

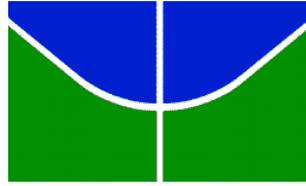
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA**

**ESTUDOS SOBRE A COMPOSIÇÃO DE PEIXES E A
ASSIMETRIA FLUTUANTE NA SUB-BACIA DO ALTO RIO
TOCANTINS**

Rayssa Nayara dos Santos Oliveira

Brasília – DF

Agosto/2024



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA**

**ESTUDOS SOBRE A COMPOSIÇÃO DE PEIXES E A
ASSIMETRIA FLUTUANTE NA SUB-BACIA DO ALTO RIO
TOCANTINS**

Rayssa Nayara dos Santos Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre(a) em Zoologia.

Orientador(a): Dra. Veronica Slobodian

“Fim? A jornada não acaba aqui”

Gandalf, o Cinzento

Brasília-DF

**ESTUDOS SOBRE A COMPOSIÇÃO DE PEIXES E A
ASSIMETRIA FLUTUANTE NA SUB-BACIA DO ALTO RIO
TOCANTINS**

Rayssa Nayara dos Santos Oliveira

Orientador(a): Dra. Veronica Slobodian

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre(a) em Zoologia.

Aprovada por:

(Veronica Slobodian) Presidente – UnB

(Fernanda Costa) – UnB

(Carine Cavalcante Chamon) – UFT

(Angele Martins) Membro suplente– UnB

Brasília Agosto/2024

Defesa

SS237e Santos Oliveira , Rayssa Nayara dos
Estudos sobre a Composição de peixes e a Assimetria
Flutuante na sub-bacia do Alto Rio Tocantins / Rayssa
Nayara dos Santos Oliveira ; orientador Veronica
SlobodianSlobodian. -- Brasília, 2024.
92 p.

Dissertação(Mestrado em Zoologia) --
Universidade deBrasília, 2024.

1. Composição sub-bacia Alto Tocantins. 2. Assimetria
Flutuante de peixes do Alto Tocantins . I. Slobodian,
Veronica Slobodian , orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não poderia ter sido desenvolvido sem a participação de várias pessoas. Pessoas que me acompanham a vida toda (ou quase toda) e outras que conheci ao longo desta pesquisa. A todos, deixo aqui os meus mais sinceros agradecimentos.

Deixo meu agradecimento em especial à minha mãe Paula, por todo apoio e por sempre acreditar em mim, ao meu avô Mariano e à minha avó Graça pelo companheirismo e preocupação. Agradeço também ao meu companheiro Fernando por aguentar todos as minhas preocupações e desesperos, e mesmo quando quis desistir, ele se mostrou resiliente, à minha irmã Rayane, que, mesmo passando dias sem nos falar (pela rotina cansativa de ambas as partes) sempre se mostrou ao meu lado e preocupada, do jeitinho dela. Agradeço aos meus tios e primos, que de forma indireta, me ajudaram com momentos alegres e bons.

Não poderia deixar de agradecer aos meus companheiros do Laboratório de Ictiologia Sistemática (LIS) por todo o aprendizado, cumplicidade, profissionalismo e companheirismo. Como não agradecer ao meu querido estagiário Artur Firmino? Com toda certeza, você foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa. Obrigado por todos os campos realizados, por todas as conversas engraçadas, por todo os estresses compartilhados e por todos os momentos vividos que de alguma forma tudo acabava ficando mais leve.

Obrigado em especial a Veida Pierre, uma grande amizade que fiz, agradeço por todas as trocas de experiências, pelos momentos bons e pela parceria. Obrigado a Júlia Azevedo pelos risos, pelo companheirismo e amizade. Os dias no laboratório sem vocês teriam sido uma missão impossível. Agradeço à Izabel Salvi por me aturar com as análises estatísticas da Assimetria Flutuante. Agradeço também a todos que ajudaram de alguma forma para esta pesquisa ser desenvolvida, seja nas coletas realizadas, nas identificações dos espécimes, ou mesmo no bom humor em transformar momentos cansativos em momentos bons e mais tranquilos, como a Isabelle Feijão, o Guilherme Carvalho e o Leonardo Ferreira.

