 1990, as demais décadas registraram chuvas próximas à média, porém abaixo dessa referência, com resultados variando entre 0,64% a 6,16% negativos.

Em decorrência das médias pluviométricas anuais das duas últimas décadas terem resultado inferiores à média de 50 anos, procedeu-se com a aplicação de testes estatísticos e probabilísticos para identificar a existência de tendência significativa de decréscimo das precipitações registradas em cada um dos postos pluviométricos utilizados e, complementarmente, se há mudança da média de precipitação.

Considerando que a tendência negativa das duas últimas décadas pode representar o efeito das mudanças climáticas, o exercício de comparar os resultados dos balanços hidrológicos terá por finalidade avaliar o critério de uso prático da ferramenta de Regionalização Hidrológica para um cenário tradicional, com base na média histórica até 2000, e um cenário mais crítico, representado pela redução no índice de precipitação nas duas últimas décadas, medida essa inclusive para aplicação em estudos para solicitação de outorgas.

Complementarmente à análise de tendência e detecção de mudança em relação aos registros dos postos pluviométricos, para o histórico de 1970 a 2019, foi igualmente aplicada tal análise aos registros de precipitações apurados no período de 1998 a 2019 pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) da National Aeronautics and Space Administration (NASA), nos pontos onde estão situados os postos pluviométricos que suportam este estudo.

6.3 RESULTADOS DOS TESTES MÚLTIPLOS APLICADOS

Considerando que a aplicação dos testes de detecção de mudança e de análise de tendência serão aplicados sobre os registros de precipitações anuais dos seis postos pluviométricos adotados, assim como, para os registros do Satélite TRMM (NASA) nas

mesmas coordenadas dos postos pluviométricos, a forma de apresentação dos resultados dos testes será por ponto de estudo.

Necessário ressaltar que a análise retratará resultados em condições distintas, considerando que os registros anuais dos postos pluviométricos abrangem um período de cinquenta anos (1970 a 2019), e os registros do satélite abrangem um período mais curto, de vinte e dois anos (1998 a 2019), e sendo mais recente, ilustrará um período na qual as condições de mudanças climáticas caracterizadas por eventos extremos, chuvas intensas e estiagens prolongadas, foram mais presentes, principalmente na década de 2010.

6.3.1 Resultados dos testes de análise de tendência e de ponto de mudança para os postos pluviométricos

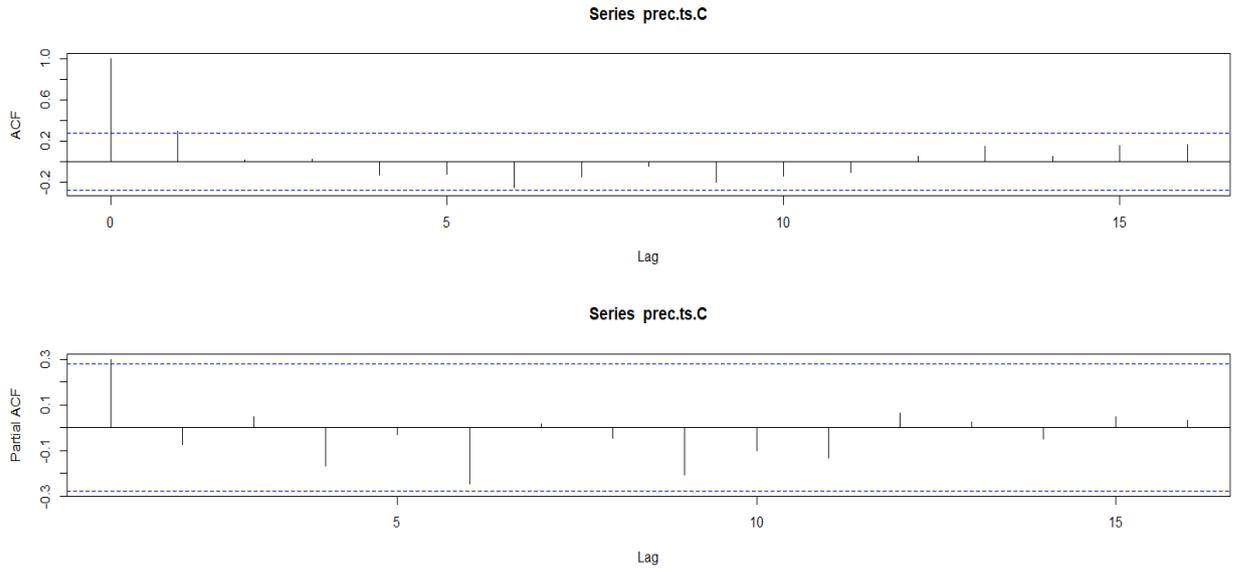
O teste não paramétrico Mann-Kendall (MK) é popularmente utilizado para determinar a significância estatística da tendência de séries temporais hidrológicas, como é o caso da precipitação. [...] Antes de aplicar este teste, é necessário perceber, se os dados se encontram ou não correlacionados no período de tempo registrado (MONTEIRO, 2021).

Para essa análise são gerados gráficos de funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, de modo a verificar a condição de aleatoriedade da série de registros anuais de precipitação ou identificar eventuais tendências ou sazonalidades.

Para interpretação desse resultado, em leitura ao correlograma o eixo vertical representa o nível de autocorrelação entre os dados e o eixo horizontal a defasagem entre os registros (lag), e considera-se que as linhas tracejadas azuis representam os limites do teste de significância, isto posto, se o gráfico ACF demonstrar que os registros permaneceram dentro desses limites, os resultados não são significativos, o que indica que a série é aleatória, assim, os resultados indicam que a série é homogênea, não apresentando tendência ou sazonalidade.

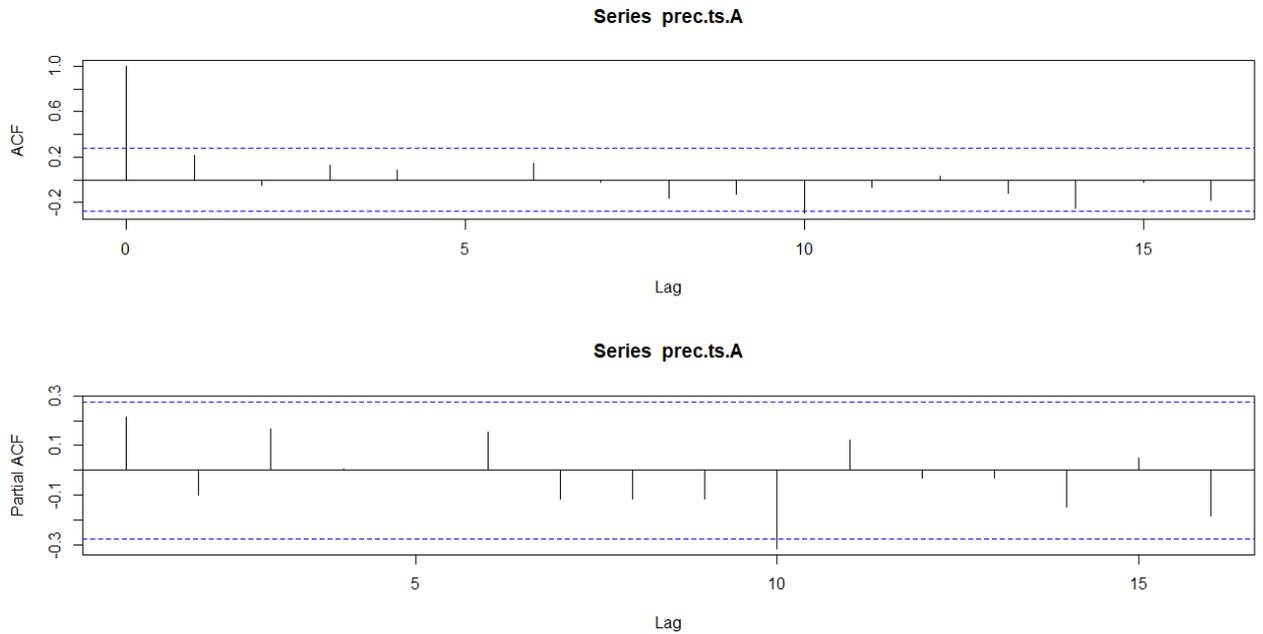
Nas Figuras 12 a 17 são apresentados os correlogramas gerados para os registros dos seis postos pluviométricos estudados, sendo que sua defasagem (lag), relacionada à série de cinquenta anos, está estabelecida em intervalos de 3 anos, sendo o marco 0 representado por 1970, o marco 5 por 1985, o marco 10 por 2000 e o marco 15 pelo ano de 2015.

Figura 12 – Correlograma – Posto Pluviométrico de Crioulos (Piracaia)



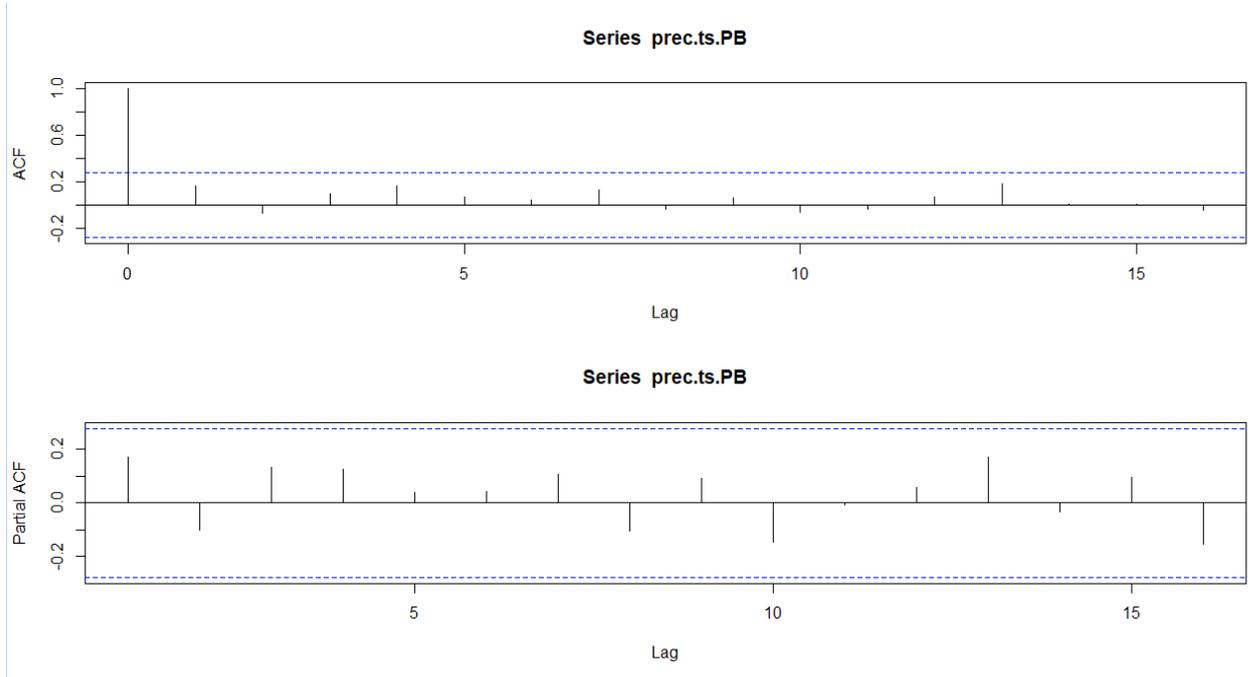
Fonte: Programa R (2023).

Figura 13 – Correlograma – Posto Pluviométrico de Atibaia



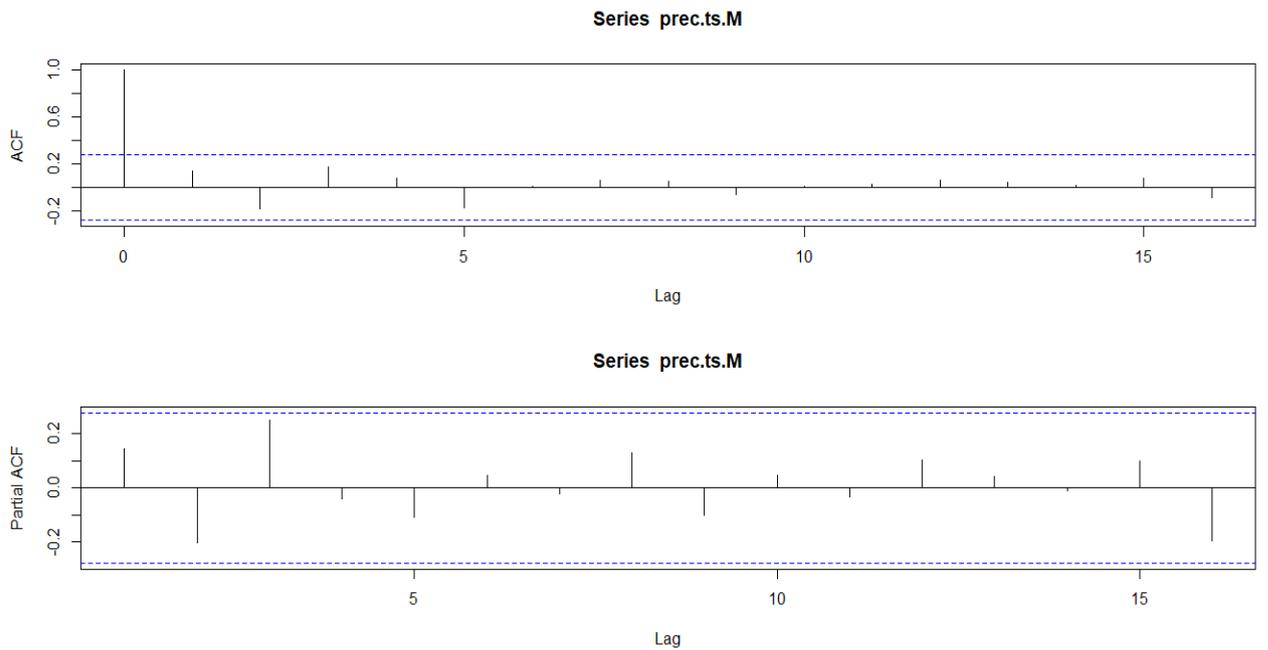
Fonte: Programa R (2023).

Figura 14 – Correlograma – Posto Pluviométrico de Pedra Bela



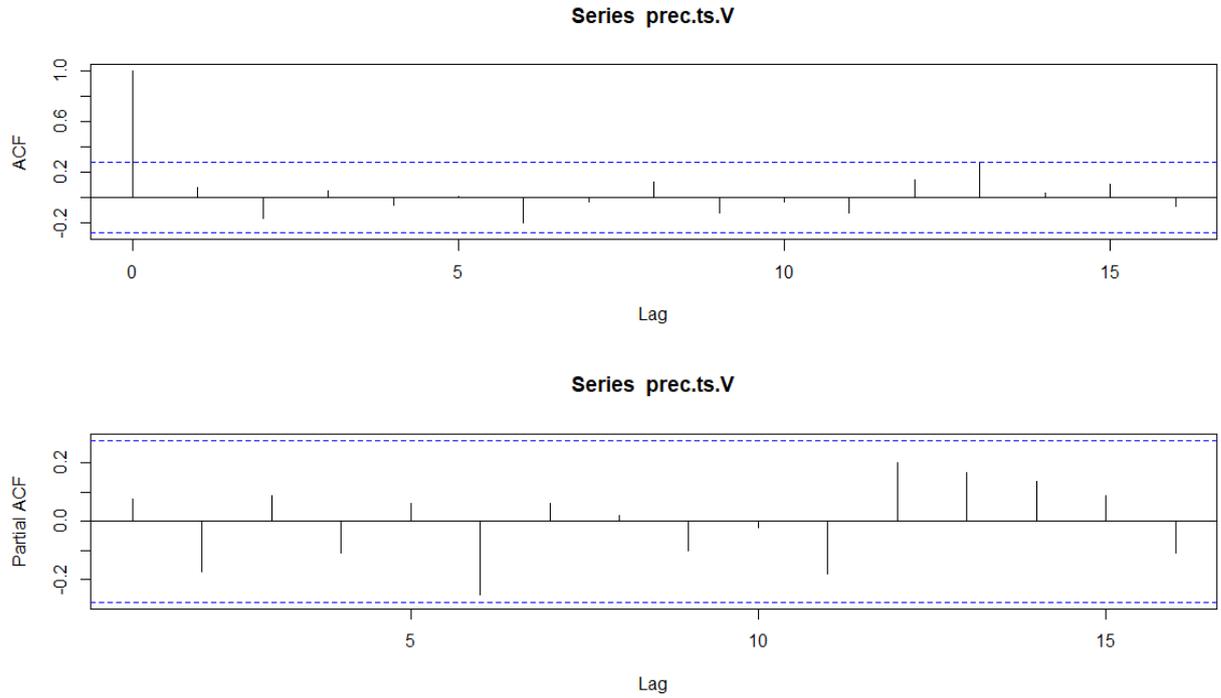
Fonte: Programa R (2023).

Figura 15 – Correlograma – Posto Pluviométrico de Morungaba



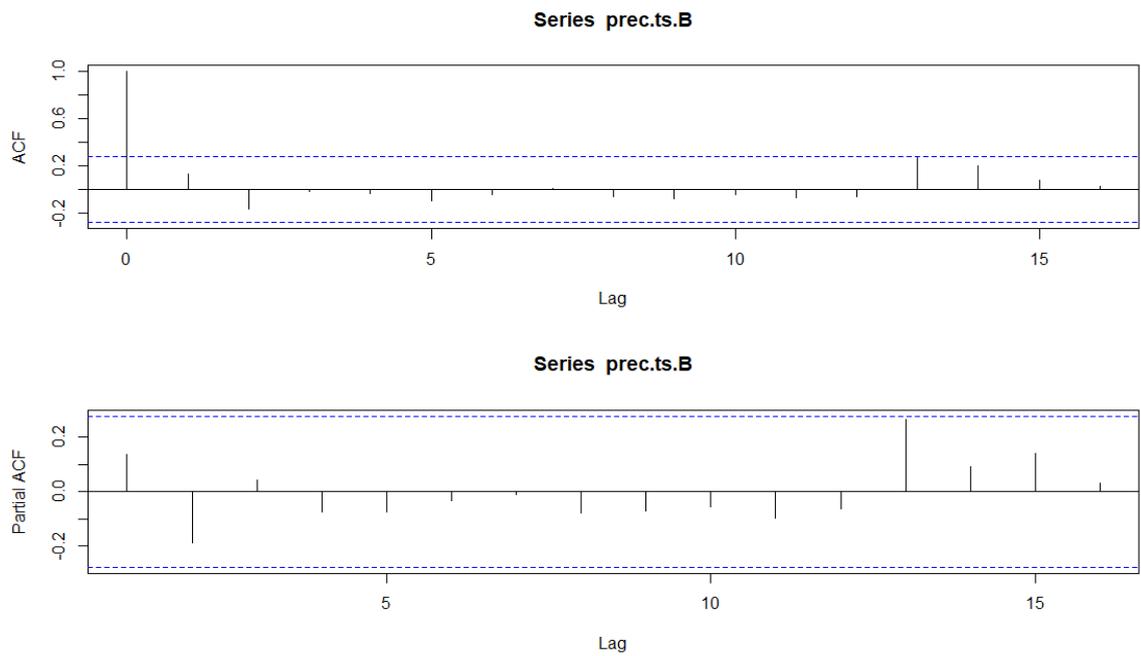
Fonte: Programa R (2023).

Figura 16 – Correlograma – Posto Pluviométrico de Vargem



Fonte: Programa R (2023).

Figura 17 – Correlograma – Posto Pluviométrico de Bragança Paulista



Fonte: Programa R (2023).

Para interpretação desses resultados, considera-se que as linhas tracejadas azuis representam os limites do teste de significância, isto posto, uma vez que os gráficos ACF de cinco dos postos pluviométricos demonstram que os registros de precipitações anuais permaneceram dentro desses limites, os resultados não são significativos, o que indica que as séries de 50 anos desses postos pluviométricos são aleatórias, assim, os resultados apontam que essas séries são homogêneas, não apresentando tendência ou sazonalidade.

A exceção se deu por conta do registro pontual sinalizado no ano 2000 para o posto pluviométrico de Atibaia, cujo traço do limite tracejado inferior foi ultrapassado, devendo ser esse ponto observado nos resultados dos outros testes como eventual sinalização de tendência descendente.

O que se observa é que para o período compreendido entre 1970 a 2000 a precipitação média desse posto de Atibaia era de 1607,51 mm, e de 2000 a 2019 essa média foi reduzida para 1507,98 mm (-6,19%), situação essa compatível com os resultados encontrados na determinação das médias pluviométricas decenais de 2000 e 2010, conforme indicado na Tabela 2 (página 64).

Conforme indicado na Tabela 3, não foi identificada tendência significativa em nenhuma das séries históricas de cinquenta anos dos seis postos pluviométricos, isto posto, a sinalização pontual indicada no correlograma do posto pluviométrico de Atibaia, para o ano de 2000, não foi compatível com o resultado apurado mediante aplicação do teste de Mann-Kendall, visto que a Hipótese H0 não foi rejeitada, isto é, as séries estudadas, quando aplicado o teste de Mann-Kendall indica que a amostra é homogênea.

Tabela 3 – Resultados dos testes de Mann-Kendall sobre os registros dos postos pluviométricos

Posto pluviométrico	Teste de tendência de Mann-Kendall (1970 - 2019)		
	Teste Estatístico (S)	p valor	Tendência
E3-229 (Crioulos)	2,3 e ⁰¹	0,8540	S > 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
E3-074 (Atibaia)	6,5e ⁰¹	0,5924	S > 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-035 (Pedra Bela)	-195	0,1046	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-046 (Morungaba)	-113	0,3488	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-018 (Vargem)	7	0,9600	S > 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-063 (Bragança Pta)	-79	0,5141	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa

Fonte: Programa R (2023).

Não obstante a aplicação do teste de Mann-Kendall tenha sinalizado que nenhuma das séries apresenta tendência significativa, a aplicação do estimador Sen's Slope indicou que em metade dos postos pluviométricos a linha de tendência apresenta coeficiente angular descendente (Pedra Bela, Morungaba e Bragança Paulista).

Tabela 4 – Resultados dos testes de Sen's Slope sobre os registros dos postos pluviométricos

Posto pluviométrico	Teste de Sen's Slope - Postos pluviométricos			
	Teste Estatístico (z)	p valor	Tendência	Coefficiente angular
E3-229 (Crioulos)	0,184	0,854	95%	0,85
E3-074 (Atibaia)	0,535	0,592	95%	1,47
D3-035 (Pedra Bela)	-1,622	0,105	95%	-3,94
D3-046 (Morungaba)	-0,936	0,349	95%	-2,26
D3-018 (Vargem)	0,050	0,960	95%	0,10
D3-063 (Bragança Pta)	-0,652	0,514	95%	-1,15

Fonte: Programa R (2023).

A partir da aplicação da metodologia de usos múltiplos de testes proposta por Jaiswal *et al.* (2015), apurou-se que as séries de registros pluviométricos de Morungaba, Vargem e Bragança Paulista não registraram nenhum teste a rejeitar a hipótese nula com 5% de nível de segurança, e Atibaia registrou rejeição à hipótese nula somente no Teste de Aleatoriedade de Bartels, isto posto, para esses quatro postos pluviométricos consideram-se as séries homogêneas (SH), sem tendência significativa.

Observou-se ainda que a aplicação dos múltiplos testes na série de registros de precipitações anuais de Piracaia (Crioulos) apresentou dois de cinco testes, quais sejam SNHT e Bartels's (aleatoriedade), com resultado inferior ao nível de significância de 5%, ou seja, essa série configura-se como duvidosa (SD).

Por fim, os testes aplicados para o posto de Pedra Bela indicam que a série não é homogênea, uma vez que quatro dos cinco testes rejeitaram a hipótese nula. Neste caso, constata-se que o teste de Mann-Kendall e o correlograma de Pedra Bela encontram divergência de resultado com os testes de ponto de mudança e de aleatoriedade, contudo, em face do maior número de resultados indicando que a série é heterogênea, será considerada rejeitada a hipótese nula e o resultado como ponto de mudança (PM).

O ponto de mudança indicado, mediante o uso do Programa R, refere-se ao ano de 1997, pelo teste de Pettitt, e 1996, pelos testes de Buishand e SNHT, isto posto, em face desses últimos testes indicarem o ano de 1996 como ponto de mudança, verifica-se que de 1970 a 1996 a precipitação média anual foi de 1725,78 mm, e de 1996 a 2019 essa média decresce para 1493,38 mm, redução de 13,47%, condição essa aderente ao coeficiente angular negativo encontrado mediante o estimador Sen's Slope.

Os resultados dos testes múltiplos proposto por JAISWAL et al, aplicados aos registros deste estudo estão relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos testes múltiplos aplicados aos registros dos postos pluviométricos

Testes	Nível descritivo p-valor - por posto pluviométrico						Nível específico de confiança (5%)
	E3-229 (Criadoulos)	E3-074 (Atibaia)	D3-035 (Pedra Bela)	D3-046 (Morungaba)	D3-018 (Vargem)	D3-063 (Bragança Pta)	
Pettitt	0,530	0,421	0,019	0,261	0,925	0,530	0,05
Buishand	0,210	0,077	0,044	0,136	0,373	0,440	0,05
SNHT	0,031	0,586	0,040	0,189	0,723	0,517	0,05
Bartels's	0,012	0,029	0,012	0,329	0,466	0,323	0,05
Wallis and Moore Phase	0,733	0,733	0,088	0,733	1,000	0,733	0,05

Fonte: Programa R (2023).

6.3.2 Resultados dos testes de análise de tendência e de ponto de mudança para os registros de precipitações do Satélite TRMM (NASA) nas coordenadas dos postos pluviométricos

Para este tópico, preliminarmente, é prudente observar que os registros de precipitações anuais apuradas por satélite não necessariamente resultaram semelhantes àqueles apurados nos equipamentos de terra dos postos pluviométricos, contudo, considerando que os registros apurados mediante a campanha de 1998 a 2019, pelo satélite, foram realizadas exatamente durante as duas décadas que apresentaram decréscimo das médias de precipitações anuais, a análise dessas informações subsidiou e complementou a investigação desenvolvida neste trabalho.

As estimativas de precipitação fornecidas pelo satélite TRMM são consistentes. Elas conseguem reproduzir com bastante fidelidade o regime de chuvas de bacias

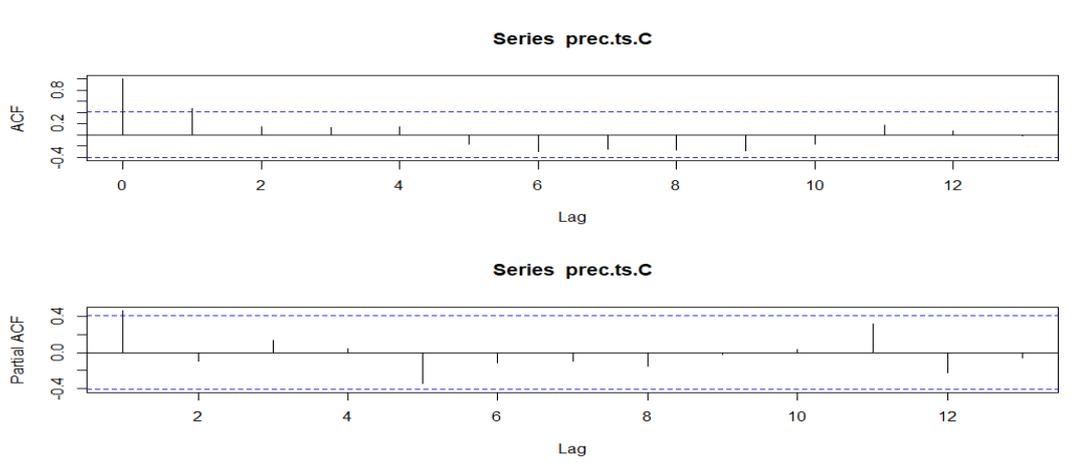
hidrográficas brasileiras. As variações sazonais de chuvas são bem representadas. Em alguns casos, as estimativas sub- ou superestimam a precipitação de forma pontual, mas quando ponderadas sobre a bacia, apresentam resultados muito similares àqueles obtidos por interpolação de pluviômetros (COLLISCHONN, 2006).

