

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 27-02-2027.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Instituto de Biociências - Câmpus de Botucatu

JOSÉ DANIEL SOLER GARVES

**Avaliação dos efeitos de pisciculturas em tanques-rede sob a ictiofauna silvestre em
reservatório Neotropical através de análises de diversidade funcional e biomarcadores
histológicos**

Botucatu

2025

JOSÉ DANIEL SOLER GARVES

Avaliação dos efeitos de pisciculturas em tanques-rede sob a ictiofauna silvestre em reservatório Neotropical através de análises de diversidade funcional e biomarcadores histológicos

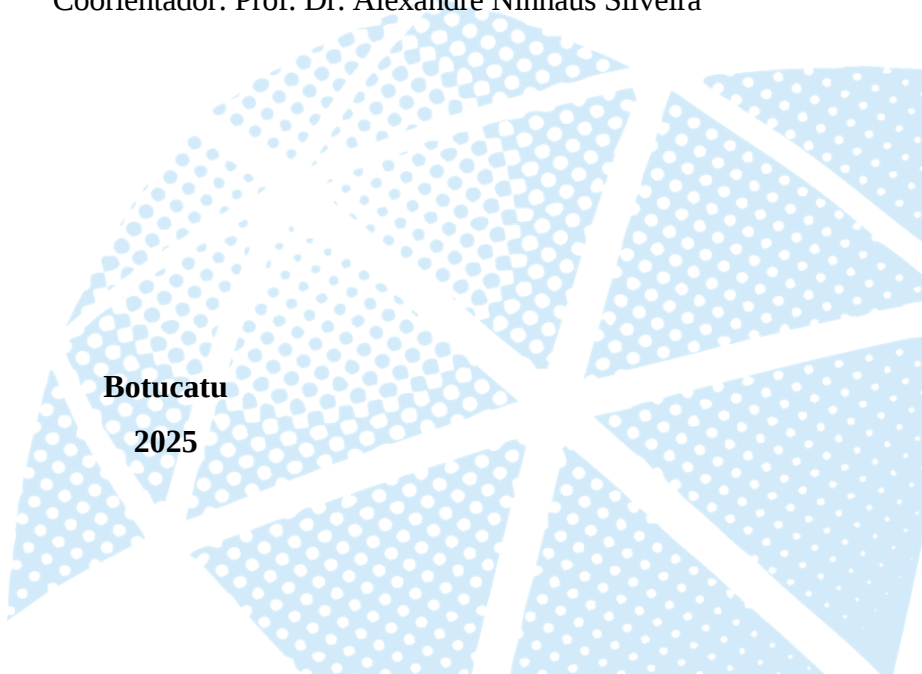
Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências - Câmpus de Botucatu, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia).

Orientador: Prof. Dr. Igor Paiva Ramos

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Ninhaus Silveira

Botucatu

2025

A decorative background pattern in the bottom right corner consisting of overlapping light blue triangles with a white dotted pattern, separated by white lines.

G244a

Garves, José Daniel Soler

Avaliação dos efeitos de pisciculturas em tanques-rede sob a ictiofauna silvestre em reservatório Neotropical através de análises de diversidade funcional e biomarcadores histológicos / José Daniel Soler Garves. -- Botucatu, 2025

62 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientador: Igor Paiva Ramos

Coorientador: Alexandre Ninhaus Silveira

1. Peixes de água doce. 2. Peixes Criação. 3. Impacto ambiental. 4. Biodiversidade. 5. Histologia. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Avaliação dos efeitos de pisciculturas em tanques-rede sob a ictiofauna silvestre em reservatório Neotropical através de análises de diversidade funcional e biomarcadores histológicos

AUTOR: JOSÉ DANIEL SOLER GARVES

ORIENTADOR: IGOR PAIVA RAMOS

COORIENTADOR: ALEXANDRE NINHAUS SILVEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. IGOR PAIVA RAMOS (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira UNESP

Profa. Dra. ROSICLEIRE VERISSIMO SILVEIRA (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia - FEIS - UNESP - Ilha Solteira/SP

Dr. JOÃO HENRIQUE PINHEIRO DIAS (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Universidade Estadual Paulista (FEIS-UNESP)

Dr. HUGO MARQUES (Participação Virtual)
Fishtag Consultoria e Assessoria Ambiental

Prof. Dr. HELENO BRANDÃO (Participação Virtual)
Coordenação de curso em Ciências Biológicas / Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Santa Helena

Botucatu, 27 de fevereiro de 2025

Maria Victória Ramalho da Cunha
Assistente Administrativo II da Seção Técnica de Pós-Graduação
Instituto de Biociências de Botucatu



Dedico este trabalho a você, pai.
Por ser minha inspiração, força e injeção
de ânimo diária para continuar.

AGRADECIMENTOS

À toda minha família, em especial meu pai José Donizete, minha mãe Sueli e meu irmão Diego, por propiciar as condições para que eu pudesse chegar até aqui e me ensinar que o caminho mais fácil não é sempre o que leva às melhores conquistas. Seguimos juntos enfrentando todas as batalhas dessa vida. Amo muito vocês! Obrigado por tudo!

À minha namorada, Thaís Boni, pela paciência, resiliência, dedicação e fundamental apoio em momentos de desespero. Até o final, nada vai ser fácil, mas juntos venceremos. Te amo!

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Igor P. Ramos, pelas orientações e apoio durante todas as fases do doutorado. Nada seria possível sem você, que entende os momentos difíceis e nos dá força para seguir.

À minha coorientadora e amiga, Profa. Dra. Cristiële da S. Ribeiro, por estar sempre presente e disposta a ajudar e pelas novas propostas que sempre agregam em nossos trabalhos.

À minha amiga, Lidiane Franceschini, por todas as conversas que são sempre ótimas e por todo o apoio durante as tantas fases difíceis do doutorado.

À toda equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes - PIRÁ, pelas amizades, brincadeiras, auxílio nas coletas, incentivo e colaboração para meu crescimento pessoal e profissional. Em especial: Bruna, parceira de projeto e de sofrimento durante as coletas; Alini, pela essencial ajuda com as análises estatísticas de diversidade funcional; Aymar, Bianca, Cibebe, Julia e Natália. Vocês foram essenciais durante o caminho do doutorado.

À UNESP FEIS (Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira) pela infraestrutura e suporte logístico e à UNESP IBB (Instituto de Biociências de Botucatu), pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela bolsa concedida nº 88887.496125/2020-00, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processos nº 2018/26348-7, 2018/01117-2, 2020/10507-9, 2020/13424-7, 2021/07500-5, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), código 001.