Agradeço em especial à minha querida orientadora, Dra. Veronica Slobodian. Cheguei ao laboratório um pouco perdida sobre o que queria trabalhar, e foi-me apresentada esta pesquisa. Confesso que pensei que seria mais fácil, mas, graças ao profissionalismo da Dra. Veronica e ao meu comprometimento, tudo foi possível. Obrigado por todas as trocas, receptividade e paciência. Sem a sua orientação, com certeza esta pesquisa não teria sido concluída. Agradeço também, a minha amiga Paula Roriz por ter estado ao meu lado em diversos momentos nesta trajetória.

Sou grata ao Programa de Pós-graduação em Zoologia pelo suporte, orientações e financiamento. A Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – Fap DF e a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa fornecida. Agradeço ao Laboratório de Coleção Zoológica da Universidade Católica de Brasília (LACUZ) por nos receber.

A trajetória para a titulação de Mestre não é fácil, e com certeza, sem os amigos, companheiros e o devido financiamento, isso não seria possível. Finalizo agradecendo a todos os familiares, amigos e profissionais que não citei, mas que de alguma forma fizeram parte dessa trajetória.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11
CAPÍTULO I: A composição de peixes na sub-bacia do Alto Rio Tocantins	
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
INTRODUÇÃO.....	17
MATERIAL E MÉTODOS.....	20
RESULTADOS.....	24
DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
CAPÍTULO II: Verificando o nível de Assimetria Flutuante em populações de peixes nos riachos da Chapada dos Veadeiros/Goiás, sub-bacia do Alto Rio Tocantins	
RESUMO.....	53
ABSTRACT.....	55
INTRODUÇÃO.....	57
MATERIAL E MÉTODOS.....	61
Área de Estudo.....	61
Coleta de dados.....	64
Estimativa da Assimetria Flutuante.....	65
Análises Estatísticas.....	66
RESULTADOS.....	67
Dados Morfométricos.....	69
Dados merísticos.....	72
DISCUSSÃO.....	73
CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	84

INTRODUÇÃO GERAL

A região Neotropical é altamente diversa, abrigando aproximadamente 4.200 espécies de peixes (Tonella *et al.* 2023) e inclui a bacia Amazônica, que possui a maior diversidade de peixes de água doce do mundo, incluindo diversas espécies endêmicas (Reis *et al.* 2016; Dagosta e Pinna, 2019). Com forte relação com a bacia Amazônica, a bacia Tocantins-Araguaia é considerada a maior bacia exclusiva do território brasileiro (MMA, 2006). Entretanto, essa bacia possui diversos corpos d'água de menor fluxo (córregos, riachos, nascentes) pouco conhecidos e que estão em constante ameaça (Macedo e Hughes, 2014).

A bacia Tocantins-Araguaia se localiza majoritariamente dentro do Domínio Cerrado, que constitui um conjunto de diversos ecossistemas chamados de fitofisionomias (savanas, matas de galeria, campos úmidos e secos) e inclui nascentes das três principais bacias hidrográficas da América do Sul: Amazonas (com forte relação com o Tocantins-Araguaia), São Francisco e Alto Paraná (Klink e Machado, 2005). O Cerrado contribui com 43% da água superficial do Brasil e ainda, devido à sua alta diversidade e endemismo, é considerado um dos *hotspots* mundiais em biodiversidade (Strassburg *et al.* 2017; Sawyer, 2017). No entanto, apesar da grande diversidade de espécies e dos elevados serviços ecossistêmicos que este domínio proporciona, o Cerrado já perdeu 46% de sua área nativa e está sob constante ameaça, desta maneira, pesquisas sobre a diversidade deste domínio são de extrema relevância (Strassburg *et al.* 2017; Sawyer, 2017).

Na bacia Tocantins-Araguaia, atualmente, são conhecidas 751 espécies, com predominância das ordens Characiformes e Siluriformes (Chamon *et al.* 2022). Dessas, 229 espécies ocorrem somente na sub-bacia do Alto Rio Tocantins, que também apresenta o maior número de espécies endêmicas, cerca de 91 espécies (Chamon *et al.* 2022). Muitas espécies vêm sendo descritas nos últimos anos para este trecho, como *Knodus rufford* Deprá, Ota, Junior e Ferreira 2021 e *Knodus obolus* Deprá, Ota, Junior e Ferreira 2021. Apesar da alta biodiversidade na bacia Tocantins-Araguaia, muitos trechos estão ameaçados, sendo constantemente degradados devido ao desmatamento de matas ciliares, à expansão do agronegócio e à construção de barragens (Chamon *et al.* 2022; Silva *et al.* 2023). Esta bacia apresenta alto potencial para o desenvolvimento de

hidrelétricas: 73 empreendimentos hidrelétricos estão espalhados em operação pela bacia, e a maioria está localizada na sub-bacia do Alto Rio Tocantins (Chamon *et al.* 2022).