Embora sejam uma fonte de dados alternativa, barata e aparentemente confiável, não se pode afirmar ainda que as estimativas de precipitação por satélite podem substituir os dados de pluviômetros ou pluviógrafos na simulação chuva-vazão. [...] É razoável supor que a estimativa de satélite pode: (i) complementar as informações da rede pluviométrica quando existirem falhas; (ii) suprir com dados a cobertura de áreas deficientes em termos espaciais e temporais; (iii) melhorar a estimativa da variabilidade espacial (COLLISCHONN, 2006).

As Figuras 18 a 23 trazem os correlogramas gerados para os registros do Satélite TRMM, aplicados nas coordenadas dos postos pluviométricos estudados, sendo sua defasagem (lag) dos 21 anos distribuídos em intervalos de 1,5 ano, sendo o marco 0 representado por 1998, o marco 2 por 2001, o marco 4 por 2004 e o marco 6 pelo ano de 2007, o marco 8 por 2010, o marco 10 por 2013 e o marco 12 por 2016.

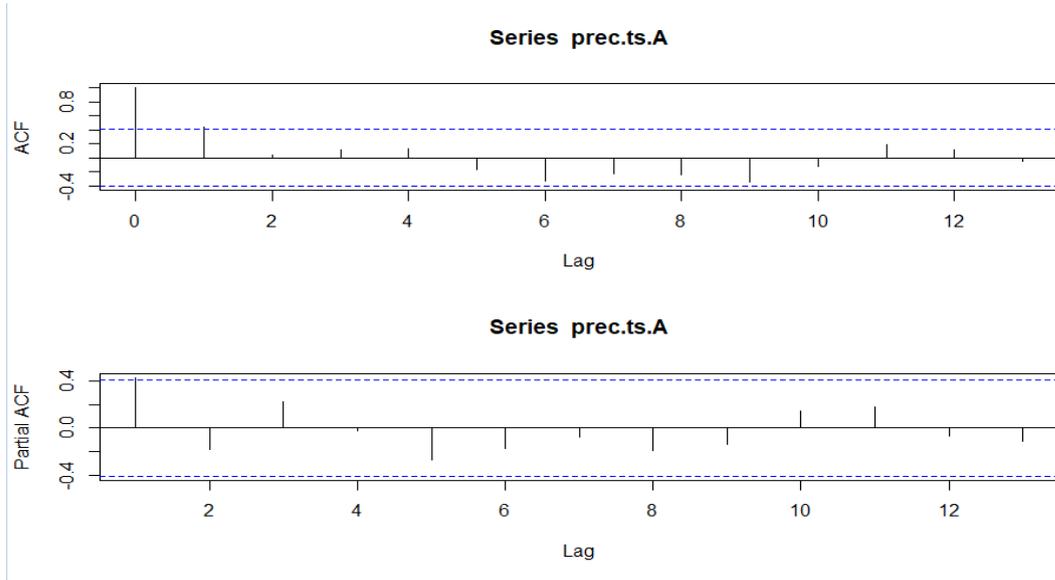
Para os registros de precipitação anual do satélite TRMM, nas coordenadas dos postos pluviométricos estudados, foram gerados os seguintes correlogramas:

Figura 18 – Correlograma – Satélite TRMM - Crioulos (Piracaia)



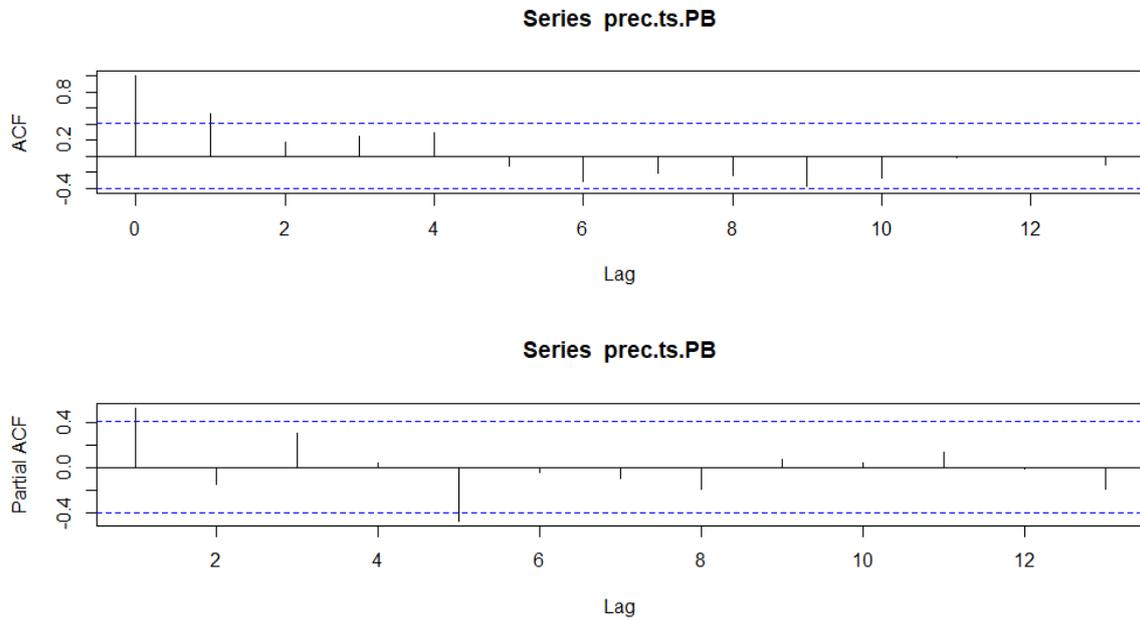
Fonte: Programa R (2023).

Figura 19 – Correlograma – Satélite TRMM - Atibaia



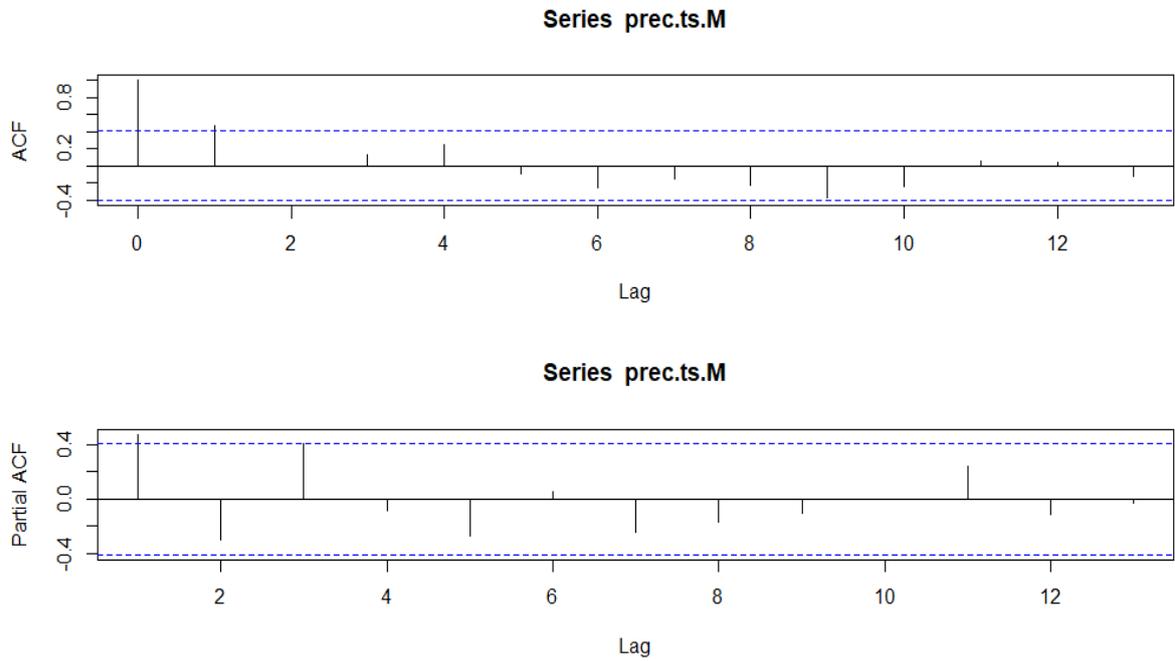
Fonte: Programa R (2023).

Figura 20 – Correlograma – Satélite TRMM – Pedra Bela



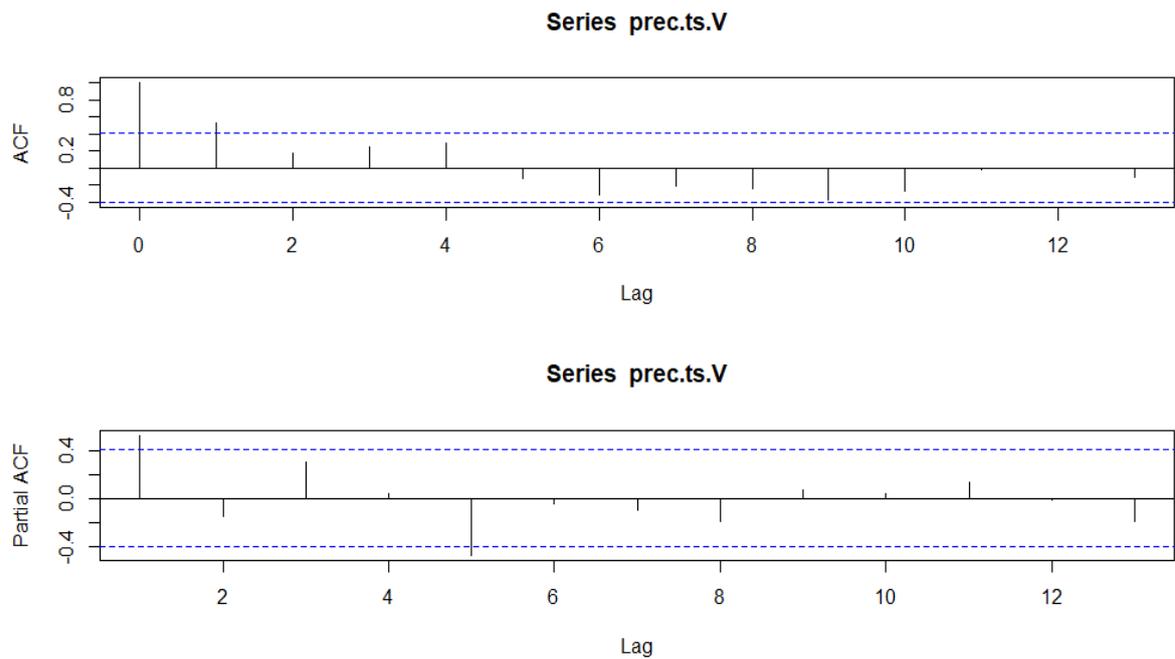
Fonte: Programa R (2023).

Figura 21 – Correlograma – Satélite TRMM – Morungaba



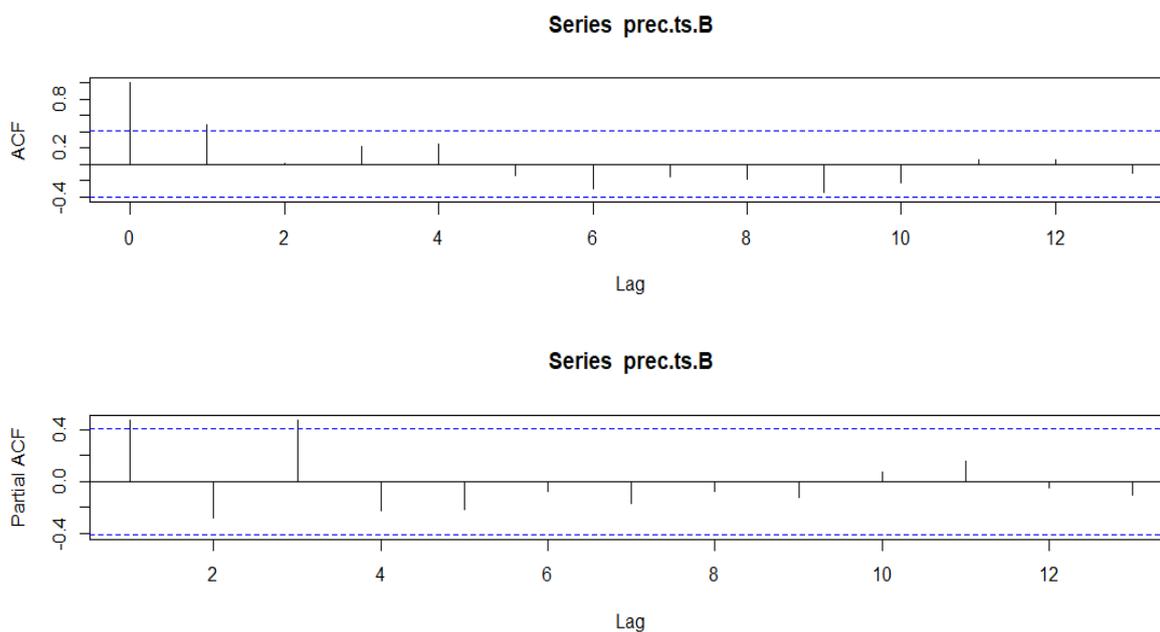
Fonte: Programa R (2023).

Figura 22 – Correlograma – Satélite TRMM – Vargem



Fonte: Programa R (2023).

Figura 23 – Correlograma – Satélite TRMM – Bragança Paulista



Fonte: Programa R (2023).

Em análise aos correlogramas, período 1998-2019, observaram-se situações pontuais de interceptação do limite superior de correlação do gráfico ACF, sendo a indicação do ano de interceptação identificado no gráfico ACF parcial, conforme segue: Pedra Bela e Vargem em 2006, Bragança Paulista e Morungaba em 2003. Para os outros municípios, quando analisado o gráfico ACF parcial, não se verifica a interceptação dos limites.

Isto posto, a priori, apenas as séries de Piracaia (Crioulos) e Atibaia são homogêneas, de acordo com o teste de correlação, sendo o resultado para Atibaia distinto daquele apurado para os registros do respectivo posto pluviométrico.

Nas Tabelas 6 e 7 são trazidos os resultados dos testes de Mann-Kendall e do Estimador Sen's Slope, para os registros do Satélite TRMM.

Tabela 6 – Resultados dos testes de Mann-Kendall sobre os registros do satélite TRMM

Posto pluviométrico	Teste de tendência de Mann-Kendall		
	Teste Estatístico (S)	p valor	Tendência
E3-229 (Crioulos)	-1,2946	0,1955	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
E3-074 (Atibaia)	-0,92469	0,3551	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-035 (Pedra Bela)	-1,6116	0,1070	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-046 (Morungaba)	-0,92469	0,3551	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-018 (Vargem)	-1,6116	0,1070	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa
D3-063 (Bragança Pta)	-1,1889	0,2345	S < 0; p > 0,05 - sem tendência significativa

Fonte: Programa R (2023).

A aplicação do Teste de Mann-Kendall sinalizou não haver tendência significativa, conforme demonstram os resultados da Tabela 6, tendo inclusive a comparação do valor-p com o nível de significância resultado superior ao primeiro índice, condição essa em que a Hipótese H0 não foi rejeitada.

Mesmo que a aplicação do teste de Mann-Kendall tenha sinalizado que nenhuma das séries apresenta tendência significativa, a aplicação do estimador Sen's Slope, registrado na Tabela 7, indicou que nas regiões onde estão localizados os seis postos pluviométricos, a linha de tendência das séries apresentou coeficiente angular negativo, ou seja, há indicação de uma tendência descendente, apesar dessa não ser significativa.

Tabela 7 – Resultados dos testes de Sen's Slope sobre os registros do satélite TRMM

Posto pluviométrico	Teste de Sen's Slope - Satélite TRMM			Interpretação
	Teste Estatístico	p valor	Tendência	Estatística
E3-229 (Crioulos)	z = -1,2946	0,1955	95%	Coeficiente angular = -10,90029
E3-074 (Atibaia)	z = -0,92469	0,3551	95%	Coeficiente angular = -7,7922
D3-035 (Pedra Bela)	z = -1,6116	0,1070	95%	Coeficiente angular = -12,95517
D3-046 (Morungaba)	z = -0,92469	0,3551	95%	Coeficiente angular = -7,153389
D3-018 (Vargem)	z = -1,6116	0,1070	95%	Coeficiente angular = -12,95517
D3-063 (Bragança Pta)	z = -1,1889	0,2345	95%	Coeficiente angular = -8,4614

Fonte: Programa R (2023).

Finalmente, mediante a aplicação da metodologia de usos múltiplos de testes proposta por Jaiswal *et al.* (2015), foram apurados os resultados da Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados dos testes múltiplos aplicados aos registros do satélite TRMM

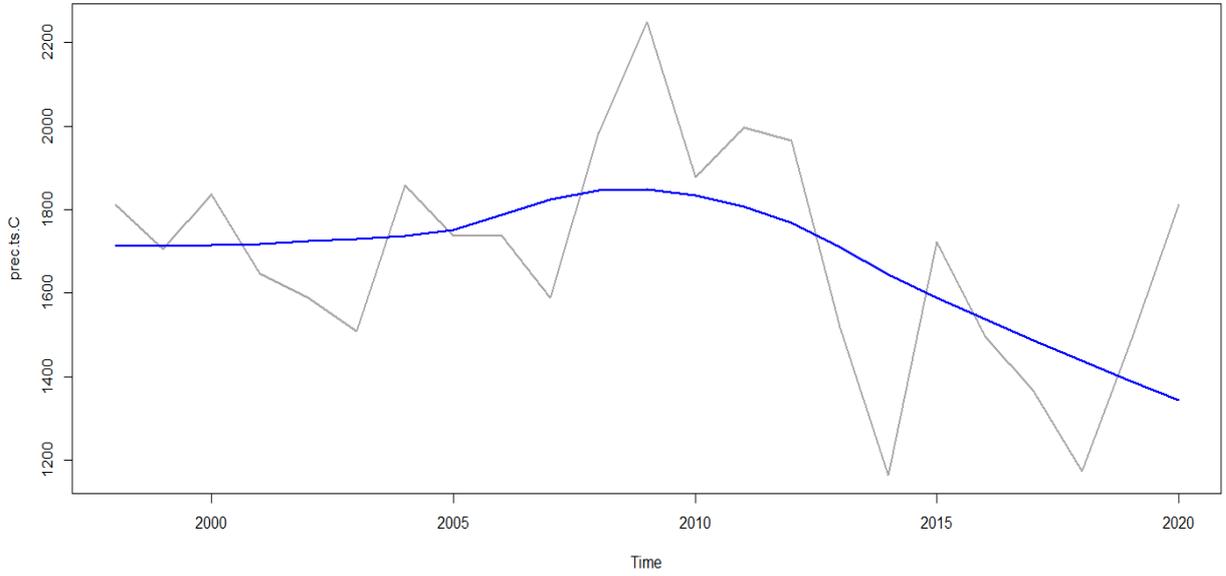
Testes	Nível descritivo p-valor - Satélite TRMM						Nível específico de confiança (5%)
	E3-229 (Crioulos)	E3-074 (Atibaia)	D3-035 (Pedra Bela)	D3-046 (Morungaba)	D3-018 (Vargem)	D3-063 (Bragança Pta)	
Pettitt	0,034	0,078	0,013	0,056	0,013	0,028	0,05
Buishand	0,031	0,065	0,013	0,027	0,014	0,027	0,05
SNHT	0,024	0,054	0,011	0,042	0,011	0,023	0,05
Bartels's	0,005	0,004	0,000	0,006	0,000	0,005	0,05
Wallis and Moore Phase	0,797	0,198	0,020	0,198	0,020	0,198	0,05

Fonte: Programa R (2023).

Com exceção de Atibaia, que resultou em homogêneo (SH), considerando quatro dos cinco testes acatando a Hipótese H0, as demais séries do satélite TRMM resultaram heterogêneas, sendo indicado para esses cinco que o ponto de mudança ocorreu em 2012.

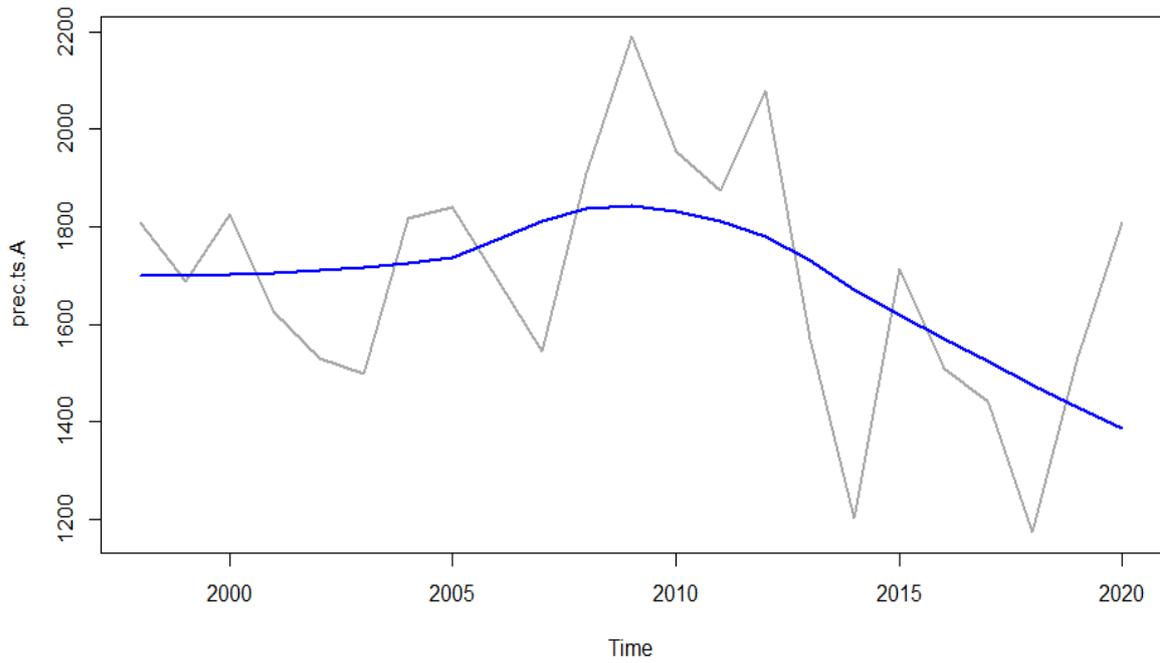
Para ilustrar a tendência de decréscimo das precipitações apuradas pelo satélite TRMM nas coordenadas dos seis postos pluviométricos, são apresentados a seguir na Figuras 24 a 29 os gráficos do Teste de Pettitt.

Figura 24 – Gráfico do teste de Pettitt – Piracaia (Crioulos)

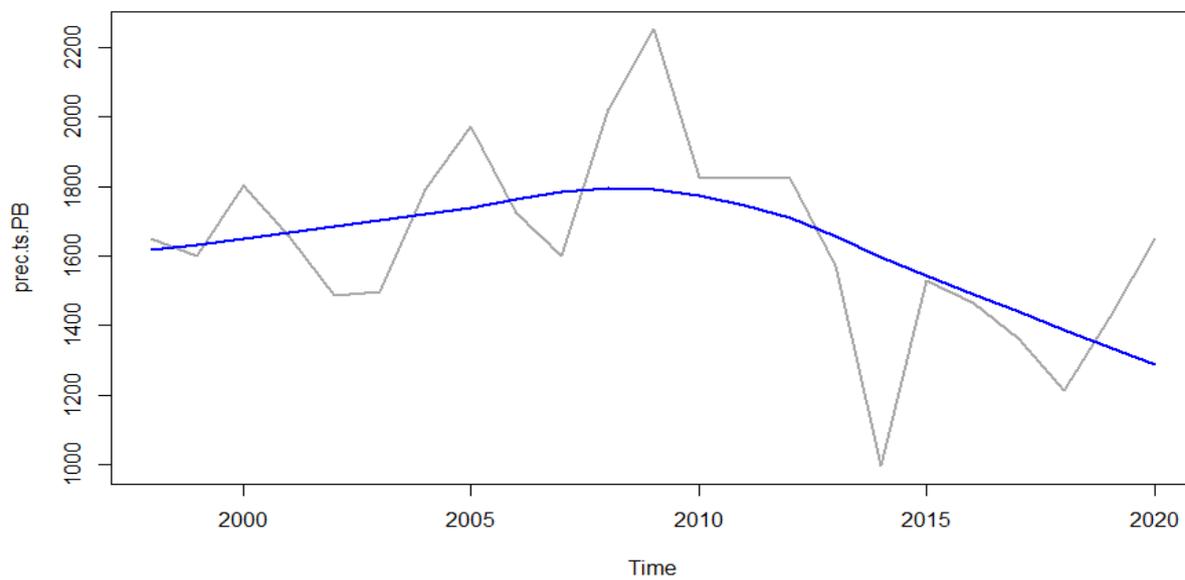


Fonte: Programa R (2023).

