



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

AUGUSTO GABRIEL JATOBÁ FERNANDES

**APLICAÇÃO DE UMA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE
PROCESSOS (AHP) PARA DELIMITAR ÁREAS
PRIORITÁRIAS NO RECRUTAMENTO DE PEIXES
NEOTROPICAIS**

AUGUSTO GABRIEL JATOBÁ FERNANDES

**APLICAÇÃO DE UMA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE
PROCESSOS (AHP) PARA DELIMITAR ÁREAS PRIORITÁRIAS
NO RECRUTAMENTO DE PEIXES NEOTROPICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Luís Orsi

Coorientadora: Dr^a Ana Carolina Vizintim
Fernandes Barros

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F363a Fernandes, Augusto Gabriel Jatobá .
Aplicação de uma Análise Hierárquica de Processos (AHP) para delimitar áreas prioritárias no recrutamento de peixes Neotropicais / Augusto Gabriel Jatobá Fernandes. - Londrina, 2026.
40 f. : il.

Orientador: Mario Luis Orsi.
Coorientador: Ana Carolina Vizintim Fernandes Barros.
Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Recrutamento de peixes - Tese. 2. Ecologia de peixes - Tese. 3. Ovos e larvas de peixes - Tese. 4. Geoprocessamento associado a biologia - Tese. I. Orsi, Mario Luis. II. Barros, Ana Carolina Vizintim Fernandes. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU 574

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos 13 dias do mês de março do ano de 2026, na sala Sala 8 do Laboratório Escola De Pós-Graduação, desta Universidade, às 09:00 horas, reuniu-se a Banca Examinadora homologada pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, composta por Dr. Mario Luis Orsi como presidente da banca, Dr. Marcelo Gonçalves e Dr. Andrea Bialezki. A reunião teve por objetivo julgar o trabalho do estudante AUGUSTO GABRIEL JATOBA FERNANDES sob o título: "APLICAÇÃO DE UMA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP) PARA DELIMITAR ÁREAS PRIORITÁRIAS NO RECRUTAMENTO DE PEIXES NEOTROPICAIS". Os trabalhos foram abertos pelo professor Dr. Mario Luis Orsi. A seguir, foi dada a palavra ao estudante para apresentação do trabalho. Cada examinador arguiu o Mestrando, com tempos iguais de arguição e resposta. Terminadas as arguições, procedeu-se ao julgamento do trabalho, concluindo a Banca Examinadora por sua Aprovação. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Banca Examinadora.

O estudante deverá reformular seu trabalho no prazo de 60 dias: (☒) SIM () Não
Se houver alteração no título do trabalho, informar o novo título abaixo:

Obs.: Este documento não deve conter rasuras ou corretivo e deve ser preenchido de forma legível.

Londrina, 13 de Março de 2026.

PRESIDENTE

Dr. MARIO LUIS ORSI

TITULARES

Dr. ANDREA BIALETZKI

Dr. MARCELO GONÇALVES

UEL



Documento assinado digitalmente

MARIO LUIS ORSI

Data: 13/03/2026 15:48:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

UEM



Documento assinado digitalmente

ANDREA BIALETZKI

Data: 17/03/2026 16:43:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

UEL



Documento assinado digitalmente

MARCELO GONÇALVES

Data: 18/03/2026 11:03:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

A entrega do presente documento é um marco em uma história que começou há mais de duas décadas, desde a minha mais tenra formação. À minha mãe Eliane e minha avó Manuela, deixo meus mais carinhosos agradecimentos, por me acompanharem desde o “be-a-bá” até aqui, sem vocês nada teria sequência. Agradeço profundamente ao Marcio, que ao longo dos últimos 18 anos foi meu pai, meu conselheiro e principalmente meu maior exemplo de homem.

Ao professor Dr. Mário Luis Orsi, meu orientador e mentor, que está comigo desde o primeiro semestre de graduação, não tenho palavras suficientes para dizer o quanto sou grato pela confiança e pelos ensinamentos que me transmitiu nesses sete anos. À Dr^a Ana Carolina Vizintim Fernandes Barros, minha coorientadora que me auxiliou desde a concepção até a pós-produção do presente trabalho, também gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos. Agradeço também à banca avaliadora da minha qualificação e da defesa, que contribuíram imensamente para a redação da versão final do trabalho, Dr^a Andréa Bialecki, Dr. Fernando Camargo Jerep e Dr. Marcelo Gonçalves.

À minha noiva, companheira, eterna namorada e futura esposa Ana Beatriz Olivetti da Silva, só posso dizer que essa conquista é tão sua quanto minha. Obrigado por acreditar em mim em todos os dias desde que nos conhecemos. Serei grato a você e por ter você durante todos os dias da minha vida. Agradeço também aos meus sogros Valdir e Márcia por todo o apoio, e aos meus cunhados Júlio e Maria por cada risada tirada durante o processo.

Tenho muitos amigos e amigas a agradecer, começando por todos os integrantes que passaram pelo LEACEN desde 2019, com cada um de vocês aprendi algo que me acompanha até hoje. Em especial, ao Dr. Armando César Casimiro Rodrigues, que desde o meu primeiro ano como estagiário me ensinou tudo o que pôde. Lucas Henrique, Luccas, Samuel, Yoshio e Arthur, obrigado por todas as conversas sobre tudo menos biologia, esses momentos de descontração foram essenciais para manter minha sanidade durante esse período.

A todos os amigos que eu fiz desde a época da escola e que trilharam comigo os caminhos da graduação e agora da pós, meu muito obrigado, em especial a Gustavo, Juninho, Gabriel e Luís Fernando, vocês fazem parte da minha história. Esse trabalho não teria sido realizado sem a ajuda de Msc. Pedro Henrique Gongora Míguez, que teve toda a paciência do mundo para me ajudar com a parte de programação e rasterização no QGIS. Obrigado meu amigo, você sempre será lembrado por mim. Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, profissional e pessoal, nada é possível no mundo sem educação. Obrigado à Universidade Estadual de Londrina pela estrutura cedida ao longo de todo o processo e pela formação que me foi proporcionada

em uma instituição pública de qualidade e renome. Por fim, agradeço ao Departamento de Biologia Animal e Vegetal e a todos os meus colegas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

FERNANDES, Augusto Gabriel Jatobá. **Aplicação de uma Análise Hierárquica de Processos (AHP) para delimitar áreas prioritárias no recrutamento de peixes Neotropicais**. 2026. 40f. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

RESUMO:

A literatura científica sobre a bacia do rio Tibagi, localizada na porção sul da região Neotropical, a reconhece como um importante refúgio para a biodiversidade da ictiofauna da bacia do Alto Paraná, apesar da intensa atividade antrópica em seu território. Diante da carência de estudos que relacionem variáveis ambientais ao recrutamento de peixes em escala de bacia hidrográfica, o presente trabalho propôs uma abordagem metodológica baseada na integração entre a Análise Hierárquica de Processos (AHP) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o objetivo de identificar áreas potencialmente prioritárias ao recrutamento da ictiofauna na bacia do rio Tibagi. Foram considerados seis critérios ambientais reconhecidamente associados ao recrutamento de peixes de água doce: uso e cobertura do solo, declividade, pedologia, densidade de travessias de corpos hídricos, presença de lagoas marginais e áreas de influência de reservatórios hidrelétricos. Os critérios foram convertidos em rasters temáticos, normalizados e ponderados a partir de matriz de comparações pareadas estruturada com base na literatura científica. O modelo resultante gerou um mapa de adequabilidade ambiental com valores variando entre 0 e 1, representando estimativas espaciais de adequabilidade potencial ao recrutamento. Os resultados indicaram predominância de áreas com adequabilidade moderada, correspondendo a mais de 60% da bacia, enquanto menos de 7% da área total foi classificada como de muito alta adequabilidade. Áreas próximas aos principais centros urbanos apresentaram menores valores de adequabilidade, sugerindo influência indireta da antropização sobre os critérios estruturais analisados. A metodologia demonstrou elevada replicabilidade por utilizar exclusivamente dados públicos e software gratuito, permitindo adaptação para outras bacias hidrográficas. Embora o modelo não mensure diretamente processos biológicos como sobrevivência larval ou sucesso reprodutivo observado em campo, a abordagem proposta pode subsidiar o direcionamento de estudos ecológicos, ações de monitoramento ambiental e estratégias preliminares de conservação da ictiofauna continental.

Palavras-chave: Reprodução; rio Tibagi; Bacia do rio Paranapanema; Alto Paraná; Ovos e larvas

FERNANDES, Augusto Gabriel Jatobá. **Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) to delimit priority areas for Neotropical fish recruitment**. 2026. 40 p. Master's Dissertation (Master's degree in Biological Sciences) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

Abstract:

The scientific literature recognizes the Tibagi River basin, located in the southern portion of the Neotropical region, as an important refuge for the ichthyofaunal biodiversity of the Upper Paraná basin, despite the intense anthropogenic activity within its territory. Given the scarcity of studies relating environmental variables to fish recruitment at the river basin scale, this study proposed a methodological approach based on the integration of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS), aiming to identify potentially priority areas for fish recruitment within the Tibagi River basin. Six environmental criteria known to be associated with freshwater fish recruitment were considered: land use and land cover, slope, pedology, density of watercourse crossings, presence of marginal lagoons, and areas influenced by hydroelectric reservoirs. These criteria were converted into thematic raster layers, normalized, and weighted using a pairwise comparison matrix structured according to the scientific literature. The resulting model generated an environmental suitability map with values ranging from 0 to 1, representing spatial estimates of potential recruitment suitability. The results indicated a predominance of areas with moderate suitability, corresponding to more than 60% of the basin, while less than 7% of the total area was classified as having very high suitability. Areas near the main urban centers showed lower suitability values, suggesting an indirect influence of anthropogenic disturbance on the structural criteria analyzed. The methodology demonstrated high replicability by relying exclusively on publicly available data and free software, allowing adaptation to other river basins. Although the model does not directly measure biological processes such as larval survival or reproductive success observed in the field, the proposed approach may support the planning of ecological studies, environmental monitoring actions, and preliminary conservation strategies for continental ichthyofauna.