A assimetria flutuante mensura pequenas variações que ocorrem nos caracteres bilaterais de uma determinada espécie, as quais podem indicar uma resposta biológica ao ambiente sob perturbação (Mendes, 2014). A detecção de assimetria flutuante, onde o lado e a conformidade do desenvolvimento assimétrico mudam conforme o organismo, seria um indicativo de que estressores genéticos ou ambientais resultam na inabilidade dos organismos de se desenvolverem em caminhos precisamente determinados (Sanseverino e Nessimian, 2008). Portanto, quando o grau de assimetria flutuante é alto, supõe-se que os organismos podem estar sendo expostos a estressores ambientais durante seu desenvolvimento (Allenbach, 2011).

A degradação ambiental pode causar extinções, mas também efeitos mais sutis ou subletais nas populações, que podem ser detectados por meio de altas taxas de anomalias morfológicas. Se detectadas anomalias não-letais, é possível conduzir ações mitigatórias para prevenir uma maior degradação local (Galloway *et al.* 2004). Nesse contexto, a assimetria flutuante pode ser uma ferramenta relevante para estudos de monitoramento do impacto ambiental sobre a fauna. Por exemplo, um estudo com a espécie *Perca fluviatilis* Linnaeus 1758, um peixe da Noruega, investigou o nível de assimetria flutuante em resposta à acidez de diferentes lagos (Oxnevad, Heibo e Vollestad, 2002).

Desta forma, esta pesquisa visa ampliar o conhecimento da ictiofauna do trecho do Alto Rio Tocantins, especialmente amostrando regiões que carecem de coletas, possibilitando uma melhor compreensão da composição de espécies de peixes. Posteriormente, testamos a assimetria flutuante como uma ferramenta para detectar impactos da antropização sobre a morfologia de espécies que ocorrem nesta sub-bacia.

REFERÊNCIAS

- Allenbach DM. Fluctuating asymmetry and exogenous stress in fishes: a review. *Fish Biology and Fisheries*. 2011; 21(3):355-376.
- Bertaco VA, Carvalho FR, Jerep FC. *Astyanax goyanensis* (Miranda-Ribeiro, 1944), new combination and *Astyanax courensis*, new species (Ostariophysi: Characiformes): two Characidae from the upper rio Tocantins basin, Central Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2010; 8(2): 265-275.
- Chamon CC, Serra JP, Camelier P, Zanata AM, Fichberg I, Marinho MMF. Building knowledge to save species: 20 years of ichthyological studies in the Tocantins-Araguaia River basin. *Biota Neotropica*. 2022; 22(2): 1-18.
- Dagosta FCP, Pinna MCC. The fishes of the amazon: distribution and biogeographical patterns, with a comprehensive list of species. *Museum Natural History*. 2019; 431: 1- 163.
- Deprá GC, Ota RR, Junior OBV, Ferreira KM. Two new species of *Knodus* (Characidae: Stevardiinae) from the upper rio Tocantins basin, with evidence of ontogenetic meristic changes. *Neotropical Ichthyology*. 2021; 19 (1): 1-28.
- Galloway TS, Brown RJ, Browne MA *et al.* A multibiomarker approach to environmental assessment. *Environmental Science Technology*. 2004; 38(6):1723–1731.
- Klink CA, Machado RB. A conservação do Cerrado Brasileiro. *Revista Megadiversidade*. 2005; 1(1): 147-155.
- Macedo DR, Hughes RM. Using macroinvertebrates for river health assessment in Brazil: criteria for establishing reference conditions. *Ecological Indicators*. 2014; 45: 209-217.
- Mendes GM. Assimetria flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em *Cecropia pachystachya*. [Dissertação de Mestrado]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais; 2014.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Secretaria de Recursos Hídricos. [Internet]. Brasília: Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia; 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/>
- Oxnevad SA, Heibo E, Vollestad LA. Is there a relationship between fluctuating asymmetry and reproductive investment in perch (*Perca fluviatilis*). *Canadian Journal of Zoology*. 2002; 80:120-125.
- Reis RE, Albert JS, Di Dario F, Mincarone MM, Petry P, Rocha LA. Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*. 2016; 89:12-47.
- Sanseverino AM, Nessimian JL. Assimetria flutuante em organismos aquáticos e sua aplicação para avaliação de impactos ambientais. *Oecologia Brasiliensis*. 2008 12(3): 382-405.
- Sawyer D. Perfil do Ecosistema *hotspot* de Biodiversidade do Cerrado: resumo expandido. Brasília/DF: Supernova; 2017.

