

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

HELOÍSA DA SILVA VICTORINO

**O SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE
INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADA AO CONTEXTO DA UHE SALTO
OSÓRIO NO SUDOESTE PARANAENSE**

TESE

PATO BRANCO

2024

HELOÍSA DA SILVA VICTORINO

**O SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE
INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS APLICADA AO CONTEXTO DA UHE SALTO
OSÓRIO NO SUDOESTE PARANAENSE**

**Remote Sensing as a Socio-Environmental
indicators analysis tool applied to the context of Salto Osório HPP in the
southwest of Parana**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento Regional, como requisito para a
obtenção do grau de Doutora em Desenvolvimento
Regional, pela Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo da Rocha Campos
Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Brackmann

PATO BRANCO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

Dedico este trabalho a Deus, a quem pertencem
todas as coisas; e à minha família, pelo amor e
apoio incondicional.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



HELOISA DA SILVA VICTORINO

**O SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAL
APLICADA AO CONTEXTO DA UHE SALTO OSÓRIO NO SUDOESTE PARANAENSE**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Desenvolvimento Regional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável.

Data de aprovação: 23 de Fevereiro de 2024

Dr. Jose Ricardo Da Rocha Campos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alcir Jose Modolo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Evelyn Marcia Possa, Doutorado - Instituto Mamiraua

Dr. Mario Sergio Muniz Tagliari, Doutorado - Faculdade Municipal de Meio Ambiente

Dr. Wilson Itamar Godoy, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/04/2024.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que sempre guiou meus passos pelo melhor caminho, e me livrou de todos os temores, me acolhendo em Seu colo mesmo nos momentos mais desafiadores.

Ao meu esposo, Maikel, e aos meus filhos, Heitor e Miguel, cujas existências são a alegria da minha vida e a força que me sustenta.

Aos meus pais, Iraci e Sérgio, que nunca pouparam esforços para garantir apoio, educação e integridade a mim e aos meus amados irmãos na busca de um futuro sempre melhor.

Aos meus irmãos Paulo e Priscila; que nossos caminhos estejam sempre entrelaçados, e que nada neste mundo seja capaz de nos separar.

À Maiara Sakurai, cuja distância geográfica é mera formalidade para uma amizade que transcende limites.

Ao Magno Fagundes, que está sempre presente, me fazendo enxergar as inúmeras possibilidades da vida; e me ensinando a ser forte, mesmo quando a tempestade não está pra brincadeira.

À memória do eterno amigo e professor Amilton Amorim, que sempre me apoiou e me mostrou como era possível ir além, e que eu era muito mais capaz do que eu achava que era. Que pena que Deus te quis perto dele cedo demais.

Ao meu orientador José Ricardo da Rocha Campos, que topou encarar este desafio comigo, e esteve sempre disponível.

A todos os professores do PPGDR, que ampliaram minha visão de mundo no decorrer de cada aprendizado.

A todos os amigos e colegas, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao IAT, pela cordialidade na disponibilização dos dados de limnologia.

À UTFPR, que me acolheu duplamente, como docente e aluna, me proporcionando a satisfação de alcançar mais esta conquista.

Enfim, a todos que fizeram, fazem e farão parte da minha história; cada um tem um pedacinho de mim e deixa comigo um pedacinho de si, que juntos tecem essa linda colcha de retalhos que é a vida.

1

Casa bagunçada é o resultado do amor em
movimento
(POSSA, 2023)

RESUMO

VICTORINO, Heloísa da Silva. **O Sensoriamento Remoto como Ferramenta de Análise de Indicadores Socioambientais Aplicada ao Contexto da UHE Salto Osório no Sudoeste Paranaense.** 2024. Número total de folhas. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2024.

Com seu imenso potencial hidrelétrico, o Brasil tem explorado intensivamente os seus recursos hídricos para geração de energia e promoção do desenvolvimento econômico e social do País desde o século XIX. Entretanto, em várias situações, esta exploração desconsiderou as consequências da mudança na dinâmica das águas, os impactos sociais e culturais decorrentes do deslocamento de famílias, bem como a inundação de terras férteis e habitats da fauna e flora. Um exemplo desta política foi a instalação da Usina Hidrelétrica de Salto Osório, localizada no rio Iguaçu, entre os municípios de São Jorge d'Oeste e Quedas do Iguaçu. Esta usina entrou em operação comercial em 1975 e seu reservatório atingiu uma área aproximada de 55 km² e capacidade total de armazenamento de 1124 bilhões de metros cúbicos de água. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho consiste em analisar os impactos socioambientais da implantação e operação da Usina Hidrelétrica de Salto Osório sobre a qualidade da água e sobre a ocupação de solos agricultáveis por meio de Sensoriamento Remoto. Para a realização do trabalho foram selecionadas imagens orbitais e, a partir do processamento destas, foram gerados índices espectrais para análise dos parâmetros OD (Oxigênio Dissolvido), DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), NT (Nitrogênio Total), PT (Fósforo Total), Clorofila a e Turbidez. As bandas espectrais utilizadas são do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7. A partir das ferramentas aplicadas foi possível avaliar a variação da qualidade da água em toda extensão da barragem, bem como o avanço da supressão vegetal ao longo da construção da UHE de Salto Osório. A análise temporal das imagens mostra que a construção e operação da UHE, associada às terras férteis e ao forte crescimento da agricultura observado na época da construção, atraiu uma grande quantidade de imigrantes que, no processo de desenvolvimento dos municípios do entorno promoveram grande transformação no uso e ocupação do solo, bem como na supressão vegetal e na qualidade da água. Entretanto observou-se, a partir dos resultados obtidos, que o reservatório apresenta parâmetros de qualidade compatíveis com a classificação 2 dos corpos de água doces, de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer e à aquicultura e à atividade de pesca.

Palavras-chave: UHE Salto Osório; Impactos Socioambientais; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

VICTORINO, Heloísa da Silva. **O Sensoriamento Remoto como Ferramenta de Análise de Indicadores Socioambientais Aplicada ao Contexto da UHE Salto Osório no Sudoeste Paranaense.** 2024. Número total de folhas. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional - Federal Technology University - Parana. Pato Branco, 2024).

With its immense hydroelectric potential, Brazil has intensively explored its water resources to generate energy and promote the country's economic and social development since the 19th century. However, in several situations, this exploration disregarded the consequences of changes in water dynamics, the social and cultural impacts resulting from the displacement of families, as well as the flooding of fertile lands and fauna and flora habitats. An example of this policy was the installation of the Salto Osório Hydroelectric Power Plant, located on the Iguaçu River, between the municipalities of São Jorge d'Oeste and Quedas do Iguaçu. This plant entered commercial operation in 1975 and its reservoir reached an area of approximately 55 km² and a total storage capacity of 1,124 billion cubic meters of water. Given the above, the objective of this work is to analyze the socio-environmental impacts of the implementation and operation of the Salto Osório Hydroelectric Power Plant on water quality and the occupation of agricultural land through Remote Sensing. To carry out the work, orbital images were selected and, from their processing, spectral indices were generated for analysis of the parameters DO (Dissolved Oxygen), COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand), NT (Total Nitrogen), PT (Total Phosphorus), Chlorophyll a and Turbidity. The spectral bands used are from the ETM+ sensor on board the Landsat 7 satellite. Using the tools applied, it was possible to evaluate the variation in water quality across the entire length of the dam, as well as the advancement of vegetation suppression throughout the construction of the Salto Osório HPP. The temporal analysis of the images shows that the construction and operation of the HPP, associated with the fertile lands and the strong growth in agriculture observed at the time of construction, attracted a large number of immigrants who, in the process of developing the surrounding cities, promoted great transformation in the land use and occupation, as well as vegetation suppression and water quality. However, it was observed, from the results obtained, that the reservoir presents quality parameters compatible with classification 2 of fresh water bodies, by CONAMA 357/2005 resolution, which can be intended for supply for human consumption; the protection of aquatic communities; to primary contact recreation; irrigation of vegetables, fruit plants and parks, gardens, sports and leisure fields and aquaculture, and fishing activities.

Keywords: Salto Osório HPP; Social and Environmental Impacts; Remote Sensing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Usinas Hidrelétricas (UHE)	16
2.1.1	Impactos sociais	16
<u>2.1.1.1</u>	<u>Geração de empregos</u>	<u>18</u>
2.1.2	Impactos ambientais	19
<u>2.1.2.1</u>	<u>Impacto na qualidade da água</u>	<u>19</u>
2.1.2.1.1	<i>Oxigênio dissolvido (OD)</i>	20
2.1.2.1.2	<i>Fósforo Total (PT)</i>	21
2.1.2.1.3	<i>Nitrogênio Total (NT)</i>	21
2.1.2.1.4	<i>Clorofila a</i>	22
2.1.2.1.5	<i>Turbidez</i>	22
2.1.2.1.6	<i>Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio (Índices DQO e DBO)</i>	23
2.1.2.1.7	<i>Cianobactérias</i>	24
2.1.2.1.8	<i>Tempo de residência</i>	24
2.1.2.1.9	<i>Profundidade média</i>	24
2.1.2.1.10	<i>Temperatura do corpo d'água</i>	25
<u>2.1.2.2</u>	<u>Impacto sobre a ocupação de solos agricultáveis</u>	<u>26</u>
2.2	Sensoriamento Remoto	27
2.2.1	Índices espectrais	29
3	MATERIAIS E MÉTODO	31
3.1	Área de estudo	31
3.2	Materiais	32
3.2.1	Dados censitários, de Localidades e de Assentamentos	32
3.2.2	Dados sobre solos agricultáveis	32
3.2.3	Imagens orbitais	33
3.2.4	MapBiomass	34
3.2.5	Software QGIS	34
3.2.6	Dados de análise de água	35
3.3	Procedimentos metodológicos	37
3.3.1	Impactos sociais	37
3.3.2	Impactos ambientais	37
<u>3.3.2.1</u>	<u>Uso e cobertura do solo</u>	<u>37</u>

3.3.2.2	<u>Projeto MapBiomias</u>	38
3.3.2.3	<u>Ocupação de solos agricultáveis</u>	38
3.3.2.4	<u>Índices espectrais de qualidade da água por Wang e Ma (2001)</u>	38
3.3.2.5	<u>Índices espectrais adaptados à área de estudo</u>	39
4	RESULTADOS E ANÁLISE	44
4.1	Impactos sociais	44
4.1.1	Quedas do Iguaçu	47
4.1.2	Rio Bonito do Iguaçu	48
4.1.3	São Jorge d'Oeste	50
4.1.4	São João	52
4.1.5	Sulina	54
4.1.6	Saudade do Iguaçu	55
4.1.7	Contexto geral dos municípios	57
4.2	Impactos ambientais	60
4.2.1	Uso e cobertura do solo	61
4.2.2	Ocupação de solos agricultáveis	69
4.2.3	Qualidade da água	70
<u>4.2.3.1</u>	<u>Índices espectrais de qualidade da água por Wang e Ma (2001)</u>	<u>70</u>
<u>4.2.3.2</u>	<u>Índices espectrais adaptados à área de estudo</u>	<u>73</u>
4.2.3.2.1	<i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	75
4.2.3.2.2	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	76
4.2.3.2.3	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	77
4.2.3.2.4	<i>Razão entre Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO/DBO)</i>	78
4.2.3.2.5	<i>Nitrogênio Total</i>	79
4.2.3.2.6	<i>Fósforo Total (PT)</i>	80
4.2.3.2.7	<i>Clorofila a</i>	81
4.2.3.2.8	<i>Turbidez</i>	82
4.2.3.2.9	<i>Temperatura de Superfície</i>	84
4.2.3.2.10	<i>Considerações sobre os índices de qualidade da água adaptados à área de estudo</i>	84
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
5.1	Recomendações para trabalhos futuros	92
	REFERÊNCIAS	94
	APÊNDICE A - Dados das imagens orbitais utilizadas nos processamentos	105

1 INTRODUÇÃO

A realidade internacional resultante da devastação financeira e econômica da Segunda Guerra Mundial forçou as nações a buscarem políticas econômicas, cuja meta principal era atingir o desenvolvimento capitalista, até mesmo das antigas colônias da Europa, então independentes. O desenvolvimento econômico pautado na industrialização fez com que a demanda de energia buscasse fontes potenciais a partir dos recursos naturais, que beiraram a exaustão em serviço à humanidade.

Nas décadas posteriores à Segunda Guerra, as nações eram hierarquizadas por indicadores de desenvolvimento, cujo nível econômico quase se confundia com o nível de industrialização do país. O desenvolvimento consistia, basicamente, em instituir uma economia de mercado que abrangesse praticamente a totalidade de seu povo (HEIDEMANN, 2009).

As políticas desenvolvimentistas passaram, assim, a investir no estabelecimento e emancipação industrial que, de forma genérica, usa energia para transformar matéria prima em produtos finais. Este conceito leva ao entendimento de que o desenvolvimento econômico e tecnológico de uma nação estaria estreitamente relacionado à sua capacidade de gerar energia (FONSECA, 2013). Assim, a dedicação ao desenvolvimento industrial pautava-se num maior consumo energético e, portanto, demandava a incorporação de novas fontes de energia advindas de recursos disponíveis no meio ambiente.

A dependência brasileira de importação de energia (carvão e derivados de petróleo) até a década de 1930 era extrema, fato este, que fez da lenha nativa a única fonte de energia doméstica consumida em larga escala. Assim, o Brasil era visto apenas como um promissor mercado importador, motivo que impossibilitou atrair o investimento privado nacional e estrangeiro na exploração do petróleo e do carvão nacional. A constatação deste fato e o reconhecimento de que sem energia moderna não seria possível o desenvolvimento industrial, levou o Estado Nacional a criar empresas estatais e um arranjo institucional favorável ao financiamento e crescimento deste setor (ALMEIDA e BICALHO, 2012).

Diante deste cenário foi criado, então, em maio de 1939, o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), pelo decreto-lei 1 285. Este órgão, vinculado diretamente à Presidência da República, tinha como função principal a elaboração da política de energia elétrica do governo federal. Em maio de 1952 foi criado o Plano

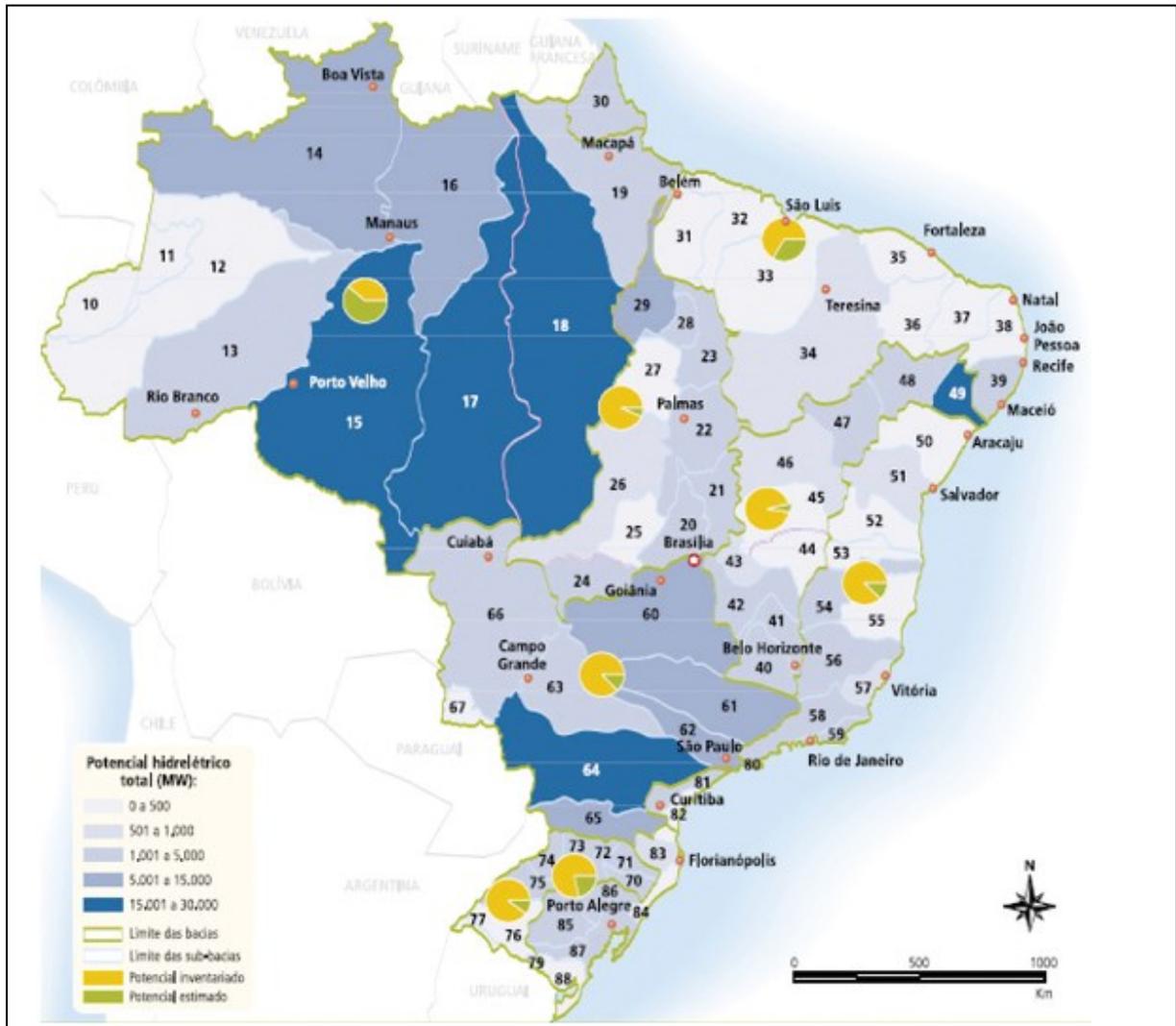
Geral de Industrialização do País, pela Comissão de Desenvolvimento Industrial do Ministério da Fazenda, que visava o incremento da produção energética e a expansão dos transportes e comunicações, por meio da intensificação dos fluxos de capitais, do melhoramento do sistema de crédito, da formação de técnicos e do aperfeiçoamento dos métodos de trabalho. Ainda, em 1952 iniciaram-se os estudos de investigação da bacia do rio Grande, uma das primeiras iniciativas de planejamento integrado para construção de usinas hidrelétricas no Brasil, cujo objetivo era propor a instalação de usinas com, no mínimo, 30 MW de potência, individualmente, o que representava uma mudança importante de escala, em relação aos aproveitamentos até então existentes e também aos projetos de engenharia e construção civil (CORREA e PAULA, 2012).

Assim, a primeira grande fonte de energia moderna doméstica aproveitada em larga escala seria a energia hidrelétrica, principalmente em razão do grande potencial da rede hidrográfica brasileira, que conta com rios caudalosos, grande volume d'água, predomínio de rios perenes, e predomínio de rios de planalto em áreas de elevado índice pluviométrico, entre outras vantagens.

O maior potencial hidrelétrico instalado no Brasil atualmente encontra-se na bacia do rio Paraná, segunda em potencial hidrelétrico do país, ficando atrás apenas da Bacia do Amazonas. A Bacia do Paraná drena a região onde se iniciou, efetivamente, o processo de industrialização brasileiro e por isso conseguiu receber mais recursos investidos em infraestrutura. Está presente nos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal e é formada pelo Rio Paraná e seus afluentes, como os rios Tietê, Paranapanema e Iguaçu, no qual se encontra instalada a UHE Salto Osório, cujo reservatório é estudo de caso desta tese.

A Figura 1 traz o potencial hidrelétrico por sub-bacias do território brasileiro, em que se pode observar o destaque para o potencial hidrelétrico da Bacia do Paraná (64).

Figura 1 – Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica da ANEEL



Fonte: BRASIL (2007)

Apesar da importância e do potencial brasileiro em produzir energia elétrica, a implantação de Usinas Hidrelétricas (UHEs) gera sérios impactos ao meio-ambiente, além de grandes investimentos em infraestrutura e intermináveis entraves burocráticos e judiciais decorrente do processo de licenciamento ambiental e da expropriação de terras (SOUSA, 2000).

Desta forma, na dicotomia de interesses entre a necessidade energética do país para sustentar o desenvolvimento nacional e a preservação das condições sociais e ambientais da população, torna-se indispensável analisar as consequências – positivas e negativas – decorrentes da implantação de uma UHE a fim de avaliar a viabilidade deste tipo de empreendimento, na busca pelo equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade.

Brito e Costa (2019) apontam como aspectos positivos da construção de reservatórios hidrelétricos a harmonia paisagística proporcionada pela presença do lago, a disponibilidade de água reservada para o abastecimento e irrigação, a produção de energia (hidroeletricidade), a geração de empregos locais, a criação de oportunidades de recreação e turismo, o aumento da possibilidade de pesca e aquicultura, a regularização de vazões e controle de enchente e a possibilidade de novas atividades econômicas. Por outro lado, como aspectos negativos, os autores indicam a perda de biodiversidade aquática e terrestre, a transformação abrupta de um ambiente lótico para um lântico. Por ambiente lótico, entende-se aqueles ambientes onde as águas continentais movem-se com certa velocidade, apresentando tempo de residência inferior a 2 dias. Ambientes lânticos, por sua vez, são ambientes onde água apresenta baixa mobilidade, permanecendo estagnada por um período superior a 40 dias.

Esta mudança na dinâmica das águas causa desequilíbrios na composição físico-química e biológica do meio aquático, além da redução do oxigênio no fundo do reservatório, redução das vazões a jusante, redução da temperatura e do material em suspensão nos vertedouros e retenção de sedimento carregado. Além do impacto ao meio ambiente existe a necessidade de compensação de propriedades, o prejuízo à agricultura familiar, a perda de valores estéticos e de patrimônio cultural e a remoção de famílias ou mesmo de cidades inteiras.

O Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007) aponta a evidente necessidade de vigilância no desenvolvimento de qualquer potencial hidráulico para mitigação dos impactos ambientais provocados. Ainda, salienta o dever de tornar aproveitamentos desse tipo como elementos de integração regional. Ou seja, há de se buscar o equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade, confrontando os impactos ambientais para as gerações futuras com os custos futuros mais altos que essas gerações pagarão pela energia, com os impactos ambientais produzidos pela opção escolhida (uma vez que todas as fontes de energia produzem impacto ambiental) e, inclusive, com a eventual escassez futura da energia.

Considerando os diversos efeitos passíveis decorrentes da instalação de uma UHE existe, ainda, a necessidade de avaliação individual de cada realidade, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Neste contexto, o Sensoriamento Remoto, como conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre a superfície terrestre através do registro

da interação da radiação eletromagnética com os alvos, a partir de plataformas aéreas ou orbitais, mostra-se como uma oportuna ferramenta para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos a partir da análise da variação espacial e temporal das propriedades ópticas da água; principalmente em virtude da redução de custos e da possibilidade de cobertura de uma extensa área, ainda que necessite de suporte e validação de resultados através do estudo limnológico *in situ* dos reservatórios. Ainda, esta ferramenta permite inferir a respeito de efeitos sociais decorrentes da implantação de uma UHE a partir da identificação, quantificação e classificação das áreas submergidas por reservatórios artificiais.

Vilela (2010) propôs uma metodologia para monitoramento da qualidade da água de reservatórios através da tecnologia de Sensoriamento Remoto, analisando os parâmetros transparência, clorofila e turbidez no reservatório de São Simão, situado no baixo curso do Rio Paranaíba em 2009. No trabalho, o autor comparou os dados coletados com as respostas espectrais de imagens das séries Landsat 5 e Landsat 7 da área do reservatório nos mesmos meses das coletas e estabeleceu a correlação entre eles, utilizando os resultados para realizar a previsão da distribuição espacial dos parâmetros ao longo da área do reservatório.

Lima (2017) analisou a qualidade ambiental em diferentes trechos do reservatório Sobradinho através de indicadores biológicos e imagens de Sensoriamento Remoto entre março de 2014 e janeiro de 2016, observando maior riqueza taxonômica nas áreas lênticas, registrando maior ocorrência de organismos indicadores de ambientes poluídos. A autora, analisando as imagens orbitais Landsat 8, identificou que a composição R4G3B2 mostrou maior destaque para as características da água, observando maior turbidez na região de transição rio-reservatório, corroborando com os dados obtidos em campo, enquanto a composição R6G5B4 apresentou maior realce para o solo, vegetação e algumas áreas urbanas.

Bernardo (2019) estimou as concentrações de Material Particulado em Suspensão (MPS) em reservatórios em cascata a partir da análise das características ópticas dos reservatórios. Foi desenvolvido um modelo semi-analítico para estimativa de MPS, denominado QAATRCs, que resultou em erros médios menores que 30%. Em vista do grande intervalo de concentrações de componentes opticamente ativos e da variabilidade óptica observada nos reservatórios em cascata, o QAATRCs foi capaz de estimar de forma acurada as concentrações de MPS.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), associados ao Sensoriamento Remoto possibilitam, a partir da análise espacial, a integração de diferentes dados que auxiliem no monitoramento, planejamento e orientação das atividades no entorno e área de influência do reservatório, como agricultura, urbanização e aproveitamento da balneabilidade. Neste último caso, essas análises podem subsidiar o planejamento para instalações adequadas de infraestrutura e equipamentos turísticos, como restaurantes, clubes e gestão das atividades como, por exemplo, a pesca (SESTINI, 2020).

Rufino et al. (2017) utilizaram ferramentas de Sensoriamento Remoto para estudos de modificação da paisagem da área alagada pela Usina Hidrelétrica de Itá (SC) e concluíram que, apesar do grande aumento na oferta de energia, a diminuição na qualidade de água e desagregação social das comunidades são consequências imediatas de grande relevância a serem considerada no estudo de impactos de UHEs.

Assim, considerando a literatura bibliográfica do tema de estudo, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar os impactos sociais e ambientais decorrentes da implantação e operação da UHE Salto Osório sobre a qualidade da água e sobre a ocupação de solos agricultáveis a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade das técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Semoto para a análise, a partir de indicadores socioambientais, dos efeitos decorrentes da instalação e operação da UHE de Salto Osório sobre o contexto em que está inserida.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analisar os efeitos socioambientais decorrentes da implantação e operação da UHE Salto Osório a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto, de dados censitários e da literatura disponível;

- Propor e avaliar a aplicabilidade de indicadores de qualidade da água gerados a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto;

- Avaliar a influência da UHE Salto Osório e dos municípios no entorno sobre parâmetros indicadores de qualidade da água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Usinas Hidrelétricas (UHE)

As usinas hidrelétricas convertem a energia potencial de uma determinada massa de água em energia elétrica ao transferi-la de um ponto mais elevado para outro ponto de menor altitude.

Apesar das hidrelétricas serem consideradas fontes de energia limpas, a necessidade de modificação da paisagem para construção das suas estruturas, como reservatório, barragem, etc., provocam impactos socioambientais, motivo pelo qual esses empreendimentos são alvo de muitos protestos contrários à sua instalação. Em geral as oposições não vetam a operação das usinas, mas podem levar a uma revisão do projeto de modo a reduzir os impactos (SOUTO, 2018).

O alagamento de uma vasta área que proporcione a diferença de potencial necessária para geração hidrelétrica provoca profundas alterações no ecossistema, como a supressão da vegetação natural, o assoreamento do leito dos rios, o desmoronamento de barreiras, a extinção de espécies de peixes, além dos impactos sociais relacionados ao deslocamento de populações ribeirinhas.

É evidente que a construção de um empreendimento hidrelétrico traz, apesar dos impactos negativos, também aspectos benéficos que viabilizem e estimulem sua instalação. Entre eles pode-se citar: i) a geração de empregos decorrentes da operação da UHE, ii) o abastecimento energético necessário à atividade humana a partir de uma fonte renovável e mais barata do que as demais energias limpas (solar, eólica e energia proveniente das marés, por exemplo), iii) o desenvolvimento da região circundante ao reservatório pelo estímulo às atividades de lazer e turismo, e iv) a possibilidade de utilização da água represada para irrigação da agricultura local (NAIME, 2012).

2.1.1 Impactos sociais

Souto (2018) elenca, como principais impactos socioambientais passíveis de ocorrência devido à implantação de Usinas Hidrelétricas, o deslocamento de populações em escalas variáveis conforme a topologia; inundação de áreas agricultáveis ou utilizáveis para pecuária ou reflorestamento; aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica como a malária e a esquistossomose; danos ao patrimônio histórico e cultural; efeitos sociais intangíveis da realocação

indiscriminada de grandes populações, especialmente agrupamentos indígenas, quilombolas ou comunidades tradicionais; incremento de navegação e transporte na bacia de acumulação causando alterações relevantes dentro da bacia hidrográfica; intensificação de atividade extrativistas no interior da bacia hidrográfica do reservatório; uso excessivo e descontrolado de equipamentos de recreação que interferem na fauna aquática; deterioração das margens por assentamentos urbanos ou rurais não planejados; e perda de benfeitorias, plantações e áreas agricultáveis ou alagadiças.

Rothman (2000, apud SOARES, 2009) contribui com a compreensão sobre relações sociais de um determinado lugar, apontando que, no processo de retirada dos habitantes do espaço a ser ocupado pelas obras das usinas hidrelétricas, os órgãos competentes se preocupam com o pagamento das indenizações à população atingida, cujo preço é determinado a partir do valor da terra, dos cultivos ali existentes e das benfeitorias, sem considerar o custo social da retirada dessas pessoas do local onde construíram sua história que, a partir desse fato, deixa de existir. As experiências vividas naquele local são submersas pelas águas da represa, e essas pessoas não têm escolha, tendo como única opção receber o dinheiro e começar uma nova vida em outro lugar, deixando de lado os transtornos interacionais que isso vai ocasionar.

A formação dos lagos das usinas hidrelétricas, em geral, atinge áreas de solos férteis. Dessa forma, as várzeas e as terras agricultáveis, ao ficarem sob as águas, provocam a saída compulsória da população, desintegrando os costumes e tradições históricas que a população da área atingida possuía, além de suas relações com o rio (tipo de agricultura desenvolvida, as técnicas utilizadas através da irrigação, regime das cheias e, outrossim, a relação social e cultural). Os lagos também afetam a fauna e a flora, além de fazerem desaparecer vestígios de culturas antepassadas que poderiam ainda ser estudadas. Nesse sentido, quando uma população é forçada a deixar um determinado local, ocorre o impacto social e cultural na maneira de trabalhar a terra e na sua relação de vizinhança. Com a implantação das usinas hidrelétricas, milhares de famílias perderam suas terras e residências. Muitas famílias deixaram de ser reassentadas, e aquelas que receberam indenizações, o valor irrisório recebido muitas vezes não permitiu a aquisição de novas terras. Outras foram reassentadas em terras com baixa fertilidade, por exemplo (MENDES, 2005).

Nesse contexto, compreende-se a suma importância de considerar as consequências sociais provocadas pela instalação de usinas hidrelétricas, sejam elas

de grande, médio ou pequeno porte, ponderando riscos e viabilidades do empreendimento considerando seriamente, como destaca Mendes (2005), as peculiaridades existentes e da complexidade das relações sociais; a valorização das questões históricas, culturais, afetivas e simbólicas da sociedade local.

2.1.1.1 Geração de empregos

Um aspecto relevante a ser considerado é a movimentação econômica decorrente da instalação de UHEs. Estudos mostram que, localmente, há incremento da arrecadação municipal, geração de empregos e estabelecimento de novas empresas, mas essas mudanças tendem ser passageiras, encerrando-se alguns anos após o início da construção.

De acordo com Assunção, Szerman e Costa (2017), em um estudo que cruzou informações sobre 82 usinas hidrelétricas construídas no Brasil entre os anos 1990 e 2000, o impacto econômico nas áreas de entorno das unidades analisadas foi bastante variável, mas, de forma geral, os efeitos positivos e negativos foram de curto prazo. Ocorreu um crescimento econômico durante os dois ou três primeiros anos após o início da obra, que tende a se dissipar depois de cinco ou seis anos, o que geralmente coincide com o fim da construção. Houve significativo estímulo do emprego formal no curto prazo, mas que foi sendo dissipado nos anos seguintes. De acordo com os dados estudados, no primeiro ano após o início da construção, o número de empregos formais aumentou entre 10 e 37% quando comparado a municípios que não receberam das usinas. Entretanto, cerca de cinco anos após o início das obras, o número de empregos formais se estabilizou para 8 a 14%. Todavia, os autores ressaltam que esses números flutuaram bastante entre os casos, revelando a importância de se examinar individualmente cada realidade.

