



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

FÁBIO CÉSAR MARTINS

**A RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, GERAÇÃO DE
ENERGIA E IRRIGAÇÃO E A INFLUÊNCIA NA
DINÂMICA DO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM**

Presidente Prudente
2024

FÁBIO CÉSAR MARTINS

**A RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, GERAÇÃO DE
ENERGIA E IRRIGAÇÃO E A INFLUÊNCIA NA
DINÂMICA DO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado Profissional da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCT/UNESP – Presidente Prudente como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Luís Piroli

Presidente Prudente
2024

Ficha catalográfica

M386r Martins, Fábio Cesar
A relação entre precipitação, geração de energia e irrigação e a influência na dinâmica do reservatório de Jurumirim / Fábio Cesar Martins. -- Presidente Prudente, 2024
83 f. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (Mestrado profissional - Geografia Profissional) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientador: Edson Luís Piroli

1. Geografia. 2. Recursos hídricos. 3. Usos da água. 4. Reservatórios de acumulação. I. Título.

Aprovação



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: A RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, GERAÇÃO DE ENERGIA E IRRIGAÇÃO E A INFLUÊNCIA NA DINÂMICA DO RESERVATÓRIO DE JURUMIRIM

AUTOR: FÁBIO CESAR MARTINS

ORIENTADOR: EDSON LUIS PIROLI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências, área: Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LUÍS PIROLI (Participação Virtual)

Departamento de Geografia e Planejamento / Faculdade de Ciências Tecnologia e Educação de Ourinhos - FCTE/Unesp


Prof. Dr. JULIO CESAR DEMARCHI (Participação Virtual)

Faculdade de Ciências Tecnologia e Educação de Ourinhos - FCTE/Unesp

Prof. Dr. JOZRAEL HENRIQUES REZENDE (Participação Virtual)

Departamento de Meio Ambiente e Recursos Hídricos / Faculdade de Tecnologia de Jahu - Fatec Jahu

Presidente Prudente, 06 de novembro de 2024

Documento assinado digitalmente
 EDSON LUIS PIROLI
Data: 06/11/2024 17:15:36-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedicatória

Dedico essa jornada única e vitoriosa a um grande ser de luz que, ao cruzar meu caminho, mostrou todas as maravilhas da Geografia, e como é possível enxergar o mundo de formas tão distintas: o olhar geográfico. “Do barro, às rochas e ao céu”.

Grande amigo e professor José Carlos Toledo Veniziani Júnior (Kiko) “*in memoriam*”

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à minha amada mãe Andréia, matriarca da família, que a todo instante acreditou em meu potencial, sempre me motivando a continuar, em qualquer que fosse a área, e cá estamos, realizando mais um sonho meu, e também dela.

Agradeço também à minha esposa Ana Flávia, que manteve sempre esse sonho acordado dentro de mim, me incentivando e comemorando comigo todas as vitórias e conquistas, essencial para meu fortalecimento diário, que possibilitou findar esse ciclo que tanto almejei.

Ao meu professor orientador Edson Pirolí, que topou minha proposta de pesquisa, fornecendo o auxílio mais que necessário ao longo desses três anos, para que esse trabalho pudesse ser realizado. Aos professores da banca de qualificação, Júlio Demarchi e Rodrigo Manzione, pelos apontamentos e recomendações essenciais para a melhora e completude do trabalho. Aos professores e professoras da FCT Unesp Prudente pelas aulas ímpares, que permitiram me aprofundar nas temáticas e na geração de dados pertinentes à minha área de estudo, que posteriormente serviram de base para o desenvolvimento desse trabalho. Também ao Régis Rosseto do DAEE de Piraju, pelo auxílio e dados fornecidos. Sem deixar de mencionar também os professores Jozrael Rezende e (novamente) Júlio Demarchi pelo aceite em fazer parte da banca de defesa, e pelos apontamentos mais que pertinentes e concisos.

Por fim, agradeço imensamente ao universo e todas as forças que regem tal imensidão, por sempre terem permitido que eu cruzasse com pessoas incríveis que de alguma forma me deixaram algo de bom, mantendo sempre a esperança viva de que a ciência existe, persiste e resiste na busca não só por explicações, mas por melhorias em nossa qualidade de vida, seja ela individual ou coletiva.

Epígrafe

*“São tantas coisas na vida
Algumas de não se esquecer
Tem coisas que a gente se apega
E a gente carrega
E gosta de ter [...]”*
(Banda Eddie)

Resumo

Diante do cenário de estiagem devido ao reduzido índice pluviométrico que atingiu a região da UGRHI-14 Alto Paranapanema, no estado de São Paulo nas duas últimas décadas, o reservatório da UHE Jurumirim, amplamente utilizado em diversos usos múltiplos dentre eles o abastecimento hídrico, a geração de energia e a irrigação, apresentou oscilações consideráveis em seu volume útil ao longo da última década. Os períodos de maiores e menores índices pluviométricos coincidiram com os maiores e menores volumes úteis do reservatório respectivamente. Ante a isso, o presente trabalho almejou verificar se, além dos índices de precipitação na bacia, as vazões de saída para a geração de energia, bem como a exploração hídrica por meio de pivôs centrais de irrigação, tendo o reservatório como manancial de origem, também influenciaram na dinâmica constatada nos índices do volume útil do reservatório. Para consulta e processamento dos referidos dados, fez-se uso da plataforma Giovanni, alocada no site da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA); acesso ao site do Operador do Sistema Nacional (ONS); e à Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA). Os menores índices do volume útil registrados nos últimos 20 anos e a conseqüente redução da área superficial do reservatório, coincidiu com períodos de baixa defluência e geração de energia contudo, antecedeu não apenas um significativo aumento na vazão defluente e na geração de energia nos anos seguintes ao de nível mínimo do reservatório, como também precedeu o crescimento considerável de pivôs centrais de irrigação tanto em quantidade como em área, o que demandou maiores vazões de exploração do reservatório, e manteve o volume útil abaixo dos 50% de sua capacidade, comprometendo outros usos da água como o turismo e o abastecimento hídrico no último quadriênio.

Palavras-chave: usos da água; volume útil; reservatórios de acumulação.

Abstract

Given the drought scenario due to the reduced rainfall index that has affected the UGRHI-14 Alto Paranapanema region in the state of São Paulo in the last two decades, the reservoir of the Jurumirim Hydroelectric Plant which is widely used for multiple purposes including water supply, energy generation, and irrigation, has shown considerable fluctuations in its useful volume over the past decade. Periods of higher and lower rainfall have coincided with the higher and lower useful volumes of the reservoir, respectively. In view of this, the present study aimed to verify whether, in addition to the precipitation indices in the basin, the outflows for energy generation and the water exploitation through center pivot irrigation, with the reservoir as the source, also influenced the observed dynamics in the useful volume indices of the reservoir. To consult and process the aforementioned data, the Giovanni platform was used, located on the National Aeronautics and Space Administration (NASA) website; access to the National System Operator (ONS) website; and the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA). The lowest useful volume indices recorded in the last 20 years and the consequent reduction in the reservoir's surface area coincided with periods of low flow and energy generation, however not only preceded a significant increase in outflow and energy generation in the years following the reservoir's minimum level, but also preceded the considerable growth of central irrigation pivots both in quantity and area which required greater flow rates for exploitation of the reservoir, and kept the useful volume below 50% of its capacity, compromising other uses of water such as tourism and water supply in the last four years.

Keywords: water uses; useful volume; accumulation reservoir.

Lista de Figuras

pág.

Figura 1 - Imagem parcial do reservatório de Jurumirim, com destaque para a UHE Jurumirim, localizada entre os municípios de Cerqueira César (à esquerda) e Piraju (à direita).....	17
Figura 2 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema (UGRHI-14), reservatório de Jurumirim e municípios abrangidos.....	22
Figura 3 - Municípios com área na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI-14 Alto Paranapanema e suas respectivas sedes.....	23
Figura 4 – Divisão da UGRHI-14 em sub-bacias	25
Figura 5 – Tipos e subtipos climáticos presentes na UGRHI-14, segundo classificação de Köppen-Geiger	27
Figura 6 – Média pluviométrica dos anos de 2001 a 2020 na UGRHI-14 e suas respectivas sub-bacias.....	28
Figura 7 – Unidades litoestratigráficas presentes na UGRHI-14.....	30
Figura 8 – Unidades morfoesculturais presentes na UGRHI-14.....	31
Figura 9 – Ordens e subordens dos solos presentes na UGRHI-14, segundo a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - EMBRAPA.....	33
Figura 10 – Unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável presentes na UGRHI-14.....	35
Figura 11 – Usos e coberturas da terra na UGRHI-14 no ano de 2019.....	37
Figura 12 – Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2001 a 2004.....	42
Figura 13 – Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2005 a 2008.....	44
Figura 14 – Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2009 a 2012.....	46
Figura 15 – Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2013 a 2016.....	48
Figura 16 – Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2017 a 2020.....	50
Figura 17 – Ilustração apresentando os dois tipos de regime de operação de um reservatório	55
Figura 18 – Matriz elétrica mundial de 2020 (esquerda) e matriz elétrica brasileira de 2021 (direita).	56
Figura 19 – Ilustração demonstrativa da composição e funcionamento de uma usina hidrelétrica.....	56

Figura 20 – Tela do site do ONS, no campo “Resultados da operação”, e as famílias de informações disponíveis para consulta.....	58
Figura 21 – Paisagem emersa devido ao rebaixamento no reservatório de Jurumirim em 2020 – Camping Pedrinha, divisa dos municípios de Piraju e Cerqueira César (SP).....	67
Figura 22 – Margem exposta e vegetação anteriormente submersa devido ao rebaixamento no reservatório de Jurumirim em 2019 – Camping Pedrinha, divisa dos municípios de Piraju e Cerqueira César (SP)	67
Figura 23 – Representação das áreas de lâmina d’água - ou área superficial – do reservatório de Jurumirim, nos anos de 2016 e 2019.....	69
Figura 24 – Tendência de crescimento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil entre 1985 e 2019	71
Figura 25 - Área de plantio irrigada pelo método de pivôs centrais, às margens do reservatório de Jurumirim, no município de Avaré (SP).	72
Figura 26 - Desenho esquemático mostrando como funciona um pivô central, formado por um conjunto de barras com aspersores que giram em torno de um eixo central, irrigando uma área com formato circular: a) vista lateral de um pivô central, b) esquema de instalação de um pivô central em campo.....	72
Figura 27 – a) Ponto do pivô e torre central; b) Aspersores do pivô em funcionamento	73
Figura 28 – Vazão outorgada por tipo de uso na UGRHI-14.....	74
Figura 29 – Outorgas superficiais e subterrâneas por sub-bacia da UGRHI-14	76
Figura 30 – Áreas com intensa captação de água para irrigação.....	77
Figura 31 – Pivôs centrais na UGRHI-14 nos anos de 2010, 2014, 2017, 2019 e 2022, conforme outorgas concedidas	78

Lista de Tabelas

	pág.
Tabela 1 – Municípios com território na UGRHI-14.....	24
Tabela 2 - Usos e coberturas da terra na UGRHI-14 no ano de 2019.	34
Tabela 3 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2001 a 2020. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão)	40
Tabela 4 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2001 a 2004. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).	41
Tabela 5 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2005 a 2008. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).	43
Tabela 6 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2009 a 2012. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).	45
Tabela 7 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2013 a 2016. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).	47
Tabela 8 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2017 a 2020. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).	49
Tabela 9 – Municípios com pivôs de irrigação alocados na UGHRI-14 no ano de 2022	76

Gráfico 1 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2001 a 2020, compilados do satélite GPM, e a linha de tendência.	40
Gráfico 2 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2001 a 2004, e a linha de tendência.....	41
Gráfico 3 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2005 a 2008, e a linha de tendência.....	43
Gráfico 4 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2009 a 2012, e a linha de tendência.....	45
Gráfico 5 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2013 a 2016, e a linha de tendência.....	47
Gráfico 6 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2017 a 2020, e a linha de tendência.....	49
Gráfico 7 – Histórico do volume útil – em % - do reservatório de Jurumirim entre os meses de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com destaque para os volumes mínimo e máximo.....	59
Gráfico 8 – Histórico das vazões afluente e defluente – em m ³ /s - do reservatório de Jurumirim entre os meses de janeiro de 2001 a dezembro de 2020.....	60
Gráfico 9 – Histórico da diferença das vazões afluente e defluente – em m ³ /s - do reservatório de Jurumirim entre os meses de janeiro de 2001 a dezembro de 2020.	61
Gráfico 10 – Médias mensais de geração de energia – em MegaWatts (MW) – na UHE Jurumirim, durante o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com destaque para a maior e menor média gerada.....	62
Gráfico 11 – Médias mensais de geração de energia – em MegaWatts (MW) – e histórico do volume útil do reservatório da UHE Jurumirim – em % - durante o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com destaque para a maior e menor média gerada, e o maior e menor volume registrado.	63
Gráfico 12 - Compilação dos dados de Volume Útil (em %); Geração de Energia (em MW); Vazões Afluente e Defluente (em m ³ /s)..	65

Sumário

INTRODUÇÃO	14
Objetivo Geral	17
1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
1.1 Clima.....	26
1.2 Geologia e Geomorfologia	29
1.3 Pedologia	32
1.4 Uso e cobertura da terra	34
2 DADOS HIDROLÓGICOS	38
2.1 Precipitação.....	38
2.2 Procedimentos de pesquisa.....	39
2.3 Diagnóstico.....	40
2.4 Discussão dos resultados	51
3 MATRIZ HIDRÁULICA.....	53
3.1 Reservatórios artificiais.....	53
3.1.1 Tipos de regimes de operação de reservatórios.....	54
3.2 Energia Hidrelétrica	55
3.3 Procedimentos de pesquisa	58
3.4 Diagnóstico.....	59
3.5 Discussão dos resultados	66
4 IRRIGAÇÃO.....	70
4.1 Agricultura irrigada por pivôs centrais	70
4.2 Procedimentos de pesquisa	74
4.3 Diagnóstico.....	75
4.4 Discussão dos resultados	75
CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
Referências Bibliográficas	79

INTRODUÇÃO

Sendo um dos recursos naturais elementares à vida, o recurso hídrico encontra-se no foco das discussões dos últimos anos, quanto à sua qualidade e disponibilidade às gerações futuras. Debatem-se também os impactos ambientais não somente sobre a água, mas também sobre todo o meio ambiente influenciado e influenciável diretamente na qualidade da água (PIROLI; ISHIKAWA; DEMARCHI, 2011). Nesse âmbito, vários autores se debruçam em procurar dar respostas às questões de escassez, qualidade, quantidade, atendimento às diferentes necessidades de usos da sociedade, colocando o recurso hídrico no foco das discussões dos últimos anos. Esse recurso – cada vez mais - primordial a inúmeras atividades humanas, segue para uma progressiva limitação tanto local como global, potencializada pelos efeitos da crescente urbanização, pelo aquecimento do planeta e pelas mudanças climáticas. Isso denota a importância de se gerir esse recurso, de modo a monitorá-lo e a compreender todo seu ciclo e sua disponibilidade.

Ações de gestão, mais especificamente dos recursos hídricos, contemplam um conjunto de instrumentos que visam controlar, regulamentar e monitorar seu uso, a proteção e a conservação das águas, seguindo determinados princípios e diretrizes estabelecidos nas políticas públicas. No Brasil, com a “Lei das Águas” de 1997, a gestão antes setorial e localizada, mirou olhares para a unidade da bacia hidrográfica, passando assim para uma visão mais integrada, o que evidenciou a importância de se considerar também as áreas úmidas e secas na gestão das águas. Deixou-se de se pensar o ciclo hidrológico apenas para o consumo e suprimento energético, devendo abranger também a pesca, o turismo, o lazer, a navegação e todos os usos múltiplos que fazem parte de um complexo conjunto que representa um corpo d’água (VECCHIA, 2014).

Quando adotada de forma integrada, a bacia hidrográfica como objeto de estudo, seja para elementos naturais ou sociais, possibilita um acompanhamento das atividades antrópicas na área, suas reações e impactos (GUERRA; CUNHA, 1996). Interpretando e identificando eventuais problemáticas a partir da interação e da dinâmica de seus componentes, relacionando elementos físicos, químicos, biológicos, sociais, culturais e econômicos, torna-se possível diagnosticar ambientalmente determinada área (MENDES, 2007). Isso propicia uma visualização mais precisa da realidade sócio-espaco-cultural da área, permitindo traçar linhas de ação, e auxilia na tomada de decisões visando prevenir, controlar ou

mitigar problemas já existentes. Tundisi (2005) ressalta ainda que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento funciona também como um importante instrumento para a gestão dos recursos, e conseqüentemente para decisões políticas relevantes nas respectivas áreas.

As bacias hidrográficas são unidades territoriais essenciais para a gestão dos recursos naturais e das dinâmicas sociais em seus limites, permitindo monitorar as transformações causadas pelas atividades humanas e as respostas do meio ambiente. A bacia hidrográfica tem sido utilizada como base para o planejamento e a implementação de políticas sobre recursos hídricos, dando origem às Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, as UGHRI's. Dessa forma, busca-se equilibrar os diversos usos e interesses relacionados à água, assegurando tanto sua qualidade quanto sua quantidade e disponibilidade (SANTOS et al., 2020).

No Brasil, os instrumentos de gestão de recursos hídricos encontram amparo na Constituição Federal (BRASIL, 1988). Segundo o artigo 21, inciso XIX, compete à União "*instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso*". A partir da constituição foi instituída uma série de leis e ordenamentos jurídicos específicos para a utilização da água em território nacional.

A lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conhecida como "Lei das Águas" instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), regulamentando o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Dispondo de cinco instrumentos, a Lei das Águas almeja gerir os recursos por meio de: Planos de Recursos Hídricos; Enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes; Outorga dos direitos de uso da água; Cobrança pelo uso da água; e Sistema de informações sobre recursos hídricos. (BRASIL, 1997).

Em específico, os planos de recursos hídricos - instrumentos de planejamento para orientação da sociedade e tomadores de decisão quanto à recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos das bacias ou regiões hidrográficas - são de longo prazo, acompanhados por periódicas revisões e atualizações (SIGRH). Devem conter a situação atual dos recursos hídricos, análise de fatores como crescimento demográfico, evolução de atividades produtivas e modificações no padrões de ocupação do solo, o balanço entre demandas futuras e disponibilidades dos recursos hídricos (em quantidade e qualidade), identificação de potenciais

conflitos, metas de racionalização de uso, programas e projetos a serem desenvolvidos e implantados e medidas previstas para atendimento das metas estabelecidas (BRASIL, 1997).

Por tratar-se de um rio de domínio da União, cuja bacia hidrográfica abarca dois Estados da Federação, o gerenciamento dos recursos hídricos deve basear-se na articulação e integração do planejamento nos mais variados setores da gestão nacional, bem como estadual. Buscando este objetivo de colocar em prática trabalhos conjuntos de integração das ações no âmbito da bacia do Rio Paranapanema, foi realizada em 2007 na capital paranaense, uma reunião de representantes de Comitês Paulistas e a Coordenadoria de Recursos Hídricos de São Paulo com a Superintendência do Desenvolvimento dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA) do Paraná e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA – PR), o que deu origem posteriormente ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema (CBH Paranapanema), sendo formalmente instituído no ano de 2012 (CBH PARANAPANEMA, 2024).

Em se tratando de um curso hídrico que divide a primeira e quarta federações de maior PIB do Brasil (2020) – São Paulo e Paraná, R\$ 2.377.639.000,00 e R\$ 487.931.000,00, respectivamente – o rio Paranapanema com aproximadamente 930 km de extensão, destaca-se não apenas pela importância geográfica, mas sobretudo hídrica e energética. No estado de São Paulo, sua gestão fica sob a égide do CBH Paranapanema, dividido em três comitês afluentes responsáveis pelo gerenciamento e elaboração dos planos de bacia de cada uma das 3 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI's: Alto Paranapanema (UGRHI-14), Médio Paranapanema (UGRHI-17) e Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), e seus respectivos comitês.

No caso do plano de bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema (UGRHI-14), realizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica¹ do Alto Paranapanema (2016-2027), o qual embasa o referencial teórico do presente trabalho, traz consigo dados e informações que permitem, juntamente com dados levantados de outras plataformas e órgãos de gestão brasileiros, analisar eventos como períodos de cheia e escassez hídricas, e as possíveis causas e consequências de tais eventos.

¹ Fórum em que um grupo de pessoas, com diferentes visões e atuações, se reúne para discutir sobre um interesse comum – o uso d'água na bacia. (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA).

O reservatório de Jurumirim, formador da Usina Hidrelétrica de Jurumirim (Figura 1), primeiro dos 11 represamentos do rio Paranapanema – sendo essa a área de estudo do trabalho – está inserido em uma porção da bacia que é palco de inúmeros usos múltiplos da água como pesca, navegação, aquicultura, pecuária, industrial, turismo, hotelaria, lazer, abastecimento urbano, geração de energia e, em números crescentes, a irrigação das atividades de agricultura e pecuária (esta em menor intensidade).

Diante às frequentes oscilações nos níveis do volume útil do reservatório de Jurumirim e o conseqüente comprometimento das ações desenvolvidas nele, faz-se necessário um entendimento acerca dessa variação e quais os principais fatores que influenciam nessa dinâmica. Uma vez que trata-se de um reservatório de acumulação e detém a função de regulador de vazão do rio para os períodos de estiagem, o reservatório ainda opera para a geração de energia por meio da UHE Jurumirim, e também é manancial para captação de água para irrigação, fatores estes que possivelmente podem influenciar de forma direta os níveis do reservatório.

Figura 1 – Visão oblíqua parcial do reservatório de Jurumirim, com destaque para a UHE Jurumirim, localizada entre os municípios de Cerqueira César (à esquerda) e Piraju (à direita).



Fonte: Google Earth (2024).

Objetivo Geral

- Averiguar a relação entre os índices de: precipitação, exploração para irrigação (pivôs) e geração de energia, e influência dessa relação na dinâmica do volume útil do reservatório de Jurumirim.

Objetivos Específicos

- Compreender a dinâmica das chuvas na UGRHI-14 no período 2001 a 2020;
- Analisar o uso da água da UGRHI-14 para irrigação e para geração de energia na UHE Jurumirim ao longo do período.

Organização da dissertação

Para a execução da presente pesquisa, optou-se por trabalhar por capítulos, sendo: o capítulo 1 relativo à caracterização da área de estudo; o capítulo 2, relacionado aos dados hidrológicos, com ênfase na precipitação; o capítulo 3, relacionado à matriz hidráulica com enfoque nos reservatórios artificiais e na geração de energia hidrelétrica; o capítulo 4, relacionado à irrigação com ênfase no uso de pivôs centrais para irrigação e, por fim, o capítulo 5, a conclusão da pesquisa.

Com exceção dos capítulos 1 e 5, os demais dividem-se em tópicos, sendo: procedimentos de pesquisa, em que são descritos os métodos e a metodologia de aquisição, manipulação e análise dos dados levantados para a pesquisa; diagnóstico, onde são apresentadas análises dos dados levantados e; discussão dos resultados, em que são interpretados e sintetizados os resultados obtidos.

1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada entre os municípios paulistas de Piraju e Cerqueira César, a Usina Hidrelétrica de Jurumirim (Armando Avellanal Laydner) construída entre 1956 e 1962, está instalada no rio Paranapanema, num local de estreitamento do rio (o que dá origem ao nome “Juru” = boca; “mirim” = pequena). O barramento do curso nesse ponto originou um grande reservatório artificial com área máxima de aproximadamente 485 km², armazenando mais de 7 bilhões de litros de água (HENRY et al., 2016).

Tal grandeza é consequência do encontro de dois grandes rios, o Paranapanema e o Taquari, sendo ambos, os principais tributários de abastecimento do reservatório. O rio Paranapanema, nome oriundo do Tupi-Guarani “paraná” = rio, e “panema” = impróprio para navegação, um dos grandes afluentes da margem esquerda do rio Paraná (YAMADA, 2020), é caracterizado por sequenciais declives e corredeiras. Seus mais de 900 km de extensão ao longo dos 105.921 km² de área da bacia conferiram-lhe importância no desenvolvimento hidrelétrico no estado de São Paulo. Divide-se em três principais trechos: o baixo, o médio e o alto Paranapanema (CBH PARANAPANEMA, 2024).

O segundo grande tributário, importante para a formação do reservatório, é o rio Taquari, um afluente da margem esquerda do rio Paranapanema, com uma extensão aproximada de 213 km, inserido numa bacia de 4.489 km². Sua foz ocorre no rio Paranapanema, na divisa dos municípios de Itaí e Piraju, a menos de 10 km da barragem de Jurumirim. Divide-se em Baixo Taquari e Alto Taquari (SIGRHI, 2020).

A barragem da UHE Jurumirim é a primeira – de onze - na sequência montante-jusante do rio Paranapanema, com um desnível de 55 metros. Por operar com o sistema de acumulação, isto é, que regulariza o fluxo do rio, trata-se de uma considerável reserva de água responsável pela regularização da vazão de modo geral, ante a demanda das represas a jusante (HENRY et al, 2016). Com uma área superficial média de água de aproximadamente 400 km², o reservatório opera em regime de acumulação, o que permite atividades de piscicultura, pesca artesanal, uso recreativo para lazer e turismo, navegação, irrigação de terras agrícolas, além da geração de energia.