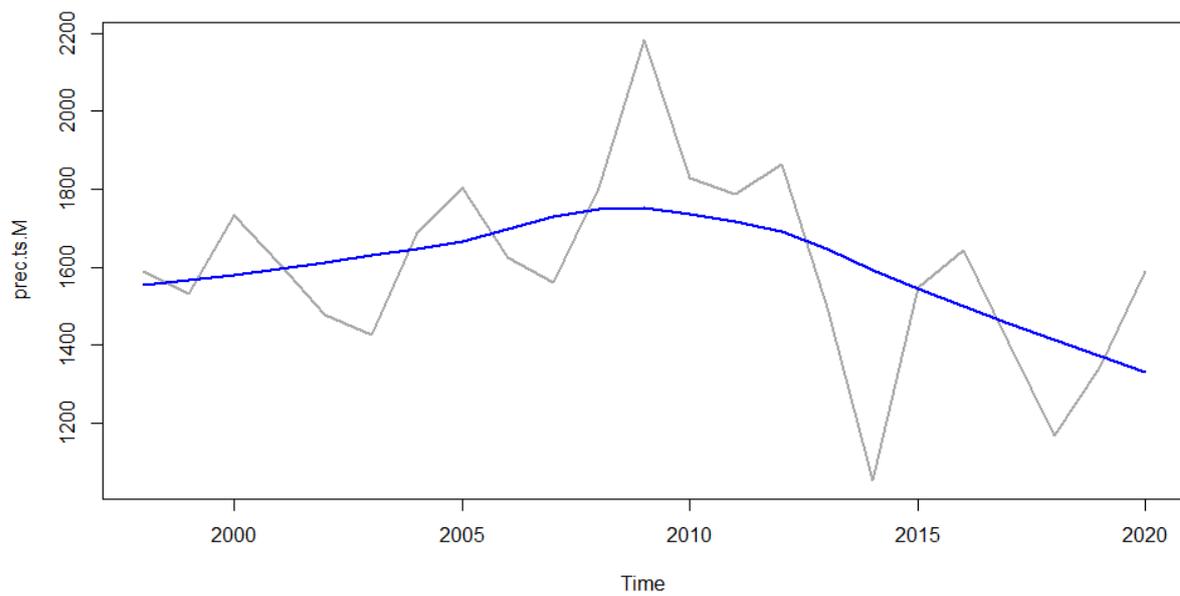
Figura 25 – Gráfico do teste de Pettitt – Atibaia



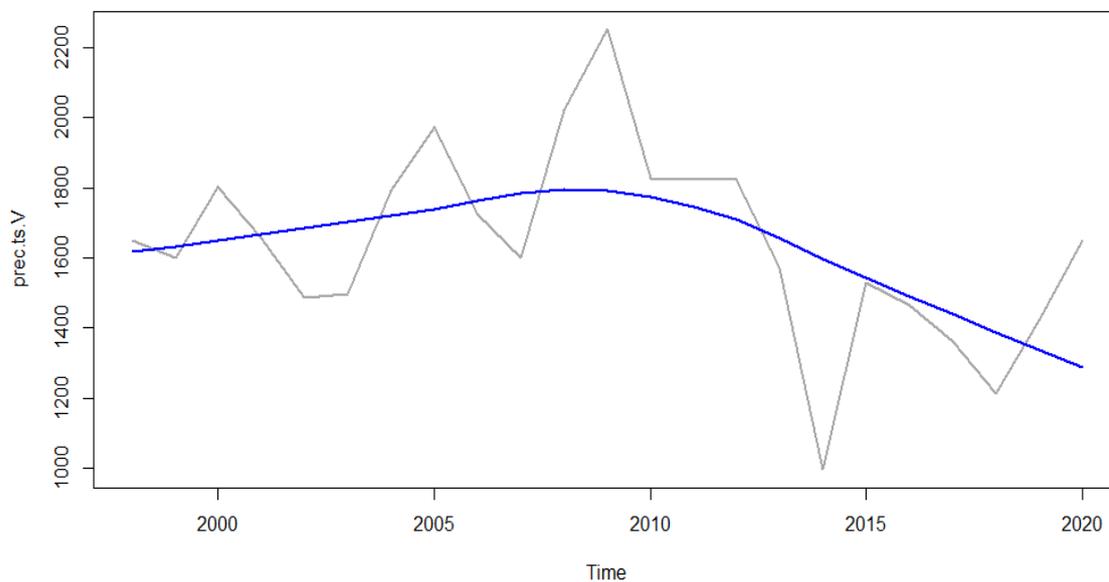
Fonte: Programa R (2023).

Figura 26 – Gráfico do teste de Pettitt – Pedra Bela

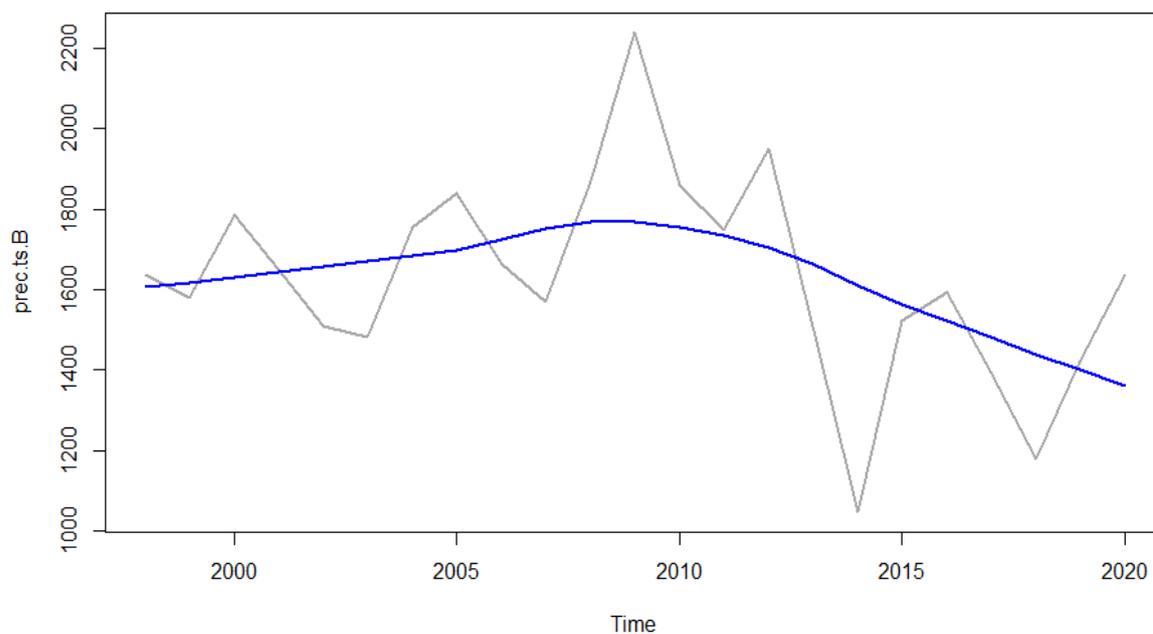
Fonte: Programa R (2023).

Figura 27 – Gráfico do teste de Pettitt – Morungaba

Fonte: Programa R (2023).

Figura 28 – Gráfico do teste de Pettitt – Vargem

Fonte: Programa R (2023).

Figura 29 – Gráfico do teste de Pettitt – Bragança Paulista

Fonte: Programa R (2023).

Analisando os gráficos do teste de Pettitt observa-se que, apesar dos testes múltiplos terem sinalizado que os registros de Atibaia são homogêneos, o gráfico contido na Figura 25 apresenta um resultado discrepante, visto que sinaliza uma tendência de queda, semelhante aos outros cinco pontos estudados, a partir de 2012. Quanto os outros cinco pontos estudados os gráficos de Pettitt ratificam os resultados do teste múltiplo de Jaiswal *et al* (2015).

Os seis gráficos, com poucas variações de inclinação, apresentam uma tendência inicial de crescimento no índice de precipitação média anual, contudo pouco antes de 2010 inicia uma deflexão contrária, decrescente, que vai se acentuando até chegar no ano de 2019.

6.3.3 Análise dos resultados do Método dos Polígonos de Thiessen e dos Testes Múltiplos

A partir da determinação das precipitações médias anuais de cinquenta anos e das precipitações médias anuais por década, mediante a aplicação do Método dos Polígonos de Thiessen, constatou-se que as duas últimas décadas apresentaram redução do índice pluviométrico da ordem de 6,00%, variando entre 5,87% a 6,16% negativos em relação à média de cinquenta anos, quando considerada a incidência de chuvas no território do município.

Entretanto, quando lançados os registros de precipitações mensais dos seis postos pluviométricos no Programa R, visando à aplicação dos testes de análise de tendência e ponto de mudança, apurou-se que não havia linha de tendência significativa, apesar do estimador Sen's Slope indicar que metade dos postos apresentavam registros com coeficiente negativo e a outra metade positivo. Complementarmente, a realização do método de Jaiswal *et al.* (2015) indicou que somente o posto Pedra Bela apresentava uma série heterogênea, com ponto de mudança em 1996, ponto a partir do qual o índice de precipitação reduziu em 13,47%, e o posto de Atibaia resultou como um posto em condição duvidosa, tendo os demais postos resultados homogêneos.

Porém, a aplicação dos testes de detecção de mudança e linha de tendência para os registros pluviométricos do satélite TRMM trouxe que cinco dos seis pontos estudados apresentaram tendência de queda no índice de precipitação, tendo o ponto de mudança a partir de 2012.

A discrepância entre os resultados dos postos pluviométricos e os registros do satélite quanto a tendência pode ser decorrente do maior período de registros dos postos pluviométricos quando comparado com o período apurado pelo satélite.

Contudo, o comportamento de redução das precipitações apuradas pelo satélite sinaliza a mesma condição da redução identificada pela determinação das médias decenais de 2000 e 2010, fator esse que corrobora a justificativa de serem considerados cenários de precipitação média inferiores à série histórica, principalmente quando considerados os períodos de estiagem prolongadas ocorridas em períodos curtos, como 2013-2015 e 2020-2021.

Outro fator que justifica considerar índices de precipitação mais restritivos que a média histórica se refere aos cenários de aumento de temperatura projetados pelo IPCC que indicam tendência na redução das precipitações médias anuais para aumentos de 1,5° a 3,0°C, e que o referido período coincide com a situação apurada para os registros de chuvas anuais precipitadas por intermédio do satélite TRMM, e por intermédio do cálculo das médias por década.

Em decorrência dos resultados apurados para as precipitações, constata-se ser pertinente o desenvolvimento de estudo para condições adversas relacionadas à redução do índice médio de precipitação anual, ou seja, considerar cenários de menor incidência de chuvas anuais para determinação de vazões mínimas de referência, em complemento ao cenário da média histórica.

6.4 ESTUDO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DEMANDAS DAS SEIS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

6.4.1 Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Araras 124,22 Km²

6.4.1.1 *Determinação da disponibilidade hídrica*

No trecho de Bragança Paulista, a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Araras, está situada na porção Noroeste, sendo que em seu território está a foz no Rio Jaguari, tendo suas cabeceiras em Pedra Bela. A foz dista 16,10 quilômetros a jusante da captação superficial utilizada para abastecimento público da zona urbana do município.

O limite de divisa entre os municípios de Pedra Bela e Bragança Paulista é determinado pelo divisor de bacia da vertente esquerda do Ribeirão das Araras até o

ponto em que há convergência entre as divisas de Pedra Bela, Pinhalzinho e Bragança Paulista, a partir do qual o próprio curso d'água se torna a demarcação de divisa territorial entre Pinhalzinho e Bragança Paulista, estando o primeiro nas vertentes da margem direita e o segundo nas vertentes da margem esquerda, até o local em que deixa de ser limite e passa a escoar somente no território do último município.

As águas superficiais e subterrâneas são parte de um único ciclo hidrológico. Sua interface, normalmente ocorre na forma de infiltração e percolação e na ocorrência de nascentes, ou fontes (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Normalmente, durante as estiagens a vazão dos rios é mantida pela descarga de aquíferos. Isso ocorre pontualmente em alguns locais em que existe descarga do aquífero ou de forma distribuída, ao longo do curso de água [...]. (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Partindo dessa dinâmica do ciclo hidrológico, para determinação das vazões de referência, foram identificadas as coordenadas da foz (Lat. 22°52'36.1"S e Long. 46°36'31"O) e delimitada a área de contribuição da sub-bacia do Ribeirão das Araras, sendo registradas essas informações no Programa de Regionalização Hidrológica (BcDAEE2000), sendo considerados os quatro cenários, ilustrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Cenários de disponibilidade hídrica quantitativa do Ribeirão das Araras

Ribeirão das Araras - 124,22 Km ²				
	BcDAEE2000	Histórico 1970-2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1470,00	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão Q_{7,10} (m³/s)	0,42	0,48	0,41	0,41
Vazão Q_{95%} (m³/s)	0,66	0,72	0,61	0,61
Vazão Q_{mt} (m³/s)	1,82	1,99	1,68	1,67

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Para essa sub-bacia constatou-se que para o período de 50 anos, o índice de precipitação média anual resultou em um valor 3,38% superior ao valor original registrado pelo sistema BcDAEE para a mesma coordenada de interesse e área de contribuição, o que redundou nos seguintes incrementos: de 14,69% na vazão Q_{7,10}, 9,24% na Q_{95%} e 9,29% na vazão média de longo termo (Q_{mt}).

Para melhor compreender a relevância dessa diferença de vazões características foi construída a Tabela 10, na qual é demonstrada a quantidade de habitantes que poderia ser atendida com metade da vazão incrementada.

Tabela 10 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Histórico 1970-2019 (m³/s)	Incremento (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialmente supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais/população
Q _{7,10}	0,422	0,484	0,062	150	12	15.713	172.436	9,11%
Q _{95%}	0,660	0,721	0,061	150	12	15.459	172.436	8,97%
Q _{mit}	1,818	1,987	0,169	150	12	42.831	172.436	24,84%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Nessa tabela, da esquerda para direita, a quarta coluna representa a diferença entre as vazões resultantes da aplicação do índice de precipitação média anual original do Programa de Regionalização Hidrológica (BcDAEE) e a precipitação média plurianual de 50 anos, obtida por intermédio dos Polígonos de Thiessen, que no caso resultou em incremento de vazão.

Estabelecendo-se como limite de retirada a metade da vazão incremental, ao se estabelecer uma relação com uma taxa de consumo per capita, é possível determinar o número de habitantes que poderiam ser atendidos por esse excedente, conforme segue:

$$Q = q \times P \quad \text{ou} \quad P = Q/q \quad \text{na qual:}$$

Q – Vazão a ser captada (L/dia)

q – Taxa de consumo per capita (L/hab*dia)

P – População a ser atendida (hab)

Neste caso, a vazão (Q) considerada é a metade da vazão incremental, a taxa de consumo adotada (q) é de 150 L/hab*dia, que de acordo com AZEVEDO NETO (1998) representa o consumo efetivo (sem perdas) verificado em várias cidades,

mesma taxa indicada para estimativa de demanda de residências de médio valor (BAPTISTA; COELHO, 2016).

Importante observar que durante o processo de tratamento de água, “ocorre que a lavagem de filtros gera um desperdício de água da ordem de 10% do volume produzido” (LUSTOSA, 2016), e somado a isso, é necessário que, eventualmente, se realize a descarga e limpeza de decantadores das estações de tratamento, com a adequada solução para acondicionamento e destinação do lodo gerado, assim, recomenda-se prever que para produção de água potável, em média, 12% do volume captado no manancial é utilizado no processo de potabilização.

Nesse contexto, a determinação do número de habitantes que poderiam ser abastecidos com metade da vazão incremental, para vazão $Q_{7,10}$, à título de demonstração, seria:

$$P = (Q/q) \times 0,88$$

$$P = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} / 150 \text{ L/hab.dia} \times 0,88$$

$$P = 0,031 \times 1000 \times 86.400 \text{ L/dia} / 150 \text{ L/hab.dia} \times 0,88$$

$$P = 15.713 \text{ habitantes}$$

Ou seja, se fosse considerado o índice de precipitação média anual do período de 50 anos, metade da vazão incremental seria suficiente para atender a demanda equivalente a quase um décimo da população do município.

A simulação ora apresentada está replicada em cada uma das sub-bacias hidrográficas indicadas no Quadro 2.

A relação da taxa de consumo per capita com a metade do incremento da vazão justifica-se pelo motivo de que para determinação da disponibilidade hídrica há que ser considerada metade da vazão de referência como limite de exploração de um manancial, somadas as demandas de todos os usos a montante do ponto de interesse, conforme estabelecido em legislação e já esclarecido neste trabalho.

Na linha do que se trata quanto à vazão de referência e a criticidade da bacia, em consulta ao Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí 2020-2035 (PROFILL-RHAMA, 2020), extrai-se a seguinte passagem:

Atualmente já há 10 zonas de média criticidade, onde há uma demanda maior do que 50% da $Q_{7,10}$, e sete com alta criticidade onde a demanda é maior do que a disponibilidade hídrica durante um evento de $Q_{7,10}$.

Ou seja, ainda é prática considerar a soma das vazões captadas dentro do limite de 50% da vazão de referência $Q_{7,10}$ como parâmetro de criticidade da sub-bacia, contudo, seu nível para essa faixa é considerado de média criticidade, sendo o cenário altamente crítico aquele cuja soma das demandas suplanta a própria vazão de referência.

Partindo desse contexto, para este trabalho, será incorporado no cálculo do balanço hídrico a parcela referente a 50% da vazão de referência, de modo que a vazão remanescente retratará o valor que efetivamente ainda poderia/poderá ser utilizado, visando desse modo, desenvolver um estudo conservador, em favor de se buscar garantir as condições de fluxo contínuo do manancial em períodos de estiagem.

No caso de Bragança Paulista, foi consultado o Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2020 – 2035, para o qual identificou-se que o referido documento traçou cenários de saldo hídrico para os anos de 2020, 2025, 2030 e 2035 para as duas vazões de referência, quais sejam, $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, ou seja, o presente estudo será conduzido adotando as duas vazões como referência para simulação de cenários.

Superado o embasamento e justificativa do método de simulação constante das Tabelas 11 e 12, segue a aplicação desse comparativo para as vazões características apuradas a partir das precipitações anuais médias das décadas de 2000 e 2010 em relação ao resultado da precipitação média anual do Programa de Regionalização Hidrológica.

Tabela 11 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2000

Vazão de referência	BcDAEE (m ³ /s)	Década de 2000 (m ³ /s)	Decréscimo (m ³ /s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,422	0,409	0,013	150	12	3.295	172.436	-1,91%
Q _{95%}	0,660	0,610	0,050	150	12	12.672	172.436	-7,35%
Q _{mit}	1,818	1,680	0,138	150	12	34.975	172.436	-20,28%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 12 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual - Década 2010

Vazão de referência	BcDAEE (m ³ /s)	Década de 2010 (m ³ /s)	Decréscimo (m ³ /s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,422	0,405	0,017	150	12	4.308	172.436	-2,50%
Q _{95%}	0,660	0,605	0,055	150	12	13.939	172.436	-8,08%
Q _{mit}	1,818	1,666	0,152	150	12	38.523	172.436	-22,34%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

A redução da precipitação média anual nas últimas duas décadas ratifica a essência de desenvolvimento do presente estudo, uma vez que o efeito causado resultou em decréscimos de vazão suficientes para abastecer, no limite, 4.308 habitantes (50% da Q_{7,10} – década 2010) ou 13.939 habitantes (50% da Q_{95%} - década 2010).

Vale observar que a situação ora identificada tem relevância quando da análise de viabilidade de atendimento às demandas futuras de abastecimento público, haja

vista que neste estudo ainda serão avaliadas as condições de disponibilidade hídrica das outras sub-bacias hidrográficas elencadas no Quadro 2.

No que tange às vazões demandadas, muitos dos usos não operam em regime permanente de 24 horas/dia, além do que, para operação de captações subterrâneas é determinado o teto de funcionamento de 20 horas/dia, conforme estabelece Instrução Técnica DPO nº 10 do DAEE (SÃO PAULO, 2017b), desse modo, para que fosse equiparada essa variação ao longo do dia com os usos que operam em regime ininterrupto, foram considerados o consumo e vazão diários, sendo que para viabilizar tal parametrização aos usos cadastrados pelo DAEE, foram multiplicadas as vazões outorgadas em m³/h, pelo período de operação concedido, em h/dia.

Assim, aplicando a conversão de unidade de tempo de segundos para dia, multiplicando as vazões, em m³/s, por 86.400 s/dia, as vazões características da bacia em sua foz, resultaram conforme estruturado na Tabela 13.

Tabela 13 – Vazões de referência convertidas para o período diário

	Ribeirão das Araras - 124,22 Km ²			
	BcDAEE2000	Histórico 1970-2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1470,00	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão Q _{7,10} (m ³ /dia)	36.460,80	41.817,60	35.337,60	34.992,00
Vazão Q _{95%} (m ³ /dia)	57.024,00	62.294,40	52.704,00	52.272,00
Vazão Q _{mit} (m ³ /dia)	157.075,20	171.676,80	145.152,00	143.942,40

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Para determinação do nível de estresse hídrico calculado pela ANA (BRASIL, 2019b), o indicador 6.4.2., do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6 – Água e Saneamento, fornece uma estimativa da pressão pelos recursos de água doce renováveis exercida pelo total de demandas, mediante a seguinte equação:

$$Sh = Dt / (Erh - Qeco) \quad \text{em que:}$$

Dt = Demandas hídricas de retirada totais, em m³/s;

Erh = Estoque total de águas doces do país, incluindo águas superficiais e subterrâneas e entradas de águas de outros países, em m³/s;

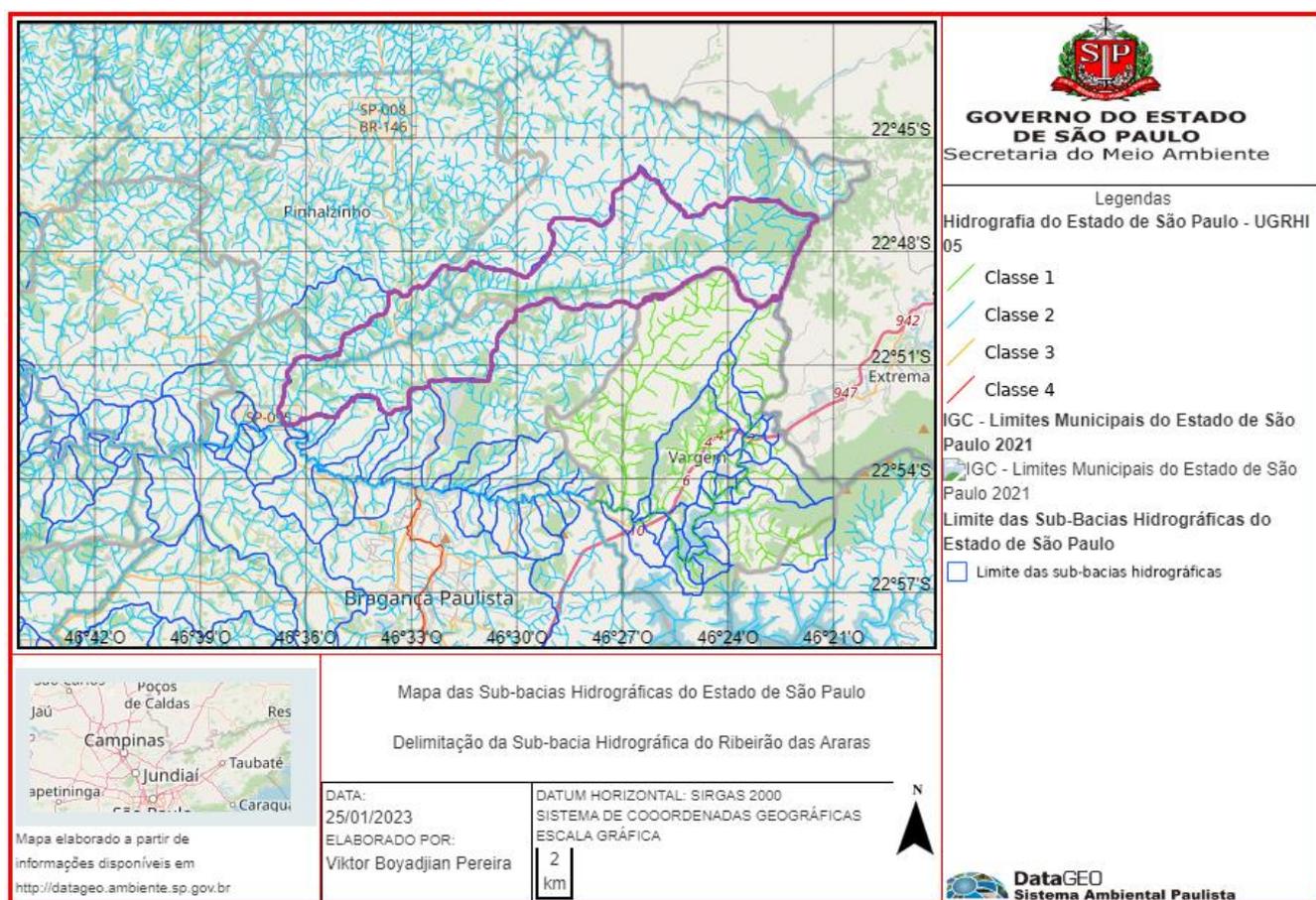
Qeco = Vazão ecológica, em m³/s (50% da vazão média de longo termo).

Considerando que o estudo presente aborda o nível municipal, a determinação de estresse hídrico desenvolveu-se por sub-bacia hidrográfica analisada.

6.4.1.2 Determinação das demandas de água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Araras

Em consulta ao sítio eletrônico do DAEE, foram levantadas as relações de usos referentes aos municípios de Bragança Paulista, Pedra Bela e Pinhalzinho, para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Araras, delimitada na linha lilás na Figura 30, sendo o resultado das compilações de dados e resultados registrados nos subitens a seguir.

Figura 30 – Delimitação da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Araras, afluente da margem direita do Rio Jaguari



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

6.4.1.2.1 Trecho da bacia no município de Pedra Bela

Conforme registrado na Tabela 14, para o trecho da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Araras em Pedra Bela, a predominância das captações superficiais está relacionada, predominantemente, às atividades de interface rural, representando um total 1.836,64 m³/dia (91,97%), sendo que dos 1.116,64 m³/dia do uso rural, valendo

destacar que um único usuário é responsável pela parcela de 1.080,00 m³/dia destinados à irrigação.

Tabela 14 – Resumo das captações superficiais em Pedra Bela na bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações superficiais na sub-bacia do Ribeirão das Araras – município de Pedra Bela					
Usuário	Quantidade e de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade e (%)
Aquicultor	1	Ribeirão dos Limas	Hidroagricultura	38,88	1,95%
Criador	1	Afluente do Córrego da Pedra Bela	Dessentação	720,00	36,05%
Industrial	2	Afluentes do Ribeirão das Araras	Sanitário/Industrial	121,50	6,08%
Uso rural	13	Ribeirão dos Limas (1), Córrego da Pedra Bela (1), Córrego da Ribeira (1), Afluentes do Ribeirão das Araras (10)	Lazer/paisagismo (5), sanitário (7) e irrigação (1)	1116,64	55,92%
Totais	17		Total	1997,02	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Observa-se que tanto para os usuários industriais quanto de uso rural, além do emprego da água em demandas inerentes à atividade, consta ainda que uma parcela de aplicação se destina à finalidade sanitária.

Quanto às captações subterrâneas foram identificadas as características registradas nas Tabelas 15 e 16, correspondentes às captações nos aquíferos freático e Cristalino Fraturado.

Um aspecto a ser destacado é que as captações subterrâneas no lençol freático, destinam-se predominantemente à aplicação de natureza sanitária, seja qual for o tipo de usuário.

Tabela 15 – Resumo dos usos de captações subterrâneas (no lençol freático) no município de Pedra Bela na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão das Araras – município de Pedra Bela					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade e (%)
Aquicultor	1	Freático	Sanitário	0,80	0,61%
Industrial	2	Freático	Sanitário e Sanitário/Industrial	3,22	2,45%
Irrigante	4	Freático	Sanitário (3) e Sanitário/Industrial (1)	9,40	7,15%
Minerador	3	Freático	Sanitário	3,00	2,28%
Pecuarista	1	Freático	Sanitário	36,00	27,39%
Solução alternativa I	2	Freático	Sanitário	4,90	3,73%
Uso rural	30	Freático	Sanitário (27) e Sanitário/Industrial (3)	71,10	54,10%
Uso urbano	1	Freático	Sanitário	3,00	2,28%
Totais	44		Total	131,42	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Em análise às informações contidas na Tabela 15 verifica-se ainda que os dois principais usuários do aquífero freático são os setores rural e pecuarista, que somados representam 81,49% do total de demanda nessa bacia, em Pedra Bela.

Tabela 16 – Resumo dos usos de captações subterrâneas (Aquífero Cristalino Fraturado) no município de Pedra Bela na bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão Araras - no município de Pedra Bela					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Industrial	2	Cristalino	Sanitário	12,00	0,99%
Público	8	Cristalino	Abastecimento público (5), sanitário (2), sistema alternativo de abastecimento particular (1)	1185,00	98,14%
Uso rural	3	Cristalino	Sanitário	8,00	0,66%
Uso urbano	1	Cristalino	Doméstico	2,50	0,21%
Totais	14		Total	1207,50	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Quanto aos usos explotados no Aquífero Cristalino Fraturado foi apurada uma vazão total de captação muito superior àquela extraída do aquífero freático, identificando-se que, de 14 usos, cinco são utilizados com a finalidade pública.