Além disso, deve-se considerar ainda a criação de empregos para manejo das áreas de Preservação Permanente (APP), mantidas pelos empreendedores, além dos benefícios trazidos ao setor de turismo, relacionados às atividades de recreação, esportes e lazer para a população local, criando empregos também nas áreas de comércio como lanchonetes, bares e afins (SOUZA, 2020).

2.1.2 Impactos ambientais

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a partir da resolução 01/1986 estabelece a definição de Impacto Ambiental:

Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Segundo Nilton (2009), os principais impactos detectados em função dos reservatórios hidrelétricos referem-se à inundação de áreas agricultáveis; à perda de vegetação e da fauna terrestres; à interferência na migração dos peixes; a mudanças hidrológicas a jusante da represa; a alterações na fauna do rio; a interferências no transporte de sedimentos; ao aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica; a perdas de heranças históricas e culturais, a alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra; a problemas de saúde pública, devido à deterioração ambiental; à perda da biodiversidade terrestre e aquática; e aos efeitos sociais principalmente por realocação.

Müller (1995) afirma que a elevação do nível das águas na formação dos reservatórios promove uma considerável pressão hidrostática sobre as nascentes artesianas situadas nas margens e no fundo dos rios represados, produzindo graus de alteração em todo o processo natural de alimentação e descarga dos aquíferos, inclusive os profundos.

“Todas estas alterações podem resultar de efeitos diretos ou indiretos, produzindo efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de toda a área” (ANDRADE, 2010).

2.1.2.1 Impacto na qualidade da água

De acordo com a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente define “qualidade da água” como a qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente ao conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros (BRASIL, 2005).

Em outras palavras, a qualidade da água refere-se ao conjunto de características físicas, químicas e biológicas que ela apresenta, de acordo com a sua utilização. Os padrões de classificação mais usados pretendem classificar a água de acordo com a sua potabilidade, a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem-estar dos ecossistemas (FEEMA, 2009).

Segundo Merten e Minella (2002), a água doce é um recurso natural finito, cuja qualidade vem piorando devido ao aumento da população e à ausência de políticas públicas voltadas para a sua preservação. Estima-se que aproximadamente doze milhões de pessoas morrem anualmente por problemas relacionados com a qualidade da água.

Para Melo e Nepomuceno (2017), a avaliação dos aspectos de qualidade e quantidade da água é de grande importância para o estudo da preservação do meio ambiente, a fim de buscar a conservação, a recuperação e o uso racional dos recursos hídricos, minimizando os conflitos e conduzindo as atividades econômicas.

O Instituto Água e Terra (IAT), órgão ambiental do Estado do Paraná, desenvolveu o Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR) para classificação dos reservatórios do Estado do Paraná, de acordo com seus graus de comprometimento. Este índice incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas – Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Clorofila a, Profundidade Secchi, Demanda Química de Oxigênio, Cianobactérias, Tempo de residência e Profundidade média.

2.1.2.1.1 Oxigênio dissolvido (OD)

Uma quantidade adequada de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção da vida em sistemas aquáticos. Os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas e a eficiência do tratamento dos esgotos durante a oxidação bioquímica podem ser avaliados por meio da medição da concentração de oxigênio dissolvido (ANA, 2005).

Segundo a FUNASA (2014), o aumento da concentração de oxigênio em solução ocorre, fundamentalmente, por meio de dois fenômenos: aeração atmosférica e atividade fotossintética das plantas aquáticas. Enquanto em rios a fonte principal de oxigênio é a atmosfera, mediante a existência de turbulência em suas águas, no caso de lagos há a dominância da fotossíntese, em decorrência do maior crescimento de microalgas e plantas aquáticas. A diminuição da concentração de oxigênio em solução

no meio líquido é consequência dos seguintes processos: perdas para a atmosfera, respiração dos organismos, mineralização da matéria orgânica e oxidação de íons.

Para Carmouze (1994), a determinação do oxigênio dissolvido é de grande importância para que sejam avaliadas as condições naturais da água e detectados impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica.

2.1.2.1.2 *Fósforo Total (PT)*

Da mesma forma como ocorre com o nitrogênio, o fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas (ANA, 2005).

Para Sawyer et al. (1994), o fósforo e o nitrogênio em corpos hídricos são elementos fundamentais para o controle das taxas de crescimento de algas e cianobactérias, e essenciais para crescimento de todos os seres vivos.

A fração mais significativa no estudo do fósforo é a inorgânica solúvel, que pode ser diretamente assimilada para o crescimento de algas e macrófitas. A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg. L⁻¹ a 0,05 mg. L⁻¹ (FUNASA, 2014).

2.1.2.1.3 *Nitrogênio Total (NT)*

Nos corpos d'água o nitrogênio pode ocorrer nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Os nitratos são tóxicos aos seres humanos e, em altas concentrações, causam uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças. Por serem nutrientes nos processos biológicos, seu lançamento em grandes quantidades nos corpos d'água, junto com outros nutrientes tais como o fósforo, causam um crescimento excessivo das algas, processo conhecido como eutrofização, o que pode prejudicar o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática (ANA, 2005).

A importância do conhecimento da presença e quantificação do nitrogênio nas suas mais diversas formas na água refere-se ao consumo de oxigênio dissolvido necessário durante o processo de nitrificação. Esse processo indica a conversão de

nitrogênio amoniacal a nitrito e este a nitrato. O nitrogênio é um elemento vital para o crescimento e a proliferação de algas (ESTEVES, 1998).

De acordo com Von Sperling (2014), em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição; quando é recente, está relacionada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia; se a poluição é mais remota, estará relacionada ao nitrogênio na forma de nitrato.

2.1.2.1.4 *Clorofila a*

A clorofila a é um pigmento capaz de capturar a radiação solar para a realização da fotossíntese, em que a energia absorvida pela clorofila converte dióxido de carbono e água em carboidratos e oxigênio. Em ambientes aquáticos a clorofila pode ser utilizada para estimar a biomassa do fitoplâncton presente no corpo hídrico, uma vez que ela faz parte da sua composição (IAT, 2017).

O estudo da biomassa do fitoplâncton, em clorofila a, visa através da análise da estrutura da comunidade (diversidade e abundância), associada aos aspectos físicos e químicos, detectar possíveis alterações da qualidade das águas, bem como avaliar tendências ao longo do tempo, as quais se refletem em modificações no habitat ou no comportamento dos organismos. A associação dos dados sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e sua biomassa, é fundamental em monitoramentos limnológicos (IAT, 2017).

A presença de algas e/ou cianobactérias em reservatórios pode acarretar efeitos diretos na qualidade da água, tais como: aumento de matéria orgânica particulada; aumento de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir odor e sabor à água, favorecer a formação de compostos organoclorados; apresentar toxicidade; alterar sua coloração; atuar como substrato para o crescimento de bactérias na estação de tratamento; e contribuir para aumentar a corrosão, prejudicando a viabilidade da água para consumo humano, por exemplo (DI BERNARDO, 1995; IAT, 2017).

2.1.2.1.5 *Turbidez*

A profundidade do disco de Secchi é uma medida indicativa da turbidez da água e, por sua vez, relaciona-se com a quantidade de fitoplâncton e de matéria. A

turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), em razão da presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. Um alto índice de turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e alga que pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, além de afetar adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de um corpo d'água (ANA, 2005).

Segundo Macêdo (2004), a turbidez é desarmoniosa na água potável, apesar disso não traz inconvenientes sanitários diretos, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, resultando em uma menor eficiência da desinfecção.

2.1.2.1.6 Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio (Índices DQO e DBO)

De acordo com a FUNASA (2014), a matéria orgânica presente na água é necessária aos seres heterótrofos para sua nutrição, e aos autótrofos como fonte de nutrientes e gás carbônico. Porém, quando ocorre em grandes quantidades, a matéria orgânica pode causar problemas como cor, odor, turbidez e consumo do oxigênio dissolvido pelos organismos decompositores, sendo este último um dos problemas mais sérios, pois provoca desequilíbrios ecológicos, podendo causar a extinção dos organismos aeróbicos. Geralmente são utilizados dois indicadores do teor de matéria orgânica na água: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Sabe-se que a matéria orgânica é responsável pela redução na concentração de oxigênio dissolvido como consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização da matéria orgânica. Assim, a avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio. Os referidos parâmetros DBO e DQO indicam o consumo ou a demanda de oxigênio necessários para estabilizar a matéria orgânica contida na amostra de água. Enquanto a DBO refere-se exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos, a DQO engloba também a estabilização da matéria orgânica por processos químicos, sendo o valor da DQO sempre superior ao da DBO. Além disso,

a relação entre os valores de DQO e DBO indica a parcela de matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica (FUNASA, 2014).

2.1.2.1.7 Cianobactérias

Em condições de equilíbrio natural, cianobactérias e demais organismos aquáticos convivem em harmonia em lagos e reservatórios. Entretanto, na ocorrência de enriquecimento da água com nitrogênio e fósforo (podendo ser decorrentes de despejos de esgoto doméstico ou industrial; de adubação das lavouras; de piscicultura e de pecuária próximos ao corpo hídrico), fenômeno denominado eutrofização, algumas espécies passam a ser dominantes, alterando o equilíbrio ecológico e podendo causar prejuízos, como algumas espécies de cianobactérias que produzem toxinas e podem causar mortandade de peixes e de outros animais ou, até mesmo, de seres humanos, seja pela ingestão de água ou pelo contato em atividade recreativa (SANT'ANNA e AZEVEDO, 2000; BRASIL, 2005).

2.1.2.1.8 Tempo de residência

A construção de barragens para geração hidrelétrica modifica as velocidades e os tempos de permanência da água no curso hídrico, alterando sua capacidade natural de depuração e de armazenamento de materiais orgânicos e inorgânicos provenientes das bacias de contribuição. Longos tempos de residência nos reservatórios favorecem o crescimento e a aclimatação das bactérias nitrificantes às condições de pH e à presença do residual do desinfetante, favorecendo a nitrificação (BRASIL, 2006). Ainda, há uma maior penetração da luz solar e disponibilidade de nutrientes, fazendo com que os reservatórios hidrelétricos sejam ambientes mais propícios ao desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica (LOPES, 2019).

No reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório (UHESO) o tempo médio de residência é de 16 dias, a profundidade média de 25,5 m e a máxima de 40 m (IAT, 2017).

2.1.2.1.9 Profundidade média

A profundidade de um reservatório exerce grande influência no padrão de circulação e na distribuição de organismos e compostos químicos na coluna d'água de um corpo hídrico. Enquanto pequenas profundidades conduzem a reservatórios

com maior produtividade primária, maiores profundidades apresentarão baixos teores de oxigênio dissolvido, enquanto a liberação de nutrientes do fundo do reservatório para as camadas superiores é mais difícil, limitando a eutrofização (VON SPERLING, 1999; FUNCEME, 2002).

2.1.2.1.10 Temperatura do corpo d'água

A temperatura também desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, com o aumento da temperatura ocorre a redução proporcional da viscosidade, da tensão superficial, da compressibilidade, do calor específico, da constante de ionização e do calor latente de vaporização, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (ANA, 2005).

Segundo Esteves (1998), a temperatura varia nos diferentes corpos de água, em função de flutuações sazonais, sendo influenciada pela latitude, altitude, época do ano, hora do dia e profundidade. Essas variações acontecem de forma gradual, uma vez que a água pode absorver ou mesmo perder calor sem grandes alterações.

A temperatura tem influência nos processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e em outros processos, como a solubilidade dos gases dissolvidos e sais minerais. Com o aumento da temperatura, a solubilidade dos gases diminui e a dos sais minerais aumenta, influenciando ainda, o crescimento microbiológico, pois cada microrganismo possui uma faixa ideal de temperatura (MACÊDO, 2004).

Dessa forma, este trabalho pretende estimar a concentração das variáveis Oxigênio dissolvido, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Clorofila a, Turbidez, Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio e Temperatura a partir de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, a fim de proporcionar uma ferramenta indicativa de qualidade da água aplicada ao reservatório da UHE Salto Osório.

2.1.2.2 Impacto sobre a ocupação de solos agricultáveis

De acordo com Mendes (2005), o represamento dos lagos das usinas hidrelétricas, em geral, atinge áreas de solos férteis. Assim, várzeas e terras agricultáveis, ao ficarem submersas, provocam a saída compulsória da população, desintegrando os costumes e tradições históricas da população atingida, além de suas relações com o rio (tipo de agricultura desenvolvida, técnicas utilizadas através da irrigação, regime das cheias e relação social e cultural).

Para Müller (1995), as influências dos reservatórios nos aquíferos têm reflexos ecológicos e econômicos ao introduzirem mudanças inesperadas na ocupação dos solos. No entanto, muitas dessas alterações nas camadas freáticas não são tão evidentes. Devido à saturação das camadas superficiais, o solo perde a capacidade de diluição dos efluentes e, dependendo do tipo do efluente, pode levar à contaminação dos aquíferos.

Mendes (2005) realizou um estudo sobre pequenos produtores do Reassentamento Rural de Rosana, no município do Euclides da Cunha Paulista. O reassentamento é formado em sua maioria de pequenos produtores, antes ilhéus e ribeirinhos que, com a construção da usina hidrelétrica de Rosana, no Rio Paranapanema, foram realocados para o Reassentamento Rural. A autora identificou mudanças quanto à relação que os produtores possuíam com o rio e na forma de produzir e dos tipos de culturas que praticavam anteriormente. Ainda, o solo do local de reassentamento não possuía a mesma fertilidade natural de onde antes cultivavam lavouras, levando ao desestímulo da atividade agrícola como fonte de renda e subsistência.

Lopes e Brito (2021), ao estudarem os efeitos da instalação da UHE Santo Antônio do Jari, no Amapá, observaram que

a maioria das mudanças do acesso aos recursos naturais reflete-se nos meios de subsistência decrescentes e no acesso reduzido aos recursos existentes. A perda das terras mais férteis dos solos de várzea, o acesso a peixe e caça e o declínio dos açais afetou a aquisição de alimentos, comprometendo a segurança alimentar e econômica das comunidades.

A partir dos casos exemplificados, nota-se a importância da análise dos tipos e características de solos atingidos pela formação de lagos de empreendimentos hidrelétricos, considerando, essencialmente, o uso por parte da população ribeirinha e a destinação que essa comunidade terá após a desapropriação para construção da hidrelétrica.

No contexto apresentado, este trabalho pretende, a partir de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, de dados censitários e da literatura disponível, analisar a evolução dos efeitos sociais e ambientais decorrentes da UHE Salto Osório desde sua instalação até a atualidade.

2.2 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto consiste, em linhas gerais, no conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre a superfície terrestre através do registro da interação da radiação eletromagnética com os alvos, a partir de plataformas aéreas ou orbitais.

De acordo com Silva, Coelho e Silva (2017),

a utilização do sensoriamento remoto para monitoramento da qualidade dos recursos hídricos tem crescido na última década, principalmente em virtude da redução de custos e da possibilidade de cobertura de uma área bem maior do que quando utilizam-se métodos convencionais de coleta e análise qualitativa da água.

Rudorff et al. (2007) e Jensen (2009) colocam a variação espacial e temporal da composição da água como um dos principais interesses no uso de produtos de Sensoriamento Remoto em ambientes aquáticos, possibilitando investigar a origem e o deslocamento de substâncias específicas em suspensão ou dissolvidas na água. Segundo os autores, os sólidos em suspensão, os pigmentos fotossintetizantes, a matéria orgânica dissolvida e as próprias moléculas de água em si, são os principais agentes que regem as propriedades ópticas inerentes da água e, portanto, são chamados de constituintes opticamente ativos (COAs).

Corazza (2010) salienta que, apesar das grandes vantagens e aplicabilidades do Sensoriamento Remoto em estudos aquáticos, faz-se necessário seu uso aliado também ao estudo limnológico dos reservatórios para a compreensão de sua dinâmica aquática e posterior correlação com os dados espectrais, o que conduz ao aumento da confiabilidade na interpretação dos resultados obtidos.

Na interação da energia eletromagnética com corpos d'água, ao penetrar na coluna d'água, a radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na sua composição espectral. A água pura não contém matéria orgânica ou inorgânica, já os corpos d'água naturais apresentam uma variedade desses constituintes. A resposta espectral das águas interiores está relacionada às substâncias presentes na coluna destes corpos d'água, possibilitando a extração de

informações sobre as águas a partir desses dados espectrais. Estes elementos (COAs) são os responsáveis pelas diferentes respostas espectrais da água captada pelos sensores remotos. (JENSEN, 2009; CASTRO, PEREIRA e BARROS, 2015).

A Tabela 1 apresenta a capacidade dos métodos de Sensoriamento Remoto para estimar parâmetros para monitoramento da água, bem como referências de trabalhos aplicados a cada parâmetro.

Tabela 1 - Capacidade de Sensoriamento Remoto para medir operacionalmente parâmetros físicos, químicos e biológicos da água

	Parâmetros	Capacidade de mensuração por Sensoriamento Remoto	Referências
Físicos	Total de sólidos em suspensão	Sim	AVDAN et al., 2019
	Turbidez	Sim	
	Transparência	Sim	
	Temperatura da água/ar	Sim	ALCÂNTARA et al., 2011; CURTARELLI et al., 2014; LUZ; GUASSELLI; ROCHA, 2017
	Condutibilidade elétrica	Sim	LOPES et al., 2014
Químicos	Fósforo total	Sim	XIONG et al., 2019
	Nitrogênio total	Sim	LIU et al., 2015
	Demanda Química de Oxigênio	Sim	WANG et al., 2012; WANG et al., 2014;
	Oxigênio dissolvido	Sim	PU et al., 2019
	pH	Não	-
Biológicos	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Sim	WANG et al., 2012; WANG et al., 2014; PU et al., 2019
	Pigmentos clorofilados	Sim	AVDAN et al., 2019

Fonte: Adaptado de Novo (2007); Pizani, Mailard e Amorim (2022).

De acordo com Vilela (2010), a principal dificuldade no estudo do comportamento espectral da água é que se busca conhecer os componentes que se encontram nela presentes, sejam dissolvidos ou suspensos, em vez de investigar as propriedades do alvo em si, como acontece quando se estuda o comportamento de outro alvo qualquer. Segundo o autor,

em se tratando de qualidade de água, é evidente que a análise de amostras coletadas em campo fornece resultados mais satisfatórios da situação do ambiente aquático, porém, o Sensoriamento Remoto produz uma intensa quantidade de dados atualizados que devem ser utilizados como uma

ferramenta indicadora, com potencial de fazer estimativas aproximadas, indicando locais mais ou menos degradados (VILELA, 2010).

Londe (2007) contribui dizendo que as medições através de sensores remotos além de oferecerem boa cobertura espacial e temporal, podem facilitar a definição de localizações representativas para medições em barcos e possibilitar a inclusão de um número maior de lagos e reservatórios em programas de monitoramento da qualidade da água.

Hellweger et al. (2004) expõe que o Sensoriamento Remoto oferece três vantagens significativas sobre as amostragens em campo no processo de estimativa da qualidade da água: i) a cobertura contínua pelos imageadores a bordo de satélites permite uma estimativa sinóptica sobre grandes áreas; ii) a cobertura global dos satélites permite a estimativa da qualidade da água em locais remotos e inacessíveis; iii) o vasto arquivo de imagens armazenadas permite a estimativa da qualidade da água ao longo do tempo, apresentando, no entanto, também três desvantagens: i) dificuldade de distinguir os constituintes da água, por exemplo, distinguir a assinatura espectral das macrófitas e do corpo de água; ii) amostra de água limitada à superfície em ecossistemas oceânicos, variação com a claridade da água e não controlável; iii) resolução espacial e temporal pode ser inadequada e não controlável.

Assim, associado à análise limnológica de amostras coletadas em campo, o Sensoriamento Remoto permite compreender e avaliar a qualidade da água ao longo de um período de interesse a partir do entendimento da relação das propriedades ópticas de absorção, espalhamento e reflexão que as substâncias presentes no meio aquático (dissolvidas ou em suspensão) possuem.

2.2.1 Índices espectrais

De acordo com Silva et al. (2019) índices espectrais, que resultam de operações algébricas entre bandas de imagens orbitais e permitem discriminar alvos, são bastante oportunos para o monitoramento contínuo de reservatórios de água utilizados para a geração de energia elétrica.

Wang e Ma (2001) utilizaram dados de Sensoriamento Remoto e de amostragem para estimativa e da qualidade da água no Lago Taihu, proporcionando o desenvolvimento empírico de índices espectrais para análise dos parâmetros PT (Fósforo Total), NT (Nitrogênio Total), SS (Sedimentos em Suspensão), OD (Oxigênio Dissolvido), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de

Oxigênio), apresentados nas equações (3) a (8), nas quais TM_i referem-se às bandas do sensor *Thematic Mapper* a bordo do satélite Landsat 5.

$$PT = e^{(-0,4081 - 8,659 * \ln(TM_2 / TM_1))} \quad (1)$$

$$NT = e^{(8,228 - 2,713 * \ln(TM_1 + TM_2))} \quad (2)$$

$$SS = e^{(5,6394 + 1,5493 * \ln((TM_3 + TM_4) / (TM_1 + TM_2)))} \quad (3)$$

$$OD = e^{(2,3704 - 0,2107 * \ln(TM_3))} \quad (4)$$

$$DBO = e^{(4,2380 + 2,2546 * \ln((TM_1 - TM_2) / (TM_1)))} \quad (5)$$

$$DQO = e^{(0,3671 + 1,2454 * \ln(TM_2 / TM_3))} \quad (6)$$

Onde:

TM_1 refere-se à banda TM1 (azul);

TM_2 refere-se à banda TM2 (verde);

TM_3 refere-se à banda TM3 (vermelho);

TM_4 refere-se à banda TM4 (infravermelho próximo).

A partir da aplicação de índices espectrais de qualidade da água em imagens orbitais na área de estudo desta tese, objetivou-se realizar a comparação com dados limnológicos amostrados em campo, com intuito de validá-los. E ainda, foi estabelecida uma metodologia aplicada ao reservatório da UHE Salto Osório visando proporcionar uma ferramenta orientativa e de baixo custo que proporcione a estimação da qualidade da água de reservatórios de UHEs, em especial o da UHE Salto Osório.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Área de estudo

A Usina Hidrelétrica Salto Osório (UHESO) está localizada no Rio Iguaçu, entre os municípios de São Jorge d'Oeste e Quedas do Iguaçu no estado do Paraná (Figura 2). Entrou em operação comercial em 1975 e sua concessão tem validade até 2028. Seu reservatório teve enchimento iniciado em maio de 1975 e atingiu uma extensão de 70 km, com área aproximada de 55 km² e capacidade total de armazenamento de 1124 bilhões de metros cúbicos (Figura 3). O tempo médio de residência é de 16 dias e possui uma profundidade média de 25,5 m, com máxima de 40 m (IAT, 2017).

Figura 2 – Localização da barragem UHE Salto Osório



Fonte: Autoria própria (2022)

Das seis unidades geradoras da usina, quatro foram modernizadas entre 2005 e 2007 e são responsáveis pela geração de 182 MW cada; as outras duas unidades estão sendo modernizadas e são responsáveis pela geração de 175 MW cada. Todas com turbinas verticais tipo Francis, totalizando 1 078 MW, e com garantia física de 502,6 MW médios para comercialização (ENGIE, 2022).

Figura 3 – Vista panorâmica da Usina Hidrelétrica de Salto Osório



Fonte: BAUMGARTNER et al. (2012)

3.2 Materiais

3.2.1 Dados censitários, de Localidades e de Assentamentos

A análise investigativa sobre a realidade socioeconômica dos municípios lindeiros ao reservatório da UHESO utilizou, além da bibliografia existente, dados censitários disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tais como População, Educação, Trabalho e Rendimento, Economia, Meio Ambiente, Padrão de Vida e Distribuição de Rendimentos, permitindo a caracterização do cenário da área de estudo e possibilitando inferir a respeito dos efeitos da instalação e operação da UHE sobre seus contextos.

Para análise contextual dos resultados obtidos foram ainda utilizados dados de localidades disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), bem como dados de Assentamentos de Reforma Agrária (INCRA, 2017).

3.2.2 Dados sobre solos agricultáveis

Para análise pedológica do entorno do reservatório foram utilizados os dados do Mapa de Solos do Estado do Paraná, em arquivo do tipo *shapefile*, que utiliza o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos na Escala: 1:250.000, disponibilizados pela EMBRAPA através do portal GEOINFO (EMBRAPA, 2020).

3.2.3 Imagens orbitais

As imagens orbitais utilizadas neste trabalho foram obtidas a partir da plataforma USGS Earth Explorer (USGS, 2023), disponibilizadas sem custos ao usuário.

Para realização da análise da evolução de uso e cobertura do solo no período anterior (1974) e posterior (1985) à implantação da UHESO utilizou-se imagens da coleção 2, nível 1 (ortorretificadas e radiometricamente calibradas) provenientes do sensor *Multispectral Scanner* (MSS) a bordo dos satélites Landsat 1 e 5, com resoluções espaciais de 79 m e 82 m, respectivamente. A análise da realidade atual (2023) de uso e cobertura do solo foi realizada a partir da imagem orbital proveniente do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 9, que possui resolução espacial de 30 m.

Para validação dos índices espectrais propostos por Wang e Ma (2001) utilizou-se imagens orbitais do sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) a bordo do satélite Landsat 7 em períodos respectivos aos dados de campo limnológicos disponíveis.

Para geração dos índices espectrais de qualidade da água adaptados à área de estudo foram utilizadas imagens da coleção 2, nível 2 (ortorretificadas, radiometricamente calibradas e disponibilizadas em valores de reflectância de superfície) provenientes do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7, cuja resolução espectral é de 30 m.

A Tabela 2 apresenta os dados das imagens orbitais utilizadas nos processamentos deste trabalho, e o Apêndice A apresenta os identificadores das imagens utilizadas.

Tabela 2 – Dados das imagens orbitais utilizadas nos processamentos

Processamento	Ano	Satélite/Sensor	Resolução espacial
Uso e cobertura do solo	1974	Landsat 1/ MSS	79 m
	1985	Landsat 5/ MSS	82 m
	2023	Landsat 9/ OLI	30 m
Validação dos índices de Wang e Ma (2001)	2000 a 2012	Landsat 7/ ETM+	30 m

Geração dos índices espectrais para a área de estudo	1999 a 2013	Landsat 7/ ETM+	30 m
Aplicação dos índices espectrais gerados para análise atual	2023	Landsat 9/ OLI	30 m

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.4 MapBiomias

Utilizou-se, para análise espacial da evolução da paisagem da área de estudo, o mapeamento de uso e cobertura do solo elaborado pelo Projeto MapBiomias (2023) no período entre os anos de 1985 e 2022. Esses mapas, provenientes da coleção 8 do Projeto MapBiomias, foram produzidos a partir da técnica de classificação automática *random forest*, aplicada sobre imagens Landsat, com resolução de 30 metros.

O Projeto MapBiomias, cujo objetivo consiste em mapear as mudanças de superfície do território brasileiro visando “tornar acessível o conhecimento sobre a cobertura e o uso da terra, para buscar a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais, como forma de combate às mudanças climáticas” (PROJETO MAPBIOMAS, 2024), é uma iniciativa do Observatório do Clima, e envolve de forma colaborativa universidades, ONGs e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território com dados a partir de 1985.

3.2.5 Software QGIS

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. Iniciado em 2002 por Gary Sherman, com a denominação de Quantum GIS, cuja primeira versão foi lançada em 2009, o QGIS oferece suporte à visualização, edição e análise de dados geoespaciais. Com possibilidade de funcionamento em diversas plataformas e compatibilidade com outros programas de código aberto, como o PostGIS, GRASS GIS e MapServer, este SIG gratuito é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), um grupo sem fins lucrativos, que apoia o desenvolvimento de tecnologias e dados geoespaciais abertos, proporcionando uma infinidade de funcionalidades e

possibilidades de aplicação em ambientes corporativos e acadêmicos, com diversos complementos desenvolvidos por usuários voluntários (QGIS, 2023).

Neste trabalho a versão 3.16.9 do QGIS foi utilizada para: i) análise social da ocupação no entorno do reservatório da UHESO; ii) análise do uso e cobertura do solo através do processo de Classificação Supervisionada; iii) aplicação e validação dos índices espectrais de qualidade da água propostos por Wang e Ma (2001); iv) coleta de dados espectrais visando a geração e validação dos índices espectrais de qualidade da água adaptados à área de estudo; v) aplicação dos índices espectrais de qualidade da água gerados; vi) processamento dos fluxos de drenagem e temperatura de superfície; além da elaboração dos diversos mapas com apresentação dos resultados obtidos.

3.2.6 Dados de análise de água

Os dados de limnologia para análise da qualidade da água foram disponibilizados pelo Instituto Água e Terra (IAT) e fazem parte do Programa Nacional de Qualidade da Água (PNQA), cuja coordenação das atividades em âmbito nacional é exercida pela Agência Nacional de Águas (ANA), tendo o IAT como órgão estadual de meio ambiente e de gestão de recursos hídricos executando as atividades regionais no Estado do Paraná (IAT, 2023).

Os principais objetivos do PNQA consistem em

- Informar as autoridades, organizações governamentais e instituições públicas e privadas sobre a situação da qualidade das águas dos reservatórios;
- Fornecer ao poder público estadual e municipal informações relevantes para subsidiar a tomada de decisões na alocação de recursos visando a conservação e/ou recuperação ambiental;
- Promover a participação pública no monitoramento e conservação da qualidade das águas dos reservatórios;
- A finalidade do monitoramento é divulgar as informações de qualidade de água, indicando, quando necessário, medidas de saneamento e manejo (profiláticas ou terapêuticas), visando à conservação e/ou recuperação da qualidade das águas destes ecossistemas em função dos seus usos múltiplos (IAT, 2017).

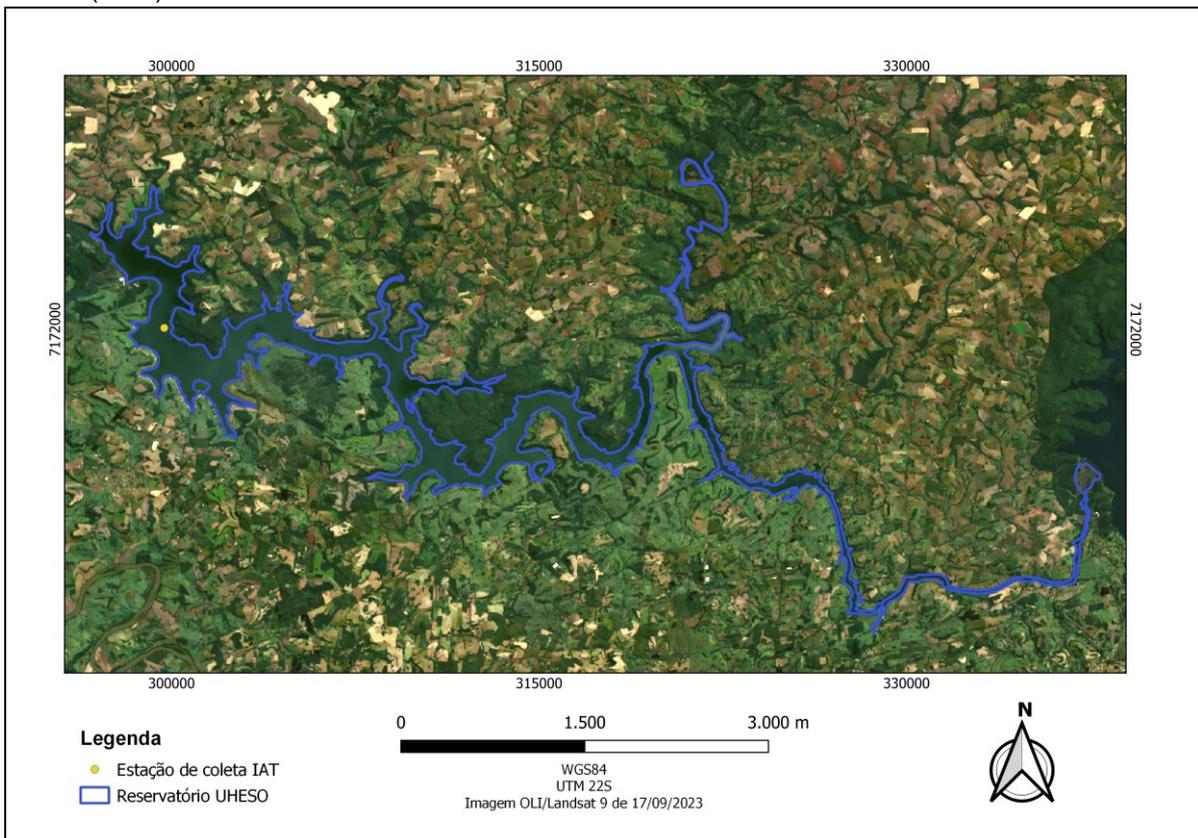
As estações de amostragem foram estabelecidas de acordo com a compartimentalização horizontal de cada reservatório (KIMMEL & GROEGER, 1984 apud IAT, 2017), e a seleção da zona de monitoramento para amostragem representativa do funcionamento do reservatório se deu em região lacustre, próxima à barragem, que de forma geral se apresenta mais larga e profunda). Para determinação da frequência de amostragem considerou-se as principais variações

climáticas, “que podem caracterizar os períodos de melhor ou pior qualidade das águas, isto é, preferencialmente nos períodos em que normalmente ocorrem os processos de estratificação térmica e/ou química e de mistura da coluna de água” (IAT, 2017).