Atualmente, a UHE é gerida pela empresa *China Three Gorges Corporation* – CTG, com concessão até 2032, e sua capacidade instalada de geração chega a 100 MegaWatts. Essa capacidade instalada coloca a UHE Jurumirim na 113ª posição num ranking de 214 UHE's em operação no Brasil em 2024 - interligadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e operadas em conjunto pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (ANEEL, 2024).

Sua capacidade instalada representa 42% a mais que a capacidade da UHE a sua jusante, a UHE Piraju que, por operar em regime a fio d'água, possui uma área alagada de apenas 12,75 km², com uma capacidade instalada de 80 MW (ENEL GREEN POWER, 2024); todavia equivale a 3 vezes menos que a UHE Chavantes, também a sua jusante, que opera em regime de acumulação, e detém uma capacidade instalada de 414 MW, sendo esta a 49ª maior UHE com capacidade instalada em operação no Brasil, com uma área alagada de 428,3 km² (CTG BRASIL, 2024). Contudo, quando se analisa a área inundada e a capacidade instalada, observa-se que a UHE Jurumirim é a menos eficiente das referidas UHE's, uma vez que ela apresenta 4,81 km² inundados/MW gerado, a UHE Chavantes possui 1,03 km² inundado/MW gerado e, a UHE Piraju apresenta 0,16 km² inundado/MW gerado, sendo esta, a mais eficiente no quesito área inundada por MegaWatt gerado dentre as três UHE's.

Entre as UHE's com as maiores capacidades instaladas no Brasil destacam-se: Itaipu Binacional, no Rio Paraná, com 14000 MW, Belo Monte, no Rio Xingú, com 11233 MW, e Tucuruí, no Rio Tocantins, com 8535 MW. Já no estado de São Paulo, destaque para a UHE Ilha Solteira, no Rio Paraná, com 3444 MW de capacidade instalada (sendo a 6ª maior do Brasil em capacidade instalada), e as UHE's Jupiá, no Rio Paraná, com 1551 MW e Porto Primavera, também no Rio Paraná, com 1540 MW (13ª e 14ª maiores em capacidade instalada respectivamente) (ANEEL, 2024).

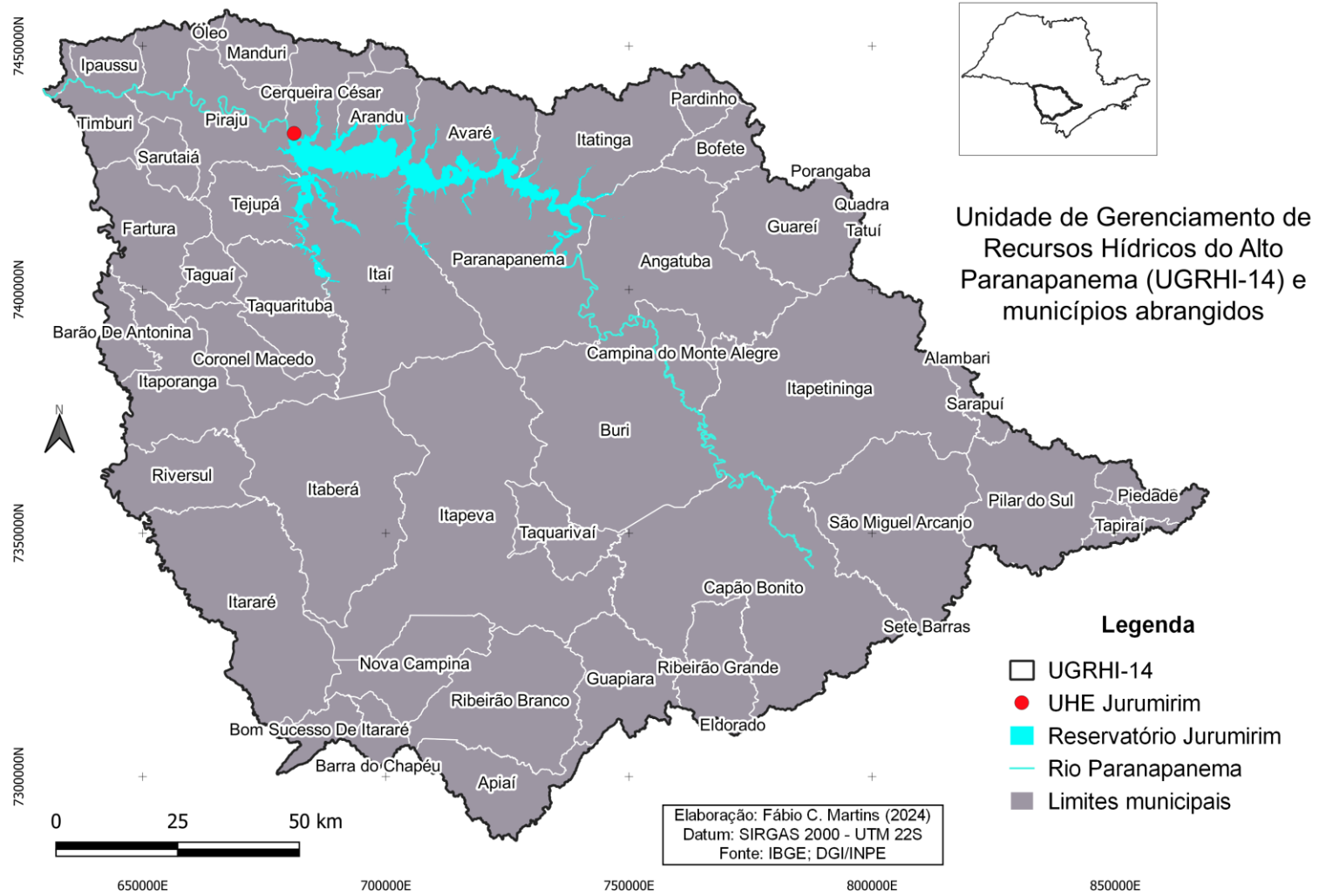
O reservatório da UHE Jurumirim encontra-se totalmente inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 14 (UGRHI-14), correspondente à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, e localiza-se na porção sudoeste do Estado de São Paulo sendo a maior do estado em área, contendo uma área de drenagem de aproximadamente 22.724,02 km² (ANA, 2024). Seus principais cursos d'água são o Rio Paranapanema, Rio Apiaí-Guaçu, Rio Itapetininga, Rio Taquari, Rio Verde, Rio Capivari, Rio Itararé e Ribeirão das Almas. Em sua área de abrangência encontram-

se também os reservatórios UHE Piraju, UHE Paranapanema e UHE Chavantes (PORTAL SIGRH, 2024).

Conforme a divisão hidrográfica do Estado de São Paulo estabelecida pela lei 16.337/2016 - o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), a UGRHI-14 é uma das seis Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos que pertencem à bacia hidrográfica do Rio Paranapanema, a qual é de domínio da União (SÃO PAULO, 2016). Limita-se com a UGRHI-17 Médio Paranapanema ao norte, com a vertente paranaense da Bacia do Rio Paranapanema a oeste, com a UGRHI-11 Ribeira do Iguape/Litoral Sul ao Sul, e a leste com a UGRHI-10 Sorocaba Médio Tietê (CBH ALPA, 2020), conforme mostra a Figura 2.

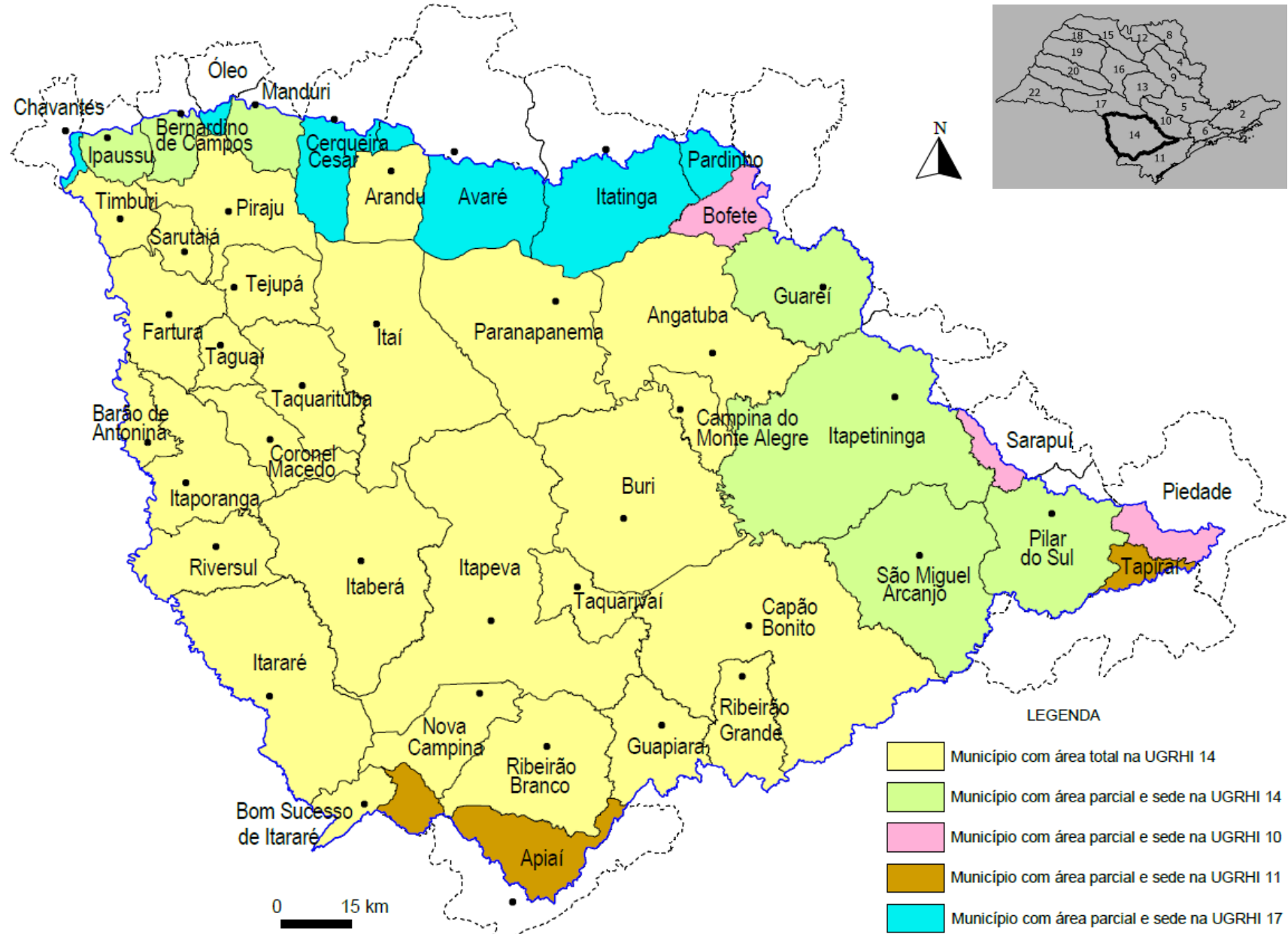
Em sua área de abrangência localizam-se 34 municípios com sede na bacia (Tabela 1), além de áreas de outros 11 municípios incluídos parcialmente nela, apresentados na Figura 3.

Figura 2 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema (UGRHI-14) e municípios abrangidos.



Fonte: IBGE (2021).

Figura 3 - Municípios com área total e/ou parcial na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI-14.



Fonte: IPT (2011).

Tabela 1 – Municípios com território na UGRHI-14.

	Município	Área na UGRHI-14 (em km²)	Área fora da UGRHI-14 (em km²)
1	Angatuba	1032,54	
2	Arandu	294,96	
3	Barão de Antonina	155,12	
4	Bernardino de Campos	144,09	101,83
5	Bom Sucesso do Itararé	141,55	
6	Buri	1193,74	
7	Campina do Monte Alegre	184,39	
8	Capão Bonito	1642,41	
9	Coronel Macedo	304,05	
10	Fartura	428,36	
11	Guapiara	383,14	
12	Guareí	540	
13	Ipaussu	140,88	66,94
14	Itaberá	1080,40	
15	Itaí	1101,21	
16	Itapetininga	1588,33	194,50
17	Itapeva	1843,39	
18	Itaporanga	507,25	
19	Itararé	1002,60	
20	Manduri	180,23	48,94
21	Nova Campina	388,42	
22	Paranapanema	1015,80	
23	Pilar do Sul	621,51	67,45
24	Piraju	502,52	
25	Ribeirão Branco	699,64	
26	Ribeirão Grande	333,48	
27	Riversul	385,47	
28	São Miguel Arcanjo	919,27	
29	Sarutaiá	141,53	
30	Taguaí	152,21	
31	Taquarituba	449,17	
32	Taquarivaí	231,17	
33	Tejupá	297,01	
34	Timburi	197,51	
35	Avaré*	488,74	728,55
36	Cerqueira César*	270,52	240,83
37	Itatinga*	609,34	371,81
38	Tapiraí*	92,73	770,16
39	Apiaí**	464,62	506,60
40	Bofete**	192,73	461,09
41	Chavantes**	23,62	168,60
42	Óleo**	28,07	170,88
43	Pardinho**	122,55	81,82
44	Piedade**	141,06	608,07
45	Sarapuí**	77,13	284,77
	Total	22734,46	4872,84

Fonte: SIGRH (2014).

* municípios com sede fora da UGRHI e que participam do CBH-ALPA

** municípios com sede fora da UGRHI e que não participam do CBH-ALPA.

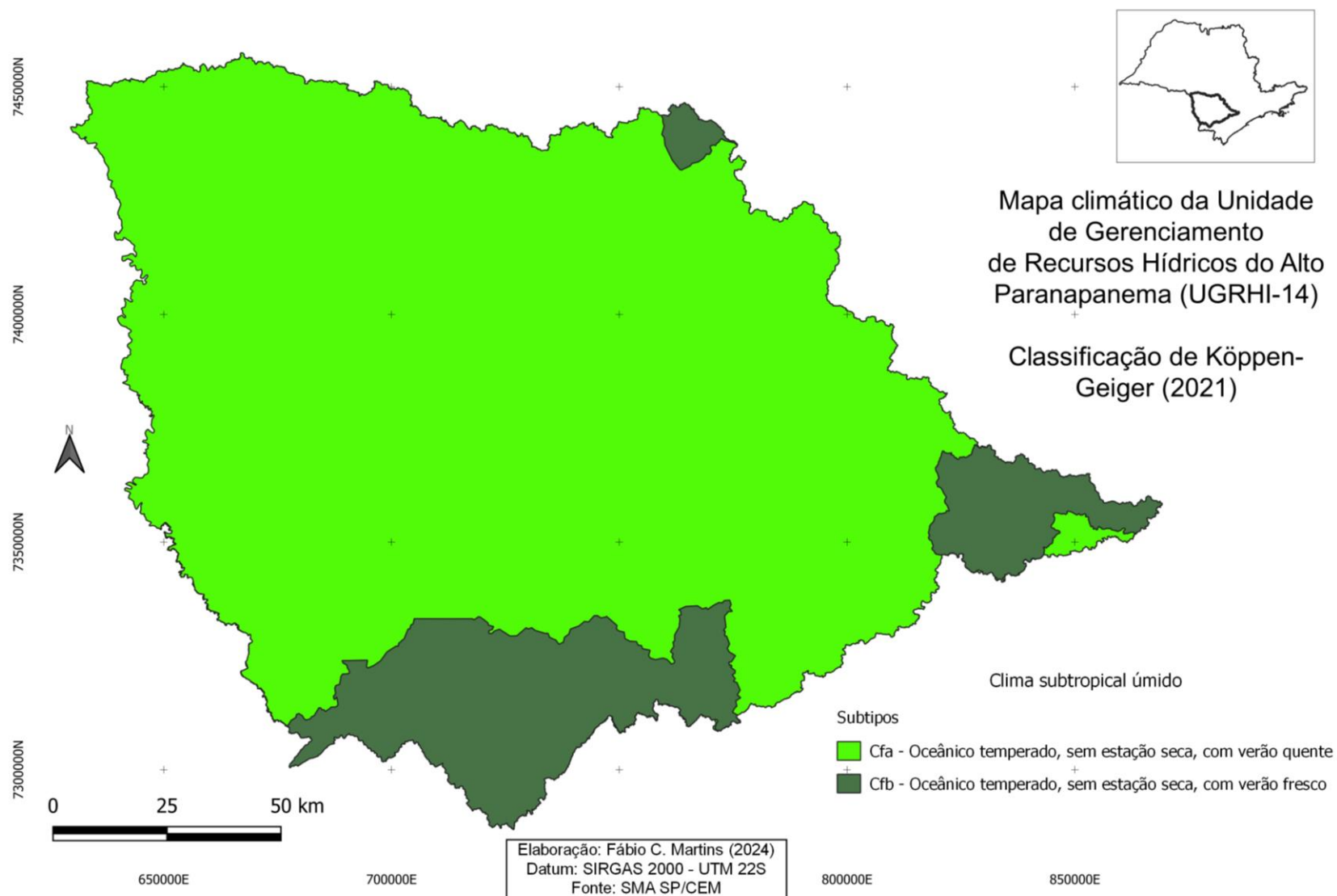
A bacia divide-se ainda em 14 sub-bacias (Figura 4), sendo a de número 4 – Rio Turvo/Paranapanema superior, a de maior abrangência territorial, com 3.355,7 km² com 7 municípios abrangidos.

1.1 Clima

De modo geral, o clima da UGRHI-14 segundo Köppen-Geiger (2021) classifica-se como Subtropical úmido (C), tendo como subtipos: o clima oceânico sem estação seca e com verão quente (Cfa), que abrange cerca de 85% de toda UGRHI; e o oceânico temperado sem estação seca e com verão fresco (Cfb), ocorrendo em aproximadamente 15% da área, conforme mostra a Figura 5. As médias pluviométricas anuais registradas ficam entre 1000 e 1600 mm, com médias térmicas oscilando entre 18°C e 22°C (ALVARES *et al*, 2013).

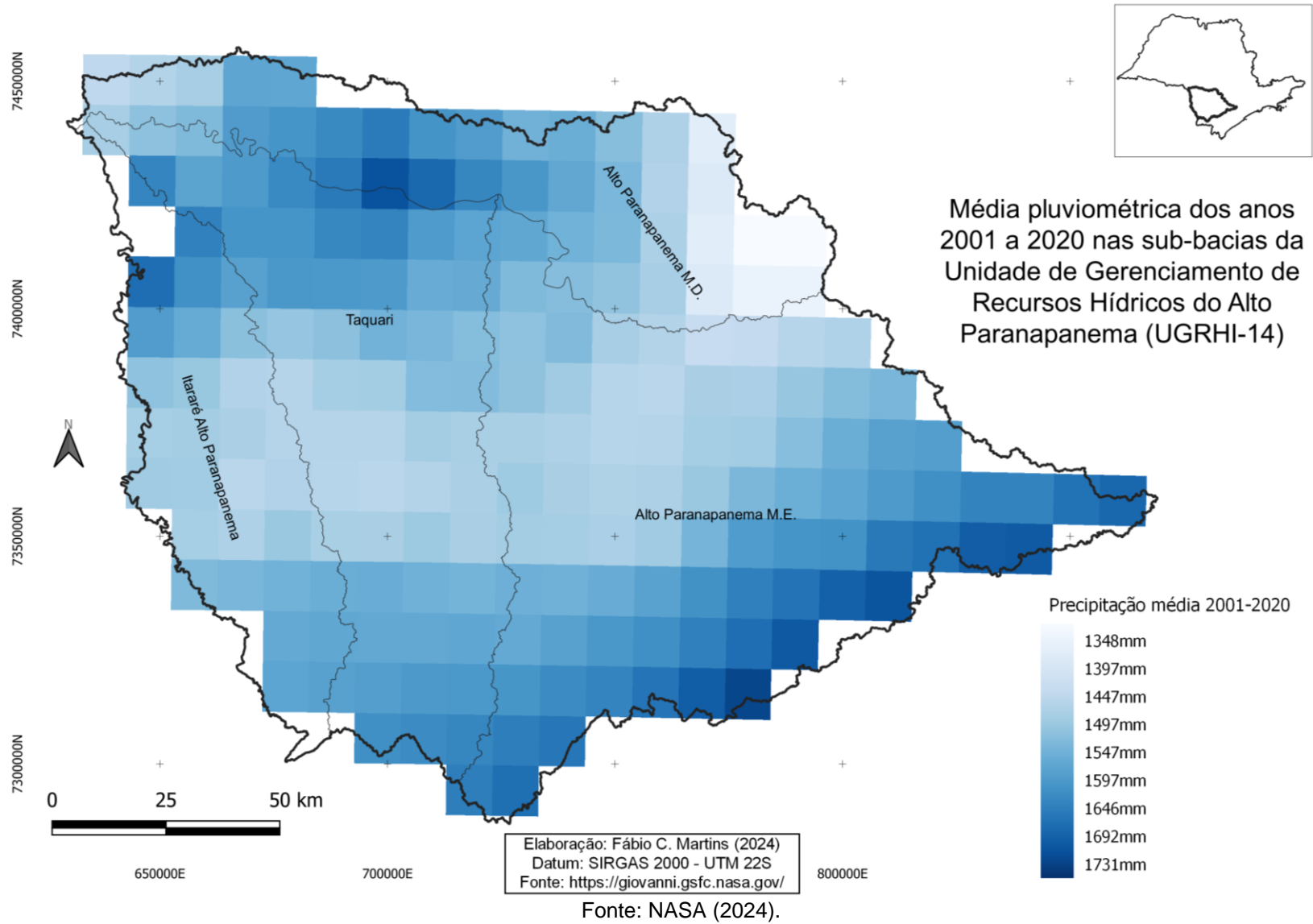
Em relação à distribuição espacial e temporal das precipitações, as maiores médias dos últimos 20 anos foram registradas na porção sudeste da UGRHI-14, mais precisamente na sub-bacia do Alto Paranapanema Margem Esquerda (Figura 6) – a qual abarca as sub-bacias do Alto Itapetininga, do Rio das Almas, e do Rio Turvo/Paranapanema Superior, visto que localizam-se próximas à serra de Paranapiacaba. Infere-se também que o período mais chuvoso na área vai de setembro a março, sendo janeiro o mês com maiores índices de precipitação, chegando a 250 mm, seguido por fevereiro e março, atingindo 180 mm e 150 mm respectivamente. Já de abril a agosto, os índices chegam a 40 mm mensais, sendo este, o mês mais seco (PIRH Paranapanema, 2019).

Figura 5 – Tipos e subtipos climáticos presentes na UGRHI-14, segundo classificação de Köppen-Geiger.



Fonte: CEM (2021).

Figura 6 – Média pluviométrica dos anos de 2001 a 2020 na UGRHI-14 e suas respectivas sub-bacias.



1.2 Geologia e Geomorfologia

A geologia da UGRHI-14 caracteriza-se por apresentar diversificadas unidades litoestratigráficas (Figura 7), sendo 29 registradas conforme levantamento do Centro de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM. Rochas sedimentares do Grupo Itararé, oriundas do período Carbonífero (320 m.a.), ocupam a porção central da UGRHI no sentido leste-oeste, numa área de aproximadamente 8.370,77 km² - o que representa 36,8% - seguidas de rochas ígneas basálticas da Formação Serra Geral na porção noroeste, pertencente ao Grupo São Bento, do período Jurássico-Cretáceo e com idade aproximada de 135 milhões de anos, ocupando 2.552,02 km² da área total da UGRHI (ou 11,2% da área total), e também rochas da Formação Teresina, do período Permiano com aproximadamente 260 milhões de anos e características litoestratigráficas de siltitos argilosos distribuídos numa área de 1.734,96 km², o que representa 7,6% da UGRHI (CPRM, 2006).

