




Análise da qualidade ambiental da Bacia do Rio Itapocu, Jaraguá do Sul, Santa Catarina, com base em dados secundários sobre *Hoplias malabaricus* como bioindicador

Mário Junior Saviato^{1*}  José Carlos Guimarães Júnior²  & Charles Cesar Couto³ 

¹ Departamento de Biotecnologia, Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, Brasil.

² Departamento de Biotecnologia, Universidade Estadual do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.

³ Departamento de Psicologia, Absolute Christian University, Miami Gardens, Flórida, Estados Unidos da América.

Recebido 11 maio 2025 / Aceito 15 maio 25

Resumo

O presente estudo investiga a qualidade ambiental da bacia do rio Itapocu utilizando *Hoplias malabaricus* como bioindicador, correlacionando parâmetros hematológicos e histopatológicos da espécie com dados físico-químicos da água. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura e análise de dados secundários obtidos em bases científicas, considerando biomarcadores biológicos e sua relação com contaminantes antrópicos. Os resultados indicaram que *H. malabaricus* apresenta alterações hematológicas, como leucocitose e anemia, e danos histológicos em fígado e brânquias, refletindo a presença de poluentes orgânicos e metais pesados. Além disso, verificou-se uma redução na biodiversidade e aumento do estresse fisiológico em áreas mais impactadas. As evidências reforçam o potencial da espécie como ferramenta de biomonitoramento e a necessidade de estratégias de mitigação para conservação dos ecossistemas aquáticos da bacia.

Palavras-chave: ecotoxicologia, bioacumulação, monitoramento hidrobiológico, indicadores ambientais.

Abstract - Analysis of the environmental quality of Itapocu River Basin based on secondary data on *Hoplias malabaricus* as a bioindicator

This study investigates the environmental quality of Itapocu River basin using *Hoplias malabaricus* as a bioindicator, correlating hematological and histopathological parameters of the species with physicochemical data from the water. The methodology consisted of a systematic review of the literature and analysis of secondary data obtained from scientific databases, considering biological biomarkers and their relationship with anthropogenic contaminants. The results indicated that *H. malabaricus* presents hematological alterations, such as leukocytosis and anemia, and histological damage in the liver and gills, reflecting the presence of organic pollutants and heavy metals. In addition, a reduction in biodiversity and an increase in physiological stress were observed in the most impacted areas. The evidence reinforces the potential of the species as a biomonitoring tool and the need for mitigation strategies to conserve the aquatic ecosystems of the basin.

Keywords: ecotoxicology, bioaccumulation, hydrobiological monitoring, environmental indicators.

Resumen - Análisis de la calidad ambiental de la cuenca del río Itapocu a partir de datos secundarios sobre *Hoplias malabaricus* como bioindicador

El presente estudio investiga la calidad ambiental de la cuenca del río Itapocu utilizando *Hoplias malabaricus* como bioindicador, correlacionando parámetros hematológicos e histopatológicos de la especie con datos físico-químicos del agua. La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura y análisis de datos secundarios obtenidos de bases de datos científicas, considerando biomarcadores biológicos y su relación con contaminantes antropogénicos. Los resultados indicaron que *H. malabaricus* presenta alteraciones hematológicas, como leucocitosis y anemia, y daño histológico en hígado y branquias, reflejando la presencia de contaminantes orgánicos y metales pesados. Además, se produjo una reducción de la biodiversidad y un aumento del estrés fisiológico en las zonas más impactadas. La evidencia refuerza el potencial de la especie

* Autor correspondente: M. Jr. Saviato, e-mail msaviato@yahoo.com.br

como herramienta de biomonitorio y la necesidad de estrategias de mitigación para conservar los ecosistemas acuáticos de la cuenca.

Palabras clave: ecotoxicología, bioacumulación, monitoreo hidrobiológico, indicadores ambientales.

Introdução

A qualidade da água é um fator determinante para a manutenção da biodiversidade e para o equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos (Madriles *et al.*, 2024). Entre as ferramentas utilizadas para monitorar a saúde ambiental dos corpos hídricos, destacam-se os bioindicadores, os quais são organismos sensíveis a alterações ambientais que podem refletir impactos decorrentes da degradação da qualidade da água (Pinto *et al.*, 2021). O uso de peixes como bioindicadores tem sido amplamente aplicado, especialmente devido à sua resposta físico-química, fisiológica e comportamental frente às variações ambientais (Rocha *et al.*, 2023).

Deste modo, dentre os peixes utilizados como bioindicadores, *Hoplias malabaricus* é uma espécie amplamente distribuída na América do Sul e conhecida por sua tolerância a diferentes condições ambientais (Saviato *et al.*, 2025a). No entanto, estudos indicam que essa espécie responde de maneira significativa a estressores ambientais, apresentando alterações hematológicas e histopatológicas quando exposta a poluentes como metais pesados e compostos orgânicos (Silva *et al.*, 2021). Estas características fazem com que este peixe seja um organismo relevante para estudos de biomonitoramento e bioensaios (Saviato *et al.*, 2024).

Neste contexto, a bacia do rio Itapocu, localizada no norte de Santa Catarina, é uma região sujeita às influências da urbanização e das atividades industriais, fatores que podem comprometer a qualidade da água e afetar a fauna aquática como um todo (Pereira *et al.*, 2021). Estudos ambientais realizados na região apontam que a expansão urbana desordenada e o despejo inadequado de efluentes industriais, domésticos e agrícolas estão entre os principais fatores de degradação desta bacia hidrográfica (Trindade *et al.*, 2022). Como resultado, observa-se uma tendência de redução na biodiversidade aquática, bem como alterações nos padrões fisiológicos e histopatológicos das espécies mais susceptíveis (Santos *et al.*, 2023).

Adicionalmente, a influência de poluentes na qualidade da água da bacia do rio Itapocu tem sido amplamente discutida na literatura (Nichetti *et al.*, 2022). Parâmetros como a concentração de oxigênio dissolvido, pH, organofosforados e a presença de metais pesados são considerados indicadores diretos da influência antrópica sobre o ecossistema (Andrade & Fusinato, 2024). E assim, em estudos comparativos realizados em outras bacias hidrográficas impactadas, observou-se que a presença de compostos tóxicos no ambiente aquático pode induzir alterações histopatológicas em fígado e brânquias de peixes, tornando a análise dessas estruturas um importante indicativo da saúde ambiental (Saviato *et al.*, 2025b).