Em consulta ao contrato celebrado entre a Prefeitura de Pedra Bela e a SABESP, disponível em https://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/contratos_municipios/PedraBela.pdf, na data de 19/12/2019, empresa essa que opera o abastecimento público e o esgotamento sanitário do município, foi ratificado que a produção de água para abastecimento público dessa cidade é realizada por intermédio de captações subterrâneas indicadas.

Diante das informações até aqui trazidas, no que tange às demandas por captação de água tem-se, para o município de Pedra Bela, que:

- a) Captações superficiais e lençol freático: 1.997,02 + 131,42 (m³/dia) = 2.128,44 m³/dia;
- b) Captações Aquífero Cristalino Fraturado: 1.207,50 m³/dia
- c) Ao todo, 3.335,94 m³/dia.

Para concluir a análise em relação ao município de Pedra Bela, foram identificadas as vazões de lançamento superficial registradas na Tabela 17, a saber:

Tabela 17 – Resumo dos usos de lançamentos superficiais no município de Pedra Bela na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de lançamentos superficiais na sub-bacia do Ribeirão das Araras – no município de Pedra Bela					
Usuário	Quantidade de lançamentos	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	1	Ribeirão dos Limas	Hidroagricultura	35,04	2,84%
Industrial	1	Afluentes do Ribeirão das Araras	Sanitário/Industrial	84,00	6,80%
Público	2	Ribeirão das Araras e Córrego da Pedra Bela	Sanitário e efluente público	1114,56	90,24%
Uso rural	1	Ribeirão das Araras	Lazer/paisagismo	1,50	0,12%
Totais	5		Total	1235,10	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Para consolidação das demandas de captações e lançamentos na sub-bacia do Ribeirão das Araras, no município de Pedra Bela, foi organizada a Tabela 18.

Tabela 18 – Balanço entre captações e lançamentos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Araras, em Pedra Bela

Tipos de uso	Captação superficial	Captação Cristalino	Captação Freático	Total de Captações	Lançamento superficial
Usuário	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Total (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)
Aquicultor	38,88	-	0,80	39,68	35,04
Criador	720,00	-	-	720,00	-
Industrial	121,50	12,00	3,22	136,72	84,00
Irrigante	-	-	9,40	9,40	-
Minerador	-	-	3,00	3,00	-
Público	-	1185,00	-	1185,00	1114,56
Pecuarista	-	-	36,00	36,00	-
Solução alternativa I	-	-	4,90	4,90	-
Uso rural	1116,64	8,00	71,10	1195,74	1,50
Uso urbano	-	2,50	3,00	5,50	-
Total	1997,02	1207,50	131,42	3335,94	1235,10

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

No que tange a vazão referente ao uso público, necessário esclarecer que 259,20 m³/dia está relacionada a uma autorização para lançamento, não configurando um uso efetivo atual.

Analisando as informações contidas na Tabela 18, há uma diferença significativa entre o volume diário captado e aquele que gerou efluentes a serem lançados, circunstância essa que remete às seguintes ponderações:

- a) Para a atividade de irrigação há uma demanda de 1080,00 m³/dia, parcela essa que a priori se supõe ser parcialmente absorvida pelo sistema radicular das culturas plantadas, parte dispersada na atmosfera, parte é evaporada, e parte retorna para o aquífero freático, por infiltração, ou seja, a água retorna ao ciclo

hidrológico, porém, de modo difuso, isto posto, não há como considerar potencial de lançamento pontual em curso d'água;

- b) Para a atividade de criação, a água tem como finalidade a dessedentação animal, assim não é gerado efluente líquido a ser descartado em curso d'água;
- c) Para o uso industrial, a parcela que não gerou lançamento, pode ter sido incorporada na produção (insumo) ou ter sido descartada por intermédio de infiltração no solo, quando da finalidade sanitária, e por fim;
- d) A diferença para uso público entre captação (abastecimento de água) e lançamento superficial pode ser decorrente de perdas físicas do sistema de abastecimento público, assim como, representar uma parte de água consumida e que não gerará esgotos.

6.4.2.2 Trecho da bacia hidrográfica no município de Pinhalzinho

Para o município de Pinhalzinho, não foram identificadas nem captações e nem lançamentos superficiais, contudo, foram identificadas oito captações subterrâneas em aquífero freático, conforme registrado na Tabela 19, sendo a finalidade predominante, o uso sanitário, assim como, os principais usuários estão relacionados ao setor primário da economia, ao que se infere que os volumes captados, após o uso, sejam infiltrados no solo após tratamento por intermédio de soluções individuais de esgotamento sanitário.

Tabela 19 – Resumo dos usos de captações subterrâneas (freático) no município de Pinhalzinho, na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão das Araras – no município de Pinhalzinho					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	1	Freático	Sanitário	1,00	6,13%
Irrigante	2	Freático	Sanitário e irrigação	6,50	39,88%
Uso rural	4	Freático	Sanitário	8,80	53,99%
Uso urbano	1	Freático	Sanitário	0,00	0,00%
Totais	8		Total	16,30	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

6.4.2.3 Trecho da bacia no município de Bragança Paulista

Para o município de Bragança Paulista, foram identificados os usos consuntivos relacionados às captações e lançamentos superficiais e de captações subterrâneas, porém, foi identificado uma menor quantidade de usuários, quando comparado com o município de Pedra Bela, sendo esses apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resumo dos usos de captações superficiais no município de Bragança Paulista, na bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações superficiais na sub-bacia do Ribeirão das Araras – no município de Bragança Paulista					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	2	Afluentes do Ribeirão das Araras	Hidroagricultura e Sanitário	55,20	19,79%
Criador	1	Afluentes do Ribeirão das Araras	Lazer/paisagismo	90,00	32,26%
Solução Alternativa I	1	Ribeirão das Araras	Dessedentação/piscicultura	7,20	2,58%
Uso rural	4	Afluentes do Ribeirão das Araras	Lazer/paisagismo (1), sanitário (1) e rural (2)	126,58	45,37%
Totais	8		Total	278,98	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

As captações superficiais demonstram uma predominância no uso destinado às atividades de setor primário da economia com 97,42% do volume diário captado está relacionado aos usuários da aquicultura, criação e uso rural.

Quanto às captações subterrâneas nos aquíferos freático e Cristalino Fraturado, foram identificados os usos elencados nas Tabelas 21 e 22.

Tabela 21 – Resumo dos usos de captações subterrâneas no aquífero freático, no município de Bragança Paulista, na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão Araras – no município de Bragança Paulista					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade e (%)
Criador	1	Freático	rural	2,10	2,91%
Irrigante	2	Freático	sanitário	4,60	6,38%
Solução Alternativa I	3	Freático	sanitário	2,50	3,47%
Uso rural	14	Freático	sanitário (13) e industrial (1)	57,40	79,61%
Uso urbano	2	Freático	sanitário	5,50	7,63%
Totais	22		Total	72,10	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Quanto aos usos no aquífero Cristalino Fraturado, o cadastro não se refere a usos efetivamente instalados, e sim autorizações/licenças para perfuração de poços, se tratando de usos a serem explorados, isto posto, serão considerados no balanço hídrico.

Tabela 22 – Resumo dos usos de captações subterrâneas no aquífero Cristalino, no município de Bragança Paulista, na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão das Araras – no município de Bragança Paulista					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Público	4	Cristalino	Sanitário	488,00	95,31%
Uso rural	2	Cristalino	Sanitário (1) e regajardim (1)	24,00	4,69%
Totais	6		Total	512,00	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Para este aquífero, caso venham a ser efetivamente perfurados os poços, a predominância estará destinada ao uso sanitário, sendo o maior usuário o setor público.

Por fim, para os lançamentos superficiais gerados na bacia, foram apurados os usuários e finalidades da Tabela 23.

Tabela 23 – Resumo dos usos de lançamentos superficiais, no município de Bragança Paulista, na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Resumo de usos de lançamentos superficiais na sub-bacia do Ribeirão das Araras – no município de Bragança Paulista					
Usuário	Quantidade de lançamentos	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	1	Afluentes do Ribeirão das Araras	Sanitário	14,88	16,53%
Criador	1	Afluentes do Ribeirão das Araras	Lazer/paisagismo	72,00	80,00%
Uso rural	2	Afluentes do Ribeirão das Araras	Sanitário e Lazer/paisagismo	3,12	3,47%
Totais	4		Total	90,00	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Para resumir a situação de usos de captações e lançamentos da bacia do Ribeirão das Araras, no município de Bragança Paulista, segue na Tabela 24 a correlação de usos para cada tipo de usuário.

Tabela 24 – Balanço entre captações e lançamentos na sub-bacia do Ribeirão das Araras, em Bragança Paulista

Tipos de uso	Captação superficial	Captação Cristalino	Captação Freático	Total de Captações	Lançamento superficial	Diferença lançamentos/captações
Usuário	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Total (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)
Aquicultor	55,20	-	-	55,20	14,88	40,32
Criador	90,00	-	2,10	92,10	72,00	20,10
Industrial	-	-	-	-	-	-
Irrigante	-	-	4,60	4,60	-	4,60
Minerador	-	-	-	-	-	-
Público	-	488,00*	-	488,00	-	488,00
Pecuarista	-	-	-	-	-	-
Solução alternativa I	7,20	-	2,50	9,70	-	9,70
Uso rural	126,58	24,00*	57,40	207,98	3,12	204,86
Uso urbano	-	-	5,50	5,50	-	5,50
Total	278,98	512,00	72,10	863,08	90,00	773,08

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

As captações subterrâneas no Aquífero Cristalino se referem às autorizações e licenças de perfuração, usos ainda não efetivados, motivo pela qual estão grafados os valores de suas vazões em vermelho.

No que tange a significativa diferença entre os volumes captados e lançados de volta ao meio físico aquático, aprecia-se que nesse trecho da sub-bacia, tem-se um volume captado total de 351,08 m³/dia (superficial e freático), contra um volume de lançamentos de 90,00 m³/dia, o qual cabem as ponderações que se seguem.

Sobre as captações superficiais, há uma captação dirigida para hidroagricultura, com vazão diária de 44,88 m³/dia, e uma dirigida à finalidade sanitária com vazão de 10,32 m³/dia. Considerando que o lançamento para aquicultura consta vazão diária de 14,88 m³/dia, pode-se inferir que a maior parcela da água captada não é retornada em

forma de lançamento em curso d'água superficial em decorrência do uso preponderante na primeira finalidade indicada.

Quanto às captações superficiais e subterrâneas relacionadas ao uso para criação, 90,00 m³/dia (superficial) constam relacionados à atividade de lazer/paisagismo, e 2,10 m³/dia, captados do freático são dirigidos ao uso rural, e desses, 72,00 m³/dia, se tornam lançamentos superficiais, isto posto, infere-se a possibilidade de que a diferença de 20,10 m³/dia seja absorvida em parte pela atividade desenvolvida e de outra parte pode estar retornando para o lençol freático de modo difuso.

Da parcela da captação superficial, 118,56 m³/dia se referem ao uso com finalidade rural, o que pode se tratar de irrigação, volume esse que seria parcialmente absorvido pelas culturas, parcialmente dispersado no ar, parte evaporado e o excedente atingirá o lençol freático de modo difuso, isto posto, tal quantidade não viria a se tornar um fluxo contínuo para lançamento superficial.

Para as captações subterrâneas freáticas, no que tange aos usuários rurais, a finalidade predominante está relacionada ao uso sanitário, sendo que os 57,40 m³/dia de água captados podem estar sendo infiltrados no solo, por intermédio de soluções individuais (tais como fossas sépticas).

Por fim, de igual modo em relação ao item anterior, quanto aos demais usuários, para as quais não há indicação de lançamentos superficiais, considerando a finalidade de uso sanitária, entende-se que a água utilizada pode estar sendo infiltrada no solo de modo esparso, quer seja por rega de jardim, quer seja mediante à infiltração de efluentes tratados (proveniente de soluções individuais) no solo.

6.4.2.4 Balanço hídrico de usos consuntivos x vazões de referência na sub-bacia do Ribeirão das Araras. Determinação de Disponibilidade hídrica remanescente e Estresse hídrico

Para os usos consuntivos, por município, tem-se os conjuntos de demandas listados na Tabela 25:

Tabela 25 – Consolidação das demandas de captações e lançamentos na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Município	Captações Superficiais (m³/dia)	Captações Subterrâneas (m³/dia)		Total	Lançamentos superficiais (m³/dia)
		Freático	Cristalino		
Pedra Bela	1997,20	131,42	1207,50	3336,12	1235,10
Pinhalzinho	0	16,30	0	16,30	0
Bragança Paulista	278,98	72,10	512,00	863,08	90,00
Total	2276,18	219,82	1719,50	4215,50	1325,10
Vazões em (m³/s)	0,0263	0,0025	0,0199	0,0488	0,0153

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

No que tange às relações quantitativas, o total de saídas relativas às demandas de captações superficiais e subterrâneas somam 4.215,50 m³/dia, ou 0,0488 m³/s, e o total de entradas (lançamentos) somam 1325,10 m³/dia ou 0,0153 m³/s.

As relações entre as vazões características e os usos demandados serão estabelecidas conforme segue:

Vazão remanescente 1 = Disponibilidade hídrica $Q_{95\%}$ - Vazão total de captações (sup e sub) + vazão total de lançamentos – 50% $Q_{95\%}$

Vazão remanescente 2 = Disponibilidade hídrica $Q_{7,10}$ - Vazão total de captações (sup e sub) + vazão total de lançamentos – 50% $Q_{7,10}$

Índice de estresse hídrico (Sh) = Vazão total de captações/(vazão de referência – 50% vazão de longo termo)

Para o estoque de água, o indicador será simulado, considerando as três vazões de referência.

Na Tabela 26 são apresentadas as determinações das vazões remanescentes dos balanços hídricos para as vazões de referência $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, conforme cenários de precipitação média anual: original do Programa de Regionalização Hidrológica, da média plurianual de 50 anos e das médias das décadas de 2000 e 2010.

Tabela 26 – Determinação de vazões remanescentes na sub-bacia do Ribeirão das Araras

Balancos hídricos Ribeirão das Araras						
Vazão de referência Q7,10	Vazão de referência (m³/dia)	Captações (m³/dia)	Lançamentos (m³/dia)	Vazão Ecológica (m³/dia)	Vazão remanescente (m³/dia)	Vazão remanescente (m³/s)
Bc DAEE	36460,80	4215,50	1325,10	18230,40	15340,00	0,18
50 anos	41817,60	4215,50	1325,10	20908,80	18018,40	0,21
Década 2000	35337,60	4215,50	1325,10	17668,80	14778,40	0,17
Década 2010	34992,00	4215,50	1325,10	17496,00	14605,60	0,17
Vazão de referência Q95%	Vazão de referência (m³/dia)	Captações (m³/dia)	Lançamentos (m³/dia)	Vazão Ecológica (m³/dia)	Vazão remanescente (m³/dia)	Vazão remanescente (m³/s)
Bc DAEE	57024,00	4215,50	1325,10	28512,00	25621,60	0,30
50 anos	62294,40	4215,50	1325,10	31147,20	28256,80	0,33
Década 2000	52704,00	4215,50	1325,10	26352,00	23461,60	0,27
Década 2010	52272,00	4215,50	1325,10	26136,00	23245,60	0,27

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2022c).

Uma vez que as vazões de referência recomendadas pela legislação remetem ao desenvolvimento de estudos conservadores, configurando os cenários mais críticos, e face à redução das precipitações anuais médias das duas últimas décadas, será adotada como vazão remanescente os resultados apurados mediante a aplicação da precipitação média anual da década de 2010, isto posto, para o Ribeirão das Araras serão consideradas disponíveis as vazões $Q_{7,10}$ de 0,169 m³/s e $Q_{95\%}$ de 0,269 m³/s, valores inferiores em 5,06% e 9,43% em relação ao cálculo original do Programa de Regionalização Hidrológica. Essas vazões representam de 28,97% a 46,11% da vazão atualmente outorgada para o abastecimento público da zona urbana do município.

Na Tabela 27 é trazida a determinação do índice de Estresse Hídrico, considerando a referência a vazão média de longo termo, na qual constata-se que essa bacia ainda não apresenta criticidade relevante, quando o parâmetro considerado é a vazão média de longo termo, contudo, à título de um exercício de análise, caso a relação do estresse hídrico fosse estabelecida em relação às vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ (Década 2010), a pressão sobre o manancial seria maior, tendo como resultados, respectivamente de 24,09% e 16,12%.

Tabela 27 – Determinação do Índice de Estresse Hídrico da sub-bacia do Ribeirão das Araras

Determinação do Índice de estresse hídrico				
Vazão de referência Q _{mlt}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações	Vazão ecológica (m ³ /dia)	Estresse hídrico
Bc DAEE	157075,20	4215,50	78537,60	5,37%
50 anos	171676,80	4215,50	85838,40	4,91%
Década 2000	145152,00	4215,50	72576,00	5,81%
Década 2010	143942,40	4215,50	71971,20	5,86%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2022c).

6.4.3 Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Curitibanos 53,489 Km²

6.4.3.1 Determinação da disponibilidade hídrica

A sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos, está situada na porção Nordeste de Bragança Paulista, estando toda sua superfície contida nos limites do município. A distância da foz dessa sub-bacia em relação à captação superficial atualmente utilizada para abastecimento público da zona urbana do município, dista 192,41 metros, estando a jusante dessa captação, sendo essa sub-bacia retratada no Figura 31, ilustrando ainda o enquadramento dos cursos d'água em Classe 2.

Considerando que o embasamento teórico e as premissas para o estudo de cada sub-bacia já foram desenvolvidas no contexto do Ribeirão das Araras, a partir desta sub-bacia serão tratadas, objetivamente, as condições e balanços de vazões características e as demandas de captações e lançamentos existentes.

Partindo das coordenadas da foz da bacia e de sua área de contribuição, foram registradas essas informações no Programa de Regionalização Hidrológica (BcDAEE2000), para os quatro cenários indicados na Tabela 28.

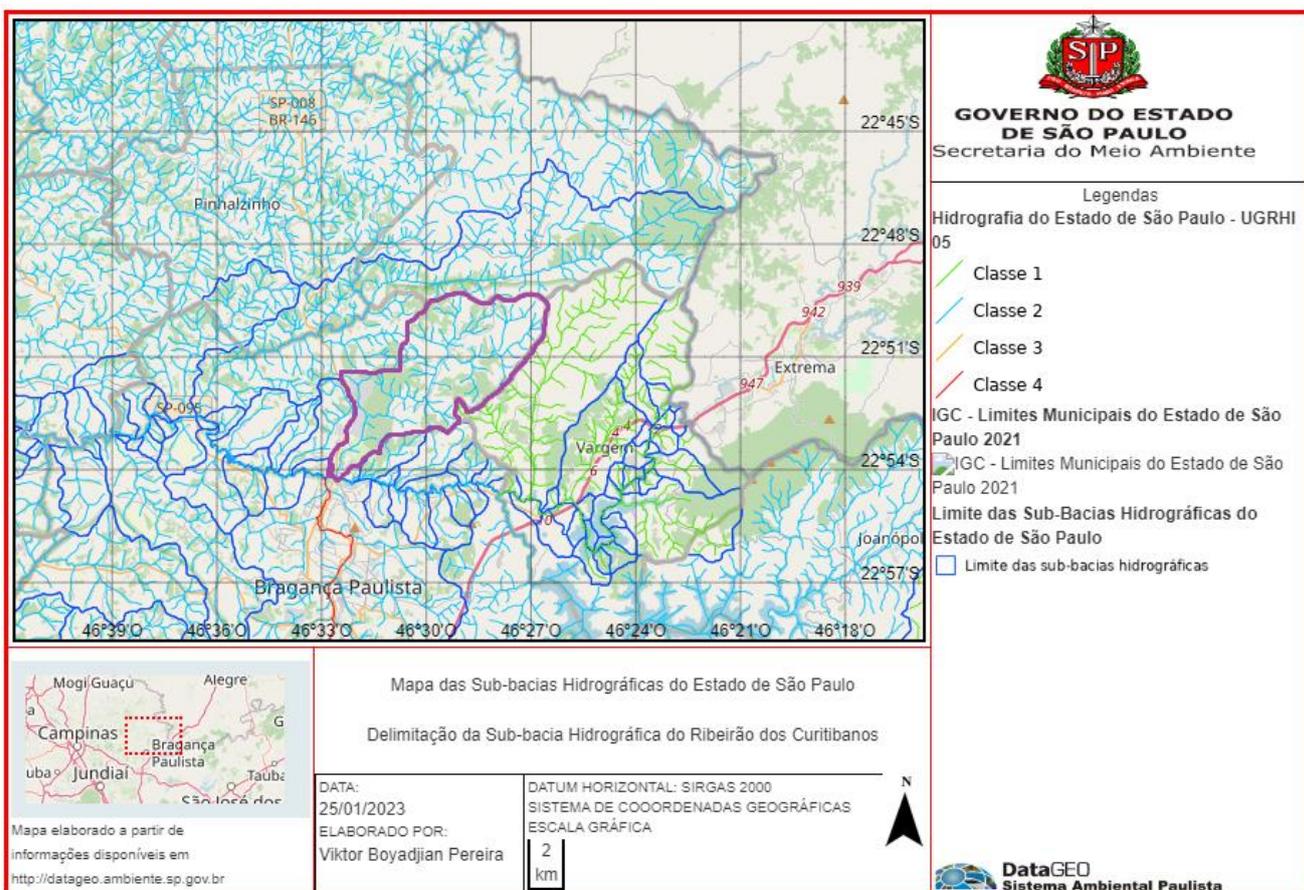
Tabela 28 – Cenários de disponibilidade hídrica quantitativa do Ribeirão dos Curitibanos

Ribeirão dos Curitibanos - 53,489 Km ²				
	BcDAEE2000	Histórico 1970-2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1477	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão Q _{7,10} (m ³ /s)	0,193	0,208	0,176	0,175
Vazão Q _{95%} (m ³ /s)	0,288	0,311	0,263	0,26
Vazão Q _{mit} (m ³ /s)	0,793	0,856	0,723	0,717

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2022c).

Para essa sub-bacia constata-se que para o período de 50 anos, o aumento da precipitação média anual resultou nos incrementos de: 7,77% na vazão Q_{7,10}, 7,99% na Q_{95%} e 7,94% na Q_{mit}.

Figura 31 – Delimitação da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Curitibanos (contorno lilás), afluente da margem direita do Rio Jaguari



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Nas Tabelas 29, 30 e 31 são apresentadas as equivalências de habitantes que poderiam ser abastecidos com a metade da diferença entre as vazões características apuradas para os cenários pela aplicação das precipitações anuais médias de 50 anos e o número de potenciais habitantes que deixariam de ser abastecidos em decorrência do decréscimo de vazão decorrente do menor índice pluviométrico apurado para as décadas de 2000 e 2010 em relação às vazões características originalmente resultantes do Programa de Regionalização Hidrológica.

Tabela 29 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Histórico 1970-2019 (m³/s)	Incremento (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialmente supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais/população
Q _{7,10}	0,193	0,208	0,015	150	12	3801,60	172436	2,20%
Q _{95%}	0,288	0,311	0,023	150	12	5829,12	172436	3,38%
Q _{mlt}	0,793	0,856	0,063	150	12	15966,72	172436	9,26%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 30 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2000

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Década de 2000 (m³/s)	Decréscimo (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendido, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,193	0,176	0,017	150	12	4308	172436	-2,50%
Q _{95%}	0,288	0,263	0,025	150	12	6336	172436	-3,67%
Q _{mlt}	0,793	0,723	0,07	150	12	17741	172436	-10,29%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 31 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2010

Vazão de referência	BcDAE E (m ³ /s)	Década de 2010 (m ³ /s)	Decréscimo (m ³ /s)	Taxa de consumo/capit a (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	Populaã o estimada em 2021	Nº habitantes afetados/ população
Q _{7,10}	0,193	0,175	0,018	150	12	4562	172436	-2,65%
Q _{95%}	0,288	0,26	0,028	150	12	7096	172436	-4,12%
Q _{mit}	0,793	0,717	0,076	150	12	19261	172436	-11,17%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

O contexto apurado para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Curitibanos se assemelha à situação apreciada para a sub-bacia do Ribeirão das Araras, isto é, se viesse a ser adotada a precipitação média anual de 1519,72 mm e não a média de 1477,00 mm do resultado original do Programa de Regionalização Hidrológica, as vazões de referência ofertadas teriam um incremento de 2,20%(Q_{7,10}) a 3,38%(Q_{95%}), cuja metade dessas vazões seriam suficientes para abastecer, respectivamente, de 3800 a 5829 habitantes.

Porém, trazendo para avaliação a premissa do menor risco, quando consideradas as precipitações médias anuais das décadas de 2000 e 2010, verifica-se a redução da disponibilidade hídrica para as vazões Q_{7,10} e Q_{95%}, redundando na incoerência de vazões cuja metade seria suficiente para atender de 4308 a 4562 habitantes para o cenário da Q_{7,10} e, 6336 a 7096 habitantes para a Q_{95%}.

6.4.3.2 Determinação das demandas de água da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Curitibanos

Na Tabela 32 é apresentado o resumo referente às demandas de captações superficiais, sendo a maior parcela destinada às soluções alternativas para abastecimento particular, conforme estabelecido na Resolução Conjunta

SMA/SERHS/SES - 3, de 21-6-2006 (SÃO PAULO, 2006), e o outro uso tem por finalidade a irrigação.

Tabela 32 – Resumo dos usos de captações superficiais, na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Resumo de usos de captações superficiais na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade (%)
Uso urbano	3	Bacia do Ribeirão dos Curitibanos	Solução Alternativa 1 - Abastecimento Particular	3.600,00	66,41%
Irrigante	2	Bacia do Ribeirão dos Curitibanos	Irrigação	1.820,64	33,59%
Totais	5			5.420,64	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Para as captações subterrâneas no lençol freático foram apuradas as demandas relacionadas na Tabela 33, sendo predominante a finalidade sanitária, com uma vazão média por usuário da ordem de 2,43 m³/dia, tendo o setor primário da economia a principal aplicação, com 72,95% do volume total captado.

Tabela 33 – Resumo dos usos de captações subterrâneas no lençol freático, na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos - Freático					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade (%)
Aquicultura	1	Freático	Sanitária	0,40	0,43%
Industrial	4	Freático	Sanitário/Industrial	11,50	12,44%
Irrigante	5	Freático	Sanitária	27,20	29,43%
Solução Alternativa Tipo I*	1	Freático	Sanitária	2,50	2,70%
Uso rural	22	Freático	Sanitária	39,83	43,09%
Uso urbano	5	Freático	Sanitária	11,00	11,90%
Totais	38	Freático		92,43	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Para os usuários do Aquífero Cristalino igualmente observou-se uma predominância na finalidade de uso sanitário, sendo que para o setor industrial a utilização é mista para os quatro usuários cadastrados, sendo parte para destinação sanitária, e outra parcela para o processo produtivo, sendo esse cenário ilustrado na Tabela 34.