As amostras de água coletadas são encaminhadas para análise para os três laboratórios do IAT certificados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) seguindo a norma de qualidade laboratorial ISO 17 025 que se localizam em Curitiba, Londrina e Toledo. Nesses laboratórios são realizados os testes que avaliam, entre outros parâmetros, as características físicas, químicas e biológicas da água (IAT, 2023).

Neste trabalho foram utilizados os dados limnológicos Oxigênio Dissolvido, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Clorofila A, Turbidez e Resíduos em Suspensão Totais da Estação de coleta Reservatório de Salto Osório (SOS), ilustrada na Figura 4, cujas coordenadas são 299 699 m E e 7 172 062 m N, no sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), zona 22 Sul.

Figura 4 – Localização da Estação de coleta de dados limnológicos do IAT, Reservatório de Salto Osório (SOS)



Fonte: Autoria própria (2024)

3.3 Procedimentos metodológicos

3.3.1 Impactos sociais

Para análise dos efeitos resultantes da instalação e operação da Usina Hidrelétrica de Salto Osório realizou-se uma intensiva investigação sobre a literatura existente, bem como acerca dos dados censitários disponíveis no IBGE. Foi realizada, então, a análise comparativa entre o contexto histórico e socioeconômico municipal e a realidade espacial observada a partir das imagens orbitais de seus produtos de geoprocessamento.

Desta forma, foi possível caracterizar o cenário de cada um dos seis municípios abrangidos pela influência direta do reservatório da hidrelétrica, permitindo inferir acerca dos efeitos desta instalação sobre a realidade dos habitantes e sobre seus contextos.

3.3.2 Impactos ambientais

3.3.2.1 Uso e cobertura do solo

A análise qualitativa e quantitativa do uso e da cobertura do solo foi realizada pelo processo de Classificação Supervisionada – Modelo Gaussiano, a partir do plugin Dzsaka do *software* QGIS. Para isso, selecionou-se uma imagem do período anterior à construção da UHE Salto Osório, do ano de 1974, e outra imagem referente a 10 anos após o início da operação da usina (1985). A imagem de 1974 é proveniente do sensor MSS a bordo do satélite Landsat 1, enquanto a imagem de 1985 é proveniente do mesmo sensor a bordo do satélite Landsat 5. Nestas duas classificações, considerando a resolução espacial de aproximadamente 80 m das imagens orbitais, optou-se por mapear apenas as classes água, solo exposto e vegetação. A análise da evolução do uso e cobertura do solo neste período se deu de forma quantitativa, a partir da contabilização das áreas de cada classe mapeada nas duas datas; e qualitativa.

Visando ainda, uma análise próxima da atualidade sobre a dinâmica do uso e cobertura do solo, realizou-se, também, a Classificação Supervisionada pelo mesmo método supracitado, sobre uma imagem orbital do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 9, adquirida em 17 de setembro de 2023. Nesta classificação, cuja imagem orbital possui resolução espacial de 30 metros, foi possível mapear as classes água,

solo exposto, mata, cultura agrícola, pastagem e área urbana, proporcionando uma análise mais detalhada da área de estudo (FRANK, 2014). Em se tratando de uma imagem com resolução espacial significativamente discrepante das cenas de 1974 e 1985, optou-se por realizar a análise da evolução de uso e cobertura do solo apenas de forma qualitativa para o período de 2023.

É relevante mencionar que a composição colorida das cenas apresentadas nas Figuras 5 a 7 foram determinadas com base na disponibilidade de bandas para os três sensores utilizados, de forma que se contribuíssem para a compatibilidade da análise nos três períodos e proporcionassem ao leitor uma aparência o mais intuitiva possível. Desta forma, foi atribuída a cor azul à banda espectral do comprimento de onda verde, a cor verde à banda espectral relativa ao comprimento de onda infravermelho próximo e a cor vermelha ao comprimento de onda vermelho.

3.3.2.2 Projeto MapBiomass

Foi realizada uma análise minuciosa sobre os mapas de uso e cobertura do solo elaborados pelo Projeto MapBiomass (SOUZA et al., 2020) entre os anos de 1985 e 2022, com intervalo de 10 anos entre eles, exceção dada ao último intervalo, que é de 7 anos. Como já mencionado, a técnica de classificação utilizada para elaboração desses mapas foi a automática *random forest*, aplicada sobre imagens Landsat, com resolução de 30 metros. É pertinente esclarecer que a classe Mosaico de usos refere-se a “áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura” (SOUZA et al., 2020)

3.3.2.3 Ocupação de solos agricultáveis

A análise pedológica do entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório foi realizada a partir da análise conjunta entre o Mapa de solos do estado do Paraná (EMBRAPA, 2020) e da revisão bibliográfica acerca das características dos tipos de solo da área de estudo e sua ocupação.

3.3.2.4 Índices espectrais de qualidade da água por Wang e Ma (2001)

Para avaliação da coerência espacial de distribuição dos parâmetros de qualidade da água propostos por Wang e Ma (2001), o processamento dos índices foi adaptado e efetuado conforme apresentado na seção 2.2.1, sobre uma imagem orbital

atual, proveniente do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 9, adquirida em 17 de setembro de 2023, com Sistema de Referência WGS 84 e Sistema de Projeção UTM Zona 22 Sul. Para renderização cromática dos resultados utilizou-se o intervalo por quartis, que é capaz de proporcionar uma melhor visualização da distribuição espacial reprimindo eventuais *outliers* de regiões nas bordas terrestres do reservatório.

A fim de avaliar a acurácia das variáveis hidrológicas propostas por Wang e Ma (2001), aplicadas sobre a área de estudo de interesse desta tese, foi realizada a validação dos índices espectrais a partir de dados limnológicos cordialmente disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) e pelo Instituto Água e Terra (IAT). Para tanto, realizou-se a aplicação dos índices de Wang e Ma (2001) adaptados para imagens orbitais do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7, respectivas às datas das análises de campo disponíveis dentro do perímetro do reservatório, utilizando-se o software QGIS 3.16.9.

Constatando-se a não correspondência entre os resultados espectrais propostos por Wang e Ma (2001) no contexto da UHE Salto Osório, observou-se necessária a composição de índices hidrológicos espectrais que representassem a realidade da área de estudo, para alcançar o objetivo de fornecer artifícios para a análise ambiental por Sensoriamento Remoto no contexto da UHE Salto Osório.

3.3.2.5 Índices espectrais adaptados à área de estudo

Considerando, então, a necessidade de geração de índices hidrológicos espectrais direcionados à realidade da área de estudo e avaliando a abundância de dados de campo de parâmetros hidrológicos disponíveis e, ainda, ponderando as particularidades inerentes a cada reservatório superficial, além da distribuição irregular temporal e espacial das informações limnológicas, optou-se por utilizar os dados localizados sobre o reservatório da UHE Salto Osório para geração de tais índices espectrais. Não foram disponibilizados dados referentes à variável Coliformes Termotolerantes, o que inviabilizou o estudo sobre este parâmetro.

Estabeleceu-se, assim, as expressões para determinação das variáveis Clorofila a, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Oxigênio Dissolvido (OD) e Turbidez, de acordo com as equações (7) a (13). Uma vez que os dados de campo disponibilizados abrangiam o intervalo entre os anos de 1999 e 2013, optou-se por determinar os índices espectrais a partir das imagens do sensor ETM+ a bordo do

satélite Landsat 7, que cobria o intervalo temporal requerido e dispunha de uma resolução espacial razoável (30 metros para as bandas multiespectrais), e cujas bandas espectrais, tratadas como B1, B2, B3, B4, B5 e B7 nas expressões, referem-se, respectivamente às faixas espectrais relativas aos comprimentos de onda azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho médio, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Bandas espectrais do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7, utilizadas para determinação dos índices espectrais de qualidade da água

Banda	Faixa espectral (comprimento de onda)
B1	Azul (0,45 – 0,52 μm)
B2	Verde (0,50 – 0,60 μm)
B3	Vermelho (0,63 – 0,69 μm)
B4	Infravermelho Próximo (0,76 – 0,90 μm)
B5	Infravermelho Médio (1,55 – 1,75 μm)
B7	Infravermelho Médio (2,08 – 2,35 μm)

Fonte: Adaptado de NASA (2023)

Ainda se mostra indispensável apontar a impossibilidade de se obter imagens orbitais viáveis exatamente na mesma data da coleta de campo. Assim, utilizou-se as imagens orbitais viáveis de datas o mais próximo possível dos dados limnológicos, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Datas das coletas de amostras em campo e de aquisição das imagens orbitais respectivas

Data da Coleta Campo IAT	Data da Imagem Landsat 7	Defasagem temporal (dias)
03/08/1999	29/07/1999	-5
12/04/2000	10/04/2000	-2
13/09/2000	03/10/2000	20
27/03/2001	28/03/2001	1
20/03/2002	15/03/2002	-5
26/03/2003	18/03/2003	-8
01/04/2004	05/04/2004	4
30/09/2004	14/10/2004	14
03/08/2005	29/07/2005	-5
15/03/2006	10/03/2006	-5
04/10/2006	18/09/2006	16
28/03/2007	29/03/2007	1
25/07/2007	03/07/2007	-22
23/07/2008	21/07/2008	-2

15/04/2009	19/04/2009	4
27/01/2010	01/02/2010	5
07/07/2010	27/07/2010	20
06/07/2011	14/07/2011	8
11/04/2012	11/04/2012	0
24/10/2012	05/11/2012	12
19/06/2013	03/07/2013	14

Defasagem temporal: (data de aquisição da cena Landsat 7 - data de coleta da amostra de campo)
 Fonte: Autoria própria (2023)

Os produtos orbitais utilizados são provenientes do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7 e foram obtidos a partir da plataforma USGS Earth Explorer, cuja correção atmosférica, conversão de valores digitais em reflectância de superfície e correções geométricas já são disponibilizadas. Foram realizados, então, o recorte da área de interesse e a aquisição dos dados de reflectância de cada pixel correspondente à localização da coleta das amostras de campo.

Inicialmente, buscou-se adquirir os dados de pixels vizinhos em uma janela de 3x3 ao redor da localização da amostra de campo, utilizando a mediana como medida de tendência central, na busca por evitar valores anômalos ou contaminados pela vizinhança. Entretanto, em se tratando de uma resolução espacial de 30 metros, observou-se desnecessária esta manipulação, uma vez que cada pixel já representa um valor médio para sua área de abrangência. Os resultados corroboraram para esta conclusão, ao se apresentarem semelhantes entre dados de entrada provenientes do pixel mediano e do pixel central, sendo para este último, ligeiramente melhores.

A metodologia adotada para composição dos índices constituiu, inicialmente, em determinar a correlação entre os dados de campo e os dados espectrais de cada banda através do método de Correlação de Pearson (STANTON, 2001). É válido salientar que os valores de Correlação de Pearson obtidos (Tabela 5) mostram-se significativamente reduzidos para a maior parte do conjunto de dados, o que pode ter influenciado diretamente na qualidade dos modelos.

Tabela 5 – Valores de correlação de Pearson entre os parâmetros de qualidade da água e as bandas espectrais

Bandas/ Parâm.	Turbidez	NT	DQO	DBO	OD	PT	Clorof. a
B1	0,142	0,175	-0,439	-0,015	-0,015	0,481	-0,210
B2	0,110	0,194	-0,532	-0,101	-0,101	0,555	-0,159
B3	0,111	0,151	-0,580	-0,189	-0,189	0,511	-0,209
B4	-0,035	0,077	-0,336	-0,117	-0,117	0,191	-0,316
B5	-0,017	0,039	-0,275	-0,079	-0,079	0,210	-0,349

B7	0,014	0,001	-0,292	-0,098	-0,098	0,177	-0,356
----	-------	-------	--------	--------	--------	-------	--------

Fonte: Autoria própria (2023)

Posteriormente, utilizando-se as bandas com melhor correlação para cada parâmetro de qualidade da água, traçou-se o gráfico de dispersão confrontando a banda espectral e os dados de campo, atribuindo-se a linha de tendência com função polinomial de ordem 2, que melhor se ajustou aos dados, e determinando-se sua equação. Esta aderência foi verificada a partir da variável R^2 , que mede a confiabilidade da linha de tendência em que, quanto mais próximo 1, melhor é o ajuste da linha de tendência aos dados. É evidente que, quanto maior a ordem da função polinomial da linha de tendência, maior sua aderência aos dados; entretanto, observou-se que a complexidade da função se mostrava desproporcional ao irrelevante incremento da confiabilidade em ordens superiores a 2, fazendo com que se optasse por mantê-la nesta ordem.

A partir da análise dos gráficos e das variáveis foi realizada a adequação dos dados em situações em que se detectou a presença de *outliers*, para que não prejudicassem o desempenho do modelo global.

Foi então realizada a aplicação da equação polinomial referente à linha de tendência sobre os dados provenientes das bandas espectrais individualmente, obtendo-se coeficientes espectrais associados à realidade de campo.

Para ponderação das bandas e associação das mesmas a um modelo unificado para cada variável, utilizou-se o método Paramétrico de Ajustamento de Observações (GAUSS, 1795; LEGENDRE, 1805 apud GEMAEL, 1994), cujo objetivo é proporcionar uma solução única para problemas onde o número de observações é redundante e o sistema de equações inconsistente, a partir do qual obteve-se uma expressão consolidada para determinação preditiva de variáveis de qualidade da água.

Para aplicação do método Paramétrico de Ajustamento de Observações determinou-se a matriz dos coeficientes a partir dos dados espectrais adequados à equação polinomial, anteriormente descrita, e considerou-se a mesma precisão para as observações em diferentes datas.

Por fim, para validação dos modelos matemáticos gerados, selecionou-se previamente uma amostra de dados não utilizados para composição do modelo e, uma vez que a distribuição dos dados de campo se aproximava da distribuição Qui-

quadrado, adaptou-se a aplicação do teste estatístico Qui-quadrado de Pearson (PEARSON, 1900), a 5% de significância. O número de amostras de treinamento e de validação sofreu variações entre os índices espectrais em virtude de limitações nos dados de campo disponíveis, ora pela indisponibilidade de dados de uma variável, ora por se tratar de um valor *outlier*, que poderia comprometer os resultados.

A aplicação do Teste Qui-quadrado considerou, como hipótese nula, a igualdade entre os valores observados para cada parâmetro a partir da aplicação dos modelos gerados e os dados de campo; enquanto a hipótese alternativa considerou a discrepância entre estes dois valores para cada parâmetro.

Posteriormente, os índices espectrais determinados foram empregados sobre uma imagem orbital atual, proveniente do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 9, adquirida em 17 de setembro de 2023, a fim de estimar a sua aplicabilidade e coerência com a realidade do Reservatório de Salto Osório.

Para auxiliar na análise dos resultados obtidos para os parâmetros de qualidade da água, ainda foram gerados um mapa de Temperatura de Superfície e um mapa de Direção de Fluxos a partir do *software* QGIS.

O mapa de Temperatura de Superfície foi elaborado a partir do processamento da banda 10 (10.6 – 11.19 μm) do sensor termal TIRS 1, a bordo do satélite Landsat 9, cuja resolução espacial é de 100 metros (USGS, 2023). A data de aquisição da imagem termal coincide, intencionalmente, com a data de aquisição das imagens multiespectrais sobre as quais foram realizadas a aplicação dos índices (17 de setembro de 2023).

O mapa de Direção de Fluxos, que proporciona a visualização dos canais de drenagem na área de estudo foi elaborado a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) Topodata (INPE, 2008) no *software* QGIS, através da ferramenta *r.watershed*, disponível no módulo GRASS.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 Impactos sociais

Criada em 1968 como uma filial da Eletrobras no sul do Brasil, a Eletrosul esteve responsável pela UHE Salto Osório até 23 de dezembro de 1997, quando deu origem à Gerasul (Centrais Geradoras do Sul do Brasil) por um processo de cisão. Em 15 de novembro de 1998 a Gerasul, privatizada, foi vendida à empresa belga Tractebel Electricity & Gas International que, em 2016, passou a ser denominada Engie Brasil, a maior geradora privada do Brasil, permanecendo até os dias atuais na administração da UHE Salto Osório (CMEB, 1988; ECSA, 2002; ENGIE 2022).

De acordo com a ECSA (2002a), o reservatório da UHE Salto Osório teve seu enchimento iniciado em maio de 1975 e atingiu a extensão de 70km, com área aproximada de 55km² e capacidade total de armazenamento de 1,124 bilhões de metros cúbicos. O nível normal máximo de operação situa-se na cota 397,00 m (acima do nível do mar), com o nível máximo na altitude de 398,00 m, a partir da qual foi definida a faixa de desapropriação, e o mínimo de operação na cota 389,00m. Para constituição da Faixa de Segurança junto às suas margens do reservatório, foram adquiridas todas as propriedades situadas abaixo do nível 398,00m. A desapropriação se deu por meio de declaração de utilidade pública e foram financiadas pela sociedade, o que as tornou bem público, cuja administração é de responsabilidade da concessionária. É relevante ressaltar que o ressarcimento se limitou às terras, com prejuízos aos proprietários pelas benfeitorias perdidas.

Seis municípios são banhados pelo lago em seus 220 km de perímetro; Quedas do Iguaçu e Rio Bonito do Iguaçu; São Jorge d'Oeste, São João, Sulina e Saudade do Iguaçu.

O processo histórico de ocupação do território no centro-oeste e sudoeste do Paraná definiu uma distribuição fundiária com predominância de pequenas propriedades de exploração unifamiliar. Tal característica foi intensificada no município de Rio Bonito do Iguaçu, às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório, onde foi implantado pelo INCRA, em meados da década de 90, o maior assentamento de agricultores sem-terra do país, destinado a 1 578 famílias, embora deva-se ressaltar que na área próxima ao reservatório existem, também, propriedades de grande extensão destinadas à exploração florestal (ARAUPEL) o que constitui uma característica local singular em relação à estrutura fundiária regional. Descendentes dos primitivos habitantes da região, os índios Kaingang e Guaranis, ocupam atualmente as reservas de Mangueirinha e Chopinzinho, nos municípios de mesmo nome, em regime comunal de ocupação e manejo da terra (ECSA, 2002b)

O Plano da ECSA (2002a) estima em 55 km² a área ocupada pelo reservatório, o equivalente a 5500 hectares. Sendo a faixa de desapropriação definida na cota de 398,00 metros, a área efetiva de desapropriação foi de 40,32 km², dos quais 20,72 km² do município de Quedas do Iguaçu, 2,61 km² de Rio Bonito do Iguaçu, 2,59 km² de São João, 12,11 km² de São Jorge d'Oeste, 0,47 km² de Saudade do Iguaçu e 1,82 km² de Sulina (BRASIL, 1993). As ilhas, mesmo sendo áreas de terras acima da cota de desapropriação do reservatório, também foram efetivamente desapropriadas pela Tractebel Energia, fazendo, ainda, parte de seu patrimônio. De acordo com a ECSA (2002a), a desapropriação dessas áreas foi realizada através de declaração de utilidade pública e financiadas pela sociedade, tornando-as bem público, cuja administração concentra-se sob responsabilidade da Tractebel Energia.

Ainda de acordo com o Plano (ECSA, 2002a), de modo geral, a apropriação espacial da borda do reservatório vem se dando de forma indisciplinada e clandestina, sem conhecimento das instituições públicas municipais ou fiscalização dos órgãos competentes. Em sua maior parte, as apropriações da borda do lago dão-se de forma particular exclusiva da borda do lago, impedindo o acesso do público, criando uma barreira física e até visual, com loteamentos clandestinos, que não cumpriram a legislação quanto à reserva de áreas verdes mínimas, faixas de preservação permanente, obras de infraestrutura, etc.

Nota-se a emergente necessidade de fiscalização de tais áreas, com o intuito de “desprivatizar” o acesso ao reservatório, de modo a contribuir com o livre acesso a este recurso natural que é o Rio Iguaçu.

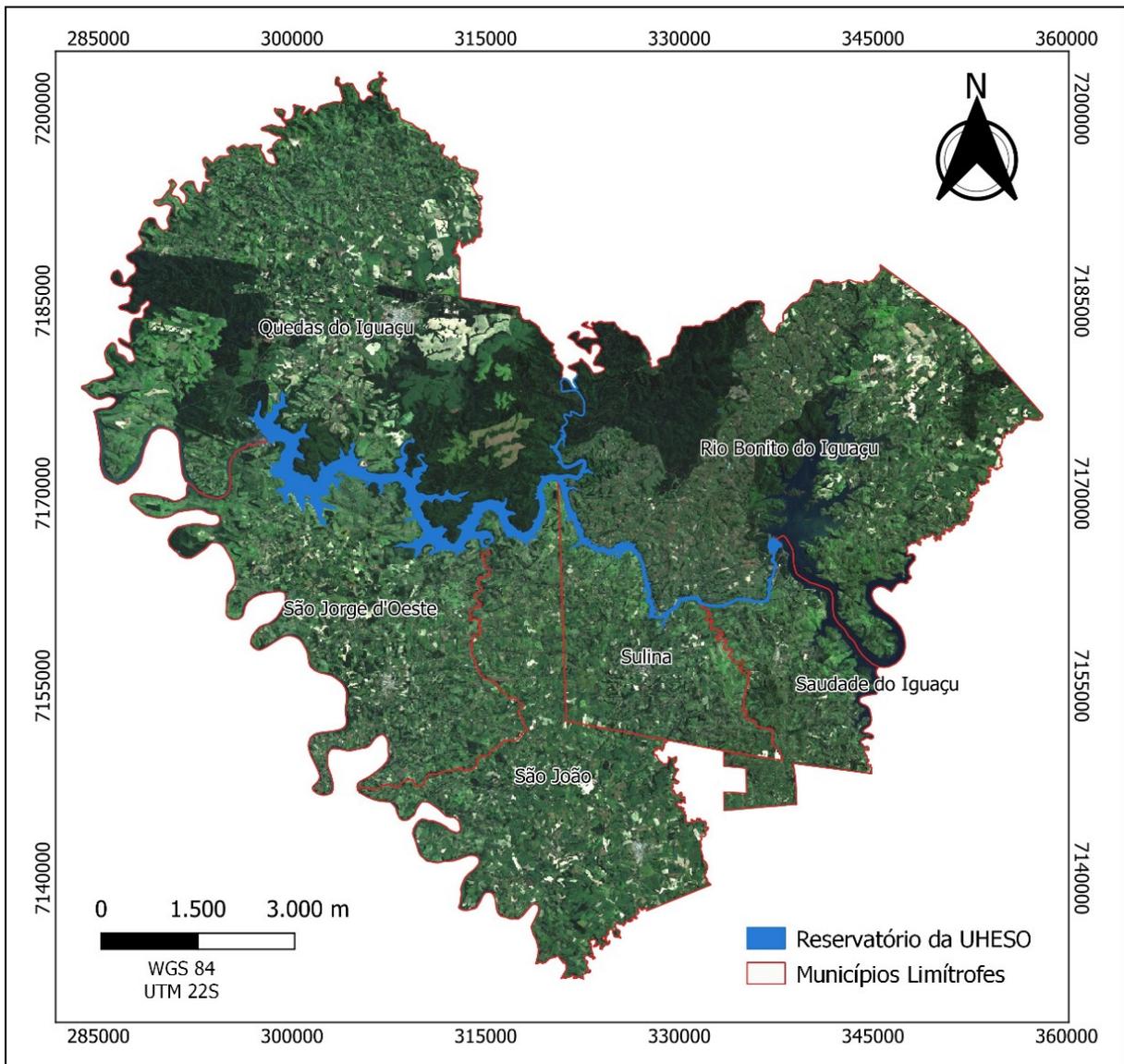
Apesar da energia elétrica configurar o principal uso do reservatório da UHE Salto Osório, suas características como qualidade da água, operação a fio d'água e baixo deplecionamento, favorecem também outras modalidades de utilização, como lazer e turismo, exemplificados pelos empreendimentos do Distrito Turístico de São Bento dos Lagos do Iguaçu no município de São Jorge d'Oeste e Parque Aquático Municipal de Quedas do Iguaçu.

Segundo o Plano (ECSA, 2002a), o acesso às águas do reservatório ainda permite seu uso para pesca/piscicultura; turismo, recreação e lazer; abastecimento público; irrigação (desde que com prévia autorização da Tractebel Energia e concessão do órgão Público competente para a derivação de águas públicas – ANEEL a nível Federal e IAP a nível Estadual) e dessedentação de animais.

Percebe-se a diversidade de aproveitamentos que podem derivar da utilização do reservatório, principalmente em suas margens, quando antes de sua implantação não era possível. Assim, compreende-se a necessidade de avaliar não apenas os prejuízos ocasionados pelas UHE, mas também balancear eventuais benefícios que venham a ser acarretados.

A Figura 4 apresenta os municípios limítrofes ao reservatório, cuja realidade sobre o uso e a cobertura do solo foram discutidos individualmente. O mapa foi elaborado com os limites municipais sobrepostos à imagem orbital do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 9, adquirida em 17 de setembro de 2023.

Figura 4 - Municípios do entorno do reservatório sobrepostos à imagem OLI/Landsat 9 de 17 de setembro de 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.1 Quedas do Iguaçu

Entre 1930 e 1932 o estado do Paraná decidiu formar o primeiro núcleo de colonização e povoamento das margens do Rio Iguaçu, firmando-se um convênio com representantes do Governo Polonês para que a região fosse povoada por imigrantes poloneses. Para tanto, organizou-se a Companhia Mercantil Paranaense S/A, com sede em Curitiba. Os primeiros imigrantes poloneses (cerca de 80 famílias) vieram do Rio Grande do Sul e constituíram a Colônia Jagoda (cujo nome traduzia a esperança dos imigrantes de que a semente lançada germinasse e frutificasse). Naquela época, havia muitos animais selvagens, o que dificultava as primeiras plantações, junto à necessidade de desmatamento dos grandes pinheiros presentes na região. A colônia Jagoda contava com farmácia, granja, armazém, matadouro, serraria e escola. O transporte era feito por carroças e as estradas eram abertas com artefatos domésticos, como arados, pás, enxadas, etc. Em 18 de dezembro de 1967 o até então distrito de Laranjeiras do Sul, denominado Campo Novo, emancipou-se a município pela lei 5.668, recebendo, em 14 de julho de 1970, pela lei estadual nº 6 126, a atual denominação de Município de Quedas do Iguaçu (PREFEITURA MUNICIPAL DE QUEDAS DO IGUAÇU, 2023).

Enquanto em 1991 o município possuía uma população de 31 509 habitantes, sendo 16 155 vivendo em área urbana e 15 354 na área rural, em 2000, a população total somava 27 365 habitantes, dos quais 19 630 residiam na cidade e 7 735 na zona rural. Já em 2010, a população urbana atingiu 20 988 cidadãos, ao passo que a população rural passou a 9 597 habitantes (IBGE 1992; 2001; 2011).

Atualmente, o município de Quedas do Iguaçu possui uma população de 30 738 habitantes e área territorial de 821,503 km², que implica em uma densidade demográfica de 37,42 habitante por quilômetro quadrado. Em 2021, a renda média mensal da população era de 2 salários mínimos, enquanto a proporção de pessoas ocupadas somava 20%. Contando com 32 escolas de ensino fundamental e 13 de ensino médio, em 2010 a escolarização de 6 a 14 anos de idade alcançava 97,1% da população, enquanto IDH foi determinado em 0,681. Com 16 estabelecimentos de saúde SUS elencados em 2009, o índice de mortalidade Infantil foi estimado em 2,08 óbitos por mil nascidos vivos em 2020. Em 2019 a área urbanizada foi estimada em 9,88 km², com apenas 8,8% das vias públicas urbanizadas, cuja arborização somava

78,2% em 2010. Neste ano, o percentual de esgotamento sanitário adequado foi calculado em 41,3% (IBGE, 2020a).

Quedas do Iguaçu possui um Produto Interno Bruto de aproximadamente R\$ 1,3 bilhão com um PIB per capita de R\$ 37,5 mil. Na distribuição do PIB predomina a indústria com 51,82%, seguida do setor terciário com 20,87%, da agropecuária com 14,67%, e da administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social com 12,64% (IBGE, 2020a). A compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos no território municipal pela Usina de Salto Osório, foi estimada em R\$ 203 000,00/mês (ECSA, 2002a). Em setembro de 2023 a compensação financeira foi de R\$ 562 135,18 (ANEEL, 2023).

Na área pertencente ao município de Quedas do Iguaçu, observa-se grandes extensões de matas nativas (propriedade da Araupel S/A) intercaladas por manchas de reflorestamento, poucas áreas de lavouras, pastagens e capoeiras. Junto à barragem, a Prefeitura, incentivada pela GERASUL (atual Tractebel Energia), implementou o Parque Aquático Municipal, com uma praia artificial e estruturas destinadas ao esporte e turismo, visando proporcionar à comunidade opções de lazer, escassas na região, tornando o local bastante acessado, principalmente na estação de verão, onde estimou-se, em 1998, a taxa de aproximadamente 8 000 visitantes por mês. Entre os eventos culturais do município destacam-se as festas juninas, o festival da canção, a semana do folclore e o concurso literário, além das duas grandes festas do trabalhador e a exposição e feira agropecuária (ECSA, 2002a).

4.1.2 Rio Bonito do Iguaçu

Em meados do século XX inúmeras sesmarias foram distribuídas a desbravadores interessados em povoar os Campos Gerais, entre as quais a sesmaria dos Nogueiras. Nesta época essa região era amplamente ocupada por povos indígenas do grupo Kaingang, que se dividiam entre Dorins, Kamés e Votoros (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO DO IGUAÇU, 2023).

A família Nogueira que teve na figura de José Nogueira do Amaral seu grande nome, abriu um picadão na mata virgem, ligando as margens do Iguaçu à antiga estrada carroceria de Foz do Iguaçu. Com o passar dos anos a localidade foi sendo povoada, mesmo que parcialmente, por famílias que objetivavam crescer social e economicamente com a região (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO DO IGUAÇU, 2023).