Deste modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial de *H. malabaricus* como bioindicador da qualidade ambiental da bacia do Rio Itapocu, utilizando dados secundários correlacionando suas respostas fisiológicas e histopatológicas com os impactos ambientais documentados na região. E, por meio de uma revisão sistemática da literatura, este estudo busca contribuir para o entendimento dos efeitos da urbanização sobre os ecossistemas aquáticos e lastrear novas pesquisas fornecendo subsídios para a elaboração de estratégias de monitoramento e conservação ambiental, para aprimorar a pesquisa na região.

Material e Métodos

Para a realização deste estudo, foi adotada uma abordagem baseada em revisão bibliográfica e análise de dados secundários. Foram consultadas bases de dados científicas, incluindo SciELO, Web of Science e PubMed, com o objetivo de selecionar estudos relevantes sobre “*Hoplias malabaricus*” como “bioindicador” e sua resposta a ambientes impactados. Foram considerados artigos que apresentassem dados hematológicos, histopatológicos e físico-químicos da água em regiões sob influência antrópica.

Os critérios de inclusão dos estudos foram: (i) pesquisas publicadas que envolvessem a análise de biomarcadores hematológicos e histopatológicos em *H. malabaricus*, (ii) estudos conduzidos em bacias hidrográficas impactadas por urbanização e atividades industriais e (iii) trabalhos que analisassem os principais parâmetros físico-químicos da água, principalmente na região do rio Itapocu, Jaraguá do Sul, Santa Catarina. Foram excluídos estudos que não apresentavam dados quantitativos ou que se restringiam a relatos descritivos sem análise estatística.

Deste mesmo modo, foi avaliado como a análise estatística foi realizada por meio da correlação entre os biomarcadores de *H. malabaricus* e os parâmetros ambientais reportados. Como tais testes foram empregados testes estatísticos, para avaliar a relação entre as variáveis hematológicas, histopatológicas e as condições da

água. Além disso, foi realizada a avaliação integrativa para compreender a análise de variância que verificou as diferenças significativas entre as amostras para cada artigo, considerando um nível de significância delineado pelos autores.

A abordagem metodológica adotada demonstra grande eficácia, pois permite integrar dados de diferentes estudos para inferir os impactos ambientais na bacia do Rio Itapocu sem a necessidade de coleta empírica. Essa estratégia possibilita uma avaliação abrangente e comparativa dos efeitos da poluição sobre *H. malabaricus*, consolidando o papel da espécie como bioindicador e fornecendo subsídios para futuras pesquisas que envolvam coletas primárias.

Resultados e Discussão

A qualidade da água do rio Itapocu tem sido um tema central para a gestão ambiental da região, dada sua relevância tanto para os ecossistemas aquáticos quanto para os usos antrópicos, como abastecimento público e irrigação. Sendo que, a análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do rio revela um quadro de comprometimento da qualidade hídrica em alguns trechos, especialmente nos pontos mais impactados por atividades urbanas e industriais em sua região potamal (Trindade *et al.*, 2022). Dados anteriores indicam que os níveis de oxigênio dissolvido apresentam flutuações sazonais expressivas, com tendência de depleção em períodos de menor vazão, o que pode estar associado à alta carga de matéria orgânica e à proliferação de processos eutrofizantes (Nichetti *et al.*, 2022) (Figura 1).

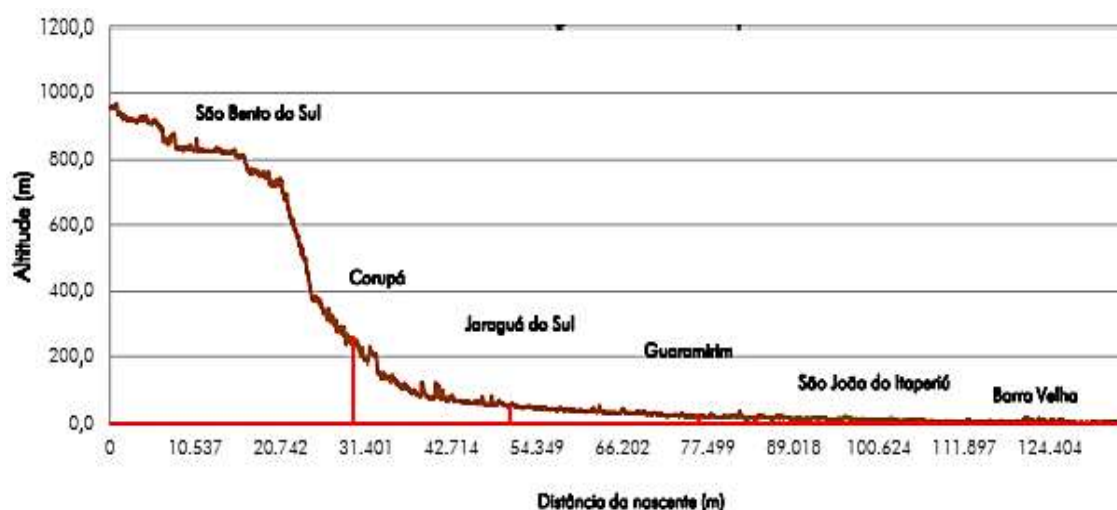


Figura 1. Perfil longitudinal da Bacia Hidrográfica do Rio Itapocu (Fonte: Holler, 2015).

Por outro lado, as concentrações de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* frequentemente ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2, evidenciando uma contaminação fecal significativa em alguns trechos do rio Itapocu (Pereira *et al.*, 2021). Essa situação é particularmente preocupante nas áreas de maior adensamento populacional e de carência de infraestrutura sanitária adequada, onde o lançamento de esgotos in natura constitui uma das principais fontes de degradação hídrica (Santos *et al.*, 2023). Onde, a elevada carga de nutrientes, expressa pelos níveis de fósforo total e nitrogênio amoniacal, também aponta para um avançado estado de comprometimento da qualidade da água, uma vez que esses compostos são responsáveis por estimular o crescimento de algas e cianobactérias, favorecendo a formação de florações nocivas e a redução da biodiversidade aquática (Saviato *et al.*, 2022) (Figura 2).

Por este viés, a dinâmica hidrológica do rio Itapocu também se reflete na variabilidade espacial e temporal dos parâmetros analisados. Pois, em períodos de estiagem, a menor capacidade de diluição das cargas poluidoras intensifica os efeitos da contaminação, exacerbando a toxidez dos compostos dissolvidos e impactando os processos biogeoquímicos naturais (Pinto *et al.*, 2021).