Tabela 34 – Resumo dos usos de captações subterrâneas no Aquífero Cristalino fraturado, na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos - Cristalino					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade (%)
Industrial	4	Cristalino	Sanitário/Industrial	263,00	36,20%
Loteador	1	Cristalino	Sanitária	400,00	55,05%
Público	3	Cristalino	Sanitária	55,00	7,57%
Uso rural	2	Cristalino	Regajardim/Sanitária	5,00	0,69%
Uso urbano	1	Cristalino	Sanitária	3,60	0,50%
Totais	11			726,60	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Por fim, foram apuradas as vazões de lançamentos superficiais indicadas na Tabela 35:

Tabela 35 – Resumo dos usos de lançamentos superficiais, na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Resumo de usos de lançamentos superficiais na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos					
Usuário	Quantidade de lançamentos	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade do Uso	Vazão Diária (m ³ /dia)	Representatividade (%)
Uso urbano	3	Bacia do Ribeirão dos Curitibanos	Solução Alternativa 1 - Abastecimento Particular	2.050,08	93,95%
Industrial	2	Bacia do Ribeirão dos Curitibanos	Irrigação	132,00	6,05%
Totais	5			2.182,08	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

A partir do conjunto de informações apuradas para essa bacia foi construída a Tabela 36, na qual são relacionados os usos de captações (superficiais e subterrâneas) e lançamentos superficiais.

Tabela 36 – Balanço entre captações e lançamentos na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Tipos de uso	Captação superficial	Captação Cristalino	Captação Freático	Total de Captações	Lançamento superficial	Diferença lançado/captado
Usuário	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Total (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)
Aquicultor	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,40
Industrial	0,00	263,00	11,50	274,50	132,00	142,50
Irrigante	1820,64	0,00	27,20	1847,84	0,00	1847,84
Loteador	0,00	400,00	0,00	400,00	0,00	400,00
Público	0,00	55,00	0,00	55,00	0,00	55,00
Solução alternativa I	0,00	0,00	2,50	2,50	0,00	2,50
Uso rural	0,00	5,00	39,83	44,83	0,00	44,83
Uso urbano	3600,00	3,60	11,00	3614,60	2050,08	1564,52
Total	5420,64	726,60	92,43	6239,67	2182,08	4057,59

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

De um total de 6.239,67 m³/dia de água captados, apenas 2.182,08 m³/dia retornaram para os cursos d'água superficiais em forma de lançamento superficial, ou seja, 34,97% do volume de água captado na bacia, sendo esses descartes provenientes de usuários urbano e industrial.

O volume diário captado pelo usuário irrigante, qual seja, 1.820,64 m³/dia, representa 29,18% do total captado, tendo por finalidade efetiva a irrigação, ou seja, a parcela de água que vier a retornar para o meio será de modo difuso, por infiltração no solo, ou por dispersão no ar ou por evaporação, isso considerando que uma boa parte será absorvida pelas culturas irrigadas.

Há uma parcela de 142,50 m³/dia do setor industrial que não é utilizado com fins sanitários, o que leva a inferir que essa parcela é incorporada no processo de produção.

Para os demais usuários, considerando a predominância da finalidade de uso sanitário, infere-se que os resíduos líquidos gerados por esses retornem ao ciclo hidrológico por intermédio de infiltração no solo, após descarte em solução individual ou coletiva de esgotamento sanitário.

Diante do contexto exposto, para essa bacia, os dados de demandas que compuseram o balanço de disponibilidade x demanda foram:

Captações totais = 6.239,87 m³/dia ou 0,072 m³/s

Lançamentos totais = 2.182,08 m³/dia ou 0,025 m³/s

6.4.3.2.1 Balanço hídrico de usos consuntivos x vazões de referência na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos. Determinação de Disponibilidade hídrica remanescente e Estresse hídrico

Para o Ribeirão dos Curitibanos, nas Tabela 37, 38 e 39 estão elencados os resultados apurados, respectivamente, quanto a disponibilidade remanescente para as vazões de referência Q_{7,10} e Q_{95%} e para o índice estresse hídrico.

Tabela 37 – Determinação de vazões remanescentes Q_{7,10} na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Balanços hídricos Ribeirão dos Curitibanos						
Vazão de referência Q _{7,10}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	16675,20	6239,87	2182,08	8337,60	4279,81	0,050
50 anos	17971,20	6239,87	2182,08	8985,60	4927,81	0,057
Década 2000	15206,40	6239,87	2182,08	7603,20	3545,41	0,041
Década 2010	15120,00	6239,87	2182,08	7560,00	3502,21	0,041

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 022c).

Tabela 38 – Determinação de vazões remanescentes $Q_{95\%}$ na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Balanços hídricos Ribeirão dos Curitibanos						
Vazão de referência $Q_{95\%}$	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	24883,20	6239,87	2182,08	12441,60	8383,81	0,097
50 anos	26870,40	6239,87	2182,08	13435,20	9377,41	0,109
Década 2000	22723,20	6239,87	2182,08	11361,60	7303,81	0,085
Década 2010	22464,00	6239,87	2182,08	11232,00	7174,21	0,083

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2002c).

Tabela 39 – Determinação do estresse hídrico na sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos

Determinação do Índice de estresse hídrico				
Vazão de referência Q_{mit}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Vazão ecológica (m ³ /dia)	Estresse hídrico Sh (%)
Bc DAEE	68515,20	6239,87	34257,60	18,21%
50 anos	73958,00	6239,87	36979,00	16,87%
Década 2000	62467,00	6239,87	31233,50	19,98%
Década 2010	61948,00	6239,87	30974,00	20,15%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2002c).

Adotando-se o cenário mais desfavorável dentre os quatro determinados, considerando o índice de precipitação média anual de 1426,09 mm da década de 2010, as vazões remanescentes encontradas para as referências de $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, foram 41,00 L/s e 83,00 L/s, respectivamente, inferior em 18,00% e 14,43% em relação ao valor originalmente calculado pelo Programa de Regionalização Hidrológica, sendo essas vazões suficientes para abastecer 20782 e 42071 habitantes, descontado o percentual de 12% da água utilizada no processo de tratamento (lavagens de filtros e decantadores), isto posto, a vazão disponível, caso captada, representaria apenas um aporte no abastecimento, variando entre 7,02% a 14,22% daquela atualmente outorgada para o abastecimento público da zona urbana do município, no Rio Jaguari.

As diferenças entre as vazões remanescentes mencionadas (BcDAEE e Década de 2010), quais sejam de 9,00 L/s ($Q_{7,10}$) e de 14,00 L/s ($Q_{95\%}$), caso não ocorresse o decréscimo, seriam suficientes para atender à demanda diária de, respectivamente, 4562 e 7096 habitantes, se captadas em sua totalidade.

Quanto ao índice de estresse hídrico, foi constatado que essa sub-bacia hidrográfica tem próximo de um quinto de sua disponibilidade utilizada, contudo, considerando-se que a Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Capivari/Jundiaí se configura como crítica, caso fossem consideradas as vazões $Q_{7,10}$ ou $Q_{95\%}$ como base para estimar o nível de estresse hídrico, o percentual de uso saltaria para, 82,54% e 55,55%, respectivamente, para o cenário da precipitação média anual da década de 2010.

6.4.4 Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés 97,505 Km²

6.4.4.1 Determinação da disponibilidade hídrica

A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, está situada na porção central do território de Bragança Paulista, estando toda sua superfície contida nos limites do município, sendo a sub-bacia na qual se encontra assentada a zona urbana. A distância de sua foz, em relação à captação superficial atualmente utilizada para abastecimento público da zona urbana do município, é de 719,89 metros a jusante.

Para essa sub-bacia constata-se que para o período de 50 anos, o aumento da precipitação média anual resultou nos incrementos de: 5,85% na vazão $Q_{7,10}$, 5,60% na $Q_{95\%}$ e 5,69% na Q_{mit} , de acordo com os registros constantes da Tabela 40.

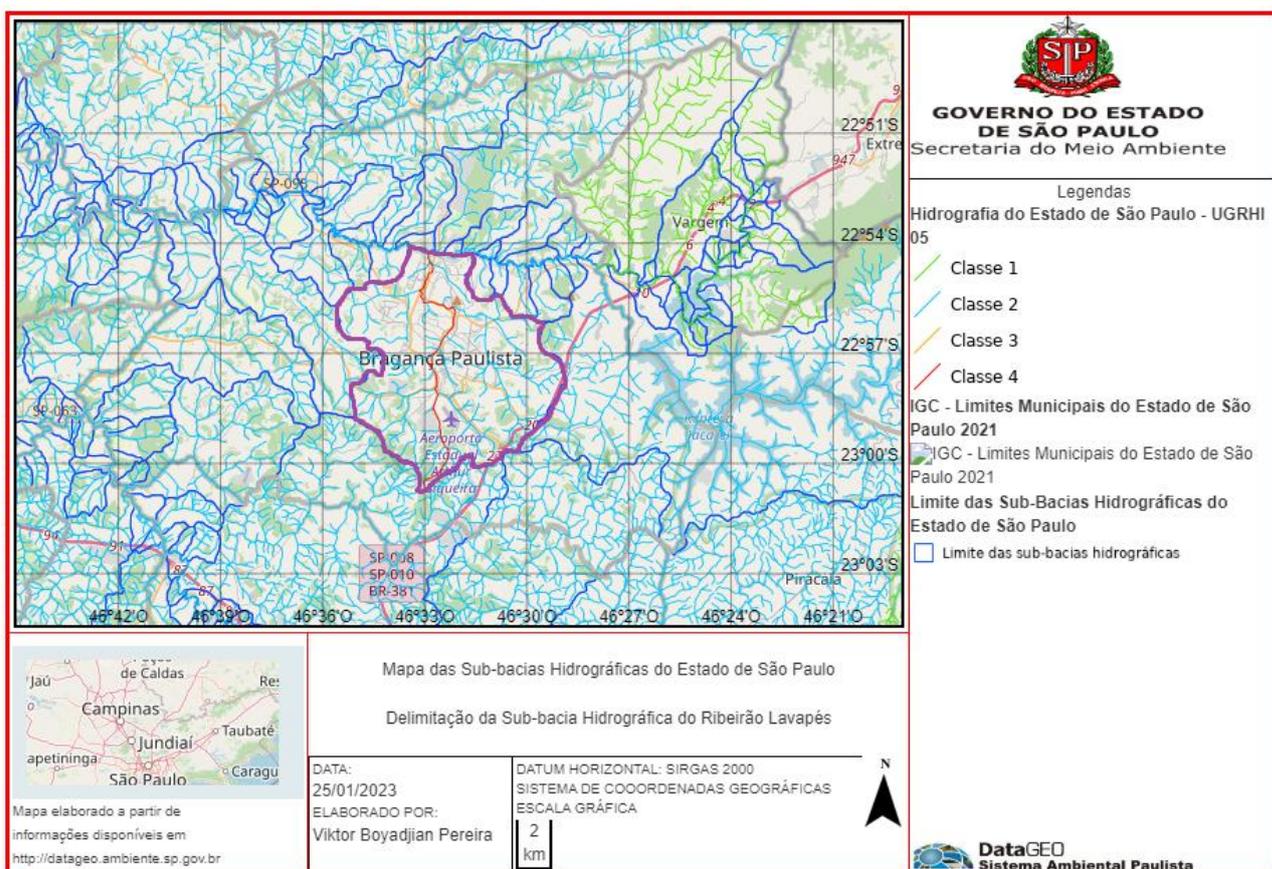
Tabela 40 – Cenários de disponibilidade hídrica quantitativa do Ribeirão Lavapés

Ribeirão do Lavapés - 97,505 Km²				
	BcDAEE 2000	Histórico 1970-2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1488,00	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão $Q_{7,10}$ (m³/s)	0,359	0,380	0,321	0,318
Vazão $Q_{95\%}$ (m³/s)	0,536	0,566	0,479	0,475
Vazão Q_{mit} (m³/s)	1,476	1,560	1,319	1,308

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

A Figura 32, ilustra os limites da sub-bacia de contribuição do Ribeirão Lavapés, estando seus cursos d'água enquadrados em Classe 2, com exceção do curso principal, em Classe 4.

Figura 32 – Delimitação da Subbacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés (contorno lilás), afluente da margem esquerda do Rio Jaguari



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Nas Tabela 41, 42 e 43 são apresentadas as equivalências de habitantes que poderiam ser abastecidos com a metade da diferença entre as vazões características apuradas para os cenários pela aplicação das precipitações anuais médias de 50 anos e o número de potenciais habitantes que deixariam de ser abastecidos em decorrência do decréscimo de vazão apuradas para as décadas de 2000 e 2010.

Tabela 41 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Histórico 1970-2019 (m³/s)	Incremento (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialmente supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais / população
Q _{7,10}	0,359	0,38	0,021	150	12	5322	172436	3,09%
Q _{95%}	0,536	0,566	0,030	150	12	7603	172436	4,41%
Q _{mlt}	1,476	1,56	0,084	150	12	21289	172436	12,35%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 42 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2000

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Década de 2000 (m³/s)	Decréscimo (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,359	0,321	0,038	150	12	9631	172436	-5,59%
Q _{95%}	0,536	0,479	0,057	150	12	14446	172436	-8,38%
Q _{mlt}	1,476	1,319	0,157	150	12	39790	172436	-23,08%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 43 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2010

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Década de 2010 (m³/s)	Decréscimo (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,359	0,318	0,041	150	12	10391	172436	-6,03%
Q _{95%}	0,536	0,475	0,061	150	12	15460	172436	-8,97%
Q _{mlt}	1,476	1,308	0,168	150	12	42578	172436	-24,69%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

O contexto apurado para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés se assemelha à situação apreciada para as duas bacias anteriormente apreciadas, isto é, se viesse a ser adotada a precipitação média anual de 1519,72 mm referente à média

plurianual de 50 anos, no lugar de 1488,00 mm do resultado original do Programa de Regionalização Hidrológica, as vazões de referência ofertadas teriam um incremento de 5,85%(Q_{7,10}) a 5,60%(Q_{95%}), cujas metades dessas vazões seriam suficientes para abastecer, respectivamente, de 5322 a 7603 habitantes.

Porém, trazendo para avaliação a premissa do menor risco, quando consideradas as precipitações médias anuais das décadas de 2000 e 2010, verifica-se a redução da disponibilidade hídrica para as vazões Q_{7,10} e Q_{95%}, redundando na incoerência de vazões cuja metade seria suficiente para atender de 9631 a 10391 habitantes para o cenário da Q_{7,10} e, 14446 a 15460 habitantes para a Q_{95%}.

6.4.4.2 Determinação das demandas de água da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Lavapés

Na sub-bacia mais urbanizada do município, não obstante, essa seja plenamente servida por sistema de abastecimento público de água, constatou-se a existência de diversos usuários de água detentores de captações alternativas, quer sejam superficiais ou subterrâneas.

No que tange às captações superficiais, foram identificados 24 usuários, de diversas naturezas, sendo os principais as atividades industriais e urbanas, com a participação respectiva de 26,36% e 31,04%. O terceiro setor em representatividade de uso refere-se à solução alternativa de abastecimento particular, com 14,61%, ou seja, a maior parcela de demandas está relacionada às atividades de caráter urbano, sendo que a predominância das captações superficiais ocorre nos afluentes do Ribeirão Lavapés, enquadrados em classe 2.

A consolidação de usos de captações superficiais cadastrados no banco de dados do DAEE, se encontra reportada na Tabela 44.

Tabela 44 – Resumo dos usos de captações superficiais, na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Resumo de usos de captações superficiais na sub-bacia do Ribeirão Lavapés					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	4	Rib. Lavapés (2) e Afluente do Rib Toró (2)	Sanitário (1) e Hidroagrícola (3)	184,00	8,92%
Irrigante/ Aquicultor	5	Afluente do Rib. Do Tabuão	Hidroagrícola (2), Irrigação (1), Dessedentação (1) e Sanitário (1)	179,76	8,72%
Irrigante	2	Afluente do Rib. Lavapés	Irrigação	4,80	0,23%
Loteador	1	Afluente do Rib do Toró	Dessedentação	20,00	0,97%
Industrial	3	Rib. Do Toró (1), Afluente do Rib. Lavapés (1) e Rib Tabuão (1)	Sanitário/Industrial (1) e Industrial (2)	543,60	26,36%
Minerador	1	Afluente do Rib. Do Toró	Umectação de pistas e compactação do solo	42,00	2,04%
Público	1	Afluente do Rib. Lavapés	Sem informação	144,00	6,98%
Solução alternativa	5	Ribeirão do Toró (2), Afluente do Rib. Do Toró (2) e Afluente do Ribeirão Lavapés (1)	Dessedentação /Piscicultura (3), Lazer/paisagismo (1), Sanitário (1)	301,28	14,61%
Uso rural	1	Afluente do Rib. Do Toró	Lazer/paisagismo	2,64	0,13%
Uso urbano	1	Afluente do Rib. Do Toró	Sanitário/Industrial	640,00	31,04%
Totais	24		Total	2062,08	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Para as captações subterrâneas no aquífero freático foram apurados os registros constantes da Tabela 45, observando-se a predominância do uso destinado à finalidade sanitária, com a vazão diária de 168,24 m³/dia, isto é, 63,59% do total captado. Assim como foi verificado para as captações superficiais, a predominância de usos está relacionada às atividades de natureza urbana, representando 66,21% do total captado, referente à 175,17 m³/dia.

Tabela 45 – Resumo dos usos de captações subterrâneas no aquífero freático, na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão Lavapés					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	4	Freático	Sanitário (3) e Dessedentação (1)	13,14	4,97%
Construtor	1	Freático	Sanitário	2,00	0,76%
Irrigante	7	Freático	Sanitário (4), Irrigação (2) e rural (1)	16,06	6,07%
Loteador	1	Freático	Sanitário	4,00	1,51%
Industrial	18	Freático	Sanitário (12), Sanitário/industrial (5), Industrial (1)	68,68	25,96%
Solução alternativa	18	Freático	Sanitário (13), lazer/paisagismo (1), Solução Alternativa Abastecimento Particular/Industrial (1), Irrigação (2) e Solução Alternativa de água Transporte de água (1)	66,30	25,06%
Uso rural	25	Freático	Sanitário (23), lazer/paisagismo (1) e Solução Alternativa Abastecimento Particular/Industrial(sic) (1)	60,22	22,76%
Uso urbano	16	Freático	Sanitário (15) e Industrial (1)	34,19	12,92%
Totais	90		Total	264,59	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Quando se trata das captações no Aquífero Cristalino, observam-se grandes volumes diários sendo captados, no caso da região da sub-bacia do Ribeirão Lavapés, onde essas ocorrem em grandes profundidades, superando em mais de treze vezes às vazões captadas no aquífero freático, isso em função da maior carga disponível, sendo os registros dessa sub-bacia indicados na Tabela 46.

Tabela 46 – Resumo dos usos de captações subterrâneas no aquífero Cristalino, na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Resumo de usos de captações subterrâneas na sub-bacia do Ribeirão Lavapés					
Usuário	Quantidade de captações	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Comerciante	2	Cristalino	Sanitário	48,60	1,40%
Concessionário	1	Cristalino	Comercial	6,00	0,17%
Condomínio	4	Cristalino	Sanitário (2) e Sanitário/Regajardim (2)	277,20	7,96%
Construtor	2	Cristalino	Sistema Alternativo de Abastecimento Privado/Industrial	250,00	7,18%
Industrial	19	Cristalino	Sanitário (3), Sanitário /Industrial (7), Sistema Alternativo Abastecimento Privado (1), Industrial (5), Água Mineral (1), Sistema de Combate a incêndio (1), Sistema Alternativo Abastecimento Privado/Industrial (1)	428,32	12,29%
	1	Grupo Tubarão	Sistema Alternativo Abastecimento Privado	1729,00	49,63%
Loteador	4	Cristalino	Sanitário	282,40	8,11%
Minerador	1	Cristalino	Sanitário	3,00	0,09%
Público	1	Cristalino	Sanitário	60,00	1,72%
Solução alternativa	11	Cristalino	Sanitário (7), Sistema Alternativo Abastecimento Privado (1), Sistema Alternativo de Abastecimento Transporte de Água (1), Sistema Alternativo de Abastecimento Privado/Industrial (1), Irrigação (1)	271,30	7,79%
Uso rural	4	Cristalino	Sanitário	38,50	1,11%
Uso urbano	7	Cristalino	Sanitário (4), Sistema Alternativo Abastecimento Privado (2), Água mineral (1)	89,50	2,57%
Totais	57		Total	3483,82	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Um aspecto a ser abordado de forma pontual é a indicação da existência de uma captação subterrânea cadastrada no Aquífero Tubarão dentro do município de Bragança Paulista, contudo o território do município está assentado exclusivamente sobre o Embasamento Cristalino, isto posto, infere-se quanto a um potencial erro relacionado a denominação do aquífero quando do cadastro do uso.

Nesse sentido, foi considerada a vazão captada dentro do município, como se estivesse sendo explotado o Cristalino, e interpretada a informação em relação ao cadastro como Aquífero Tubarão como um equívoco.

Para os lançamentos superficiais, foram identificadas as informações relacionadas na Tabela 47.

Tabela 47 – Resumo dos usos de lançamentos superficiais, na bacia do Ribeirão Lavapés

Resumo de usos de lançamentos superficiais na bacia do Ribeirão Lavapés					
Usuário	Quantidade de lançamentos	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	3	Rib Lavapés e Afluente do Rib Toró	Hidroagrícola	168,00	0,28%
Irrigante/Aquicultor	2	Afluente do Rib. Do Tabuão	Hidroagrícola	0,48	0,00%
Loteador	1	Afluente do Rib. Lavapés	Sanitário	313,92	0,52%
Industrial	3	Afluente Rib. Do Toró (1) e Rib Tabuão (2)	Industrial (2)/Sanitário (1)	6,50	0,01%
Minerador	4	Bacia do Lavapés	lançamento em cava de mineração	604,80	0,99%
Público	4	Rib Lavapés (3) e Rib Tabuão (1)	Sanitário	59352,00	97,42%
Solução alternativa	4	Ribeirão do Toró (2) e afluente desse curso d'água (2)	Sanitário (1), Dessedentação/piscicultura (2) e lazer/paisagismo (1)	475,20	0,78%
Totais	21		Total	60920,90	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Na Tabela 47, identifica-se uma vazão diária relevante para o setor público, contudo, tratam-se de duas autorizações de implantação e outros dois usos às quais não são indicadas se tratam de portaria de uso efetivamente concedida.

Cabe observar que a única Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do sistema público operada no município, tem o lançamento de seu efluente final no Rio Jaguari, conforme mencionado na página 606, do Contrato de Prestação de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Município (SÃO PAULO, 2020). Ainda nesse documento, consta que o processo no DAEE, por intermédio da qual foi emitida a outorga tem nº 9800454, mesmo processo dos quatro usos mencionados, ou seja, trata-se do mesmo usuário, logo, essas quatro concessões de uso não deverão ser consideradas, passando a Tabela 47 a registrar:

Tabela 47 (corrigida) – Resumo dos usos de lançamentos superficiais, na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Resumo de usos de lançamentos superficiais na sub-bacia do Ribeirão Lavapés					
Usuário	Quantidade de lançamentos	Nome do Rio/Aquífero	Finalidade de Uso	Vazão Diária (m³/dia)	Representatividade (%)
Aquicultor	3	Rib Lavapés e Afluente do Rib Toró	Hidroagrícola	168	10,71%
Irrigante/ Aquicultor	2	Afluente do Rib. Do Tabuão	Hidroagrícola	0,48	0,03%
Loteador	1	Afluente do Rib. Lavapés	Sanitário	313,92	20,01%
Industrial	3	Afluente Rib. Do Toró (1) e Rib Tabuão (2)	Industrial (2)/Sanitário (1)	6,5	0,41%
Minerador	4	Bacia do Lavapés	lançamento em cava de mineração	604,8	38,55%
Solução alternativa	4	Ribeirão do Toró (2) e afluente desse curso d'água (2)	Sanitário (1), Dessedentação/piscicultura (2) e lazer/paisagismo (1)	475,2	30,29%
Totais	17		Total	1568,9	100,00%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Na Tabela 48 foram compilados os dados de captações e lançamentos para viabilizar a determinação do balanço entre captações e lançamentos.

Tabela 48 – Balanço entre captações e lançamentos na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Tipos de uso	Captação superficial	Captação Cristalino	Captação Freático	Total de Captações	Lançamento superficial	Diferença lançado/captado
Usuário	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Total (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)	Vazão Diária (m³/dia)
Aquicultor	184,00	0,00	13,14	197,14	168,00	29,14
Criador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comerciante	0,00	48,60	0,00	48,60	0,00	48,60
Concessionário	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00
Condomínio	0,00	277,20	0,00	277,20	0,00	277,20
Construtor	0,00	250,00	2,00	252,00	0,00	252,00
Industrial	543,60	2157,32	68,68	2769,60	6,50	2763,10
Irrigante	4,80	0,00	16,06	20,86	0,00	4,60
Irrigante/aquicultor	179,76	0,00	0,00	179,76	0,48	179,28
Loteador	20,00	282,40	4,00	306,40	313,92	-7,52
Minerador	42,00	3,00	0,00	45,00	604,80	-559,80
Pecuarista	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Público	144,00	60,00	0,00	204,00	0,00	204,00
Solução alternativa	301,28	271,30	66,30	638,88	475,20	9,70
Uso rural	2,64	38,50	60,22	101,36	0,00	101,36
Uso urbano	640,00	89,50	34,19	763,69	0,00	5,50
Total	2062,08	3483,82	264,59	5810,49	1568,90	4241,59

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022c).

Da vazão total captada, de fontes superficiais e subterrâneas, de 5810,49 m³/dia, apenas 1568,90 m³/dia são lançados de volta para os cursos d'água da bacia, sendo que, a diferença dos volumes captados pode estar sendo destinada para o sistema público existente ou para solução particular de esgotamento sanitário, condição essa que careceria de verificação "in loco". Vale observar que a outorga da empresa operadora do saneamento equivale a uma vazão média diária de 50400,00 m³/dia, isto posto, as fontes alternativas de abastecimento são equivalentes a 11,53% da vazão captada pela empresa de saneamento.

Observa-se que podem haver outras fontes de abastecimento para os usuários loteadores e mineradores, visto que as autorizações de lançamento suplantam as vazões outorgadas para captação.

Por fim, para essa sub-bacia, os dados de demandas que compuseram o balanço de disponibilidade x demanda foram 5.810,49 m³/dia (0,067 m³/s) para captações e 1.568,90 m³/dia (0,018 m³/s) para lançamentos.

6.4.4.2.1 Balanço hídrico de usos consuntivos x vazões de referência na sub-bacia do Ribeirão Lavapés. Determinação de Disponibilidade remanescente e Estresse hídricos

Para o Ribeirão Lavapés, os resultados apurados, quanto a disponibilidade remanescente, foram registradas na Tabela 49 e estresse hídrico na Tabela 50:

Tabela 49 – Determinação das vazões remanescentes Q_{7,10} e Q_{95%} na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Balanços hídricos Ribeirão Lavapés						
Vazão de referência Q _{7,10}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	31017,60	5810,49	1568,90	15508,80	11267,21	0,13
50 anos	32832,00	5810,49	1568,90	16416,00	12174,41	0,14
Década 2000	27734,40	5810,49	1568,90	13867,20	9625,61	0,11
Década 2010	27475,20	5810,49	1568,90	13737,60	9496,01	0,11
Vazão de referência Q _{95%}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	46310,40	5810,49	1568,90	23155,20	18913,61	0,22
50 anos	48902,40	5810,49	1568,90	24451,20	20209,61	0,23
Década 2000	41385,60	5810,49	1568,90	20692,80	16451,21	0,19
Década 2010	41040,00	5810,49	1568,90	20520,00	16278,41	0,19

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2022c).

Tabela 50 – Determinação do estresse hídrico na sub-bacia do Ribeirão Lavapés

Determinação do Índice de estresse hídrico				
Vazão de referência Q _{mlt}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Vazão ecológica (m ³ /dia)	Estresse hídrico Sh (%)
Bc DAEE	127526,40	5810,49	63763,20	9,11%
50 anos	134784,00	5810,49	67392,00	8,62%
Década 2000	113961,60	5810,49	56980,80	10,20%
Década 2010	113011,20	5810,49	56505,60	10,28%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b, 2022c).