Ao Laboratório de Estudos em Fisiologia Animal - LEFISA, coordenado pela Profa. Dra. Cristiële da S. Ribeiro, pela infraestrutura e auxílio nas coletas.

Ao Laboratório de Biologia Tecidual e Reprodução, coordenado pelo Prof. Dr. João Paulo de Arruda Amorim, pelo desenvolvimento das análises histológicas.

À todas as pisciculturas em tanques-rede parceiras, Brazilian Fish, Fish Farm e Puro Peixe, que confiaram em nosso trabalho.

Por fim, mas não menos importante, aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite, disponibilizarem o tão escasso tempo e por todas as contribuições para melhoria deste trabalho.

RESUMO

A produção piscícola brasileira em 2023 foi de 655,3 mil toneladas, gerando R\$ 6,7 bilhões e apresentando aumento de 16,8% em relação a 2022. Contudo, apesar de pisciculturas em tanques-rede serem consideradas promissoras, podem gerar alterações ambientais como aumento nas cargas de sedimentação, reestruturação das comunidades, introdução de espécies e alterações tróficas em peixes silvestres. O presente trabalho objetivou avaliar a influência de pisciculturas em tanques-rede sobre a diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna e aspectos histológicos nas espécies *Geophagus sveni* - onívora e *Plagioscion squamosissimus* - carnívora, no reservatório de Ilha Solteira, bacia do alto rio Paraná. Foram realizadas quatro coletas entre 2019 e 2022, em três pontos amostrais sob influência de piscicultura em tanques-rede (TR) e dois pontos controle sem essa influência (CT), empregando-se índices e análises de diversidade taxonômica, β e funcional, além de aspectos histológicos do tecido hepático das duas espécies selecionadas. Nossos resultados não demonstram diferenças significativas nos índices de diversidade taxonômica e β , enquanto para diversidade funcional o índice de redundância funcional (FRed) apresentou diferenças nas comparações entre CT1 x TR1B (maior em TR1B) e CT2 x TR2 (maior em CT2), assim como no índice de divergência funcional (FDiv) entre CT1 x TR1B (maior em CT1). A análise CWM (média ponderada da comunidade) demonstrou que o atributo funcional "dieta" foi o mais influenciado pelas pisciculturas. Além disso, *G. sveni* e *P. squamosissimus* apresentaram alterações histológicas em todos os pontos avaliados, com os peixes de TR apresentando maiores frequências comparadas aos de CT. Ainda, *P. squamosissimus* apresentou maior presença de algumas lesões comparadas às de *G. sveni*. Entretanto, salienta-se que todas as alterações histológicas encontradas em ambas as espécies estão enquadradas nos estágios I (lesões reversíveis, onde a estrutura normal do órgão pode ser recuperada) e II (lesões mais graves que afetam o funcionamento do tecido, mas que também podem ser reparadas), com ausência de lesões intensas de estágio III (lesões que causam danos muito graves e irreparáveis). O presente trabalho constatou baixa influência das pisciculturas em tanques-rede em todos os parâmetros de diversidade e histologia avaliados. Sugere-se que o fato da área de estudo estar localizada no reservatório da usina hidrelétrica de Ilha Solteira, o qual já apresenta impactos prévios decorrentes da formação do reservatório, os possíveis efeitos da atividade de piscicultura se tornaram secundários, visto que em outros estudos de diversidade no alto rio Paraná é possível observar diferenças significativas entre pontos CT e TR. Outra possível explicação para a baixa influência das pisciculturas sob os peixes silvestres é o número de coletas realizadas, uma vez que estudos abrangendo maior número de amostragens demonstram de forma mais clara influências sobre as diferentes facetas da diversidade na ictiofauna local. Nossos resultados levantam questionamentos sobre a necessidade de monitoramentos contínuos de longo prazo e com esforço amostral periódico (coletas) para avaliação das influências ambientais dessa importante atividade zootécnica. Adicionalmente, podem auxiliar piscicultores e órgãos fiscalizadores a melhorarem medidas mitigadoras, ações de conservação e criação de políticas de gestão mais sustentáveis.

Palavras-chave: aquicultura; peixes neotropicais; espécies não nativas; diversidade funcional; histologia.

ABSTRACT

Brazilian cage fish farming production in 2023 was 655.3 thousand tons, generating R\$ 6.7 billion and showing an increase of 16.8% compared to 2022. However, although cage fish farming are considered promising, they can cause environmental changes, such as increased sedimentation loads, community restructuring, introduction of species and trophic changes in wild fish. The present study aimed to evaluate the influence of cage fish farming on the taxonomic and functional diversity of the ichthyofauna and histological aspects in the species *Geophagus sveni* - omnivorous and *Plagioscion squamosissimus* - carnivorous, in the Ilha Solteira reservoir, upper Paraná River basin. Four collections were carried out between 2019 and 2022, in three sampling points under the influence of cage fish farming (TR) and two control points without this influence (CT), using indices and analyses of taxonomic, β and functional diversity, in addition to histological aspects of the liver tissue of the two selected species. Our results do not demonstrate significant differences in the taxonomic and β -diversity indices, while for functional diversity the functional redundancy index (FRed) showed differences in the comparisons between CT1 x TR1B (higher in TR1B) and CT2 x TR2 (higher in CT2), as well as the functional divergence index (FDiv) between CT1 x TR1B (higher in CT1). The CWM analysis (community weighted mean) demonstrated that the functional attribute "diet" was the most influenced by fish farming. Furthermore, *G. sveni* and *P. squamosissimus* presented histological alterations at all the points evaluated, with fish from TR presenting higher frequencies compared to those from CT. In addition, *P. squamosissimus* presented a greater presence of some lesions compared to *G. sveni*. However, it is noteworthy that all histological alterations found in both species are classified as stages I (reversible lesions, where the normal structure of the organ can be recovered) and II (more severe lesions that affect tissue function, but which can also be repaired), with the absence of intense stage III lesions (lesions that cause very severe and irreparable damage). This study found low influence of cage fish farming on all the diversity and histological parameters evaluated. It is suggested that the fact that the study area is located in the reservoir of the Ilha Solteira hydroelectric plant, which already has previous impacts resulting from the formation of the reservoir, the possible effects of fish farming activity became secondary, since in other diversity studies in the upper Paraná River have observed significant differences between CT and TR points. Another possible explanation for the low influence of fish farming on wild fish is the number of collections taken, since studies covering a larger number of samples demonstrate more clearly the influences on the different facets of diversity in the local ichthyofauna. Our results raise questions about the need for continuous long-term monitoring and periodic sampling (collections) to assess the environmental influences of this important zootechnical activity. In addition, they may help fish farmers and regulatory agencies to improve mitigation measures, conservation actions and development of more sustainable management policies.