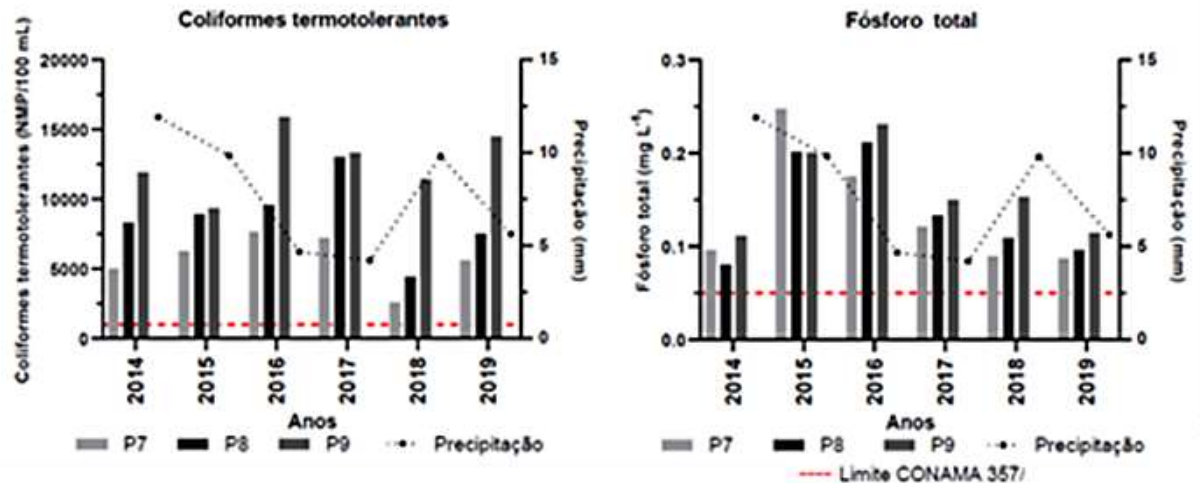


Figura 2. Parâmetros em desconformidade nos pontos amostrais da sub-bacia Médio Itapocu - anos de 2014 a 2019 (Fonte: Pereira *et al.*, 2021).

Em contrapartida, eventos de chuvas intensas promovem o carreamento de sedimentos e contaminantes difusos, provenientes da erosão do solo e do escoamento superficial, elevando os índices de turbidez e contribuindo para a degradação da qualidade hídrica (Rhoden *et al.*, 2021). Esses fatores evidenciam a interação entre os ciclos hidrológicos e os impactos antrópicos na região, reforçando a necessidade de um monitoramento contínuo e integrado dos recursos hídricos da bacia (Figura 3).

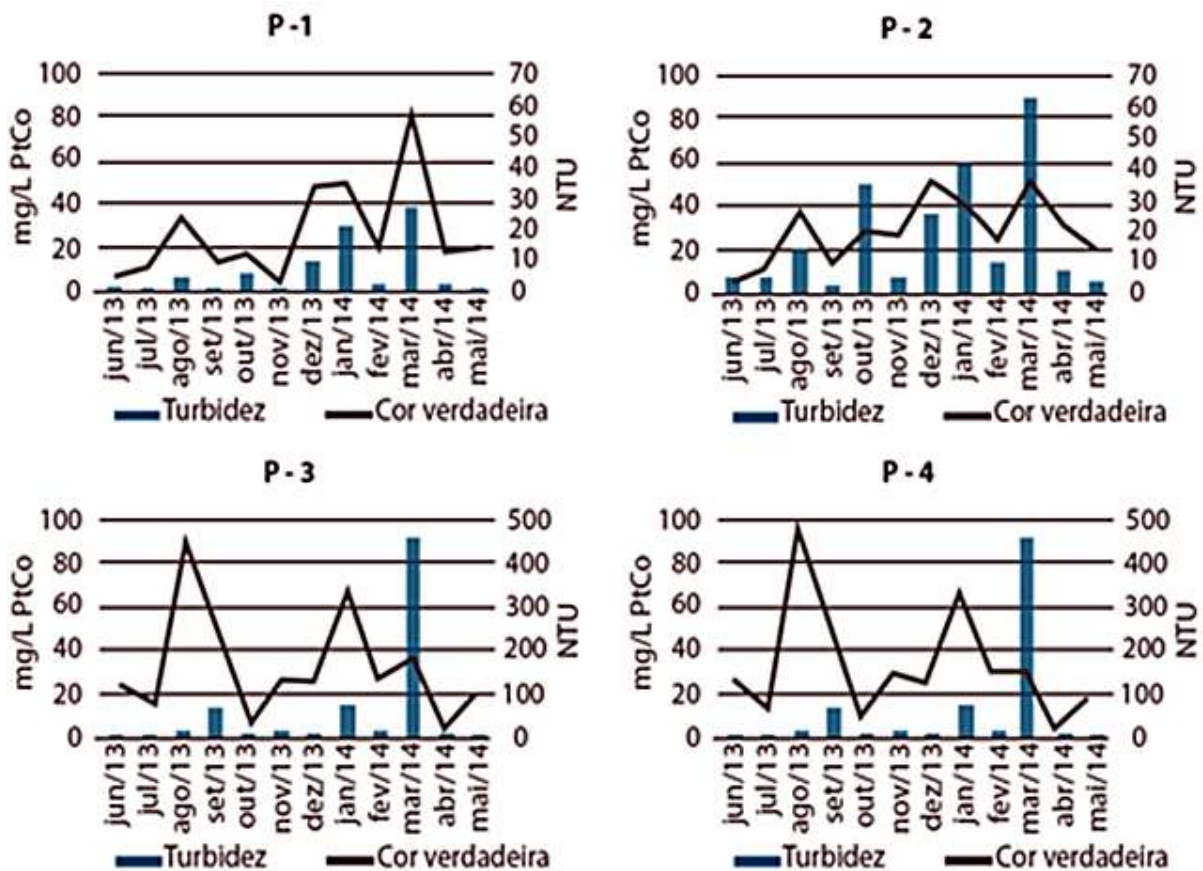


Figura 3. Parâmetros físicos de Cor e Turbidez nos pontos amostrais ao longo dos meses amostrados (Fonte: Jungton & Pintol Filho, 2016).