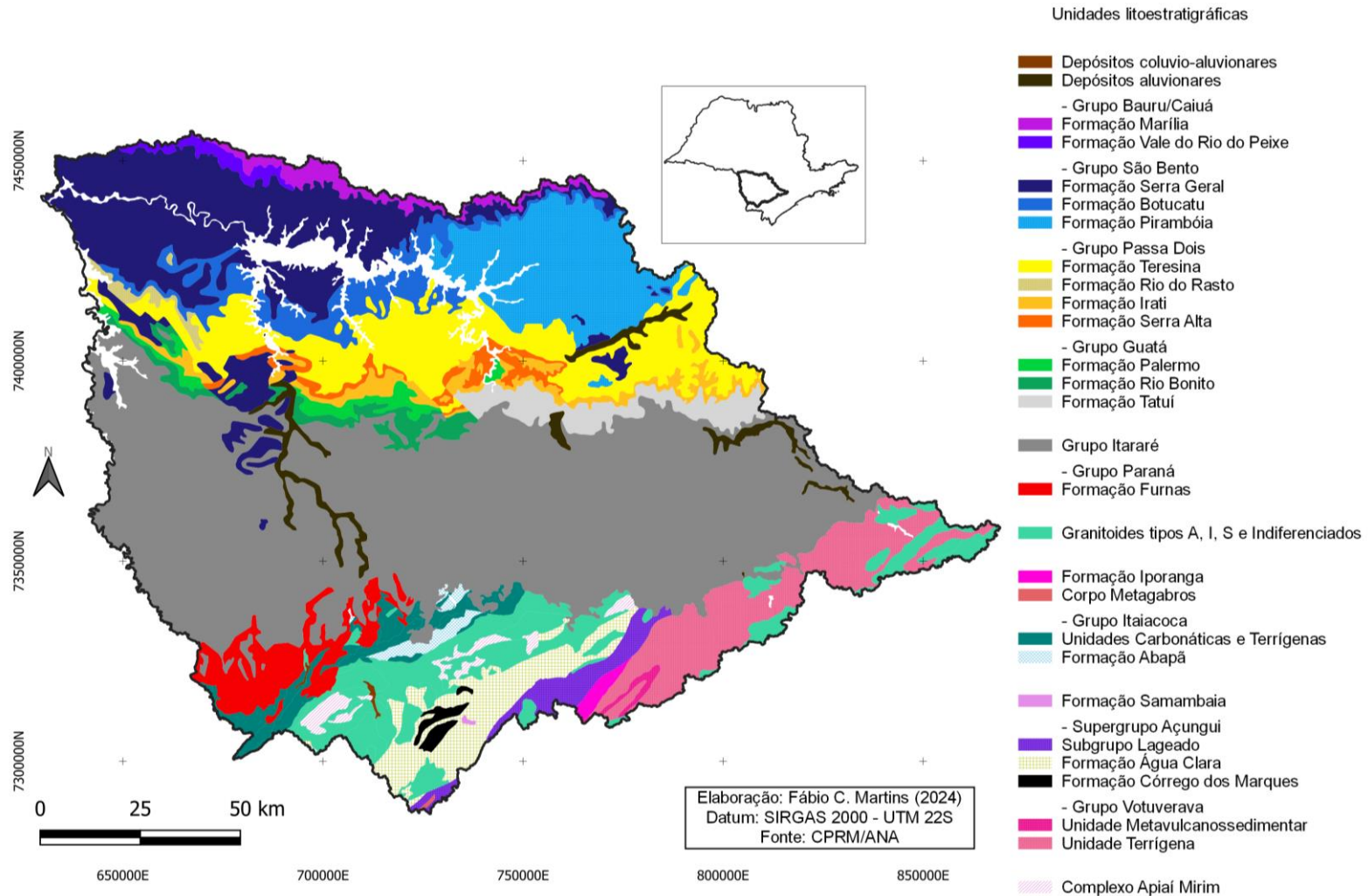
Do grupo São Bento também são encontradas: a Formação Pirambóia (ao norte), com arenitos de origem eólica do período Permiano (260 m.a.) numa área aproximada de 1.316,73 km²; e a Formação Botucatu, com arenitos quartzozos de origem eólica do período Jurássico superior (154 m.a.), distribuída numa área de 703,8 km², totalizando 4.572,64 km² - aproximadamente 20,1% - da área total da UGRHI formada por rochas do referido grupo.

Esses constituintes geológicos são encontrados distribuídos em duas unidades morfoestruturais distintas, representadas na Figura 8, sendo: 1) Cinturão Orogênico do Atlântico, ocupando uma faixa na porção leste, contendo a unidade morfoescultural do Planalto do Ribeira/Turvo, ocupando uma área de 4.531 km² (19,93% da área da UGRHI); 2) Bacia Sedimentar do Paraná, ocupando a maior parte da área com 18.193 km² - ou 80,06% - contendo as morfoesculturas do Planalto Ocidental Paulista, distribuída numa área de 4.244,45 km², ou 18,67% da área total; e a morfoescultura Depressão Periférica Paulista numa área de 13.948,55 km² - 61,38%.

A unidade da Bacia Sedimentar do Paraná caracteriza-se por vales entalhados e densidade de drenagem de média a alta, com padrão dendrítico, o que gera um nível de fragilidade potencial de médio a alto, estando sujeita a fortes atividades erosivas (CETEC/CTGEO, 2012).

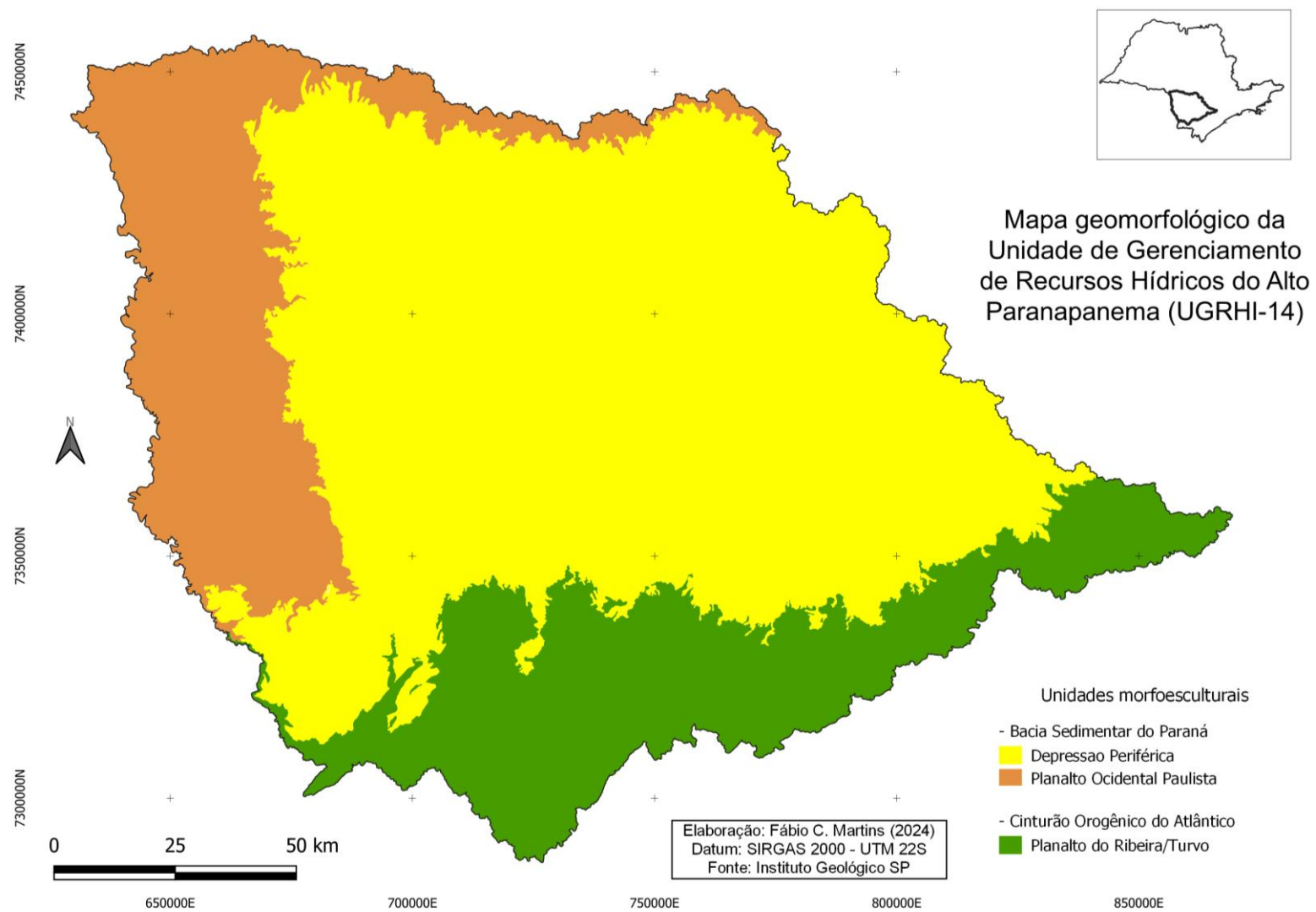
Figura 7 – Unidades litoestratigráficas presentes na UGRHI-14.

Mapa geológico da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema (UGRHI-14)



Fonte: CPRM (2006).

Figura 8 – Unidades morfoesculturais presentes na UGRHI-14.



Fonte: Ross e Moroz (1997).

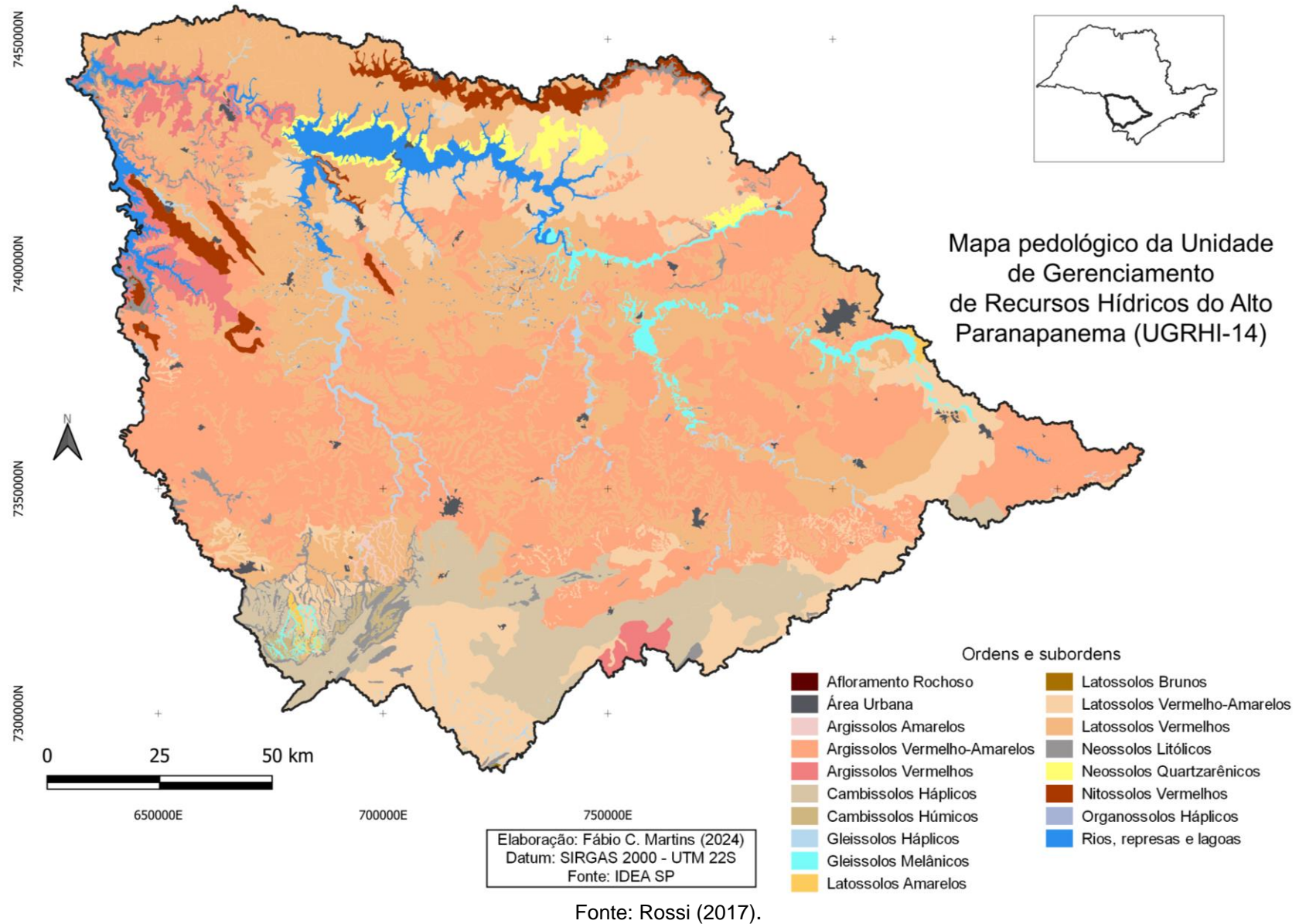
1.3 Pedologia

Quanto às categorias de solos presentes na UGRHI-14 e apresentados na Figura 9, destacam-se: os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA33), com horizonte A moderado e textura arenosa/média a média argilosa, predominantemente em relevo ondulado, e distribuídos por 7.903,4 km² ou aproximadamente 34,7% da área total; os Latossolos Vermelhos (LV11) distróficos e eutroféricos, com horizonte A moderado e textura argilosa ou muito argilosa, localizando-se em fases de relevo ondulado e suave ondulado, numa área de 6.488,43 km² (28,5% da área); seguidos pelos Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA20) distróficos, com textura argilosa ou média e horizonte A moderado distribuídos numa área de 3.387,43 km², sendo aproximadamente 15% da área total da UGRHI; e os Cambissolos Háplicos (CX7) distróficos com horizonte A moderado e textura indiscriminada, em relevo suave ondulado, ocupando uma área de aproximadamente 1.624,32 km², ou 7% da área da UGRHI. (ROSSI, 2017).

Segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (CBH ALPA, 2016), os solos predominantes apresentam horizonte B textural, bem drenados, sem influência de salinização, com sequência de horizontes A, B e C; solos com B latossólico, sendo o horizonte B com espessuras variando de 0,40 a 10 m; solos hidromórficos, várzeas, pouco profundos, e solos pouco desenvolvidos, com menos de 10 cm de espessura. As condições naturais supracitadas conferem à região um alto potencial mineral, sendo comum a extração de massas carbonáticas para fabricação de cimento e cal, calcário, dolomita, pedras ornamentais, basaltos, granitos, filitos, quartzito, turfa, argilas comuns e plásticas, talco, areias e cascalhos.

Há também áreas com significativo potencial agrícola, sobretudo nas porções cobertas por Nitossolos e Argissolos Vermelhos (cerca de 5 % da área), formadas por solos argilosos, bem drenados e pouco erosivos, onde se cultivam café, milho, cana de açúcar e soja. Porém, nas áreas de Latossolo Vermelho (presentes em pouco mais de 28% da área) há baixa fertilidade natural e processos erosivos, sendo utilizadas principalmente para culturas de cana de açúcar, café, citros e milho, além de atividades pastoris. Nas demais áreas, a maioria dos solos pouco profundos e mais propensos às ações erosivas são de pouco interesse agrícola, prestando-se mais para pastagens (PBH ALPA, 2016).

Figura 9 – Ordens e subordens dos solos presentes na UGRHI-14, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - EMBRAPA.



1.4 Uso e cobertura da terra

Por meio dos dados disponibilizados na plataforma “Catálogo de Metadados da ANA” no formato *shapefile*, foram identificadas 12 categorias de uso – dispostas na Tabela 2 - sendo a categoria “Pastagem” a de maior área de abrangência com 7.084,35 km², cerca de 31% da área da UGRHI, seguida pelas categorias “Florestal” com 4.997,20 km², o que representa aproximadamente 22% da área total; e “Silvicultura” com 3.204,88km² ou 14% de área ocupada.

Tabela 2 – Usos e coberturas da terra na UGRHI-14 no ano de 2019.

Categoria	Área (km²)	Área (%)
Pastagem	7.084,35	31,18
Florestal	4.997,20	21,99
Silvicultura	3.204,88	14,10
Cultura Temporária - Diversas	2.505,50	11,03
Cultura Temporária – Milho/Soja	1.564,07	6,88
Cultura Temporária - Cana	785,07	3,45
Cultura Temporária - Pivôs	754,81	3,32
Campestre	732,07	3,22
Cultura Permanente – Café	170,54	0,75
Cultura Permanente - Citrus	156,62	0,69
Total	22.723,96	100

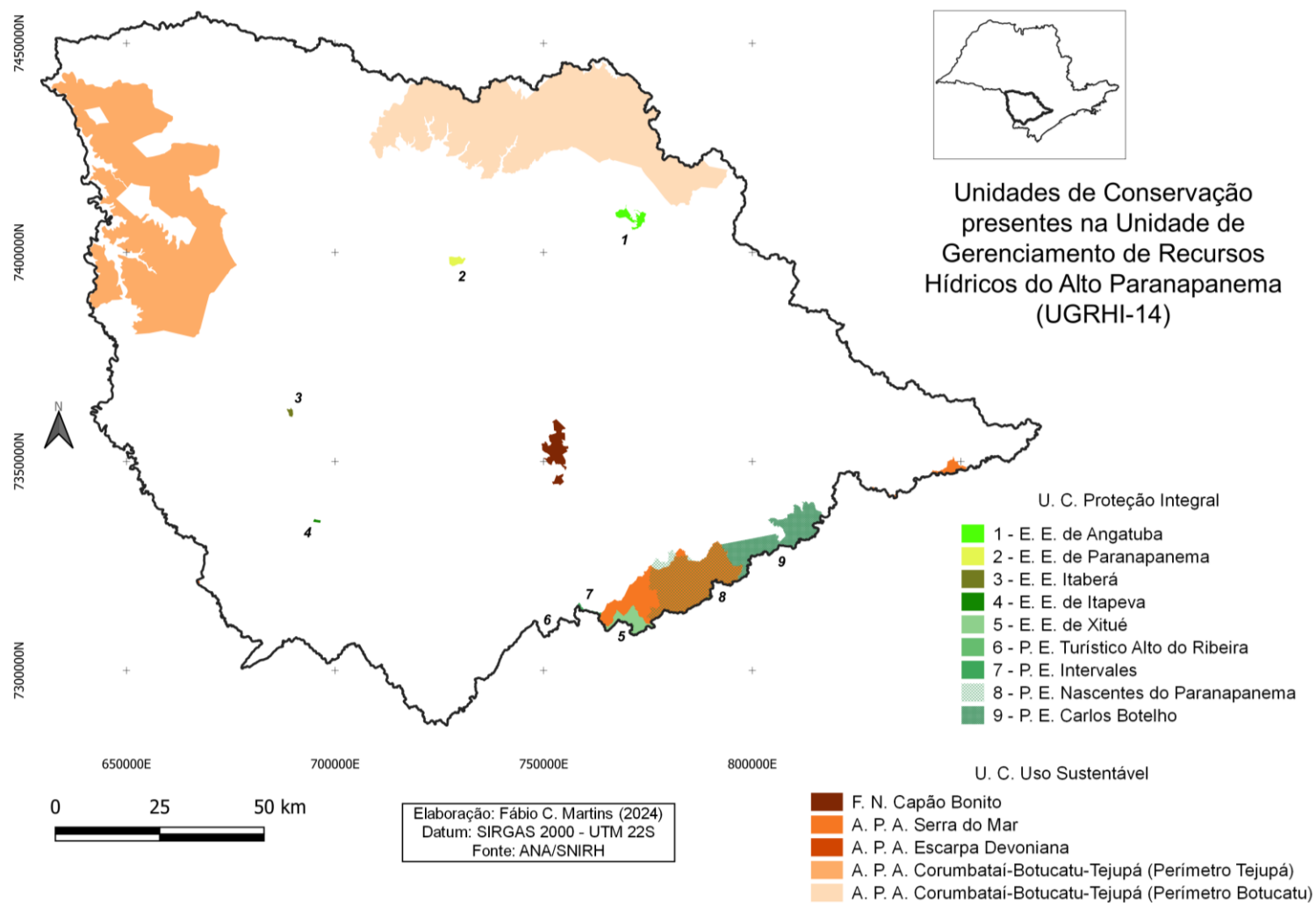
Fonte: PIRH Paranapanema (2019).

As áreas de uso agrícola dividem-se em “Cultura Permanente” e “Cultura Temporária”. As culturas permanentes registradas foram “Café” (com 170,54 km²) e “Citrus” (156,62 km²), somando pouco mais de 1% da área da UGRHI; já as culturas temporárias ocorrentes foram “Milho/Soja” (1.564,07 km²), “Cana” (785,07 km²), “Pivôs” (754,81 km²) e “Diversas” (2.505,50 km²), que juntas, representam aproximadamente 25% da área total ocupada por usos agrícolas.

A categoria “Silvicultura” propaga-se pela UGRHI estando mais concentrada na porção norte, onde localiza-se o perímetro de Botucatu da Área de Proteção Ambiental - “APA” Corumbataí-Botucatu-Tejupá, uma das 5 unidades de conservação de uso sustentável presentes na UGRHI, apresentadas na Figura 10.

Ocupa também as porções a sudoeste e no centro-leste, onde situa-se a Floresta Nacional de Capão Bonito. Essa categoria se sobrepõe, em grande parte, a áreas de: Latossolos Vermelho-Amarelo, os quais detêm uma aptidão a culturas anuais, perenes e de reflorestamento; e Argissolos Vermelho-Amarelo que, quando em relevos mais acidentados e dissecados, apresentam baixa fertilidade e alta susceptibilidade à erosão (EMBRAPA, 2018).

Figura 10 – Unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável presentes na UGRHI-14.



Fonte: ANA (2024).

Concentra-se também sobre as porções de Latossolos Vermelho e Argissolos Vermelho-Amarelo a categoria de “Cultura Temporária – Milho/Soja”, ocupando áreas dispersas que somam aproximadamente 6,9% da UGRHI.

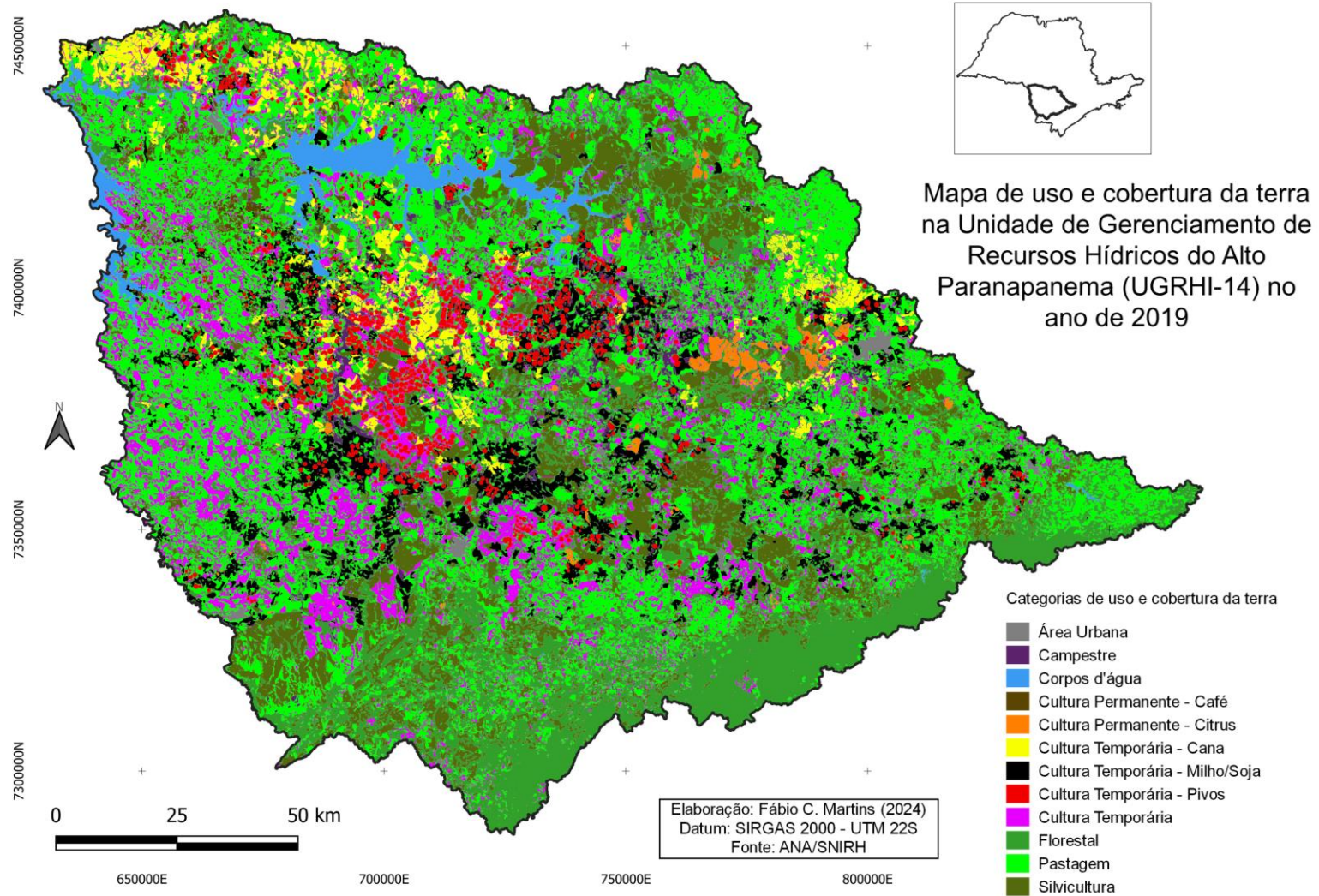
As áreas ocupadas pela categoria “Florestal” dispõem-se, majoritariamente, na borda sul e sudeste da UGRHI, abarcadas principalmente por 5 das 9 unidades de conservação de proteção integral presentes na unidade: os Parques Estaduais Carlos Botelho, Nascentes do Paranapanema, Intervalos e Turístico Alto do Ribeira, e a Estação Ecológica de Xitué. As demais unidades de conservação encontram-se dispersas - e relativamente menores, não locando-se em vários municípios, mas num único - ao longo da área, sendo ambas Estações Ecológicas: Angatuba, Paranapanema, Itaberá e Itapeva.