Silva DA, et al. Impactos Ambientais e Gestão Sustentável de Recursos Hídricos no Cerrado Brasileiro. *Journal of Environmental Management*. 2023; 310: 114695.

Strassburg BBN, Brooks T, Feltran-Barbieri R, Iribarrem A, Crouzeilles R, Loyola R, Balmford A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*. 2017; 1(4): 1-3.

Tonella LH, *et al.* Neotropical Freshwater Fishes: A dataset of occurrence and abundance of freshwater fishes in the Neotropics. 2023; 104(4): e3713.

Capítulo I: A composição de peixes na sub-bacia do Alto Rio Tocantins

RESUMO

A bacia Tocantins-Araguaia é a maior bacia exclusiva do território brasileiro e pode ser dividida em três trechos principais: o Alto Tocantins, o Baixo Tocantins e o Araguaia. Atualmente, são conhecidas 751 espécies para esta bacia, com muitas novas espécies sendo descritas ao longo dos anos, como *Characidium kalunga*, entre outras. O objetivo desta pesquisa é caracterizar e inventariar a ictiofauna da sub-bacia do Alto Rio Tocantins, preenchendo as lacunas amostrais existentes, especialmente nas regiões próximas ao Distrito Federal. Para o levantamento das espécies nesta sub-bacia, foram realizadas visitas às coleções da Universidade de Brasília – CIUnB e da Universidade Católica de Brasília – LACUZ. Também foi realizado um levantamento bibliográfico nas bases de dados online Google Scholar e Web of Science dos artigos científicos. Por fim, coletas foram conduzidas ao longo da sub-bacia do Alto Rio Tocantins, desde os limites desta sub-bacia no Distrito Federal até os limites ao norte, no Estado do Tocantins. As expedições ocorreram entre abril de 2021 e janeiro de 2024, focando principalmente em pontos com amostragem deficiente na sub-bacia, totalizando visita a 60 drenagens. A partir do levantamento bibliográfico, materiais de coleção observados e coletas recentes, foram registradas 491 espécies distribuídas em 11 ordens, 42 famílias e 201 gêneros. Do total de espécies, 469 espécies já haviam sido identificadas anteriormente para esta sub-bacia em outros trabalhos científicos, no entanto, 22 espécies permaneceram indeterminadas ao nível de espécie, correspondendo possivelmente a táxons novos. Do total, 70 espécies foram registradas nos materiais de coleção examinados, e 141 espécies coletadas e depositadas na Coleção Ictiológica da Universidade de Brasília. As ordens Characiformes e Siluriformes foram as mais representativas, com 240 espécies (49%) e 146 espécies (30%). Nas coletas conduzidas foram capturadas três espécies exóticas para a sub-bacia do Alto Tocantins: *Poecilia reticulata*, conhecida popularmente como *Guppy*, foi coletada em Brasília-DF no riacho Votorantim; *Xiphophorus hellerii*, conhecida como peixe espadinha, coletada no Distrito Federal no córrego Ouro; e *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897), conhecida como tilápia, foi coletada em Brasília-DF. Ao longo

das coletas realizadas foi possível notar riachos que estavam secos, principalmente na região da sub-bacia do Rio Maranhão, localizado no Distrito Federal e em regiões do Estado do Tocantins, o que impossibilitou as coletas. Já no Estado do Tocantins, no Rio Azuis, os animais coletados apresentaram malformação em suas estruturas, com nadadeiras (peitoral e dorsal) e coluna vertebral encurtadas. Também foram constatados cinco novos registros para a sub-bacia: *Moenkhausia lopesi*, natural da bacia do Rio Paraguai; *Leporinus* aff. *paranensis*; *Phalloceros harpagos*, anteriormente registrada nas bacias dos rios Paraná e Paraguai; *Farlowella henriquei*, um peixe considerado restrito à bacia do Araguaia; e *Eigenmannia dutrai*, natural da bacia do Alto Paraná. As informações levantadas nesta pesquisa vão contribuir significativamente para um manejo e conservação mais eficazes da ictiofauna, especialmente em riachos de pequeno porte, onde a maior parte dessas coletas foi realizada, e que muitas vezes são negligenciados.