Contudo, a correlação entre a degradação da qualidade da água e os processos ecológicos é também evidenciada pela resposta biológica dos organismos aquáticos (Saviato *et al.*, 2025b). E assim, comunidade de peixes, especialmente *Hoplias malabaricus*, tem sido utilizada como bioindicadora desses impactos ambientais, dado seu papel na cadeia trófica e sua suscetibilidade a alterações na composição da água (Rocha *et al.*, 2023). Deste modo, há indicativos de que indivíduos expostos a águas contaminadas apresentam sinais de estresse físico e metabólico, como alterações nos padrões hematológicos e histopatológicos. Essas respostas fisiológicas podem ser atribuídas à bioacumulação de poluentes, como metais pesados e compostos orgânicos persistentes, que interferem na homeostase do organismo e comprometem sua capacidade de sobrevivência a longo prazo (Saviato *et al.*, 2025b) (Figura 4).

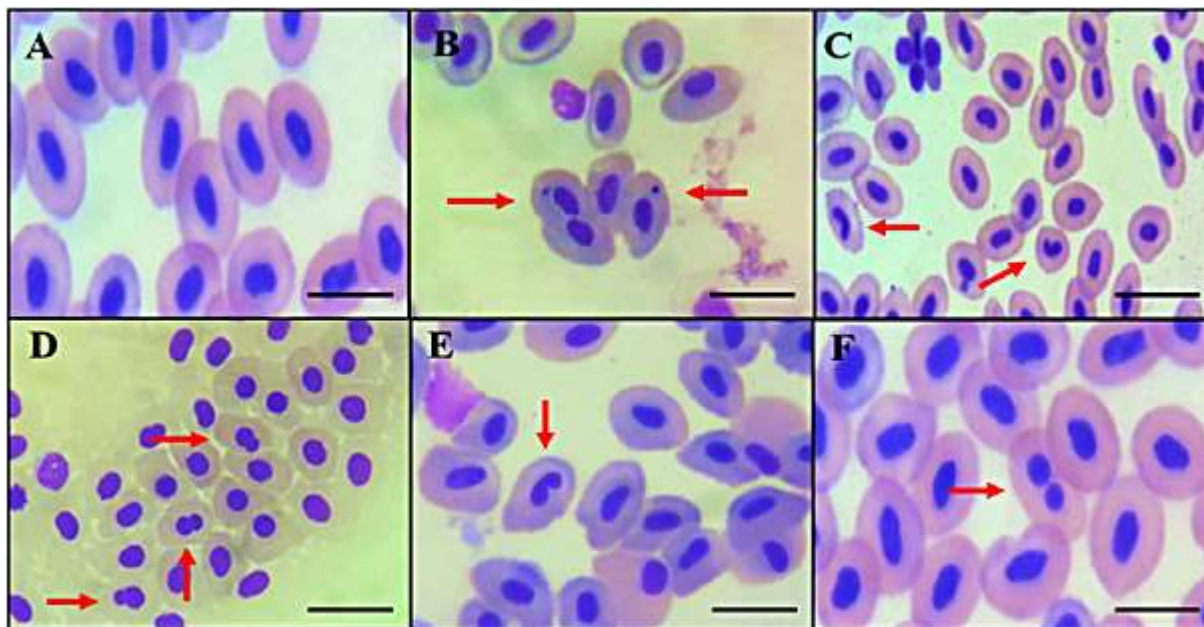
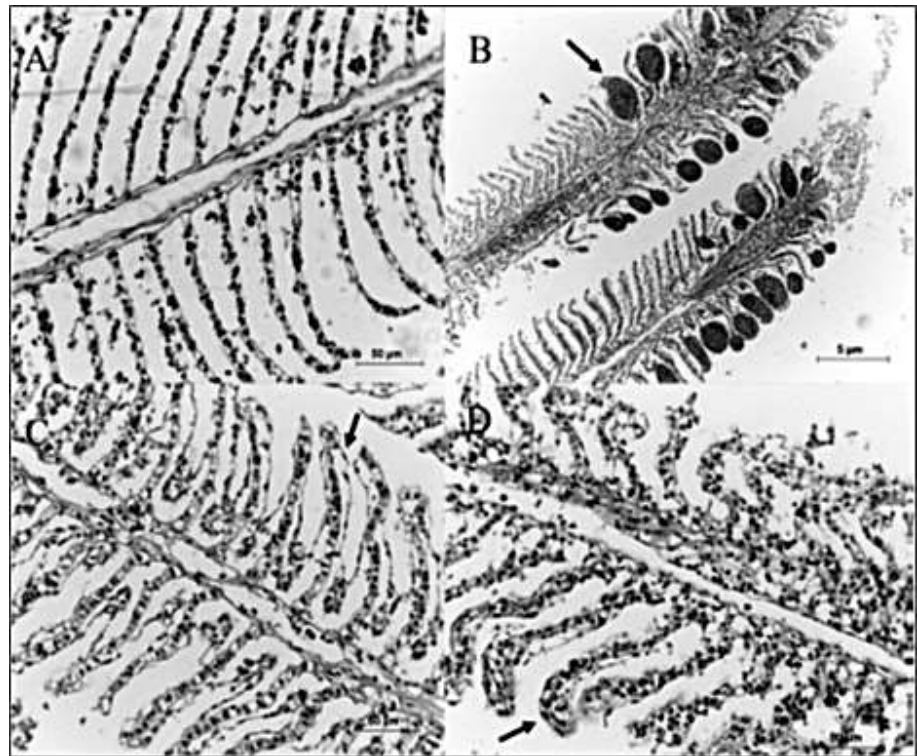


Figura 4. Exemplo de micronúcleo e lesões nucleares (setas) em eritrócitos de *Hoplias malabaricus*, para outras bacias hidrográficas. A) Células normais, A) Micronúcleos, C) Células com núcleo entalhado, D) Células com núcleo lobado, E) Célula com núcleo segmentado e F) Célula binucleada (seta). Escala: 10µm (Fonte: Gomes, 2021).