A área hoje ocupada pelo município de Rio Bonito do Iguaçu sofreu grande influência do Território Federal do Iguaçu, criado em 1943 visando a soberania nacional sobre as regiões de fronteira e cuja capital foi Laranjeiras do Sul. Neste período, já havia se formado no lugar um pequeno povoado, que foi aumentando com a crescente onda migratória, principalmente de origem alemã e italiana. Em 30 de novembro de 1953, pela Lei nº 19, criou-se o Distrito Administrativo de Rio Bonito, com território pertencente ao município de Laranjeiras do Sul. Em 1986 instituiu-se o Conselho de Desenvolvimento Comunitário de Rio Bonito, cuja principal ambição era a emancipação política do distrito, sendo conquistada em 3 de abril de 1990, através da Lei Estadual nº 9 222, sancionada pelo então governador Álvaro Fernando Dias, com instalação oficial em 01 de janeiro de 1993. Em 1968 a região até então explorada por safrista, caracterizada por desmatamento para cultivo de milho e engorda de suínos, a serem comercializados em Ponta Grossa, passou a contar também com o plantio extensivo e a comercialização de produtos agrícolas, antes destinados apenas à subsistência. Nesta época a população regional já contava com migrações de várias famílias vindas principalmente do Rio Grande do Sul (de descendência principalmente alemã, polonesa e italiana, o que promoveu a composição étnica da população) em busca de terras mais produtivas, proporcionando um grande avanço na agricultura (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO DO IGUAÇU, 2023).

Enquanto em 1991 Rio Bonito do Iguaçu ainda não havia sido emancipada a município, em 2000, a população total somava 13 786 habitantes, dos quais 1 877 residiam na cidade e 11 909 na zona rural. Já em 2010, a população urbana atingiu 3 325 cidadãos, ao passo que a população rural passou a 10 335 habitantes. (IBGE 2001; 2011).

Atualmente, o município de Rio Bonito do Iguaçu possui uma população de 13 929 habitantes e área territorial de 681,406 km², que implica em uma densidade demográfica de 20,44 habitantes por quilômetro quadrado. Em 2021 a renda média mensal da população era de 2 salários mínimos, enquanto a proporção de pessoas ocupadas somava 10,3%. Contando com 17 escolas de ensino fundamental e 6 de ensino médio, em 2010 a escolarização de 6 a 14 anos de idade alcançava 97,6% da população, enquanto IDH foi determinado em 0,629. Com 7 estabelecimentos de saúde SUS elencados em 2009, o índice de mortalidade Infantil foi estimado em 21,19 óbitos por mil nascidos vivos em 2020. Em 2019 a área urbanizada foi estimada em 2,49 km², com 21,1% das vias públicas urbanizadas, cuja arborização somava 73,9%

em 2010. Neste ano, o percentual de esgotamento sanitário adequado foi calculado em apenas 7,9% (IBGE, 2020b).

Rio Bonito do Iguaçu possui um Produto Interno Bruto de aproximadamente R\$ 400 milhões com um PIB per capita de R\$ 30,8 mil. Na distribuição do PIB predomina a Agropecuária com 53,7%, seguida do setor terciário com 26%, da administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social com 16,6% e da indústria com 3,6% (IBGE, 2020b). A compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos no território municipal pela Usina de Salto Osório foi estimada em R\$ 22 400,00/mês e mais R\$ 142 600,00/mês da Usina de Salto Santiago, localizada a leste da UHE Salto Osório (ECSA, 2002a). Em setembro de 2023 a compensação financeira da Usina Salto Osório foi de R\$ 64 020,90; e da Salto Santiago, R\$ 374 260,55 (ANEEL, 2023).

De acordo com a ECSA (2002a), a realidade ambiental do entorno do reservatório foi drasticamente modificada em meados da década de 90, em decorrência do assentamento pelo INCRA de 1 578 famílias de sem-terra em suas áreas limítrofes do reservatório no município de Rio Bonito do Iguaçu, em que matas nativas foram substituídas pela agricultura (pastagens, terras em descanso – capoeiras/macegas – e lavouras), com a preservação de uma pequena faixa ciliar de mata ao longo do lago, braços e afluentes de rios. Entretanto, é importante ressaltar a existência, na área próxima ao reservatório, de latifúndios destinados à exploração florestal da Araupel, o que constitui uma característica local singular em relação à estrutura fundiária regional.

As principais festas do município são a Festa do Padroeiro, Santo Antônio, a Festa de Emancipação e Festa do Milho. O turismo do município é sustentado pelos aspectos geográficos da região, que proporcionam experiências memoráveis junto à natureza, como o Canyon formado pelo antigo leito do Rio Iguaçu; as grandes quedas d'água, cachoeiras e o lago artificial da Usina de Salto Santiago, que forma o Balneário do Alagado; a Estância Hidromineral e Termal; a Reserva Florestal de 4 300 hectares de floresta nativa e o próprio Rio Iguaçu ao sul do município (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO DO IGUAÇU, 2023).

4.1.3 São Jorge d'Oeste

São Jorge d'Oeste teve como pioneiro o coronel Henrique José Rupp que, morando em Joaçaba, junto à sua equipe de trabalho forneciam material e serviço

(dormentes) para Companhia de Estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande (EFSPRG). O pagamento tardio pelos serviços prestados foi realizado pela União através do repasse das glebas "Missões" e "Chopim", de propriedade da EFSPRG, localizadas no estado do Paraná, comarca de Clevelândia. O local era conhecido via aérea. As terras eram identificadas pelas proximidades de Foz do Iguaçu (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JORGE D'OESTE, 2023).

A primeira expedição em busca das novas terras veio em 1953, composta pelo coronel José Rupp, Angelo Baldi e vários peões como Bastião Velho, Xico Touro, Valdemar Dente, Negro Cordeiro e alguns que haviam se instalado nas terras muito antes da expedição dentre eles estava Negrote e Pedro só. São Jorge D'Oeste teve o início de sua colonização nos anos de 1954/1955, quando procedente do município de Mariópolis, neste estado, embrenharam-se nas matas virgens da região o senhor José Rupp acompanhado de seu filho José Henrique Rupp e de seu sobrinho Ary Francisco Rupp. Estes desbravadores iniciaram sua caminhada no lugar conhecido hoje como Águas do Verê. Transpuseram o rio Chopim e acamparam num terreno menos acidentados e, com boas águas, onde está localizada a sede do município (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JORGE D'OESTE, 2023).

Mais tarde, em 1958, famílias de cidades vizinhas chegaram à região para fortalecer a colonização a partir do cultivo de colônias de 10 alqueires cedidas pelos desbravadores José Rupp e Dr. Antônio Conceição Paranhos. Em 1959 foi aprovada a planta da cidade. Em 1962 a cidade se elevou a Distrito Administrativo do Município de São João, e em 24 de junho de 1963 foi elevada à categoria de Município. A economia baseia-se principalmente na exploração da criação de gado de corte e leite, frangos de corte, suínos, milho, trigo, feijão, soja, indústrias e no turismo com os Lagos do Iguaçu, hoje um polo turístico do Sudoeste do Paraná (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JORGE D'OESTE, 2023).

Enquanto em 1991 o município possuía uma população de 10 321 habitantes, sendo 3 847 vivendo em área urbana e 6 474 na área rural, em 2000, a população total somava 9 311 habitantes, dos quais 4 512 residiam na cidade e 4 799 na zona rural. Já em 2010, a população urbana atingiu 5 214 cidadãos, ao passo que a população rural passou a 3 871 habitantes. (IBGE 1992; 2001; 2011).

Atualmente o município de São Jorge d'Oeste possui uma população de 9 378 habitantes e área territorial de 379,545 km², que implica em uma densidade demográfica de 24,71 habitantes por quilômetro quadrado. Em 2021 a renda média mensal da população era de 2,1 salários mínimos, enquanto a proporção de pessoas ocupadas somava 27,2%. Contando com 12 escolas de ensino fundamental e 2 de ensino médio, em 2010 a escolarização de 6 a 14 anos de idade alcançava 98,9% da

população, enquanto IDH foi determinado em 0,722. O município possuía 12 estabelecimentos de saúde SUS elencados em 2009. Em 2019 a área urbanizada foi estimada em 5,21 km², com 24,3% das vias públicas urbanizadas, cuja arborização somava 49,2% em 2010. Neste ano, o percentual de esgotamento sanitário adequado foi calculado em 38,7% (IBGE, 2020c).

São Jorge d'Oeste possui um Produto Interno Bruto de aproximadamente R\$ 350 milhões, com um PIB per capita de R\$ 39,2 mil. Na distribuição do PIB predomina a Agropecuária com 55,6%, seguida do setor terciário com 20,5%, da administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social com 16,2% e da indústria com 7,7% (IBGE, 2020c). A compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos no território municipal pela Usina de Salto Osório foi estimada em R\$ 122 100,00/mês (ECSA, 2002a). Em setembro de 2023 a compensação financeira foi de R\$ 444 575,78 (ANEEL, 2023).

O município de São Jorge d'Oeste se destaca pelo uso intensivo das bordas do reservatório para lazer e turismo rural, veiculados pelo favorecimento da topografia local. Com ocupações ribeirinhas iniciadas, em grande parte irregularmente, na década de 80, houve o desencadeamento de diversos processos judiciais de desocupação por parte da proprietária Tractebel Energia.

Atualmente a região conta com inúmeras estruturas de lazer comunitário e propriedades privadas, além de um grande Centro de Convenções construído pela Prefeitura Municipal, cujo cenário proporciona grande atratividade ao município (ECSA, 2002a).

As principais festas do município são Festa de São Jorge, Padroeiro do Município; Festa da Uva; Rodeio Crioulo Interestadual; Oktoberfest e Festival Guerreiro da Canção (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JORGE D'OESTE, 2023).

4.1.4 São João

São João, município cujo topônimo tem por referência o rio do mesmo nome, originou-se com a chegada, em 1920, das famílias Marcondes, Félix e Vieira dos Santos, oriundas de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que vieram atraídas pela madeira em abundância (em 1950 iniciou-se a exploração madeireira com a instalação da primeira serraria, cuja atividade perdurou até 1970) e fertilidade do solo. A princípio sua subsistência baseava-se na caça e criação de suínos, trocados por ferramentas e mantimentos e, tratando-se de um lugar de mata virgem, as primeiras casas eram

construídas com pau a pique ou madeira lascada. Em 1925 os pioneiros deram início à abertura da estrada até Chopinzinho, sendo em 1936 construída a primeira capela com missa realizada pelo Frei Timóteo de Palmas. O crescimento do povoado elevou-o a Distrito do Município de Mangueirinha em 1954 e, em 1955, com a emancipação política de Chopinzinho, passou a pertencer a este, como distrito. Em 25 de julho de 1960, pela lei nº 4 245, São João alcançou a emancipação político-administrativa. Atualmente ganham destaque as Cooperativas de grande porte com sede no município, como a Cooperativa Agroindustrial COASUL e a SICREDI Iguaçu, com sedes no Município, e a implantação do Frigorífico de Aves da COASUL (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO, 2023).

Enquanto em 1991 o município possuía uma população de 13 661 habitantes, sendo 4 775 vivendo em área urbana e 8 886 na área rural, em 2000, a população total somava 11 208 habitantes, dos quais 5 790 residiam na cidade e 5 418 na zona rural. Já em 2010, a população urbana atingiu 6 746 cidadãos, ao passo que a população rural passou a 3 861 habitantes (IBGE 1992; 2001; 2011).

Atualmente o município de São João possui uma população de 11 886 habitantes e área territorial de 388,06 km², que implica em uma densidade demográfica de 30,63 habitantes por quilômetro quadrado. Em 2021 a renda média mensal da população era de 1,4 salários mínimos, enquanto a proporção de pessoas ocupadas somava 31,6%. Contando com 13 escolas de ensino fundamental e 2 de ensino médio, em 2010 a escolarização de 6 a 14 anos de idade alcançava 97,6% da população, enquanto IDH foi determinado em 0,727. O município possuía 8 estabelecimentos de saúde SUS elencados em 2009. Em 2019 a área urbanizada foi estimada em 4,64 km², com 13,6% das vias públicas urbanizadas, cuja arborização somava 77,9% em 2010. Neste ano, o percentual de esgotamento sanitário adequado foi calculado em 40% (IBGE, 2020d).

São João possui um Produto Interno Bruto de aproximadamente R\$ 782 milhões, com um PIB per capita de R\$ 76,8 mil. Na distribuição do PIB predomina o setor terciário com 43%, seguido da Indústria e Agropecuária, ambas com 24,3% de contribuição e da administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social, com 8,4% (IBGE, 2020d). A compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos no território municipal pela Usina de Salto Osório foi estimada em R\$ 24 800,00/mês (ECSA, 2002a). Em setembro de 2023 a compensação financeira foi de R\$ 109 673,74 (ANEEL, 2023).

No município de São João o uso do solo na área de estudo é essencialmente agropastoril, predominado as pastagens e capoeiras. Com exceção de poucas residências de lazer próximas à divisa com São Jorge d'Oeste, inexistem ocupações nas bordas do lago, principalmente pela topografia altamente desfavorável. No que se refere ao uso do solo, a área de estudo apresenta-se também ocupada por cultivos agrícolas diversificados com predominância das culturas de milho, soja, feijão, trigo de forma extensiva, hortifrutigranjeiros em situações localizadas, seguidos da exploração pecuária com pastagens naturais e cultivadas, estas observadas principalmente nos locais de encostas (ECSA, 2002a).

A principal festa do município é a Festa ao Padroeiro São João Batista com a queima da grande Fogueira e a tradicional festa da Igreja Católica com uma grande churrascada no domingo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO, 2023).

4.1.5 Sulina

O município de Sulina originou-se a partir do fluxo migratório de gaúchos e catarinenses, predominantemente descendentes de Alemães e Italianos, que se estabeleceram na região em meados da década de 50, para explorar o cultivo e comercialização da erva-mate e da madeira. Esta situação ocasionou conflitos de posse, o que fez com que, em 1957, o governo do Estado do Paraná criasse o Grupo Executivo de Terras para o Sudoeste do Paraná, visando regularizar a situação. Em 21 de novembro de 1963 estabeleceu-se o distrito administrativo de Sede Sulina, em homenagem à comunidade Sede Sulina, no município gaúcho de Santa Rosa. Com a emancipação político-administrativa em 21 de janeiro de 1987, desmembrando-se de Chopinzinho e São João, a localidade perdeu a denominação de sede, ficando oficialmente Sulina (IBGE, 2023a).

Enquanto em 1991 Sulina possuía uma população de 5 222 habitantes, sendo 951 vivendo em área urbana e 4 271 na área rural, em 2000, a população total somava 3 909 habitantes, dos quais 1 195 residiam na cidade e 2 714 na zona rural. Já em 2010, a população urbana atingiu 1 390 cidadãos, ao passo que a população rural passou a 2 004 habitantes (IBGE 1992; 2001; 2011).

Atualmente o município de Sulina possui uma população de 3 440 habitantes e área territorial de 170,76 km², que implica em uma densidade demográfica de 20,15 habitantes por quilômetro quadrado. Em 2021 a renda média mensal da população era de 2,4 salários mínimos, enquanto a proporção de pessoas ocupadas somava 16,1%. Contando com 3 escolas de ensino fundamental e 1 de ensino médio, em 2010 a escolarização de 6 a 14 anos de idade alcançava 99,2% da população, enquanto

IDH foi determinado em 0,693. O município possuía 5 estabelecimentos de saúde SUS elencados em 2009. Em 2019 a área urbanizada foi estimada em 1,63 km², com 16,4% das vias públicas urbanizadas, cuja arborização somava 74,2% em 2010. Neste ano, o percentual de esgotamento sanitário adequado foi calculado em 2,8% (IBGE, 2020e).

Sulina possui um Produto Interno Bruto de aproximadamente R\$ 142 milhões, com um PIB per capita de R\$ 48,5 mil. Na distribuição do PIB predomina a Agropecuária com 52,05%, seguida do setor terciário com 23,1%, da administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social com 16,1% e da indústria com 8,7% (IBGE, 2020e). A compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos no território municipal pela Usina de Salto Osório foi estimada em R\$ 16 300,00/mês (ECSA, 2002a). Em setembro de 2023 a compensação financeira foi de R\$ 90 408,28 (ANEEL, 2023).

Com a mesma conformação topográfica de São João, Sulina também não possui condições de acesso e implantação de áreas de lazer na borda do reservatório, deixando as atrações turísticas por conta, principalmente, do Parque Aquático Termas de Sulina; das cachoeiras naturalmente formadas pela combinação do terreno repleto de declives com a presença de rios, em especial o Rio Iguazu; e do Lago Municipal, que foi inicialmente planejado com a intenção de ampliar o leito do Rio Capivara, a fim de diminuir a quantidade de enchentes que ocorriam diariamente, e atualmente recebe turistas e se destaca pela beleza que proporciona à cidade (VIAJE PARANÁ, 2023).

No que se refere ao uso do solo, a área de estudo apresenta-se ocupada por cultivos agrícolas diversificados com predominância das culturas de milho, soja, feijão e trigo de forma extensiva; hortifrutigranjeiros em situações localizadas, seguidos da exploração pecuária com pastagens naturais e cultivadas, estas observadas principalmente nos locais de encostas. Na zona urbana ainda existem exemplares da arquitetura italiana da época da colonização. O principal atrativo turístico do município são as águas minerais que afloram junto ao lago (ECSA, 2002a).

Com festas tradicionais ao longo de todo o ano, a maior comemoração é a Festa do Colono e do Motorista, em 25 de julho, ganhando destaque também a Oktoberfest, em outubro, em homenagem à cultura alemã dos primeiros colonizadores da cidade (VIAJE PARANÁ, 2023).

4.1.6 Saudade do Iguazu

A colonização do atual município de Saudade do Iguazu, iniciou-se em 1958, com a instalação da Companhia Brasileira de Viação e Comércio (Braviaco S/A) a

partir do desbravamento da região até chegar a um pequeno planalto. Conta-se que o Senhor José Ascoli, representante da Braviaco S/A, vendedor de terrenos para colonos, permaneceu um certo tempo na mata, onde estava sendo feita a medição das terras e posteriormente venda das mesmas, sentia uma enorme saudade de seus familiares que residiam no Rio Grande do Sul e, desta forma, o local passou a chamar-se Saudade e mais tarde Saudade do Iguaçu. No ano seguinte começaram a chegar os primeiros moradores oriundos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, dedicando-se ao plantio de feijão e milho e à criação de suínos para consumo próprio. Devido a disputas por legitimidade de propriedade das terras, esta região sudoestina sofreu agruras com as questões de litígios de terras. Pela Lei Municipal nº 374, de 12 de agosto de 1972, e pela Lei Estadual nº 08, de junho de 1973, foi criado o Distrito Administrativo, com denominação de Saudade, em território pertencente ao município de Chopinzinho. Em 1 de março de 1992, através da Lei Estadual nº 9 914, o núcleo foi alçado à categoria de município emancipado, com território desmembrado do município de Chopinzinho e a denominação alterada para Saudade do Iguaçu. A instalação oficial deu-se em 1 de janeiro de 1993 (IBGE, 2023b).

Enquanto em 1991 Saudade do Iguaçu ainda não havia sido emancipada a município, em 2000, a população total somava 4 608 habitantes, dos quais 1 986 residiam na cidade e 2 622 na zona rural. Já em 2010, a população urbana atingiu 2 500 cidadãos, ao passo que a população rural passou a 2 507 habitantes (IBGE 2001; 2011).

Atualmente o município de Saudade do Iguaçu possui uma população de 6 108 habitantes e área territorial de 152,084 km², que implica em uma densidade demográfica de 40,16 habitantes por quilômetro quadrado. Em 2021 a renda média mensal da população era de 2,7 salários mínimos, enquanto a proporção de pessoas ocupadas somava 21,2%. Contando com 3 escolas de ensino fundamental e 1 de ensino médio, em 2010 a escolarização de 6 a 14 anos de idade alcançava 99% da população, enquanto IDH foi determinado em 0,699. O município possuía 2 estabelecimentos de saúde SUS elencados em 2009. Em 2019 a área urbanizada foi estimada em 2,19 km², com 57% das vias públicas urbanizadas, cuja arborização somava 80,2% em 2010. Neste ano, o percentual de esgotamento sanitário adequado foi calculado em 2% (IBGE, 2020f).

Saudade do Iguaçu possui um Produto Interno Bruto de aproximadamente R\$ 696 milhões, com um PIB per capita de R\$ 125 mil. Na distribuição do PIB predominam

a Indústria com 81%, seguida da Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social com 6,7%, da Agropecuária com 6,5%, e do setor terciário com 5,8% (IBGE, 2020f). A compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos no território municipal foi estimada em R\$ 18 000,00/mês pela Usina de Salto Osório e mais R\$ 28 700,00/mês pela Usina Salto Santiago (ECSA, 2002a; 2002b). Em setembro de 2023 a compensação financeira da Usina Salto Osório foi de R\$ 4 386,92; e da Salto Santiago, R\$ 141 593,09 (ANEEL, 2023).

A estrutura fundiária é composta de pequenas propriedades: aproximadamente 66,8% possuem menos de 20 ha de área e 83,9% são exploradas pelos proprietários. A atividade econômica do setor é voltada à agropecuária, com 92,5% de utilização da área rural do município. O milho é o produto agrícola com maior área plantada, 66,0%. Além do milho, as aves de corte e o gado bovino são os principais produtos agrosilvopastoris (ECSA, 2002a).

No entorno do reservatório, na área municipal de Saudade do Iguaçu, a predominância é de pastagens seguida de capoeiras e raras lavouras, que se dedicam principalmente às culturas de milho, soja, feijão, trigo de forma extensiva, hortifruti em situações localizadas e pecuária com pastagens naturais e cultivadas, estas observadas principalmente nos locais de encostas. O acesso ao reservatório da Usina Salto Osório é bastante limitado por tratar-se de um vale encaixado com vertentes abruptas. Como em Rio Bonito, observa-se em Saudade do Iguaçu uma fonte mineral e termal aflorante próxima à linha d'água, ainda sem exploração, cujo local apresenta-se como um bom ponto pesqueiro, com afluência de moradores de toda a região (ECSA, 2002a; 2002b).

Os principais atrativos naturais do município são o lago de Salto Santiago (e não o de Salto Osório, já que este último tem o seu final, bastante encaixado), fontes de água mineral e diversas cachoeiras no interior do município. As festas de São Cristóvão, dos Navegantes, de São Roque, do dia do município e a festa italiana são as principais manifestações populares (ECSA, 2002b).

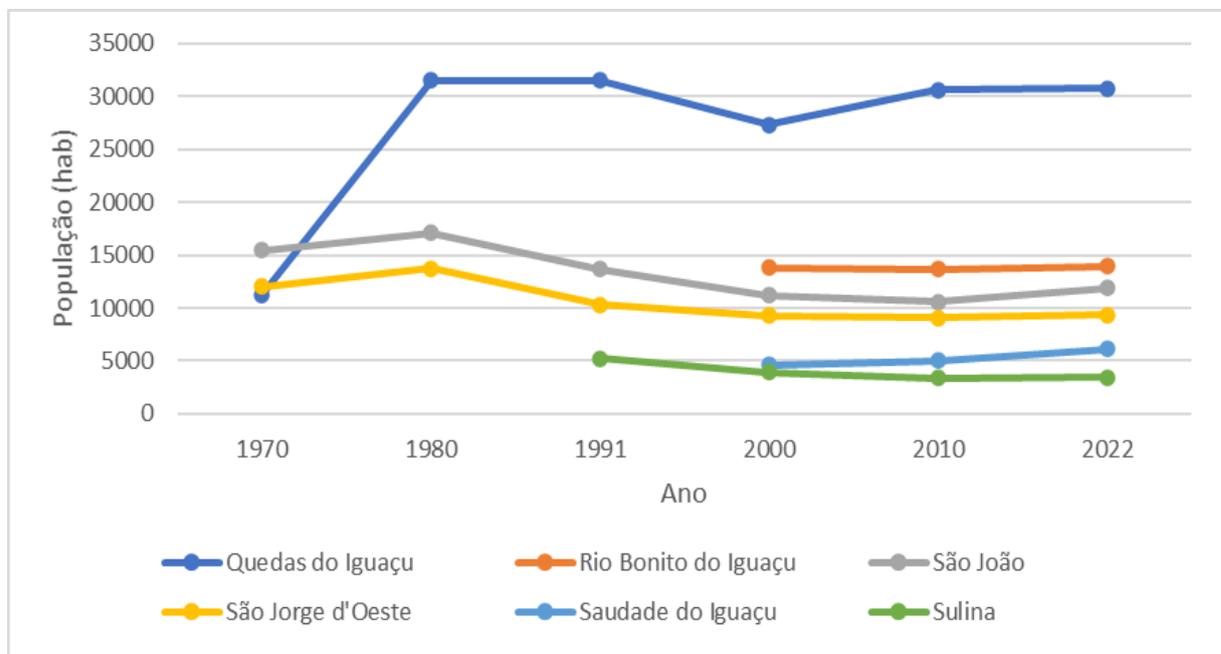
4.1.7 Contexto geral dos municípios

A população total dos municípios lindeiros ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório em 1991 somava 60 713 habitantes, com 57,6% residente na zona rural e 42,3% na área urbana. Já em 2000, os 70 187 habitantes recenseados dividiam-se igualmente entre área rural e urbana. Em 2010 a população total de 72 338 habitantes dos municípios lindeiros tornou a aumentar sua proporção urbana para 55,5% enquanto a população rural reduziu-se a 44,5% (IBGE 1992; 2001; 2011). Os dados de população rural e urbana por municípios resultantes do último censo do IBGE (2020f) ainda não haviam sido divulgados até o fechamento deste trabalho.

O esperado na realidade migratória do país seria um incremento populacional nas zonas urbanas no período estudado, associado a um decréscimo de população nas áreas rurais. Isto de fato aconteceu na região, em praticamente todos os municípios. O que chama a atenção é o crescimento “instantâneo” de Rio Bonito do Iguaçu, em virtude do Assentamento Rural em meados da década de 90, o que provocou uma “distorção” da lógica demográfica da região. Assim, analisando-se as movimentações populacionais urbanas e rurais desses municípios individualmente (com exceção de Rio Bonito do Iguaçu), observa-se a lógica demográfica do êxodo rural, em que ocorre a migração da população rural para concentrações urbanas, como aponta ECSA (2002a).

Observa-se no Gráfico 1, que apresenta os dados de população dos municípios lindeiros ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório por ano, de acordo com a realização do Censo Demográfico pelo IBGE (IBGE, 2023c), que houve um significativo aumento da população nos municípios então emancipados, entre os anos de 1970 e 1980, período no qual foi construída e teve início a operação da Usina Hidrelétrica de Salto Osório, apontando uma provável causalidade de migração.

Gráfico 1 – População versus Ano dos municípios lindeiros entre 1970 e 2022



Fonte dos dados: IBGE (2023c)

A Tabela 6 aponta os valores de Índice de Gini para os municípios limítrofes ao reservatório da Usina Salto Osório. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2004), o Índice de Gini, criado pelo matemático italiano Conrado Gini,

é um instrumento para medir o grau de concentração de renda em determinado grupo. Variando numericamente entre 0 (que representa a situação de igualdade absoluta, em que toda a população possui a mesma renda) e 1 (cuja detenção de toda a riqueza está concentrada em uma única pessoa), este índice permite inferir acerca da desigualdade social de uma determinada esfera.

Tabela 6 - Índices de Gini para os municípios limítrofes ao reservatório da Usina Salto Osório

Município	Índice de Gini		
	Limite Inferior	Limite Superior	Índice médio
Quedas do Iguaçu	0,36	0,41	0,385
Rio Bonito do Iguaçu	0,34	0,41	0,375
São Jorge d'Oeste	0,35	0,40	0,375
São João	0,35	0,40	0,375
Sulina	0,32	0,39	0,355
Saudade do Iguaçu	0,31	0,38	0,345

Fonte dos dados: IBGE (2003)

Observa-se que todos os valores se mostram melhores em relação ao Índice de Gini brasileiro para o mesmo ano (0,581), de acordo com dados do IBGE (2003). Assim, percebe-se que a administração municipal se preocupa com o investimento (o que pode incluir a compensação financeira resultante do uso do território pela UHE) em instrumentos que favoreçam a igualdade social da população. Entretanto, os dados econômicos mostram que, apesar de não se tratar de municípios com índices de pobreza extremos, o padrão de vida da população não pode ser considerado alto.

A observação da realidade paisagística dos municípios, principalmente daqueles com grandes áreas de acesso ao reservatório, aponta a presença de imóveis suntuosos, condomínios de luxo com padrão altíssimo, sobretudo nas bordas do reservatório, que não refletem a realidade econômica municipal por tratar-se de casas de veraneio, cujos proprietários residem em grandes centros, utilizando o local como recurso de lazer, apenas, e cuja receita não permanece no município, cabendo aos munícipes apenas a prestação de serviços para esta classe.

Observa-se, ainda, na realidade desses municípios limítrofes, a presença de grandes indústrias, algumas vezes até mesmo desativadas, cuja instalação se deu por incentivos fiscais e imobiliários das próprias administrações municipais que, visando a oferta de empregos à população e o desenvolvimento econômico; falharam

com o insucesso de algumas companhias ou mesmo com o sucesso de empresas cuja sede situava-se em outras localidades, levando os investimentos de receitas pra fora do município.

A história de colonização dos municípios abrange principalmente linhagens alemãs, italianas e polonesas, nas quais o tradicionalismo gaúcho mostra-se fortemente presente, uma vez que uma expressiva parcela dos migrantes é proveniente de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. As comunidades indígenas valem-se da venda de seus produtos artesanais à beira das estradas que atravessam suas reservas.

A área de estudo deste trabalho caracteriza-se por grandes atrativos turísticos pelas riquezas naturais em decorrência de suas qualidades geográficas, como águas termais, rios e cachoeiras e exuberantes paisagens; e outras proporcionadas em função da construção das Usinas de Salto Osório e Salto Santiago (a leste de Salto Osório), como o Parque Aquático Municipal de Quedas do Iguaçu, o cânion formado pelo antigo leito do Rio Iguaçu em Rio Bonito do Iguaçu, o Parque Aquático Termas de Sulina, além das diversas áreas de lazer públicas e privadas na borda do reservatório.

4.2 Impactos ambientais

Com obras iniciadas em 1970 – 32 anos antes da primeira Resolução do CONAMA (BRASIL, 2002), que viria regulamentar empreendimentos deste porte – sendo a primeira Usina Hidrelétrica a aproveitar os recursos do Rio Iguaçu, a implantação da UHE Salto Osório não passou, previamente, por quaisquer Estudos de Impacto Ambiental, afetando todo o ecossistema no entorno do Rio Iguaçu, principalmente na porção que viria a compreender o reservatório.

Como previsto antes mesmo de iniciada a implantação do empreendimento hidrelétrico Salto Osório, a ocorrência de impactos de ordem ambiental, social e econômico são inerentes à operação da hidrelétrica, sendo necessário, assim, mensurar a magnitude desses impactos a fim de minimizá-los da maneira mais equilibrada possível.