Keywords: aquaculture; neotropical fish; nonnative species; functional diversity; histopathology.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	METODOLOGIA	13
	2.1 Área de estudo	13
	2.2 Variáveis físico-químicos da água.....	14
	2.3 Coleta da ictiofauna	15
	2.4 Diversidade taxonômica e funcional	16
	2.5 Alterações histológicas hepáticas	19
3	RESULTADOS	22
	3.1 Diversidade taxonômica e funcional	22
	3.2 Alterações histológicas hepáticas	29
4	DISCUSSÃO.....	37
	4.1 Diversidade taxonômica e funcional	37
	4.2 Alterações histológicas hepáticas	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
7	APÊNDICES	56

1 INTRODUÇÃO

Com a urbanização e a industrialização do Brasil no século XX, a demanda de energia elétrica aumentou consideravelmente, tornando necessária a exploração de recursos naturais disponíveis, com a geração hidrelétrica se expandindo após 1950 (Oliveira, 2018). Considerado um país com vantagens para o desenvolvimento da hidroeletricidade, possuindo rios abundantes, o número de construções e licenças para instalação de usinas hidrelétricas no Brasil aumentou nos últimos anos (ANEEL, 2025; 2018; Oliveira, 2018; Zarfl *et al.*, 2015). Em 2023, a matriz de energia elétrica brasileira atingiu 723,2 TWh, sendo a oferta hidráulica responsável por 58,9% da matriz elétrica total, com 441,1 TWh produzidos (EPE, 2024).

Contudo, os barramentos realizados por usinas hidrelétricas podem desencadear alterações no ciclo hidrológico natural dos rios, causando desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Albuquerque Filho; Saad; Alvarenga, 2010), redução da diversidade de peixes e restringir acesso a áreas a montante de alimentação e reprodução, devido a interrupção e/ou diminuição da conectividade ambiental de peixes migradores (Winemiller *et al.*, 2016). Alterações na estrutura da ictiofauna, introdução de espécies não nativas e extinção de espécies migratórias, são outras possíveis influências ambientais causadas pelos barramentos (Agostinho; Gomes; Pelicice, 2007; Ruaro *et al.*, 2019; Nobile *et al.*, 2020).

Além de produção de energia elétrica, reservatórios artificiais vêm sendo utilizados para outras finalidades, como abastecimento, irrigação e produção aquícola. Dados do relatório “Estado da Pesca e Aquicultura Mundial” da FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, demonstram que em 2022 pela primeira vez a aquicultura mundial ultrapassou a produção da pesca de captura (FAO, 2024). No Brasil, políticas públicas incentivam a substituição da pesca extrativista por atividades aquícolas, implementando ações de levantamento de dados, participação em conselhos e utilização de novas tecnologias, contribuindo para maior produção sustentável e crescimento perante o cenário mundial (IBGE, 2016; MAPA, 2022). Sendo assim, produções aquícolas podem se tornar uma solução viável para manter estoques naturais de organismos aquáticos, oferecendo melhor planejamento e regularidade de produção (EMBRAPA, 2024; FAO, 2024).

Como consequência do aproveitamento hídrico brasileiro, destaca-se que das 25.943 barragens cadastradas no Sistema de Segurança de Barragens (SNSB), 1813 possuem atividade de aquicultura sendo realizada em seus reservatórios (7% do total cadastrado) (ANA, 2024). Segundo dados oficiais do Banco Central, o valor investido em piscicultura no Brasil no ano de 2023 foi de R\$ 80,5 milhões, sendo divididos em tanques escavados (R\$ 42,2 milhões ou 52,4%

do total), matrizes/reprodutores (R\$ 16,6 milhões ou 20,6% do total) e tanques-rede (R\$ 7,6 milhões ou 9,4% do total) (PeixeBR, 2024). A produção total da piscicultura brasileira em 2023 foi de 655,3 mil toneladas, gerando R\$ 6,7 bilhões em valor de produção, com crescimento de 16,8% em relação a 2022 (IBGE, 2024). Dentre as espécies comercializadas, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) foi a mais produzida (67,5% do total da piscicultura brasileira), com 442,2 mil toneladas em 2023 (IBGE, 2024).

Nos últimos anos, pisciculturas do tipo tanques-rede vem se destacando positivamente quanto à produtividade. Especificamente, a bacia do rio Paraná possui um alto número de represamentos, com 141 usinas hidrelétricas (ANEEL, 2024) fornecendo áreas adequadas para implementação de pisciculturas em tanques-rede. Nestes sistemas, espécies são escolhidas por apresentarem características economicamente viáveis, como altas taxas de crescimento, rendimento de carcaça e rentabilidade econômica (Assad; Bursztyn, 2000).

Em levantamento realizado no estado de São Paulo, 224 unidades de pisciculturas em tanques-rede estavam cadastradas, responsáveis por produzir cerca de 23 mil toneladas de peixes em 2021 (Carmo *et al.*, 2021) e 30 mil toneladas em 2022 (correspondente a 27,71% da produção nacional declarada do ano) (MPA, 2023). No alto rio Paraná, o reservatório de Ilha Solteira é um dos mais importantes do país em relação ao volume de peixes produzido, tendo em 2022, 84 contratos de pisciculturas em tanques-rede formalizados (MPA, 2023). Estima-se que a ocupação da lâmina d'água para cultivo de peixes em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira em 2022, foi de apenas 0,28% do corpo hídrico total do reservatório (MPA, 2023).

Na produção em sistemas de piscicultura em tanques-rede, os peixes são criados em alta densidade, confinados em estruturas flutuantes e com intenso aporte de ração (Braz Filho, 2015; Edwards, 2015; Schuler; Vieira Filho, 2017). Contudo, a implementação desses sistemas possui potencial para gerar influências ambientais devido a entrada contínua de matéria orgânica na forma de ração, a qual até 18% acaba sendo disponibilizada para o ecossistema aquático (Montanhini Neto; Ostrensky, 2015). Além disso, as pisciculturas podem gerar aumento significativo da produção de resíduos fecais e metabólicos provenientes dos sistemas de cultivo, ocasionando liberação dos produtos finais nitrogênio (N) e fósforo (P), podendo causar eutrofização e afetar o ambiente local (Lazzari; Baldisserotto, 2008; Mustapha; Bakali, 2021).