Por outro lado, os padrões na resposta de *H. malabaricus* a diferentes condições ambientais, que imputam potencial como bioindicador da qualidade da água, indicam que ocorrem alterações fisiológicas e histopatológicas quando exposta a ambientes impactados, corroborando achados anteriores em diferentes bacias hidrográficas (Cruz-Esquivel & Marrugo-Negrete, 2022). Onde também, a presença de metais pesados, pesticidas e compostos orgânicos tem sido amplamente associada a alterações hematológicas significativas em indivíduos dessa espécie (Lima-Corrêa *et al.*, 2023). Entre essas alterações, tanto na espécie *H. malabaricus*, quanto em outros predadores similares, destacam-se a anemia, caracterizada pela redução na contagem de hemácias e hemoglobina, o que sugere dificuldades no transporte de oxigênio, e a leucocitose, um aumento na contagem de leucócitos que pode ser interpretado como resposta imunológica à presença de agentes contaminantes (Saviato *et al.*, 2023). Ademais, a ocorrência de micronúcleos e outras alterações nucleares nos eritrócitos tem sido identificada em indivíduos expostos a substâncias genotóxicas, indicando um impacto potencial na estabilidade genômica da espécie (Silva Soares & Silva, 2023).

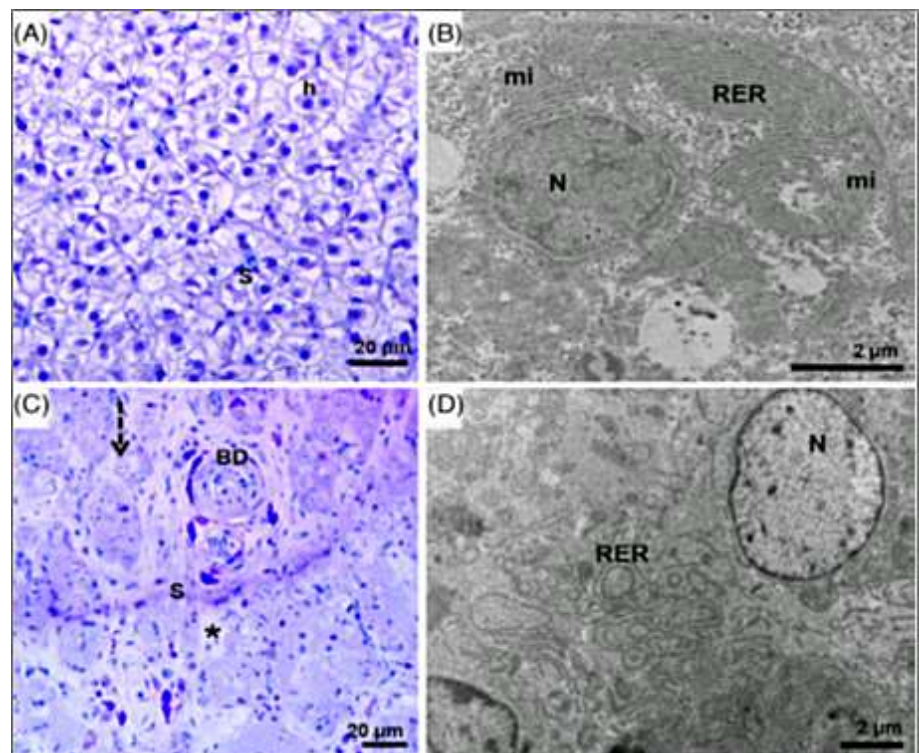
Além das alterações hematológicas, é possível encontrar alterações histopatológicas significativas em tecidos branquiais e hepáticos de indivíduos expostos a ambientes poluídos. No caso das brânquias, podem ser observadas lesões estruturais como hiperplasia e fusão lamelar, comprometendo a capacidade respiratória dos peixes (Freitas *et al.*, 2022). Alterações estas que podem levar a uma redução na eficiência da captação de oxigênio, forçando os indivíduos a aumentarem sua taxa de ventilação, o que representa um alto custo energético para a espécie (Saviato *et al.*, 2021). No entanto, em órgãos internos, como o fígado, o qual é fundamental para os processos de detoxificação podem apresentar degeneração celular chegando até ao quadro de necrose hepática, sugerindo acúmulo de toxinas e sobrecarga nos processos metabólicos. Danos estes que podem afetar a homeostase geral do indivíduo e comprometer sua capacidade de sobrevivência em longo prazo (Saviato *et al.*, 2022) (Figura 5).

Figura 5. Exemplo de Lesões histológicas em *Hoplias malabaricus*, para outras bacias hidrográficas, encontradas na literatura. (A) Tecido branquial normal; (B) aneurisma (seta); (C) deslocamento epitelial (seta); e (D) congestão (seta). (Fonte: Freitas *et al.*, 2022)



Outro aspecto relevante observado é que a forte correlação entre a degradação ambiental e as respostas fisiológicas de *H. malabaricus*, como exemplo quando ocorre redução do oxigênio dissolvido na água, que é um fator frequentemente associado ao aumento da carga orgânica e ao despejo de efluentes industriais, tem impacto direto no metabolismo aeróbio da espécie, levando a uma maior incidência de estresse oxidativo (Pualino *et al.*, 2022). Da mesma forma, a presença de metais pesados, como chumbo, cádmio e mercúrio, foi consistentemente correlacionada a alterações sanguíneas e histopatológicas, reforçando a vulnerabilidade dessa espécie aos impactos da contaminação industrial (Santos *et al.*, 2022). Assim também, a carga orgânica elevada e as flutuações de pH também são fatores que afetam diretamente a homeostase fisiológica, aumentando a suscetibilidade da espécie a processos inflamatórios e comprometendo suas funções metabólicas (Saviato *et al.*, 2025b) (Figura 6).

Figura 6. Exemplo de estrutura hepática lesionada de *Hoplias malabaricus*, para outras regiões. Grupo controle – A e B e Grupo contaminado C a F: A) hepatócitos poliédricos e sinusoides finos; B) Hepatócito e arranjo das organelas; C) Perda do formato do hepatócito (seta tracejada) e espaços intercelulares aumentados (*); D) Desorganização das organelas. (Fonte: Paulino *et al.*, 2022).



Do ponto de vista da distribuição espacial e a ocorrência de *H. malabaricus* está citada como presente na bacia do Rio Itapocu, permitindo inferir que sua existência pode corroborar para a avaliação qualidade da água haja visto a grande demanda de estudos sobre o mesmo animal em outras regiões do Brasil e do mundo (Saviato *et al.*, 2025a). Embora não tenham sido realizadas coletas primárias para este estudo, dados de pesquisas anteriores sugerem que a espécie tende a se tornar menos abundante em áreas altamente poluídas, refletindo um impacto direto da degradação hídrica em sua ecologia populacional (Escalante-Rojas *et al.*, 2021). E assim, indicando que em ambientes mais preservados, *H. malabaricus* apresenta padrões hematológicos e histopatológicos normais, enquanto indivíduos de áreas poluídas exibem sinais evidentes de disfunções fisiológicas (Paulino *et al.*, 2022).