Keywords: Reproduction; Tibagi river; Paranapanema river basin; Upper Paraná; Eggs and larvae

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores atribuídos a cada classe de cobertura de solo no “ <i>raster</i> ” normalizado do Uso de solo.....	15
Tabela 2. Valores atribuídos a cada classe de tipo de solo no raster normalizado de Pedologia...16	16
Tabela 3. Valores atribuídos a cada classe de declividade no raster normalizado	17
Tabela 4. Matriz de valores contendo a relação de pesos dos critérios. O número da célula corresponde à razão da importância do critério da linha sobre o critério da coluna.	21
Tabela 5. Valores dos autovetores atribuídos para cada critério adotado na AHP.	22
Tabela 6: Porcentagem da representatividade de cada classe de adequabilidade ambiental ao peixamento na bacia do Tibagi em relação ao total.	23
Tabela 7: Métricas do mapa de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes da bacia do rio Tibagi.	24

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
2- MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
2.1- Área de estudo	13
2.2- Critérios para definição das melhores áreas para reprodução	14
2.2.1 Uso de solo.....	14
2.2.2- Pedologia.....	16
2.2.3- Declividade	16
2.2.4- Densidade de travessia de corpos hídricos.....	17
2.2.5- Lagoas marginais	18
2.2.6- Influência dos reservatórios.....	19
3- RESULTADOS.....	23
4- DISCUSSÃO:	27
5- CONCLUSÃO:	31
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

A região Neotropical consiste nas porções de terra entre trópicos da América, sendo uma das maiores regiões biogeográficas do mundo, também contém a maior biodiversidade global, em grande parte por conta da Floresta Amazônica e da Mata Atlântica (Sobral-Souza et al., 2015), além de ser socioeconomicamente muito ativa no globo, abrigando centenas de milhões de pessoas e com intensa atividade agropecuária (Piperno & Pearsall et al., 1998). Nesse contexto, a bacia do Rio Paraná é a região hidrográfica com a maior extensão e maior biodiversidade fora do bioma amazônico na região Neotropical, com mais de 340 espécies de peixes nativos e 128 espécies de peixes não nativos (Dagosta, et al., 2024).

Estudos no rio Tibagi e seus tributários são realizados desde o fim dos anos 80 a fim de mensurar a sua riqueza de peixes, de modo que a quantidade de espécies comprovadamente presentes na bacia cresceu de maneira contínua ao longo dos anos (Shibatta et al., 2002). O Tibagi e seus afluentes provavelmente possuem espécies cuja ocorrência ainda não foi indicada para a bacia, além de espécies não descritas pela ciência e possivelmente endêmicas (Hoffmann et al., 2015; Pedroso et al., 2024).

Por ser considerado o principal refúgio para a biodiversidade da ictiofauna na bacia do rio Paranapanema (Raio & Bennmann, 2010) o esperado para a bacia do rio Tibagi seria que houvessem esforços conjuntos entre o poder público e a sociedade de modo geral visando a conservação de um ótimo estado de hígidez para a bacia. Entretanto, durante os trâmites legais para a construção da usina hidrelétrica Jayme Canet Júnior os levantamentos feitos para o Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e para o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) apresentados nos pareceres favoráveis à construção da UHE foram subamostrados em relação a grandeza, riqueza e complexidade da bacia, o que torna mais difícil definir quais os impactos da barragem nas populações locais de ictiofauna, uma vez que a sua verdadeira constituição original é pouco compreendida (Raio & Bennemann, 2010). Apesar dessas limitações, entender a dinâmica reprodutiva da ictiofauna da região é essencial para a conservação da biodiversidade local e dos serviços ecológicos por ela prestados, além de subsidiar ações de manutenção do estoque pesqueiro da região, uma importante atividade econômica para toda a bacia do rio Paranapanema (Casimiro et al., 2022).

Para cumprir o objetivo de compreender como se dão os parâmetros reprodutivos da comunidade dos peixes da bacia do Tibagi, primeiramente é necessário esclarecer um importante conceito ecológico: o recrutamento. O recrutamento em peixes se refere à parcela quantitativa de ovos e/ou larvas que conseguem atingir um estágio de maturação viável, onde a taxa de mortalidade deixa de ser influenciada por fatores relacionados à reprodução daquela espécie (Agostinho & Zalewski, 1996; Wootton, 2012), ou seja, qual a proporção de indivíduos que conseguem superar a fase larval se tornando um indivíduo juvenil apto a crescer e compor efetivamente aquela população. A partir disso, é possível inferir que o

recrutamento de peixes em ambientes de água doce é impactado por dinâmicas e fatores que acontecem dentro e fora d'água, tais como a qualidade ambiental e de água, a densidade populacional e diversos fatores abióticos (Winemiller, 1989). Portanto, é fundamental que todos esses pontos sejam estudados de maneira coesa e integrativa, afim de criar uma perspectiva que nos permita compreender os impactos das atividades antrópicas nas populações dos peixes de uma bacia hidrográfica, e como isso afeta a integridade do ecossistema (Winemiller & Rose, 1992; Oliveira, et al., 2020).

Partindo dessa necessidade integrativa entre áreas metodológicas que nos permitam criar uma resposta abrangente e assertiva, as Análises Hierárquicas de Processos (AHP's) se destacam por serem comumente utilizadas para determinar índices de qualidade, fragilidade ou integridade ambiental, dependendo do foco onde são empregadas (Dieye et al., 2024; Wang et al., 2024;). Quando Saaty (1980) propôs pela primeira vez o método AHP como uma forma de ponderar critérios e quantificar variáveis qualitativas que interagem entre si com hierarquias de relevância, criou também um leque de novas possibilidades em propostas de tomadas de decisão, que podem e devem ser exploradas também do ponto de vista ambiental.

Embora trabalhos combinando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com aspectos bioecológicos como distribuição e qualidade ambiental não sejam uma novidade na pesquisa da ictiofauna continental (Desai et al., 2021; Ferraz et al., 2021; Mariac et al., 2022), apenas recentemente os esforços acadêmicos começaram a abordar a relação da qualidade ambiental com atributos ecológicos para facilitar e embasar cientificamente a tomada de decisões dos órgãos competentes (Casimiro et al., 2022; Silva et al., 2025). Recentemente foi publicado um importante estudo cujo principal objetivo foi realizar uma AHP para determinar as melhores áreas do ponto de vista ecológico para a prática do peixamento, quando necessário, na bacia do rio Paranapanema (Barros et al., 2025).

Motivado por tentar solucionar as problemáticas expostas anteriormente, esse estudo teve como objetivo definir e aplicar pela primeira vez os critérios de uma AHP baseados em parâmetros reprodutivos e aplicá-los para determinar as áreas mais propícias ao recrutamento de peixes na bacia do rio Tibagi com base em dados livres. A intenção de produzir um trabalho como esse se dá pela crença de que obter sucesso em determinar áreas ideais para o recrutamento de peixes nas bacias hidrográficas por meio de SIG traz várias possibilidades de aplicação, voltadas principalmente à conservação ambiental. Uma dessas aplicações é definir com maior assertividade locais de coleta em estudos científicos, otimizando o tempo e os gastos em trabalhos acadêmicos nessa área de estudo. Além disso, essa técnica poderia ser bem aproveitada na área da consultoria e monitoramento ambiental, também por definir mais assertivamente áreas de coleta e diminuir custos e tempo de trabalho, algo que pode aumentar significativamente a qualidade desses estudos, evitando subamostragens como as identificadas por Raio & Bennemann (2010) nos EIA/RIMA da UHE Jayme Canet Júnior. Por fim, essa análise ambiental pode

ser utilizada como referência temporária na tomada de decisões públicas, ajudando pesquisadores da área a obter vantagem temporal na produção de estudos científicos completos em regiões que passariam por algum tipo de empreendimento (Filipe, et al., 2002; Francisco et al., 2004; Chakraborty, et al., 2022; Lazem, 2022).

2- MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Área de estudo

O rio Tibagi faz parte da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Paraná, e possui cerca de 550 km de extensão. A bacia do Tibagi conta com 65 afluentes principais, de acordo com Maack (1968), que confluem para a calha coletora. Sua nascente se encontra no município de Palmeira, enquanto deságua em Primeiro de Maio, ambos situados no estado do Paraná, no Sul do Brasil. A grafia correta do nome desse importante rio causa certa confusão, já que por se tratar de um termo de origem oriundo de línguas indígenas, a grafia correta segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa deveria ser feita com a letra “j” (Mercer & Mercer, 1989; Hahn & Baller, 2017). Porém, o rio e o município homônimo no estado do Paraná são oficialmente registrados como “Tibagi”, mesmo havendo liberdade técnica para manter a grafia atual para o município, sendo este um nome próprio e portanto isento de alterações por acordos gramaticais, e alterar o nome do rio para a grafia com “j”, respeitando as origens do rio ao alterar a nomenclatura do elemento geográfico.

A bacia do rio Paranapanema conta com mais de 100.000 km² de extensão e 11 barragens de usinas hidrelétricas em sua calha principal (Jarduli et al., 2019), e têm como principal tributário da margem esquerda o rio Tibagi, sendo este um dos principais refúgios na diversidade da ictiofauna da região (Hoffmann et al., 2005). A bacia do rio Tibagi abrange 41 municípios, dentre os quais se encontram alguns importantes polos socioeconômicos do estado, como Londrina e Ponta Grossa, e abastece uma população de mais de 2 milhões de pessoas (Medri et al., 2002).

Ademais, o rio Tibagi possui mais de 500 km de extensão e localiza-se entre os municípios paranaenses de Palmeira e Primeiro de Maio (Mack, 1968). Em seu curso, é explorado para produção de energia elétrica, possuindo uma usina em sua porção média, a UHE Jayme Canet Júnior, anteriormente denominada UHE Mauá, com sua barragem localizada nas coordenadas 24° 02' 24" Sul e 50° 41' 33" Oeste, entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira (Raio & Bennemann, 2010). O rio Tibagi ainda conta com mais uma UHE, situada no município de Tibagi, e localizada nas coordenadas 24°32'04" Sul 50°24'22" Oeste (Tibagi Energia, 2013). Além disso, a calha principal do Tibagi é altamente influenciada em sua porção final pelo lago de inundação da represa de Capivara, no rio Paranapanema, localizada nas coordenadas 22°39'36.33" Sul 51°21'28.72" Oeste. Por fim, a bacia abriga mais de uma dezena de centrais geradoras e pequenas centrais hidrelétricas que utilizam a força motriz dos tributários da bacia para geração de energia elétrica (ANA, 2023).