Palavras-chave: Bacias brasileiras; Ictiofauna; Novos registros; Taxonomia

ABSTRACT

The Tocantins-Araguaia basin is the largest basin exclusive in Brazilian territory and can be divided into three main sections: the Upper Tocantins, the Lower Tocantins and the Araguaia. Currently, 751 species are known for this basin, with many new species being described over the years, such as *Characidium kalunga*, among others. The objective of this research is to characterize and inventory the ichthyofauna of the Upper Rio Tocantins sub-basin, filling existing sampling gaps, especially in the regions nearby the Federal District. To survey the ichthyological diversity in this sub-basin, visits were made to the collections of the University of Brasília – CIUnB and the Catholic University of Brasília – LACUZ. A bibliographical survey was also carried out in the Google Scholar and Web of Science online databases of scientific articles. Further, field trips were conducted along the Upper Rio Tocantins sub-basin, from the limits of this sub-basin in the Federal District to the northern limits in the State of Tocantins. The expeditions took place between April 2021 and January 2024, focusing mainly on points with poor sampling in the sub-basin, totaling visits to 60 drainages. From the bibliographical survey, collection materials and field trips, a total of 491 species distributed in 11 orders, 42 families and 201 genera were recorded. Of the total species, 469 species had previously been identified for this sub-basin in other scientific works, however, 22 species remained indetermined at the species level, possibly corresponding to new taxa. From the total, 70 species were recorded in examined collection materials, and 141 species collected and deposited in the Ichthyological Collection of the University of Brasília. The orders Characiformes and Siluriformes were the most representative, with 240 species (49%) and 146 species (30%). In the field trips, three exotic species were captured in the Alto Tocantins sub-basin: *Poecilia reticulata*, popularly known as Guppy, was collected in Brasília-DF, in the Votorantim stream; *Xiphophorus hellerii*, known as swordfish; collected in the Federal District in the Ouro stream; and *Coptodon rendalli*, known as tilapia, was collected in Brasília-DF. During the field trips it was possible to notice streams that were dry, mainly in the Maranhão River sub-basin region, located in the Federal District and in regions of the State of Tocantins, which made collections impossible. In the State of Tocantins, on the Rio Azuis, the fishes collected showed malformations, with shortened fins (pectoral and

dorsal) and spinal column. Five new records were also verified: *Moenkhausia lopesi*, native to the Paraguay River basin; *Leporinus* aff. *paranensis*; *Phalloceros harpagos*, previously recorded in the Paraná and Paraguay river basins; *Farlowella henriquei*, considered restricted to the Araguaia basin; and *Eigenmannia dutrai*, native to the Alto Paraná basin. The information gathered in this research will significantly contribute to more effective management of ichthyofauna and conservation, especially in small streams, where most of these field trips were carried out and which are often neglected.

Keywords: Brazilian basins; Ichthyofauna; New records; Taxonomy

INTRODUÇÃO

Os habitats de água doce são proporcionalmente pequenos se comparados com outros habitats aquáticos e terrestres, mas cerca de dois terços das espécies das grandes famílias de peixes -Cyprinidae, por exemplo- são de água doce (Fricke *et al.* 2024), cuja maioria é encontrada em cursos d'água das regiões tropicais, em especial a região Neotropical (Nelson, 2011). A região Neotropical é extremamente rica, abrigando de 20 a 25% da diversidade de peixes existente (Reis *et al.* 2016), e grande parte desta diversidade se restringe à bacia Amazônica, que possui a maior diversidade de peixes de água doce do mundo, com mais de 2.257 espécies de peixes descritas (Dagosta e Pinna, 2019; Oberdorff *et al.* 2019). Com forte relação com a bacia Amazônica, a bacia dos rios Tocantins-Araguaia é a maior bacia que se encontra totalmente em território brasileiro, abrangendo 10,8% deste território (MMA, 2006).

Aproximadamente dois terços das águas da bacia Tocantins-Araguaia têm sua vazão no Cerrado, o segundo maior domínio brasileiro (Klink e Machado, 2005). O Cerrado se constitui de um conjunto de diversos ecossistemas (savanas, matas de galeria, campos úmidos e secos), e inclui nascentes dos rios das três principais bacias hidrográficas da América do Sul: Amazonas (com forte relação com o Tocantins-Araguaia), São Francisco e o Alto Paraná (Klink e Machado, 2005). O domínio é ainda considerado um dos *hotspots* mundiais, abrigando uma alta biodiversidade e muitas espécies endêmicas (Sawyer, 2017). Entretanto, o Cerrado vem passando por severas alterações antrópicas, como aquelas derivadas da expansão agropecuária, resultando na ocupação de 60% do território do Cerrado para produção de grãos do país, afetando a existência da fauna e flora, além dos ambientes aquáticos (Andrade *et al.* 2017).