O Plano de Uso e Ocupação das Águas e Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Osório – Análise e Diagnóstico, realizado pela Engenharia Socioambiental (ECSA, 2002a) identificou no reservatório da UHE Salto Osório a presença de espécies de peixes típicas de rios bastante alterados, recomendando um

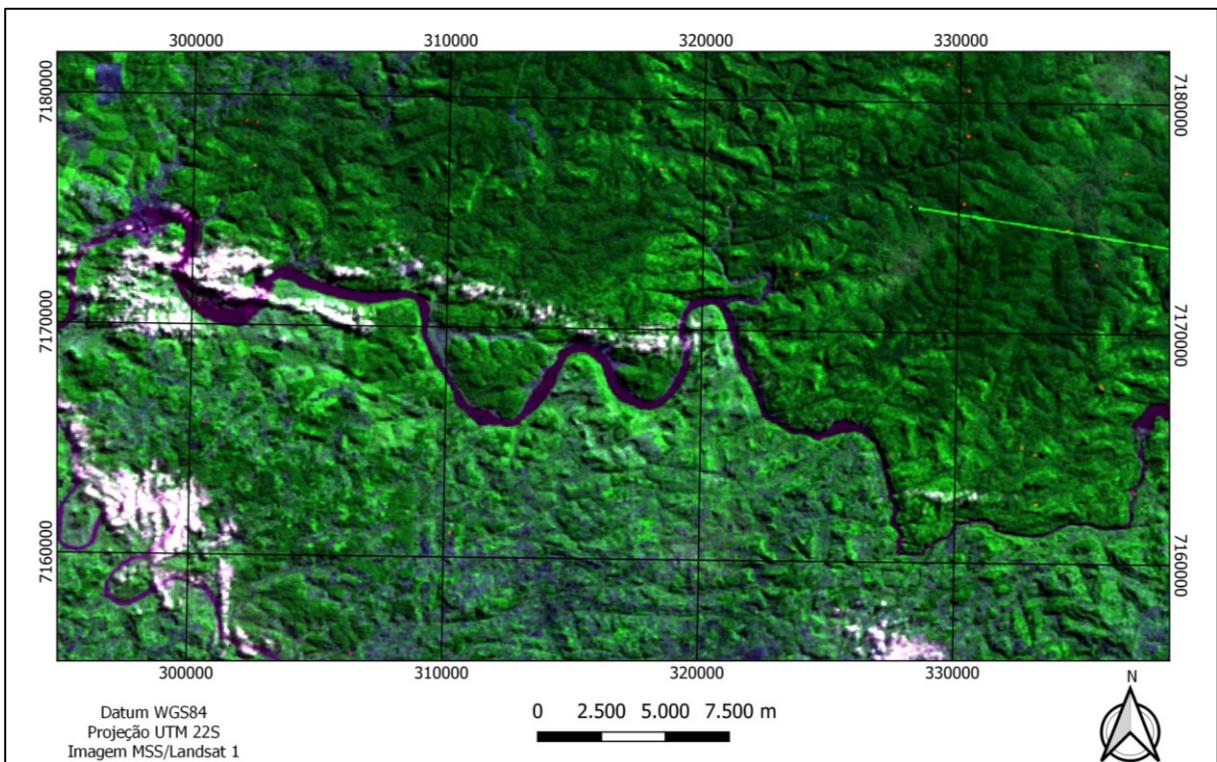
estudo mais detalhado das espécies presentes e de uma proposta de critérios para repovoamento dos lagos. Quanto à fauna terrestre, a significativa alteração dos ecossistemas, resultante do processo de ocupação antrópica da região contribuiu para o desaparecimento local de espécies de mamíferos existentes anteriormente na área.

Observa-se, então, a imprescindibilidade de monitoramento ambiental em seus mais diversos âmbitos de áreas implicadas por UHEs, em destaque a unidade alvo deste estudo, Salto Osório.

4.2.1 Uso e cobertura do solo

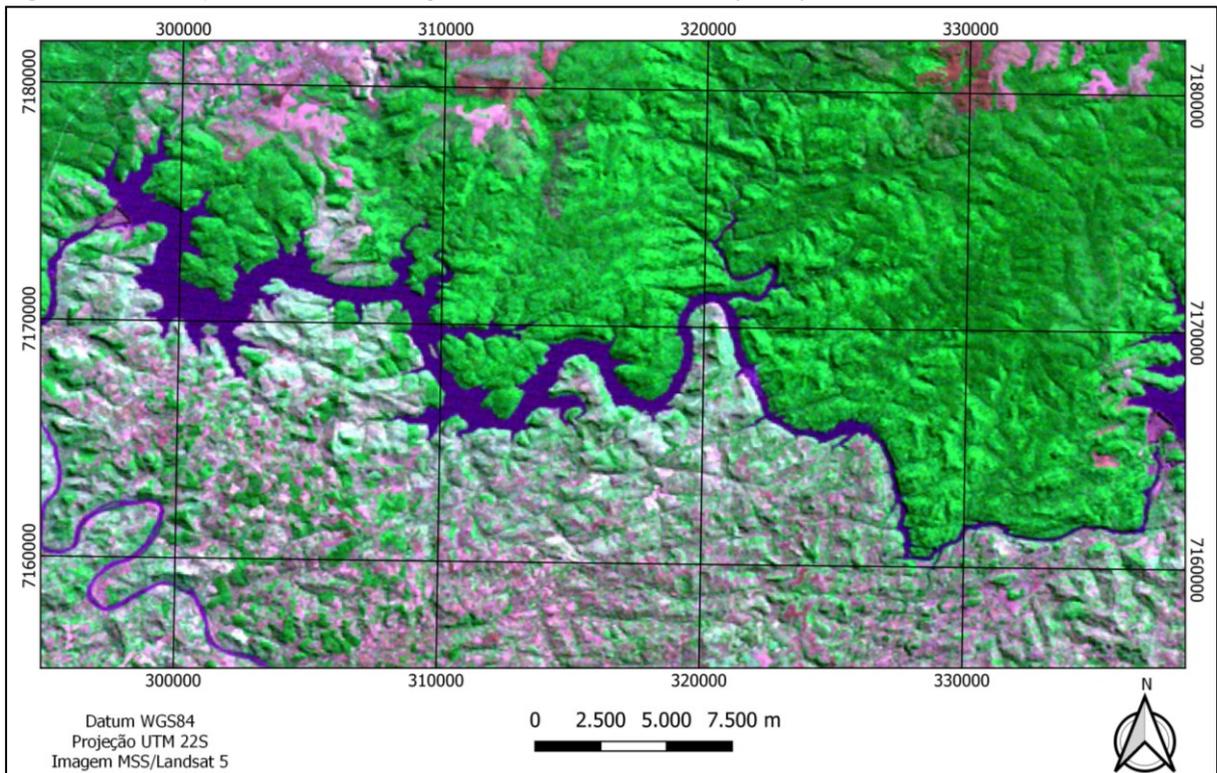
A partir da análise comparativa entre as duas imagens geradas no período anterior (Figura 5) e posterior (Figura 6) à implantação da UHE Salto Osório é possível observar a magnitude da redução de área verde, especialmente na porção sul da área estudada. Além da migração de pessoas para esta região, o país estava sobre forte influência da “revolução verde”, caracterizada pelo uso extensivo de insumos e mecanização da agricultura. A Figura 7 ilustra a cena atual (2023) do reservatório.

Figura 5 – Cena anterior à construção da UHE Salto Osório (1974)



Fonte: Autoria própria (2022)

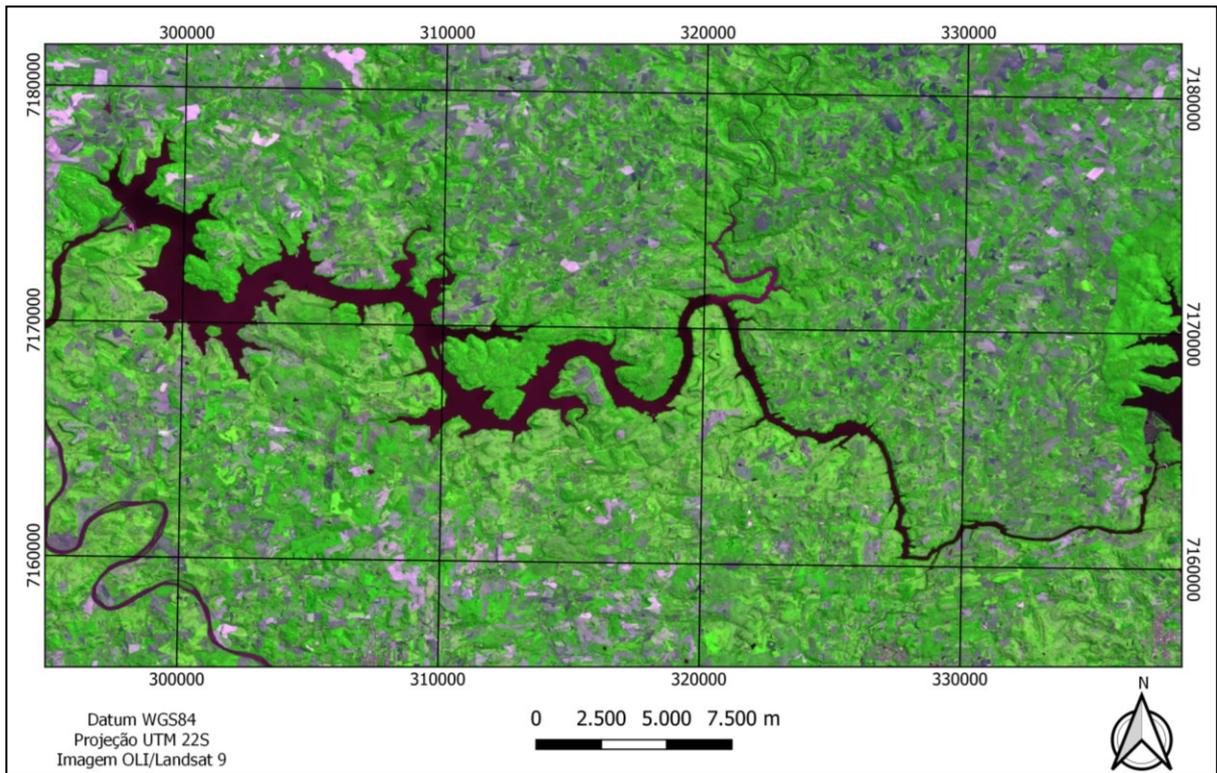
Figura 6 – Cena posterior à construção da UHE Salto Osório (1985)



Fonte: Autoria própria (2022)

A evidência mais clara que se pode observar é o impacto do aspecto visual, que sugere uma mudança drástica de cobertura do solo determinada pelo avanço da agricultura, principalmente na porção sul do reservatório.

Figura 7 – Cena atual do reservatório da UHESO (2023)

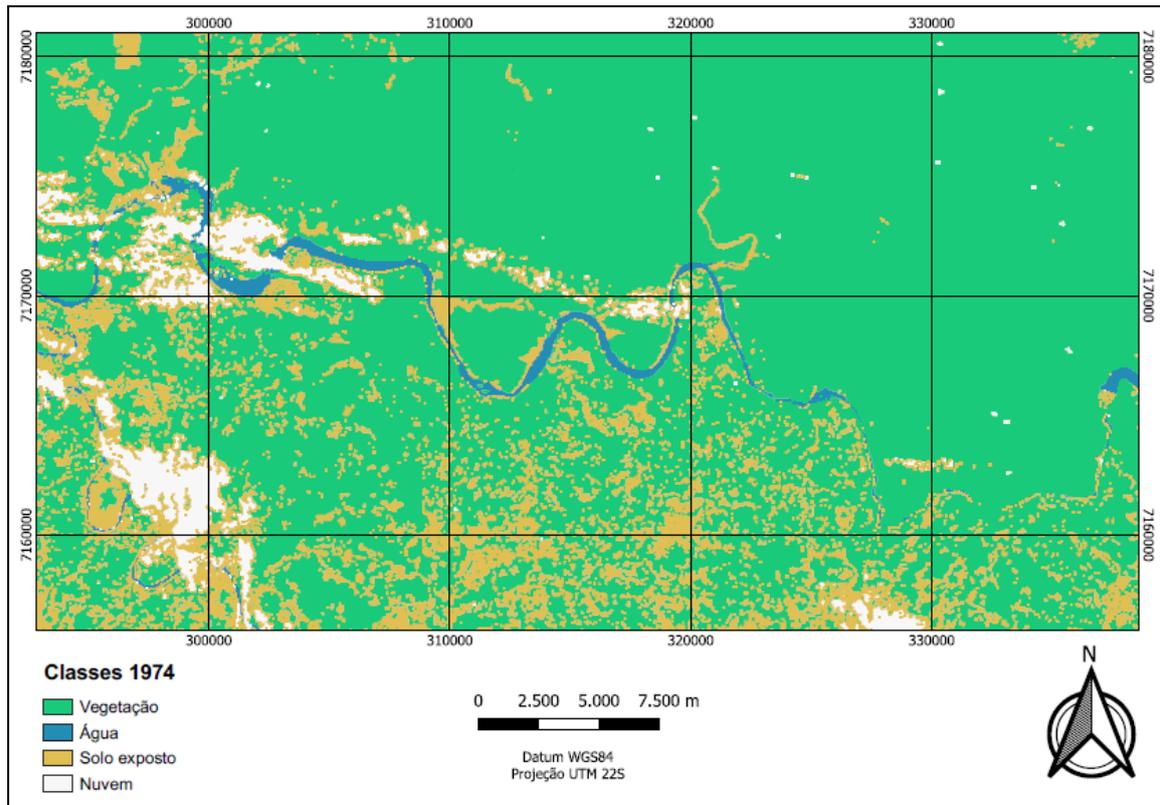


Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se, na cena atual, que há uma maior homogeneidade de áreas verdes na área de estudo, que combinam regiões de matas e produção agrícola, como se pode analisar nas Figuras 8 a 11.

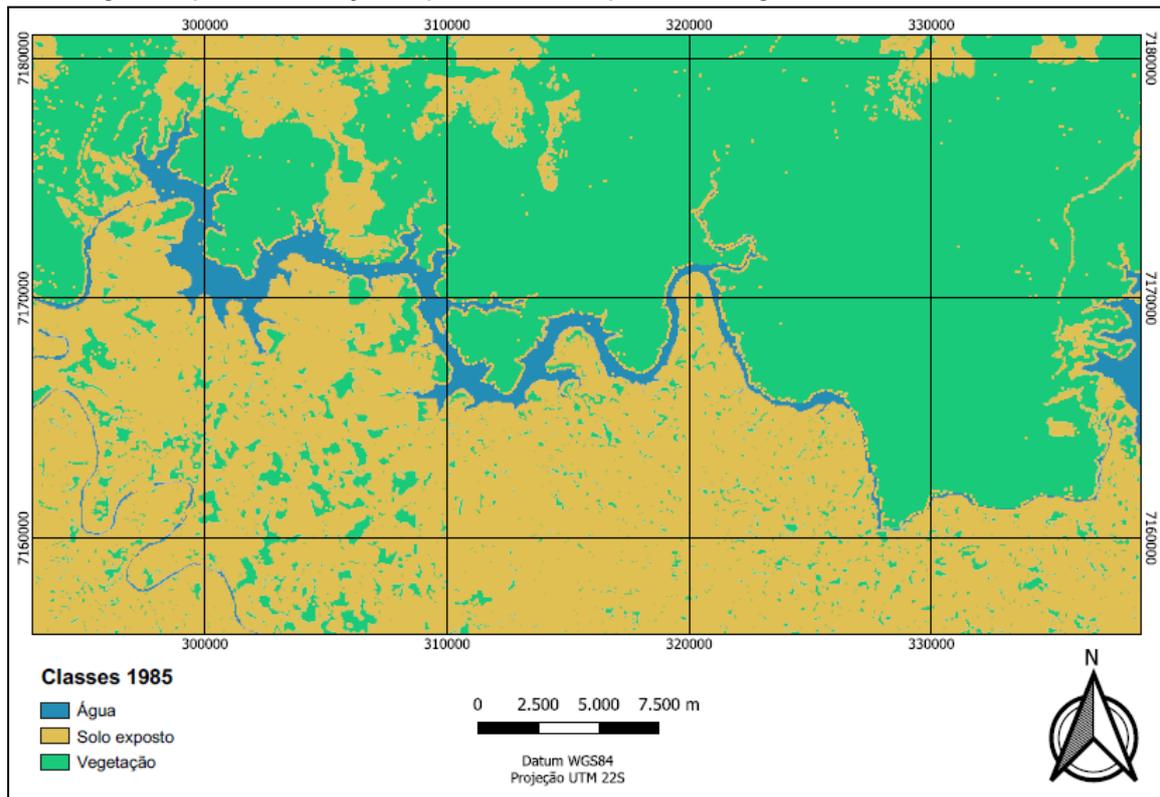
A Figura 8 ilustra a classificação supervisionada resultante da primeira data (1974), e a Figura 9 traz a classificação supervisionada de 1985.

Figura 8 – Área de vegetação, espelho d'água e solo exposto da área de influência da UHE Salto Osório, gerada por classificação supervisionada a partir da imagem de 1974



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 9 – Área de vegetação, espelho d'água e solo exposto da área de influência da UHE Salto Osório, gerada por classificação supervisionada a partir da imagem de 1985



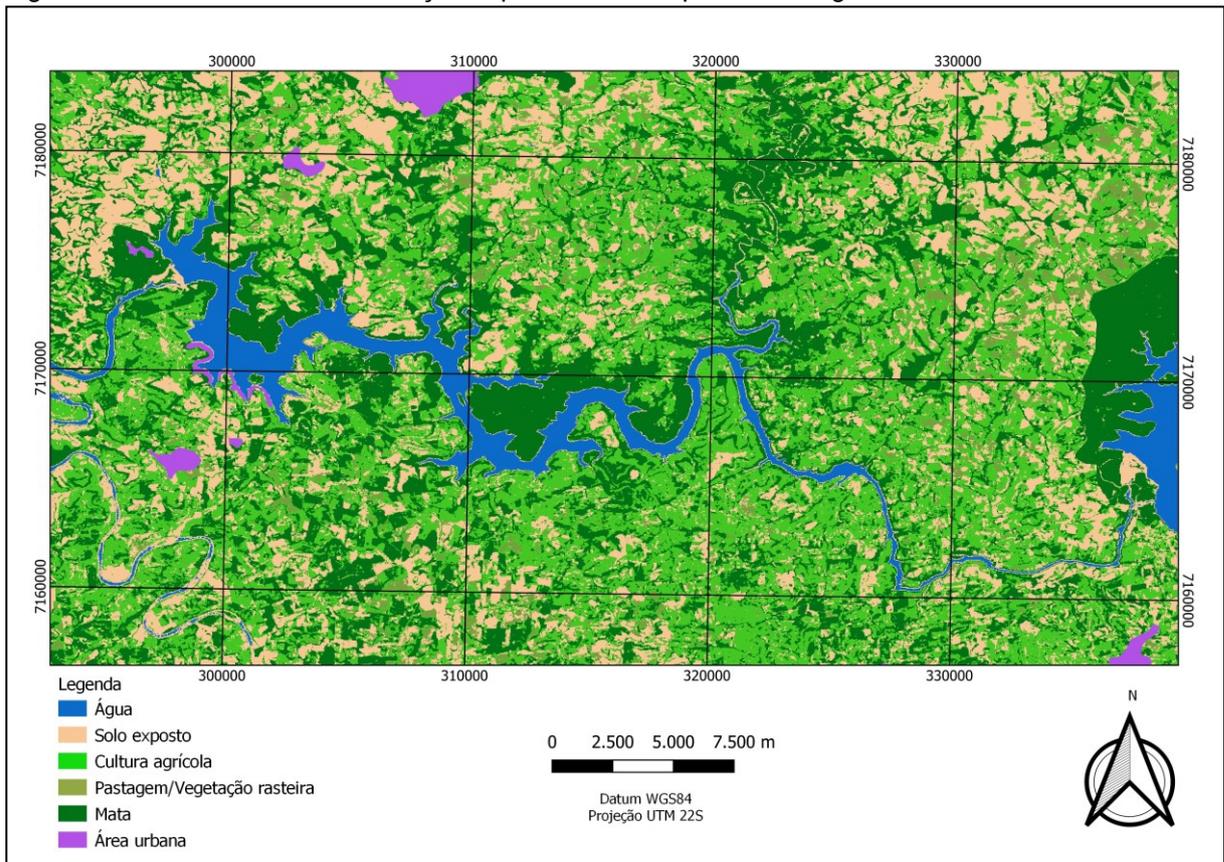
Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com a classificação, no recorte da imagem, em 1974 a área ocupada por vegetação era de 2 603,899 km², enquanto a área de solo exposto concentrava-se em 729,460 km². Já em 1985 a quantidade de vegetação passou para 1 149,885 km² e solo exposto avançou para 2 194,146 km². É importante destacar que, no período em questão, a legislação ambiental era mais branda e, conforme a lei nº 4 771, de 15 de setembro de 1965, os danos ao meio ambiente eram considerados contravenções com punições, apenas, restritivas de direitos. As regras só se tornaram mais rígidas a partir da aprovação da lei nº 6 938, de 31 de agosto de 1981 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente e atribuiu competências ao IBAMA e ao CONAMA no combate a crimes ambientais (BRASIL, 1981). A porção onde se observa uma expressiva área de mata nas margens ao norte do reservatório, na região sudeste do município de Quedas do Iguaçu sinaliza uma Área de Preservação Permanente, o que justifica sua permanência mesmo após a passagem dos anos.

Como apresentado no item 4.1, a população dos municípios limieiros ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório sofreram um significativo aumento entre os anos de 1970 e 1980, período no qual foi construída e teve início a operação da Usina Hidrelétrica de Salto Osório, apontando uma provável causalidade de migração e conseqüente exposição do solo, devido às atividades agrícolas.

A Figura 10 apresenta a cobertura do solo referente à realidade de 2023, em que as manchas urbanas foram mascaradas no processo de classificação. É relevante ressaltar que áreas classificadas como Solo exposto ou como Pastagem/Vegetação rasteira pode tratar-se de áreas destinadas à cultura agrícola em estágio de preparo ou fases iniciais de crescimento vegetal.

Figura 10 – Resultado da classificação supervisionada a partir da imagem de 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se, na classificação atual, em função da maior resolução espacial da imagem, a distinção de mais classes de uso e cobertura do solo, bem como o maior detalhamento até mesmo das classes já presentes nas classificações dos anos anteriores. As áreas urbanas dos municípios de Rio Bonito do Iguaçu e São João não estão discriminadas na Figura 11 por localizarem-se fora do recorte convencional para estas classificações.

Como mencionado anteriormente, é possível identificar uma maior homogeneidade de áreas de vegetação em relação à classificação de 1985, principalmente na porção ao sul do reservatório. Entretanto, o resultado da classificação supervisionada de 2023, em contrapartida à cena orbital do mesmo período, permite distinguir áreas de vegetação agrícola das áreas de mata, apontando que, apesar de ainda restarem áreas de vegetação nativa, uma expressiva parcela do território está, atualmente, ocupada por agricultura.

A Figura 11 apresenta os mapas de uso e cobertura do solo elaborados pelo Projeto MapBiomias (2023) entre os anos de 1985 e 2022, com intervalo de 10 anos entre eles, exceção dada ao último intervalo, que é de 7 anos.

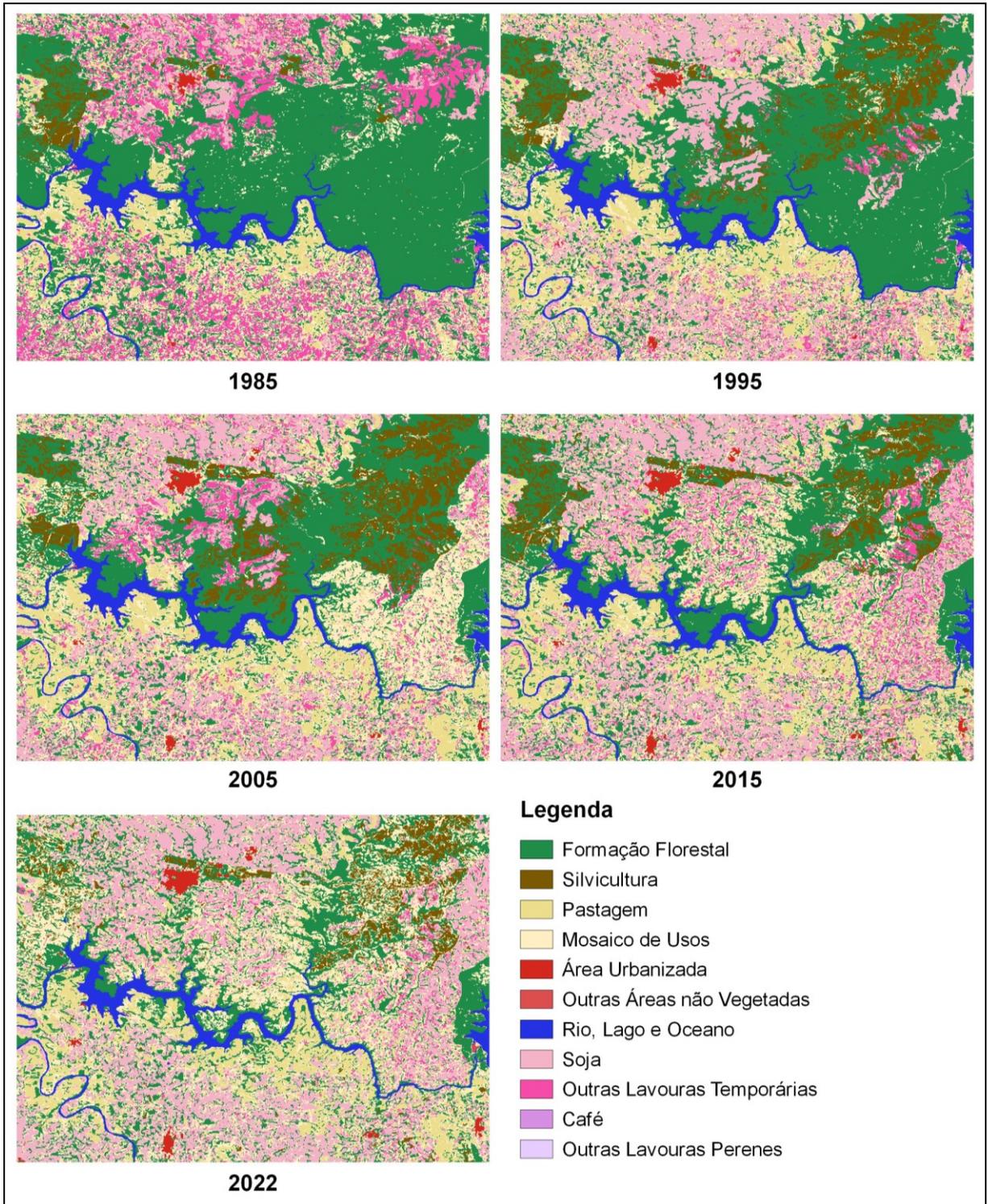
Como constatado nos mapeamentos de uso e cobertura do solo anteriores, observa-se, no período analisado no conjunto de dados do MapBiomias, uma significativa redução da área de matas (ou florestas) na área de estudo, que ocorre de forma ainda mais expressiva na porção leste/sudeste do município de Rio Bonito do Iguaçu, na zona leste do reservatório da UHESO. Entretanto, também foi intensa a redução de formação florestal na região a oeste do reservatório, no território abrangido pelo município de Quedas do Iguaçu.

Ao constituir-se uma avaliação comparativa entre as classificações temporais do MapBiomias (Figura 11) e a espacialização dos assentamentos do INCRA (INCRA, 2017), apresentados adiante, na Figura 25, bem como com suas características apresentadas na Tabela 11, é possível estabelecer-se uma coerência bastante evidente entre os períodos de implantação dos assentamentos, suas localizações limítrofes e o intervalo de mudança do uso e cobertura do solo apontados pelo MapBiomias.

Na classificação temporal elaborada pelo MapBiomias, nota-se também uma redução gradativa de lavouras temporárias cedendo espaço a lavouras permanentes, como a cultura de soja, por exemplo; enquanto ocorre um razoável crescimento das áreas de pastagem no entorno do reservatório, principalmente no lado sul, que abrange os municípios de São Jorge d'Oeste e Saudade do Iguaçu.

A evolução do uso e ocupação do solo entre 1985 e 2022 apresenta-se fortemente coerente com a temporalidade e a espacialização do processo de desenvolvimento e crescimento dos municípios limítrofes ao reservatório.

Figura 11 – Uso e cobertura do solo pelo MapBiomas entre 1985 e 2022



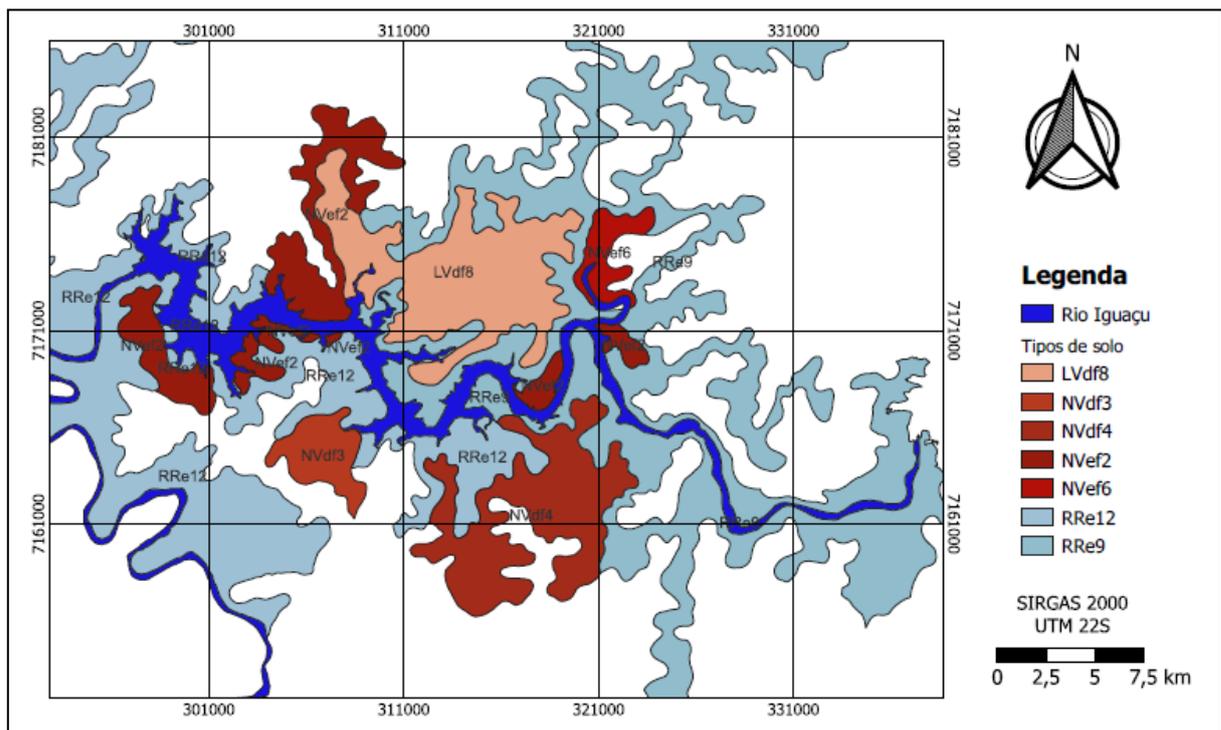
Fonte: Projeto MapBiomas (2023)

4.2.2 Ocupação de solos agricultáveis

O Plano de Uso e Ocupação das Águas e Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Osório – Análise e Diagnóstico, realizado pela Engenharia Socioambiental (ECSA, 2002a) caracteriza o reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Osório como inserido no Domínio Geológico da Bacia do Paraná, definido por Derrames Vulcânicos Juracretáceos e suas manifestações associadas.

De acordo com a EMBRAPA (2020) (Figura 12) a região do entorno do reservatório é constituída principalmente por Neossolo Regolítico Eutrófico (RRe e RRe), Nitossolo Vermelho Distroférico (NVdf, NVdf) e Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef e NVef). Ainda, se encontra uma pequena parte de Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) em sua porção norte.

Figura 12 – Distribuição dos tipos de solo no entorno do reservatório da UHE Salto Osório



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020)

Neossolos Regolíticos Eutróficos são solos em estágio incipiente de formação e tem forte contribuição de fragmentos de rochas e cascalhos, além de localizarem em escarpas erosivas, que limitam a mecanização destes solos, restringindo expressivamente a sua utilização para os sistemas agrícolas. Apresentam saturação por bases superior a 50% o que significa, na prática, que mais de 50% das cargas elétricas do solo estão ocupadas com elementos básicos como Ca, Mg, Na e K. Por

outro lado, estes solos prestam-se perfeitamente para uso com sistemas agroflorestais, ou mesmo puramente florestal (CURCIO, BONEET e KACHAROUSKI, 2020).