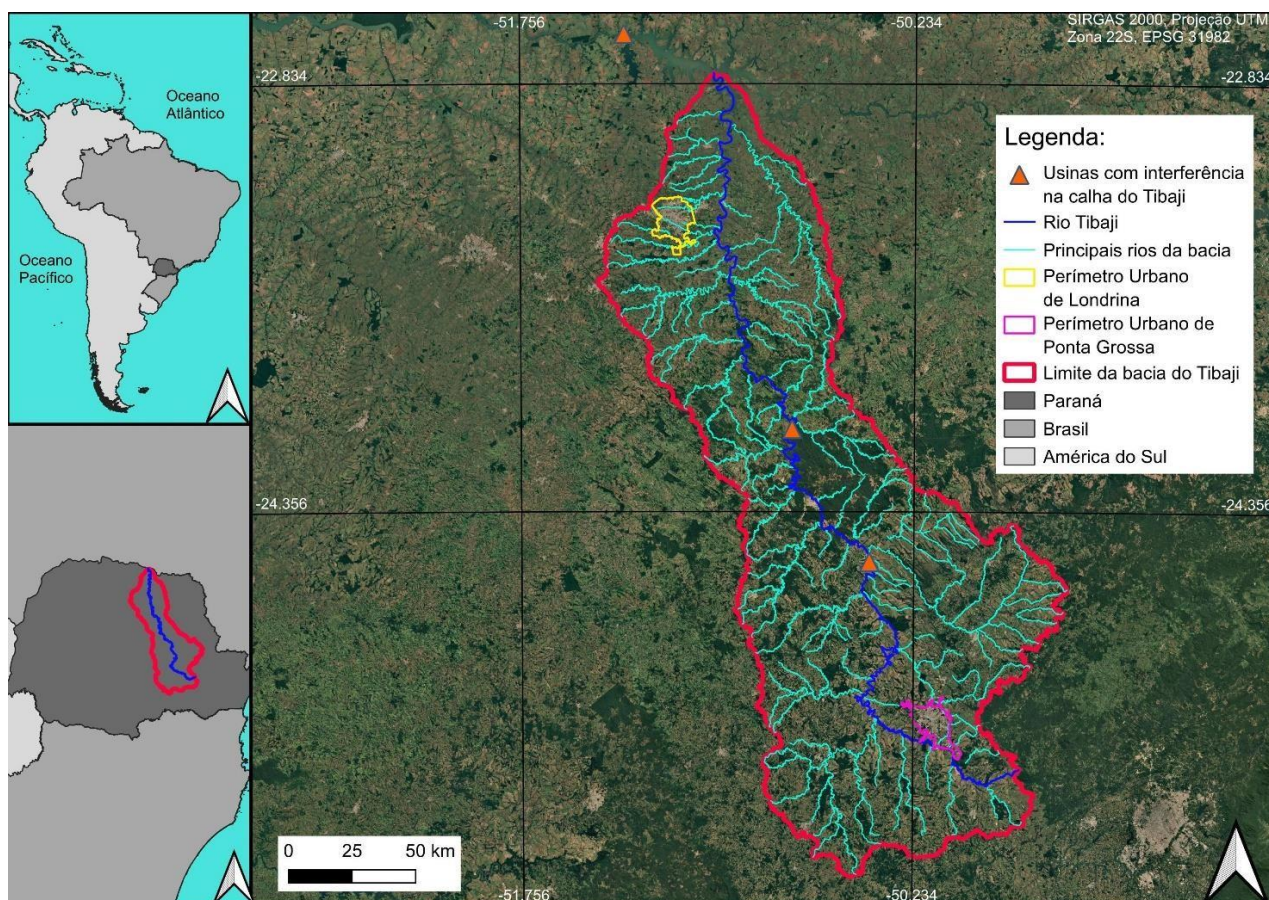


Figura 1: Área de estudo com destaque para a calha principal do Tibagi, seus principais afluentes e a localização dos maiores centros urbanos e das barragens hidrelétricas

2.2- Critérios para definição das melhores áreas para reprodução

O mapa temático que delimita as possíveis áreas de importância no recrutamento dos peixes da bacia do Tibagi foi gerado no software QGIS 3.34.15 - Prizren, onde foram utilizados seis critérios influentes no recrutamento de peixes, de modo que para cada critério foi gerado um raster individual e personalizado, adaptando a metodologia de Barros et al, (2025). Os critérios adotados foram: uso de solo, pedologia, declividade, densidade de travessia de corpos hídricos, densidade da ocorrência de lagoas marginais e áreas de influência de grandes reservatórios de usinas hidrelétricas. Cada critério utilizado teve a justificativa de sua escolha e a metodologia usada para sua obtenção detalhadas abaixo.

2.2.1 Uso de solo

Os dados de uso e cobertura de solo foram obtidos do projeto MapBiomias. Os materiais disponíveis no projeto MapBiomias vêm sendo utilizados ampla e continuamente em estudos científicos, fornecendo mapas anuais de uso e cobertura de solo desde 1985 com escala de 30 metros (Frey et al., 2018; Sartorio & Bayer Maier, 2024). A escolha desse critério se deu pela conhecida relação da conservação da integridade das matas ripárias com aumento na diversidade e na disponibilidade de habitat, alimentos e nichos, inclusive para as fases iniciais de vida dos peixes (Yrigui et al., 2015; Castello et al., 2022). Para utilizar os dados de uso e cobertura de solo da bacia do Tibagi, primeiro foi

obtido o mapa temático de uso e cobertura de solo do estado do Paraná referente ao ano de 2023. Então, utilizou-se uma camada no formato shapefile para recortar o uso de solo específico da área de interesse (bacia do rio Tibagi). A delimitação da bacia em formato shapefile foi obtida no site do Instituto Água e Terra do Paraná (IAT), o órgão responsável pela fiscalização e gestão das bacias hidrográficas do estado do Paraná. O recorte da bacia do Tibagi segundo o MapBiomias obteve 16 classes de uso e cobertura de solo, as quais foram identificadas e categorizadas quantitativamente com valores entre 0 e 1 em ordem crescente de qualidade ambiental. Os delimitadores limítrofes foram 0 para “outras culturas perenes”, sendo o rótulo de menor valor para o recrutamento e 1 para “Rios, lagos e lagoas”, sendo o rótulo de maior valor para o recrutamento dos peixes da bacia. O gradiente dos valores atribuídos a cada cultura foi desenvolvido pelo autor com base na resistência à erosão, conectividade e integridade ambiental, alteração dos padrões físico-químicos do solo e da água, e estratégias de manejo de solo em cada classe de uso, de acordo com a literatura (Wischmeier & Smith, 1978; Pimental et al., 1995; Allan, 2004; Bracken & Croke, 2007; Montgomery, 2007; Ferraz et al., 2013). Na tabela 1 é possível observar o valor do critério uso de solo para cada classe de cobertura vegetal na bacia:

Tabela 1. Valores atribuídos a cada classe de cobertura de solo no “*raster*” normalizado do Uso de solo.

Classe de Uso do Solo (PT-BR)	Valor Normalizado
Outras culturas perenes	0.0000
Área urbana	0.0625
Outras áreas não vegetadas	0.1250
Cana-de-açúcar	0.1875
Pastagem	0.2500
Mosaico de usos	0.3125
Café	0.3750
<i>Citrus spp.</i>	0.4375
Silvicultura	0.5000
Área úmida / brejo	0.6250
Floresta alagável	0.6875
Campo limpo/gramíneas (nativas)	0.7500
Formação savânica	0.8125
Reflorestamento (mata nativa)	0.8750
Formação florestal	0.9375
Rios, lagos e lagoas	1.0000

2.2.2- Pedologia

Os dados de pedologia foram gerados a partir do mapa shapefile obtido no BDIA (Banco de Dados e Informações Ambientais), produzido e administrado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O primeiro passo para tratar os dados foi rasterizar a camada pedologia com o auxílio da ferramenta “converter vetor para raster” do software QGIS. Esse passo permite que os polígonos da camada vetorial pudessem ser interpretados como raster, e posteriormente anexados na análise multicritério. Sedimentos erodidos nos leitos dos rios são prejudiciais para parâmetros importantes do recrutamento de peixes, como a taxa de sobrevivência dos ovos, crescimento, imunidade e alimentação das larvas (Mikołajczyk & Nawrocki 2019). Os valores para cada raster variaram de 0 a 1 de acordo com a suscetibilidade à erosão. Dessa maneira, os tipos de solo da bacia do Tibagi foram organizados em uma lista crescente de suscetibilidade à erosão, onde os solos mais passíveis a esse fenômeno receberam as menores notas, enquanto os solos mais resilientes receberam nota maior no critério (de Souza et al., 2019; Gomes et al., 2021). Os valores atribuídos para cada classe de solo se encontram demonstrados na tabela 2.

Tabela 2. Valores atribuídos a cada classe de tipo de solo no raster normalizado de Pedologia.

Classe de Solo	Valor normalizado
Neossolo	1.00
Gleissolo	0.88
Organossolo	0.75
Argissolo	0.62
Cambissolo	0.50
Nitossolo	0.38
Latossolo	0.25
Outros	0.12

2.2.3- Declividade

Os dados de declividade foram produzidos a partir da obtenção do modelo digital de elevação chamado FABDEM (Forest and Buildings removed by Copernicus Digital Elevation Model). Esse modelo de elevação disponibilizado pelo site Copernicus é um mapa topográfico global que busca retirar a influência da vegetação e das construções humanas e quantificar precisamente a altura do solo e suas variações. Os mapas estão disponíveis para download gratuito na página do website, em formato raster compatível com o software QGIS. Para esse trabalho os dados foram obtidos diretamente no

projeto pela extensão disponível, e recortados para a área da bacia do rio Tibagi com a ferramenta “recortar raster por camada de máscara”. Os valores disponibilizados foram divididos em cinco classes de intervalos percentuais conforme Barros et al., 2025, sendo elas: até 3%, entre 3 e 6%, entre 6 e 12%, entre 12 e 20% e acima de 20%. Os valores do raster também variaram de 0 a 1, sendo o maior valor atribuído à classe de menor declividade e o menor valor do critério atribuído à classe de maior declividade. Esse critério de avaliação está intimamente relacionado à vulnerabilidade do solo à erosão, além da suscetibilidade a impactos de eventos climáticos naturais e intervenções antrópicas, e por conseguinte as classes de solo menos sensíveis a esse processo são mais propensas a sediar um alto recrutamento de peixes (Tonkin et al., 2020; Becker et al., 2021). Além disso, estágios iniciais de desenvolvimento em peixes de água doce tendem demonstrar alta preferência por ambientes de menor fluxo de água, justamente onde a declividade é menor (Stoffers et al., 2022). Os valores atribuídos à cada classe de declividade se encontram na tabela 3, e variaram de maneira linear e gradativa.

Tabela 3. Valores atribuídos a cada classe de declividade no raster normalizado

Classes de Declividade	Valor normalizado
0 a 3%	1
3 a 6%	0.75
6 a 12%	0.5
12 a 20%	0.25
Acima de 20%	0

2.2.4- Densidade de travessia de corpos hídricos

O raster representando a densidade de travessias de corpos hídricos (pontes, pinguelas, bueiros, passagens molhadas, etc.) na bacia hidrográfica do rio Tibagi foi elaborado pelo autor a partir de uma sequência estruturada de procedimentos de processamento espacial. Inicialmente, foi obtida a camada vetorial da hidrografia da bacia do rio Paranapanema, disponível no catálogo de metadados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Utilizando a ferramenta “recortar vetor por camada de máscara”, extraiu-se a porção correspondente à bacia do rio Tibagi, preservando tanto a calha principal quanto todos seus tributários. Em seguida, os dados da rede viária foram extraídos da plataforma web BBBike.org, que fornece acesso a dados vetoriais do OpenStreetMap (OSM).