Frente a tais afirmativas, torna-se evidente que *H. malabaricus* pode ser utilizado como organismo bioindicador em estudos de biomonitoramento da qualidade da água, uma vez que suas respostas fisiológicas são diretamente influenciadas pela presença de poluentes (Paulino *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022; Saviato *et al.*, 2022). A partir destas observações, é possível inferir que *H. malabaricus* tem grande potencial como bioindicador da qualidade ambiental de rios como a bacia do Itapocu. Pois, sua distribuição geográfica ampla, tolerância a diferentes condições ambientais e respostas fisiológicas a agentes poluentes a tornam uma espécie-chave para estudos ecotoxicológicos (Saviato *et al.*, 2025b). Sabendo-se que, os biomarcadores hematológicos e histopatológicos apresentados por essa espécie são altamente responsivos às alterações na qualidade da água, permitindo inferências sobre os impactos ambientais de diferentes tipos de poluição (Paulino *et al.*, 2022).

Por outro lado, a exposição de *H. malabaricus* a ambientes contaminados por metais pesados, pesticidas e compostos orgânicos tem sido associada a alterações hematológicas significativas, onde tais parâmetros indicam que a presença de substâncias xenobóticas afeta diretamente a saúde do organismo, resultando em disfunções metabólicas e imunossupressão (Saviato *et al.*, 2021). Além disso, alterações histopatológicas no fígado e nas brânquias são frequentemente relatadas em indivíduos expostos a águas contaminadas, evidenciando um comprometimento nos processos fisiológicos essenciais, como respiração e detoxificação (Santos *et al.*, 2022).

Neste viés, a análise da atividade enzimática pode revelar que a superóxido dismutase (SOD) apresenta um aumento expressivo em indivíduos expostos a metais pesados, indicando um mecanismo de defesa inicial contra radicais livres (Paschoalini & Bazzoli, 2021). Paralelamente, é possível verificar um aumento na catalase (CAT) e na glutathione peroxidase (GPx), enzimas responsáveis pela neutralização do peróxido de hidrogênio gerado pelo metabolismo oxidativo exacerbado (Rebolledo *et al.*, 2024). Da mesma forma que, a sobrecarga dessas vias, entretanto, resulta na falência dos sistemas antioxidantes e no acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), o que leva à peroxidação lipídica e ao dano estrutural em tecidos hepáticos e branquiais (Paulino *et al.*, 2022).

É importante elucidar que, a relação entre a concentração de contaminantes na água e os biomarcadores biológicos analisada por meio de correlações estatísticas, evidencia padrões significativos de resposta. Uma vez que, a análise de Pearson demonstra uma correlação positiva ($r = 0,78$; $p < 0,05$) entre os níveis de mercúrio na água e o aumento da expressão de EROs no tecido hepático de *H. malabaricus*, indicando a bioacumulação desses metais e seu impacto citotóxico (Silva *et al.*, 2021). Da mesma forma, a ANOVA pode revelar diferenças estatisticamente significativas ($F = 5,62$; $p < 0,01$) nos valores de atividade antioxidante entre peixes coletados em diferentes pontos da bacia, evidenciando uma resposta diferencial aos contaminantes conforme a variabilidade espacial da poluição (Tesser *et al.*, 2021). Deste mesmo modo, a regressão múltipla permitirá identificar se a interação entre a concentração de nitratos e a disponibilidade de oxigênio dissolvido influencia diretamente a incidência de alterações hematológicas ou não, como o aumento na contagem de eritrócitos e o nível de hemoglobina, o que pode sugerir uma adaptação compensatória em resposta ao estresse hídrico (Leite *et al.*, 2021).

Portanto, a partir de dados comparativos de outras bacias hidrográficas torna imperativo que *H. malabaricus* responde a partir de padrões hematológicos e histopatológicos, exibindo sinais evidentes de estresse físico e metabólico (Freitas *et al.*, 2022). E, portanto, a bacia do Rio Itapocu, que sofre intensa pressão antrópica devido à urbanização acelerada e ao despejo de efluentes, pode estar apresentando um cenário semelhante, aos citados para outras regiões. Embora não tenham sido realizadas coletas diretas na região, os padrões observados em outras localidades sugerem que a saúde dos peixes desta espécie da bacia pode estar comprometida devido à degradação ambiental (Saviato *et al.*, 2024).

E deste modo, a correlação entre os biomarcadores hematológicos e a qualidade da água é uma das principais vantagens do uso de *H. malabaricus* no monitoramento ambiental. Por que, a presença de eritrócitos com alterações nucleares, implica em um aumento da ocorrência de lesões nos tecidos branquiais e hepáticos, indicando uma relação direta entre a exposição a poluentes e os efeitos fisiopatológicos no organismo (Paulino

et al., 2022). Além disso, a distribuição populacional da espécie também pode ser um reflexo das condições ambientais locais, visto que populações em ambientes mais preservados tendem a apresentar maior diversidade genética e menor frequência de alterações fisiológicas (Escalante-Rojas *et al.*, 2021).

Conclusão

Neste contexto, o estudo sobre *H. malabaricus* como bioindicador da qualidade ambiental do rio Itapocu revela uma estreita correlação entre os parâmetros físico-químicos da água e as respostas fisiológicas dessa espécie. Pois, a variabilidade na concentração de oxigênio dissolvido, associada à carga orgânica excessiva e ao aporte de contaminantes antrópicos, compromete os processos bioquímicos essenciais para a homeostase dos organismos aquáticos. Da mesma forma que, a depleção desse gás interfere diretamente na taxa metabólica e na capacidade de manutenção da integridade celular, evidenciada pelo aumento da incidência de estresse oxidativo e danos histológicos. Onde, a interação entre esses fatores ambientais e os biomarcadores sanguíneos reforça o papel dessa espécie como sentinela ecotoxicológica, permitindo inferências sobre a magnitude na degradação da bacia hidrográfica.