A categoria de uso “Campestre” (732,07 km²), ocorre numa área de pouco mais de 3% da UGRHI. A categoria “Corpos d’água” abarca uma área de 625,59 km² (menos de 3% da área total), sendo que desta, aproximadamente 401,13 km² - ou 64,1% da categoria - são ocupados pelo reservatório de Jurumirim. Já as áreas urbanizadas (143,26 km²) representam menos de 1% da área total, sendo esta, a categoria com menor área de ocorrência.

Em relação à distribuição das categorias de uso pelo território da UGRHI-14, apresentada na figura 11, a “Pastagem” se distribui heterogeneamente por toda a UGRHI, sendo menos presente nas porções central e norte, devido à presença do reservatório de Jurumirim e de atividades de silvicultura nesta, e das culturas temporárias de cana e pivôs naquela.

O uso para a “Cultura temporária – Diversas” ocupa uma área em torno de 11% e dissipa-se principalmente pelas porções oeste, sudoeste e sul da UGRHI, tendo sua maior parte disposta em áreas de latossolos vermelho, os quais ocorrem predominantemente em áreas planas a suave onduladas, e em menores proporções em relevos ondulados, o que favorece a mecanização agrícola e propicia a variedade de culturas, e que por serem profundos e porosos, apresentam condições favoráveis a um bom desenvolvimento radicular em profundidade (EMBRAPA, 2018).

Figura 11 – Usos e coberturas da terra na UGRHI-14 no ano de 2019.



Fonte: PIRH Paranapanema (2019).

2 DADOS HIDROLÓGICOS

2.1 Precipitação

Dentre as variáveis do ciclo hidrológico de bacias hidrográficas, a precipitação é a variável primordial de entrada para a maioria das aplicações nas áreas da hidrologia, climatologia, geomorfologia e agropecuária. Quantificar a precipitação de forma precisa é de suma importância para prever eventos numa bacia, tais como: inundações, susceptibilidade a deslizamentos de terra, previsão do rendimento de agriculturas e escassez de água. Logo, o conhecimento dessa variável é estratégico e essencial para a previsão e/ou mitigação de riscos naturais, prevenção de doenças e até mesmo da fome (GADÉLHA, 2018).

Entre as diversas maneiras de mensurar a precipitação, as mais comuns são por meio de pluviômetros ou pluviógrafos, bem como a partir de dados de radares e a medição através de imagens de satélite. Este último em específico, supre algumas deficiências dos anteriores, provendo dados de precipitação em áreas de difícil acesso e/ou sem equipamentos fixos instalados. O uso dos pluviômetros é considerada a forma mais precisa de mensuração da precipitação, todavia possui uma série de limitações, que podem ser provenientes de diversas origens, tais como: interferências de construções nos arredores do pluviômetro, eventuais falhas na medição, baixa manutenção dos equipamentos, dentre outras. Tais limitações, segundo Groisman (et al. 1994), geram tendências de subestimação dos índices de precipitação reais.

Mesmo com a boa aproximação da realidade que os pluviômetros conferem às medições, geram dados pontuais, quando em muitos casos, almeja-se mensurar a precipitação média de áreas com maiores extensões. Nesse âmbito, o uso do sensoriamento remoto para estimativa da precipitação tem se intensificado nos últimos anos e atendido às demandas para as diversas áreas de pesquisa no campo hidrológico.

Dentre as principais ferramentas de mensuração, destaca-se: o GPM (*Global Precipitation Measurement*), uma missão espacial lançada pelas agências espaciais JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) e NASA (*National Aeronautics Space Administration*) em 2014, que trata-se uma constelação de satélites que integra também dados de estações de superfície.

O GPM apresenta resultados estimados da precipitação ao redor do globo por meio do IMERG (*Intercalibrated Merged Retrievals for GPM*), produto dessa missão que obtém dados de vários satélites combinados (GADÊLHA, 2018).

2.2 Procedimentos de pesquisa

Por meio das plataformas: infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo - DATAGEO, e *Earth Data* > Giovanni da NASA - foram levantados, respectivamente, os dados referentes aos *shapefiles* da área a ser trabalhada, e os dados de precipitação na área. Após baixados, fez-se uso do *software* livre QGIS 3.16 "*Hannover*" para a manipulação e geoprocessamento dos dados, de modo a gerar mapas temáticos referentes à precipitação entre os anos de 2001 a 2020 na UGRHI-14.

Na plataforma Giovanni, foram baixados dados de precipitação acumulada para todo o estado de São Paulo, para posteriormente serem recortados conforme a UGRHI analisada. Os dados da missão GPM de chuva acumulada anual foram do intervalo entre os anos de 2001 a 2020, sendo em seguida tabulados de modo a comparar as medições, e posteriormente, elaborados os gráficos e mapas com a espacialização de chuvas por pixel para maior elucidação das informações, conforme mostram a Tabela 3 e o Gráfico 1.

Os valores obtidos de precipitação foram: a Média máxima, a Média mínima e a Média. A Média máxima apresenta a média dos valores máximos de precipitação de cada mês do ano registrados no pixel; a Média mínima traz a média dos valores mínimos registrados em cada mês do ano no pixel; e a Média é composta da soma de toda a precipitação anual no pixel, dividida por 365 dias

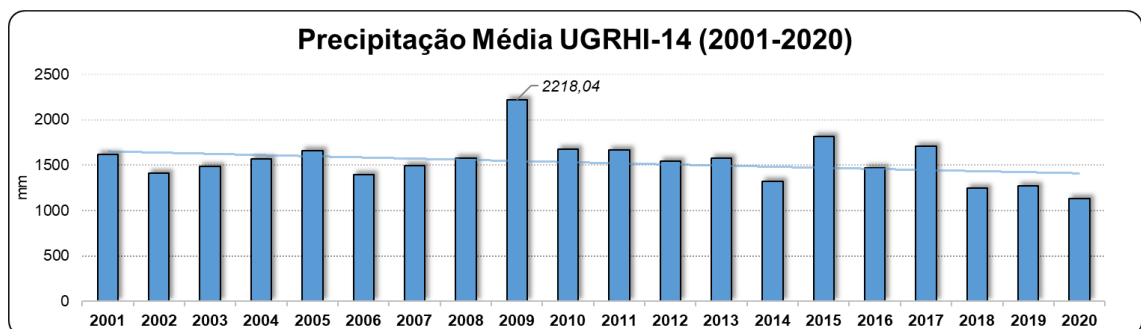
2.3 Diagnóstico

Tabela 3 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2001 a 2020. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).

Ano	Máx.	Média	Mín.	DP
2001	1818	1617	1471	78
2002	1641	1414	1279	90
2003	1730	1485	1321	94
2004	1821	1570	1396	103
2005	2041	1659	1419	152
2006	1903	1394	1103	158
2007	1993	1494	1224	155
2008	2012	1579	1190	149
2009	2743	2218	1763	214
2010	2143	1672	1215	209
2011	2008	1664	1405	130
2012	1820	1541	1249	120
2013	2039	1577	1264	159
2014	1553	1322	1014	119
2015	2227	1813	1456	149
2016	1689	1468	1276	71
2017	2109	1707	1499	94
2018	1690	1245	1100	66
2019	1512	1273	1087	75
2020	1371	1133	999	73
Média Total	1893	1542	1287	123

Fonte: NASA (2021).

Gráfico 1 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2001 a 2020, compilados da missão GPM, e a linha de tendência.



Elaboração: o autor (2021).

Com os dados em formato raster, foram elaborados os mapas de índice pluviométrico das médias anuais da série histórica, divididos em intervalos de 4 anos, isto é, o índice pluviométrico médio anual de 4 em 4 anos, resultando em 5 mapas com as médias anuais: de 2001 a 2004; de 2005 a 2008; de 2009 a 2012; de 2013 a 2016; e de 2017 a 2020, conforme método de análise adotado pelos comitês de bacia brasileiros.

No primeiro intervalo, de 2001 a 2004 – apresentado na Tabela 4 e Gráfico 2 - o ano de 2001 apresentou a maior média pluviométrica anual com 1617 mm, seguido de 2004 que registrou uma média de 1570 mm e também a maior máxima, com 1821 mm. A menor mínima foi registrada no ano de 2002, com 1279 mm, ano esse que também apresentou a menor média do intervalo, 1414 mm, e a menor máxima, com 1641 mm de precipitação anual.

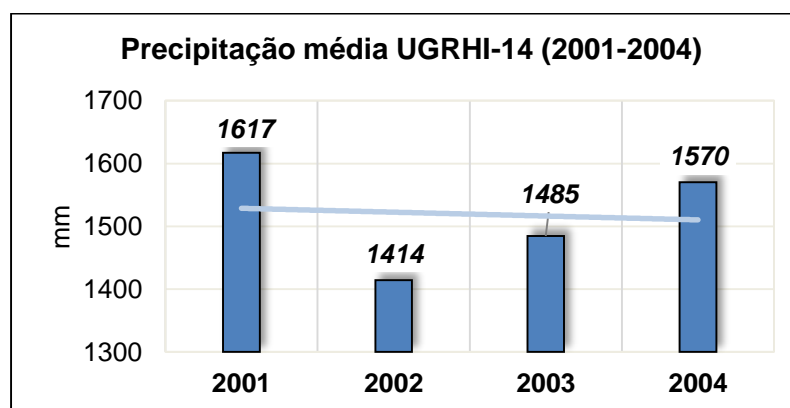
A distribuição das chuvas nesse intervalo, apresentada na Figura 12, registrou as maiores médias na porção centro-sul da UGRHI, entre as sub-bacias da margem esquerda do Alto Paranapanema e do Taquari, e as menores médias na porção nordeste, a montante do reservatório de Jurumirim, na sub-bacia da margem direita do Alto Paranapanema.

Tabela 4 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2001 a 2004. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).

Ano	Máx.	Média	Mín.	DP
2001	1818	1617	1471	78
2002	1641	1414	1279	90
2003	1730	1485	1321	94
2004	1821	1570	1396	103
Média Total	1753	1522	1367	91

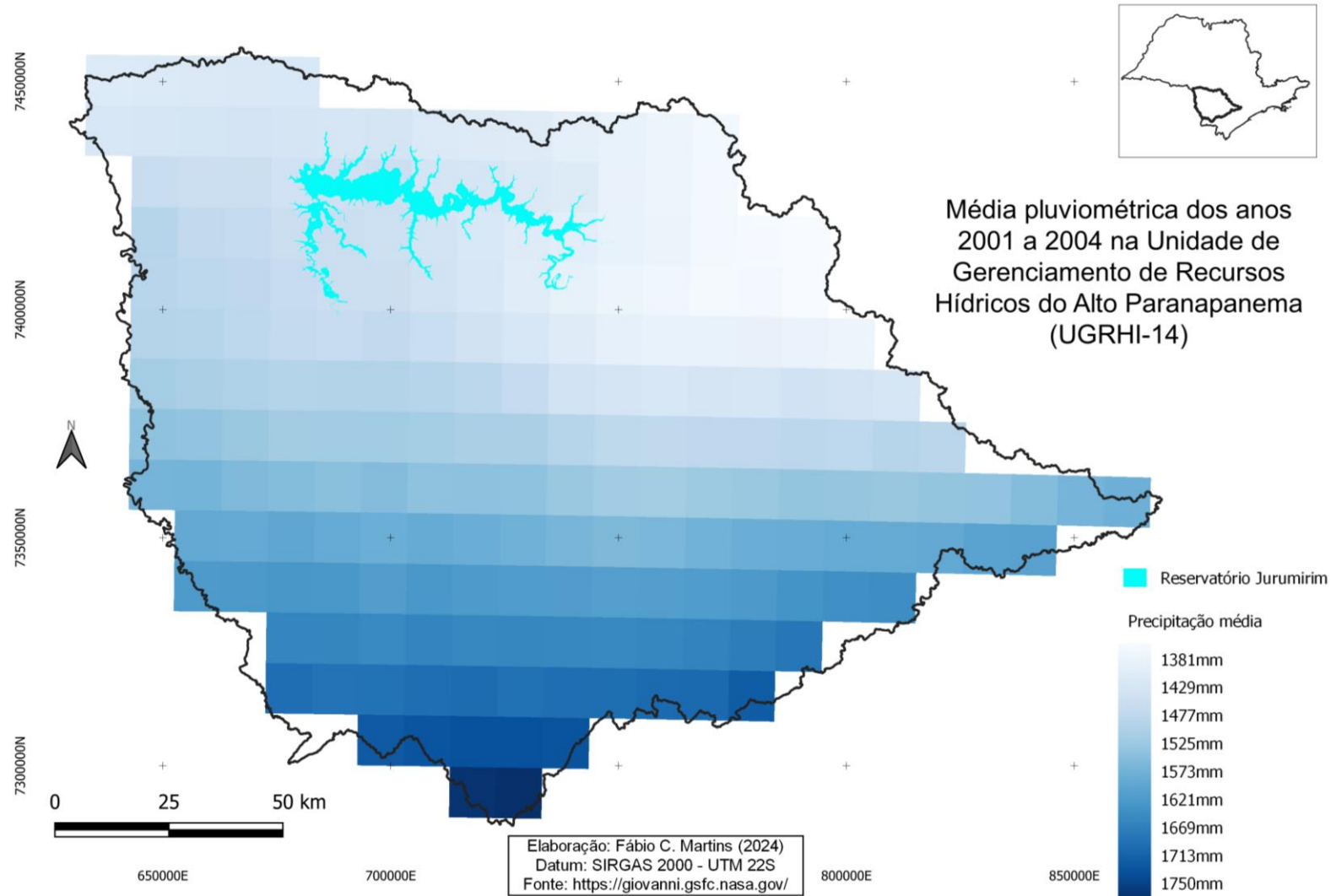
Fonte: NASA (2021).

Gráfico 2 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2001 a 2004, e a linha de tendência.



Elaboração: o autor (2024).

Figura 12 - Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2001 a 2004.



Entre os anos de 2005 a 2008 o índice pluviométrico médio anual registrou no ano de 2005 a maior média máxima, com 2041 mm, a maior média, com 1659 mm, e também a maior média mínima, conforme mostram a Tabela 5 o Gráfico 3. Já o ano de 2006 apresentou os menores índices, tanto nas médias máxima e mínima, 1903 mm e 1103 mm respectivamente, bem como na média anual, com 1394 mm, ficando abaixo da média para o intervalo, 1532 mm, sendo o ano menos chuvoso do intervalo.

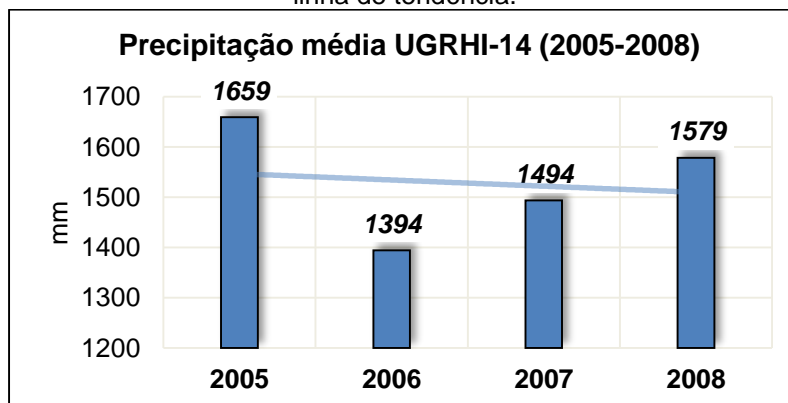
Na Figura 13 é possível observar a dispersão da precipitação ao longo da UGHRI-14 no referido intervalo. Os maiores índices ocorreram principalmente na porção norte, nas proximidades da seção central do reservatório de Jurumirim, e na porção noroeste, bem como nas porções sudeste e sul da área. Os menores índices foram registrados na porção nordeste, na sub-bacia da margem direita do Alto Paranapanema, a montante do reservatório de Jurumirim, e na porção central da sub-bacia do Itararé Alto Paranapanema.

Tabela 5 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2005 a 2008. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).

Ano	Máx.	Média	Mín.	DP
2005	2041	1659	1419	151,9
2006	1903	1394	1103	157,8
2007	1993	1494	1224	155,5
2008	2012	1579	1190	148,6
Média Total	1987	1532	1234	153

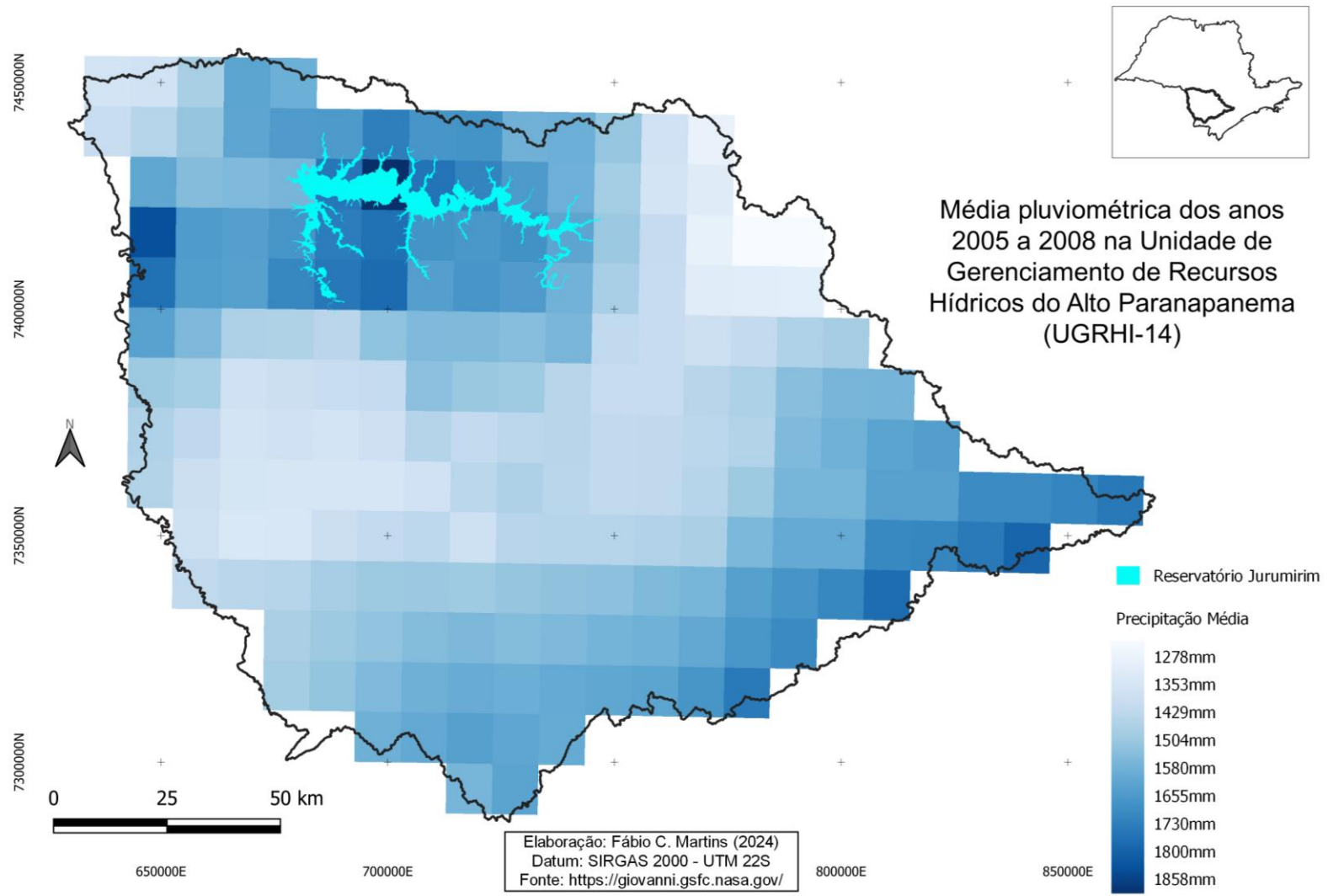
Fonte: NASA (2021).

Gráfico 3 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2005 a 2008, e a linha de tendência.



Elaboração: o autor (2024).

Figura 13 - Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2005 a 2008.



O período de 2009 a 2012 apresentou a maior média entre os períodos (1774 mm) ao passo que os maiores índices se concentraram no ano de 2009, conforme mostrado na Tabela 6 e no Gráfico 4, sendo a maior média máxima, com 2743 mm, a maior média mínima, 1763 mm, e a maior média anual, com 2218 mm, sendo esta, a maior média anual registrada em toda a série histórica analisada (2001-2020), isto é, o ano com os maiores índices pluviométricos foi o de 2009, com aproximadamente 670 mm acima da média da série histórica (1542 mm) e 440 mm acima da média do intervalo de 2009 a 2012.

Os anos seguintes a 2009 apresentaram redução nas médias máximas e nas médias anuais (evidenciado pela linha de tendência em redução): a menor média mínima ocorreu no ano de 2010, com 1215 mm, sendo registrado o menor índice médio anual no ano de 2012 com 1541 mm, o que representa 233 mm abaixo da média para o período.

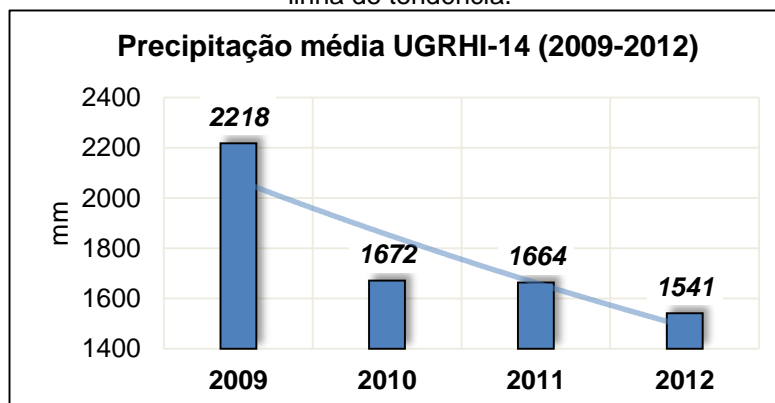
Os maiores índices ocorreram nas porções de leste a sul da UGRHI (Figura 14), na sub-bacia da margem esquerda do Alto Paranapanema, bem como na porção norte, na seção central do reservatório de Jurumirim, na sub-bacia da margem direita do Alto Paranapanema,

Tabela 6 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2009 a 2012. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).

Ano	Máx.	Média	Mín.	DP
2009	2743	2218	1763	213,9
2010	2143	1672	1215	209,0
2011	2008	1664	1405	130,5
2012	1820	1541	1249	119,6
Média Total	2178	1774	1408	168

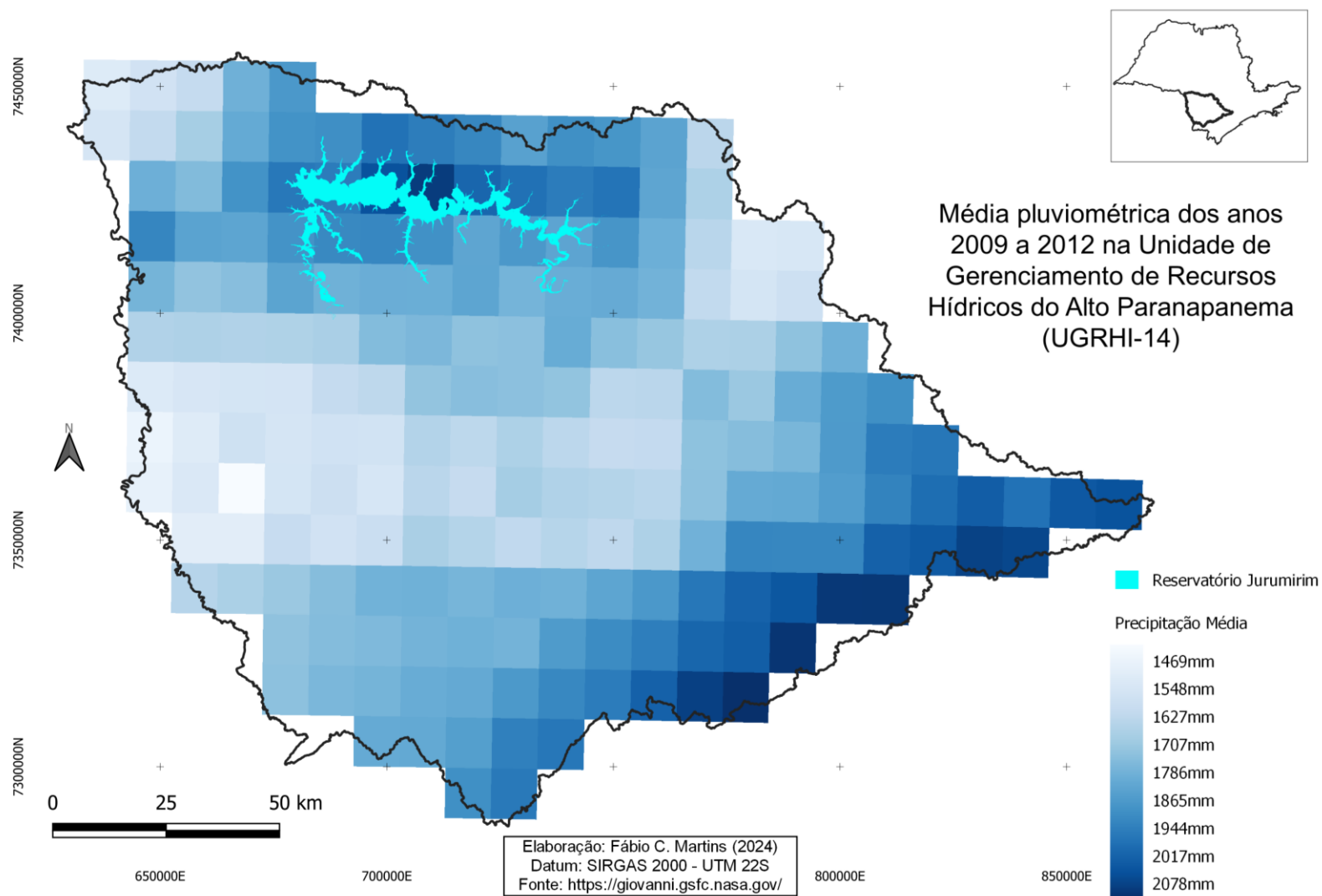
Fonte: NASA (2021).