Essa ferramenta permite a seleção personalizada de regiões geográficas e o download de informações espaciais referentes a eixos de circulação terrestre, incluindo rodovias, ruas urbanas, estradas rurais e trilhas antrópicas. Para restringir a extração à área da bacia do Tibagi, foi utilizado um código em Python com as coordenadas geográficas delimitadoras, executado diretamente na interface da

plataforma. Embora Barros et al. (2025), tenham adotado metodologia semelhante para gerar uma camada de densidade de pontes, basearam-se exclusivamente na malha viária disponibilizada pelo IBGE, que contempla apenas as principais rodovias do território nacional. Neste estudo, optou-se pela base do OpenStreetMap via BBBike.org, visando maior abrangência e precisão, já que os dados incluem vias de menor escala e caminhos secundários frequentemente ausentes em bases institucionais mais generalizadas. Além disso, essa metodologia permitiu englobar outros tipos de cruzamento de vias antrópicas com a hidrografia, aumentando a precisão da medida do nível de perturbação naquela área.

Com as camadas de hidrografia e rede viária disponíveis para manipulação no software QGIS, aplicou-se a ferramenta “Interseção de linhas” com a intenção de identificar automaticamente os pontos de cruzamento entre os elementos lineares, definindo cada interseção como uma ponte. Essa abordagem resultou na identificação de 16.104 pontos de interseção na bacia do Tibagi, de maneira que as feições resultantes foram utilizadas para a geração de um mapa de densidade com base no estimador de densidade de Kernel, considerando um raio de influência de 5 km. A análise de densidade de Kernel estima a intensidade espacial de eventos pontuais ao aplicar uma função de suavização sobre cada ponto, gerando uma superfície contínua de probabilidade ou concentração. Cada evento contribui para os pixels vizinhos conforme uma distância de influência, chamada bandwidth, resultando em um raster que representa padrões de agregação e hotspots (focos de incidência) (Silverman, 2018). A camada de densidade obtida foi posteriormente convertida para o formato raster e submetida a normalização, com os valores ajustados para variar entre 0 e 1.

Nesse contexto, os menores valores (próximos de 0) foram atribuídos às áreas com maior concentração de pontes, enquanto os valores mais elevados (próximos de 1) representaram regiões com baixa densidade dessas estruturas. A alta densidade de pontes, embora não seja diretamente correlacionada com recrutamento de peixes por meio de estudos prévios, é uma evidência de intensa atividade humana em determinada localidade, intimamente relacionada com a antropização e alterações de habitat que influenciam negativamente nesse aspecto (Britten et al., 2015; Munch et al., 2018; Macura et al., 2019;). Ademais, a passagem constante de veículos durante a noite com luzes ligadas, pode alterar as percepções fisiológicas de dia e noite dos peixes, e alterar processos metabólicos como a postura de ovos e alimentação. (Vega et al., 2023). Por fim, alta densidade de pontes indica alteração no fluxo gênico, nas populações locais e na disponibilidade de alimentos para peixes adultos e em fases iniciais da vida (Mello et al., 2020; Brejão et al., 2021).

2.2.5- Lagoas marginais

A camada raster representando a presença de lagoas marginais foi produzida pelo autor a partir de uma série de etapas de processamento geoespacial. Inicialmente, foi realizado o download do shapefile referente às “massas d’água”, disponibilizado pelo Instituto Água e Terra (IAT-PR). De

acordo com a descrição do próprio órgão, esse conjunto de dados compreende “canais, cursos d’água, represas, açudes, lagoas, lagos e viveiros de peixes” no estado do Paraná.

Como o foco do estudo se restringe às lagoas marginais localizadas na bacia hidrográfica do rio Tibagi, procedeu-se à delimitação da área de interesse por meio do recorte do shapefile original utilizando a camada vetorial da bacia como máscara. Na sequência, foi gerada uma malha regular (grid) sobre a camada recortada, com o objetivo de facilitar a triagem visual e a classificação dos corpos hídricos. Para essa etapa de classificação, foi incorporada ao projeto a camada de imagens do Google Satellite, amplamente utilizada em estudos geoespaciais por oferecer cobertura gratuita com alta resolução espacial (Tamiminia et al., 2020). A análise visual das imagens permitiu distinguir as lagoas marginais dos demais corpos d’água presentes na bacia. As feições identificadas como lagoas marginais foram então utilizadas como base para a geração de um mapa de densidade por meio do estimador de densidade de Kernel. O raio de influência adotado foi de 100 km, com a finalidade de representar a intensidade de ocorrência dessas lagoas no território.

O resultado foi convertido para o formato raster e submetido a um processo de normalização, de forma que os valores da matriz variaram de 0 a 1, sendo os valores mais próximos de 0 atribuídos às áreas com menor influência de lagoas marginais, e os valores próximos de 1 correspondentes às zonas de maior concentração dessas feições. O critério da presença das lagoas marginais foi incluído na presente análise pelo fato desses locais serem considerados berçários para peixes de água doce neotropicais (Baumgartner et al., 2004; Sousa et al., 2023; Brambilla et al., 2025), apresentando refúgios para os parentais e para as larvas, com alta contribuição e representatividade na reprodução e no recrutamento desses animais, de modo que esses ambientes apresentaram alta densidade de ovos, larvas e juvenis em diversos estudos (Tondato et al., 2010; Melo et al., 2013; Araújo & Langeani, 2025).

2.2.6- Influência dos reservatórios

O raster representando a influência dos reservatórios de usinas hidrelétricas na bacia do rio Tibagi foi elaborado por meio de um procedimento de modelagem espacial baseado na delimitação das áreas potencialmente inundáveis associadas a cada empreendimento hidrelétrico, de modo a conectar dados altimétricos, topográficos e hidrológicos. Inicialmente, foi utilizada a camada vetorial de localização das usinas hidrelétricas, centrais geradoras e pequenas centrais hidrelétricas disponibilizada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), da qual foram selecionados apenas os empreendimentos em operação situados dentro da bacia do rio Tibagi, utilizando o shapefile da bacia hidrográfica como máscara espacial. Para cada usina, foram coletadas as informações oficiais de cota máxima normal de inundação do reservatório, disponíveis nos respectivos registros técnicos dos empreendimentos. Esses valores altimétricos foram então utilizados como limiar para a delimitação das áreas potencialmente sujeitas à influência direta dos reservatórios.

A partir do Modelo Digital de Elevação (FABDEM), previamente recortado para a área da bacia, foi realizada uma análise de superfícies, na qual todas as células com elevação inferior ou igual à cota máxima de inundação de cada empreendimento foram identificadas como pertencentes à área alagável do reservatório. Para refinar essa delimitação e evitar a inclusão de áreas topograficamente desconectadas da calha fluvial, o modelo foi cruzado com o raster de declividade, de modo que apenas as áreas situadas em superfícies de baixa declividade, compatíveis com processos de inundação, expansão lateral do espelho d'água e influência hidrodinâmica do reservatório, fossem mantidas. Essa etapa permitiu filtrar encostas íngremes e setores elevados que, embora apresentassem cota inferior ao nível máximo do reservatório, não seriam efetivamente impactados pela dinâmica hidráulica associada à barragem.

As áreas resultantes dessa sobreposição entre cota máxima de inundação e declividade foram então convertidas em uma camada raster binária, na qual os pixels localizados dentro da zona de influência dos reservatórios receberam valor 0.001, representando ambientes sob forte interferência antrópica e hidrológica, enquanto os pixels externos a essas zonas receberam valor igual a 1. Áreas alagadas por reservatórios de usinas hidrelétricas possuem várias características ambientais e ecológicas que tornam o recrutamento mais difícil nesses locais, como simplificação do ambiente, alteração do fluxo trófico, grandes variações de temperatura, turbidez, pH e condutividade em curtos períodos de tempo e falta de ambientes que possam ser utilizados como esconderijo pelas larvas (Orsi et al., 2016; Garcia et al., 2018; Ferraz et al., 2022; Melo-Silva et al., 2022). Esses fatores, combinados ao impacto na continuidade da dinâmica fluvial diminuem significativamente a qualidade ambiental dessas áreas em relação ao recrutamento de peixes.

Todos os arquivos raster utilizados como parâmetros para a AHP foram produzidos ou obtidos com uma resolução de 30 metros, ou seja, cada pixel da imagem processada correspondia a um quadrado de 30x30 metros. Na realização desse tipo de análise, ao comparar critérios e atribuir valores de sobreposição e graus de influência, é importante que haja esse tipo de padronização no tamanho do objeto de estudo, para garantir que os únicos fatores influentes na análise sejam os pesos pré estabelecidos pelo autor (Pimenta et al., 2019). O peso dos critérios seguiu uma distribuição definida pelo autor com base na literatura especializada em recrutamento de peixes neotropicais e quais os fatores mais influentes para o sucesso reprodutivo desses organismos, de acordo com a tabela 4:

Tabela 4. Matriz de valores contendo a relação de pesos dos critérios. O número da célula corresponde à razão da importância do critério da linha sobre o critério da coluna.

	Uso de solo	Declividade	Travessia de corpos hídricos	Pedologia	Lagoas Marginais	Reservatórios
Uso de solo	1	4	7	5	6	4
Declividade	0.25	1	5	3	4	2
Travessia de corpos hídricos	0.1428	0.2	1	0.25	0.5	0.2
Pedologia	0.2	0.3333	4	1	2	0.5
Lagoas Marginais	0.1666	0.25	2	0.5	1	0.25
Reservatórios	0.25	0.5	5	2	4	1

O valor de cada célula mostra quão mais influente é o critério da linha em relação ao critério da coluna na AHP. Por exemplo, a segunda célula da primeira linha apresenta o valor “4”. Isso demonstra que o critério “Uso de solo” (contido na linha) é 4 vezes mais influente na análise do que o critério “Declividade” (contido na coluna). Dessa maneira, a diagonal principal de valores da tabela sempre deve ser composta apenas pelo valor “1”, pois corresponde às células em que cada critério é comparado consigo mesmo. A partir da definição dos pesos de cada critério, é necessário calcular as variáveis necessárias para validar a consistência da AHP conforme a metodologia estabelecida por Saaty (1980, 2013). O primeiro passo envolve a determinação do autovalor máximo ($\lambda_{\max}$), obtido através da média ponderada dos produtos entre a matriz de comparações pareadas e os autovetores (vetores de pesos). Esse valor reflete a coerência interna das comparações realizadas e deve aproximar-se do número total de critérios analisados, no presente estudo foram seis.