Adotando-se o cenário mais desfavorável dentre os quatro determinados, considerando o índice de precipitação média anual de 1426,09 mm, da década de 2010, as vazões remanescentes encontradas para as referências de Q_{7,10} e Q_{95%}, foram 110,00 L/s e 188,00 L/s, respectivamente, inferior em 15,38% e 14,16% em relação ao valor originalmente calculado pelo Programa de Regionalização Hidrológica, sendo essas vazões suficientes para abastecer 55757 e 95293 habitantes, descontado o percentual de 12% da água utilizada no processo de tratamento (lavagens de filtros e decantadores), números esses equivalentes a 32,33% e 55,26% da população do município.

As vazões remanescentes representam, respectivamente, 18,85% a 32,23% da vazão outorgada no Rio Jaguari para o abastecimento público do município.

As diferenças entre as vazões remanescentes mencionadas (BcDAEE e Década de 2010), quais sejam de 20,00 L/s (Q_{7,10}) e de 31,00 L/s (Q_{95%}), caso não ocorresse o decréscimo, seriam suficientes para atender à demanda diária de, respectivamente, 10138 e 15713 habitantes, se captadas em sua totalidade.

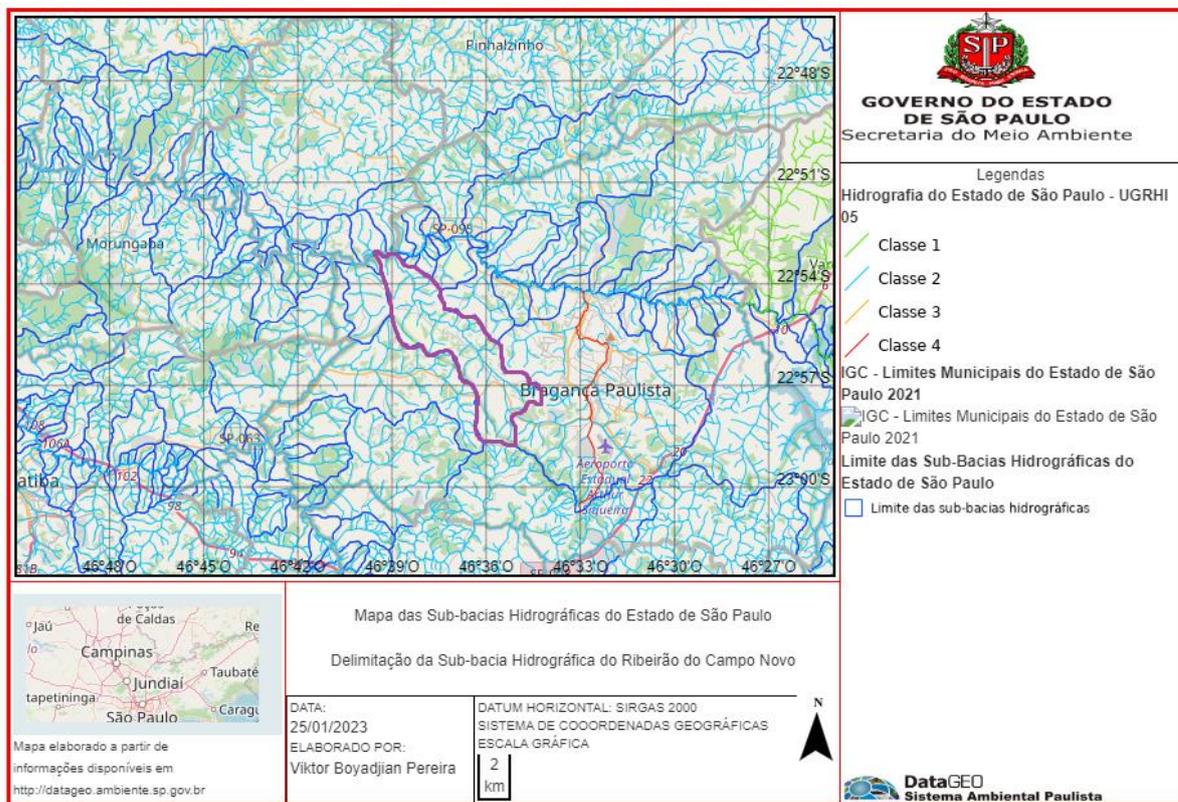
Quanto ao índice de estresse hídrico, essa sub-bacia hidrográfica tem pouco mais de um décimo de sua disponibilidade utilizada, contudo, considerando-se que a Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Capivari/Jundiaí se configura como crítica, caso adotadas as vazões Q_{7,10} ou Q_{95%} como base para estimar o nível de estresse hídrico, o percentual de uso saltaria para, 42,30% e 28,32%, respectivamente, para o cenário da precipitação média anual da década de 2010, análise essa mais conservadora e indicação de que para a vazão mínima a bacia está próxima do limite de criticidade.

6.4.5 Sub-bacia do Ribeirão do Campo Novo 36,169 Km²

6.4.5.1 Determinação da disponibilidade hídrica

A sub-bacia do Ribeirão do Campo Novo, ilustrada na Figura 33, está situada na porção central do território de Bragança Paulista, contida nos limites do município. A distância da foz dessa bacia em relação à captação superficial atualmente utilizada para abastecimento público da zona urbana do município dista 22,81 quilômetros, estando a jusante dessa captação.

Figura 33 – Delimitação da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão do Campo Novo (contorno lilás), afluente da margem esquerda do Rio Jaguari



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

A Tabela 51 traz os resultados apurados para as vazões características dessa sub-bacia hidrográfica.

Complementarmente, nas Tabelas 52, 53 e 54 são apresentadas as equivalências de habitantes que poderiam ser abastecidos com a metade da diferença entre as vazões características apuradas para os cenários pela aplicação das precipitações anuais médias de 50 anos e o número de potenciais habitantes que

deixariam de ser abastecidos em decorrência do decréscimo de vazão decorrente do menor índice pluviométrico apurado para as décadas de 2000 e 2010 em relação às vazões características originalmente resultantes do Programa de Regionalização Hidrológica.

Tabela 51 – Cenários de disponibilidade hídrica quantitativa do Ribeirão do Campo Novo

Ribeirão do Campo Novo - 36,169 Km ²				
	BcDAEE2000	Histórico 1970-2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1448,00	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão Q _{7,10} (m ³ /s)	0,123	0,141	0,119	0,118
Vazão Q _{95%} (m ³ /s)	0,184	0,210	0,178	0,176
Vazão Q _{mlt} (m ³ /s)	0,507	0,579	0,489	0,485

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 52 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m ³ /s)	Histórico o 1970-2019 (m ³ /s)	Incremento (m ³ /s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialment e supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais/população
Q _{7,10}	0,123	0,141	0,018	150	12	4561,92	172436	2,65%
Q _{95%}	0,184	0,21	0,026	150	12	6589,44	172436	3,82%
Q _{mlt}	0,507	0,579	0,072	150	12	18247,68	172436	10,58%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 53 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2000

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Década de 2000 (m³/s)	Decréscimo (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,123	0,119	0,004	150	12	1014,00	172436	-0,59%
Q _{95%}	0,184	0,178	0,006	150	12	1520,64	172436	-0,88%
Q _{mlt}	0,507	0,489	0,018	150	12	4562,00	172436	-2,65%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 54 – Estimativa de população que poderia ser atendida com metade da vazão decrescida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual – Década 2010

Vazão de referência	BcDAEE (m³/s)	Década de 2010 (m³/s)	Decréscimo (m³/s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes que poderia ser atendida, caso não houvesse a redução do índice de precipitação média anual	População estimada em 2021	Nº habitantes afetados/população
Q _{7,10}	0,123	0,118	0,005	150	12	1267	172436	-0,73%
Q _{95%}	0,184	0,176	0,008	150	12	2028	172436	-1,18%
Q _{mlt}	0,507	0,485	0,022	150	12	5576	172436	-3,23%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Campo Novo, quando adotada a precipitação média da década de 2010 as vazões Q_{7,10} e Q_{95%}, verifica-se diferença pouco significativa a menor, sendo que metade da vazão reduzida seria suficiente para abastecer de 1267 a 2028 habitantes.

6.4.5.2 Determinação das demandas de água da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Campo Novo, determinação da disponibilidade remanescente e do estresse hídrico

De modo resumido, a soma das demandas de uso de água da sub-bacia é apresentada na Tabela 55.

Tabela 55 – Total de demandas de uso de água na Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão do Campo Novo

Superficiais	Captações (m ³ /dia)		Total	Lançamentos (m ³ /dia)
	Subterrâneas - Cristalino	Subterrâneas - Freático		
556,60	1736,40	110,32	2403,32	44,16

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Quando transportadas essas informações para determinação do balanço hídrico entre disponibilidade e demandas, são encontrados os resultados contidos nas Tabelas 56, 57 e 58:

Tabela 56 – Determinação das vazões remanescentes Q_{7,10} na sub-bacia do Ribeirão Campo Novo

Balanços hídricos Ribeirão do Campo Novo						
Vazão de referência Q _{7,10}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	10627,20	2403,32	44,16	5313,60	2954,44	0,034
50 anos	12182,40	2403,32	44,16	6091,20	3732,04	0,043
Década 2000	10281,60	2403,32	44,16	5140,80	2781,64	0,032
Década 2010	10195,20	2403,32	44,16	5097,60	2738,44	0,032

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 57 – Determinação das vazões remanescentes $Q_{95\%}$ na sub-bacia do Ribeirão Campo Novo

Balancos hídricos Ribeirão Campo Novo						
Vazão de referência $Q_{95\%}$	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	15897,60	2403,32	44,16	7948,80	5589,64	0,065
50 anos	18144,00	2403,32	44,16	9072,00	6712,84	0,078
Década 2000	15379,20	2403,32	44,16	7689,60	5330,44	0,062
Década 2010	15206,40	2403,32	44,16	7603,20	5244,04	0,061

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 58 – Determinação do nível de estresse hídrico

Determinação do Índice de estresse hídrico				
Vazão de referência Q_{mlt}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Vazão ecológica (m ³ /dia)	Estresse hídrico
Bc DAEE	43804,80	2403,32	21902,40	10,97%
50 anos	50025,60	2403,32	25012,80	9,61%
Década 2000	42249,60	2403,32	21124,80	11,38%
Década 2010	41904,00	2403,32	20952,00	11,47%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Para o cenário de balanço hídrico com a precipitação média da década de 2010, as vazões remanescentes $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ representam, respectivamente, 5,49% e 10,46% da vazão outorgada para abastecimento público do município, representando vazões suficientes para abastecer de 16.220 a 30.902 habitantes.

Não obstante essas vazões sejam suficientes para o abastecimento de 9,41% a 17,92% da população, a foz desse curso d'água está mais distante em relação à captação atualmente utilizada para abastecimento público do município, se comparada com a foz do Ribeirão das Araras, para o qual foram registradas vazões remanescentes de 169,00 L/s ($Q_{7,10}$) e 269,00 L/s ($Q_{95\%}$), ou seja, vazões que representam por volta de cinco vezes as vazões do Ribeirão do Campo Novo.

Em face da distância excessiva entre a foz desse curso d'água e a instalação onde se encontra a estação de tratamento de água do município, e da ordem de grandeza da vazão remanescente apurada, em princípio, para esse ponto de estudo não será dado prosseguimento nas próximas etapas de análise.

Em complemento, o nível de estresse hídrico é baixo, quando considerado o parâmetro da vazão de longo termo, no entanto, replicando o ensaio de substituição dessa vazão pela $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, verifica-se que o índice passaria para 47,15% e 31,61%.

6.4.6 Sub-bacia do Ribeirão da Fazenda Velha 66,317 Km²

6.4.6.1 Determinação da disponibilidade hídrica

A sub-bacia do Ribeirão da Fazenda Velha, está situada na porção oeste do território de Bragança Paulista, estando a maior parte de sua superfície, contida nos limites do município, nas vertentes da margem esquerda, e as vertentes da margem direita estão contidas no município de Itatiba, sendo que o Ribeirão da Fazenda Velha compõe parte do limite entre as cidades mencionadas, sendo essa sub-bacia contribuinte do Rio Atibaia, conforme localização ilustrada na Figura 34.

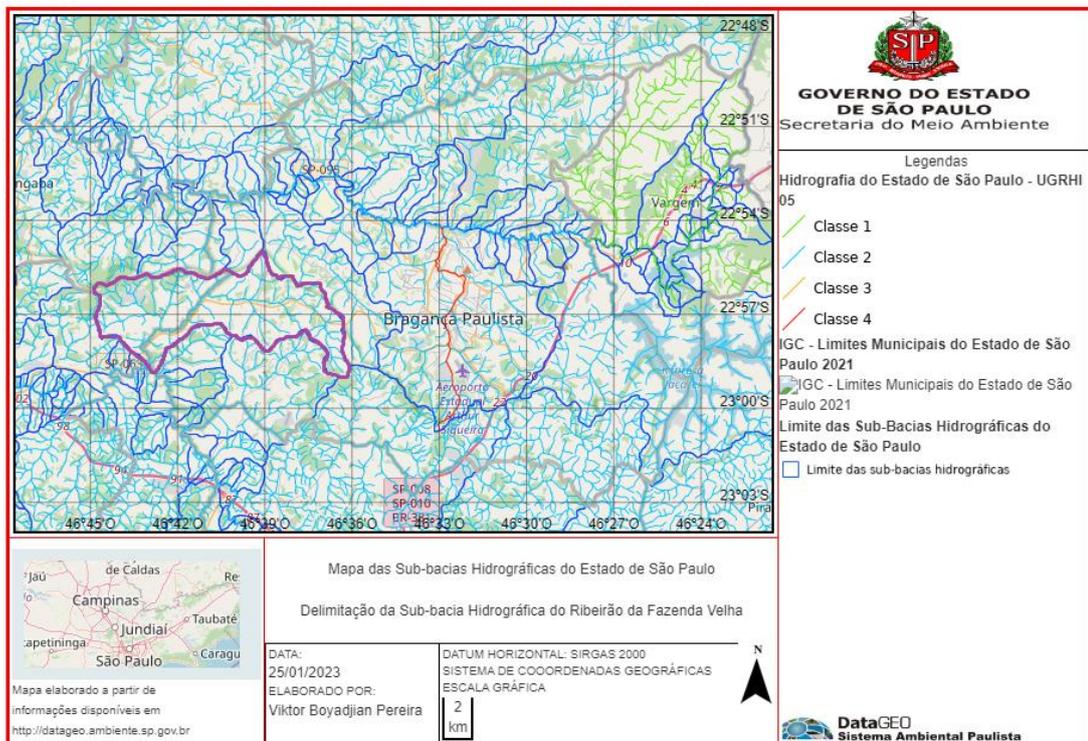
As vazões características dessa sub-bacia elencadas na Tabela 59:

Tabela 59 – Cenários de disponibilidade hídrica quantitativa do Ribeirão da Fazenda Velha

Ribeirão da Fazenda Velha - 66,137 Km ²				
	BcDAEE200 0	Histórico 1970- 2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1398,00	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão $Q_{7,10}$ (m ³ /s)	0,24	0,31	0,26	0,26
Vazão $Q_{95\%}$ (m ³ /s)	0,36	0,46	0,39	0,39
Vazão Q_{mt} (m ³ /s)	0,84	1,06	0,89	0,89

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Figura 34 – Delimitação da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Fazenda Velha (contorno lilás), afluente da margem direita do Rio Atibaia



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Um aspecto a ser observado para essa sub-bacia hidrográfica é que as precipitações médias anuais das décadas de 2000 e 2010 resultaram superiores ao valor determinado originalmente pelo Programa de Regionalização Hidrológica do DAEE.

Isto posto, não obstante para as outras quatro sub-bacias já estudadas, tenham sido adotadas as vazões características da década de 2010 como o cenário principal para este estudo, para a Bacia do Ribeirão da Fazenda Velha, mesmo tendo dado resultado superior, será mantida a referência da década de 2010, de modo a manter a coerência do estudo quanto a mesma base de desenvolvimento.

Nas Tabelas 60, 61 e 62 são apresentadas as equivalências de habitantes que poderiam ser abastecidos com a metade da diferença entre as vazões características apuradas para os cenários pela aplicação das precipitações anuais médias de 50 anos e das décadas de 2000 e 2010 em relação às vazões características originalmente resultantes do Programa de Regionalização Hidrológica visto que nos três casos as vazões foram incrementadas.

Tabela 60 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m ³ /s)	Histórico 1970-2019 (m ³ /s)	Incremento (m ³ /s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialmente supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais / população
Q _{7,10}	0,241	0,305	0,064	150	12	16220,16	172436	9,41%
Q _{95%}	0,363	0,459	0,096	150	12	24330,24	172436	14,11%
Q _{mit}	0,836	1,058	0,222	150	12	56263,68	172436	32,63%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 61 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m ³ /s)	Década de 2000 (m ³ /s)	Incremento (m ³ /s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialmente supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais / população
Q _{7,10}	0,241	0,258	0,017	150	12	4308	172436	2,50%
Q _{95%}	0,363	0,388	0,025	150	12	6336	172436	3,67%
Q _{mit}	0,836	0,894	0,058	150	12	14700	172436	8,52%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 62 – Estimativa de população potencial a ser atendida com metade da vazão de incremento

Vazão de referência	BcDAEE (m ³ /s)	Década de 2010 (m ³ /s)	Incremento (m ³ /s)	Taxa de consumo/capita (L/hab.dia)	Parcela de água de processo (%)	Nº de habitantes potencialmente supridos com metade do incremento	População estimada em 2021	Nº habitantes potenciais / população
Q _{7,10}	0,241	0,256	0,015	150	12	3802	172436	2,20%
Q _{95%}	0,363	0,385	0,022	150	12	5576	172436	3,23%
Q _{mit}	0,836	0,887	0,051	150	12	12925	172436	7,50%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Conforme constatado nas sub-bacias anteriores, a aplicação da precipitação média anual de 50 anos resulta em vazões características muito superiores aos demais cenários, sendo só a metade do incremento das vazões Q_{7,10} e Q_{95%} suficiente para abastecer de 9,41% a 14,11% da população do município.

Contudo, trazendo a análise para o cenário do índice de precipitação média anual da década de 2010, o incremento é menos significativo, sendo que a metade das vazões Q_{7,10} e Q_{95%} seria suficiente para abastecer de 3802 a 5576 habitantes a mais.

6.4.6.2 Determinação das demandas de água da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Fazenda Velha, determinação da disponibilidade remanescente e do estresse hídrico

Quanto às demandas de captações e lançamentos, foram apurados os registros elencados na Tabela 63.

Tabela 63 – Demandas de captações e lançamentos na sub-bacia do Ribeirão da Fazenda Velha

Município	Captações (m ³ /dia)			Total	Lançamentos (m ³ /dia)
	Superficiais	Subterrâneas - Cristalino	Subterrâneas - Freático		
Bragança Paulista	2419,52	2319,51	354,30	5093,33	129,66
Itatiba	435,24	7912,40	59,60	8407,24	326,40
Total	2854,76	10231,91	413,90	13500,57	456,06

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Quando transportadas essas informações para determinação do balanço hídrico entre disponibilidade e demandas, para as vazões de referência $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$, assim como para determinação do índice de estresse hídrico, foram encontrados os resultados constantes das Tabelas 64, 65 e 66:

Tabela 64 – Determinação das vazões remanescentes $Q_{7,10}$ na sub-bacia do Ribeirão da Fazenda Velha

Balanços hídricos Ribeirão da Fazenda Velha						
Vazão de referência $Q_{7,10}$	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	20822,40	13500,57	456,06	10411,20	-2633,31	-0,03
50 anos	26352,00	13500,57	456,06	13176,00	131,49	0,002
Década 2000	22291,20	13500,57	456,06	11145,60	-1898,91	-0,022
Década 2010	22118,40	13500,57	456,06	11059,20	-1985,31	-0,023

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 65 – Determinação das vazões remanescentes $Q_{95\%}$ na sub-bacia do Ribeirão da Fazenda Velha

Balancos hídricos Ribeirão da Fazenda Velha						
Vazão de referência $Q_{95\%}$	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	31363,20	13500,57	456,06	15681,60	2637,09	0,03
50 anos	39657,60	13500,57	456,06	19828,80	6784,29	0,08
Década 2000	35523,20	13500,57	456,06	17761,60	4717,09	0,06
Década 2010	33264,00	13500,57	456,06	16632,00	3587,49	0,04

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 66 – Determinação do nível de estresse hídrico

Determinação do Índice de estresse hídrico				
Vazão de referência Q_{mit}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Vazão ecológica (m ³ /dia)	Estresse hídrico Sh (%)
Bc DAEE	72230,4	13500,57	36115,2	37,38%
50 anos	91411,2	13500,57	45705,6	29,54%
Década 2000	77241,6	13500,57	38620,8	34,96%
Década 2010	76636,8	13500,57	38318,4	35,23%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Os resultados apurados para a vazão característica $Q_{7,10}$ já demonstram que essa sub-bacia hidrográfica é crítica, considerando que as vazões demandas de captação superam o teto de 50% da vazão de referência em questão.

Complementarmente, para consolidar a análise dessa sub-bacia hidrográfica, o índice de estresse hídrico apresentou resultados elevados, quando comparado com aqueles apurados nas outras bacias, ademais, quando aplicado o cálculo com as vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, com base no cenário da década de 2010, os índices hipotéticos resultariam em 122,07% e 81,17%.

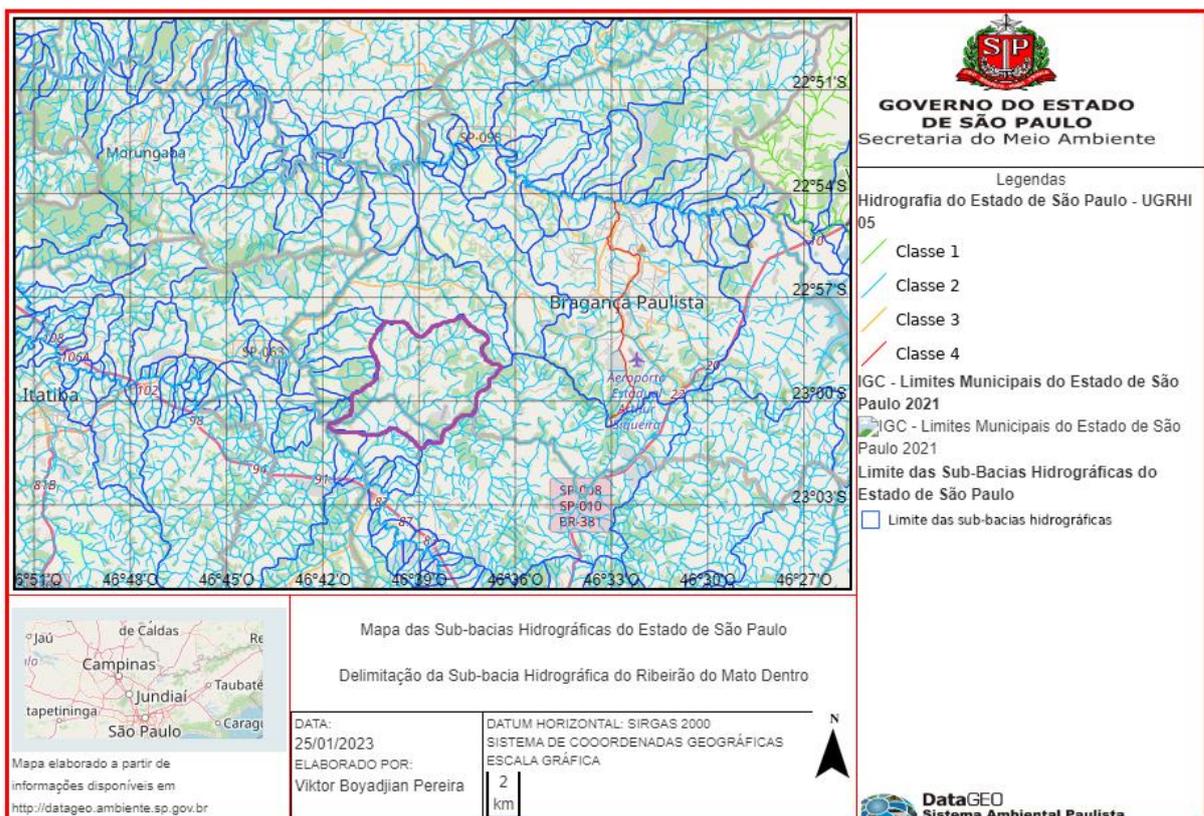
Em face da constatação da alta criticidade decorrente do volume demandado, que avança sobre a vazão ecológica, assim como, o fato de que a foz dessa sub-bacia se encontra há mais de trinta quilômetros da planta de tratamento de água no município, essa sub-bacia foi descartada do presente estudo.

6.4.7 Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mato Dentro 43,037 Km²

6.4.7.1 Determinação da disponibilidade hídrica

A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Mato Dentro, está situada na porção sudoeste do território de Bragança Paulista, estando a maior parte de sua superfície contida, nos limites do município, nas vertentes da margem direita, e as vertentes da margem esquerda estão contidas no município de Atibaia, sendo esse curso d'água parte do limite de divisa entre as cidades mencionadas, estando contida na Bacia Hidrográfica do Rio Atibaia. Na Figura 35 é ilustrada a localização dessa bacia hidrográfica no município.

Figura 35 – Delimitação da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mato Dentro (contorno lilás), afluente da margem direita do Rio Atibaia



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Partindo dos índices de precipitação média anual, foram encontradas as vazões características indicadas na Tabela 67.

Tabela 67 – Cenários de disponibilidade hídrica quantitativa do Ribeirão do Mato Dentro

Ribeirão do Mato Dentro - 43,037 Km ²				
	BcDAEE2000	Histórico 1970-2019	Década de 2000	Década de 2010
Precipitação média anual (mm)	1395,00	1519,72	1430,58	1426,09
Vazão Q _{7,10} (m ³ /s)	0,156	0,198	0,168	0,166
Vazão Q _{95%} (m ³ /s)	0,234	0,299	0,253	0,251
Vazão Q _{mit} (m ³ /s)	0,540	0,689	0,582	0,577

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

As precipitações médias anuais determinadas pelo Método dos Polígonos de Thiessen para as décadas de 2000 e 2010 resultaram pouco acima do cálculo original do Programa de Regionalização Hidrológica.

Considerando que a foz dessa sub-bacia hidrográfica se encontra há mais de 30 quilômetros da instalação de tratamento de água do município, o que já seria um aspecto motivador para seu descarte para este estudo, serão apresentados diretamente os balanços hídricos e determinação do estresse hídrico.

6.4.7.2 Determinação das demandas de água da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Mato Dentro, determinação da disponibilidade remanescente e do estresse hídrico

Para essa sub-bacia foram encontradas as seguintes demandas de captações e lançamentos indicados na Tabela 68.