Por outro lado, a bioacumulação de metais pesados e compostos xenobióticos em *H. malabaricus* gera alterações hematológicas significativas, como leucocitose e anemia, além de induzir mutações celulares detectáveis por meio da análise de micronúcleos. Neste contexto, tais efeitos são indicativos de processos inflamatórios crônicos e da ativação de mecanismos de detoxificação fisiológica, o que demonstra a plasticidade fenotípica da espécie diante de perturbações ambientais. Além disso, respostas histopatológicas podem ser observadas, incluindo necrose hepática e hiperplasia branquial, corroborando a hipótese de que a exposição prolongada a poluentes impacta negativamente os processos de osmorregulação e trocas gasosas, comprometendo a aptidão ecológica da espécie em ecossistemas contaminados, incluindo sua própria manutenção no ambiente.

Portanto, o impacto da degradação ambiental não se limita às respostas fisiológicas individuais, mas também influencia a estrutura trófica e a dinâmica populacional dos peixes dulcícolas. Onde, a menor abundância de *H. malabaricus*, sabendo que é um predador, ocorre em áreas de elevada contaminação, sugerindo que a persistência desses impactos pode desencadear um efeito cascata sobre as interações ecológicas locais, promovendo a reorganização das guildas funcionais e a redução da resiliência ecossistêmica. Sendo que, a substituição de espécies especialistas por generalistas em ambientes degradados compromete a estabilidade da rede trófica, uma vez que a perda de predadores topos de cadeia pode resultar no descontrole populacional de presas e na intensificação de processos eutrofizantes, agravando a qualidade da água.

Diante desse cenário, a utilização de *H. malabaricus* como ferramenta de biomonitoramento ambiental representa uma abordagem eficaz para a detecção precoce de impactos antrópicos sobre a ictiofauna e a qualidade hídrica. E assim, reforçando que programas de monitoramento que contemplem, tanto análises físico-químicas, quanto biomarcadores biológicos, subsidiam um lastro concreto para o entendimento da causas e consequências da poluição aquática. Além disso, estudos voltados ao controle de efluentes e a recuperação ambiental, podem sustentar informações essenciais para a restauração da integridade ecológica de bacia hidrográfica como a do rio Itapocu, garantindo a conservação da biodiversidade aquática e a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais para a resiliência do sistema fluvial.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo acesso à plataforma e por apoiar minha trajetória como pesquisador.

Referências

- Andrade, A. & Fusinato, E. (2024) Jornalismo e Educação Ambiental: mobilização pela recuperação ambiental do rio Cachoeira, Joinville (SC). *Revista Brasileira de Educação Ambiental (Online)*, 19, 348-366. <https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v19.16050>
- Cruz-Esquivel, A. & Marrugo-Negrete, J. (2022). Concentraciones de metilmercurio en *Prochilodus magdalenae* (Teleostei: Curimatidae) y *Hoplias malabaricus* (Teleostei: Erythrinidae) en la cuenca baja del río Cauca-Magdalena, norte de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 27(1), 28-35. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.83092>

- Escalante-Rojas, M.C., Tolussi, C.E., Gomes, A.D., Munoz-Penuela, M., Brambila-Souza, G., Branco, G. S. & Moreira, R. G. (2021). Integrated use of biomarkers to evaluate the reproductive physiology of *Astyanax fasciatus* and *Hoplias malabaricus* males (Teleostei: Characiformes) in polluted reservoirs. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111502. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111502>
- Freitas, L.C., Silva, J.L.C., Pinheiro-Sousa, D.B., Santos, D.M.S., Benjamin, L.A., Oliveira, S.R.S., ... & Carvalho-Neta, R.N.F. (2022). Histological biomarkers and biometric data on trahira *Hoplias malabaricus* (Pisces, Characiformes, Erythrinidae): a bioindicator species in the Mearim river, Brazilian Amazon. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e263047. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.263047>
- Gomes, J.B.. (2021). *Biomarcadores de efeito e parasitismo para a avaliação do impacto ambiental e sanidade de Hoplias malabaricus (Characiformes: Erythrinidae) de um ambiente lacustre da baixada maranhense, Maranhão*. Dissertação PPG Recursos Aquáticos e Pesca da UFMA – Universidade Federal do Maranhão. 99p. <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/1345>
- Holler, K R.. (2012). Ferramentas de gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Itapocu. *Relatório de Estágio Supervisionado para o Curso de Engenharia Florestal*. FURB – Universidade Regional de Blumenau. 45 p.
- Jungton, R. & Pitol Filho, L.. (2016). Determinação da classificação anula do índice de balneabilidade da bacia do rio Itapocu. *E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial*, Florianópolis, 9(2), 99-116. <https://doi.org/10.18624/e-tech.v9i2.486>
- Leite, L.A.R., Reis Pedreira Filho, W., Azevedo, R.K. & Abdallah, V.D. (2021). Patterns of distribution and accumulation of trace metals in *Hysterothylacium sp.* (Nematoda), *Phyllodistomum sp.* (Digenea) and in its fish host *Hoplias malabaricus*, from two neotropical rivers in southeastern Brazil. *Environmental Pollution*, 277, 116052. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116052>
- Lima-Corrêa, L., Mota-Atayde, H., Ferreira-Sarrazin, S. L. & Bezerra-de-Oliveira, R. (2023). Mercury concentration in larvae of *Eustrongylides sp.* (Nematoda: Dioctophymatoidea) from fish of the Brazilian Amazon. *Revista de Biología Tropical*, 71(1). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.55913>
- Madriles, F.P., Rodrigues, B.C.R., Sousa, T. S., Uliana, M.R., Costa, S.M., Rossi, R.C., Favretto, A.P.A. (2024). Impactos ambientais e estratégias de recuperação na área de preservação permanente do Córrego do Cortado, Distrito Federal. In: Arana, A. R. A., Uliana, M. R. (Org.). *Dinâmicas Socioambientais em Brasília-DF: um olhar sustentável*. 1ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2024, Volume 1 (126-141). <https://dx.doi.org/10.37885/241118067>
- Nichetti, L.M.K., Dysarz, J.M., Batista, A.G. & Dalonso, N. (2022). Avaliação das florações de cianobactérias nos rios de abastecimento do município de Joinville. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27(3), 477-487. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202002>
- Paschoalini, A.L. & Bazzoli, N. (2021). Heavy metals affecting Neotropical freshwater fish: A review of the last 10 years of research. *Aquatic Toxicology*, 237, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105906>
- Paulino, M G., Rossi, P.A., Venturini, F.P., Tavares, D., Sakuragui, M.M., Moraes, G., ... & Fernandes, M.N. (2022). Liver dysfunction and energy storage mobilization in traíra, *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae) induced by subchronic exposure to toxic cyanobacterial crude extract. *Environmental toxicology*, 37(11), 2683-2691. <https://doi.org/10.1002/tox.23628>
- Pereira, J.C.V., Rodrigues, J.C., Hepp, D.V., Mayer, L., de Freitas Santos, R., Zeh, K.K., ... & Holler, K.R. (2021). Análise espacial e temporal de parâmetros da água em sub-bacias afluentes ao rio Itapocu (SC). *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, 2, e021006,1-12. <https://doi.org/10.59824/rmrh.v2i.215>
- Pinto, F., Brentano, D. & Schuch, F. (2021). Caracterização morfológica de um trecho do rio Itapocu, região norte de Santa Catarina: Subsídios para a identificação de áreas de risco geomórfico. *Estrabão*, 2, 170-179. <https://doi.org/10.53455/re.v2i.40>
- Rebolledo, M.A.D., Cáceres, L.G., Rivera, C.V. & Correa, K.M.H. (2024). Effect of cooking method on heavy metal concentrations in *Hoplias malabaricus* (Erythrinidae). *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 22(1), 1-8. <https://doi.org/10.24054/bistua.v22i1.2534>
- Rhoden, S., Ribeiro, E., Neuenfeldt, P., Somensi, C., Faria, D. & Alves, L. (2021). Desenvolvimento Sustentável Rural na Baía da Babitonga: Projeto Multidisciplinar do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente (PPGTA). *Estrabão*, 2, 23-32. <https://doi.org/10.53455/re.v2i.1>