O $\lambda_{\max}$ obtido foi de 6.384, atendendo satisfatoriamente a esse primeiro requisito metodológico. Em seguida, avaliou-se a Razão de Consistência (RC), calculada a partir da divisão do Índice de Consistência (IC) pelo Índice Randômico (IR) de referência. O IC, deriva da fórmula $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ e para esse caso atingiu um valor aproximado de 0.077, enquanto o IR, é definido por uma tabela padrão com valor diferente para cada quantidade de critérios, e segundo a metodologia utilizada o valor que deve ser utilizado em uma análise com seis critérios é 1.25. Assim, o valor encontrado para a RC foi de 0.061, abaixo do limite crítico de 0.10 estabelecido por Saaty (1980), o que confirma a validade da matriz para fins analíticos. Esse valor indica que a hierarquização dos critérios não foi aplicada de maneira aleatória, e sim seguindo uma estrutura coerente de importância dentro da escala ecológica e que faz sentido matematicamente. Por fim, os autovetores normalizados, que representam os pesos definitivos de cada critério, foram definidos conforme demonstrado na tabela subsequente. Na prática,

cada pixel dos rasters variando em valores de 0 a 1 utilizados como critério foi multiplicado pelos valores da Tabela 5 e posteriormente somado para determinar o novo valor de 0 a 1 do raster de resultado.

Tabela 5. Valores dos autovetores atribuídos para cada critério adotado na AHP.

Critérios para AHP	Valores dos autovetores
Uso de solo	0.389
Declividade	0.219
Reservatórios	0.183
Pedologia	0.116
Lagoas marginais	0.060
Travessia de corpos hídricos	0.033

3- RESULTADOS

A bacia do rio Tibagi foi inteiramente categorizada quanto ao seu grau de adequabilidade às condições ambientais ideais para o recrutamento de peixes. O valor atribuído à cada pixel, ou seja, unidade de 30x30 metros, poderia variar de 0 (caso em todos os critérios ambientais avaliados aquela área apresentasse o pior cenário possível) até o máximo valor 1 (caso para todos os critérios ambientais avaliados aquela área apresentasse a maior higidez ambiental). Seguindo esses conceitos, uma área de valor de adequabilidade ambiental na classe “muito alta” trata-se de um local em que as condições de baixa declividade associadas a maior conectividade florestal e hidrológica, com menor influência de perturbações físico-químicas humanas e combinadas a maior proximidade com refúgios naturais criam um ambiente ecologicamente atrativo e favorável para a reprodução e consequentemente o recrutamento de peixes na bacia. No total, foram analisados 27.686.900 pixels, que ficaram distribuídos nas categorias de adequabilidade conforme a tabela 6:

Tabela 6: Porcentagem da representatividade de cada classe de adequabilidade ambiental ao peixamento na bacia do Tibagi em relação ao total.

Classes de adequabilidade	Porcentagem de cada classe
Muito baixa (0 a 0.2)	0.02%
Baixa (0.2 a 0.4)	4.58%
Moderada (0.4 a 0.6)	60.02%
Alta (0.6 a 0.8)	28.50%
Muito alta (0.8 a 1)	6.88%

Os valores de média, mediana e variância dos pixels no mapa de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes na bacia do rio Tibagi encontram-se apresentados na Tabela 7. É interessante observar que a média e a mediana são métricas da análise de adequabilidade ambiental que fazem parte da classe “moderada”, além disso, mais de 60% da área da bacia está contida nessa categoria, o que indica grandes mudanças na adequabilidade ao recrutamento ao longo do tempo.

Tabela 7: Métricas do mapa de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes da bacia do rio Tibagi.

Métrica	Valor
Número de <i>pixels</i>	27689900
Média	0.578750
Mediana	0.553259
Variância	0.015851

A figura 2 é o resultado da AHP proposta para a bacia e categorizada de acordo com o que foi exposto na tabela 6. Desse modo, foi criado um gradiente visual que permite visualizar a bacia dentro do espectro da adequabilidade ambiental ao recrutamento, além de evidenciar pontos de interesse de acordo com os resultados obtidos. A figura 3 consiste, por sua vez, em um mapa gerado a partir da aproximação do resultado de áreas correspondentes à duas UHE's que foram projetadas para a região (UHE Limoeiro e UHE Cebolão Médio), porém que tiveram sua construção impedida pela pressão exercida por órgãos ambientais e especialistas em áreas de biodiversidade e conservação.

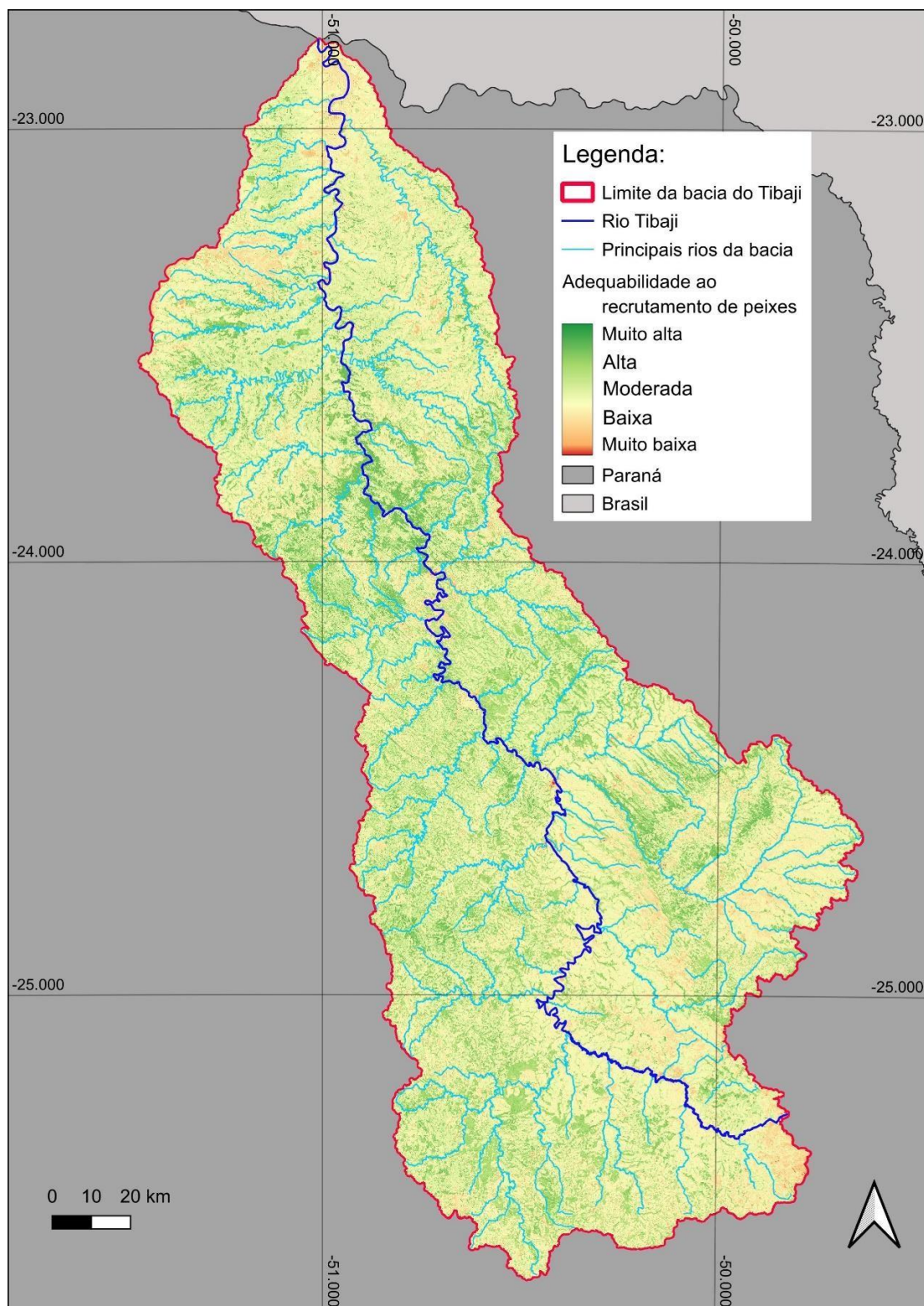


Figura 2: Mapa de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes da bacia do rio Tibaji. O mapa demonstra quais áreas tem mais afinidade de critérios ecológicos com o fenômeno do recrutamento em uma escala categórica.