Gráfico 4 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2009 a 2012, e a linha de tendência.



Elaboração: o autor (2024).

Figura 14 - Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2009 a 2012.



Conforme mostram a Tabela 7 e o Gráfico 5, entre os anos de 2013 e 2016 destacou-se o ano de 2015, o qual apresentou a maior média máxima – segunda maior da série histórica – com 2227 mm, e a maior média anual, com 1813 mm, o que representou 268 mm acima da média do período, sendo esta também a segunda maior média anual registrada na série histórica entre 2001 e 2020. Ademais, o respectivo período também destacou-se devido ao único em que a linha de tendência apresenta-se em ascensão, o que não ocorreu com os demais intervalos de períodos analisados.

Já o ano de 2014 registrou os menores índices na média máxima (1553 mm), na média mínima (1014 mm) e na média anual, com 1322 mm, representando 223 mm abaixo da média para o período.

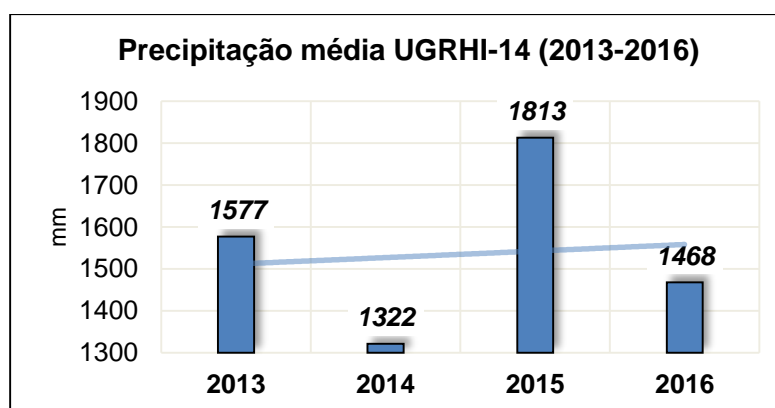
Em relação à distribuição da precipitação, a Figura 15 apontou uma maior concentração na porção oeste da UGRHI, na sub-bacia do Itararé Alto Paranapanema.

Tabela 7 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2013 a 2016. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).

Ano	Máx.	Média	Mín.	DP
2013	2039	1577	1264	158,5
2014	1553	1322	1014	118,7
2015	2227	1813	1456	149,2
2016	1689	1468	1276	71,0
Média Total	1877	1545	1253	124

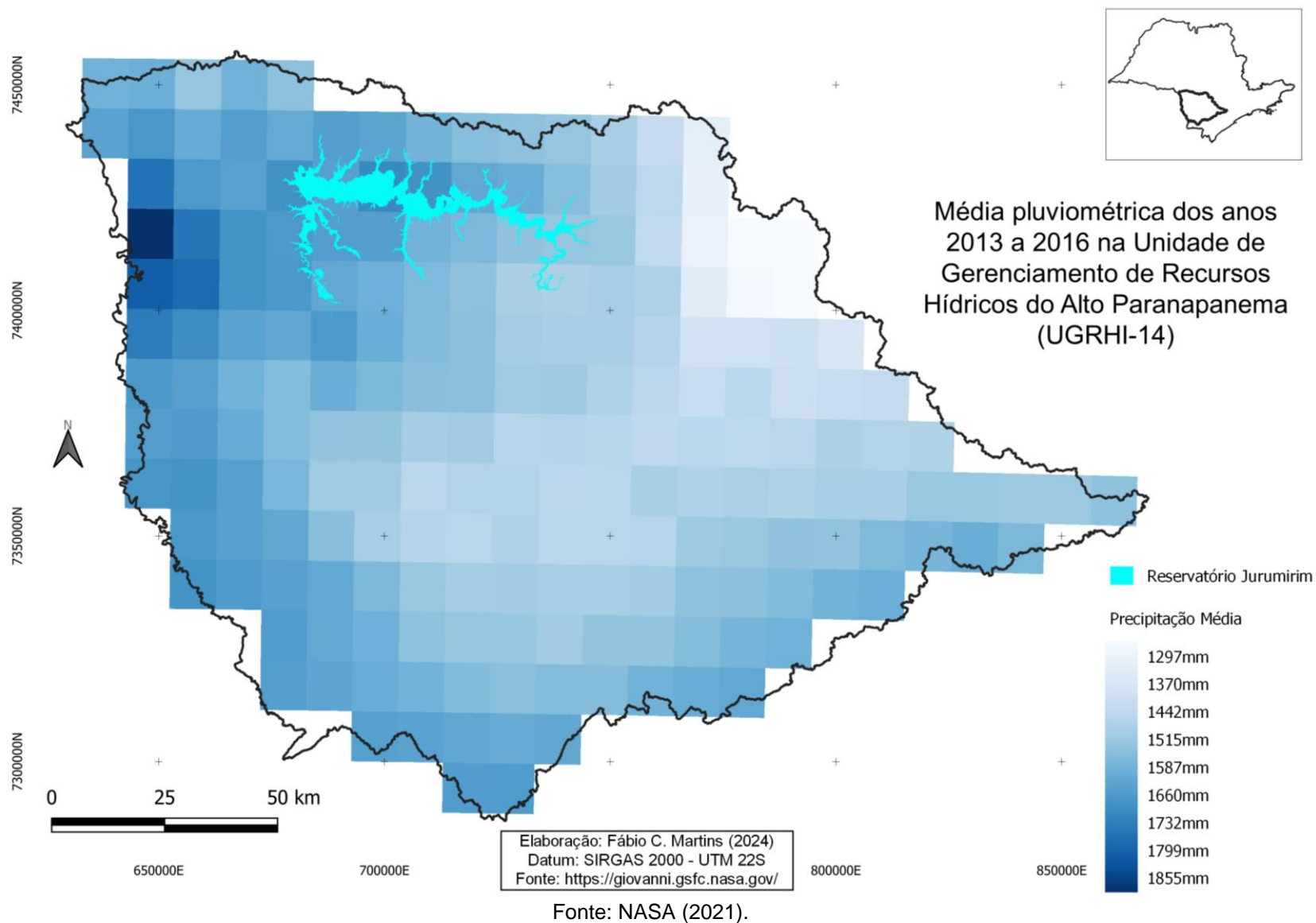
Fonte: NASA (2021).

Gráfico 5 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2013 a 2016, e a linha de tendência.



Elaboração: o autor (2024).

Figura 15 - Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2013 a 2016.



Por fim, entre os anos de 2017 a 2020, mostrados na Tabela 8, o ano de 2017 apresentou os maiores índices, com 2109 mm de média máxima, 1499 mm de média mínima e 1707 mm de média anual, o que representa 368 mm acima da média para o período (1339 mm), colocando o ano de 2017 como único com média anual acima da média do período. O período apresenta-se também como o de maior redução dos índices, conforme aponta a linha de tendência do Gráfico 6.

Em relação aos menores índices, o ano de 2020 destacou-se com a menor média máxima, 1371 mm, a menor média mínima, 999 mm, e a menor média anual do período - e também da série histórica - com 1133 mm, ou seja, 206 mm abaixo da média para o período, e 409 mm abaixo a média da série histórica 2001-2020 (1542 mm).

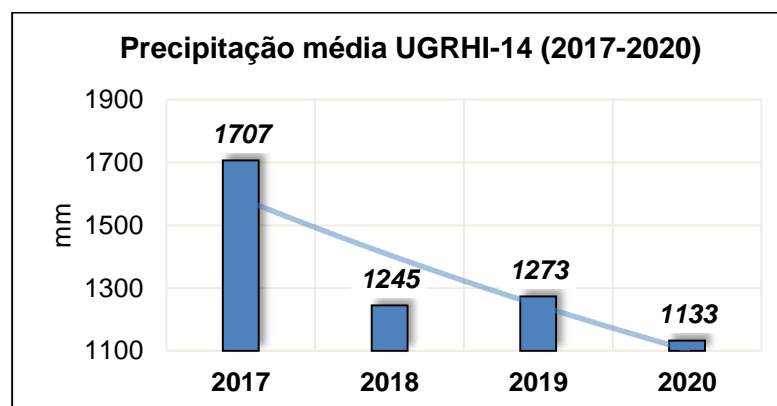
A espacialização da precipitação pode ser observada na Figura 16, que apresentou uma pequena concentração dos índices pluviométricos na porção nordeste da UGRHI, majoritariamente a montante do reservatório de Jurumirim, e uma menor concentração na porção leste-sudeste.

Tabela 8 - Dados médios anuais de precipitação (em mm) entre os anos de 2017 a 2020. Máx. (média máxima); Mín. (média mínima); DP (Desvio Padrão).

Ano	Máx.	Média	Mín.	DP
2017	2109	1707	1499	93,9
2018	1690	1245	1100	66,1
2019	1512	1273	1087	75,3
2020	1371	1133	999	72,9
Média Total	1671	1339	1171	77

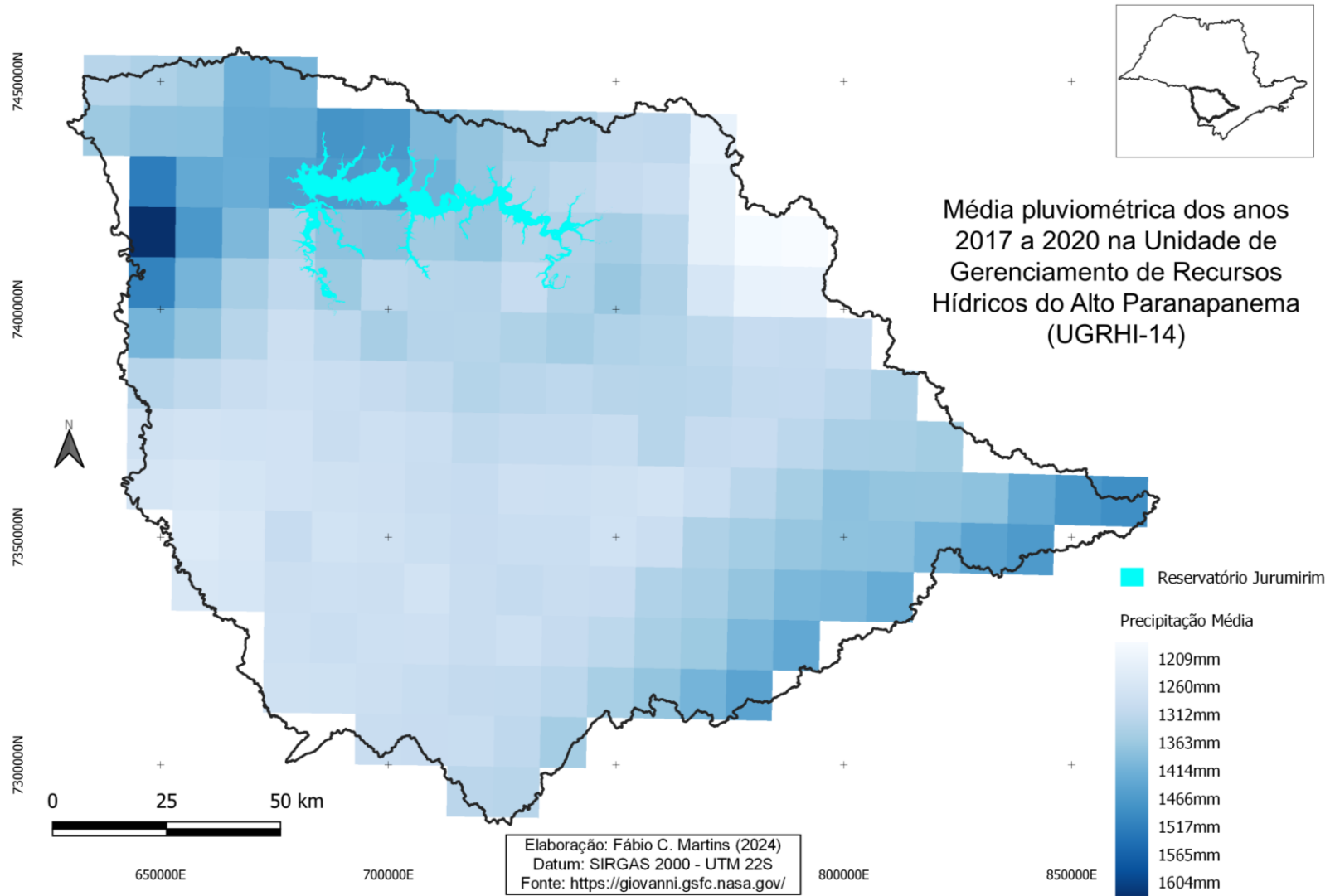
Fonte: NASA (2021).

Gráfico 6 - Dados de precipitação média anual (mm) na UGRHI-14, entre os anos de 2017 a 2020, e a linha de tendência.



Elaboração: o autor (2024).

Figura 16 - Representação espacial do índice pluviométrico médio anual (em mm) na UGRHI-14 entre os anos de 2017 a 2020.



Fonte: NASA (2021).

2.4 Discussão dos resultados

O conhecimento do regime hidrológico de uma determinada área traz consigo informações e dados primordiais para seu monitoramento, de modo a atuar como um importante e eficiente instrumento na tomada de decisões, na gestão da disponibilidade, e na mitigação de impactos. Permite ainda identificar padrões de variabilidade climática, os quais influenciam diretamente na rede hidrográfica e todos os usos múltiplos da água praticados na respectiva área.

Analisando a série histórica entre os anos de 2001 e 2020, foi possível observar que do ano de 2001 a 2008 os índices médios pluviométricos permaneceram próximos, com poucas oscilações, entre 1414 mm e 1660 mm. Porém, no ano de 2009 a média superou todas as anteriores e posteriores, sendo a maior da série, com 2218 mm, isto é, 44 % acima da média histórica (1542 mm). O ano de 2009 também foi destaque como ano mais chuvoso na bacia do Médio Paranapanema, conforme estudos de Silva et al (2023) que apontaram índices acima de 2.500 mm.

A partir de 2010, os índices médios apresentaram uma considerável redução, de 1671 mm em 2010 para 1132 em 2020 – sendo este ano, o menos chuvoso da série histórica - sobressaindo-se apenas os anos de 2015 e 2017, com 1812 mm e 1706 mm respectivamente, apresentando índices acima daqueles de 2010. Silva et al (2023) constatou essa situação também na bacia do Médio Paranapanema, onde 2014 apresentou índices bem abaixo da média (1.300 mm), bem como 2015, que se destacou ultrapassando os 2.000 mm, o que ocasionou alagamentos e danos físico-estruturais em diversas cidades da bacia.

Possíveis cenários futuros podem apresentar uma precipitação média de 1.200 mm para o período de 2016 a 2070, conforme simulado por González (2022), isto é, uma redução de mais de 20% quando comparado à série histórica registrada de 2001 a 2020.

É de conhecimento que a redução dos índices pluviométricos, bem como dos níveis fluviométricos, de certa forma se relaciona com os usos e a ocupação dos solos das vertentes, influenciando no abastecimento público e na geração de energia – atividades essenciais às atuais demandas da sociedade. Todavia, o aumento de tais índices pode vir a provocar enchentes e inundações, além da intensificação de

processos erosivos e conseqüentemente, de assoreamentos.

A cobertura do solo, corroborada com a formação pedológica de características arenosas em determinadas áreas da UGRHI-14, torna as vertentes mais suscetíveis a eventos de erosão e assoreamento, o que gera impactos econômicos e sociais com a perda de solo, bem como impactos nos cursos hídricos. E esse cenário é ocorrente na UGRHI- 14, conforme aponta o plano da bacia.

3. MATRIZ HIDRÁULICA

3.1 Reservatórios artificiais

Planejadas e construídas especialmente para o abastecimento de água em períodos de seca para o consumo humano, animal e na irrigação de plantações, as barragens historicamente detinham essa característica de grandes estruturas para um fim específico. A partir do fim do século XIX, objetivos adicionais passam a fazer parte dos usos dos reservatórios como a navegação e a exploração do potencial hídrico dos corpos d'água para a geração de energia. Frente a avanços científicos e tecnológicos, os reservatórios passam a ser planejados e implementados com o objetivo de servir a diversas necessidades, ou a usos múltiplos. (SÓRIA, 2008).

Pesca, aquicultura, recreação, turismo, navegação, abastecimento urbano, irrigação e hidroeletricidade são alguns dos principais usos praticados ao longo do tempo. Possuem em sua construção, relevantes componentes econômicos em razão de seus múltiplos usos e serviços que fornecem aos humanos (TUNDISI, 1999).

Para se regularizar e controlar o regime de um rio, é necessária a construção de sólidos barramentos – barragens - úteis não somente para a geração de energia, mas também para a irrigação de plantações localizadas no entorno do reservatório, para o fornecimento de água para abastecimento urbano, para fins industriais ou até mesmo para alimentar canais navegáveis (VECCHIA, 2014).

As estruturas construídas para reter e regular água, geralmente designadas como barragens, têm como principal finalidade atender às necessidades de abastecimento residencial e industrial, facilitar a irrigação, favorecer a navegação, proporcionar espaços recreativos, controlar a sedimentação, gerenciar enchentes e gerar energia elétrica. Segundo o Comitê Brasileiro de Barragens - CBDB, algumas barragens são especializadas em uma única função, sendo denominadas "barragens de função única". Atualmente, é comum a construção de barragens que desempenham diversas funções simultaneamente, sendo assim referidas como "barragens (ou reservatórios) de usos múltiplos" (CBDB, 2021).

Segundo o Centro Brasileiro de Infraestrutura (2020), existem vários tipos de reservatórios artificiais, cada um projetado para atender a finalidades específicas, sendo os mais comuns:

- Reservatório de Abastecimento de Água Potável;
- Reservatório de Controle de Enchentes;
- Reservatório de Usina Hidrelétrica;
- Reservatório de Irrigação Agrícola.

Em função da forma como os reservatórios são construídos e implementados, ocorrem mudanças na paisagem e nas dinâmicas ambientais do local, tais como: alteração da vazão do rio e o alargamento de seu leito a montante da barragem, alterações nos parâmetros climáticos e elevação do nível do lençol freático, além de impactos na fauna e flora, sociais e econômicos, pois descaracterizam e alteram a paisagem e as funcionalidades da área (CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA, 2020).

Após instalada uma barragem, toda a dinâmica socioambiental à sua montante e jusante é modificada, sendo esta impactada com as oscilantes vazões no curso d'água, o que reduz as diversidades de uso; e aquela, impactada com uma área alagada formadora do reservatório, o que propicia uma maior diversidade em seu uso, a depender de seu tipo e regime de operação.

3.1.1 Tipos de regimes de operação de reservatórios

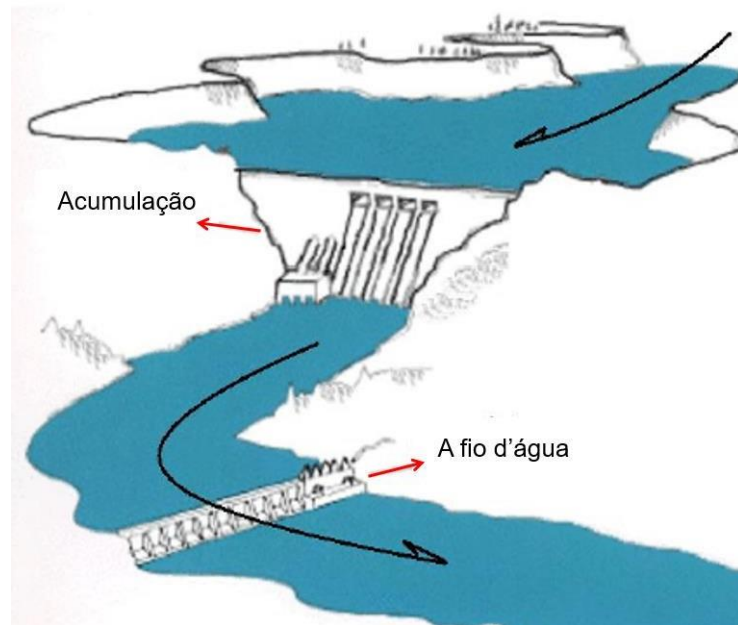
Os reservatórios artificiais podem ser classificados em dois tipos, segundo seu regime de operação:

- A fio d'água: quando o reservatório não dispõe de volume considerável, operando conforme a vazão do curso d'água. Nos períodos de cheia, após atingido o nível de volume desejado ocorre o extravasamento, em que a vazão defluente, ou seja, a vazão de saída no reservatório, é equiparada à vazão afluenta, que é a vazão de entrada no reservatório. Desse modo, mantém-se o volume do reservatório estabilizado e com menores variações de nível, ao passo que, a jusante da barragem, as oscilações na vazão defluente modificam o regime do curso d'água e comprometem seus usuários. (ONS, 2022).

- De acumulação: esse regime ocorre em reservatórios de grande porte, com intuito de estocagem de água para os períodos de estiagem, e maiores

demandas na geração de energia. Geralmente localizados em áreas de cabeceira de cursos d'água, em locais de altas quedas d'água, ocorre ampla variação de seu nível, visto que ele apresenta o comportamento de esvaziamento no período de seca, e de reenchimento no período chuvoso, ocasionando uma maior oscilação no nível do reservatório, isto é, a montante da barragem, conforme ilustra a Figura 17 (ONS, 2022).

Figura 17 – Ilustração apresentando os dois tipos de regime de operação de um reservatório.



Fonte: Foundation for Water and Energy Education (2022).

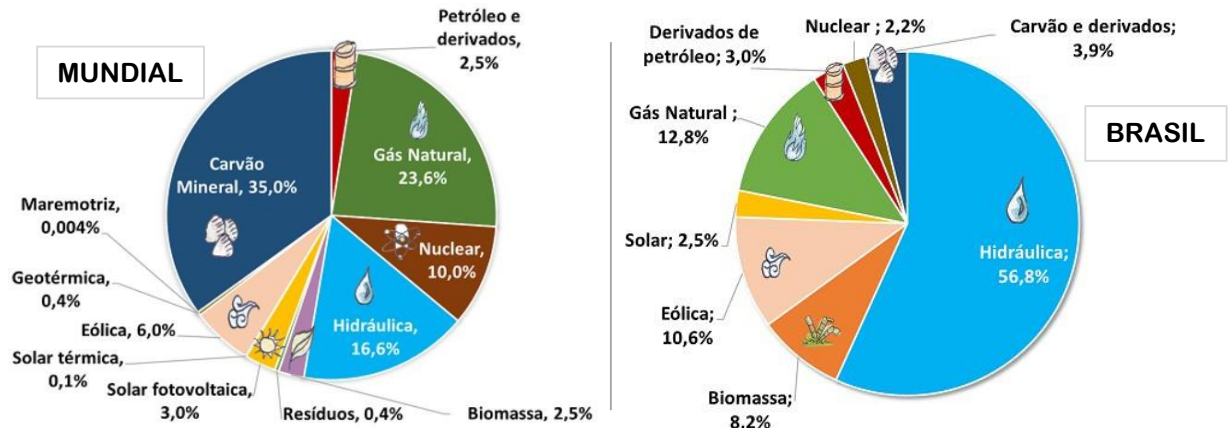
3.2 Energia Hidrelétrica

Sendo cada vez mais explorado e aprimorado, o uso da energia elétrica obteve sua maior expansão durante as primeiras revoluções industriais, com o intuito de iluminação e de operação de setores de produção. Desde seu advento, a capacidade de geração, armazenamento e logística geram gastos significativamente baixos quando comparada às fontes de combustíveis fósseis como carvão, petróleo ou gás natural.