A matéria orgânica excessiva nessas áreas pode causar aumento nas cargas de sedimentação (Agostinho; Gomes; Pelicice, 2007; Mallasen *et al.*, 2012), mudanças na dinâmica populacional (Brandão *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2013A) e na fauna parasitária de

peixes (Ramos *et al.*, 2013B), introdução de espécies não nativas (Agostinho; Gomes; Pelicice 2007; Azevedo-Santos; Rigolin-Sá; Pelicice, 2011; Ruaro *et al.*, 2019; Zanatta *et al.*, 2010), alterações na estrutura da ictiofauna local (Nobile *et al.*, 2018; Orlandi Neto *et al.*, 2022; Parra *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2019) e nos hábitos alimentares de peixes silvestres (Brandão *et al.*, 2012; Demétrio *et al.*, 2012; Edwards, 2015; Kliemann *et al.*, 2018; 2022; Ramos *et al.*, 2013A), com consequência sobre aspectos histológicos e fisiológicos (Kliemann *et al.*, 2018).

As ferramentas utilizadas para avaliar as influências ecológicas de pisciculturas sobre o ambiente aquático normalmente utilizam índices de diversidade e riqueza taxonômica, tanto para ambientes marinhos (Dempster *et al.*, 2002; Özgül; Angel, 2013; Šegvić Bubić *et al.*, 2011) quanto para ambientes dulcícolas (Nobile *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019). Para esse grupo de análises, as espécies são consideradas equivalentes, ignorando seus papéis individuais desempenhados no ecossistema e na manutenção da comunidade, desconsiderando ainda a existência de espécies com alto valor de conservação, assim como as diferenças de biomassa e comprimento entre os indivíduos (Calaça; Grelle, 2016; Cianciaruso; Silva; Batalha, 2009; Magurran, 2004).

Recentemente, a utilização da ferramenta de diversidade funcional vem ganhando importância no cenário científico (Cianciaruso; Silva; Batalha, 2009; Maire *et al.*, 2015), sendo mais uma forma de avaliação das influências ambientais de sistemas intensivos de produção, tais como pisciculturas em tanques-rede. Portanto, uma vez que análises de diversidade taxonômica desconsideram diferenças importantes entre espécies (Villéger *et al.*, 2010), a diversidade funcional torna-se uma opção mais viável para compreensão dos processos ecossistêmicos (Ackerly; Cornwell, 2007; Ernst; Linsenmair; Rödel, 2006; Lombarte *et al.*, 2012; Maire *et al.*, 2015; McGill *et al.*, 2006; Mouillot *et al.*, 2005; Nyström, 2006; Parra *et al.* 2023; Petchey; Gaston, 2006; Riera *et al.*, 2017).

A origem e o nível de impacto da atividade aquícola podem ser avaliados através de ferramentas macro (como estudos de diversidade taxonômica e funcional) e a nível individual, utilizando ferramentas fisiológicas como alterações metabólicas ou morfofuncionais. Em especial para análises de alterações histológicas, o tecido hepático se torna relevante. Alterações histológicas hepáticas podem ser provenientes de condições fisiológicas naturais dos organismos, decorrentes de variações na alimentação ou em períodos de reprodução, por exemplo. Diante disso, avaliá-las cuidadosamente torna-se importante.

O fígado possui papel fundamental na mobilização e metabolização das moléculas provenientes da alimentação, além de exercer função de desintoxicação e excreção de

substâncias tóxicas do organismo, atuando como biomarcador para avaliar a saúde dos peixes em ambientes contaminados (Bernet *et al.*, 1999; Paulino *et al.*, 2014; Yancheva *et al.*, 2016). Diversos estudos têm utilizado o tecido hepático para avaliar possíveis efeitos de substâncias que atuam direta ou indiretamente no funcionamento do órgão em peixes (Kliemann *et al.*, 2018; Paulino *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2019). Analisando alterações no tecido hepático, como infiltrações leucocitárias, focos de necroses e presença de lesões irreparáveis, pode-se investigar relação entre consumo excessivo de alimentos de alto teor lipídico e proteico, como a ração proveniente das pisciculturas, com mudanças metabólicas e/ou alterações morfofuncionais (Kliemann *et al.*, 2018; Tang *et al.*, 2019).

Além das influências citadas anteriormente, a introdução de espécies de peixes foi responsável pela crescente perda de biodiversidade em ecossistemas aquáticos ao redor do mundo (Vitule *et al.*, 2016; Ruaro *et al.*, 2019). A aquicultura é uma das grandes responsáveis pela introdução de espécies de peixes na bacia do alto rio Paraná (Ruaro *et al.*, 2019), contribuindo para perda de biodiversidade aquática. Espécies como *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758, *Megaleporinus macrocephalus* (Garavello & Britski, 1988), *Metynnis lippincottianus* (Cope, 1870), *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818), *Pterygoplichthys ambrosettii* (Holmberg, 1893), *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897), *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), *Heterotilapia buettikoferi* (Hubrecht, 1881), são alguns exemplos na bacia do alto rio Paraná (Dagosta *et al.*, 2024), sendo algumas espécies predadoras, que podem oferecer riscos a espécies nativas. Devido à sua importância na degradação ambiental, invasões bióticas foram consideradas como um dos principais agentes de mudança global impulsionada pelo homem, juntamente com as alterações atmosféricas e oceânicas (Mack *et al.*, 2000).

Dessa maneira, *Geophagus sveni* Lucinda, Lucena & Assis, 2010 (onívora) e *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (carnívora), foram escolhidas para o presente estudo, por serem as espécies mais abundantes na pesca científica no reservatório de Ilha Solteira e por serem influenciadas direta e indiretamente pelos sistemas de pisciculturas em tanques-rede (Kliemann *et al.*, 2022; Orlandi Neto *et al.*, 2022; Parra *et al.*, 2023). Ainda, por serem espécies não nativas do reservatório de Ilha Solteira, suas avaliações podem gerar resultados úteis para evitar perda de biodiversidade de espécies nativas, ajustar mecanismos de controle de abundância de espécies introduzidas, identificar ferramentas utilizadas por essas espécies que garantem sucesso na colonização de novos ambientes, e ainda, contribuir com dados científicos para a criação de programas que visem mitigar processos de invasões bióticas.

Devido à entrada de matéria orgânica por meio de pisciculturas em tanques-rede e o oportunismo de algumas espécies de peixes, que são atraídas para essas áreas e acabam consumindo direta ou indiretamente alimentos abundantes e de fácil captura, alterações na dieta desses animais foram observadas (Kliemann *et al.*, *in prep.*), assim como relatado em outros estudos (Demétrio *et al.*, 2012; Kliemann *et al.*, 2018; 2022; Ramos; Vidotto-Magnoni; Carvalho, 2008; Ramos *et al.*, 2013A). Como consequência da alta abundância dessas espécies atraídas para áreas de tanques-rede, e, conseqüentemente, dissimilaridades na distribuição das espécies e suas funções ecológicas exercidas, espera-se que ocorram modificações taxonômicas e funcionais na estrutura das assembleias nos pontos sob influência de tanques-rede em relação aos pontos controle.