Tabela 68 – Demandas de captações e lançamentos na bacia do Ribeirão do Mato Dentro

Município	Captações (m ³ /dia)			Total	Lançamentos (m ³ /dia)
	Superficiais	Subterrâneas - Cristalino	Subterrâneas - Freático		
Bragança Paulista	16366,22	1528,65	365,20	18260,07	4369,70
Atibaia	216,00	339,48	13,50	568,98	0,00
Total	16582,22	1868,13	378,70	18829,05	4369,70

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Quando transportadas essas informações para determinação do balanço hídrico entre disponibilidade e demandas, para as vazões de referência Q_{7,10}, Q_{95%}, assim como para determinação do índice de estresse hídrico, foram encontrados os resultados constantes das Tabelas 69, 70 e 71:

Tabela 69 – Determinação das vazões remanescentes $Q_{7,10}$ na sub-bacia do Ribeirão do Mato Dentro

Balancos hídricos Ribeirão do Mato Dentro						
Vazão de referência $Q_{7,10}$	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	13478,40	18829,05	4369,70	6739,20	-7720,15	-0,09
50 anos	17107,20	18829,05	4369,70	8553,60	-5905,75	-0,07
Década 2000	14515,20	18829,05	4369,70	7257,60	-7201,75	-0,08
Década 2010	14342,40	18829,05	4369,70	7171,20	-7288,15	-0,08

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 70 – Determinação das vazões remanescentes $Q_{95\%}$ na sub-bacia do Ribeirão do Mato Dentro

Balancos hídricos Ribeirão do Mato Dentro						
Vazão de referência $Q_{95\%}$	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Lançamentos (m ³ /dia)	Vazão Ecológica (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /dia)	Vazão remanescente (m ³ /s)
Bc DAEE	20217,60	18829,05	4369,70	10108,80	-4350,55	-0,05
50 anos	25833,60	18829,05	4369,70	12916,80	-1542,55	-0,02
Década 2000	21859,20	18829,05	4369,70	10929,60	-3529,75	-0,04
Década 2010	21686,40	18829,05	4369,70	10843,20	-3616,15	-0,04

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Tabela 71 – Determinação do nível de estresse hídrico

Determinação do Índice de estresse hídrico				
Vazão de referência Q_{mlt}	Vazão de referência (m ³ /dia)	Captações (m ³ /dia)	Vazão ecológica (m ³ /dia)	Estresse hídrico Sh (%)
Bc DAEE	46656,00	18829,05	23328,00	80,71%
50 anos	59259,60	18829,05	29629,80	63,55%
Década 2000	50284,80	18829,05	25142,40	74,89%
Década 2010	49852,80	18829,05	24926,40	75,54%

Fonte: Adaptado de São Paulo (2022b).

Constata-se que essa sub-bacia é extremamente crítica visto que, uma vez que a fixação de 50% da vazão de referência como vazão ecológica sinaliza o teto de uso em cada trecho dos cursos d'água, os resultados negativos das vazões remanescentes representam que as demandas estão avançando na vazão ecológica, nos períodos de baixa vazão.

Complementarmente, para consolidar a análise dessa bacia hidrográfica, o índice de estresse hídrico apresentou resultados elevados, quando comparado com aqueles apurados nas outras bacias, ademais, quando aplicado o cálculo com as vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, com base no cenário da década de 2010, os índices hipotéticos resultariam em 262,57% e 173,64%.

Em face do exposto, essa sub-bacia está descartada para fins de aproveitamento para abastecimento público.

6.4.8 Consolidação das sub-bacias hidrográficas com disponibilidade hídrica quantitativa

Finalizadas as análises preliminares relativas à disponibilidade quantitativa com bases nas vazões de referência $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ determinadas (considerando a precipitação média anual da década de 2010, cenário mais desfavorável); aos volumes remanescentes nas fozes das sub-bacias hidrográficas estudadas e determinados os índices de estresse hídrico, tanto do modo estabelecido pela ANA, assim como, com a simulação desse índice substituindo a vazão média de longo termo pelas vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, apresentam-se na Tabela 72 os resultados consolidados de vazões remanescentes e estresse hídrico por sub-bacia hidrográfica.

Tabela 72 – Consolidação do estudo de disponibilidade qualitativa remanescente e de estresse hídrico

Sub-bacia Hidrográfica	Vazões remanescentes		Índice de Estresse Hídrico		
	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{95\%}$ (m ³ /s)	Q_{mit} (%)	$Q_{7,10}$ (%)	$Q_{95\%}$ (%)
Ribeirão das Araras	0,169	0,269	5,86	24,10	16,12
Ribeirão dos Curitibanos	0,041	0,083	20,15	82,54	55,55
Ribeirão Lavapés	0,110	0,188	10,28	42,30	28,32
Ribeirão do Campo Novo	0,032	0,061	11,47	47,15	31,61
Ribeirão da Fazenda Velha	-0,023	0,042	35,23	122,07	81,17
Ribeirão do Mato Dentro	-0,084	-0,042	75,54	262,57	173,64

Fonte: Próprio autor.

Em decorrência do alto índice de estresse hídrico apurado, as duas sub-bacias hidrográficas contribuintes do Rio Atibaia, quais sejam os ribeirões da Fazenda Velha e do Mato Dentro devem ser desconsideradas como alternativa de uso futuro para fins de abastecimento público, visto que o cenário presente para um período com fluência de vazão característica $Q_{7,10}$ não há suficiência para atendimento às demandas de usos outorgados.

De igual modo, foi descartada a sub-bacia do Ribeirão dos Curitibanos, visto que, apesar do índice de estresse hídrico determinado conforme estabelecido pela ANA, ter resultado abaixo de 50% (limite de criticidade), quando realizado o cálculo hipotético com base nas vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, o teto de 50% é superado, ou seja, em períodos de baixa disponibilidade hídrica as vazões outorgadas avançarão no consumo da vazão ecológica.

Considerando a relativa proximidade dos ribeirões das Araras e do Lavapés em relação à captação atualmente outorgada para abastecimento público do município, quando comparado às outras sub-bacias estudadas, e em face de ainda haver disponibilidade remanescente abaixo do teto de 50% das vazões de referência, inclusive para os cenários hipotéticos das vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, esses cursos d'água serão estudados como alternativas para complementação de abastecimento público. Nesse contexto, foram apuradas as informações disponíveis sobre a qualidade de água nesses mananciais ou no Rio Jaguari, em ponto próximo a foz desses cursos d'água, o qual a análise sobre esse aspecto foi tratada em item específico deste estudo.

Para o Ribeirão das Araras as vazões remanescentes para uso representam 28,99% ($Q_{7,10}$) e 46,14% ($Q_{95\%}$) da vazão atualmente outorgada para fins de abastecimento público do município e para o Ribeirão Lavapés, as vazões remanescentes representam 18,87% ($Q_{7,10}$) e 32,25% ($Q_{95\%}$).

Há que se observar que o eventual uso do volume da sub-bacia do Ribeirão das Araras, como manancial complementar ou parcialmente substitutivo, demandaria investimento de recursos financeiros na construção de uma adutora de água bruta, de 16 quilômetros, até a atual estação de tratamento de água, isto posto, seu emprego efetivo ensejaria um estudo de viabilidade econômico-financeira, o que pode ser objeto de estudos futuros.

Necessário mencionar que, quanto às vazões remanescentes apuradas, os lançamentos outorgados foram computados como incremento de volume no balanço entre disponibilidade hídrica e demandas, considerando uma análise quantitativa, isso em razão dos volumes lançados incrementarem a vazão de escoamento, porém esses impactam na qualidade do corpo receptor de modo adverso, situação essa para a qual é recomendado que toda e qualquer captação superficial, para fins de consumo humano e/ou animal, preveja o monitoramento de qualidade da água bruta.

Em verdade, os lançamentos superficiais demandam uma parcela da vazão dos mananciais para diluição da carga remanescente lançada nos corpos d'água, o que

efetivamente representaria uma parcela a ser deduzida da disponibilidade hídrica do ponto de interesse em estudo. Entretanto, como os efluentes lançados tornam-se difusos no curso d'água, e entre o ponto de lançamento e da máxima depuração possível podem haver diversos pontos de captação superficial, a conduta mais racional para composição do balanço hídrico é considerar os lançamentos como aporte de vazão, mas igualmente, como redução de qualidade do manancial, fator que motiva o monitoramento dos parâmetros de qualidade, assim como, para o caso de abastecimento público, a adoção das medidas necessárias à potabilização da água.

7 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE QUALITATIVA

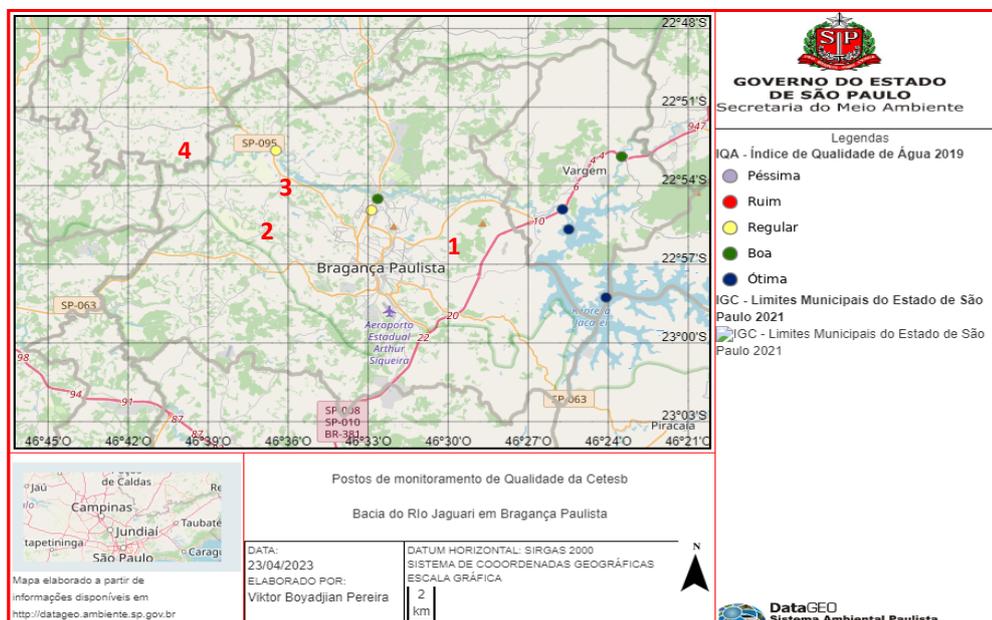
Caso venha se fazer uso das águas do Ribeirão das Araras e do Ribeirão do Lavapés, mediante a captação na foz desses mananciais, a análise de qualidade dessas amostras deverá observar os parâmetros e padrões estabelecidos para cursos d'água Classe 2 no Decreto Estadual nº 8.468/1976 e Resolução CONAMA nº 357/2005.

Não obstante não tenha sido realizada coleta de amostras para análise de qualidade dos mananciais de interesse, foi desenvolvida uma avaliação dos resultados dos pontos de monitoramento da CETESB no Rio Jaguari e no Ribeirão Lavapés, existentes no município, com a finalidade de identificar quais são, atualmente, os parâmetros que têm apresentado resultados fora dos padrões estabelecidos na legislação pertinente, de modo a identificar aqueles para os quais, eventualmente, deverão ser observados com maior atenção, quando houver a intenção de se buscar um melhor detalhamento da condição da foz de cada uma das duas bacias escolhidas.

Para tal intento foram analisados os resultados dos índices de qualidade de águas (IQA) e de qualidade da água bruta para fins de abastecimento público (IAP), dos seguintes postos de monitoramento da CETESB, indicados nas Figuras 36 e 37:

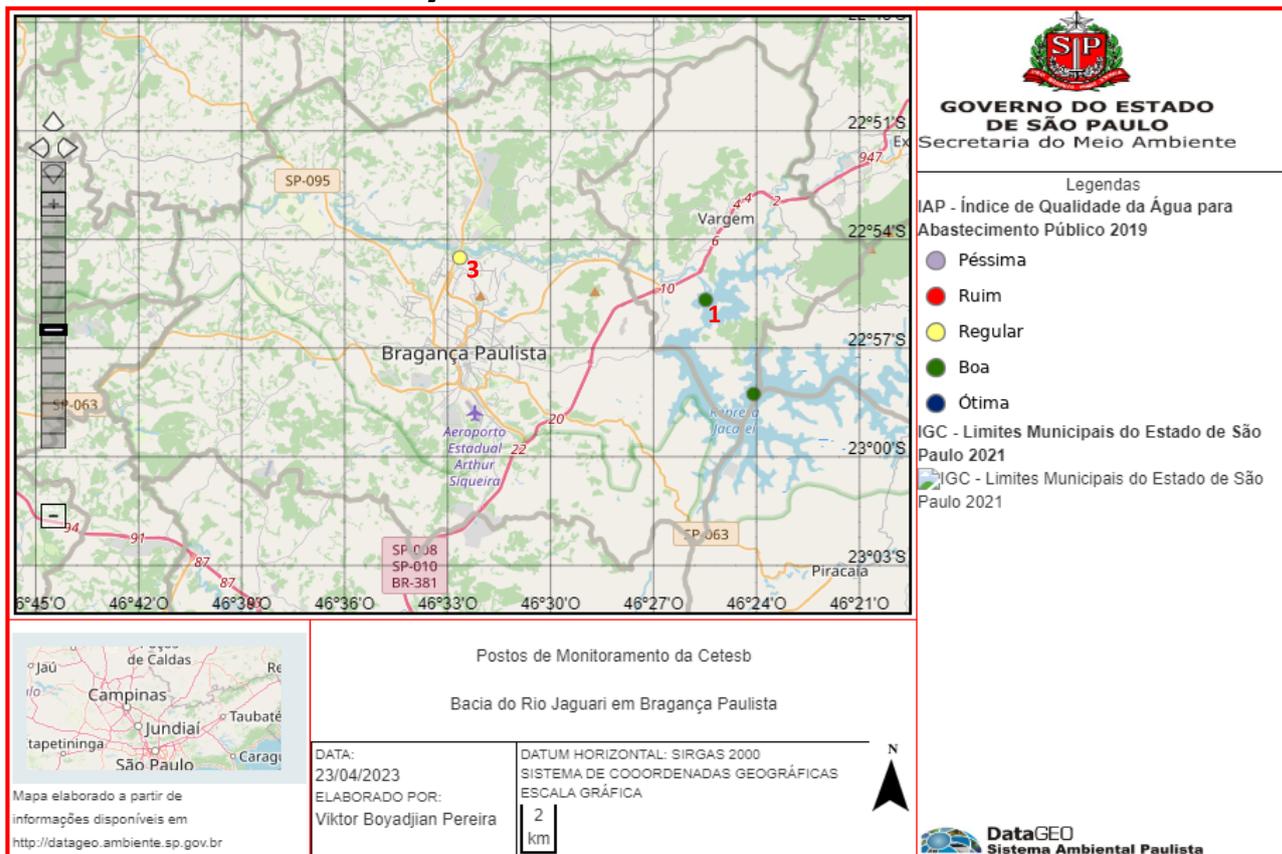
- a) Posto JARI00800 – situado no corpo central da represa do Jaguari, em frente a ilha, a montante do limite entre Vargem e Bragança Paulista (IQA/IAP);
- b) Posto LAPE04850 – situado no Ribeirão Lavapés, na Ponte da Rua Antônio Sabela, cerca de 1Km da foz com o Rio Jaguari (IQA), estando sua foz a jusante da foz do Ribeirão dos Curitibanos no Rio Jaguari;
- c) Posto JAGR02010 – instalado na captação da SABESP, no bairro Curitibanos, poucos metros a montante da foz do Ribeirão dos Curitibanos (IQA/IAP);
- d) Posto JAGR02100 – instalado na Ponta da Rodovia SP-95 no trecho que liga Bragança Paulista e Amparo (Km9), instalado a poucos metros a montante da foz do Ribeirão das Araras – (IQA).

Figura 36 – Identificação dos postos de monitoramento de IQA, da CETESB, cujos dados serão analisados, numerados conforme a sequência indicada



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Figura 37 – Identificação dos postos de monitoramento de IAP, da CETESB, cujos dados serão analisados



Fonte: Adaptado de DataGEO (2023).

Cabe observar que as informações dos índices de qualidade IQA e IAP monitorados pela CETESB foram consultados nos apêndices J ou L, e N dos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores, disponíveis no endereço eletrônico <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>, sendo que, para os apêndices J ou L a informação estar disponível em um ou outro depende do ano de publicação do referido relatório.

Além das informações disponibilizadas pela CETESB, serão trazidas informações contidas no Relatório final do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2020-2035, para o qual há indicações da concentração dos seguintes parâmetros em relação à vazão $Q_{7,10}$ de cada um dos cursos d'água, quais sejam, Oxigênio dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato Fósforo e coliformes.

7.1 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS DE QUALIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARI, NO TRECHO CONTIDO EM BRAGANÇA PAULISTA

O posto instalado na represa (JARI00800) representou a referência (*background*) da qualidade da água do Rio Jaguari a montante de Bragança Paulista, considerando estar fora da influência das atividades antrópicas desenvolvidas no município.

O posto instalado na captação da SABESP (JAGR02010) representa o primeiro ponto de análise de variação da qualidade do Rio Jaguari após ingressar no território de Bragança Paulista, sendo que no trecho compreendido entre a captação e o barramento da represa, o Rio Jaguari recebe a contribuição de pequenos cursos d'água em ambas as margens e de bacias mais significativas como, do Rio Jacareí, em sua margem esquerda, e na margem direita dos cursos Ribeirão da Limeira, Ribeirão das Anhumas (ambos vindos de Vargem), e Córrego do Agudo, além de outros pequenos afluentes, tratando-se de bacias com baixa ocupação urbana.

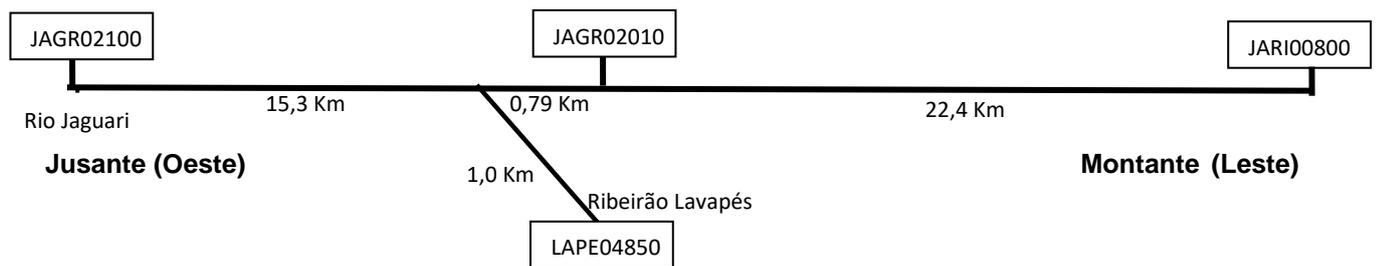
Os resultados apurados por intermédio do posto de monitoramento do Ribeirão Lavapés (LAPE04850) representaram a realidade de um curso d'água cuja bacia de contribuição foi ocupada, de modo predominante, pela zona urbana de Bragança Paulista, condição essa que ofertou elementos de análise sobre os efeitos da ocupação antrópica em um corpo d'água.

Por fim, o último posto de monitoramento (JAGR02100) representa a condição de qualidade do Rio Jaguari após receber: as águas do Ribeirão Lavapés e de outros cursos d'água da zona urbana, o efluente tratado da Estação de Tratamento de Esgotos Mãe dos Homens (Bragança Paulista), com lançamento a 11,5 km a montante da foz do Ribeirão das Araras, e dos cursos de grande parcela da área rural do município.

Inicialmente, foi apurado que, para os quatro postos de monitoramento, há cálculo do Índice de Qualidade das Águas, e que para os postos JARI00800 e JAGR02010 há cálculo do Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público, sendo que o período de análise de resultados, adotado para este trabalho, será de 2016 a 2020. Importante observar que para o posto JARI00800, o IAP passou a ser determinado a partir de 2014, sendo que os resultados do monitoramento do IQA e IAP foram levantados nos apêndices "J" ou "L", dependendo do ano de publicação.

Os dados estão apresentados por posto de monitoramento, iniciando dos registros mais atuais para os mais antigos, sendo que a sequência das tabelas de dados segue de montante para jusante, conforme ilustrado no diagrama unifilar da Figura 38.

Figura 38 – Diagrama Unifilar da posição e distância dos postos de monitoramento da CETESB



Fonte: Adaptado de CETESB (2020).

7.1.1 Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB JARI00800

No que tange a qualidade das águas da Represa do Rio Jaguari, no período de 2016 a 2020 foram coletadas 26 amostras de água dos quais, 48 dessas (ou 65,39%) apresentaram índice ótimo (azul), 6 amostras apresentaram resultado bom (ou 23,07%) e as três coletadas em 2020 apresentaram resultado regular (ou 11,54%), conforme registrado na Tabela 75.

Tabela 75 – Resultados mensais e média anual dos Índice de Qualidade das Águas, para o posto de monitoramento JARI00800

Resultados mensais e média anual do IQA - Ponto JARI 00800 - Reservatório Jaguari - UGRHI 05													
Ano	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	IQA anual
2020		42								40		37	40
2019			79		87		84		88		89		85
2018	78		82		85		91		89		74		83
2017	70		86		85		91		89		89		85
2016	71		59		85		82		89		86		79

Fonte: Adaptado de CETESB (2022).

Buscando identificar o motivo pela qual os resultados do monitoramento de 2020 registraram índices regulares, foi procedida uma consulta ao relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo para o referido ano, em que foram constatadas divergências de informação, conforme segue:

- Na página 136 do relatório há registro de que:

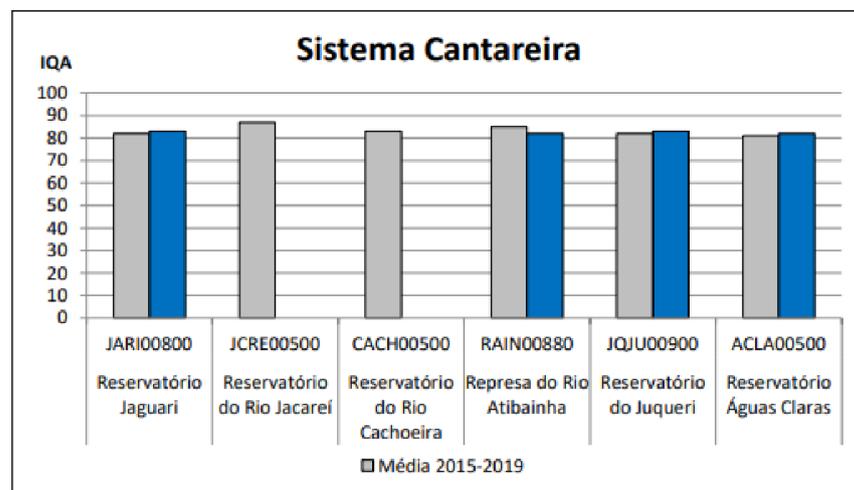
“O Gráfico 7.6 apresenta o perfil do IQA para os reservatórios do Sistema Cantareira, seguindo o caminho das águas desde o reservatório Jaguari até o Águas Claras, onde é feita a adução para a ETA do Guaraú. Em 2020, a qualidade da água dos reservatórios Jaguari, Represa do Atibainha, Juqueri e Águas Claras, de acordo com o IQA, foi classificada na categoria Ótima, se mantendo próxima da média histórica. (grifo nosso).

- Se em 2020 a qualidade da Represa foi classificada como ótima no IQA, e os registros lançados no Apêndice L resultaram regulares, motivou-se explorar, de modo mais aprofundado, o conteúdo do relatório, visando identificar qual seria a informação correta.

Na Figura 39 é ilustrado o gráfico 7.6 mencionado no relatório da CETESB.

Figura 39 – Gráfico do perfil do IQA do Sistema Cantareira

Gráfico 7.6 – Perfil do IQA nos reservatórios do Sistema Cantareira em 2020 e nos últimos cinco anos



Fonte: CETESB (2020).

Em consulta ao Apêndice N – Dados brutos das variáveis de águas e sedimentos de 2020, parte integrante do Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>, apurou-se que as coletas de amostras ocorreram nos meses de fevereiro, julho, setembro e novembro de 2020, compatível com os registros efetuados para o IAP, contudo, divergente daqueles lançados para o IQA, a exceção do mês de fevereiro, tendo sido lançados resultados nos meses de outubro e dezembro.

Para verificar os resultados que embasaram a redação do relatório, foram coletados os registros das amostras dos nove parâmetros que compõem o IQA, constantes dos meses de amostragem mencionados para determinação do índice, e de posse desses, foi utilizada a equação do referido índice para verificação dos resultados, mediante o uso de planilha Excel.

Os resultados do índice de qualidade apurados para os meses de fevereiro, julho, setembro e novembro, para o posto de monitoramento JARI00800, por intermédio da planilha de cálculo em Excel foram, respectivamente 74 (Boa), 87, 92, 81 (Ótima).

Para validação dos resultados apurados para o IQA foi determinado o IAP, cujo resultados lançados no Relatório de Monitoramento das Águas Interiores da Cetesb referem-se aos meses de fevereiro, julho, setembro e novembro de 2020.

Para tanto, foram consultados, no Apêndice N – Dados brutos das variáveis de água e sedimento 2020, os resultados dos parâmetros que compõem do Índice de Soluções Tóxicas e Organolépticas (ISTO) para posterior multiplicação com os resultados de IQA, para determinação do IAP.

Os resultados para o indicador ISTO foram:

- Fevereiro/2020 – ISTO = 0,56 (parâmetros alterados: células de cianobactérias, Alumínio e Ferro);
- Julho/2020 – ISTO = 0,60 (parâmetros alterados: células de cianobactérias);
- Setembro/2020 – ISTO = 0,70 (parâmetros alterados: células de cianobactérias);
- Novembro/2020 – ISTO = 0,60 (parâmetros alterados: células de cianobactérias).

De posse dos resultados do IQA e do ISTO, foi determinado o IAP, conforme registrado na Tabela 76, na qual, em face da igualdade ou proximidade do resultado calculado para o IAP e os valores publicados no relatório da CETESB, foi confirmado que os valores corretos para o IQA, em 2020, foram aqueles determinados neste estudo.

Tabela 76 – Determinação do IAP para ratificação do IQA

Determinação do IAP - Posto JARI 00800 - Ano 2020					
Mês	IQA	ISTO	IAP	IAP (CETESB)	Qualidade
Fevereiro	74	0,56	41,44	42	Regular
Julho	87	0,6	52,20	51	Regular
Setembro	92	0,7	64,40	64	Boa
Novembro	81	0,6	48,60	49	Regular

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

Mediante a investigação realizada e uma vez corrigidos os registros do IQA, a Tabela 75 passa a figurar com os seguintes resultados:

Tabela 75 (corrigida) – Resultados mensais e média anual dos Índice de Qualidade das Águas, para o posto de monitoramento JARI00800

Resultados mensais e média anual do IQA - Ponto JARI 00800 - Reservatório Jaguari - UGRHI 05													
Ano	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	IQA anual
2020		74					87		92		81		84
2019			79		87		84		88		89		85
2018	78		82		85		91		89		74		83
2017	70		86		85		91		89		89		85
2016	71		59		85		82		89		86		79

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

7.1.2 Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB JAGR02010

O posto de monitoramento em questão está localizado próximo da captação de água que atualmente abastece o município, estado a jusante da represa do Jaguari-Jacareí, tendo na Tabela 77 os resultados do Índice de Qualidade da Água para o período de 2016 a 2020.

Tabela 77 – Resultados mensais e média anual dos Índice de Qualidade das Águas, para o posto de monitoramento JAGR02010

Resultados mensais e média anual do IQA - Ponto JAGR 2010 - UGRHI 05													
Ano	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	IQA anua l
2020		47				49			66		71		58
2019	55		40		70				74		69		62
2018	55		64		72		72		59		65		64
2017	54		61		69		74		79		63		67
2016	43		50		57		71		65		53		57

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

Ao todo, para o período de 2016 a 2020 foram realizadas 27 coletas de amostras das águas do Rio Jaguari neste ponto dos quais 22 (81,48%) apresentaram resultado de qualidade boa e as cinco demais apresentaram resultado regular, principalmente no primeiro trimestre.