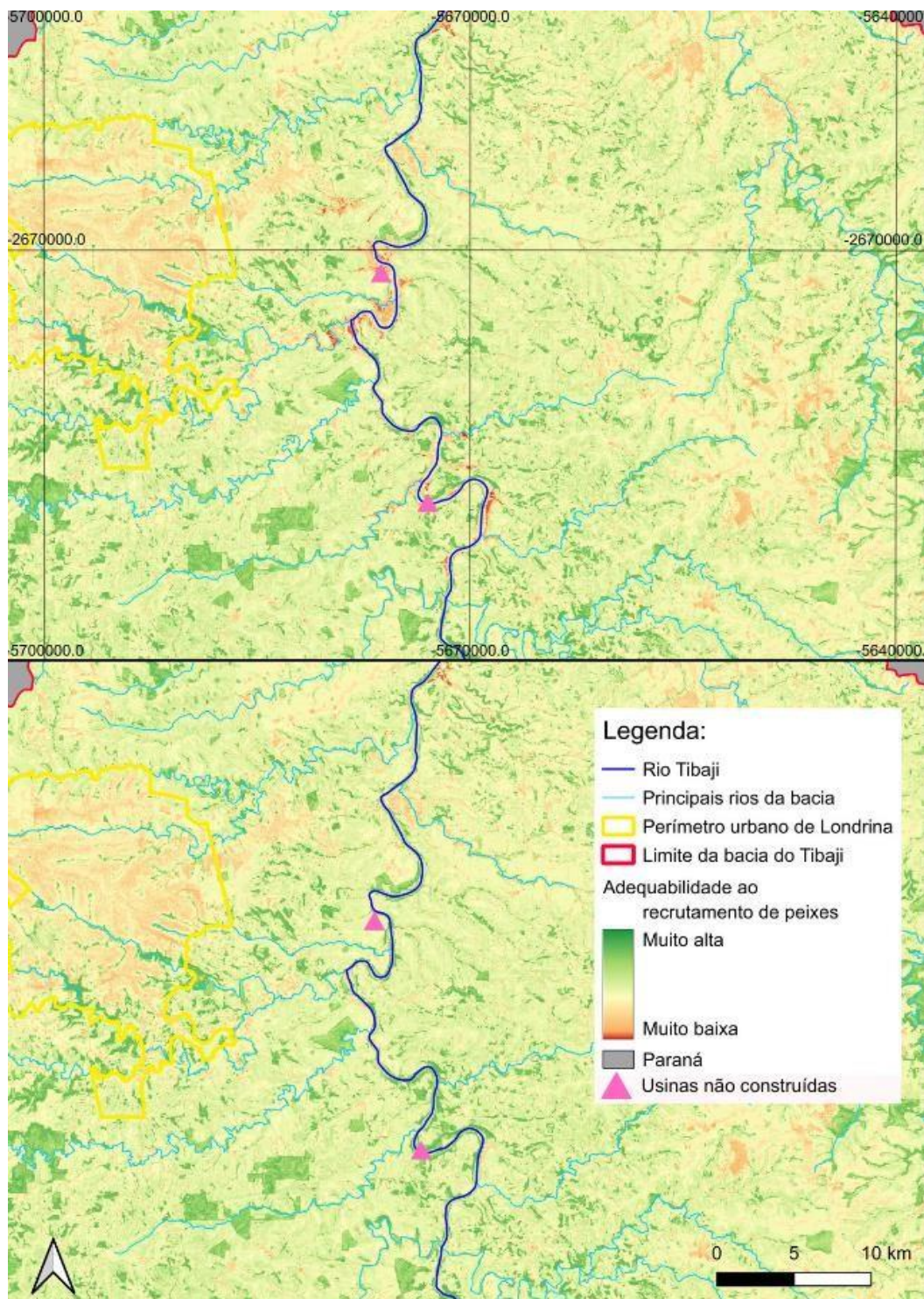


Figura 3: Mapas comparando um trecho da parte baixa da bacia do Tibagi em dois cenários diferentes. Acima, como seria a adequabilidade ao recrutamento da região caso as UHE's Liomeiro e Cebolão Médio estivessem em operação. Abaixo, a adequabilidade atual no trecho.

4- DISCUSSÃO:

O mapa de adequabilidade ambiental da bacia do rio Tibagi ao recrutamento de peixes, apresentado nas Figuras 2 e 3, representa uma estimativa espacial de adequabilidade potencial baseada em indicadores ecológicos e geomorfológicos indiretos reconhecidamente relevantes para o recrutamento de peixes de água doce. Entretanto, o modelo não mensura diretamente processos biológicos fundamentais, como sobrevivência larval, sucesso reprodutivo observado em campo ou taxas reais de recrutamento das populações locais. Além disso, a elevada contribuição atribuída ao critério uso e cobertura do solo evidencia forte dependência da estrutura da paisagem, tornando os resultados sensíveis às escolhas metodológicas relacionadas à categorização e ponderação das classes ambientais. Nesse contexto, a presente abordagem deve ser compreendida como uma ferramenta orientadora para o planejamento metodológico e operacional de estudos voltados ao recrutamento de peixes, e não como um instrumento autossuficiente para elucidar, isoladamente, a complexidade ecológica da comunidade de peixes de uma bacia hidrográfica. Ainda assim, ao reconhecer essas limitações, torna-se possível explorar com maior segurança interpretativa os padrões espaciais identificados, integrando os critérios analisados em uma discussão ecológica coerente com a complexidade inerente ao fenômeno do recrutamento.

Os resultados demonstram que a bacia do Tibagi é altamente influenciada por fatores antrópicos, associados à cobertura vegetal, mas também por fatores geomorfológicos típicos da região (Maack, 1968). Essas características criam condições que, segundo a AHP, não são inteiramente favoráveis ao recrutamento de peixes na maior parte da bacia. Certamente o valor atribuído ao critério de uso e ocupação do solo teve grande influência na distribuição dos resultados, por conta da diferença dos pesos dos critérios, de maneira que as áreas destacadas pela análise como de “alta” e “muito alta” adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes se mostraram associadas a fragmentos florestais, inseridos em locais com algum grau de proteção ambiental. Além disso, a presença dessas áreas às margens de importantes tributários como o rio Apucarana e o rio Apucarantina indicam grande adequabilidade nessas áreas, devido ao hábito comum preferir desovar em afluentes de menor porte ao invés da calha do rio principal, compartilhado por grande parte das espécies de peixe da bacia do rio Paraná (Gogola et al., 2010; Silva et al., 2017). Consequentemente, esses locais se tornam cada vez mais cruciais sob o ponto de vista da conservação das espécies nativas de peixes, tendo grande importância na manutenção das populações viáveis ao longo da bacia. Os valores das métricas estatísticas encontradas no mapa de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes da bacia do rio Tibagi podem ser observados na tabela 7.

A influência do reservatório de Capivara, situado no rio Paranapanema, nos baixos valores de

adequabilidade ambiental da parte baixa da bacia também é um fator que chama a atenção ao observarmos a Figura 2. Apesar da UHE não estar localizada nos limites da bacia do rio Tibagi, seu lago, que conta com mais de 500 km² de extensão (Depintor et al., 2025) exerce forte interferência na foz do rio Tibagi. Essa atuação, aliada as categorias de uso de solo predominantes na região, faz com que uma boa parcela da parte baixa da bacia do rio Tibagi esteja nas classes de adequabilidade ambiental mais baixas, evidenciando um padrão de gradiente de adequabilidade ambiental que pode ser observado a partir da porção central do rio Tibagi, próximo à UHE Jayme Canet.

É possível observar uma aglomeração das áreas de classificação “alta” e “muito alta” no mapa de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes em regiões que compartilham características estruturais semelhantes, como menor densidade de áreas urbanas, declividades reduzidas e maior cobertura vegetal. A presença de grandes áreas dedicadas a silvicultura nessas regiões, embora inicialmente chame a atenção, deve ser interpretada com ponderação. No contexto dos critérios empregados na modelagem, a silvicultura se mostra como uma classe de uso do solo de valor intermediário, onde suas características contrárias ao assoreamento e a erosão do solo, bem como a maior conectividade entre fragmentos florestais criada por esse tipo de plantação, tornam essa modalidade de cultivo mais interessante que outros tipos de monocultura ou ainda de solo exposto (Nolet et al., 2017; Wu et al., 2020). Entretanto, sabe-se que extensas áreas de silvicultura promovem efeitos como acidificação do solo e corpos hídricos próximos, além de simplificar os sistemas tróficos (Zhang et al., 2024). Assim, os valores elevados atribuídos a essas áreas refletem mais a configuração territorial associada a esse tipo de uso do solo do que, necessariamente, a qualidade funcional desses ambientes como habitats reprodutivos, principalmente pela incapacidade do modelo de analisar fatores físico-químicos pontuais como pH e condutividade da água. (Medri et al., 2002; Raio & Bennemann, 2010). Tal resultado demonstra a dificuldade em distinguir, de forma assertiva, entre áreas que apresentam cobertura vegetal contínua, porém ecologicamente simplificada, e aquelas que efetivamente oferecem condições elevadas de qualidade ambiental, o que se trata de uma limitação comum a maioria das análises multicritério baseadas em dados categóricos.

Na bacia do rio Tibagi, os principais centros urbanos são os municípios de Londrina e Ponta Grossa (IBGE, 2024). A figura 1 permite identificar a localização dos centros urbanos desses municípios e realizar um exercício de associação com os resultados obtidos pela AHP. É possível observar no mapa de adequabilidade ambiental que as áreas próximas aos principais centros urbanos da bacia tendem a apresentar valores de higidez mais baixos, mesmo na ausência de critérios diretamente relacionados à qualidade da água ou à carga de poluentes. Esse padrão sugere que o modelo foi capaz de captar indiretamente os efeitos da urbanização por meio das variáveis estruturais associadas à antropização. Grandes aglomerações urbanas são frequentemente associadas à geração e ao lançamento

de poluentes físicos e químicos que afetam negativamente diversos aspectos da biologia e ecologia dos peixes (Camargo & Martinez, 2007).

Dentre esses aspectos, destaca-se o recrutamento, afetado principalmente ao analisarmos como esses poluentes alteram variáveis abióticas fundamentais, tais quais o pH e a dureza da água, além da composição e concentração de elementos químicos dissolvidos, o que influencia diretamente na taxa de sobrevivência de ovos e larvas de peixes (Amoatey & Baawain, 2019; Teunen et al., 2021; Ahmad et al., 2024). Cabe ressaltar que, embora os parâmetros abióticos sejam reconhecidamente determinantes para o sucesso reprodutivo e a sobrevivência das fases iniciais dos peixes, eles não foram incluídos na análise multicritério. Isso se deve à dificuldade metodológica de transformar dados pontuais, geralmente provenientes de campanhas independentes de monitoramento, ou de estações de acompanhamento de variáveis ecológicas. Esses dados não podem ser tratados em camadas contínuas com abrangência para toda a bacia hidrográfica. Ainda assim, é provável que os impactos urbanos sobre o recrutamento de peixes estejam subestimados, uma vez que fatores como poluição difusa, lançamento de efluentes e alterações químicas da água não puderam ser representados em camadas contínuas para toda a bacia (Pinheiro et al., 2021; Andrade-Muñoz et al., 2023; Malik et al., 2023) . No caso de futuros estudos desenvolverem uma metodologia aplicável para incorporar dados de medição desses poluentes urbanos nos fatores abióticos da água, seria possível incorporar essa técnica ao modelo da AHP e receber resultados ainda mais assertivos em relação a influência urbana no recrutamento de peixes.

Outro ponto particularmente relevante observado a partir da análise dos resultados é a situação visualizada na Figura 3, referente aos reservatórios projetados para as Usinas Hidrelétricas de Limoeiro e Cebolão Médio, ambos concebidos para o rio Tibagi, na porção baixa da bacia, mais ao norte do estado. Estes empreendimentos, embora aprovados nos inventários da bacia realizados ainda na década de 1990, encontram-se embargados há mais de duas décadas, sem perspectiva do início das obras (Tomás et al., 2012). O contexto de sua paralisação está profundamente associado a questionamentos quanto a qualidade e credibilidade dos Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) apresentados na época. Foram formuladas críticas por pesquisadores do meio acadêmico, os quais apontaram possíveis omissões de dados arqueológicos, subestimação dos impactos sociais sobre comunidades indígenas e a degradação dos ecossistemas aquáticos da região, o que resultou em ações civis públicas e, conseqüentemente, na determinação judicial de que novos licenciamentos na bacia só poderiam ocorrer mediante um estudo integrado de impacto ambiental (Tommasino et al., 1998).