As alterações citadas acima devem ocorrer predominantemente em espécies generalistas, com o consumo de ração ocasionando mudanças metabólicas e desencadeando alterações histológicas hepáticas, uma vez que a ração contém altos teores de proteínas e lipídios. Além disso, espera-se que a interação entre aspectos ecológicos e histológicos auxiliem a esclarecer e identificar as influências de atividades de piscicultura em tanques-rede, contribuindo com informações para elaboração de novas políticas de produção sustentável e conservação ambiental.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de pisciculturas em tanques-rede sobre a diversidade taxonômica e funcional e alterações histológicas em espécies de peixes silvestres, no reservatório de Ilha Solteira, bacia do alto rio Paraná. Assim, as seguintes hipóteses foram testadas: I) pisciculturas causam modificação na diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna silvestre; II) o consumo de restos de ração por espécie de peixe onívora causa maior incidência e intensidade de alterações histológicas hepáticas em relação a espécie carnívora; e III) nas áreas de pisciculturas as alterações histológicas hepáticas para as espécies avaliadas são mais presentes e intensas do que em áreas controle.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Acta Scientiarum Biological Sciences**. Maringá, v. 23, n. 2, p. 425-434, 2001.

ACKERLY, D. D.; CORNWELL, W. K. A trait-based approach to community assembly: partitioning of species trait values into within- and among-community components. **Ecology Letters**, v. 10, p. 135-145, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.01006.x>.

AGIUS, C.; ROBERTS, R. J. Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. **Journal of fish diseases**, v. 26, p. 499-509, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2003.00485.x>.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: Eduem, 2007, 501 p.

AL-BULISH, M. S. M. *et al.* Docosahexaenoic acid-rich fish oil alleviates hepatic steatosis in association with regulation of gut microbiome in ob/ob mice. **Food Research International**, v. 157, p. 111373, 2022.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SAAD, A. R.; ALVARENGA, M. C. de. Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos com ênfase nos efeitos ocorrentes em aquíferos livres e suas consequências. **Geociências**, v. 29, n. 3, p. 355-367, 2010.

ALMEIDA, L. C. de.; AVILEZ, I. M.; HONORATO, C. A.; HORI, T. S. F.; MORAES, G. Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed different levels of protein and lipid: Growth and metabolism of tambaqui. **Aquaculture Nutrition**, v. 17; p. 253-262. 2011. DOI: [10.1111/j.1365-2095.2010.00759.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00759.x).

ALTRINGHAM, A. D.; ELLERBBY, D. Fish swimming: Patterns in muscle function. **Journal of Experimental Biology**, v. 202, p. 3397-3403, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.202.23.3397>.

ANA - Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. **Relatório de segurança de barragens 2023**. Brasília: 123 p. 2024.

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, p. 32-46, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório de acompanhamento de implantação de empreendimentos de geração**, n. 11, 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RALIE - Acompanhamento da Expansão da Oferta de Geração**. 2025. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie>. Acesso em: 07. fev. 2025.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. 2024. Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNGE3NjVmYjAtNDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ASSAD, L. T.; BURSZTYN, M. **Aquicultura no Brasil: bases para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: CNPq/Ministério de Ciência e Tecnologia, p. 33-72, 2000.

AZEVEDO-SANTOS, V. M.; RIGOLIN-SÁ, O.; PELICICE, F. M. Growing, losing or introducing? Cage aquaculture as a vector for the introduction of non-native fish in Furnas Reservoir, Minas Gerais, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 9, n.4, p. 915-919, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011000400024>.

BASELGA, A.; ORME, D.; VILLÉGER, S.; BORTOLI, J.; LEPRIEUR, F. **Package betapart: partitioning beta diversity into turnover and nestedness components**. 2014.

BERNET, D.; SCHMIDT, H.; MEIER, W.; BURKHARDT-HOLM, P.; WAHLI, T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**, v. 22, p. 25-34, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1999.00134.x>.

BRANDÃO, H.; LOBÓN-CERVIÁ, J.; RAMOS, I. P.; SOUTO, A. C.; NOBILE, A. B.; ZICA, É. O. P.; CARVALHO, E. D. Influence of a cage farming on the population of the fish species *Apareiodon affinis* (Steindachner, 1879) in the Chavantes reservoir, Paranapanema River SP/PR, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p.438-448, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2013005000012>.

BRANDÃO, H.; NOBILE, A. B.; SOUTO, A. C.; RAMOS, I. P.; SOUZA, J. Q.; CARVALHO, E. D. Influence of cage fish farming on the diet and biological attributes of *Galeocharax knerii* in the Chavantes reservoir, Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 39, n.2, p. 157-167, 2013.

BRAZ FILHO, M. dos S. P. **Criação de Peixes em Tanque Rede**. SENAR, 2015. Disponível em: http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Producao-de-Peixe-em-Tanque-Rede.pdf. Acesso em: 21 jan. 2018.

CALAÇA, A. M.; GRELLE, C. E. V. Diversidade funcional de comunidades: discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 4, p. 401-416, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2016.2004.01>.

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.

CARMO, F. J. *et al.* **Levantamento das Unidades de Piscicultura no Estado de São Paulo**. Campinas, CDRS, 24 p., 2021.

CESP - Companhia Energética de São Paulo. **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial - PACUERA da UHE Ilha Solteira**. Diagnóstico Ambiental, Unidades Ambientais Homogêneas, Zoneamento Socioambiental e Plano de Gerenciamento do Reservatório, v. 1. Outubro/2009.

CESP - Companhia Energética de São Paulo. **Programa de manejo pesqueiro**. Relatório GA/233/2014. Maio/2014.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 93-103, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>.

DAGOSTA. Fishes of the upper rio Paraná basin: diversity, biogeography and conservation. **Neotropical Ichthyology**. vol. 22, n. 1, Maringá. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2023-0066>.

DEMÉTRIO, J. A.; GOMES, L. C.; LATINI, J. D.; AGOSTINHO, A. A. Influence of net cage farming on the diet of associated wild fish in a Neotropical reservoir. **Aquaculture**, v. 330-333, p.172–178, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.026>.

DEMPSTER, T.; SANCHEZ-JEREZ, P.; BAYLE-SEMPERE, J. T.; GIMÉNEZ-CASALDUER, F.; VALLE, C. Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the southwestern Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability. **Marine Ecology Progress Series**, v. 242, p.237-252, 2002.