Nitossolos Vermelhos são solos mais desenvolvidos em relação aos Neossolos Regolíticos e são encontrados em áreas mais planas. Além do horizonte A, apresenta um horizonte pedogenético Bt, caracterizado pela cerosidade, no mínimo, moderada e comum. São solos muito desejados pelos agricultores por apresentar elevada capacidade de retenção de água, o que pode justificar o intenso avanço da atividade agrícola na região de localização deste tipo de solo.

Em relação a estas duas classes de solos citadas, uma desvantagem delas em termos ambientais é que, por apresentarem um horizonte A com textura muito argilosa, associada a uma estrutura muito pequena e granular, são solos muito susceptíveis a processos erosivos, o que pode comprometer a vida útil de reservatórios como o da barragem de Salto Osório.

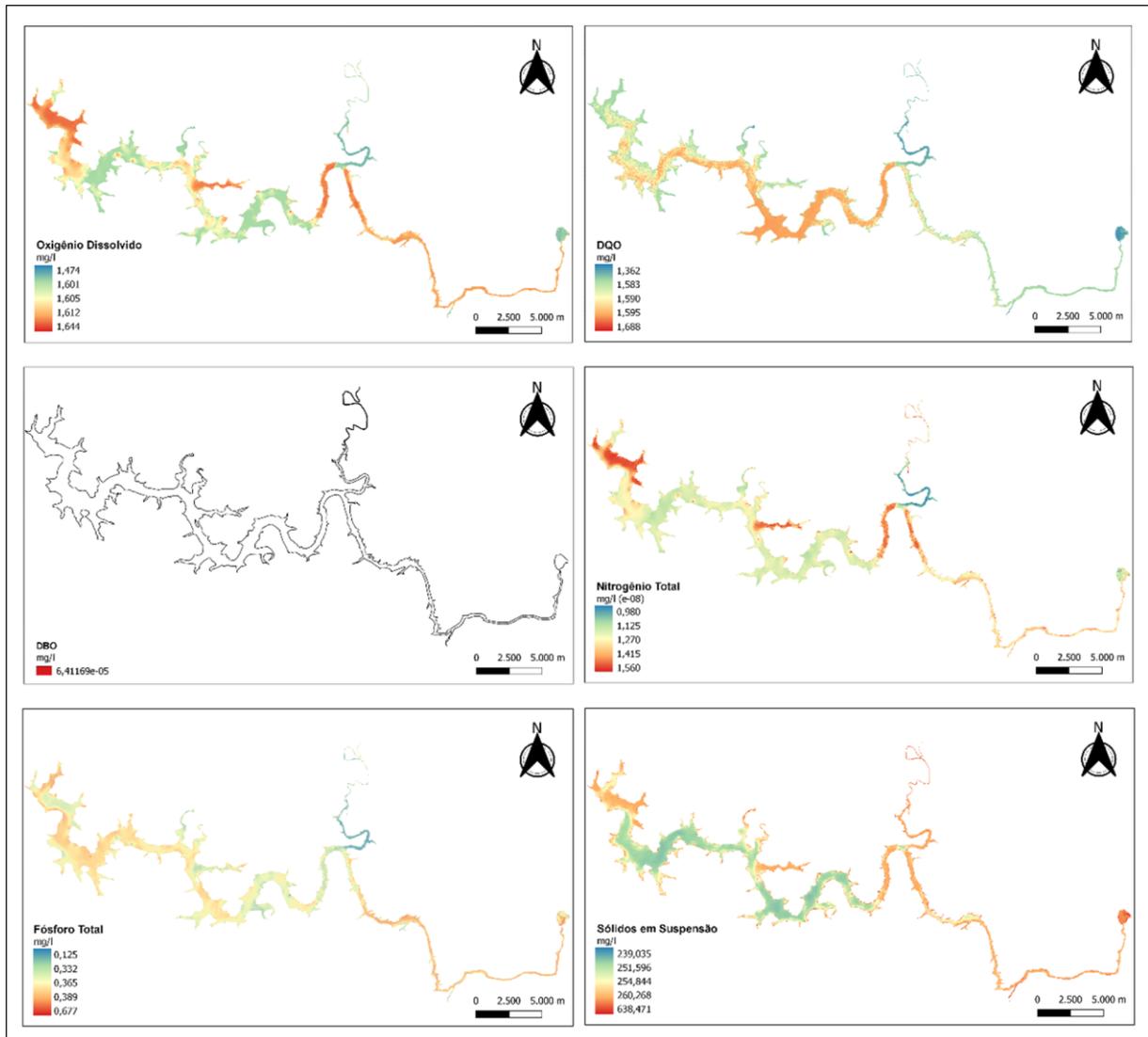
Os Latossolos Vermelhos Distroféricos, por sua vez, são solos altamente produtivos, ocorrem geralmente em ambientes planos e, portanto, são área de fácil mecanização. Ademais, por serem solos profundos, não oferecem obstáculos ao crescimento radicular, o que favorece tanto ao desenvolvimento de espécies arbóreas com arbustivas e rasteiras. Sob ponto de vista químico, eles tendem a ser mais pobres do que os Neossolos Regolíticos de ocorrência na região, mas esta diferença não prejudica substancialmente o desenvolvimento vegetal.

4.2.3 Qualidade da água

4.2.3.1 Índices espectrais de qualidade da água por Wang e Ma (2001)

A Figura 13 mostra os resultados obtidos, de acordo com a metodologia proposta por Wang e Ma (2001), para os parâmetros de qualidade da água Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT) e Sólidos em Suspensão (SS), respectivamente.

Figura 13 – Resultados de aplicação dos índices espectrais de qualidade da água propostos por Wang e Ma (2001) aplicados sobre a imagem de 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

Na variável DBO destaca-se a significativa escassez de resultados, o que inviabilizou o uso do método para análise deste parâmetro. No resultado referente à DBO é possível ver apenas os limites do trecho do Rio Iguaçu no reservatório da UHE Salto Osório.

De acordo com o Plano de Uso e Ocupação das Águas e Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Osório – Análise e Diagnóstico, realizado pela Engenharia Socioambiental (ECSA, 2002a),

baseado nos estudos realizados, quanto ao nível de comprometimento da qualidade da água, de acordo com o Sistema de Avaliação e Classificação da Qualidade das Águas dos Reservatórios do Estado do Paraná desenvolvido pela área de Limnologia do IAP, o reservatório de Salto Osório foi classificado como classe dois - pouco degradado: corpos de água com pequena entrada de matéria orgânica e de nutrientes orgânicos e inorgânicos; pequena depleção de oxigênio dissolvido; transparência das águas

relativamente alta; baixa densidade de algas; normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média.

Embora a distribuição espacial dos parâmetros analisados por meio de aplicação da metodologia proposta por Wang e Ma (2001) tenham se apresentado coerentes, desconsiderando a magnitude dos valores; após a realização da verificação dos valores numéricos resultantes do geoprocessamento em comparação com os valores de campo para a estação de coleta do IAT, observou-se uma discrepância bastante significativa, conforme apresentado na Tabela 7, comprometendo a utilização desta técnica para fins de análise da qualidade da água. Esta diferença possivelmente deu-se em virtude de os índices estabelecidos pelos autores terem sido elaborados sobre o Lago Taihu, localizado na República Popular da China, em que as circunstâncias e o contexto distanciam-se expressivamente quando comparados ao reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Osório.

Tabela 7 – Comparação entre os valores obtidos pelos índices propostos por Wang e Ma (2001) e os dados de campo

Parâmetros. (mg.L ⁻¹)	IAT1	SR	IAT2	SR2	IAT3	SR3
Nt	0,490	0,000	0,160	0,000	0,250	0,000
Pt	0,025	0,506	0,160	0,471	0,015	0,836
SS	2,000	284,147	96,000	258,418	sem dados	254,645
DBO	<1	sem dados	2,000	sem dados	2,000	0,019
DQO	7,000	1,531	10,000	1,567	2,000	1,530
OD.	8,000	1,611	7,000	1,622	5,9	1,627

IAT1: Análise de campo IAT em 12/04/2000; SR: WM 10/04/2000; IAT2: Análise de campo IAT em 15/03/2006; SR2: SRWM 10/03/2006; IAT3: Análise de campo IAT em 11/04/2012; SR3: SRWM 11/04/2012. NT: Nitrogênio Total; PT: Fósforo Total; SS: Sólidos em Suspensão; DBO: Demanda Bioquímica por Oxigênio; DQO: Demanda Química por Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido. Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.3.2 Índices espectrais adaptados à área de estudo

Uma vez observadas as discrepâncias significativas entre os índices gerados a partir da metodologia proposta por Wang e Ma (2001) e os dados de campo, determinou-se a necessidade de se estabelecer uma metodologia adaptada à realidade do reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Osório que favorecesse a estimativa de parâmetros de inferência da qualidade da água, de forma a proporcionar uma ferramenta que direcione coletas de campo em caso de possíveis suspeitas, visando a redução de custos e otimização de processos. As expressões obtidas para determinação dos índices espectrais de qualidade da água Clorofila a, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Oxigênio Dissolvido (OD) e Turbidez são apresentadas nas equações (7) a (13).

$$\begin{aligned} \text{CLOROFILA } a = & (8,742685e^{-8} * B4^2 - 0,0021232235 * B4) + (9,102646e^{-9} * \\ & B5^2 - 0,0001975274182 * B5) + (1,32324e^{-7} * B7^2 - 0,0019583952 * B7) + \\ & 21,85340227 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{DBO} = & (-6,639921e^{-7} * B2^2 + 0,013877434 * B2) \\ & + (4,6937e^{-7} * B3^2 - 0,009434337 * B3) \\ & + (2,615175e^{-7} * B4^2 - 0,0049688325 * B4) + 0,374412662 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{DQO} = & (3,207399e^{-7} * B2^2 - 0,0075908443 * B2) \\ & + (-4,583066e^{-8} * B3^2 + 0,000708083697 * B3) \\ & + 45,61379844 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{PT} = & (4,085262e^{-11} * B1^2 - 1,0213155e^{-6} * B1) \\ & - (7,1568e^{-11} * B2^2 + 2,6838e^{-7} * B2) \\ & + (5,55989e^{-10} * B3^2 + 2,223956e^{-6} * B3) - 0,031460067 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{NT} = & (-1,237348e^{-9} * B1^2 - 1,237348e^{-5} * B1) \\ & + (-3,681692e^{-8} * B2^2 + 7,363384e^{-4} * B2) \\ & + (-7,629976e^{-9} * B3^2 + 1,1444964e^{-4} * B3) - 3,645522345 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 OD = & (4,247468e^{-8} * B1^2 + 0,0005309335 * B1) \\
 & + (2,629308e^{-7} * B2^2 - 0,0046451108 * B2) \\
 & + (-2,699944e^{-7} * B3^2 + 0,0042524118 * B3) + 4,160861825
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 TURBIDEZ = & (-1,8027534e^{-6} * B1^2 + 0,035874792 * B1) \\
 & + (-3,820944e^{-7} * B2^2 + 0,00622813872 * B2) \\
 & + (1,976783e^{-7} * B3^2 - 0,00500126099 * B3) - 167,3971227
 \end{aligned} \tag{13}$$

A Tabela 8 traz o número de amostras de treinamento e validação utilizadas para cada índice, bem como os valores do teste Qui-Quadrado. O parâmetro Resíduos em Suspensão apresentou resultados significativamente discrepantes entre o índice espectral e os dados de campo, o que determinou sua rejeição no Teste de Qualidade Qui-Quadrado.

Tabela 8 – Número de amostras de treinamento e validação dos índices espectrais gerados e resultados do Teste Qui-quadrado

Índice espectral	Amostras de treinamento	Amostras de validação	Teste Qui-quadrado	Teste Qui-quadrado tabelado
Cla	15	5	2,020	9,490
DBO	8	4	0,515	7,810
DQO	11	3	0,554	5,990
PT	16	5	0,003	9,490
NT	13	5	0,112	9,49
OD	16	5	1,094	9,490
Tbz	13	4	5,120	7,810
SS	13	5	140,221	9,490

Cla: Clorofila a; NT: Nitrogênio Total; PT: Fósforo Total; SS: Sólidos em Suspensão; DBO: Demanda Bioquímica por Oxigênio; DQO: Demanda Química por Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; Tbz: Turbidez. Fonte: Autoria própria (2023)

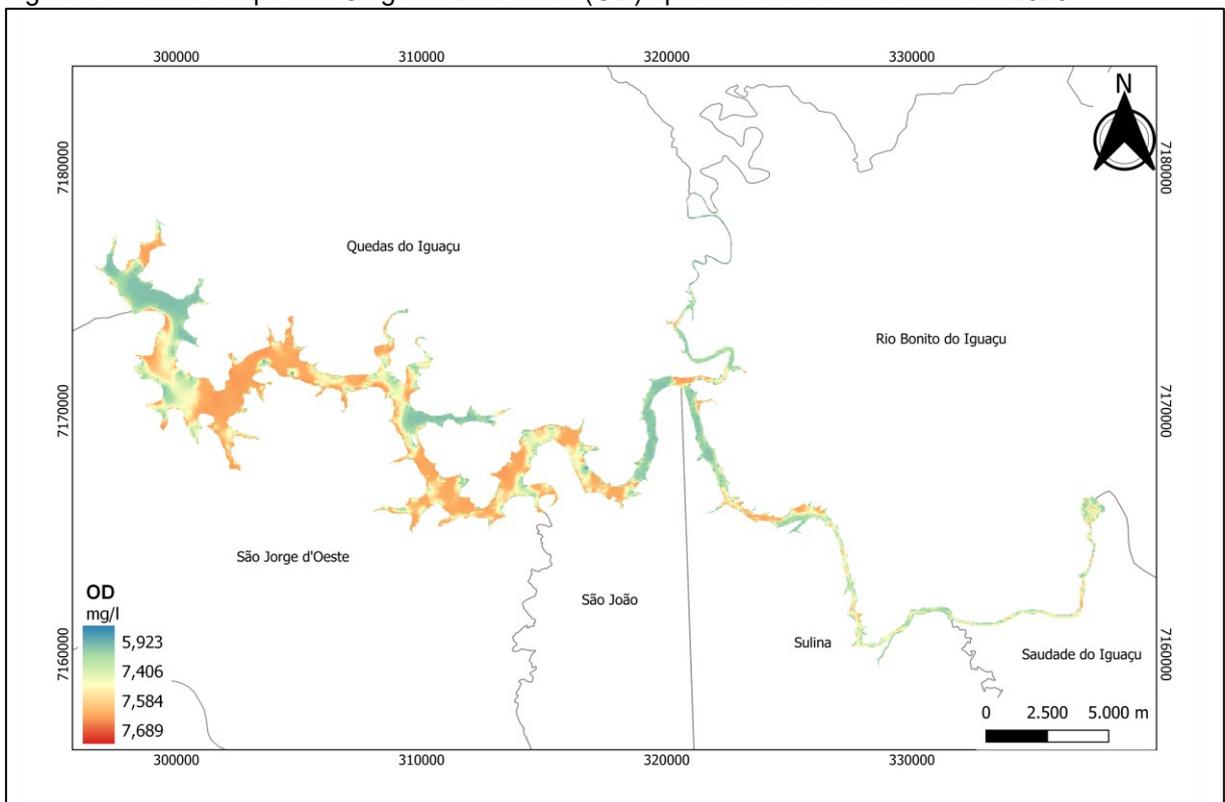
Os resultados referentes aos parâmetros Clorofila a (mg.m^{-3}), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO – mg.L^{-1}), Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg.L^{-1}), Fósforo Total (mg.L^{-1}), Nitrogênio Total (mg.L^{-1}), Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) e Turbidez (NTU) aplicados na imagem orbital atual, proveniente do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 9, adquirida em 17 de setembro de 2023, podem ser observados

nas Figuras 14 a 21, em que os limites dos municípios lindeiros ao reservatório são apresentados com o intuito de favorecer a análise contextual de distribuição dos parâmetros de qualidade da água.

4.2.3.2.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

A Figura 14 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Oxigênio Dissolvido sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 14 – Índice espectral Oxigênio Dissolvido (OD) aplicado à área de estudo em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

Os valores de OD (Oxigênio Dissolvido) foram mais elevados na faixa localizada entre 6 km e 15 km a partir do barramento de Salto Osório e foi mínima nas partes mais estreitas do reservatório, como a leste e no tributário norte/sul. Coerentemente, mostra-se inversamente relacionado à Temperatura de Superfície (Figura 23), uma vez que a solubilidade do oxigênio em água aumenta com a diminuição da temperatura.

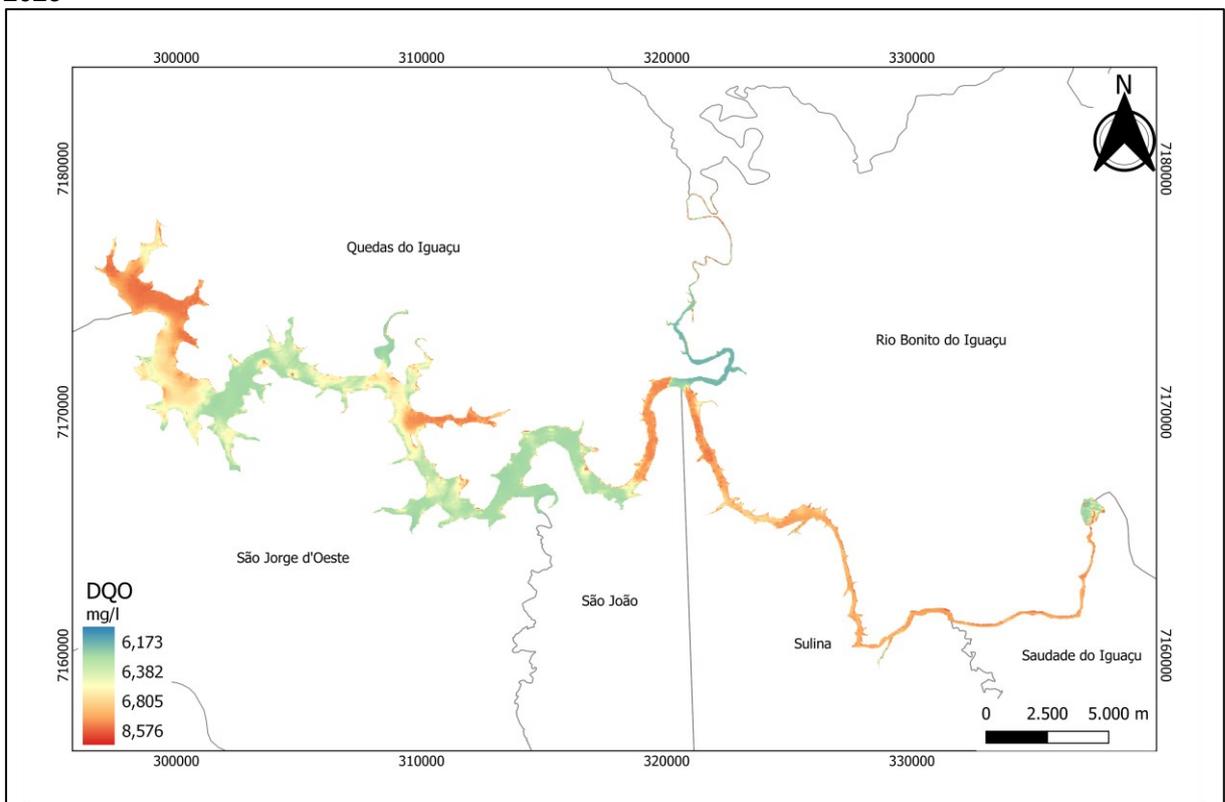
De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), o valor mínimo estabelecido de OD para a preservação da vida aquática é de 5,0 mg/l, o que

claramente observa-se na composição aquática da área de estudo, apontando condições favoráveis de qualidade da água.

4.2.3.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Figura 15 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Demanda Química de Oxigênio sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 15 – Índice espectral Demanda Química de Oxigênio (DQO) aplicado à área de estudo em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

Os maiores valores da DQO observados nas margens do reservatório, ainda que não sugiram risco à qualidade da água, apontam, evidentemente, para a presença de atividade humana, resultante das áreas de lazer ao redor do reservatório incentivadas e promovidas, principalmente, pelas prefeituras de Quedas do Iguaçu e São Jorge d'Oeste. Esta questão é corroborada pela análise dos canais de drenagem (Figura 24), que aponta as direções para onde o fluxo escoar no reservatório, que coincidem com a apresentação das maiores concentrações deste parâmetro.

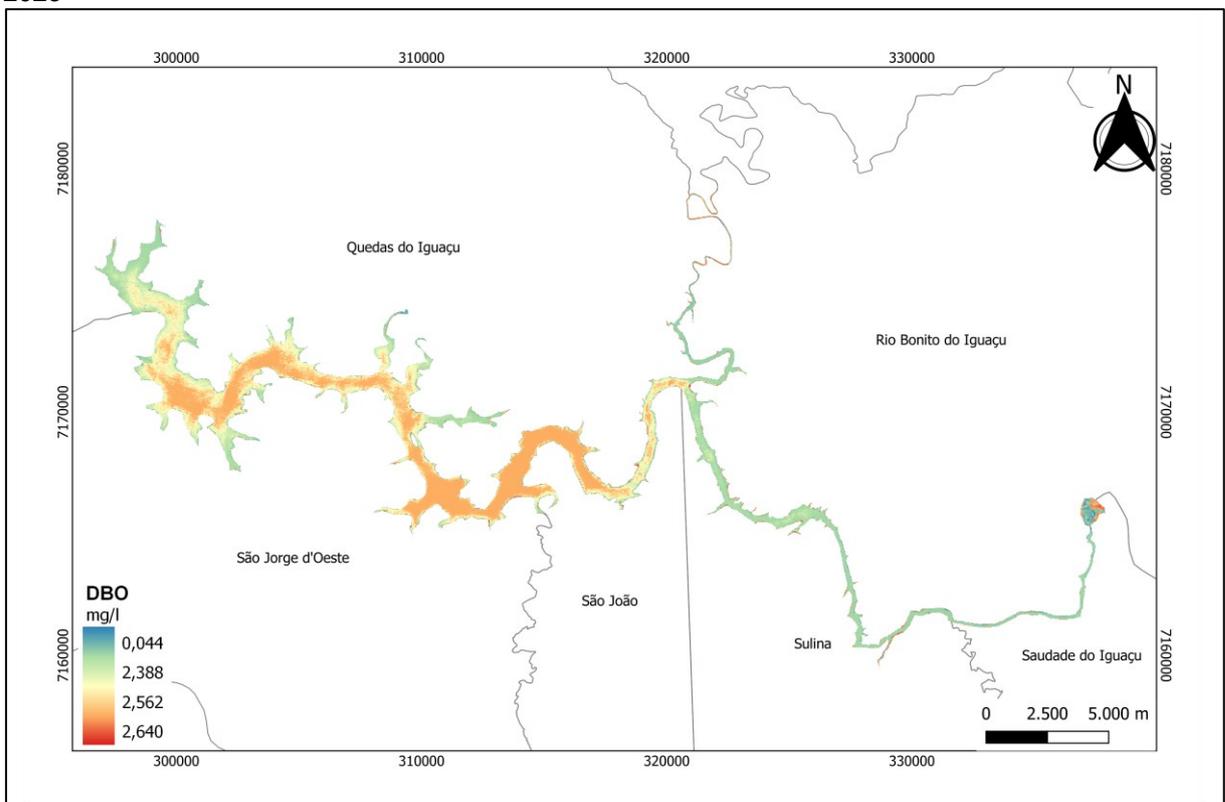
Observa-se, na análise conjunta entre as Figuras 15 (DQO) e 25 (Localidades e Assentamentos) que há uma alta concentração deste parâmetro na porção oeste do

reservatório, bem próximo à barragem, onde também se localiza a localidade Núcleo, apontando coerência de indicadores de atividade humana nesta área.

4.2.3.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Figura 16 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Demanda Bioquímica de Oxigênio sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 16 – Índice espectral Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) aplicado à área de estudo em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) consiste na estimativa da quantidade de Oxigênio necessária à decomposição bacteriana da matéria orgânica em ambiente aquático. Apesar da DBO estar relacionada ao consumo de Oxigênio Dissolvido para decomposição da matéria orgânica, a observada correlação direta deste parâmetro com o Oxigênio Dissolvido aponta a existência de uma realidade saudável no corpo d'água, em que a biota aquática aeróbia encontra condições favoráveis, evitando a eutrofização do corpo d'água.

Analisando em conjunto os dois parâmetros, DBO e DQO, ambos indicam o potencial de consumo de oxigênio dissolvido na água (IAT, 2017). Em comparação

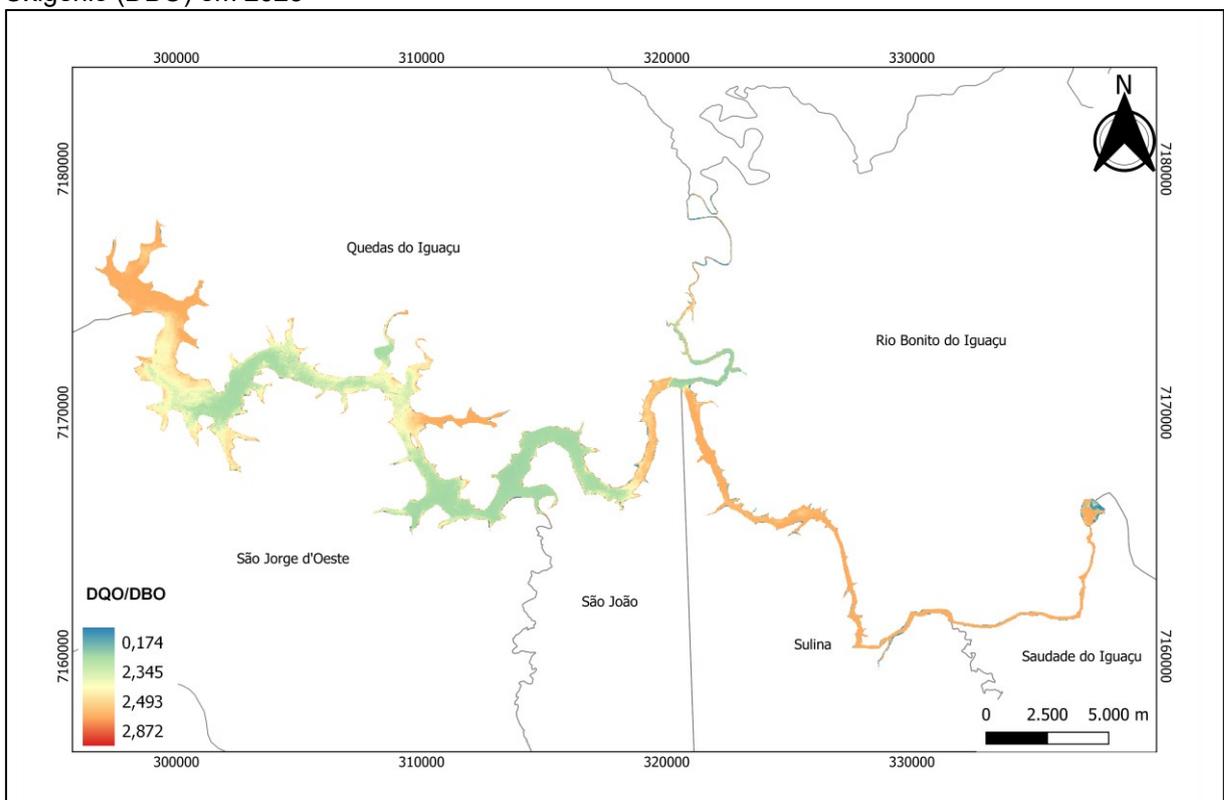
com o parâmetro Oxigênio Dissolvido, a DQO mostra-se inversamente proporcional, fenômeno possivelmente justificado pela utilização dos processos químicos na degradação da matéria orgânica, que pode causar uma redução de sua concentração no meio.

Assim como a DBO, a DQO proporciona um indicativo da biodegradabilidade do corpo hídrico. Como esperado, os valores de DQO apresentam-se superiores aos de DBO, mostrando coerência.

4.2.3.2.4 Razão entre Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO/DBO)

A Figura 17 apresenta os resultados obtidos para a razão entre os índices espectrais adaptados Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 17 – Razão entre os índices Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

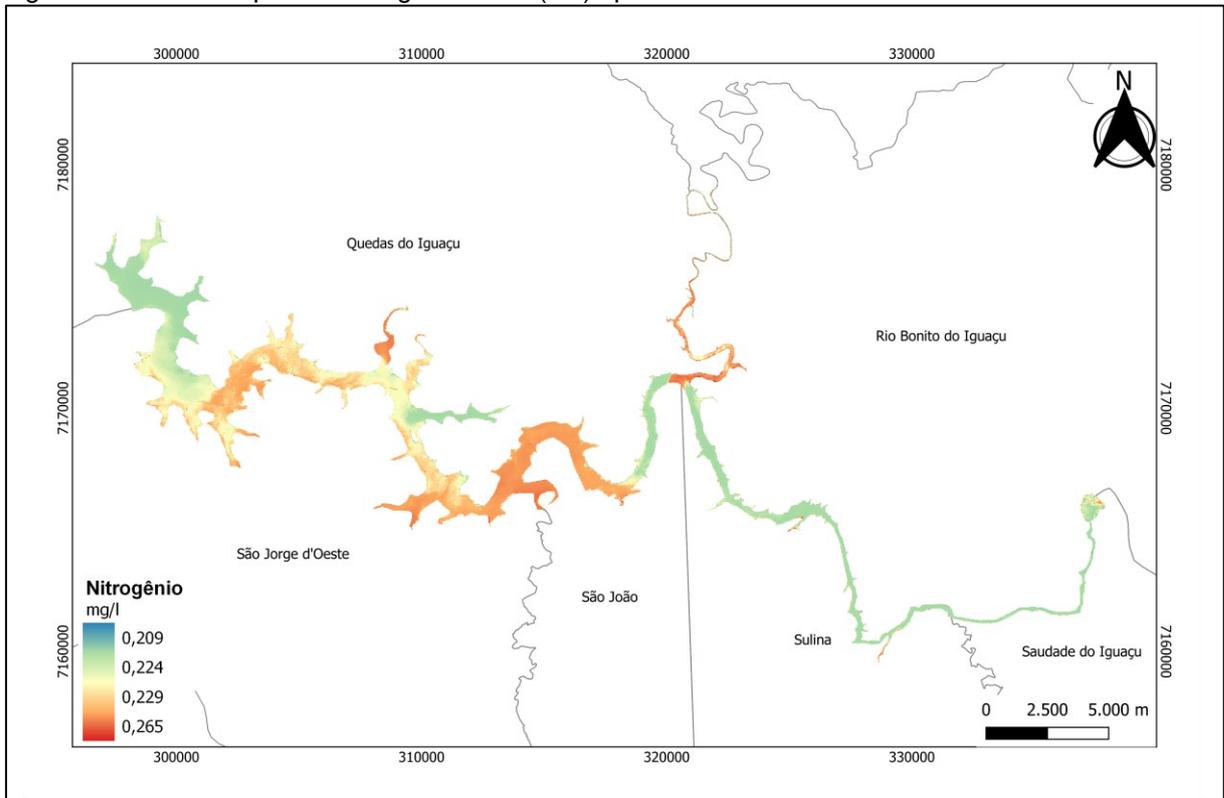
A partir da observação de valores predominantemente abaixo de 2,5, constata-se que o reservatório da Usina de Salto Osório se evidencia como um corpo d'água

de alta biodegradabilidade, favorecendo a qualidade da água, conforme Braga et al. (2012).

4.2.3.2.5 Nitrogênio Total

A Figura 18 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Nitrogênio Total sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 18 – Índice espectral Nitrogênio Total (NT) aplicado à área de estudo em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

Os maiores teores de Nitrogênio Total (NT) na água foram observados no: i) principal tributário ao norte, ii) extremo leste do reservatório, iii) na porção localizada entre 6 km e 15 km a partir do barramento. Os maiores valores deste elemento nesta porção podem estar associados ao aporte de sedimentos ricos em matéria orgânica e com resquícios de fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura.