No relatório anual de águas interiores da CETESB consta, de sua página 120, que os resultados regulares de 2016 resultam de “reflexo da piora observada nos últimos anos em função do regime de chuva menos intenso”.

Para o ano de 2020, o principal fator de piora na qualidade do manancial, de acordo com a CETESB foi a presença de matéria orgânica, decorrente de possíveis contaminações com esgoto.

Na Tabela 78 são trazidos os resultados do IAP desse ponto de monitoramento, sendo que para o ano de 2019, quando no mês de janeiro foi registro um índice de qualidade péssima, em razão dos seguintes parâmetros alterados: Alumínio dissolvido, cor verdadeira, Ferro dissolvido, Escherichia Coli e a análise ecotoxicológica que resultou crônica, contudo as campanhas de maio e novembro de 2019 trouxeram qualidade Boa como resultado, isto posto, o índice apurado em janeiro pode ter sido causado por uma situação pontual, eventualmente por descarte de efluentes químicos, tais como, metais, fenóis, benzeno e derivados, hidrocarbonetos aromáticos, defensivos agrícolas, antibióticos, dentre outros.

Tabela 78 – Resultados mensais e média anual dos Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de abastecimento público, para o posto de monitoramento JAGR02010

Resultados mensais e média anual do IAP - Ponto JAGR 2010 - UGRHI 05													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	IQA anua I
2020		38				42			61		71		53
2019	6				67						68		47
2018	45				67		71				64		62
2017	45				65		73				54		59
2016	32				55		66				19		43

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

Quanto o resultado elevado para o indicador de Escherichia Coli é indicador da presença de matéria orgânica fecal, podendo tanto ser de origem de esgotos domésticos, como de origem animal.

Considerando que o município é dotado de sistema público de esgotamento sanitário com tratamento de esgotos, uma maior presença de Escherichia Coli pode ser originária de outras naturezas de atividade antrópica, assim como, de atividades pecuárias realizadas na região.

7.1.3 Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB LAPE 04850

A sub-bacia do Ribeirão Lavapés foi considerada como alternativa para complementação de vazão para abastecimento de água do município dentro da análise de disponibilidade hídrica desenvolvida neste estudo.

Como essa sub-bacia abriga a zona urbana do município de Bragança Paulista há uma significativa influência das atividades antrópicas em relação à qualidade de suas águas, principalmente em decorrência de poluição difusa durante os períodos de chuvas. Como alguns trechos tem suas várzeas ocupadas por viários e imóveis, em períodos de chuva são observados eventos de enchentes e inundações.

Contudo, conforme registrado no relatório de águas interiores da CETESB de 2016, o Ribeirão Lavapés apresenta uma tendência de melhora na qualidade de suas águas, principalmente em decorrência do início da operação da ETE Mãe dos Homens no ano de 2013.

Na Tabela 79 está registrada a evolução dos resultados do IQA para esse curso d'água no período de 2016 a 2020.

Tabela 79 – Resultados mensais e média anual dos Índice de Qualidade das Águas, para o posto de monitoramento LAPE04850

Resultados mensais e média anual do IQA - Ponto LAPE 04850 - UGRHI 05													
Ano	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	IQA anual
2020			44										
2019	44		54		55				47		50		50
2018	49		57		58		54		52		52		54
2017	44		29		43		36		42		50		41
2016	48		43		50		55						49

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

De acordo com o relatório de águas interiores de 2017, os resultados ruins de março e julho foram causados pelo baixo índice de Oxigênio Dissolvido. Vale observar que os resultados apurados no período de 2016 a 2020, não obstante na maioria seja regular, representa um avanço, haja visto que no período de 2011 a 2016, de acordo com a CETESB, o IQA tinha uma performance média de 30, ou seja, qualidade ruim.

Como a zona urbana está plenamente assentada na área de contribuição dessa sub-bacia hidrográfica, reduzindo a capacidade de infiltração, aumentando a velocidade de escoamento superficial, e contribuindo para o carreamento de toda natureza de resíduos que estiverem presentes na superfície, seria conveniente a realização de campanhas de coletas de amostras para determinação do IAP, para o caso de uso desse manancial para fins de abastecimento público, ou estudar a alternativa de realizar a captação no Rio Jaguari após a confluência com o Ribeirão Lavapés em ponto a ser definido.

7.1.4 Qualidade da água no posto de monitoramento CETESB JAGR02100

Este posto de monitoramento está localizado poucos metros a montante da confluência do Ribeirão das Araras com o Rio Jaguari, em local afastado da zona urbana, a jusante do lançamento da ETE Mãe dos Homens e inserido em região que

abriga pequenos aglomerados e núcleos urbanos e, predominantemente, propriedades rurais e de veraneio.

A evolução do índice de qualidade desse ponto de monitoramento, para o período de 2016 a 2020 encontra-se registrado na Tabela 80.

Tabela 80 – Resultados mensais e média anual dos Índice de Qualidade das Águas, para o posto de monitoramento JAGR02100

Resultados mensais e média anual do IQA - Ponto JAGR 02100 - UGRHI 05													
Ano	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	IQA anual
2020		51									40		
2019	45		52		51				52		43		48
2018	48		57		40		34		32		47		43
2017	55		48		60		59		51		50		54
2016	49		43		56		61		46		47		50

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

Nesse período foram realizadas 25 coletas de amostras sendo predominante a qualidade regular do Rio Jaguari, com 15 ocorrências (60%), 8 ocorrências de qualidade boa (32%) e por duas ocorrências pontuais e seguidas de resultado péssimo em 2018.

Em consulta ao relatório de águas interiores de 2018, foi registrado que no período foi verificada uma maior presença de carga orgânica diluída no curso d'água, trazendo ainda que “O rio Jaguari manteve a classificação Boa pelo IQA em praticamente toda a sua extensão (Gráfico 7.12), exceto no trecho a jusante da confluência com o Ribeirão Lavapés (JAGR 02100), cuja qualidade se mostra alterada pela presença de carga orgânica. Este trecho sofreu piora da qualidade em relação a 2017, passando para a categoria Regular.

Cabe observar que de 2010 a 2016 a qualidade do rio nesse ponto sempre resultou como regular, e que não foi possível acessar os arquivos das análises dos resultados das amostras coletadas, de modo a identificar os parâmetros que estiveram desenquadrados.

7.2 CONDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE PARÂMETROS PARA VAZÃO Q_{7,10} APURADOS NO ANO DE 2020 NO PLANO DE BACIAS DO PCJ PARA OS RIBEIRÕES LAVAPÉS E DAS ARARAS

Em consulta ao plano de bacias (PROFILL-RHAMA, 2020) ao qual o município de Bragança Paulista está contido, foram identificados os registros constantes das Tabelas 81 e 82, em relação aos parâmetros de concentrações:

Tabela 81 – Parâmetros de qualidade das águas dos Ribeirões das Araras e Lavapés – parte 1

Trecho de rio (AC)	Municípios contidos na AC	Corpo d'água	Enquadramento	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	N amoniacal (mg/L)	Nitrato (mg/L)
JAGR076	Pedra Bela	Ribeirão das Araras	2	7,795	15,294	1,345	0,016
JAGR077	Pedra Bela, Bragança Paulista e Pinhalzinho	Ribeirão das Araras	2	5,995	2,366	0,97	0,126
JAGR074	Bragança Paulista e Pinhalzinho	Ribeirão das Araras	2	7,251	1,059	0,648	0,085
			Padrão Classe 2	5,00	5,00	3,70	1,00
JAGR078	Bragança Paulista	Ribeirão do Lava-Pés	4	5,556	15,821	1,344	0,031
			Padrão Classe 3	> 4,00	10,00	13,30	1,00

Fonte: PROFILL-RHAMA (2020).

Tabela 82 – Parâmetros de qualidade das águas dos Ribeirões das Araras e Lavapés – parte 2

Trecho de rio (AC)	Municípios contidos na AC	Corpo d'água	Enquadramento	Nitrato (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Coliformes NMP/100 mL
JAGR076	Pedra Bela	Ribeirão das Araras	2	0,064	0,274	2600730
JAGR077	Pedra Bela, Bragança Paulista e Pinhalzinho	Ribeirão das Araras	2	0,395	0,23	1,577
JAGR074	Bragança Paulista e Pinhalzinho	Ribeirão das Araras	2	0,481	0,187	2,228
			Padrão Classe 2	10,00	0,10	1000,00
JAGR078	Bragança Paulista	Ribeirão do Lava-Pés	4	0,048	0,296	2812274
			Padrão Classe 3	10,00	0,15	2500,00

Fonte: PROFILL-RHAMA (2020).

7.2.1 Análise em relação à qualidade do Ribeirão das Araras

Nas Tabelas 81 e 82 a sequência de apresentação dos três trechos do Ribeirão das Araras foi relacionado conforme o sentido das cabeceiras para a foz, e nessa linha de raciocínio é possível constatar que no trecho contido no município de Pedra Bela a sub-bacia apresenta desenquadramento dos índices de DBO, Fósforo e Coliformes.

Conforme foi constatado neste estudo, no trecho de Pedra Bela o volume total captado em captações superficiais foi de 1997,02 m³/dia, dos quais 1116,64 m³/dia tinha finalidade rural, e as captações subterrâneas no Aquífero Cristalino, com volumes explorados mais significativos para abastecimento público do município, somaram para essa finalidade 1185,00 m³/dia.

Considerando que dos 1116,64 m³/dia de uso rural 1080,00 m³/dia destinam-se à irrigação e que dos 1185,00 m³/dia de abastecimento público 1114,56 m³/dia se tornam lançamentos de efluentes, é possível que as alterações de DBO e coliformes sejam decorrentes da carga orgânica remanescente de esgotos tratados e o desenquadramento do Fósforo seja decorrente da presença da carga remanescente de esgotos e de insumos agrícolas carreados pela irrigação.

Contudo, conforme o curso d'água avança em direção à sua foz, os parâmetros de DBO e coliformes são depurados, mudando a qualidade para índices melhores do que os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Ocorre que para o parâmetro Fósforo, apesar de se verificar uma redução em sua concentração, conforme o ribeirão avança no sentido de sua foz, somente o processo de autodepuração não foi suficiente para trazer esse indicador para os limites da legislação, motivo pela qual seria recomendada a realização de campanhas de coleta de amostras próximas à ETE do município de Pedra Bela e a jusante de propriedades rurais, de modo a identificar a atividade que está contribuindo predominantemente para essa situação e buscar orientar medidas corretivas para reversão desse quadro.

Havendo a possibilidade de redução das cargas de Fósforo na sub-bacia, verifica-se que há potencial para adoção desse curso para reforço ao abastecimento público quer seja no que tange a disponibilidade quantitativa como qualitativa.

7.2.2 Análise em relação à qualidade do Ribeirão Lavapés

Já o cenário do Ribeirão Lavapés é mais crítico, haja vista que, além de seu enquadramento em Classe 4 impedir seu uso para fins abastecimento público, e apesar da zona urbana do município ser predominantemente coberta pelo sistema público de esgotamento sanitário, sendo os esgotos destinados para tratamento, o curso ainda recebe contribuições lançamentos em suas águas, haja visto existirem 17 usuários que contribuem com a descarga de 1568,90 m³/dia de efluentes.

Se considerada a vazão de referência de 27475,20 m³/dia para o cenário da década de 2010, a vazão dos lançamentos representa 5,71% da vazão diária do curso d'água. Numa simulação, caso fosse considerada uma carga de DBO de 300 mg/L para esgotos e de 10 mg/L para o curso d'água, a carga orgânica remanescente da diluição resultaria em 25,67 mg/L o que representaria seu desenquadramento.

Considerando a influência antrópica na sub-bacia e a existência de lançamentos seria necessário avaliar, caso se pretenda utilizar esse curso d'água para abastecimento público, a viabilidade de que esses lançamentos fossem coletados e destinados para a ETE Mãe dos Homens, e posteriormente, que viesse a ser realizado seu monitoramento da foz desse curso d'água, de modo a avaliar se houve melhora de sua qualidade para complementação de vazão para o abastecimento público.

Caso contrário, deverão ser previstos investimentos em tratamentos avançados, defina-se pela captação de água nesse manancial na forma como se encontra, fator que encareceria o custo da operadora de abastecimento público.

8 CONCLUSÃO

Analisando-se a variação na precipitação média anual encontrada a partir da segregação por décadas e comparando com a média histórica (no caso, de 50 anos), além da verificação de tendências e pontos de mudança, mediante a aplicação de testes estatísticos múltiplos, e estabelecendo-se uma relação decréscimo de disponibilidade X número de habitantes que poderiam ser atendidos, foi possível apurar o quanto esse gradiente nos resultados interfere positiva ou negativamente na determinação das vazões características que representam a disponibilidade hídrica de uma sub-bacia hidrográfica.

Considerando-se ainda, os cenários de longas estiagens recorrentes na última década, e a ocorrência de eventos extremos projetados para o futuro, a exemplo dos relatórios do IPCC, conclui-se que a metodologia proposta para determinação de disponibilidade hídrica de sub-bacias hidrográficas, em nível municipal, considerando múltiplos cenários de precipitação média anual, foi validada como produto a ser aplicado em estudos para implantação ou ampliação de empreendimentos que façam uso de água, sinalizando, favoravelmente, que análises de disponibilidade hídrica não devam estar limitados apenas à média da série histórica da região estudada.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto ao uso da ferramenta de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo para desenvolvimento dos múltiplos cenários, não obstante a sua aplicação tenha sido dirigida à determinação das vazões características e de referência $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ e Q_{mlt} , mediante a inserção da precipitação anual média, durante o estudo mais detalhado dessa ferramenta foi conhecido que a determinação automática das precipitações é determinada sobre o mapa de curvas isoietas do Estado de São Paulo, além do que a base de dados pluviométricos e fluviométricos está limitada até o ano 2000.

Nesse sentido, a variação e diferença entre as precipitações médias anuais de 50 anos, determinada por intermédio do Método dos Polígonos de Thiessen, e da precipitação automaticamente gerada pela ferramenta em comento (isoietas), nos limites do município de Bragança Paulista, podem ser decorrentes tanto da diferença de métodos de determinação, assim como, solidariamente, da distinção entre as séries histórica de precipitação da ferramenta, sendo uma carregada com os dados desde o início das medições até 2000, e a determinação pelo Método de Thiessen para um período restrito entre 1970 e 2019, adotado para parametrizar a relação entre os registros de precipitação entre os postos pluviométricos estudados.

Nesse contexto, o exercício da aplicação desta ferramenta na análise de múltiplos cenários, ora proposta, deve trazer essa ressalva e esclarecimento, quando utilizado em rotinas de processo de estudos para definição de vazões características para solicitação de outorgas.

O desenvolvimento de estudos de disponibilidade hídrica avaliando o comportamento das chuvas em períodos mais curtos, adotando-se cenários mais críticos e observando-se o comportamento das precipitações de décadas específicas mais recentes, se justificou por retratarem as condições climáticas presentes.

Quando realizada a análise para um período mais longo, como os cinquenta anos avaliados neste trabalho, a ocorrência das reduções apreciadas nas últimas duas décadas se dilui e deixa de ser evidenciada, trazendo a falsa impressão de maior disponibilidade hídrica decorrente de um índice de precipitação média anual histórica igualmente maior.

Considerando que, no Estado de São Paulo os lançamentos de efluentes em cursos d'água devem obedecer aos parâmetros e padrões estabelecidos no Decreto Estadual 8.468/1976, artigo 18, caso se pretenda fazer uso das águas do Ribeirão

Lavapés para fins de abastecimento público, uma medida que poderia ser estudada seria avaliar a viabilidade de descarte desses efluentes no sistema público de esgotamento sanitário, observando aos parâmetros e padrões estabelecidos no artigo 19 A do referido decreto. Tal medida contribuiria com a melhoria da qualidade do recurso hídrico, não só no aspecto ambiental, mas também resultaria em uma menor demanda de produtos químicos para potabilização dessa água.

Outra medida que poderia ter sua viabilidade estudada na sub-bacia do Ribeirão Lavapés relaciona-se aos usos industriais existentes. Explica-se. Foi identificada uma demanda de 2.157,22 m³/dia explorados do aquífero Cristalino, o que representa uma vazão de praticamente 25,00 L/s. Para esses casos, uma recomendação seria visitar essas plantas industriais e avaliar a viabilidade e interesse dos usuários em substituir o uso de aquífero profundo por água de reuso, que poderia ser produzida pela estação de tratamento de esgotos que opera no município.

Caso essa alternativa se mostrasse viável, seria uma forma de se preservar uma água mais nobre no aquífero profundo, concedendo o uso preferencial para o abastecimento público, e de ser aproveitada a disponibilidade de uma água tratada com uma qualidade distinta da potável, contudo, passível de aplicação em processos produtivos.

No que tange a qualidade dos dois mananciais passíveis de uso foi observado para o Ribeirão das Araras, em pontos de controle de qualidade nos três municípios abrangidos que em Pedra Bela o curso encontra-se desenquadrado em relação aos parâmetros, DBO, Fósforo e Coliformes, sendo que sua qualidade melhora nos municípios seguintes, contudo, menos com a redução da concentração, o Fósforo persiste desenquadrado.

Para essa bacia seria importante confirmar se o excesso do Fósforo é decorrente de uso de insumos agrícolas, o que eventualmente demandaria ações de orientação aos produtores rurais quanto a dosagem de aplicação de adubos/fertilizantes, assim como, seria importante verificar se há destinação adequada de resíduos orgânicos provenientes das criações (suínos, bovinos, galináceos...), de modo a verificar a potencial origem do alto índice de coliformes na sub-bacia.

Já para o Ribeirão Lavapés, observa-se igualmente o desenquadramento dos mesmos parâmetros, contudo a origem dos poluentes estaria relacionada às atividades antrópicas urbanas, sendo o alto índice de Fósforo potencialmente proveniente do uso de sabões e detergentes, e o índice de DBO e coliformes provenientes de descartes

irregulares de efluentes domésticos, haja visto que a zona urbana é plenamente coberta pelo sistema público de esgotamento sanitário.

Não obstante ao exposto, para o Ribeirão Lavapés, no posto de monitoramento de qualidade da CETESB, no período de 2016 a 2020 a predominância do IQA foi regular, com alguns períodos de qualidade boa, ou seja, não obstante se trate de um curso d'água urbano, sua condição atual não é de degradação.

Por fim, considerando-se que as demandas projetadas até o ano de 2048, estimam uma demanda de 544,10 L/s (170.228 habitantes) abrangendo as demandas per capita e o índice de perdas, e que a vazão atualmente outorgada para o município é de 583,33 L/s, em princípio outorga concedida seria suficiente para atendimento às demandas de abastecimento, porém, verifica-se que nas projeções de demandas não foi considerado o volume necessário para o próprio tratamento da água, o que representaria um acréscimo de 12% sobre o volume a ser produzido, elevando a demanda para captação a 609,39 L/s.

Considerando os estudos apresentados, uma nova captação após a confluência com o Ribeirão Lavapés teria vazão suficiente para suprir o aporte de vazão demandado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Oficina sobre escassez hídrica e racionamento preventivo**: a necessária integração entre as políticas de recursos hídricos e de saneamento básico. Brasília, DF: ANA, 2017a. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/comar-alocacao-de-agua-e-escassez-hidrica>. Acesso em: 7 fev. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Resolução ANA nº 1938, de 30 de outubro de 2017**. Brasília, DF: ANA, 2017b. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/1938-2017.pdf>. Acesso em: 07 maio 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos d'água**. Brasília, DF: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Plano nacional de segurança hídrica**. Brasília, DF: ANA, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **ODS 6 no Brasil**: visão da ANA sobre os indicadores. Brasília, DF: ANA, 2019b.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA; SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Resolução Conjunta ANA/DAEE nº 925, de 29/05/2017**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/arquivos/resolucoes/2017/925-2017.pdf?174417>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- ALMEIDA, R. S. A. **Índices de qualidade de água**. Cruz das Almas: EDUFRB, 2021.
- AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blücher, 1998.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
- BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, 2005. Disponível em <http://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2022.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988**. Brasília, DF, 1988. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/legislacao/constituicao1988>. Acesso em 13 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997. Disponível em: [BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013**. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Brasília, DF, 1997. Disponível em: \[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm\]\(http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm\). Acesso em: 06 fev. 2022.](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.433%2C%20DE%208%20DE%20JANEIRO%20DE%201997.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,o%20inciso%20XIX%20do%20art.&text=1%C2%BA%20da%20Lei%20n%C2%BA%208.001,28%20de%20dezembro%20de%201989. Acesso em: 07 fev. 2021.</p>
</div>
<div data-bbox=)

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Brasília, DF: MCTIC, 2016.

BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. P. (coord.) **Livro branco da água: a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções**. São Paulo. Instituto de Estudos Avançados, 2018. 75 p.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Precipitação. *In*: CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap4-PPT.pdf>.

CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2. ed. [S. l.]: UNESCO/WHO/UNEP, 1992, 1996.

COLLISCHONN W.; DORNELLES. F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Porto Alegre: [s. n.], 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7684/000553512.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 abr. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Águas subterrâneas: aquífero Pré-Cambriano**. São Paulo: Cetesb, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-pre-cambriano-cristalino/>. Acessado em: 04 a2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Índices de qualidade das águas**: apêndice E. São Paulo: Cetesb, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2022.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Contrato de programa do município de Bragança Paulista, de 30 de julho de 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: https://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/contratos_municipios/braganca_paulista.pdf. Acesso em: 09 jun. 2022.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Contrato de programa do município de Pedra Bela, de 19 de dezembro de 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: https://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/contratos_municipios/PedraBela.pdf. Acesso em: 09 jun. 2022.

FERNANDES, A. C. G. *et al.* O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n. 11, p. 1-11, 2022.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo. 2. Ed. rev atual. [S. l.]: Edgard Blücher, 1998.

GORDILHO, H. J. S.; OLIVEIRA, T. P. Águas no direito brasileiro. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL, 2016, João Pessoa. **Anais [...]** [S. l.]: PPGCJ/UFPB, 2016. p. 7-27.

GUTIERREZ, S. **07 Test de Mann Kendall**. Canal: Sergio Gutierrez. [S. l.: s. n.], 2022. 1 vídeo (0, 55 min.). Disponível em: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Kqc4pBK0Fy0&list=PLSxPjg897N7s3WRZkxCltJZnq13qSozHs&index=7&t=268s>. Acesso em: 22 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Site*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/braganca-paulista/panorama>. Acessado em: 22 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama de municípios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/braganca-paulista/panorama>. Acesso em: 23 mar. 2022.

IPCC. Climate Change 2022. **Impacts, adaptation and vulnerability**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2008.

JAISWAL, R. K. *et al.* **Statistical analysis for change detection and trend assessment in Climatological Parameters**. London: Springer International, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40710-015-0105-3>. Acesso em: 20 mar. 2023.

LUSTOSA, J. B. *et al.* Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. **Revista DAE**, São Paulo, v. 206, n. 1671, 2016. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_206_n_1671.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

MATOS, S. L. T. **Mann-Kendall**: o “off-road” dos métodos de análise de tendências. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.pangeo.com.br/single-post/mann-kendall-off-road-dos-m%C3%A9todos-de-an%C3%A1lise-de-tend%C3%Aancia>. Acesso em: 19 fev. 2023.

MATOS, S. L.T. **Sen’s Slope**: para completar sua análise de tendência Mann-Kendall no R. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.pangeo.com.br/single-post/para-completar-a-an%C3%A1lise-mann-kendall-no-r-sen-s-slope>. Acesso em: 08 abr. 2023.

MONTEIRO, A. C. P. **Análise de séries temporais de dados meteorológicos da cidade do Porto**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2021. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/140059/2/536055.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MONTERO S. G. *et al.* Collaborative governance for sustainable water resources management: the experience of the Inter-municipal Initiative for the Integrated Management of the Ayuquila River Basin, Mexico. **Environment and Urbanization**, New Delhi, v. 18, n. 2, p. 297–313, 2006. DOI: 10.1177/0956247806069602. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0956247806069602>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MUKHEIBIR, P. **The impact of climate change on small municipal water resource management**: the case of Bredasdorp, South Africa. Cidade do Cabo: University of Cape Town, 2007. Disponível em: <https://open.uct.ac.za/handle/11427/17197>. Acesso em 15 jan. 2023.

NASA. Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço. **Missão de Medições de Chuvas Tropicais (TRMM)**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/missions/trmm>. Acesso em: 15 mar. 2023.

OLIVEIRA, M. A. L. **Planejamento e otimização de experimentos**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/quimica/files/2017/03/Estat%C3%adstica-B%C3%a1sica.pdf>. Acessado em: 15 abr. 2023.

PROFILL-RHAMA. **Consórcio**: profill engenharia e ambiente s.a. e rhama consultoria, pesquisa e treinamento: Relatório final: plano de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035. Piracicaba, 2020.

PROJETO R. **The R project for statistical computing**. [S. /], 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

TERRA. **7 provérbios chineses para seguir e ser uma pessoa mais iluminada**. [S. /], 2020. Disponível em: <https://www.terra.com.br/vida-e-estilo/horoscopo/7-proverbios-chineses-para-seguir-e-ser-uma-pessoa-mais-iluminada,8b85643df611c889b129cb3a351450cagn6gwvnb.html>. Acesso em: 06 jul. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Hidrologia**. São Paulo, 2022a. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>. Acesso em: 04 mar. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Aplicações**. São Paulo, 2022c. Disponível em: <http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/DaeewebDpo.html>. Acessado em: 05 abr. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Instrução técnica DPO nº 09, de 30 de maio de 2017**. São Paulo, 2017a. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1bWJWw3V3_dRSHsVt6jUO1i9sG_vQyyeO/view. Acesso em: 14 fev. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Instrução Técnica DPO nº 10, de 30 de maio de 2017**. São Paulo, 2017b. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1bWJWw3V3_dRSHsVt6jUO1i9sG_vQyyeO/view. Acesso em: 14 fev. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de setembro de 1976**. São Paulo, 1976. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977**. São Paulo, 1977. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/legislacao/decreto-no-10-755-de-22-de-novembro-de-1977/>. Acesso em: 26 jul. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: regionalização hidrológica no Estado de São Paulo. **Revista Águas e Energia Elétrica – DAEE**, São Paulo, ano 5, n. 14, p. 1-11, 1988.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica: IG-Instituto Geológico: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.00**. São Paulo, 2005.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Estadual 9.034, de 27 de dezembro de 1994 (revogada)**. São Paulo, 1994. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1994/lei-9034-27.12.1994.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Plano%20Estadual,Pol%C3%ADtica%20Estadual%20de%20Recursos%20H%C3%ADricos>. Acesso em: 07 maio 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Estadual 16.337, de 14 de dezembro de 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html>. Acesso em: 01 jul. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Programa de Regionalização Hidrológica (BcDAEE)**. Disponível em: 2020. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/site/hidrologia/>. Acesso em: 26 jun. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente. Secretaria Estadual de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Secretaria Estadual de Saúde. **Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES - 3, de 21-6-2006**. São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2006_Res_Conj_SMA_SERHS_SES_03.pdf. Acesso em: 26 jun. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Sistema Ambiental Paulista – DATAGEO**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em: 26 jun. 2022.

VERETEL'NIKOVA, I. V.; LEMESHKO, B. Y. **The analytical review of tests for randomness and the absence of a trend**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/APEP_2014_1_engl.pdf. Acesso em: 07 abr. 2023.

WALLIS, W. A.; MOORE, G. H. **A significance test for time series and other ordered observations**. Tech. Rep.1. New York: National Bureau of Economic Research, 1941.