EDWARDS, P. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends. **Aquaculture**, v. 447, p. 2-14, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Pesca e aquicultura**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura>. Acesso em: 10 jan. 2025.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional - Relatório Síntese 2024 - Ano base 2023**. 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 07 jan. 2025.

ERNST, R.; LINSSENMAIR, K. E.; RÖDEL, M. O. Diversity erosion beyond the species level: Dramatic loss of functional diversity after selective logging in two tropical amphibian communities. **Biological Conservation**, v. 133, p. 143-155, 2006.

FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome, 264 p. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.

GONZALEZ-SILVERA, D.; IZQUIERDO-GOMEZ, D.; FERNANDEZ-GONZALEZ, V.; MARTÍNEZ-LOPEZ, F. J.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, J. A.; SANCHEZ-JEREZ, P. Mediterranean fouling communities assimilate the organic matter derived from coastal fish farms as a new trophic resource. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 91, n. 1, p. 45-53, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.029>.

GOWER, J. C. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. **Biometrika**, v. 53, p. 325-338, 1966.

HEPHER, B. **Nutrition of Pond Fishes**. Cambridge: Cambridge Press, 1989.

HONORATO, C. A.; CRUZ, C. da.; CARNEIRO, D. J.; MACHADO, M. R. F.; NASCIMENTO, C. A.; SATURNINO, K. C. Histologia do fígado de tilápia do Nilo

(*Oreochromis niloticus*) alimentados com dietas contendo silagem biológica de pescado. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. v. 34 (Supl.1), p. 64-68, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014001300012>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 43, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 50, p.1-12, 2024.

IZQUIERDO-GÓMEZ, D.; GONZÁLES-SILVERA, D.; ARECHAVALA-LÓPEZ, P.; LÓPEZ-JIMÉNES, J. Á.; BAYLE-SEMPERE, J. T.; SÁNCHEZ-JEREZ, P. Exportation of excess feed from Mediterranean fish farms to local fisheries through different targeted fish species. **Journal of Marine Science**, [s. l.], v. 72, n. 3, p. 930–938, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu179>.

JIA, R.; CAO, L. P.; DU, J. L.; HE, Q.; GU, Z. Y.; JENEY, G.; XU, P.; YIN, G. J. Effects of High-Fat Diet on Steatosis, Endoplasmic Reticulum Stress and Autophagy in Liver of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Frontiers in Marine Science**. v. 7, article 363, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00363>.

KLIEMANN, B. C. K.; DELARIVA, R. L.; AMORIM, J. P. A.; RIBEIRO, C. S.; SILVA, B.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R.; RAMOS, I. P. Dietary changes and histophysiological responses of a wild fish (*Geophagus cf. proximus*) under the influence of tilapia cage farm. **Fisheries research**, v. 204, p.337-347. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.03.011>.

KLIEMANN, B. C. K.; DELARIVA, R. L.; MANOEL, L. de O.; SILVA, A. P. dos S.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R.; RAMO, I. P. Cage fish farm promote interference in the diet and trophic niche of wild fish in Neotropical Reservoir? **Aquaculture**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.106198>.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. New York: Collins, 1989.

KUBITZA, F. **Índice de Conversão Alimentar de Tilápias**. 2010. Disponível em: http://www.matsuda.com.br/matsuda/upload/artigostecnicos/indice_de_conversao_alimentar_de_tilapias_1.pdf. Acesso em: 21 jan. 2020.

KUMAR, V.; ABBAS, A. K.; ASTER, J. C. **Patologia Básica, Robbins**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

LAI, H.; BI, S.; YI, H.; GUO, D.; LI, H.; WANG, G.; LIU, X.; CHEN, Q.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; WEI, X.; LIU, S.; LI, G. Seasonal variation in the functional structure of demersal fish communities and response to the environmental changes in the Pearl River Estuary. China. **Ecological Indicators**. v. 144, p. 109525. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109525>.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299-305, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>.

LANGEANI, F.; CASTRO, R. M. C.E; OYAKAWA, O. T.; SHIBATTA, O. A.; PAVANELLI, C. S.; CASATTI, L. Diversidade da ictiofauna do Alto Rio Paraná: composição atual e perspectivas futuras. **Biota Neotropica**, v. 7, 2007.

LAVOREL, S.; GRIGULIS, K.; MCINTYRE, S.; WILLIAMS, N. S. G.; GARDEN, D.; DORROUGH, J.; BERMAN, S.; QUÉTIER, F.; THÉBAULT, A.; BONIS, A. Assessing functional diversity in the field - methodology matters! **Functional Ecology**, v. 22, p. 134-147, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01339.x>.

LAZZARI, R.; BALDISSEROTO, B. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 591-600, 2008.

LEE, J. W.; KIMB, J. W.; RIUC, N. de.; MONIELLOC, G.; HUNG, S. S. O. Histopathological alterations of juvenile green (*Acipenser medirostris*) and white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) exposed to graded levels of dietary methylmercury. **Aquatic Toxicology**, v. 109, p.90-99, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.12.008>.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Numerical ecology. Amsterdam, **The Netherlands: Elsevier**, 1998.

LIMA, E. M. M.; SANTOS, P. R. B.; FERREIRA, L. A. R.; SOUZA, K. N. S. Reproductive biology of Silver Croaker *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) species of fishery importance in the Lower Amazon, Pará, Brazil. **Gaia Scientia**, [s. l.], v. 13, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2019v13n1.44079>.

LOMBARTE, A.; GORDO, A.; WHITFIELD, A. K.; JAMES, N. C.; TUSET, V. M. Ecomorphological analysis as a complementary tool to detect changes in fish communities following major perturbations in two South African estuarine systems. **Environmental Biology of Fishes**, v. 94, p. 601-614, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9966-0>.

LOWE-McCONNELL, R.H. 1999. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. Edusp, São Paulo.

LUZ-AGOSTINHO, K. D. G.; BINI, L. M.; FUGI, R.; AGOSTINHO, A. A.; JR, H. F. J. Food spectrum and trophic structure of the ichthyofauna of Corumbá reservoir, Paraná River Basin, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 4, p. 61-68. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000100005>.

MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONSDALE, W. M.; EVANS, H.; CLOUT, M.; BAZZAZ, F. A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological applications**, v. 10, n. 3, p. 689-710, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0689:BICEGC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0689:BICEGC]2.0.CO;2).

MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. 1. ed. Oxford, UK: Blackwell Science, 2004.