A relação direta entre os teores de PT e NT evidenciam a contribuição antropogênica na qualidade da água do reservatório, o que possivelmente justifica as maiores concentrações desses elementos na região dos municípios de Quedas do Iguaçu e São Jorge d'Oeste, cuja atividade humana decorrente das áreas de lazer é

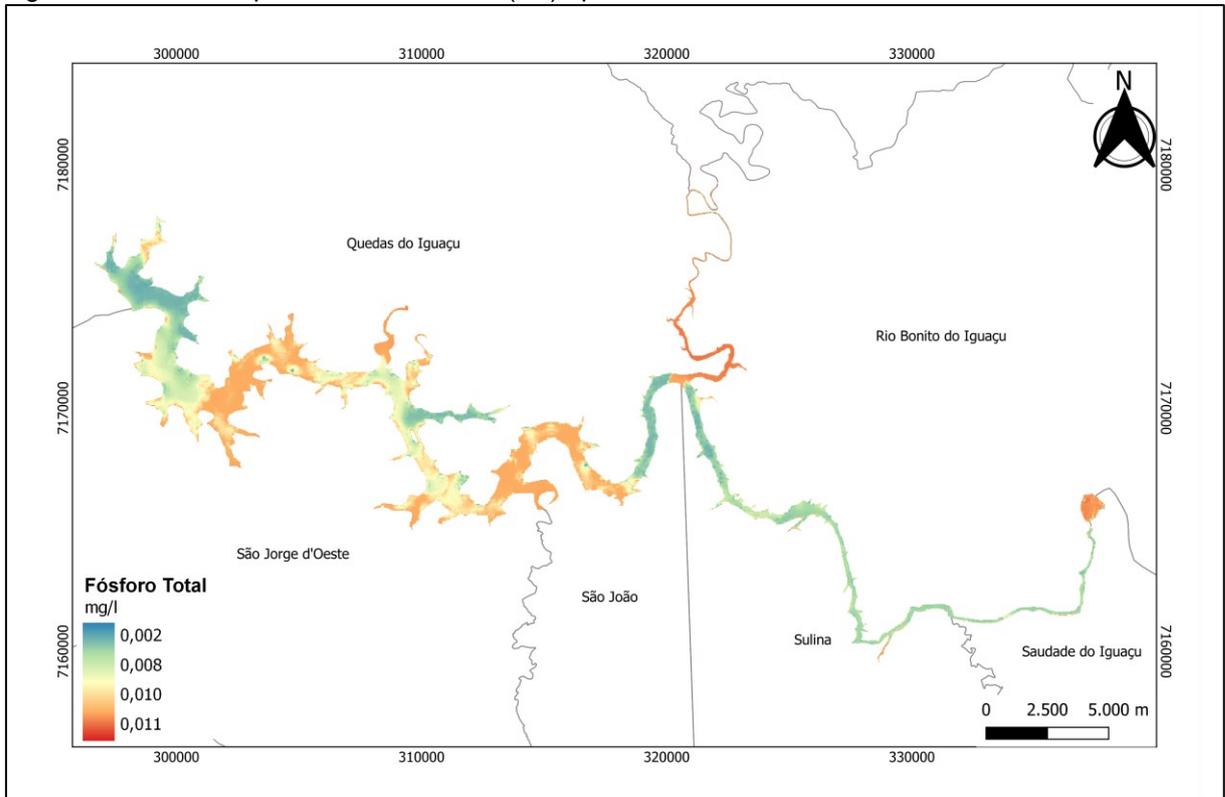
intensa; e no município de Rio Bonito do Iguaçu, em que a atividade agrícola é predominante, apontando assim, que possivelmente os maiores valores deste elemento nesta porção possam estar associados ao aporte de sedimentos ricos em matéria orgânica e com resquícios de fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura.

Observa-se, também que, nas regiões de maior concentração de NT e PT, há um perceptível aumento das concentrações de Clorofila a, uma vez que esses elementos atuam como nutrientes para vegetação aquática, elevando suas concentrações.

4.2.3.2.6 Fósforo Total (PT)

A Figura 19 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Fósforo Total sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 19 – Índice espectral Fósforo Total (PT) aplicado à área de estudo em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

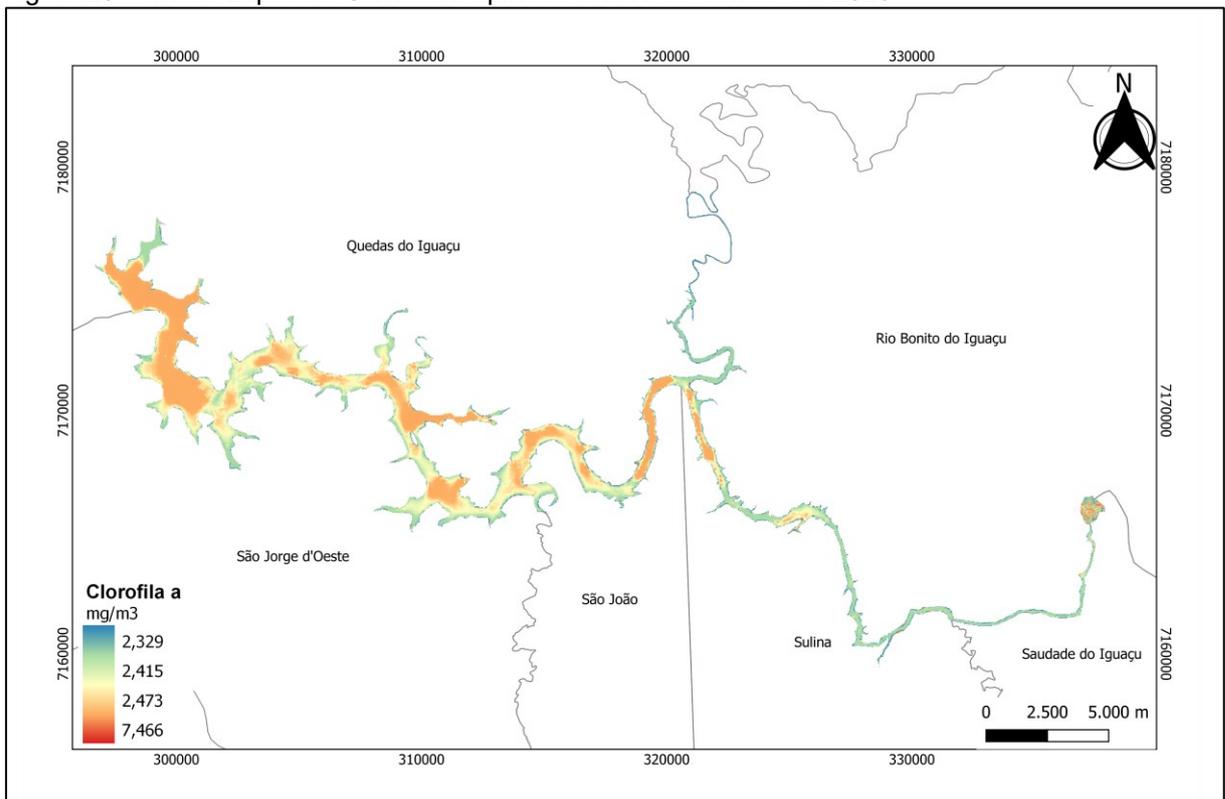
O PT foi mais elevado em porções específicas do reservatório: i) no principal tributário com fluxo no sentido norte/sul, ii) no extremo leste do reservatório e iii) na

porção localizada entre 6 km e 15 km a partir do barramento, em ambiente mais lântico. É importante destacar que, em se tratando de ambientes fluviais, estes dois elementos (NT e PT) tendem a ocorrer associados à elevada atividade biológica, especialmente na proliferação de algas e fitoplânctons. Entretanto, no ambiente em questão, a ocorrência destes dois elementos (NT e PT) pode estar associada à erosão do solo que carrega junto com o sedimento fertilizantes utilizados na agricultura.

4.2.3.2.7 *Clorofila a*

A Figura 20 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Clorofila a sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 20 – Índice Espectral Clorofila a aplicado à área de estudo em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

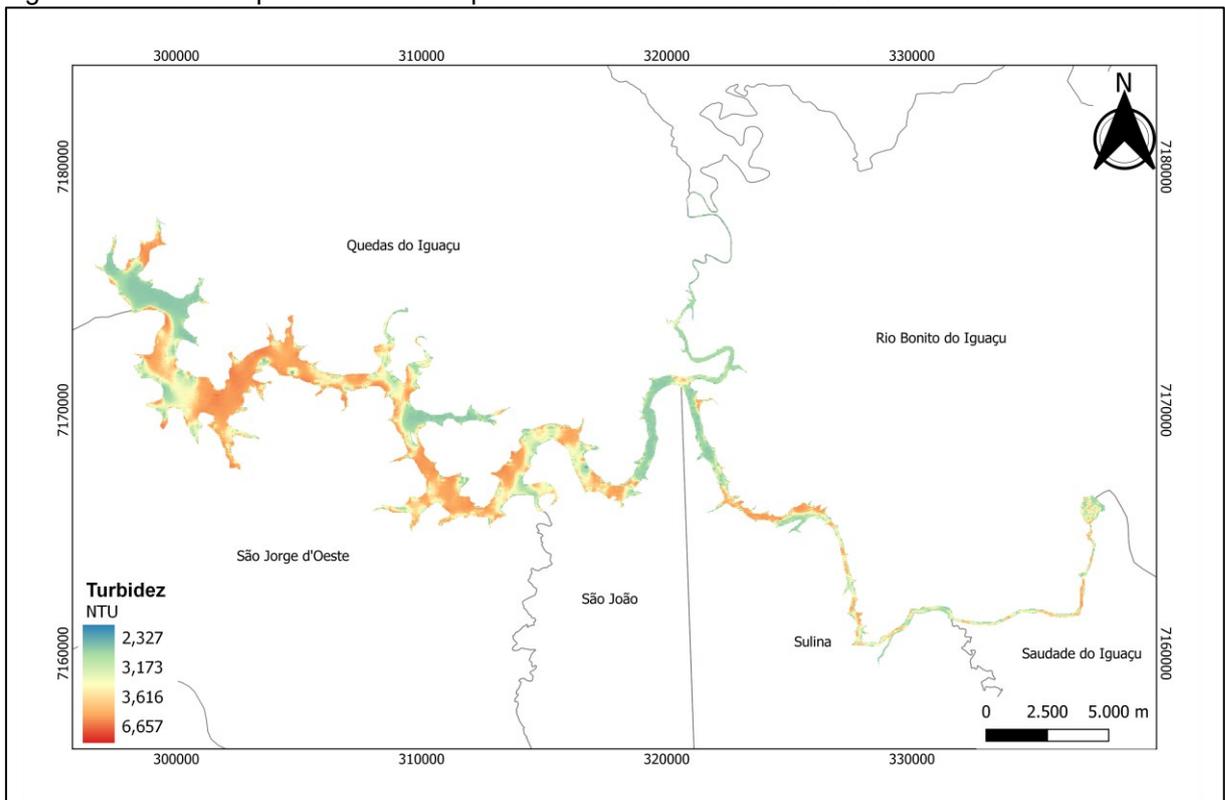
As concentrações de Clorofila a se mostraram reduzidas, não representando ameaça à qualidade da água do reservatório, com os maiores valores se concentrando mais próximos ao leito do Rio Iguaçu no trecho estudado, principalmente próximo à barragem e nos encontros entre os rios afluentes e o Iguaçu.

Nas faixas onde o rio apresenta-se mais estreito, como na porção localizada a leste e no tributário localizado ao norte, os teores de Clorofila a foram muito baixos.

4.2.3.2.8 Turbidez

A Figura 21 apresenta os resultados obtidos para aplicação do índice espectral adaptado Turbidez sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 21 – Índice Espectral Turbidez aplicado à área de estudo em 2023



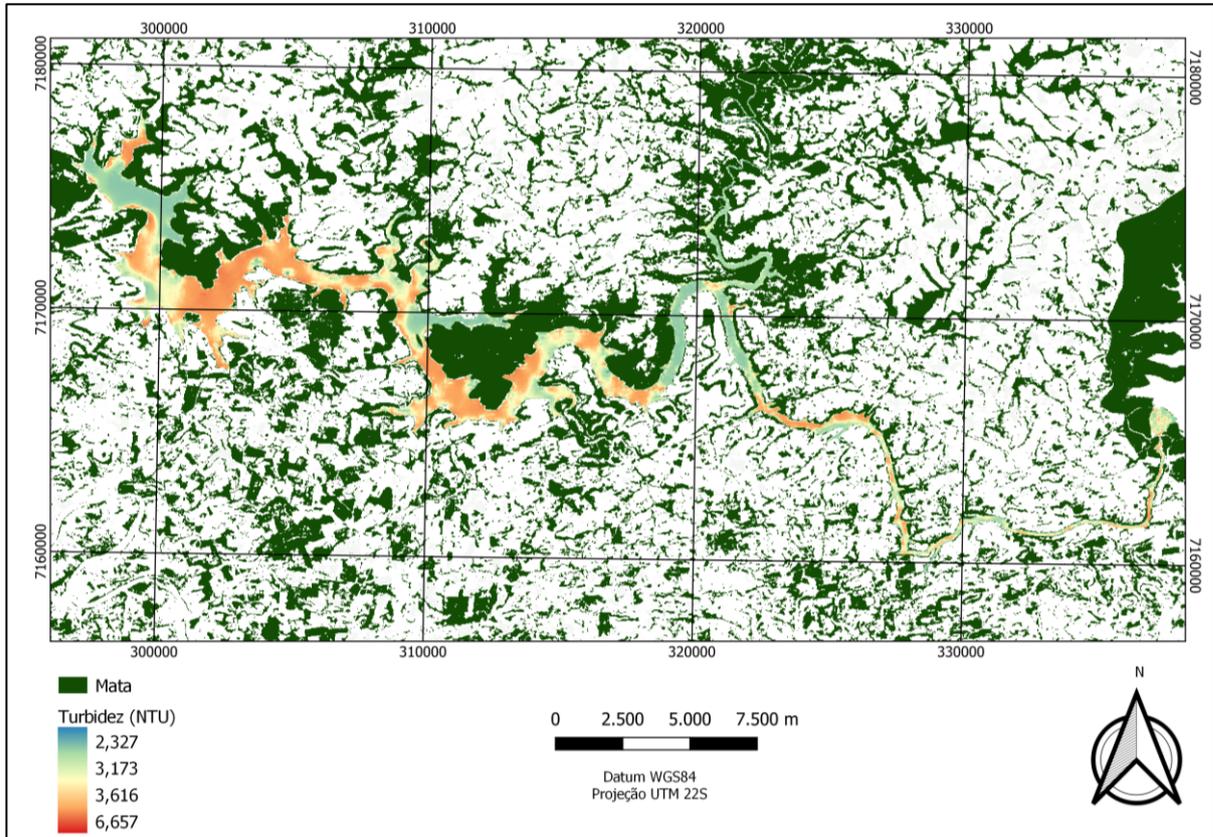
Fonte: Autoria própria (2023)

A Turbidez apresentou-se mais elevada nas áreas de maior aproveitamento das bordas do reservatório para lazer, principalmente nos municípios de Quedas do Iguaçu e São Jorge d'Oeste. Este parâmetro foi mais elevado também em meandros do Rio Iguaçu, locais aptos ao arrastamento de sujidades e perda de carga, o que favorece o aumento deste parâmetro.

A Turbidez também se mostra notável na porção central do reservatório possivelmente em decorrência da erosão de solos agrícolas na margem sul do reservatório, como é possível observar na Figura 22, que confronta a distribuição de matas com a variável Turbidez na área de estudo, apontando que os maiores valores

desta variável ocorrem em áreas desprotegidas por Mata, principalmente na margem sul do lago.

Figura 22 – Relação entre a distribuição de Matas e Turbidez na área de estudo em 2023



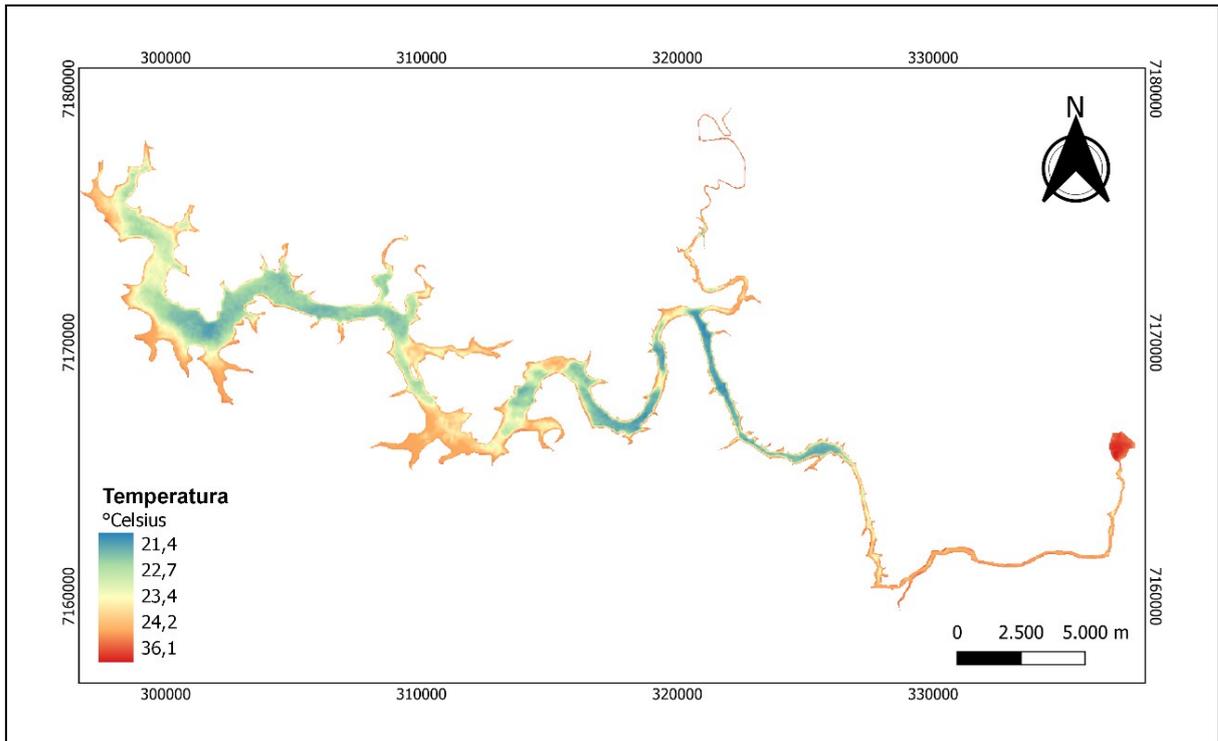
Fonte: Autoria própria (2023)

É relevante observar que, apesar dos parâmetros Resíduos em Suspensão e Turbidez serem fortemente relacionados, a razão pela qual foram obtidos resultados satisfatórios para modelagem do parâmetro Turbidez e não para o parâmetro Resíduos em Suspensão provavelmente deve-se à resolução espacial (30 metros) das imagens orbitais utilizadas. Enquanto o parâmetro Resíduos em Suspensão é mensurado de forma mais pontual, o parâmetro Turbidez proporciona uma caracterização mais extensiva, permitindo a inferência deste e inibindo aquele, quando se analisa uma média de resposta espectral de 30 metros proporcionada por cada pixel da imagem.

4.2.3.2.9 Temperatura de Superfície

A Figura 23 apresenta a Temperatura de Superfície sobre o reservatório da UHE Salto Osório a partir da imagem OLI/Landsat 7 na data de 17 de setembro de 2023.

Figura 23 – Temperatura de Superfície do reservatório da UHESO em 2023



Fonte: Autoria própria (2023)

Além da baixa variabilidade ao longo da área de estudo, a Temperatura de Superfície estimada para o reservatório mostra-se coerente, com maiores valores nas margens do rio, em virtude da contribuição do solo nas bordas terrestres, que evidentemente apresentam-se com temperaturas mais altas, e com menores valores no leito do rio, cuja profundidade é maior e há uma menor contribuição das porções terrestres.

4.2.3.2.10 Considerações sobre os índices de qualidade da água adaptados à área de estudo

A Tabela 9 apresenta os valores de referência da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para os parâmetros de qualidade de água doce estudados nesta tese, cujos resultados obtidos enquadraram-se na Classe II, considerando os resultados mais insatisfatórios de cada parâmetro.

Tabela 9 – Valores de referência da Resolução CONAMA nº 357/2005 para os parâmetros de qualidade de água

Parâmetro	Classe I	Classe II	Classe III
Cla (mg/m ³)	Até 10	Até 30	Até 60
DBO (mg/l)	Até 3	Até 5	Até 10
PT (mg/L)	Até 0,025	Até 0,050	Até 0,075
OD (mg/l)	Maior que 6	Maior que 5	Maior que 4
Tbz (NTU)	Até 40	Até 100	Até 100

Cla: Teores de Clorofila a; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; PT: Fósforo Total; OD: Oxigênio Dissolvido; Tbz: Turbidez. Fonte: Adaptado de Brasil (2005)

Observa-se que a Resolução não aborda valores de referência para os parâmetros DQO e Nitrogênio Total. Para obtenção de valores de referência para a DQO, optou-se, alternativamente, por utilizar os padrões do IAT (2017) (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores de referência do IAT para o parâmetro de qualidade da água DQO

Parâmetro	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
DQO (mg/L)	<3	3-5	6-8	9-14	15-30	>30

DQO: Demanda Química de Oxigênio Fonte: IAT (2017)

Observa-se que, de acordo com os valores obtidos para este parâmetro, o reservatório enquadra-se na Classe III de qualidade da água do IAT, cuja caracterização é apresentada.

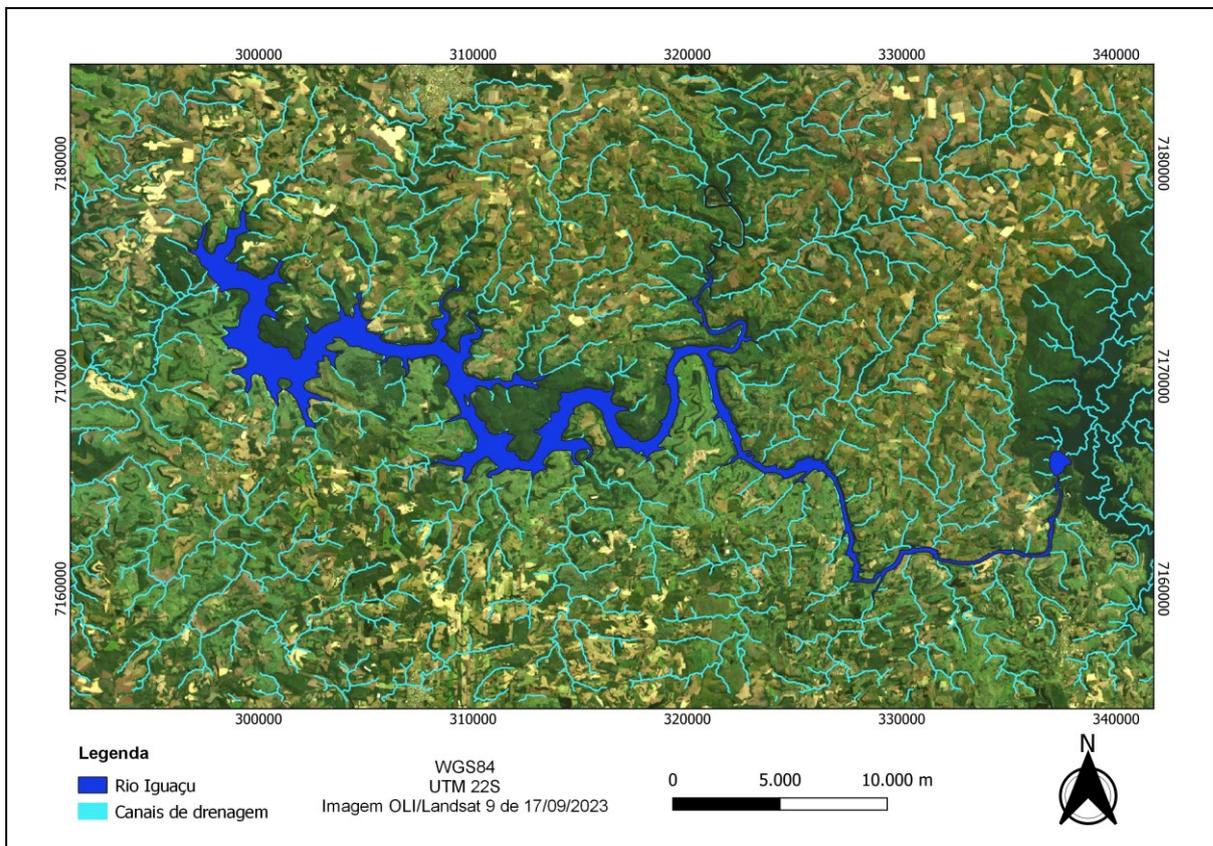
Classe III - Moderadamente Degradado: Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna de água, podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos. Médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e/ou densidade de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes, tendência moderada a eutrofização, tempo de residência das águas, considerável. Qualidade de água regular/aceitável (IAT, 2017).

O NT não possui especificação de valores de referência estabelecidos na legislação federal, e nem disposto pelos órgãos estaduais. Contudo, trata-se de um elemento de grande importância, já que influencia na qualidade da água. De modo geral, a formação de reservatório tende a elevar as concentrações de Nitrogênio no meio aquático em virtude da decomposição da matéria orgânica alagada que não foi removida e da liberação do nitrogênio preso ao solo. Entretanto, por tratar-se de um

reservatório alagado há muitos anos, este processo já não se mostra evidente na área de estudo, o que pode ser inferido pela análise dos valores observados para este parâmetro, que se mostram reduzidos, variando entre 0,21 e 0,2 mg/l, não demonstrando-se alarmante para a qualidade do corpo d'água em questão.

A Figura 24 apresenta os canais de drenagem que, de acordo com o relevo, apontam a direção de escoamento de fluidos no entorno do reservatório da UHE Salto Osório. Este recurso auxilia de forma significativa na compreensão do comportamento dos parâmetros de qualidade da água apresentados, identificando locais de concentração de fluxo de resíduos provenientes de atividades humanas, bem como de atividades agrícolas na região. O mapa de fluxos de drenagem ainda propicia o entendimento do aproveitamento das bordas do reservatório para lazer e recreação pelos municípios lindeiros, uma vez que o relevo é fator determinante para estas atividades, que influenciam diretamente na economia e na qualidade de vida dos municípios e munícipes.

Figura 24 – Canais de drenagem no entorno do reservatório da UHE Salto Osório



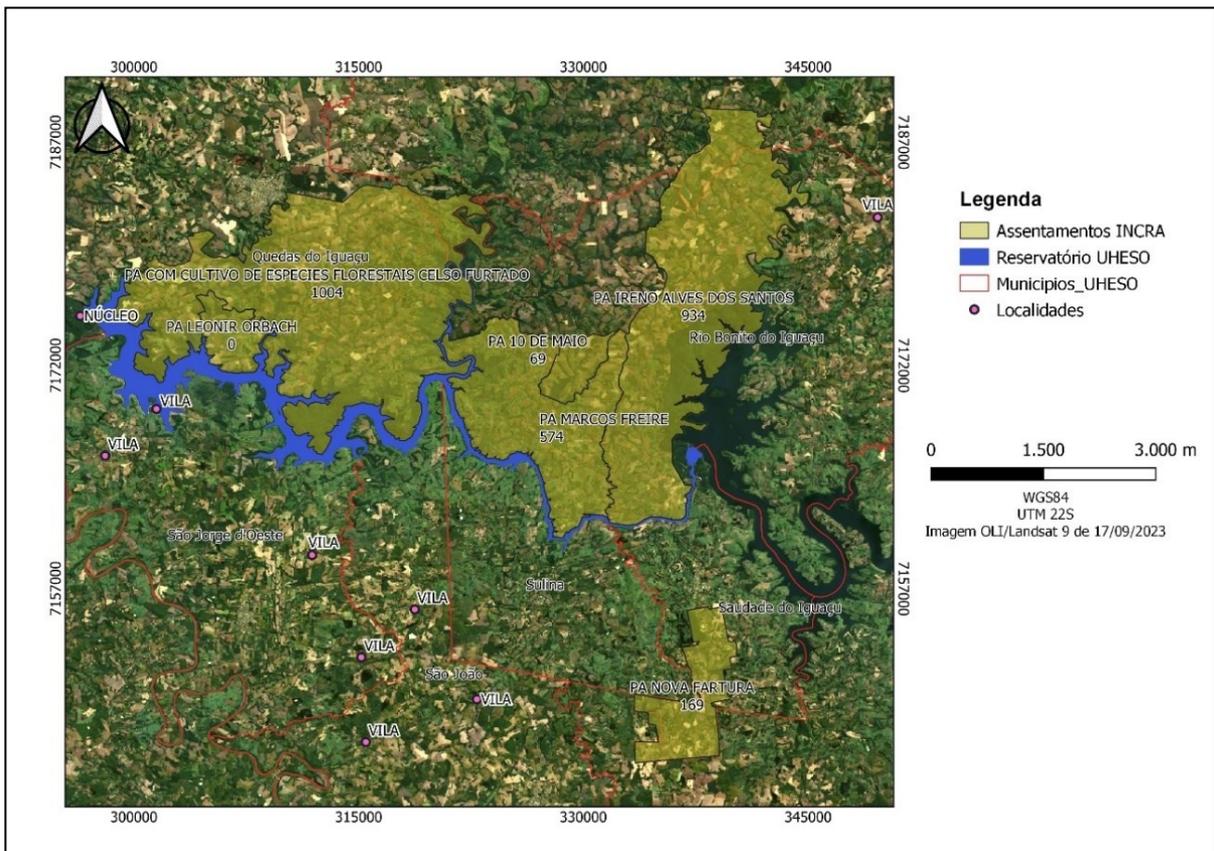
Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 25 traz as principais localidades elencadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponibilizadas para o ano de 2010, no entorno do

reservatório da UHE Salto Osório. Observa-se a ocorrência de dois tipos de localidades: i) Vila: representa a “sede de um distrito, delimitada por perímetro urbano definido, por lei municipal e como a área urbana”; e ii) Núcleo: definido como Aglomerado Rural Isolado e é vinculado “a um único proprietário do solo (empresas agrícolas, industriais, usinas, etc.), ou seja, que possui caráter privado ou empresarial” (IBGE, 2010). A Figura 25 ainda apresenta a localização de todos os Projetos de Assentamento (PA) existentes dentro do perímetro da área de estudo (INCRA, 2017), com suas respectivas quantidades de famílias assentadas. As características dos PA são:

Obtenção da terra, criação do Projeto e seleção dos beneficiários é de responsabilidade da União através do Incra;
 Aporte de recursos de crédito Apoio Instalação e de crédito de produção de responsabilidade da União;
 Infraestrutura básica (estradas de acesso, água e energia elétrica) de responsabilidade da União;
 Titulação (Concessão de Uso/Título de Propriedade) de responsabilidade da União (INCRA, 2023).

Figura 25 – Localidades e assentamentos próximos ao reservatório da UHESO



Fonte: Autoria própria (2023)

Assim como o mapa de Fluxos de Drenagem, o mapa de Localidades e Assentamentos ampara as análises dos parâmetros de qualidade da água, uma vez

que os aglomerados de atividade humana contribuem com lançamentos de efluentes, ausência de mata nativa e fomento de atividade agrícola, ainda que de subsistência (SILVA e CONCEIÇÃO, 2011).