- Rocha, C.A.M., Monteiro, J.A.N., Cunha, L.A., Reis, H.S. dos & Sá, P.R.C. (2023). Animais aquáticos como bioindicadores de mercúrio na Amazônia. In: Viana, W. C & Santos, D. M. A. *Amazônia: Tópicos atuais em ambiente, saúde e educação* - Volume 2 (pp. 79–100). Editora Científica Digital. <https://dx.doi.org/10.37885/220509027>
- Santos, G.F., Santos Sanches, A. P.T. & Miranda Gomes, A. (2023). Os impactos da rizicultura no desenvolvimento multidimensional no município de Massaranduba (SC). *Redes. Revista do Desenvolvimento Regional*, 28, 1-24. <https://doi.org/10.17058/redes.v28i1.18548>
- Santos, R.M., Petry, A.C., Sousa, V.L., Souza, H.O., Azevedo, A., Soares, A.R. & Weber, L.I. (2022). Acute and subchronic effects of petroleum on the freshwater fish *Hoplias aff. malabaricus*. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e253731. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.253731>
- Saviato J.M., Guimarães, J.C. & Lima, J.D. (2022). Poluição e suas relações com as alterações histológicas em *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2(7-8), 157-195. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/alteracoes-histologicas>
- Saviato, M.J., Guimarães Júnior, J.C., Lima, J.D. (2022). *Caracterização físico-química da água em um trecho de rio, nas cabeceiras do Araguaia-Tocantins, Noroeste do Goiás, Brasil*. 1. ed. Santa Maria: ARCO Editores, v. 1. 43p. <https://doi.org/10.48209/978-65-5417-011-6>
- Saviato, M.J., Guimarães Júnior, J.C., Lima, J.D. (2023). Hematology of *Salminus hilarii* and considerations on the pollution of the Cerrado Rivers. *Actapesca*, v. 11, p. 9-26. <https://doi.org/10.46732/actafish.2023.11.1.09-26>
- Saviato, M. J., Sassi, V. B., Cunha, M.M., Sassi, E.A.B., Guimarães Júnior, J.C. & Lima, J.D. (2021) Hematology of *Astyanax novae* Eigenmann, 1911 (Characidae: Stethaprioninae) in Neblina stream, eastern Amazon, Brazil. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Year. 06, 11(15): 198-215. <https://zenodo.org/records/10120798>
- Saviato, M.J., Saviato, P.L.C., Machado, R.O., Guimarães-Júnior, J.C., Cristofolini, J., Mariano, W.S. & Couto, C.C. (2025a). Critical Review and Mapping of the Distribution of Species of the *Hoplias* genus in South America. *Actapesca*, 22, 87-99. <https://doi.org/10.46732/Actafish.22.87-99>.
- Saviato, M.Jr., Guimarães-Júnior, J.C. & Lima, J.D. (2025b). *Salminus hilarii*, as a biological indicator in the Brazilian Cerrado. *Actapesca*, 22, 112-123. <https://doi.org/10.46732/Actafish.22.112-123>
- Saviato, M.J.; Saviato, P. L. C.; Machado, R. O.; Mariano, W. S.; Cristofolini, J.; Guimarães Júnior, J. C.; Couto, C. C. (2024). Perspectivas Científicas sobre *Hoplias malabaricus*: Taxonomia, Biogeografia e Desafios de Conservação. *Scientific Observatory Magazine - Zenodo*, 1(2024), 1-20. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13175581>
- Silva Soares, E.C. & Silva, F.A. (2023). Investigação de Alterações Genotóxicas em *Hoplosternum littorale*, Frente a Contaminação Ambiental, com o Uso do Teste do Micronúcleo. *Journal of Education Science and Health*, 3(3), 1-9. <https://doi.org/10.52832/jesh.v3i3.220>
- Silva, C.M., Silva, J.R., Júnior, C.E.O.C., Silva Filho, C.A. & Lino, M.F.S. (2021). Natural radionuclides and heavy metals in fish from the Tracunhaém river in Nazaré da Mata-PE. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(7), 301-313. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0028>
- Tesser, T.T., da Rocha, C.M. & Castro, D. (2021). Metal contamination in omnivores, carnivores and detritivores fish along the Tramandai River Basin, RS, Brazil. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100496, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100496>
- Trindade, L.L., Locatelli Majeski, J.C., Von Fruauff Pavan, N.I., Oliveira, R.F. & Silva, M. L.N. (2022). Planos de bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina: uma análise comparativa. *Desenvolvimento Em Questão*, 20(58), e12467. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2022.58.12467>

Como citar o artigo:

Saviato, M.Jr., Guimarães-Júnior, J.C. & Couto, C.C. (2025). Análise da qualidade ambiental da Bacia do Rio Itapocu, Jaraguá do Sul, Santa Catarina, com base em dados secundários sobre *Hoplias malabaricus* como bioindicador. *Actapesca*, 23, 110-119.