MAIRE, E.; GRENOUILLET, G.; BROSSE, S.; VILLÉGER, S. How many dimensions are needed to accurately assess functional diversity? A pragmatic approach for assessing the quality of functional spaces. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, p. 728-740. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12299>.

MALLASEN, M.; CARMO, C. F. do.; TUCCI, A.; BARROS, H. P. de.; ROJAS, N. E. T.; FONSECA, F. S. da.; YAMASHITA, E. H. Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira, SP. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 38, n. 15, p. 1-16, 2012.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano nacional de desenvolvimento da aquicultura - PNDA** / Carolina Mendes Costa coord. Bruno Machado Queiroz [et al.], Departamento de Ordenamento e Desenvolvimento da Aquicultura. - Brasília: Mapa/ AECS, 2022. 65 p. ISBN: 978-85-7991-202-3.

MCGILL, B. J.; ENQUIST, B. J.; WEIHER, E.; WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 4, p. 178-185, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2006.02.002>.

MELA, M.; RANDI, M. A. F.; VENTURA, D. F.; CARVALHO, C. E. V.; PELLETIER, E.; RIBEIRO, C. A. O. Effects of dietary methylmercury on liver and kidney histology in the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 68, p. 426-435, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.11.013>.

MOMMSEN, T. P.; FRENCH, C. J.; HOCHACHKA, P. W. Sites and patterns of protein and amino acid utilization during the spawning migration of salmon. **Canadian Journal of Biochemistry and Cell Biology**, v. 58, p. 1785-1799, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1139/z80-246>.

MONTANHINI NETO, R.; OSTRENSKY, A. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 6, p. 1309-1322, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.12280>.

MOUILLOT, D. et al. Ability of taxonomic diversity indices to discriminate coastal lagoon environments based on macrophyte communities. **Ecological Indicators**, v. 5, n. 1, p. 1-17, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2004.04.004>.

MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim da aquicultura em águas da união - 2022 - Relatório Anual de Produção - RAP**. Brasília, 192 p., 2023.

MUSTAPHA, A.; BAKALI, M. E. Phosphorus Waste Production in Fish Farming a Potential for Reuse in Integrated Aquaculture Agriculture. **International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)**. ISSN: 2454-1850, v. 7, n. 1. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.4482931>.

NEVES, M. P.; DELARIVA, R. L.; WOLFF, L. L. Diet and ecomorphological relationships of an endemic, species-poor fish assemblage in a stream in the Iguaçu National Park. **Neotropical Ichthyology**, v. 13, n. 1, p. 245-254, 2015. DOI: 10.1590/1982-0224-20140124.

NING, L.; HE, A. H.; LU, D. L.; LI, J. M.; QIAO, F.; LI, D. L.; ZHANG, M. L.; QIAO, C.; DU, Z. Y. Nutritional background changes the hypolipidemic effects of fenofibrate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Nature Publishing Group**, p. 1-11, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep41706>.

NOBILE, A. B. *et al.* Status recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, p. 1495-1517, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12393>.

NOBILE, A. B.; ZANATTA, A. S.; BRANDÃO, H.; ZICA, E. O. P.; LIMA, F. P.; FREITAS-SOUZA, D.; CARVALHO, E. D.; SILVA, R. J.; RAMOS, I. P. Cage fish farm act as a source of changes in the fish community of a Neotropical reservoir. **Aquaculture**, v. 495, p. 780-785, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.053>.

NYSTRÖN, M. Redundancy and response diversity of functional groups: Implications for the resilience of coral reefs. **Ambio**, v. 35, n. 1, p. 30-35, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-35.1.30>.

OLIVEIRA, N. C. C. de. A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil. **Varia História**, Belo Horizonte, v. 34, n. 65, p. 315-346, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-87752018000200003>.

ORLANDI NETO, A.; AMORIM, R. V.; DELARIVA, R. L.; CAMARGO, A. F. M.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R.; RAMOS, I. P. Structure and composition of ichthyofauna associated with cage fish farming and compared to a control area after severe drought in a Neotropical reservoir. **Neotropical Ichthyology**, v. 20, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0141>.

ORLANDI NETO, A.; CANEPPELE, D.; MARQUES, H.; DIAS, J. H. P.; BALBUENA, J. A.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, I. P. Long-term impact of an invasive predator on the diversity of fish assemblages in a neotropical reservoir. **Biological invasions**, v. 26, p. 1255-1267, DOI 10.1007/s10530-023-03243-9. 2024. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-024-03295-5>.

ÖZGÜL, A.; ANGEL, D. Wild fish aggregations around fish farms in the Gulf of Aqaba, Red Sea, implications for fisheries management and conservation. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 4, p.135-145, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/aei00076>.

PARK, S. M.; KIM, H.; SONG, K. H.; EOM, S.; PARK, H.; DOH, J.; KIM, D. S. Ultra-thin, aligned, free-standing nanofiber membranes to recapitulate multi-layered blood vessel/tissue interface for leukocyte infiltration study. **Biomaterials**, v. 169, p. 22-34, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2018.03.053>.

PARRA, A. B.; DIAS, J. H. P.; MARQUES, H.; BALBUENA, J. A.; RAMOS, I. P. Cage fish farming as a driver of changes in the functional diversity and structure of ichthyofauna in a Neotropical reservoir. **Aquaculture International**, v. 31, p. 2495-2511. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01096-6>.

PAULINO, M. G.; BENZE, T. P.; SADAUSKAS-HENRIQUE, H. SAKURAGUI, M. M.; FERNANDES, J. B. The impact of organochlorines and metals on wild fish living in a tropical hydroelectric reservoir: bioaccumulation and histopathological biomarkers. **Science of the Total Environment**, v. 497-498, p. 293-306, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.122>.

PAVOINE, S. adiv: An r package to analyse biodiversity in ecology. **Methods and Ecology and Evolution**. V. 11, p. 1106 - 1112. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13430>.

PAYNE, N. L.; SMITH, J. A.; VAN DER MEULEN, D. E.; TAYLOR, M. D.; WATANABE, Y. Y.; TAKAHASHI, A.; MARZULLO, T. A.; GRAY, C. A.; CADIOU, G.; SUTHERS, I. M. Temperature dependence of fish performance in the wild: links with species biogeography and physiological thermal tolerance. **Functional Ecology**. v. 30, I. 6, p. 903-912. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12618>.

PEIXE BR - Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário Peixe BR da piscicultura 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>.

PILLAR, V. D.; DUARTE, L. da S.; SOSINSKI, E. E.; JONER, F. Discriminating trait-convergence and trait-divergence assembly patterns in ecological community gradients. **Journal of Vegetation Science**, v. 20, n. 2, p. 334-348, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.05666.x>.