A matriz elétrica mundial ainda se inclina ao uso dos combustíveis fósseis para sua geração, sendo o carvão mineral (35%), o gás natural (23,6%) e o petróleo e derivados (2,5%) as principais fontes, totalizando 61,1% da matriz elétrica mundial. A fonte hidráulica vem na sequência, representando 16,6% de toda matriz elétrica mundial, a qual no Brasil, tem maior destaque e inclinação, representando 56,8%

contra 19,7% das fontes não renováveis somadas (carvão mineral 3,9%, petróleo 3% e derivados e gás natural 12,8%), conforme a Figura 18 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

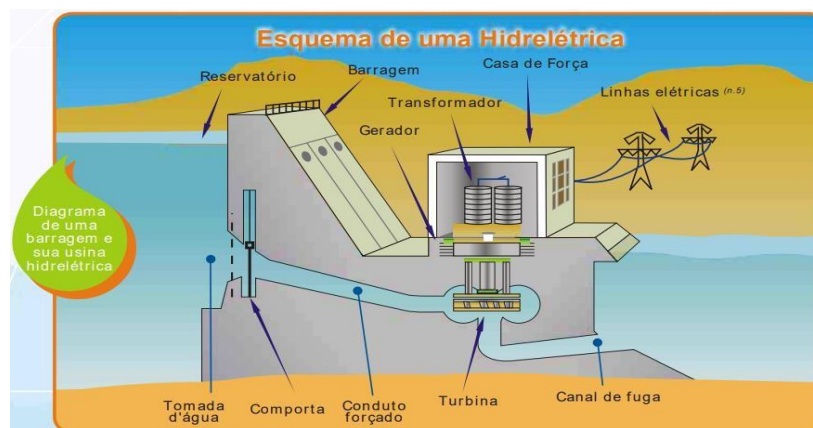
Figura 18 – Matriz elétrica mundial de 2020 (esquerda) e matriz elétrica brasileira de 2021 (direita).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2021).

Suas benesses são ainda maiores quando a fonte geradora dessa energia é a água, esse bem abundante - principalmente no território brasileiro – que converte, por meio de centrais hidrelétricas, a energia mecânica provinda da força da água de rios em energia elétrica (Figura 19). Quando se constrói uma barragem num curso d'água, abre-se mão de uma série de recursos naturais com vista para uma produção de energia em escala, o que ocasiona impactos também em escala. Todavia, torna-se necessária a existência de um sistema eficaz de geração de energia para compreender a realidade socioeconômica de um país (VECCHIA, 2014).

Figura 19 – Ilustração demonstrativa da composição e funcionamento de uma usina hidrelétrica.



Fonte: CIGB (2022).

Diante dessa intensa e gradativa demanda global por energia, a malha de transmissão de energia no Brasil cresceu significativamente, dando origem a uma grande rede que interliga todo o território nacional, e que possibilita o intercâmbio de eletricidade entre as regiões brasileiras. E para coordenar e controlar essa malha nacional de transmissão, por meio da Lei nº 9.648 de 26 de agosto de 1998 – regulamentado pelo Decreto nº 5.081/2004, com alterações inseridas pela Lei nº 10.848/2004 - foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico, o ONS. Trata-se de uma organização privada de direito civil, sem fins lucrativos, responsável por coordenar e controlar a operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica em todo o Sistema Interligado Nacional, o SIN, e também responsável por planejar a operação dos sistemas isolados do Brasil, sob a regulação e fiscalização da Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL (ONS, 2023).

O sistema é composto por membros participantes e associados, sendo eles: empresas de geração, transmissão e distribuição de energia, importadores e exportadores de energia e consumidores livres, bem como representantes dos conselhos de consumidores e o Ministério de Minas e Energia (MME). Tem como alguns de seus objetivos: “garantir que todos os agentes do setor elétrico tenham acesso à rede de transmissão de forma não discriminatória; bem como contribuir, de acordo com a natureza de suas atividades, para que a expansão do SIN se faça ao menor custo e vise às melhores condições operacionais futuras” (ONS, 2023).

Em se tratando de centrais hidrelétricas, com todo o sistema monitorado, o ONS apresenta relatórios diversos acerca de toda movimentação ocorrente nele, disponibilizando os dados e resultados históricos de toda operação. Alguns dos resultados como volume útil do reservatório, vazões afluente e defluente e geração de energia permitem inferir se a energia produzida num determinado sistema, comparando-a com as vazões – de entrada e saída, os níveis de armazenamento do reservatório, e considerando a época em questão, se a geração de energia interfere no volume do reservatório, dentre outras análises.

Conforme a estrutura e o potencial hidráulico – mensurado em MegaWatts (MW) - de uma central hidrelétrica, a ANEEL (2023) adota três classificações:

- Central Geradora Hidrelétrica (CGH): com geração de até 1 MW de potência instalada;
- Pequena Central Hidrelétrica (PCH): com potencial entre 1,1 e 30 MW de potência instalada e;
- Usina Hidrelétrica (UHE): com potencial maior que 30 MW de potência instalada.

3.3 Procedimentos de pesquisa

Como a área de estudo se enquadra numa UHE, para levantamento das informações pertinentes, utilizou-se dados do ONS (ons.org.br), o qual reúne e disponibiliza os resultados históricos da operação do SIN, pautado nos princípios da confiabilidade e transparência das informações. Na aba “Resultados da operação”, e em seguida “Histórico da Operação” é possível selecionar diversas famílias de informações (Figura 20) consultando variáveis e os intervalos temporais desejados, agregando a sistemas, subsistemas, estado ou por usina.

Figura 20 – Tela do site do ONS, no campo “Resultados da operação”, e as famílias de informações disponíveis para consulta.



Fonte: ONS (2024).

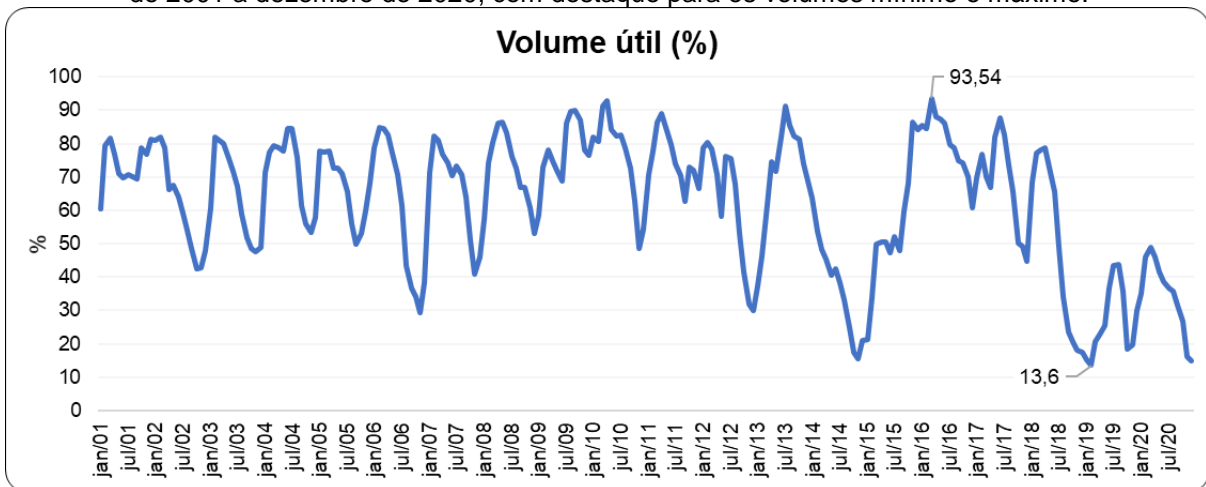
Escolhida a família, é possível ainda realizar consultas do tipo simples, com uma grandeza, um período e uma escala de tempo; comparativa, com um período e escala de tempo, sendo possível comparar grandezas de uma mesma família; temporal, sendo possível comparar uma grandeza numa escala de tempo com diferentes períodos de tempo e; composição, sendo uma grandeza, uma escala e período de tempo, analisados em gráfico de pizza sua composição por subsistema ou tipo de usina.

Para o presente trabalho, utilizou-se a consulta do tipo simples, elencando individualmente as seguintes famílias de informações: “Dados Hidrológicos/Volumes”; “Dados Hidrológicos/Vazões - Vazão Afluente e Vazão Defluente ” e “Geração de Energia”, utilizando a escala de tempo mensal, entre o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020.

Após gerada a série almejada, um gráfico é disponibilizado, juntamente com a opção de tabela a ser exportada, a qual também fora utilizada no intuito de cruzar os referidos dados para uma análise conjunta.

3.4 Diagnóstico

Gráfico 7 – Histórico do volume útil – em % - do reservatório de Jurumirim entre os meses de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com destaque para os volumes mínimo e máximo.



Fonte: ONS (2024).

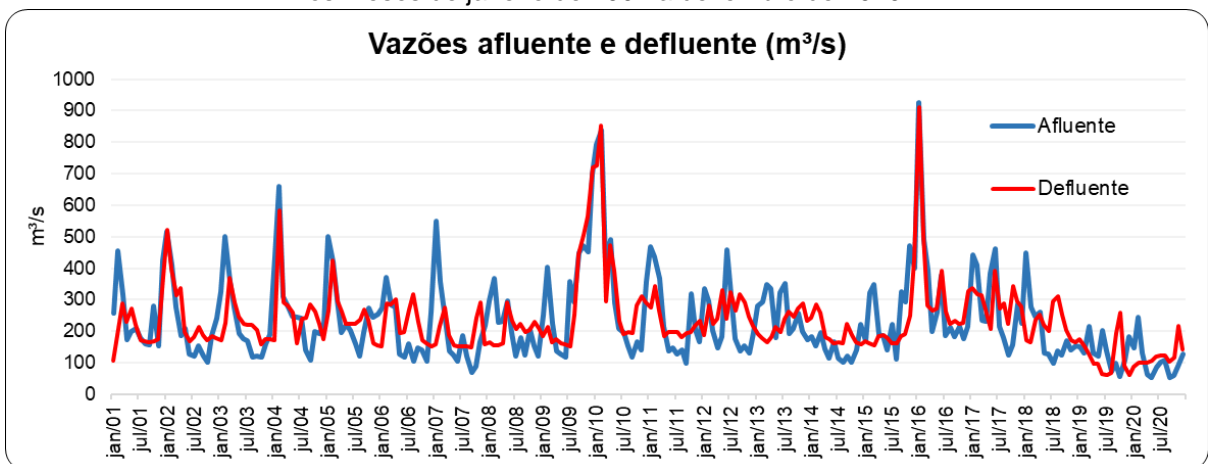
Primeiramente, analisando o Gráfico 7 acerca do volume útil do reservatório, observa-se do início do período até o último trimestre de 2014 a variação do volume útil do reservatório de 30 a 80 % de sua capacidade, chegando em alguns momentos a ultrapassar os 90 %, sofrendo brusca queda no mês de novembro, chegando a 15,53% de seu volume útil. Fato esse que coincidiu com a estiagem que

atingiu o estado de São Paulo no ano de 2014, ano em que registrou uma média pluviométrica de 1.340 mm. Todavia, o menor valor registrado foi no mês de fevereiro de 2019, atingindo apenas 13,6% de seu volume útil, consequência da menor média pluviométrica registrada no período, atingindo 1.250 mm em 2018.

Quanto aos maiores volumes registrados, destacam-se os meses de abril de 2010, em que o reservatório atingiu 92,85% de seu volume útil, consequência da média pluviométrica registrada no ano anterior, chegando a 2.218 mm, sendo essa a maior do período. Entretanto, o maior volume útil registrado ocorreu no mês de março de 2016 com 93,54%, oriundo também da considerável média pluviométrica registrada – 1.813 mm - no ano de 2015.

Acerca das vazões de entrada e saída do reservatório (afluente e defluente), elas não apresentaram discrepâncias significativas (Gráfico 8). Sabendo-se que o controle no regime de vazão é uma das premissas de um reservatório de acumulação, nota-se uma defluência com menores oscilações, mas, similares à vazão afluente em anos de maiores médias pluviais, 2010 e 2016, ultrapassando os 900 m³/s. Já nos anos de menores médias – 2006, 2014 e 2019, a vazão defluente se apresentou mais elevada que a afluente, com destaque para o outubro de 2019, em que esta apresentou 60 m³/s, e aquela, 259 m³/s, dado esse que coincide com o ano de menores índices de volume útil do reservatório, sendo 13,6% em janeiro e 18,4% em outubro.

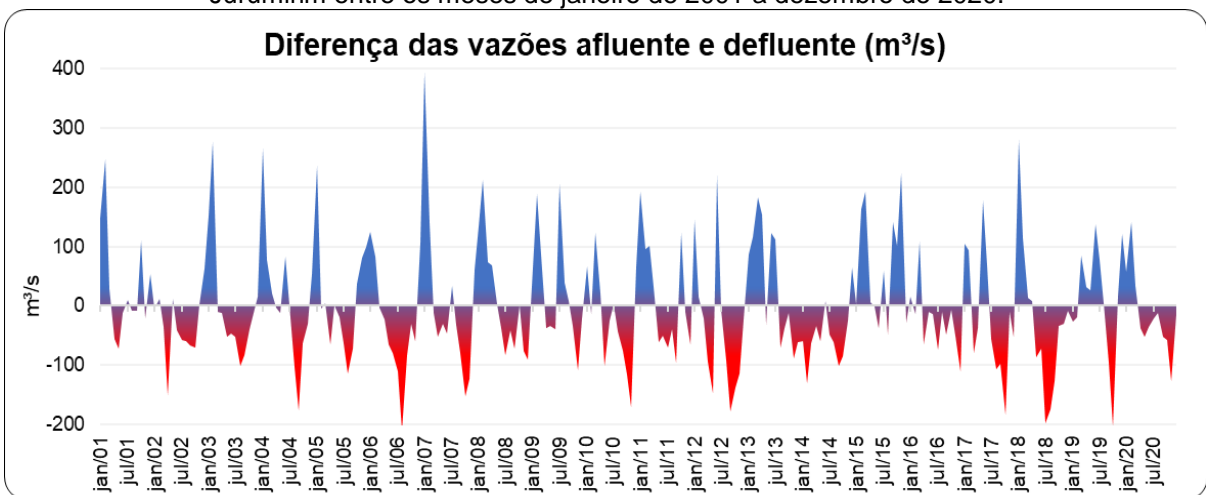
Gráfico 8 – Histórico das vazões afluente e defluente – em m³/s - do reservatório de Jurumirim entre os meses de janeiro de 2001 a dezembro de 2020.



Fonte: ONS (2024).

As diferenças entre as vazões afluentes e defluente podem ser observadas no Gráfico 9. Os valores positivos (em azul) denotam um saldo positivo de entrada, isto é, a vazão afluente foi maior que a - defluente no respectivo mês e ano. Já os valores negativos (em vermelho) apontam para um saldo negativo de entrada, ou seja, a vazão afluente foi menor que a defluente. Quanto mais próximo de 0 (zero) ou quanto menor for a coluna, mais parelho foi o saldo, significando valores de afluência e defluência – entrada e saída – próximo um do outro.

Gráfico 9 – Histórico da diferença das vazões afluentes e defluente – em m^3/s - do reservatório de Jurumirim entre os meses de janeiro de 2001 a dezembro de 2020.

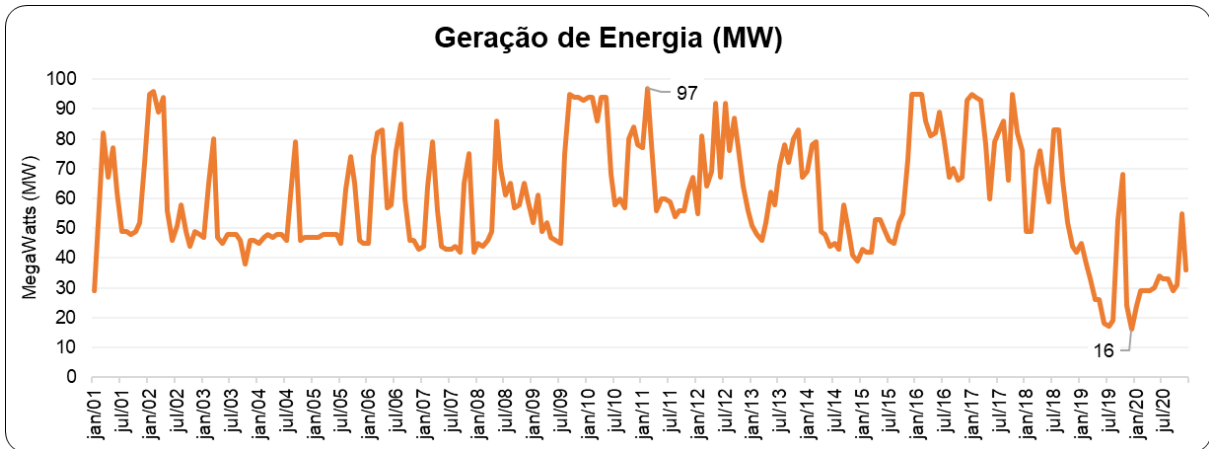


Elaboração: o autor (2024).

É possível observar que meses com maiores vazões afluentes (entrada) não necessariamente antecedem meses com maiores vazões de defluência (saída), conforme mostram os meses de janeiro de 2003, janeiro de 2007, janeiro de 2008 e janeiro de 2016. Quanto aos meses com maiores vazões de defluência, estes também não sucedem meses com maior vazão afluente, tampouco coincidem com os meses de maiores médias pluviométricas, visto que a defluência obedece a demanda energética do sistema.

Em relação às médias de geração de energia apresentadas no Gráfico 10, durante o período de 2001 a 2020, observa-se uma menor oscilação após 2006, mantendo-se com índices médios entre 40 e 96 MegaWatts gerados pela UHE Jurumirim.

Gráfico 10 - Médias mensais de geração de energia – em MegaWatts (MW) – na UHE Jurumirim, durante o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com destaque para a maior e menor média gerada.



Fonte: ONS (2024).

Coincidente à maior média pluviométrica registrada na UGRHI-14 - 2218 mm em 2009 – as médias máximas de geração de energia ficaram acima dos 55 MW durante o ano de 2010, chegando a 97 MW gerados em fevereiro de 2011, índice esse que representa a maior média registrada para o período estudado.

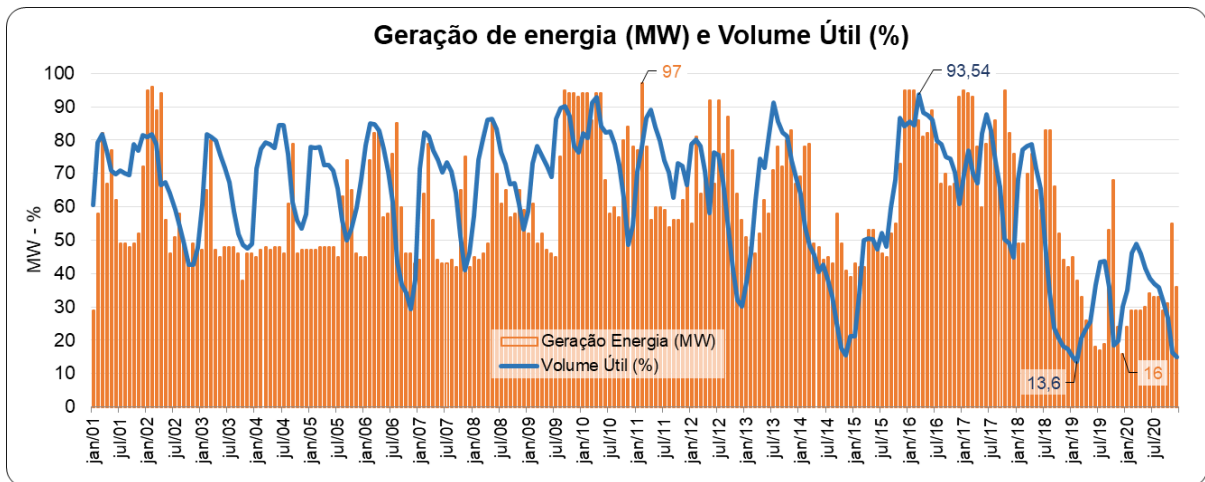
Com a estiagem de 2014, em que a média pluviométrica anual foi a segunda menor registrada na UGRHI-14, com 1322 mm de chuva registrados, as médias mínimas de energia gerada chegaram a ficar abaixo dos 40 MW em janeiro de 2015, todavia, a média máxima chegou a 95 MW em dezembro daquele ano.

A partir de 2016 as médias se elevam e apresentam menos oscilação, mantendo-se a geração média máxima e mínima entre 95 MW (janeiro) e 66 MW (outubro) respectivamente. Isso, até dezembro de 2018, quando a média mínima de geração atinge a 42 MW, chegando a 45 MW em janeiro de 2019, representando uma redução de 48% na geração média em relação ao mesmo período de 2016.

Já os anos de 2019 e 2020 foram os que apresentaram a maior oscilação entre médias máximas e mínimas, em que junho de 2019 gerou-se apenas 18 MW, chegando a 68 MW em outubro, caindo para 16 MW em dezembro – sendo a menor média desde 2006 e a menor da série histórica – o que representa 6% da média total gerada no mesmo mês em 2016.

O Gráfico 11 apresenta os dados de geração de energia e do volume útil do reservatório da UHE Jurumirim, sendo possível observar uma independência entre os índices do início da série.

Gráfico 11 - Médias mensais de geração de energia – em MegaWatts (MW) – e histórico do volume útil do reservatório da UHE Jurumirim – em % - durante o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com destaque para a maior e menor média gerada, e o maior e menor volume registrado.



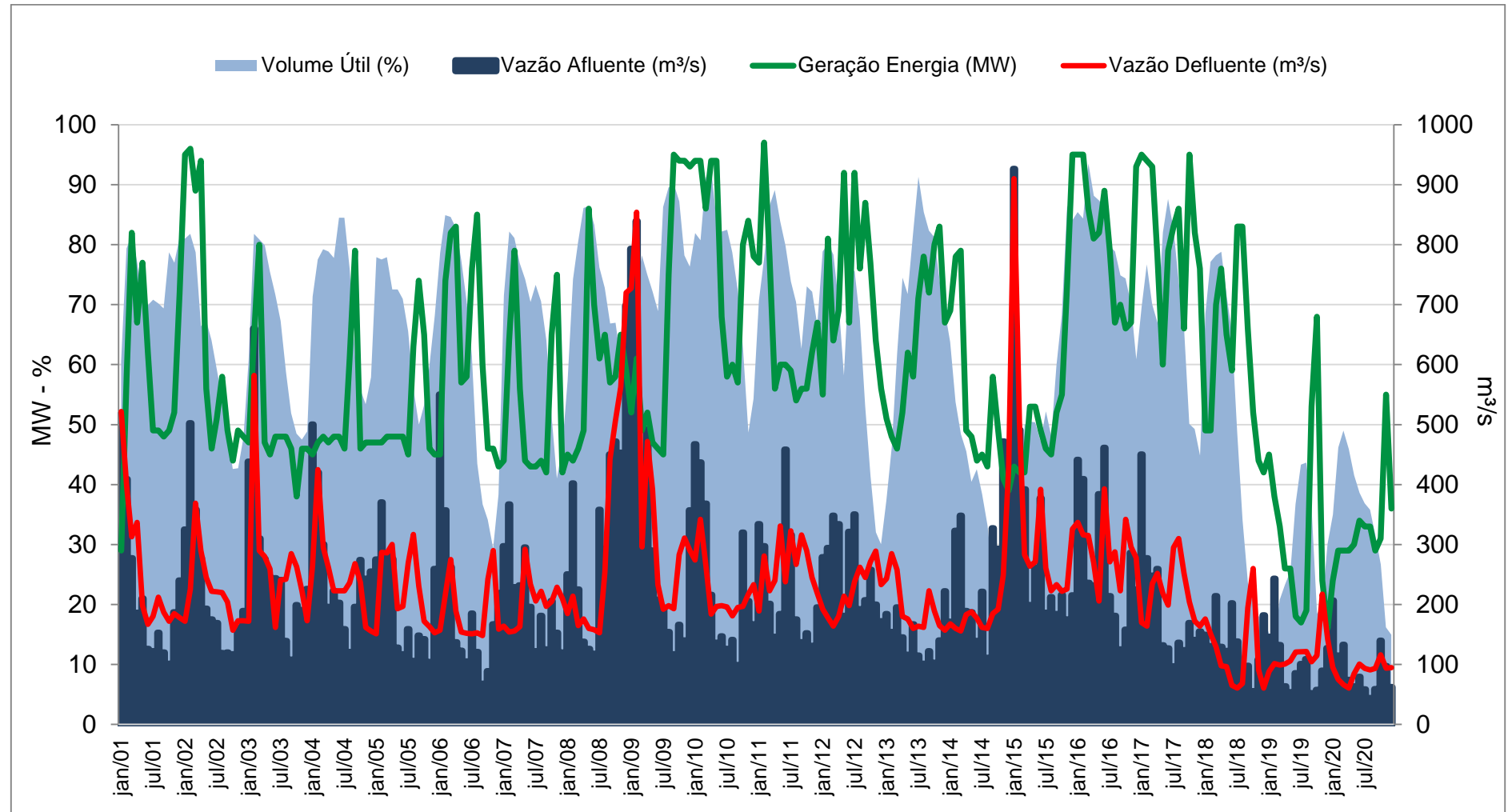
Fonte: ONS (2024).