É relevante observar que a expressiva maioria dos assentamentos da região se localizam na porção norte do reservatório, principalmente nos municípios de Quedas do Iguaçu e Rio Bonito do Iguaçu. As datas de criação dos assentamentos, capacidade de famílias e número de famílias assentadas estão elencadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Projetos de Assentamento do INCRA na área de estudo

Nome	Município	Data de criação	Capacidade (famílias)	Famílias assentadas	Área (ha)
PA Leonir Orbach	Quedas do Iguaçu	19/04/2016	100	0	1673,85
PA Marcos Freire	Rio Bonito do Iguaçu	01/12/1998	578	574	10095,43
PA 10 de Maio	Rio Bonito do Iguaçu	26/09/2005	69	67	1035,32
PA Nova Fartura	Saudade do Iguaçu	18/12/1997	169	169	3516,78
PA Com Cultivo De Espécies Florestais	Quedas do Iguaçu	06/12/2004	1095	1004	23733,19
PA Celso Furtado Ireno Alves dos Santos	Rio Bonito do Iguaçu	30/10/1997	934	934	16852,16

Fonte: Adaptado de INCRA (2017)

As análises aqui apresentadas tiveram como objetivo avaliar as condições de qualidade da água do reservatório da UHE Salto Osório, visando a identificação de possíveis riscos à saúde da população usuária deste recurso, seja para usos já existentes ou usos a curto prazo. Entretanto, observou-se que o corpo hídrico de estudo desta tese apresenta parâmetros de qualidade compatíveis com a classificação 2 dos corpos de água doces, de acordo com o CONAMA (BRASIL, 2005), que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca (BRASIL, 2005).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento econômico e a atividade industrial são altamente dependentes de energia, sem a qual a transformação da matéria-prima em produtos finais não é possível. Entretanto, em se tratando da geração de energia hidrelétrica, esta atividade, além de impactar o meio ambiente, pode impactar a condição de vida das pessoas. Por um lado, uma população recebe energia para o seu desenvolvimento social e industrial, mas, por outro lado, muitas famílias veem suas casas sendo desapropriadas e são forçadas a se mudarem.

O desenvolvimento econômico e a atividade industrial são altamente dependentes de energia, sem a qual a transformação da matéria-prima em produtos finais não é possível. Entretanto, em se tratando da geração de energia hidrelétrica, esta atividade, além de impactar o meio ambiente, pode impactar a condição de vida das pessoas. Por um lado, a instalação de Usinas Hidrelétricas proporciona a geração de energia para dar suporte ao desenvolvimento nacional mas, por outro, famílias sofrem as consequências de desapropriações de terras e com elas, de sua história. Neste cenário, o meio ambiente desempenha papel protagonista tanto como subsídio à geração energética quanto como base para que a população que permanece possa se reinventar e reconstruir um contexto aprazível à sua nova realidade.

Este trabalho avaliou a aplicabilidade das técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Semoto para a análise, a partir de indicadores socioambientais, dos efeitos decorrentes da instalação e operação da UHE de Salto Osório sobre o contexto em que está inserida.

Tendo suas obras iniciadas em 1970 – 32 anos antes da primeira Resolução do CONAMA (BRASIL, 2002), que viria regulamentar empreendimentos como este – sendo a primeira Usina Hidrelétrica a aproveitar os recursos do Rio Iguaçu, a implantação da UHE Salto Osório não passou previamente por quaisquer Estudos de Impacto Ambiental, afetando todo o ecossistema no entorno do Rio Iguaçu, principalmente na porção que viria a compreender o reservatório. As propriedades ao seu redor situadas a uma altitude inferior a 398,00 metros (que resultou em uma área efetiva de 40,32 km²) foram adquiridas para compor a faixa de segurança do lago, sem ressarcimento às benfeitorias nelas constantes.

Os seis municípios lindeiros ao reservatório buscaram, tanto quanto possível, aproveitar os efeitos do alagamento em benefício de sua comunidade. Quedas do

Iguaçu instalou, próximo à barragem o Parque Aquático Municipal, uma praia artificial e estruturas destinadas ao esporte e turismo; no território de Rio Bonito do Iguaçu instalou-se o assentamento de mais de 1500 famílias pelo INCRA, cujas atividades de subsistência levaram à substituição de matas nativas por agricultura, além do município contar com a presença de latifúndios destinados à exploração florestal da empresa Araupel; São Jorge d'Oeste estruturou o polo turístico dos Lagos do Iguaçu, cujas riquezas naturais favorecem o turismo de temporada principalmente para famílias residentes em grandes centros que estabelecem no local residências de veraneio. Já São João, Sulina e Saudade do Iguaçu, devido ao desfavorecimento topográfico de acesso ao reservatório, mostram-se limitados ao seu usufruto para turismo, fazendo com que a predominância do entorno do lago seja de atividades agropastoris nestes municípios. A análise dos indicadores econômicos municipais mostra que, apesar da relevante compensação financeira decorrente da exploração de recursos hídricos que os municípios recebem da hidrelétrica, o padrão de qualidade de vida da população não se apresenta compatível com investimentos bem direcionados deste recurso financeiro.

A análise da evolução do uso e cobertura do solo no entorno do reservatório da UHE Salto Osório, a partir da classificação de imagens orbitais Landsat, apontou que entre os anos de 1974 e 1985 a ocorreu uma expressiva supressão vegetal e um relevante movimento migratório. Neste período, acontecia no Brasil um significativo rearranjo de mercado agroindustrial e de máquinas agrícolas, caracterizado por aquisições e fusões entre as empresas do setor, levando a concorrência de mercado da esfera nacional para a mundial. Esta realidade, associada ao elevado nível de fertilidade dos solos constantes no entorno do reservatório fez com que aumentasse a produtividade no setor agrícola, fomentando o avanço desta atividade, fator que pode ter contribuído para um considerável impacto no uso dos solos, da água, bem como na expressiva supressão vegetal ocorrida no período; além da atratividade ocasionada pela construção e instalação da UHE Salto Osório.

Para análise da qualidade da água, considerando a imprescindível necessidade de ponderação das características individuais de cada reservatório que se faça objeto de estudo, este trabalho propôs a aplicação de índices espectrais para os parâmetros Clorofila a, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Oxigênio Dissolvido (OD) e Turbidez, cuja aplicação sobre imagens orbitais visaram favorecer

indicativos orientadores desses parâmetros, proporcionando uma perspectiva sinóptica da área de estudo e reduzindo custos e otimizando processos ao direcionar coletas de dados de limnologia em campo.

Os resultados obtidos a partir da aplicação dos índices espectrais de qualidade da água propostos neste trabalho sobre a UHE Salto Osório apontaram que o reservatório de estudo desta tese apresenta parâmetros de qualidade compatíveis com a classificação II dos corpos de água doces, de acordo com o CONAMA (BRASIL, 2005), que podem ser destinados ao abastecimento para consumo humano; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer e à aquicultura e à atividade de pesca; indicando que a influência da instalação da UHE Salto Osório, apesar de mostrar-se marcante na realidade do contexto em que está inserida, não provocou grandes prejuízos à qualidade da água responsável por sua geração hidrelétrica.

Os resultados obtidos neste trabalho preconizam para a impossibilidade de estruturação de uma rotina padronizada e genérica que traduza e apresente o impacto de uma usina hidrelétrica hipotética sobre o contexto em que se insere, uma vez que se mostra fundamental a consideração dos diferentes aspectos particulares envolvidos em cada realidade. Entretanto, esta tese propõe uma metodologia orientativa que pode ser adaptada a diferentes cenários, proporcionando uma avaliação dos efeitos da instalação e operação de UHEs a partir dos indicadores socioambientais aqui estudados.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

Esta tese teve o intuito de proporcionar a análise dos efeitos resultantes da instalação e operação da Usina Hidrelétrica de Salto Osório, englobando os cenários social, de uso e cobertura do solo, de ocupação de solos agricultáveis e de qualidade da água a partir da aplicação de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, visando estabelecer um diagnóstico geral do impacto da UHE Salto Osório sobre seu contexto. A análise conjunta desses indicadores inviabilizou uma investigação aprofundada e minuciosa sobre cada um deles, o que se sugere que seja realizado em trabalhos futuros, cujo foco esteja centralizado em cada indicador individualmente, ou em associações mais reduzidas.

Os índices espectrais de qualidade da água propostos neste trabalho foram gerados a partir de dados de campo de limnologia multitemporais disponibilizados pelo IAT provenientes de uma mesma estação de coleta, haja vista a limitação de recursos para coletas distribuídas ao longo do reservatório da UHE Salto Osório pela equipe executora desta tese. Assim, recomenda-se o refinamento destes índices a partir de amostras mais recentes e espacialmente distribuídas sobre este reservatório, além de uma análise estatística ainda mais direcionada que favoreça a apuração da metodologia proposta para determinação dos parâmetros de qualidade da água a partir de dados orbitais multiespectrais. Para estudos de diferentes reservatórios faz-se a mesma ressalva – que os índices espectrais sejam validados, e eventualmente adaptados, a partir de dados de campo relativos.

Por fim, observou-se uma significativa escassez de dados disponíveis que estruturassem de forma bem fundamentada a análise dos impactos sociais sobre as comunidades afetadas pela UHE Salto Osório. Desta forma, propõe-se que, em futuras análises deste contexto sejam realizadas aquisições de relatos em campo, a partir de entrevistas, diálogos e coletas de depoimentos que possibilitem a reflexão dos efeitos a partir da percepção individual dos envolvidos. Tais perspectivas não são passíveis de quantificação e padronização, e dificilmente apresentam-se registradas, mas certamente contribuem de maneira significativa na abordagem e estruturação dos efeitos resultantes da implantação e operação de Usinas Hidrelétricas.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E. H.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; NOVO, E. M. L. M. Time series analysis of water surface temperature and heat flux components in the Itumbiara Reservoir (GO), Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.23, n.3, p.245-259, September 2011, DOI. 10.1590/S2179-975X2012005000002.
- ALMEIDA, E.; BICALHO, R. **A nova energia do Brasil**. In: Como vai o Brasil? (Org, Earp, F. S., Bastian, E. F.; Modenesi, A. M.). 2012. Disponível em: <https://pressbooks.pub/comovaiobrasil/chapter/a-nova-energia-do-brasil/>. Acesso em 22 out 2021.
- ANA – Agência Nacional das Águas. **Cadernos de Recursos Hídricos: Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. 2005. Disponível em: <http://biblioteca.ana.gov.br/asp/prima-pdf.asp?codigoMidia=116574&indexSrv=1&nomeArquivo=20100601100047%5Fcadernos%5Fde%5Frecursos%5Fhidricos%5F1%2Epdf>. Acesso em 31 mar. 2021.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Mapa de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA)**. 2018. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/home/webmap/viewer.html?webmap=5d16701f24dd4c1ba13feb874977f092>. Acesso em 5 ago 2022.
- ANDRADE, A. **O papel das PCHs na economia Catarinense**. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2010.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos: valores efetivamente distribuídos**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/cmpf/gerencial/>. Acesso em: 10 out. 2023.
- ASSOCIAÇÃO RIO PARDO VIVO. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Disponível em: <https://riopardovivo.org/pequenas-centrais-hidreletricas/>. Acesso em 5 abr. 2021.
- ASSUNÇÃO, J.; SZERMAN, D.; COSTA, F. **Usinas Hidrelétricas no Brasil Geram Efeitos Econômicos Locais Diversos**. Input Brasil. 2017. Disponível em: <http://www.inputbrasil.org/publicacoes/efeitoseconomicos-locais-da-construcao-de-hidreletricas-no-brasil/>. Acesso em 03 de ago. de 2022.
- AVDAN, Z.Y.; KAPLAN, G.; GONCU, S.; AVDAN, U. Monitoring the water quality of small water bodies using high-resolution remote sensing data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v.8, n.12, December 2019. DOI. 10.3390/ijgi8120553.
- BAUMGARTNER, G.; PAVANELLI, C. S.; BAUMGARTNER, D.; BIFI, A. G.; DEBONA, T.; FRANA, V. A. **Peixes do baixo rio Iguaçu [online]**. Maringá: Eduem, 2012. ISBN 978-85-7628-586-1. Disponível em: [//efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://static.scielo.org/scielobooks/sn23w/pdf/baumgartner-9788576285861.pdf](http://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://static.scielo.org/scielobooks/sn23w/pdf/baumgartner-9788576285861.pdf). Acesso em: 25 abr. 2022.

BERNARDO, N., 2019. **A semianalytical algorithm to retrieve the suspended particulate matter in a cascade reservoir system with widely differing optical properties**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/190950>. Acesso em 24 abr. 2022.

BRAGA, E. A. S. AQUINO, M. D.; MALVEIRA, J. Q.; CAPELO NETO, J.; ALEXANDRINO, C. D. Avaliação da biodegradabilidade das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação do biodiesel produzido com óleo extraído das vísceras de tilápia. **REGA**, Porto Alegre - RS, v. 9, n. 2, p. 35-45, jul./dez. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 302, de 20 de março de 2002**. Publicada no DOU nº 53, de 13 de maio de 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005**. Publicada no DOU nº 53, de 17 de março de 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Portaria nº 304 de 29 de Abril de 1993**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1993304.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 2/9/1981, Página 16509.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia – MME. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 23 jun. 2022.

BRITO, L. A. P. F.; COSTA, S. B. Avaliação dos impactos socioambientais gerados na implantação de pequenas centrais hidrelétricas e usinas hidrelétricas de médio porte. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 25, Nº 1, 2019.

BROWN, R. M.; MCCLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A water quality index- do we dare? **Water and Sewage Works**. October. p. 339-343. 1970.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos – Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. 1 ed. São Paulo: Editora FAPESP, 1994.

CASTRO, P. H. M.; PEREIRA, A. C. F.; BARROS, M. V. F. **Sensoriamento Remoto aplicado à avaliação dos impactos à qualidade da água do baixo curso do Rio Tibagi – PR**. Disponível em:

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Teledeteccion/04.pdf>. Acesso em 5 abr. 2021.

CMEB - Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade, 1988.

CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica dona Francisca-RS**, 2010. Dissertação (mestrado em geografia). Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2010.

CORREA, M. L.; PAULA, D. A. **Hidrelétricas e Desenvolvimento no Brasil: A Construção da Usina de Furnas em Perspectiva Histórica (1956-1965)**. Simposio Internacional: Globalización, Innovación, y Construcción de Redes Técnicas Urbanas en América y Europa 1890-1930. Brazilian Traction, Barcelona Traction y Otros Conglomerados Financieros y Tecnicos. Universidad de Barcelona, Facultad de Geografía e Historia, 23-26 de janeiro 2012. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ub.edu/geocrit/Simposio/cCorrea-Paula_Hidreletricas.pdf](http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ub.edu/geocrit/Simposio/cCorrea-Paula_Hidreletricas.pdf). Acesso em: 21 mar. 2022.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; KACHAROUSKI, M. **Neossolos Litólicos do Subplanalto de Cascavel – Características e potencial de uso**. Disponível em: <http://www.pronasolos.pr.gov.br/pagina-20.html>. Acesso em 2 nov. 2021.

CURTARELLI, M.; ALCÂNTARA, E.; RENNÓ, C.; STECH, J. Physical changes within a large tropical hydroelectric reservoir induced by wintertime cold front activity. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.18, n.8, p.3079-3093, August 2014. DOI. 10.5194/hess-18-3079-2014.

DI BERNARDO, L. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. ABES, Rio de Janeiro, 1995. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília: Embrapa. Produção de informação, Rio de Janeiro: Embrapa solos.

ECSA – Engenharia Socioambiental S/C LTDA. **Plano de Uso e Ocupação das Águas e Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Osório**. 2002a. Disponível em: <https://www.engie.com.br/uploads/2018/11/Plano-Salto-Osorio-Volume1.pdf>. Acesso em 5 fev. 2022.

ECSA – Engenharia Socioambiental S/C LTDA. **Plano de Uso e Ocupação das Águas e Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica Salto Santiago**. 2002b. Disponível em: <https://www.engie.com.br/uploads/2018/11/Plano-Salto-Santiago-Volume2.pdf>. Acesso em 5 abr. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Geoinfo: Mapa de solos do estado do Paraná**. 2020. Disponível em:

http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aparana_solos_20201105#more. Acesso em 23 jul. 2022.

ENGIE. 2022. **ENGIE no Brasil**. Disponível em: <https://www.engie.com.br/institucional/sobre-a-engie/>. Acesso em: 6 nov. 2022.

ENGIE. **Inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa 2022**. ENGIE Brasil Energia. 2023. Disponível em: https://www.engie.com.br/uploads/2023/04/Relatorio_Engie_21.03.2023_v03.pdf. Acesso em: 5 ago. 2023.

ENGIE. **Verificação do inventário de Gases de Efeito Estufa - Engie Brasil Energia S.A – 2020**. ENGIE Brasil Energia. 2021. Disponível em: https://www.engie.com.br/uploads/2021/04/Relatorio-Inventario-de-Emissoes-Engie_2020_Portugues.pdf. Acesso em: 5 ago. 2023.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia; 2 ed.** Rio de Janeiro, Interciência, 1998.

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Qualidade da água**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.feema.rj.gov.br/qualidade-agua.asp?cat=75>. Acesso em 31 mar. 2021.

FONSECA, I. F. A Construção de Grandes Barragens no Brasil, Na China e na Índia: Semelhanças e Peculiaridades dos Processos de Licenciamento Ambiental em Países Emergentes. Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**, 2013.

FRANK, T. **Modelo de classificação para o mapeamento de cobertura e uso da terra em áreas-teste de Santo André (SP), usando imagens do WorldView-2 e o aplicativo InterIMAGE**. 2014. 114 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP5W34M/3GG385P>>. Acesso em: 15 set. 2023.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/saude-ambiental/-/asset_publisher/G0cYh3ZvWCm9/content/manual-de-controle-da-qualidade-da-agua-para-tecnicos-que-trabalham-em-etas?inheritRedirect=false. Acesso em 31 mar. 2021.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Estudo da qualidade das águas em reservatórios superficiais da bacia metropolitana**. Disponível em: <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/PROJETO-ESTUDO-DA-QUALIDADE-DAS-%C3%81GUAS-EM-RESERVAT%C3%93RIOS-SUPERFICIAIS-DA-BACIA-METROPOLITANA.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2023.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.

HEIDEMANN, F. G. **Do sonho do progresso às políticas de desenvolvimento**. In: HEIDEMANN, Francisco G; SALM, José Francisco (Orgs). Políticas públicas e desenvolvimento: bases epistemológicas e modelos de análise. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2009.

HELLWEGER, F. L.; SCHLOSSER, P.; LALL, U.; WEISSEL, J. K. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 61. 2004.

IAT – Instituto Água e Terra. **Monitoramento da Qualidade das Águas**. 2023. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-das-Aguas>. Acesso em 7 set. 2022.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Qualidade das Águas dos Reservatórios do Estado do Paraná**. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/relatorio_2017.pdf. Acesso em: 15 mai. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022: Panorama**. 2023c. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 14 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 1991**. 1992. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283450>. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000**. 2001. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=10192&t=resultados>. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=10503&t=resultados>. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **História: Sulina**. 2023a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/sulina/historico>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **História: Saudade do Iguçu**. 2023b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/saudade-do-iguacu/historico>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Localidades | 2010**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/27385-localidades.html>. Acesso em: 20 out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de pobreza e desigualdade**. 2003. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 15 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Quedas do Iguaçu**. 2020a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/quedas-do-iguacu/panorama>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Rio Bonito do Iguaçu**. 2020b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/rio-bonito-do-iguacu/panorama>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São João**. 2020d. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/sao-joao/panorama>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São Jorge d'Oeste**. 2020c. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/sao-jorge-doeste/panorama>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Saudade do Iguaçu**. 2020f. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/saudade-do-iguacu/panorama>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sulina**. 2020e. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/sulina/panorama>. Acesso em: 13 set. 2023.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Assentamentos**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos>. Acesso em 1 dez. 2023.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Exportar shapefile**. 2017. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py. Acesso em 10 jul. 2023.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Topodata – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **O que é? - Índice de Gini**. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2048:catid=28. Acesso em: 3 out. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LIMA, T. S. **Análise da qualidade ambiental no reservatório Sobradinho, Brasil, utilizando bioindicadores e sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado) -

Universidade Federal de Pernambuco, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27114>. Acesso em: 30 ago. 2023.

LIU, J.; ZHANG, Y.; YUAN, D.; SONG, X. Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in China using high resolution IKONOS multispectral imagery. **Water**, v.7, n.11, p.6551-6573, November 2015. DOI. 10.3390/w7116551.

LONDE, L. R. **Comportamento espectral de fitoplâncton de águas interiores do Brasil como suporte à aplicação de sensores hiperspectrais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. Tese de Doutorado. Disponível em: http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/08.18.12.14/doc/tese_Luciana_Londe.pdf. Acesso em: 20 ago. 2023.

LOPES, F. B.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperspectral. 2014. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S13–S19. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS13-S19>

LOPES, M. S.; BRITO, D. M. C. Impactos socioambientais ocasionados por hidrelétrica no Vale do Jari, Amapá, Brasil: percepções comunitárias. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo. Vol. 24, 2021.

LOPES, S. M. **Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do reservatório da UHE Capivari-Cachoeira e corpos hídricos relacionados**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Curitiba, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4227/1/CT_PPGCTA_M_Lopes%20%20Sarah%20Meier_2019.pdf. Acesso em: 4 dez. 2023.

LOURENÇO, T. M. F. **Emissão de gases de efeito estufa na produção de energia elétrica gerada por usinas hidroelétricas, eólicas e termoeletricas no Brasil**. 2016. 90 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LUZ, G.A.; GUASSELLI, L.A.; ROCHA, D. Temperature surface of Guaíba Lake, RS, from time series of MODIS images. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.22, n.17, November 2016. DOI. 10.1590/2318-0331.011716094.

MACÊDO, J. A. B. **Águas e águas**. 2ª ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2004. 977p.

MELO, F. A. O.; NEPOMUCENO, A. L. T. **Determinação do índice de qualidade da água do rio Piranga – MG**. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende - RJ. 2017.

MENDES, N. A. S. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do reassentamento rural de Rosana-Euclides da Cunha Paulista**. 2005. 218 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual

Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/96258>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MERTEN, G. H., MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, 2002.

MORAGAS, W. M. **Análise dos sistemas ambientais do alto Rio Claro – sudoeste de Goiás: contribuição ao planejamento e gestão**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2005.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Markon Books, 1995.

NAIME, R. Impactos socioambientais de hidrelétricas e reservatórios nas bacias hidrográficas brasileiras. **Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental**, 7(7), 1409–1422. 2012. <https://doi.org/10.5902/223611706109>

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)**. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/etm-plus/>. Acesso em 17 abr. 2023.

NEOENERGIA. **Neoenergia implanta equipamentos em subestações para reforçar a qualidade no sistema**. 2021. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/w/neoenergia-implanta-equipamentos-em-subestacoes-para-reforcar-a-qualidade-no-sistema#:~:text=%E2%80%8B%E2%80%8B%E2%80%8B%20compensador,forne cer%20pot%C3%Aancia%20reativa%20ao%20sistema>. Acesso em: 15 set. 2023.

NILTON, C. **O Impacto das Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's no Meio Ambiente**. 2009. 10 f. TCC (Graduação em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

NOVO, E. M. L. M. **Monitoramento de Quantidade e Qualidade da Água e Sensoriamento Remoto**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2007.

PEARSON, K. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. 1900. **Philosophical Magazine Series**, 50, 157-175. <http://dx.doi.org/10.1080/14786440009463897>.

PINHEIRO, M. R. C. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos aplicada a bacia hidrográfica do rio Macaé**. 2008. 152p. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental. Campos, Rio de Janeiro. 2008.

PIZANI, F. M. C.; MAILLARD, P.; AMORIM, C. C. The Estimation of Water Quality Parameters in Lentic Environments Through Remote Sensing Technologies: a

Review of the Past Two Decades. **RBC. REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA (ONLINE)**, v. 74, p. 729-754, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE QUEDAS DO IGUAÇU. **História**. Disponível em: https://quedasdoiguacu.pr.gov.br/pagina/78_Historia-da-Cidade.html. Acesso em: 12 set. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO DO IGUAÇU. **História**. Disponível em: <https://www.riobonito.pr.gov.br/carregaPagina.php?p=1>. Acesso em: 12 set. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO. **Histórico do Município**. Disponível em: <https://saojoao.pr.gov.br/historico-do-municipio>. Acesso em: 12 set. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JORGE D'OESTE. **História**. Disponível em: <https://pmsjorge.pr.gov.br/o-municipio/historia/>. Acesso em: 12 set. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil (1985-2022)**. 2023. DOI: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>.

PROJETO MAPBIOMAS. **O Projeto**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em 14 de mar. de 2024.

PU, F.; DING, C.; CHAO, Z.; YU, Y.; XU, X. Water-quality classification of inland lakes using Landsat8 images by convolutional neural networks. **Remote Sensing**, v.11, n.14, p.1674, July 2019. DOI. 10.3390/rs11141674.

QGIS. **QGIS - A liderança do SIG de código aberto**. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html. Acesso em: 13 jul. 2023.

RUDORFF, B. F. T., SHIMABUKURO, Y. E., CEBALLOS, J. C. O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos, SP. **Editora Parêntese**. 2007.

RUFINO, E. P.; MOREIRA, G. A. S.; FAVERO, M. B.; DURANTE, T. LAZZARIN, L. C. **Análise da Área Alagada pela Usina Hidrelétrica de Itá com o Auxílio de Softwares de Sensoriamento Remoto**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis/SC, 2017.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil. **Nova Hedwigia**, Zeitschrift Für Kryptogamenkunde, Alemanha, v.71, n.3-4, p.359-385, 2000.

SAWYER, C.N.; MCCARTY, P.L.; PARKIN, G. F. Chemistry for environmental engineering. 4^o ed. New York. **McGraw-Hill Book Company**. 1994. 658p.

SESTINI, M. F. **Análise e monitoramento de reservatórios**. 2020. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/an%C3%A1lise-e-monitoramento-de-reservat%C3%B3rios-marcelo-f-sestini-1f>. Acesso em: 25 set 2022.

SILVA, D. J.; CONCEIÇÃO, G. M. Rio Itapecuru: Caracterização Geoambiental e Socioambiental, Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Revista Scientia Plena**. vol. 7, num.1, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/50>. Acesso em: 29 ago. 2023

SILVA, E. J.; COELHO, F.; SILVA, W. P. Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 33, p. 121-130, 2017. Disponível em: <http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/cadernos/article/view/437#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20sensoriamento%20remoto,e%20an%C3%A1lise%20qualitativa%20da%20%C3%A1gua>. Acesso em 14 abr. 2021.

SILVA, R. C. F.; SOUSA, J. A. P.; AMORIM, A. T.; LOPES, E. R. N.; LOURENÇO, R. W.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. **Análise comparativa de índices espectrais para a extração automática da lâmina d'água em imagem do satélite Landsat 8OLI**. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019. São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-comparativa-de-indices-espectrais-para-a-extracao-automatica-da-lamina-d-agua-em-imagem-do-satelite-landsat-8oli>. Acesso em: 16 abr. 2021.

SOARES, V. R. **Impactos sociais causados pela construção de hidrelétricas em populações ribeirinhas na zona da mata mineira: o caso específico da Usina Hidrelétrica Candonga – Rio Doce/ Santa Cruz Escalvado – Minas Gerais Juiz de Fora**. 2009. Monografia UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA Curso de Ciências Sociais. Disponível em: <https://www.ufjf.br/graduacaocienciasociais/files/2010/11/IMPACTOS-SOCIAIS-CAUSADOS-PELA-CONSTRU%C3%87%C3%83O-DE-HIDREL%C3%89TRICAS-EM-POPULA%C3%87%C3%95ES-RIBEIRINHAS-NA-ZONA-DA-MATA-MINEIRA-V%C3%A2nia-Ribeiro-Soares.pdf>. Acesso em 30 jul. 2022.

SOUSA, W. L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de duas abordagens**. Tese do Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

SOUTO, A. L. **Impactos socioambientais das usinas hidrelétricas**. 2018. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/8-ano/fontes-de-energia/produzindo-energia-eletrica/a/impactos-socioambientais-das-usinas-hidreletricas>. Acesso em: 15 set. 2022.

SOUZA, C.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; Hasenack H. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 27, 2020. DOI:10.3390/rs12172735.

SOUZA, R. **Empregos – Se tivessem aprovação dos órgãos ambientais, 810 pequenas centrais hidrelétricas em todo Brasil iriam gerar 200 mil novas oportunidades de emprego**. 2020. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/empregos-se-tivessem-aprovacao-dos-orgaos-ambientais-810-pequenas-centrais-hidreletricas-em-todo-brasil-iriam-gerar-200-mil-novas-oportunidades-de-emprego/>. Acesso em 05 abr. 2021.

STANTON, J. M. Galton, Pearson, and the peas: A brief history of linear regression for statistics instructors. 2001. **Journal of Statistical Education**, 9,3. Disponível em: <http://www.amstat.org/publications/JSE/v9n3/stanton.html>

TREMBLAY, A.; VARFALVY, L. ROEHM, C.; GARNEU, M. Greenhouse gas emissions: fluxes and porcesses, hydroelectric reservoirs and natural environments. **Environmental Science Series**, 72 p., 2005.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-a-scale-factor-landsat-level-2-science-products>. Acesso em: 15 abr. 2023.

VIAJE PARANA. **Sulina**. Disponível em: <https://www.viajeparana.com/Sulina>. Acesso em: 20 ago. 2023.

VILELA, M. A. M. A. **Metodologia para monitoramento da qualidade da água em reservatórios utilizando Sensoriamento Remoto**. 2010. 85f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2010.

VON SPERLING, E. **Morfologia de Lagos e Represas**. DESA/UFMG, Minas Gerais, 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 4ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WANG, D.; KAGEYAMA, Y.; NISHIDA, M.; SHIRAI, H.; KASAI, C. Water quality analysis of Lake Hachiroko, Japan, using ALOS PALSAR data. **International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources**, v.20, n.2, p.175-180, October 2014. DOI. 10.5188/ijsmr.20.175.

WANG, X. J., MA, T. Application of remote sensing techniques in monitoring and assessing the water quality of Taihu Lake. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 67, 2001.

XIONG, J. ; LIN, C. ; MA, R. ; CAO, Z. Remote sensing estimation of lake total phosphorus concentration based on MODIS: A case study of Lake Hongze. **Remote Sensing**, v.11, n.17, p.2068, September 2019. DOI. 10.3390/rs11172068.

ZULPO, D. L., PERETTI, J., ONO, L. M., GARCIA, J. L. **Avaliação microbiológica da água consumida nos bebedouros da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil**. Seminário de Ciências Agrárias, Londrina, v.27, n.1. 2006.

APÊNDICE A - Dados das imagens orbitais utilizadas nos processamentos

Processamento	Ano	Satélite/Sensor	ID da imagem
Uso e cobertura do solo	1974	Landsat 1/ MSS	LM01_L1TP_239078_19740605_20200908_02_T2
	1985	Landsat 5/ MSS	LM05_L1TP_223078_19850612_20180406_01_T2
	2023	Landsat 9/ OLI	LC09_L2SP_223078_20230917_20230919_02_T1
Validação dos índices de Wang e Ma (2001)	2000 a 2012	Landsat 7/ ETM+	LE07_L2SP_223078_20000410_20200918_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20060310_20200914_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20120411_20200909_02_T1
			LE07_L2SP_223078_19990729_20200918_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20000410_20200918_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20001003_20200918_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20010328_20230403_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20020315_20200916_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20030318_20200915_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20040405_20200915_02_T1
Geração dos índices espectrais para a área de estudo	1999 a 2013	Landsat 7/ ETM+	LE07_L2SP_223078_20041014_20200915_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20050729_20200914_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20060310_20200914_02_T1
			LE07_L2SP_223078_20060918_20200914_02_T1

LE07_L2SP_223078_20070329_202009
13_02_T1

LE07_L2SP_223078_20070703_202009
13_02_T1

LE07_L2SP_223078_20080721_202009
12_02_T1

LE07_L2SP_223078_20090419_202009
12_02_T1

LE07_L2SP_223078_20100201_202009
11_02_T1

LE07_L2SP_223078_20100727_202009
11_02_T1

LE07_L2SP_223078_20110714_202009
09_02_T1

LE07_L2SP_223078_20120411_202009
09_02_T1

LE07_L2SP_223078_20121105_202009
08_02_T1

LE07_L2SP_223078_20130703_202009
07_02_T1

Aplicação dos
índices
espectrais
gerados para
análise atual

2023

Landsat 9/ OLI

LC09_L2SP_223078_20230917_202309
19_02_T1