A partir dos mapas de adequabilidade ao recrutamento representados na Figura 3, é possível dimensionar, em termos ecológicos, o impacto que a eventual implantação desses barramentos representaria. Observa-se que, se colocados em operação, os reservatórios do Limoeiro e Cebolão Médio interromperiam a conectividade de trechos fluviais atualmente classificados com alto índice de

qualidade para os parâmetros influentes ao recrutamento de peixes. Esta porção da bacia, embora situada nas proximidades do maior centro urbano da região e, portanto, mais suscetível a perturbações antrópicas, mantém uma alta higidez ambiental. Caso a perda dessa continuidade ecológica se concretizasse, a resiliência de todo o sistema ecológico seria comprometida, com grande enfoque na provável diminuição do índice de recrutamento das espécies migradoras da bacia. Dessa maneira, o embargo sobre a construção de tais usinas tem funcionado como uma moratória não intencional que atua como medida conservacionista de um dos últimos redutos integrativos de alta qualidade ambiental de toda a bacia do Tibagi. É importante ressaltar que, embora não haja avanços recentes nas tratativas de construção desses dois empreendimentos hidrelétricos, a localização e os dados de inundação dos mesmos se encontram disponíveis nas fontes oficiais de metadados da ANA, inferindo dessa maneira que a retomada dos projetos não está totalmente descartada. A análise de cenários futuros na implementação de empreendimentos hidrelétricos como UHE's em bacias hidrográficas como do Tibagi se apresenta como mais uma possível aplicação prática do modelo da AHP, visto que essa trativa permite simulações antes da tomada de qualquer tipo de decisão permanente, e traz a possibilidade de uma discussão mais integrativa e interdisciplinar.

5- CONCLUSÃO:

A Análise Hierárquica de Processos se mostrou promissora para a detecção das áreas prioritárias ao recrutamento de peixes na bacia do rio Tibagi, corroborando concepções prévias de conservação de qualidade ambiental que são bem estabelecidas na literatura especializada da área. Além disso, os resultados demonstraram quão impactada por atividades humanas está a bacia, e evidenciaram quais pontos necessitam mais atenção para a conservação e manutenção das populações de peixes nativos da região. Dessa maneira, fica evidente a necessidade de estratégias multidisciplinares de mitigação dos impactos antrópicos para que seja realizado a manutenção dos serviços ecológicos prestados pelas comunidades da bacia do Tibagi.

A validação empírica por meio de coletas de ictioplâncton e análises ecológicas em toda a bacia constitui, portanto, um passo importante para a calibragem do modelo, de modo a enfatizar que o principal diferencial da metodologia proposta é a celeridade no processo de determinação de áreas de adequabilidade ambiental ao recrutamento de peixes. Os resultados obtidos após as análises nunca serão completamente precisos, porém fornecem um bom panorama da situação atual da bacia estudada atuam no direcionamento de medidas de manejo e estudo com bases metodológicas bem estruturadas. De maneira semelhante, a proximidade de algumas áreas de alta adequabilidade com reservatórios de usinas hidrelétricas sugere a possibilidade de superestimação do potencial de recrutamento nesses trechos. Embora o critério de influência dos reservatórios tenha sido incorporado à análise com o objetivo de penalizar essas áreas, os impactos associados à presença de barragens são multifacetados e frequentemente extrapolam limites espaciais facilmente delimitáveis pelas cotas de inundação. Alterações no pulso hidrológico, na dinâmica de sedimentos e nas interações tróficas podem afetar o recrutamento de peixes a montante e a jusante dos reservatórios de maneira mais difusa do que a representada no modelo.

Além disso, a escolha do software QGIS como plataforma de trabalho e a escolha das bibliotecas de onde foram retirados os dados do presente trabalho seguiram uma premissa muito clara: replicabilidade. O fato de todos os dados coletados estarem disponíveis para consulta pública, além do software trabalhado ser gratuito e facilmente disponível para download aliado à metodologia detalhada do que foi realizado para produzir cada raster considerado como critério na AHP permite que outros pesquisadores repliquem o trabalho, não só para a bacia do Tibagi como de outros rios de importância socioeconômica e ambiental. Dessa maneira, com coletas em outras localidades onde essa metodologia seja empregada, espera-se que haja correções e melhorias no método, e que o objetivo de simplificar a delimitação das áreas prioritárias no recrutamento dos peixes de água doce neotropicais seja alcançado.

Por fim, as expectativas a longo prazo são de que o presente estudo tenha um papel de destaque na tomada de decisões públicas voltadas à conservação da ictiofauna, não apenas da bacia do Tibagi

como da região Neotropical de maneira geral. Além disso, espera-se que o impacto da publicação do presente estudo nas áreas acadêmica e de consultoria seja positivo, e que futuros estudos similares sejam conduzidos e que possam comprovar a eficácia da metodologia na detecção das áreas de recrutamento de peixes.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: relatório pleno. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 25 maio 2025.

AGOSTINHO, A. A.; ZALEWSKI, M. Upper Paraná River floodplain: importance and preservation. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 1996.

AHMAD, N. et al. High pollution loads engineer oxygen dynamics, ecological niches, and pathogenicity shifts in freshwater environments. *Journal of Hazardous Materials Advances*, v. 100425, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100425>.

ANDRADE-MUÑOZ, A. S. et al. Implications of wastewater discharges on environmental features and fish communities in an urban river. *Urban Ecosystems*, v. 26, n. 3, p. 779-791, 2023.

ARAUJO, R.; LANGEANI, F. Fish communities in seasonally isolated lagoons of the Upper Paraná River basin, Southeastern Brazil. *International Journal of Limnology*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1051/limn/2025004>.

ASHIKAGA, F. Y. et al. The endangered species *Brycon orbignyanus*: genetic analysis and definition of priority areas for conservation. *Environmental Biology of Fishes*, v. 98, p. 1845-1855, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-015-0402-8>.

BARROS, A. C. V. F.; GARCIA, D. A. Z.; ORSI, M. L. Delimitação de áreas destinadas a peixamento: estudo de caso no Baixo Rio Paranapanema. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 12, n. 30, p. 185-205, 2025.

BAUMGARTNER, G. et al. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná River, Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, v. 71, n. 2, p. 115-125, 2004.

BECKER, F. G.; CAMANA, M. Paisagens fluviais e peixes de riacho: uma introdução aos dados, unidades espaciais de análise e classificação. *Oecologia Australis*, v. 25, n. 2, p. 511-511, 2021.

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrological Processes*, v. 21, n. 13, p. 1749-1763, 2007.

BRAMBILLA, E. M. et al. Spatial and temporal variation of fish eggs and larvae in a cascade of small hydropower plants in south-eastern Brazil. *Marine and Freshwater Research*, v. 76, n. 17, p. MF24182, 2025.

BREJÃO, G. L.; LEAL, C. G.; GERHARD, P. A ecologia de peixes de riacho sob a perspectiva da ecologia de paisagens. *Oecologia Australis*, v. 25, n. 2, p. 493-493, 2021.

- BRITTEN, G.; DOWD, M.; WORM, B. Changing recruitment capacity in global fish stocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 113, p. 134-139, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1504709112>.
- CAMARGO, M. M. P.; MARTINEZ, C. B. R. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. *Neotropical Ichthyology*, v. 5, p. 327-336, 2007.
- CASIMIRO, A. C. R. et al. Hatchery fish stocking: case study, current Brazilian state, and suggestions for improvement. *Aquaculture International*, v. 30, n. 5, p. 2213-2230, 2022.
- CASTELLO, L. et al. Land-use and land-cover affect inland fish catch in two rivers of Central Africa. *Water Biology and Security*, v. 1, n. 4, p. 100074, 2022.
- CASTELLO, L.; MACEDO, M. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, v. 22, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13173>.
- CATALDO, D. et al. Impact of a hydroelectric power plant on migratory fishes in the Uruguay River. *River Research and Applications*, v. 36, p. 1598-1611, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/rra.3670>.
- CHAKRABORTY, H. et al. Use of geographical information systems (GIS) in assessing ecological profile, fish community structure and production of a large reservoir of Himachal Pradesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10292-5>.
- CUEVAS, J. et al. Nutrient and sediment losses to streams after intervention of Eucalyptus plantations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005001702>.
- DAGOSTA, F. C. P. et al. Fishes of the upper rio Paraná basin: diversity, biogeography and conservation. *Neotropical Ichthyology*, v. 22, n. 1, p. e230066, 2024.
- DE LIMA, F.; REYNALTE-TATAJE, D.; ZANIBONI-FILHO, E. Effects of reservoirs water level variations on fish recruitment. *Neotropical Ichthyology*, v. 15, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160084>.
- DE MELLO, K. et al. Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, v. 270, p. 110879, 2020.
- DE SOUZA, A. R. et al. Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? *Geociências*, v. 38, n. 4, p. 1105-1119, 2019.
- DEPINTOR, T. S. et al. DNA barcoding reveals a critical spawning ground in the Paranapanema River basin, Southern Brazil. *Ecologies*, v. 6, n. 3, p. 59, 2025.

- DESAI, M. et al. Environmental drivers of ichthyofauna community composition of the river ecosystems draining the Lake St. Lucia basin, South Africa. *Hydrobiologia*, v. 848, p. 3539-3554, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04609-7>.
- DIEYE, S. et al. Flood risk modelling using the HFPA (Hierarchical Fuzzy Process Analysis) method: example of the city of Thies, Senegal. *International Journal of Geosciences*, v. 15, n. 12, p. 1064-1086, 2024.
- FARLEY, K. et al. Stream acidification and base cation losses with grassland afforestation. *Water Resources Research*, v. 44, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007WR006659>.
- FERRAZ, J. et al. Taxonomic loss and functional reduction over time in the ichthyofauna of the Taquaruçu Reservoir, lower Paranapanema River, Southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0143>.
- FERRAZ, J. D. et al. Early life stages and interannual variations of fish from Canoas reservoirs, lower Paranapanema River, Brazil. *Acta Pesca News*, v. 10, n. 2, p. 74-86, 2022.
- FERRAZ, S. F. B.; DE PAULA LIMA, W.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. *Forest Ecology and Management*, v. 301, p. 58-66, 2013.
- FILIPPE, A.; COWX, I.; COLLARES-PEREIRA, M. Spatial modelling of freshwater fish in semi-arid river systems: a tool for conservation. *River Research and Applications*, v. 18, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1002/rra.638>.
- FRÁGUAS, P.; POMPEU, P. Hydropower affects fish trophic structure both downstream of the dam and upstream of the reservoir. *Neotropical Ichthyology*, v. 19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0071>.
- FRANCISCO, C. E. S. et al. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. *Ciência Florestal*, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2008.
- FREY, G. P. et al. Simulated impacts of soy and infrastructure expansion in the Brazilian Amazon: a maximum entropy approach. *Forests*, v. 9, n. 10, p. 600, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9100600>.
- FURTADO, E. L.; DE JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B. Forest diseases in Brazil: status and management. In: *Forest pest and disease management in Latin America: modern perspectives in natural forests and exotic plantations*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 211-230.
- GARCIA, D. A. Z. et al. Spatial distribution and habitat use by early fish stages in a dammed river basin, Southern Brazil. *Revista de Biología Tropical*, v. 66, n. 2, p. 605-621, 2018.
- GOGOLA, T. M. et al. Spatial and temporal distribution patterns of ichthyoplankton in a region affected by water regulation by dams. *Neotropical Ichthyology*, v. 8, n. 2, p. 341-349, 2010.