POLEKSIC, V.; MITROVIC-TUTUNDZIC, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. In: Müller, R., Lloyd, R. (Eds.), Sublethal and Chronic Effects of Pollutants on Freshwater Fish. **Fishing News Books**, Oxford, p. 339-352, 1994.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **The R Project for Statistical Computing**, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

RAMOS, I. P. **Ecologia trófica e biomarcadores isotópicos e histofisiológicos de peixes pertencentes a diferentes guildas tróficas associados a pisciculturas em tanques-rede**. Projeto de pesquisa - Auxílio regular FAPESP (processo nº 2018/26348-7). Em andamento.

RAMOS, I. P.; BRANDÃO, H.; ZANATTA, A. S.; ZICA, E. O. P.; SILVA, R. J.; REZENDE-AYROZA, D. M. M.; CARVALHO, E. D. Interference of cage fish farm on diet, condition factor and numeric abundance on wild fish in a Neotropical reservoir. **Aquaculture**, v. 414-415, p. 56-62, 2013A. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.013>.

RAMOS, I. P.; FRANCESCHINI, L.; ZICA, É. O. P.; CARVALHO, E. D.; SILVA, R. J. The influence of cage farming on infection of the corvine fish *Plagioscion squamosissimus* (Perciformes: Sciaenidae) with metacercariae of *Austrodiplostomum compactum* (Digenea: Diplostomidae) from the Chavantes reservoir, São Paulo State, Brazil. **Journal of Helminthology**, v. 88, p. 342-348, 2013B. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022149X13000229>.

RAMOS, I. P.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; CARVALHO, E. D. Influence of cage fish farming on the diet of dominant fish species of a Brazilian reservoir (Tietê River, High Paraná River basin). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 20, n.3, p. 245-252, 2008.

RAMOS, J. K. K.; PARRA, A. B.; KLIEMANN, B. C. K.; NOBILE, A. B.; BRANDÃO, H.; RAMOS, I. P. Effects of cage fish farms on functional diversity of wild fish communities in a Neotropical reservoir. **Aquaculture**. v. 595, p.741625, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741625>. 2025.

RIBEIRO, P. A. P.; MELO, D. C. de.; COSTA, L. S.; TEIXEIRA, E. de A. **Manejo nutricional e alimentar de peixes de água doce**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

RICOTTA, C.; BELLO, F. de.; MORETTI, M.; CACCIANIGA, M.; CERABOLINI, B. E. L.; PAVOINE, S. Measuring the functional redundancy of biological communities: a quantitative guide. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 11, p. 1386-1395, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12604>.

RIERA, R.; TUSET, V. M.; RODRÍGUEZ, M.; MONTERROSO, O.; LOMBARTE, A. Analyzing functional diversity to determine the effects of fish cages in insular coastal wild fish assemblages. **Aquaculture**, v. 479, p. 384-395, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.014>.

ROH, H. J. *et al.* Overfeeding-Induced Obesity Could Cause Potential Immuno-Physiological Disorders in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Animals**. [s. l.], v. 10, p. 1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10091499>.

RUARO, R.; TRAMONTE, R. P.; BUOSI, P. R. B.; MANETTA, G. I.; BENEDITO, E. Trends in Studies of Nonnative Populations: Invasions in the Upper Paraná River Floodplain. **Wetlands**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01161-y>.

SCHEFFE, H. A method for judging all contrasts in the analysis of variance. **Biometrika**, [S.l.], v. 40, n. 1-2, p. 87-110, 1953.

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de Tilápia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Brasília: Rio de Janeiro: Ipea. ISSN 1415-4765. 2017.

SECOR, S. M.; CAREY, H. V. Integrative physiology of fasting. **Comprehensive Physiology**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 773-825, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/cphy.c150013>.

ŠEGVIĆ BUBIĆ, T.; GRUBIŠIĆ, L.; TIČINA, V.; KATAVIĆ, I. Temporal and spatial variability of pelagic wild fish assemblages around Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* farms in the eastern Adriatic Sea. **Journal of Fish Biology**, v. 78, p. 78-97, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02837.x>.

STENTIFORD, G. D.; LONGSHAWA, M.; PLYONSB, B.; JONESA, G.; GREENA, M.; FEISTA, S. W. Histopathological biomarkers in estuarine fish species for the assessment of biological effects of contaminants. **Marine Environmental Research**. v. 55, p. 137-159, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0141-1136\(02\)00212-x](https://doi.org/10.1016/s0141-1136(02)00212-x).

PEREIRA, L. S.; DEMÉTRIO, J. A.; CUNICO, A. M.; LATINI, J. D.; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A. Cage aquaculture in Neotropical waters promotes attraction and

aggregation of fish. **Aquaculture Research**, p. 1-11, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.1111/are.14244>.

TANG, T.; HU, Y.; PENG, M.; CHU, W., HU, Y.; ZHONG, L. Effects of high-fat diet on growth performance, lipid accumulation and lipid metabolism-related MicroRNA/gene expression in the liver of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part - B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. part 2 234, p. 34–40, 2019.

VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D. New Multidimensional Functional Diversity Indices for a Multifaceted Framework in Functional Ecology. **Ecology**, v. 89, n. 8, p. 2290-2301, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>.

VILLÉGER, S.; MIRANDA, J. R.; HERNÁNDEZ, D. F.; MOUILLOT, D. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. **Ecological Applications**, v. 20, n. 6, p. 1512-1522, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1890/09-1310.1>.

VITULE, J. R. S. *et al.* Comment on “Fish biodiversity and conservation in South America by Reis *et al.* (2016).” **Journal of Fish Biology**, v. 90, n. 4, p. 1182-1190, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.13239>.

WINEMILLER, K. O. *et al.* Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, e. 6269, p. 128-129, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aac7082>.

WITZ, K. Applied statistics for behavioral sciences. **Journal of Educational Statistics**, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 84-87, 1990.

YANCHEVA, V.; VELCHEVA, I. STOYANOVA, S.; ELENKA, G. Histological biomarkers in fish as a tool in ecological risk assessment and monitoring programs: a review. **Applied Ecology and Environmental Research** 14, 47-75, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1401_047075.

ZANATTA, A. S.; PERBICHE-NEVES, G.; VENTURA, R.; RAMOS, I. P.; CARVALHO, E. D. Effects of a small fish cage farm on zooplankton assemblages (Cladocera and Copepoda: Crustacea) in a sub-tropical reservoir (SE Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 530-539, 2010.

ZARFL, C.; LUMSDON, A. E.; BERLEKAMP, J.; TYDECKS, L.; TOCKNER, K. A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Sciences**, v. 77, p. 161-170, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>.