Nos anos de 2001 e 2002 o Brasil passava por uma significativa crise energética, conhecida como “apagão”, obrigando grande da população das regiões sudeste, centro-oeste e nordeste a adotarem hábitos de consumo mais econômicos (PEREIRA, 2006), e que representou, segundo Soares et al (2022), um grande marco na história do sistema elétrico brasileiro, que em 2002 por meio da lei federal nº 10.438/2002 cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFRA) visando diversificar as fontes de energia e tornar o país menos dependente da fonte hidrelétrica (BRASIL, 2002).

Nestes anos a geração média chegou a 96 MW, índice este que somente foi alcançado oito anos depois, em 2010. Durante os referidos anos, o volume útil permaneceu acima dos 40% de sua capacidade, atingindo 81,8% de sua capacidade em fevereiro de 2002, o que proporcionou o índice de geração de energia supracitado.

Nos anos seguintes, os maiores índices de energia gerada coincidiram com os maiores índices do volume útil do reservatório da UHE de Jurumirim, ambos oscilando de modo mais concomitante e com índices de energia gerados perdurando por mais meses em cada ano, principalmente a partir de 2009, ano que apresentou as maiores médias pluviométricas da série estudada.

De modo a elucidar a relação dos dados supracitados, o Gráfico 12 apresenta os dados compilados de vazão afluente e defluente, da geração de energia e do volume útil do reservatório.

Gráfico 12 – Compilação dos dados de volume útil (em %); geração de energia (em MW); vazões afluente e defluente (em m³/s).

Fonte: ONS (2024).

3.5 Discussão dos resultados

Tendo em vista a relevância do recurso hídrico para a integridade da natureza e das sociedades, o uso das águas na geração de energia tem levantado inúmeros debates em relação ao controle da vazão dos corpos hídricos. Esse controle interfere nas dinâmicas hidrológicas que modificam o regime sazonal do rio não só conforme o período hidrológico, mas também segundo demandas hídricas e energéticas. Em contrapartida, tal controle garante uma maior disponibilidade hídrica - seja para a exploração ou a geração de energia – durante os períodos de estiagem.

Buscando manter a oferta hídrica em tais períodos com menor vazão afluente, ocorre uma maior retenção dos níveis no reservatório, isto é, menor vazão defluente, sua seção a montante acaba por manter um mesmo ou pouco alterado cenário, ao passo que a jusante do reservatório, com a redução na vazão defluente, o cenário de redução da disponibilidade hídrica torna-se mais visível e os índices de vazão apresentam maiores oscilações.

Em se tratando do reservatório de Jurumirim, sendo ele o primeiro represamento do Rio Paranapanema e conseqüentemente regularizador da vazão do rio e dos demais barramentos a jusante, ficou evidenciada a relação direta dos níveis de precipitação para com os níveis do volume útil do reservatório, apresentando os maiores níveis de volume útil (2010 e 2016) nos anos seguintes aos anos mais chuvosos do período (2009 e 2015), ao passo que os anos com menores índices pluviométricos (2014 e 2019) - Fujita et al (2021) aponta que estes anos de menores índices pluviométricos foram considerados alguns dos anos de eventos de seca de maior severidade na área da bacia - coincidem com os menores níveis de volume útil do reservatório. Do mesmo modo para Reis, Leal e Sá (2019) que verificaram a mesma correlação significativa entre as médias de precipitação e a porcentagem do volume útil no reservatório de Furnas.

Todavia, a estiagem de 2019 que culminou no menor índice do volume útil do reservatório de Jurumirim (13,6% da capacidade total) teve efeitos mais significativos também a montante dele, sofrendo uma redução de 64,95 km² em sua área superficial, isto é, uma lâmina d'água 16,2% menor em relação à área superficial de 2016, resultante do rebaixamento do reservatório que culminou em significativas alterações na paisagem, comprometendo a pesca, o turismo, mas principalmente o abastecimento hídrico e a geração de energia.

As Figuras 21 e 22 expõe a situação supracitada. O local das imagens situa-se na divisa entre os municípios de Piraju e Cerqueira César (SP), conhecido como “Camping da Pedrinha”, 1,6 km a montante da UHE Jurumirim, onde desenvolve-se o turismo, lazer, navegação e pesca.

Figura 21 – Paisagem emersa devido ao rebaixamento no reservatório de Jurumirim em 2020 – Camping Pedrinha, divisa dos municípios de Piraju e Cerqueira César (SP).



Fonte: O autor (2020).

Figura 22 – Margem exposta e vegetação anteriormente submersa devido ao rebaixamento no reservatório de Jurumirim em 2019 – Camping Pedrinha, divisa dos municípios de Piraju e Cerqueira César (SP).

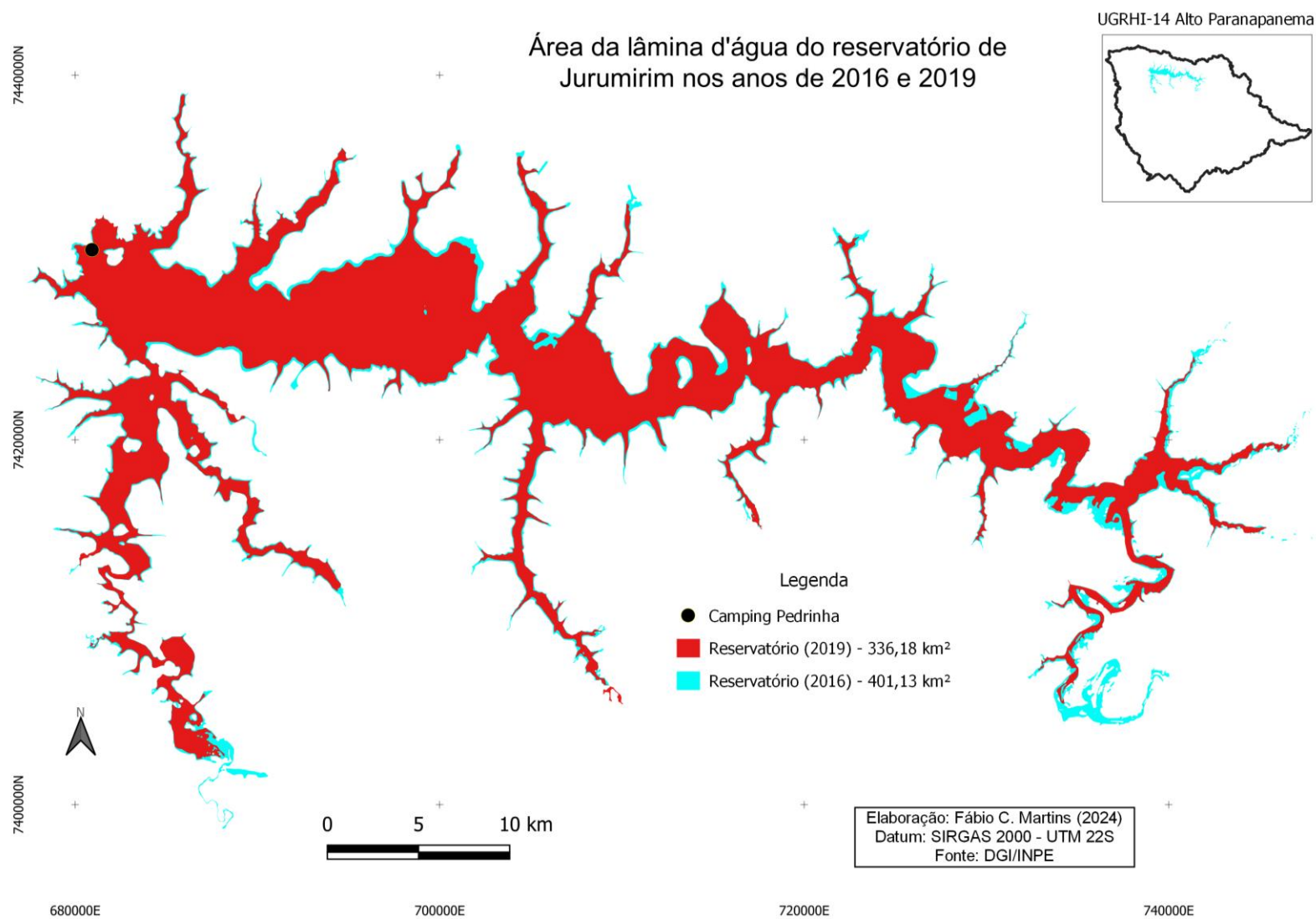


Fonte: o autor (2020).

A Figura 23, que visa evidenciar essa análise, foi gerada por meio das imagens dos satélites *Landsat 5* (para o ano de 2016), utilizando-se a composição RGB e as bandas 5, 4 e 3; e do *Landsat 8* (para o ano de 2019) também a composição RGB, mas com as bandas 6, 5, 4 e 8 – disponíveis no Catálogo de

Imagens do INPE - dos anos com volume máximo e volume mínimo na série histórica – e que permitiram um maior destaque e identificação dos recursos hídricos, sendo possível traçar a área do reservatório no ano de 2016 e no ano de 2019 e sobrepô-los, a fim de mensurar a área de redução da lâmina d'água.

Figura 23 – Representação das áreas de lâmina d'água - ou área superficial – do reservatório de Jurumirim, nos anos de 2016 e 2019.



Fonte dos dados primários: DGI/INPE (2024).

4 IRRIGAÇÃO

4.1 Agricultura irrigada por pivôs centrais

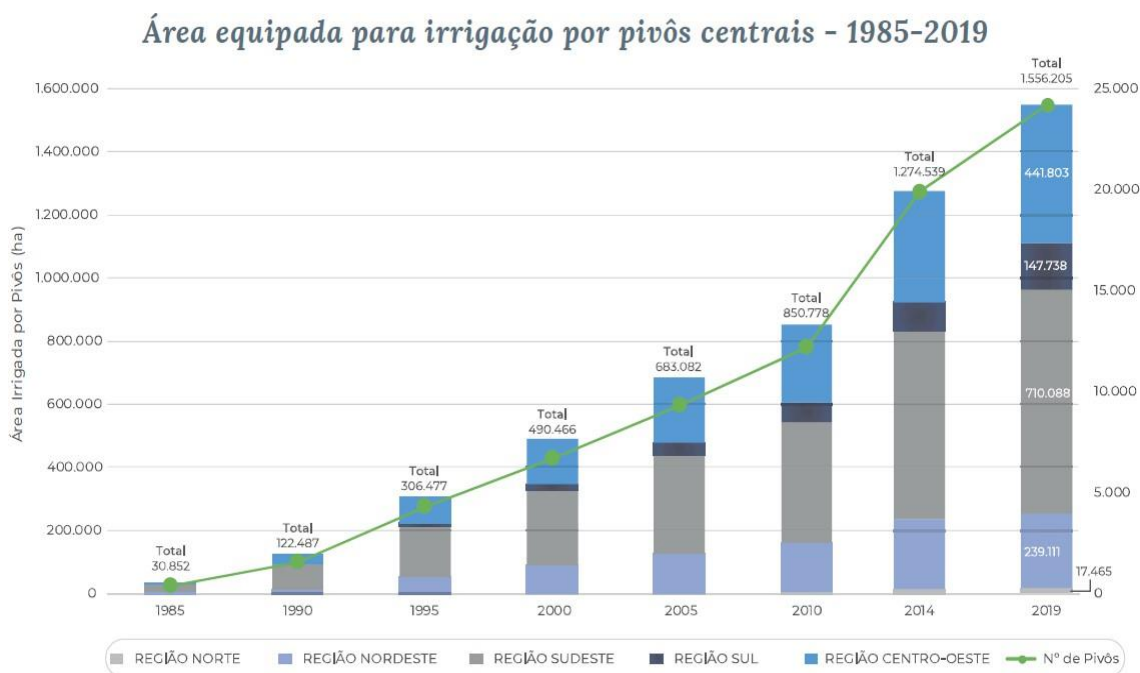
A água no Brasil e no mundo é utilizada de diversas formas, refletindo a importância em cada setor econômico. A agricultura, incluindo a irrigação, é um dos maiores consumidores de água, respondendo por aproximadamente 70% da retirada de água no nível global. No Brasil, esse percentual também é significativo, com cerca de 68% da água utilizada sendo destinada à irrigação agrícola. Além da agricultura, outros usos da água incluem o abastecimento urbano, que representa cerca de 20% do consumo global, e a indústria, que utiliza aproximadamente 10% da água disponível (FAO, 2021; ANA, 2023).

A necessidade de uso da agricultura irrigada encontra-se principalmente em áreas áridas, as quais abrangem uma parcela significativa dos países em desenvolvimento. Trata-se de uma prática agrícola que envolve a utilização de equipamentos e técnicas para compensar total ou parcialmente a falta de água nas plantas (SÓRIA, 2008).

Apesar das condições meteorológicas no Brasil permitirem cultivos sem a necessidade de irrigação, e em algumas regiões seja possível obter uma segunda safra apenas com a água das chuvas, as altas produtividades estão concentradas em áreas e períodos de plantio com boa disponibilidade de água (GUIMARÃES; LANDAU, 2020).

Em regiões afetadas pela escassez hídrica em períodos específicos do ano como na região Sudeste e, principalmente, nas regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, algumas culturas e safras só se tornam viáveis com a aplicação adicional de água durante esses períodos, e isso tem ocorrido com significativa relevância, conforme mostra a Figura 24. Embora a produção seja menos sujeita a riscos climáticos durante a estação chuvosa, a ocorrência cada vez mais frequente de veranicos, isto é, períodos secos dentro da estação chuvosa, tem causado significativos prejuízos às culturas de sequeiro em tais regiões (GUIMARÃES; LANDAU, 2020).

Figura 24 - Tendência de crescimento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil entre 1985 e 2019.

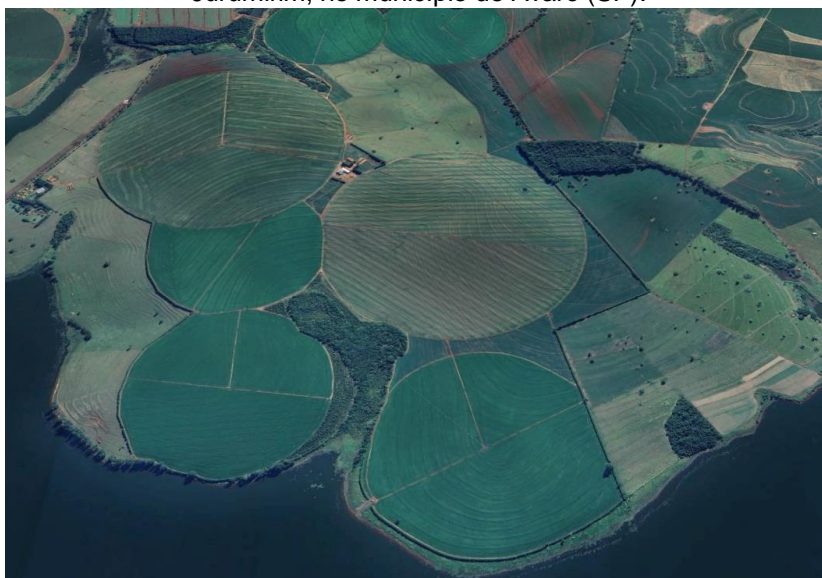


Fonte: ANA (2019).

Apesar de poder mostrar resultados notáveis de forma isolada, essa abordagem geralmente é integrada a outras melhorias no “pacote tecnológico” adotado pelos produtores rurais. Em outras palavras, costuma ser implementada juntamente ou precedida por aprimoramentos em diversos aspectos, como insumos, serviços, máquinas e equipamentos, cujas melhorias combinadas resultam em vários benefícios (ANA, 2021).

O sistema de irrigação por meio de pivôs centrais, mostrado pela Figura 25, é uma tecnologia bastante utilizada na atualidade, principalmente no cultivo de grãos. Numa área circular, tendo em seu centro o ponto de alimentação de água (ponto do pivô), há uma estrutura apoiada por torres metálicas triangulares com rodas e motor – responsáveis pela locomoção da estrutura - composta por uma tubulação central que fornece água aos aspersores (Figura 26).

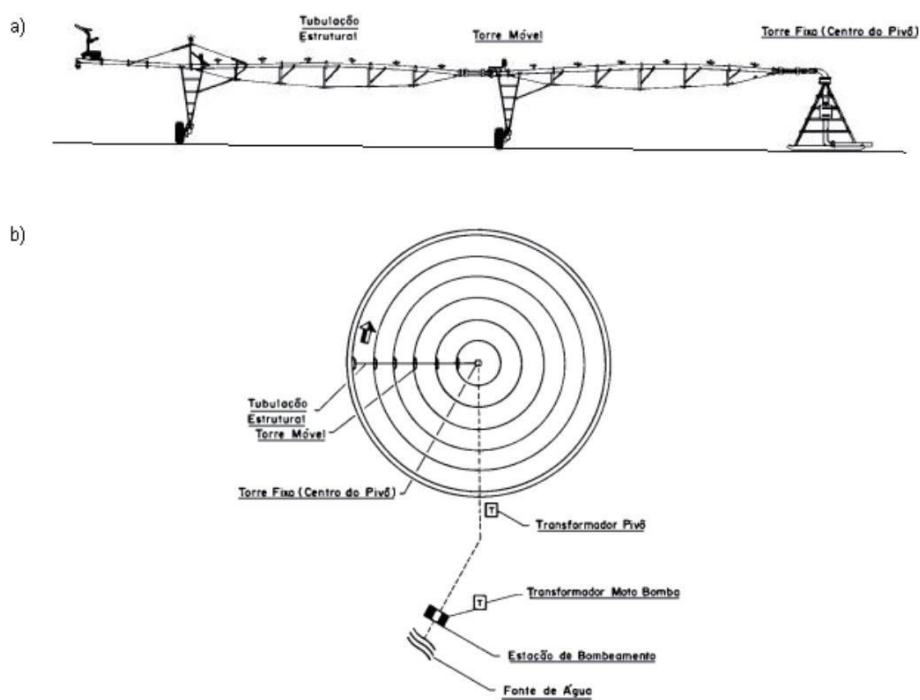
Figura 25 – Área de plantio irrigada pelo método de pivôs centrais, às margens do reservatório de Jurumirim, no município de Avaré (SP).



Fonte: Google Earth (2024).

A estrutura se desloca continuamente, executando movimentos circulares centrados no ponto do pivô, conforme o acionamento pela torre central (Figura 27a), e a água então é aspergida através da tubulação de modo a irrigar a cultura (Figura 27b).

Figura 26 - Desenho esquemático mostrando como funciona um pivô central, formado por um conjunto de barras com aspersores que giram em torno de um eixo central, irrigando uma área com formato circular: a) vista lateral de um pivô central, b) esquema de instalação de um pivô central em campo.



Fonte: adaptado de Testezlaf (2017).

Figura 27 – a) Ponto do pivô e torre central; b) Aspersores do pivô em funcionamento.



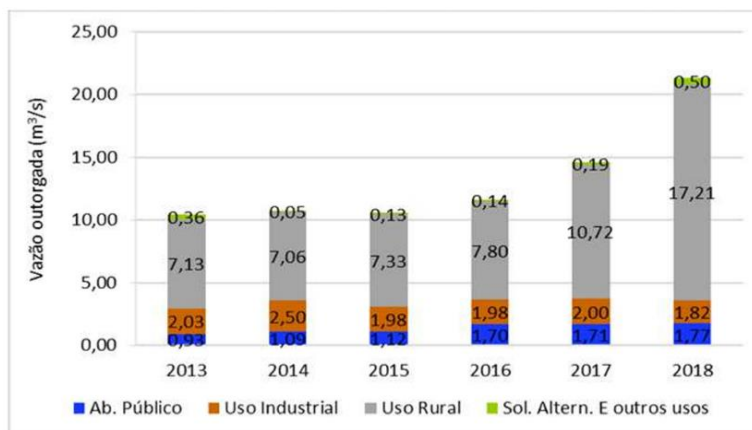
Fonte: a) Central da Irrigação (2021); b) EMBRAPA (2014).

Conforme aponta o Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da EMBRAPA, a maior concentração de áreas irrigadas por pivôs centrais no Estado de São Paulo em 2014 situava-se na bacia do rio Paranapanema, mais precisamente na sub-bacia do Alto Paranapanema, com 1.473 pivôs centrais, totalizando uma área de 763,58 km², o que representava mais de 45% da toda a área ocupada por pivôs no estado (LANDAU *et al*, 2014).

A UGRHI-14 possui uma economia predominantemente agrícola, complementada por indústrias de papel e celulose, mineração de calcário e cultivo e processamento de madeiras de reflorestamento. Além disso, a região possui um considerável potencial turístico, especialmente nas áreas das Represas de Jurumirim e Chavantes (CBH ALPA, 2021).

Dessa forma, o uso da terra é caracterizado pela presença de atividades agrícolas em maior expressividade, sendo a agricultura irrigada por pivôs predominante na maior parte da UGRHI-14 Alto Paranapanema, ao passo que as demandas superficiais nessa área são significativas, atingindo cerca de 17,21 m³/s, como mostrado na figura 28. Esse tipo de uso exerce uma pressão considerável sobre os recursos hídricos da região, resultando em uma demanda que, em alguns trechos dos rios na área central da bacia, excede a disponibilidade total de água (CBH ALPA, 2021).

Figura 28 – Vazão outorgada por tipo de uso na UGRHI-14.



Fonte: CBH ALPA (2021)

Além do método de irrigação por pivôs centrais, emprega-se também outros métodos como: aspersão por sistema autopropelido, aspersão por sistema de deslocamento linear, aspersão por sistema convencional, aspersão por canhão hidráulico, micro-aspersão, caminhão regadeira, gotejamento e gotejamento subterrâneo com tubo poroso.

4.2 Procedimentos de pesquisa

As informações acerca das outorgas concedidas foram obtidas na página da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) por meio das opções “Regulação e Fiscalização” > “Outorgas” > “Outorgas Emitidas”. Nesse campo, é disponibilizado um relatório geral – em formato de planilha - com todas as outorgas concedidas. Neste, constam dados como: CPF/CNPJ e nome do requerente; o corpo hídrico; a região hidrográfica; a finalidade principal; o tipo de interferência; coordenadas geográficas; data de publicação; data de vencimento; volume anual (em m³) e, no caso das outorgas para irrigação, o método empregado, conforme citados anteriormente. Fez-se necessária então a filtragem dos dados em relação: ao corpo hídrico (UHE Jurumirim), a finalidade (Irrigação), o tipo de interferência (Captação) e o método empregado (Aspersão por sistema de pivô central).

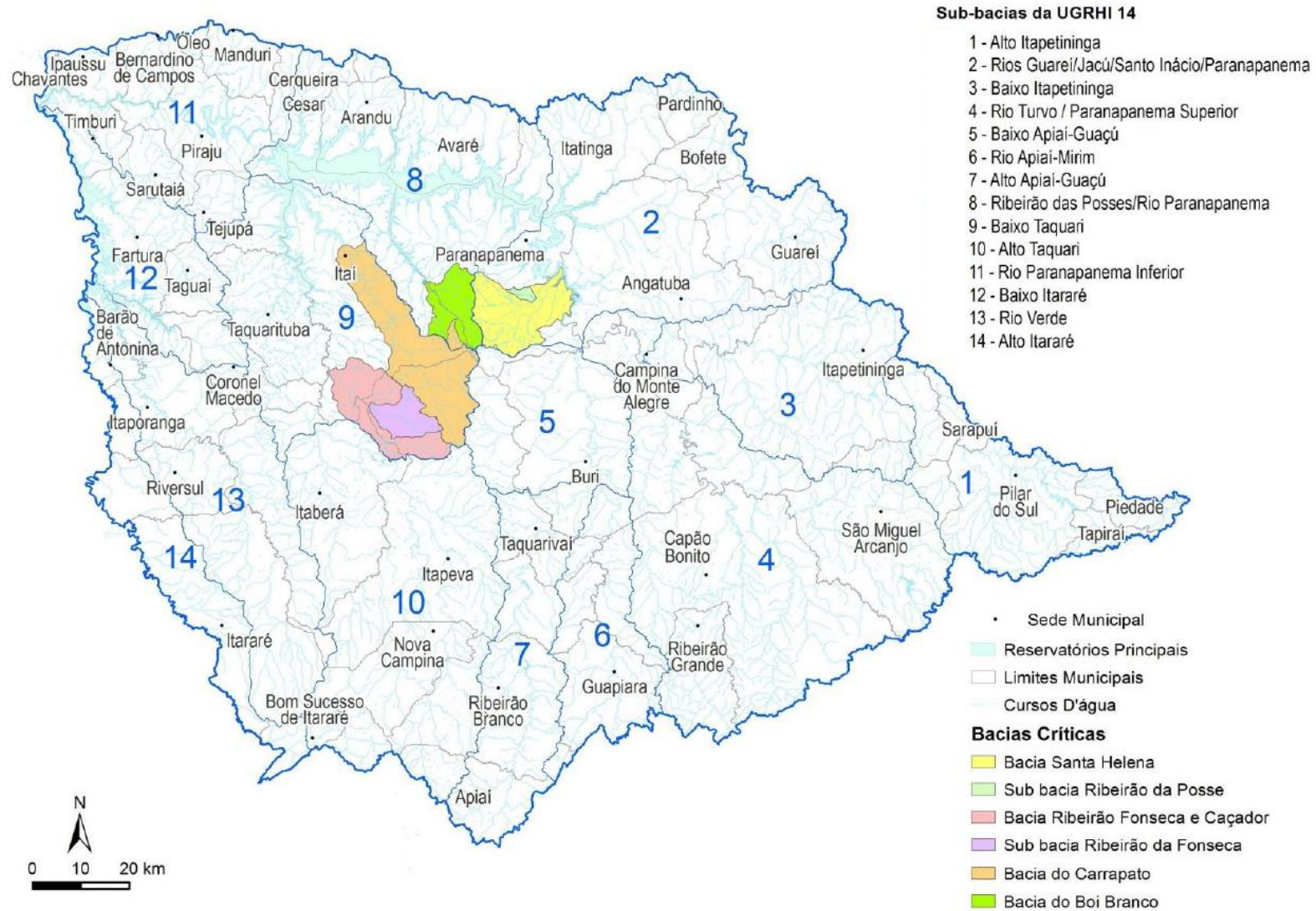
Para mais dados, no site do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), no Catálogo de Metadados da ANA, foi possível baixar o arquivo em formato *shapefile* dos pivôs mapeados nos anos de 2010, 2014, 2017, 2019 e 2022 – estudo esse realizado pela ANA com apoio da EMBRAPA Milho e Sorgo e do INPE - divulgado por meio do Boletim SNIRH n°4. Com isso, a consulta ao plano de bacia e a manipulação do *shapefile*, juntamente com os dados da respectiva área, resultaram nos mapas apresentados a seguir.