GOMES, D. J. C. et al. Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 2, p. 816-833, 2021.

HAHN, F. A.; BALLER, L. Um olhar sobre a fronteira: os relatos do sertanista Edmundo Alberto Mercer. *TEL - Tempo, Espaço e Linguagem*, v. 8, n. 1, p. 83-102, 2017.

HOFFMANN, A. C.; NASCIMENTO, R. H. C.; SHIBATTA, O. A. Fish fauna from tributaries throughout the Tibagi River basin, upper Paraná basin, Brazil. *Check List*, v. 11, n. 6, p. 1815-1815, 2015.

HOFFMANN, A. C.; ORSI, M. L.; SHIBATTA, O. A. Diversidade de peixes do reservatório da UHE Escola Engenharia Mackenzie (Capivara), Rio Paranapanema, bacia do alto rio Paraná, Brasil, e a importância dos grandes tributários na sua manutenção. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 95, p. 319-325, 2005.

KEPPELER, F. et al. Early impacts of the largest Amazonian hydropower project on fish communities. *Science of the Total Environment*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155951>.

LAZEM, L. Application of GIS technique in the studies on fish assemblages in Shatt Al-Arab River, Basrah, Iraq. *Baghdad Science Journal*, v. 19, n. 4, p. 732, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21123/bsj.2022.19.4.0732>.

LOPES, C. M. et al. Fish passage ladders from Canoas Complex-Paranapanema River: evaluation of genetic structure maintenance of *Salminus brasiliensis* (Teleostei: Characiformes). *Neotropical Ichthyology*, v. 5, p. 131-138, 2007.

MAACK, R. Diamante no tilito de Tibagi, Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 40, p. 96, 1968.

MACURA, B. et al. Impact of structural habitat modifications in coastal temperate systems on fish recruitment: a systematic review. *Environmental Evidence*, v. 8, p. 1-22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13750-019-0157-3>.

MALIK, S. et al. The importance of assessing water quality in tributaries: a case study in an urban waterway using zebrafish (*Danio rerio*). *Water*, v. 15, n. 13, p. 2372, 2023.

MARIAC, C. et al. Unveiling biogeographical patterns of the ichthyofauna in the Tuichi basin, a biodiversity hotspot in the Bolivian Amazon, using environmental DNA. *PLoS ONE*, v. 17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262357>.

MELO, B. et al. The roles of marginal lagoons in the maintenance of genetic diversity in the Brazilian migratory fishes *Prochilodus argenteus* and *P. costatus*. *Neotropical Ichthyology*, v. 11, p. 625-636, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013000300016>.

- MELO-SILVA, M.; DA SILVA, J. C.; BIALETZKI, A. Community structure of fish larvae in different biotopes of a neotropical river. *Community Ecology*, v. 23, n. 1, p. 1-12, 2022.
- MERCER, E. A.; MERCER, L. L. História de Tibagi. Tibagi: Prefeitura Municipal de Tibagi, 1989.
- MESACASA, L. et al. Effects of time since invasion and control actions on a coastal ecosystem invaded by non-native pine trees. *Ecological Solutions and Evidence*, v. 3, n. 1, 2023.
- MIKOŁAJCZYK, T.; NAWROCKI, P. Forest management practices and the occurrence of suspended solids in rivers and streams and their influence on ichthyofauna and river ecosystems. *Forest Research Papers*, v. 80, p. 269-276, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2478/frp-2019-0027>.
- MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.
- MUNCH, S.; GIRON-NAVA, A.; SUGIHARA, G. Nonlinear dynamics and noise in fisheries recruitment: a global meta-analysis. *Fish and Fisheries*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/FAF.12304>.
- NOLET, P. et al. Comparing the effects of even- and uneven-aged silviculture on ecological diversity and processes: a review. *Ecology and Evolution*, v. 8, p. 1217-1226, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3737>.
- OLIVEIRA, A. G. et al. Relationship of freshwater fish recruitment with distinct reproductive strategies and flood attributes: a long-term view in the Upper Paraná River floodplain. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, p. 577181, 2020.
- ORSI, M. L. et al. Ovos, larvas e juvenis dos peixes da Bacia do Rio Paranapanema: uma avaliação para a conservação. Assis, SP: Triunfal Gráfica e Editora; Duke Energy, 2016.
- ORSI, M. L.; BRITTON, J. R. Long-term changes in the fish assemblage of a neotropical hydroelectric reservoir. *Journal of Fish Biology*, v. 84, n. 6, p. 1964-1970, 2014.
- PEDROSO, T. H.; DEPRÁ, G. C.; PAVANELLI, C. S. A new species of *Bryconamericus* (Characidae: Stevardiinae) with breeding tubercles from the upper rio Paraná basin. *Neotropical Ichthyology*, v. 22, p. e230049, 2024.
- PIMENTA, L. B. et al. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *Interações*, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.
- PIMENTEL, D. et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.

- PINHEIRO, J. P. S. et al. Global variation in freshwater physicochemistry and its influence on chemical toxicity in aquatic wildlife. *Biological Reviews*, v. 96, n. 4, p. 1528-1546, 2021.
- PIPERNO, D.; PEARSALL, D. The origins of agriculture in the lowland Neotropics. [S. l.: s. n.], 1998. DOI: <https://doi.org/10.5860/choice.36-1574>.
- PLAZA, G. et al. Life in the fast lane: revisiting the fast growth-high survival paradigm during the early life stages of fishes. *Fish and Fisheries*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12774>.
- PONTA GROSSA. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Ponta Grossa. Diagnóstico temático: energia e comunicações. Ponta Grossa: IPLAN, 2018. (Revisão do Plano Diretor Municipal, Produto 2.5.1.3). Disponível em: https://iplan.pontagrossa.pr.gov.br/downloads/planodiretor/2.5.1.3_energia_e_comunicacoes.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.
- RAIO, C. B.; BENNEMANN, S. T. A ictiofauna da bacia do rio Tibagi e o projeto de construção da UHE Mauá, Paraná, Brasil. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 31, n. 1, p. 15-20, 2010.
- SAATY, T. L. Analytic hierarchy process. In: *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Boston, MA: Springer, 2013. p. 52-64.
- SANCHES, P. V. et al. Flow regulation by dams affecting ichthyoplankton: the case of the Porto Primavera Dam, Paraná River, Brazil. *River Research and Applications*, v. 22, n. 5, p. 555-565, 2006.
- SARTORIO, L. F.; BAYER MAIER, É. L. Land use and cover changes in Brazilian biomes between 1985 and 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 1, p. 508-528, 2024.
- SHIBATTA, O. A. et al. Diversidade e distribuição de peixes na bacia do rio Tibagi. In: *A bacia do rio Tibagi*. Londrina: [s. n.], 2002. v. 1.
- SILVA, J. C. et al. Importance of dam-free stretches for fish reproduction: the last remnant in the Upper Paraná River. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 29, p. e106, 2017.
- SILVA, R. A. et al. Geoprocessamento e análise multicriterial (AHP) aplicados à avaliação da vulnerabilidade natural na Comunidade Quilombola de Lage dos Negros-BA. *Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 9, p. e18030, 2025.
- SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. London: Routledge, 2018.
- SOBRAL-SOUZA, T.; LIMA-RIBEIRO, M.; SOLFERINI, V. Biogeography of Neotropical rainforests: past connections between Amazon and Atlantic Forest detected by ecological niche modeling. *Evolutionary Ecology*, v. 29, p. 643-655, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10682-015-9780-9>.

- SOUSA, T. P.; BIALETZKI, A.; MATEUS, L. A. F. Dynamics of fish larvae recruitment in the hydrographic basin of the Paraguay River in western Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 21, p. e220034, 2023.
- STOFFERS, T. et al. Environmental requirements and heterogeneity of rheophilic fish nursery habitats in European lowland rivers: current insights and future challenges. *Fish and Fisheries*, v. 23, n. 1, p. 162-182, 2022.
- SUZUKI, F. M.; POMPEU, P. S. Influence of abiotic factors on ichthyoplankton occurrence in stretches with and without dams in the upper Grande River basin, south-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, v. 23, n. 2, p. 99-108, 2016.
- TAMIMINIA, H. et al. Google Earth Engine for geo-big data applications: a meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 164, p. 152-170, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>.
- TIBAGI ENERGIA. Relatório de Impacto Ambiental - RIMA: UHE Tibagi Montante. [S. l.]: Arcadis, 2019. Disponível em: <https://tibagienergia.com.br/documentos/RIMA%20-%20UHE%20TIBAGI%20MONTANTE.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- TOMMASINO, K.; NOELLI, F.; MOTA, L. T. Etnocídio e ecocídio têm preço de mercado. [S. l.: s. n.], jun. 2012.
- TONDATO, K.; MATEUS, L.; ZIOBER, S. Spatial and temporal distribution of fish larvae in marginal lagoons of Pantanal, Mato Grosso State, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 8, p. 123-134, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252010005000002>.
- TONKIN, Z. et al. Linking flow attributes to recruitment to inform water management for an Australian freshwater fish with an equilibrium life-history strategy. *Science of the Total Environment*, v. 752, p. 141863, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141863>.
- TOREZAN, J. M. D. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi. In: *A bacia do rio Tibagi*. Londrina: [s. n.], 2002. p. 103-107.
- VEGA, C. et al. Light pollution from illuminated bridges as a potential barrier for migrating fish: linking measurements with a proposal for a conceptual model. *Basic and Applied Ecology*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.11.001>.
- WINEMILLER, K. O. Patterns of variations in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia*, v. 81, p. 225-241, 1989.
- WINEMILLER, K. O.; ROSE, K. A. Patterns of life history diversification in North American fishes: implications for population regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 49, p. 2196-2218, 1992.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

WOOTTON, R. J. Ecology of teleost fishes. London: Springer Science & Business Media, 2012. (Fish and Fisheries Series, 24).

WU, G. et al. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, v. 57, p. 875-885, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13597>.

YIRIGUI, Y. et al. Relationships between riparian forest fragmentation and biological indicators of streams. *Sustainability*, v. 11, n. 10, p. 2870, 2019.

ZHANG, Y.; ZHOU, J.; CHEN, H. Global trajectories of forest soil acidification: a scientometric synthesis of drivers, impacts and sustainable solutions. *Forests*, v. 16, n. 5, p. 733, 2025.

ZIOBER, S. R.; BIALETZKI, A.; MATEUS, L. A. F. Effect of abiotic variables on fish eggs and larvae distribution in headwaters of Cuiabá River, Mato Grosso State, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 10, p. 123-132, 2012.