4.3 Diagnóstico

Em se tratando da agricultura praticada na UGRHI-14, é importante salientar o uso da terra por parte das mais variadas culturas na área da unidade que, somadas (Cultura anual, perene e semi-perene) ocupam uma área de aproximadamente 3.252,98 km², representando 14,4% da área. A ocupação por parte de algumas das culturas praticadas na área demanda irrigação e, por conseguinte, a exploração de recursos hídricos. Essa demanda pode ser notada quando se analisam as outorgas superficiais e subterrâneas (Figura 29), localizadas em maior número na porção centro-oeste da UGRHI-14 e, as áreas com intensa captação de água para irrigação, as quais apresentam certo grau de criticidade de disponibilidade em algumas sub-bacias (Figura 30), que é o caso das bacias do Carrapato e do Boi-Branco.

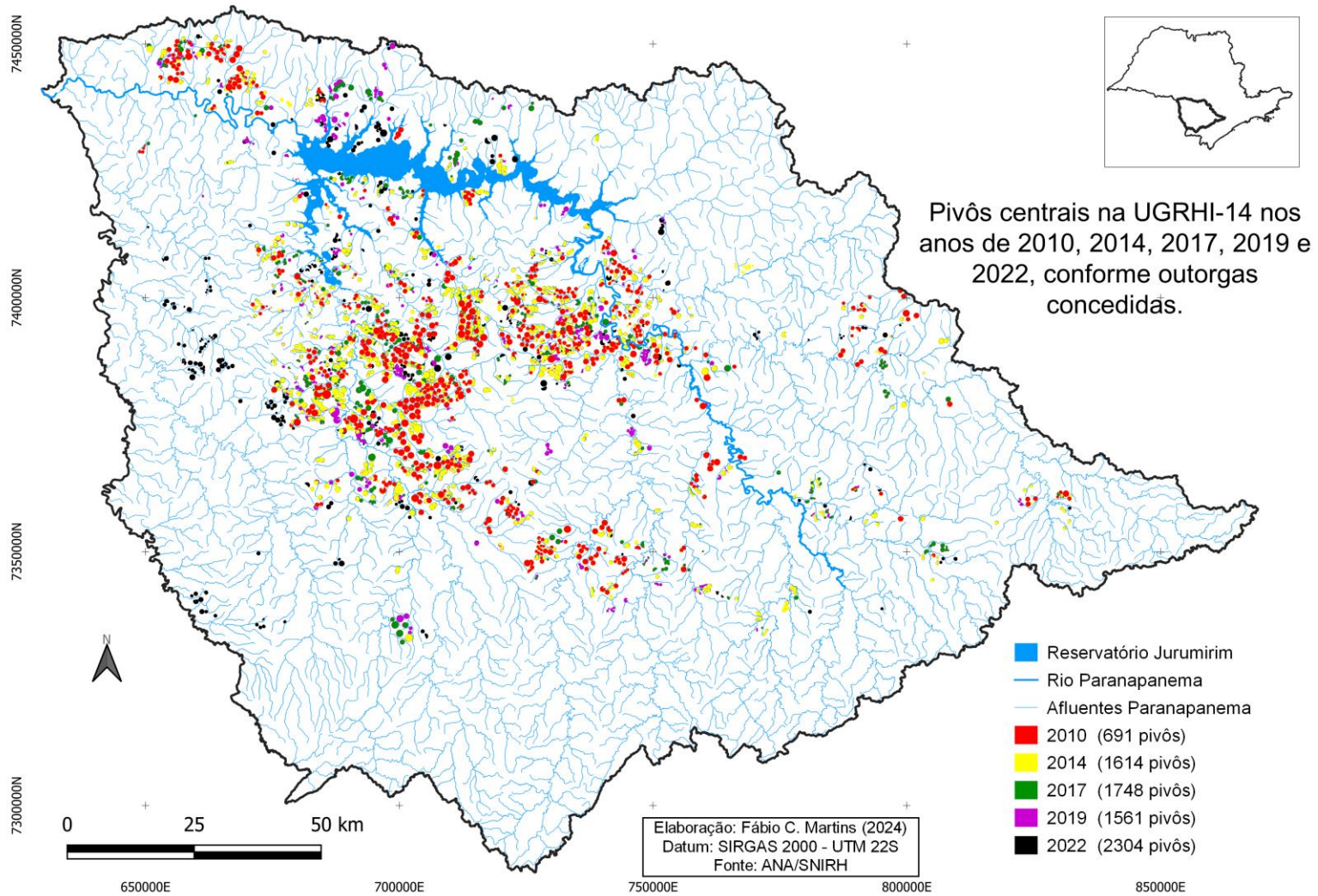
Consultando e processando dados abertos da Agência Nacional das Águas (ANA) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do estado de São Paulo, foi possível verificar que a maior parte destas respectivas sub-bacias coincidem com a localização da maioria dos pivôs centrais de irrigação na bacia (Figura 31). Todavia, deve-se salientar também a presença do município de Itapeva, importante centro urbano da região, o qual possui alta demanda hídrica para o abastecimento urbano, e que interfere diretamente no balanço e na demanda de água nesses locais (BARROS, 2019).

Figura 30 – Áreas com intensa captação de água para irrigação na UGRHI-14 no ano de 2018.



Fonte: CBH ALPA (2018).

Figura 31 – Pivôs centrais na UGRHI-14 nos anos de 2010, 2014, 2017, 2019 e 2022, conforme outorgas concedidas.



Fonte dos dados primários: ANA/SNIRH (2023).

4.4 Discussão dos resultados

Nota-se um aumento gradativo no número de pivôs centrais de irrigação durante os anos de 2010 (691 pivôs), 2014 (1614 pivôs) e 2017 (1748 pivôs), seguido por uma leve queda nesse número no ano de 2019 (1561 pivôs). Contudo, quando se analisa a área de abrangência dos pivôs, evidencia-se um relevante aumento do ano de 2010 para 2014: de 435,16 km² para 790,61 km² respectivamente; subindo para 856,32 km² em 2017; chegando a 998,80 km² no ano de 2019 (ANA/SNIRH, 2023).

A nível de comparação, Bertoli (2021) também analisou a crescente de implantação de pivôs centrais de irrigação na UGRHI-17 Médio Paranapanema – área a jusante da UGRHI-14 – que registrou 31 pivôs em 2010 com 20,2 km² de área irrigada por pivôs; 124 em 2014 com 61,7 km²; 129 em 2017 com 73,2 km² e; 245 pivôs em 2019 numa área de 129,1 km². Isso denota a disparidade de demandas agrícolas irrigadas entre as UGRHI's, bem como a relevância da presença do reservatório artificial, pois a área ocupada por pivôs em 2019 na UGRHI-17 não chegou a 30% da área ocupada por pivôs na UGRHI-14 em 2010, ano dos menores valores registrados (BERTOLI, 2021).

Já no ano do último levantamento, em 2022, os pivôs centrais na UGRHI-14 somaram 2304 unidades cadastradas - o que representa um aumento de 10,65% em relação ao número de pivôs em 2019 - abrangendo uma área de 1105,23 km², ou 4,86% da área total da UGRHI. Esta área segundo Guimarães e Landau (2024) representou 44% de toda área irrigada por pivôs no estado de São Paulo, que registrou 2.470 km².

Em relação às áreas dos pivôs, destaque para o município de Itaí, que soma 203,74 km² de área ocupada por pivôs, o que representa 18,82% da área do território municipal; seguido de Paranapanema, com 146,69 km² (14,4% da área municipal); Itapeva, com 140,1 km² (7,67% da área municipal); Itaberá, com 100,4 km² (9,04% da área municipal) e; Buri, com 73,23 km², o que representa 6,12% da área municipal (ANA/SNIRH, 2023).

Dentre os 45 municípios com território na UGRHI-14, 31 possuem pivôs centrais de irrigação outorgados (elencados na Tabela 9), sendo o município de Itaí com o maior número, 425, seguido de Paranapanema com 356, Itapeva com 272, Taquarituba com 212, Itaberá com 174 e Buri com 136 pivôs outorgados no ano de 2022.

Em relação ao volume anual outorgado – com pivôs ativos até o ano de 2022 – o município de Buri, mesmo sendo o quinto município com a maior de pivôs, apresentou a maior volume de água captado para a irrigação por pivôs até o referido ano, com pouco mais de 500 milhões de metros cúbicos, seguido pelo município de Paranapanema, que foi o segundo em número e em área ocupada por pivôs, com 322,6 milhões de metros cúbicos captados, e Itaí, o primeiro em número e área ocupada por pivôs, com 178,5 milhões de metros cúbicos de água captada. Juntos, os três municípios representaram mais da metade (55,6%) do volume total de água captada para irrigação por pivôs na UGRHI no ano de 2022.

Tabela 9 – Municípios com pivôs de irrigação outorgados na UGRHI-14 no ano de 2022.

Município	Área do município (km ²)	Pivôs	Área dos pivôs (km ²)	Área relativa (%)	Volume anual outorgado (m ³)
Itaí	1.082,78	425	203,74	18,82	178.540.627
Paranapanema	1.018,72	356	146,69	14,40	322.668.816
Itapeva	1.826,26	272	140,10	7,67	31.432.542
Taquarituba	448,51	212	68,15	15,19	131.681.637
Itaberá	1.110,35	174	100,40	9,04	83.271.764
Buri	1.195,91	136	73,23	6,12	500.158.831
Angatuba	1.027,29	100	44,54	4,34	39.925.061
Coronel Macedo	303,83	75	44,59	14,68	8.228.102
Itapetininga*	1.585,19	71	31,85	2,01	145.414.074
Piraju	504,59	61	28,26	5,60	79.463.377
Taquarivaí	231,79	58	28,16	12,15	808.368
Capão Bonito	1.638,35	55	18,21	1,11	8.661.206
Bernardino de Campos*	143,97	48	24,84	17,25	15.355.693
Cerqueira César*	265,82	40	23,45	8,82	12.692.760
Avaré*	490,29	37	20,39	4,16	106.458.381
Arandu	285,85	30	16,64	5,82	19.009.722
São Miguel Arcanjo*	915,28	25	10,85	1,19	10.052.990
Itaporanga	507,55	22	9,40	1,85	6.133.897
Pilar do Sul*	617,72	19	7,90	1,28	14.359.160
Tejupá	296,19	15	7,51	2,53	20.029.908
Itararé	1.001,76	14	6,86	0,68	5.192.947
Manduri*	179,56	16	9,45	5,26	454.598
Campina do M. Alegre	185,03	10	7,89	4,26	10.595.736
Taguaí	145,33	9	2,87	1,97	1.218.571
Fartura	428,49	8	3,35	0,78	34.658.568
Ribeirão Grande	332,22	5	8,52	2,57	717.969
Óleo*	27,88	4	1,37	4,93	1.156.184
Sarutaiá	141,61	3	9,00	6,35	1.818.749
Itatinga*	609,19	2	0,97	0,16	7.491.434
Pardinho*	124,36	1	5,72	4,60	152.275
Guareí*	542,11	1	0,34	0,06	21.900
Totais	-	2304	1105,23	-	1.797.825.851

Fonte: ANA/SNIRH (2023).

*municípios com território além da UGRHI-14.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a importância do recurso hídrico e conseqüentemente seus mais variados usos, as políticas públicas devem pautar-se na legislação e nos instrumentos de gestão, almejando atender aos objetivos 6 e 12 de desenvolvimento sustentável: “Água potável e Saneamento” e “Consumo e produção responsáveis”.

No caso do Brasil, a Lei das Águas traz instrumentos de planejamento para orientação da sociedade e tomadores de decisão, além de ofertar dados e informações atualizadas sobre os recursos hídricos no território, por meio da ANA e do SNIRH. A manipulação e o cruzamento de tais dados conforme objetivos pré-estabelecidos, forneceu uma ampla gama de informações, o que de fato contribuiu veementemente para o trabalho.

Fazendo uso de tais plataformas, bem como de dados de precipitação via satélite, e de históricos gerados pelo ONS, foi possível visualizar a relação entre os índices de precipitação para com: o volume útil do reservatório de Jurumirim, a geração de energia na UHE Jurumirim, e a vazão de defluência. Analisados tais históricos foi possível inferir a inerente relação entre precipitação e alguns usos do recurso hídrico no reservatório, uma vez que menores índices pluviométricos coincidiram com menores índices de volume útil do reservatório, menores índices de geração de energia na UHE e menores vazões de defluência. De modo que, em períodos de maiores índices pluviométricos, também foram registrados maiores índices do volume útil do reservatório, de geração de energia na UHE e de vazão defluente.

Em se tratando do uso consuntivo do recurso hídrico, mais especificamente para a irrigação, os dados fornecidos pela ANA e SNIRH proporcionaram uma espacialização dos pivôs centrais de irrigação na UGRHI-14, conforme outorgas concedidas, o que evidenciou a presença deles nas adjacências do reservatório de Jurumirim, a montante, no Rio Paranapanema e em seus afluentes.

Foi possível inferir também o aumento gradativo no número de pivôs ao longo dos anos, bem como um significativo aumento nas áreas dos mesmos. Todavia, mesmo com o cruzamento de tais informações, o estudo permanece ainda em aberto, necessitando-se considerar outras variáveis, uma vez que a captação a montante do reservatório influencia no volume do mesmo, bem como os volumes lançados no corpo hídrico.

Com o levantamento do volume de captação de água para irrigação por pivôs, foi possível dimensionar o montante explorado do reservatório e de seus afluentes, ficando evidente que este volume é significativo quando se pensa no volume útil do reservatório, uma vez que representa cerca de 25% do total armazenado no reservatório, o que infere uma influência direta em seu volume útil. Todavia, também é de influência direta, a captação do recurso para o abastecimento urbano, rural e para outros métodos de irrigação, dados estes que não foram considerados na análise.

Por fim, as ações e variáveis verificadas no estudo evidenciaram uma influência direta na dinâmica dos níveis do reservatório de Jurumirim: a estiagem verificada nos últimos anos do intervalo estudado, que culminou numa menor afluência e nos menores índices do volume útil do reservatório no período, afetou também a vazão de defluência e conseqüentemente a geração de energia, variáveis estas que confirmaram não serem as principais causadoras das oscilações do volume útil do reservatório posteriores à estiagem de 2014.

Ainda que tais dados e variáveis denotam significativa parcela na dinâmica do reservatório de Jurumirim, é necessária também uma análise mais aprofundada de modo que cruze mais dados quantitativos referentes à captação e ao lançamento de efluentes, bem como dados de evaporação do reservatório, e do balanço hídrico na UGRHI-14. Também em relação às outorgas concedidas para exploração da água na bacia, seria necessário levantar os volumes autorizados de retirada para todas as finalidades e assim quantificá-los e considerá-los no balanço hídrico da UGRHI, de modo a deixar a análise mais completa, considerando de fato todo o volume de entrada e de saída na bacia, o que denota e dá respaldo para uma possível continuidade do trabalho a nível de doutorado, de modo a investigar os dados faltantes e considerar os demais usos praticados na UGRHI, uma vez que grande parte destes, se não todos, encontram-se disponíveis e acessíveis.

Desse modo, tornar-se-á possível uma análise mais contundente acerca da influência dos usos múltiplos na dinâmica do reservatório pois, tendo conhecimento de tais influências e possíveis cenários, além de corroborar com os órgãos de gestão do recurso hídrico na bacia, a possibilidade de planejar ações de gerenciamento e manutenção, principalmente acerca dos usos não consuntivos, apresentar-se-á mais favorável e pertinente com a realidade.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH)**. 2005. Disponível em: Acesso em: 11 nov. 2021.

_____, **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p. Disponível em: <https://abrir.link/oweul>. Acesso em: 11 dez. 2023.

_____, **Relatório de Gestão 2022**. Disponível em: <http://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/publicacoes>. Acesso em: 21 jul. 2024.

ALVARES; C. A; STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. M; SPAROVEK, G. *Köppen's climate classification map for Brazil*. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711–728, jan. 2014. Disponível em: <https://abrir.link/EBMZJ>. Acesso em: 02 jun. 2024.

BARROS, R. R. F. **Planejamento de Recursos Hídricos na UGRHI-14 Alto Paranapanema**. 2019. 81 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Geografia) Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, 2019. Disponível em: <https://abrir.link/CHogP>. Acesso em: 11 nov. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://abrir.link/jVgRM>. Acesso em: 10 dez. 2022.

_____. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o Código Florestal Brasileiro. **Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos**, 2012. Disponível em: <https://abrir.link/XEijU>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BERTOLI, J. G. C. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais e a gestão de recursos hídricos na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17)**. 2021. 110 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <https://encurtador.com.br/PGe0H>. Acesso em: 21 out. 2024.

CBH ALPA, Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. **Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do estado de São Paulo**. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI-14. Ano base 2019. Piraju, SP. 2020. Disponível em: <https://abrir.link/ppcWh>. Acesso em: 06 out. 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF. 2018. Disponível em: <https://embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) **The State of the World's Water Resources for Food and Agriculture**. 2021. Disponível em: <https://abrir.link/SzeQQ>. Acesso em: 21 jul. 2024.

FUJITA, T; CAPOZZOLI, C. R; RAFEE, S. A. A; FREITAS, E. D. Aplicação do índice padronizado de vazão para a defluência da UHE Jurumirim. **Anais do Simpósio em Clima, Água, Energia e Alimentos**. 2021. Disponível em: <https://abrir.link/aiOWM>. Acesso em: 03 out. 2024.

GADÊLHA, A. N. **Análise da missão GPM (Global Precipitation Measurement) na estimativa da precipitação sobre território brasileiro**. 2018. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://abrir.link/Jhbhh>. Acesso em: 20 jan. 2024.

GUIMARÃES, D. P; LANDAU, E. C. Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020. Sete Lagoas, MG, 2020. 63 p. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo**. Disponível em: <https://abrir.link/RzRXQ>. Acesso em: 10 dez. 2023.

_____. Agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2024. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1167756>. Acesso em: 22 out. 2024.

GONZÁLEZ, A. M. G. **O Avaliação de impacto de mudanças climáticas sobre a agricultura e os recursos hídricos na bacia do Alto Paranapanema, São Paulo: um enfoque de dinâmica de sistemas**. 2022. 99 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2022. Disponível em: <https://abrir.link/dpYKa>. Acesso em: 10 nov. 2024.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. *In*: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996. p. 337-339.

HENRY, R; PAES, J. V. K.; KURCHEVSKI, V; SOUZA; J. Q. A represa de Jurumirim e seus tributários. *In*: SILVA, R. J; (orgs.) **Integridade ambiental da represa de Jurumirim: ictiofauna e relações ecológicas** [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2016, p. 15-30. Disponível em: <https://abrir.link/klsaN>. Acesso em: 20 mai. 2023.

LANDAU, E. C; GUIMARÃES, D. P; SILVA, P. A. A; SOUZA, D. L. Concentração de áreas irrigadas por pivôs centrais no Estado de São Paulo – Brasil. Sete Lagoas, MG, 2014. 37 p. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo**. Disponível em: <https://abrir.link/lxXTr>. Acesso em: 11 dez. 2023.

MENDES, A. M. C. P. Diagnóstico socio-ambiental em área municipal de ocupação irregular. Sistemática interdisciplinar de enfrentamento. *In*: **III Jornada Internacional de Políticas Públicas**. São Luis, MA. 2007. Disponível em: <https://abrir.link/ARJTV>. Acesso em: 10 nov. 2021.

PEREIRA, R. A história de uma crise anunciada. **O Estado de São Paulo**, São Paulo 03 jan. 2006. Caderno Economia, p. B4. Disponível em: <https://abrir.link/DEGXV>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PIRH PARANAPANEMA, **Plano Integrado de Recursos Hídricos do rio Paranapanema**. Comitê da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, 2019. Disponível em: <https://abrir.link/KVBZh>. Acesso em: 18 abr. 2023.

PIROLI, E. L.; ISHIKAWA, D. T. K; DEMARCHI, J. C. Análise das mudanças no uso do solo da microbacia do córrego das Furnas, município de Ourinhos-SP, entre os anos de 1972 e 2007, e dos impactos sobre suas áreas de preservação permanente, apoiada em geoprocessamento. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, PR, 2011. Disponível em: <https://abrir.link/vhMuw>. Acesso em: 01 nov. 2021.

PORTAL SIGRH. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: www.sigrh.sp.gov.br. Acesso em: 07 out. 2021.

REIS, T. D. F; LEAL, J. S; SÁ, O. R. Influência do volume útil de um reservatório tropical sobre as variáveis limnológicas e suas respectivas variabilidades. **Ciência ET Praxis**, v. 12, n. 23, p. 25-32, 2019. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/praxys/article/view/2240>. Acesso em: 03 out. 2024.

SANTOS, S. M; SOUZA, M. M. P; BIRCOL, GUILHERME, A. C; UENO, H. M. Planos de gestão da bacia do rio e seus desafios: o caso da bacia dorio Alto-Tietê. **Ambiente e Sociedade**. Vol. 23, p. e02342, 2020. Disponível: <https://abrir.link/ZHHTz>. Acesso em: 24 set. 2024.

SILVA, D. B; CARVALHO, A. C. S; YAMAMOTO, M. Y; DELBONI, R. C. Estudo de disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema por meio do sensoriamento remoto. **Ciências e tecnologias das águas: inovações e avanços em pesquisa**. Editora Científica, 2023, p. 134-146. Disponível em: <https://abrir.link/vtLdf>. Acesso em: 27 out. 2024.

SILVA, T. M. M. **Preenchimento de falhas em série de dados meteorológicos e evolução temporal de índices bioclimáticos na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema**. 2024. 118 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2024. Disponível em: <https://abrir.link/maLQT>. Acesso em: 10 out 2024.

SOARES, K. J; FREITAS, G. A; MENEZES, B. F; ROCHA, M. H. F. F; MOREIRA, G. A; NAVES, A. C. T. S. G; RODRIGUES, L. G. M; PASSOS, M. A; OLIVEIRA, D; MARQUES, R. F. P. V; SOARES, D, J. FERREIRA, I. T. R. Marcos históricos do setor hidrelétrico brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, 2022. Disponível em: <https://abrir.link/EFvJs>. Acesso em: 20 set. 2024.

SÓRIA, M. A. Z. As Barragens e a Água do Mundo: Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo. **Paraná: Núcleo Regional do Paraná do Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB**, 2008.. Disponível em: <https://abrir.link/xlqUL>. Acesso em: 22 dez. 2023.

TUNDISI J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. *In*: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNDIBIO / FAPESP, 1999. cap. 1, p. 19-38. Disponível em: <https://abrir.link/XqENZ>. Acesso em: 10 jan. 2022.

_____, **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos, SP: ed. Rima. 2005. 248p.

VECCHIA, R. **Energia das Águas: paradoxo e paradigma**. 1 ed. Barueri, SP: Minha Editora, 2014. 220p.

YAMADA, P. O. F. **Biodiversidade de monogenéticos (*Platyhelminthes, monogenea*) parasitos de peixes do Alto Rio Paranapanema, São Paulo, Brasil**. 2020. 149 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Zoologia) Instituto de Biociências de Botucatu. Universidade Estadual Paulista, 2020. Disponível em: <https://abrir.link/KgJLR>. Acesso: 01 jul. 2023.