No Brasil, a maior fronteira agrícola encontra-se no Cerrado, resultando no desaparecimento de espécies, degradação do solo, e ainda afeta a qualidade dos ambientes aquáticos, o que está acontecendo em uma velocidade elevada (Ferreira *et al.* 2007). A região do "MATOPIBA" é destaque na fronteira agrícola brasileira, abrangendo os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, na qual o avanço da agricultura mecanizada acelerou a devastação do Cerrado, restando apenas algumas manchas deste domínio (Dutra *et al.* 2018). O Estado do Tocantins faz parte dessa região quase na sua totalidade, e as áreas do

MATOPIBA abrangem cerca de 40% da bacia do Rio Tocantins (Nepomoceno e Carniatto, 2022).

A bacia Tocantins-Araguaia pode ser dividida em três trechos principais: Baixo Tocantins (à jusante de Imperatriz, município localizado no Estado do Maranhão, e Itaguatins, município localizado no Estado do Tocantins), Alto Tocantins (à montante de Imperatriz e Itaguatins) e o trecho do Araguaia (Dagosta e Pinna, 2019). Atualmente são conhecidas 751 espécies de peixes na bacia Tocantins-Araguaia, com preponderância das ordens Characiformes e Siluriformes (Chamon *et al.* 2022). O maior número de espécies endêmicas, por volta de 91 espécies, se encontra na sub-bacia do Alto Tocantins, além de muitas espécies que vêm sendo descritas nos últimos anos para esta bacia, como *Astyanax courensis* Bertaco, Carvalho & Jerep, 2010 e *Characidium kalunga* Melo, Netto-Ferreira & Masumoto, 2021. O rio Maranhão, que é uma das principais nascentes da bacia Tocantins e que abrange o território do Distrito Federal, possui uma diversidade alta de espécies de peixes, com 110 espécies já catalogadas (ICMBIO, 2015).

Na região do Distrito Federal ocorrem as nascentes das três grandes bacias hidrográficas brasileiras: as nascentes dos rios Paranoá, São Bartolomeu, Corumbá e São Marcos que fazem parte da bacia do Alto Paraná; as nascentes do rio Preto que pertence à bacia São Francisco; e as nascentes do rio Maranhão que pertencem à bacia do Tocantins-Araguaia (Codeplan, 2020). Os rios pertencentes à bacia do Alto Paraná compreendem a maior parte do território do Distrito Federal (64%), enquanto os rios da bacia do Tocantins-Araguaia ocupam em torno de 13% e da bacia São Francisco 23% do território do Distrito Federal (Codeplan, 2020). A sub-bacia do Alto Tocantins é formada pelos rios Tocantinzinho, Maranhão e Paranã e seus tributários, que apresentam suas nascentes no Estado de Goiás e Distrito Federal, e possui uma vazão de água de 45.070 km³ (Ferreira e Tokarski, 2007). Como característico do domínio Cerrado, na sub-bacia do Alto Tocantins ocorre um período de seca, com 4 a 5 meses de estiagem, e outro período chuvoso, com maior ocorrência de chuva no verão, e temperatura média de 25°C (Collicchio e Rocha, 2022).

Entretanto, como ocorre para todo o Cerrado, muitos trechos da bacia Tocantins-Araguaia estão ameaçados e sendo constantemente degradados,

ocorrendo o desmatamento de matas ciliares, entrada de fertilizantes nos cursos d'água, e construção de barragens (Chamon *et al.* 2022; Silva *et al.* 2023). Além disso, a bacia Tocantins apresenta alto potencial para o desenvolvimento de usinas hidrelétricas: 73 empreendimentos energéticos estão espalhados pela bacia e a maioria está localizada na sub-bacia do Alto Rio Tocantins (Chamon *et al.* 2022). Tais empreendimentos alteram a dinâmica dos rios, afetando fortemente a ictiofauna de maneira geral, sendo considerada a maior ameaça para as drenagens do Tocantins-Araguaia (Chamon *et al.* 2022).

No Estado do Goiás localiza-se a usina hidrelétrica de Serra da Mesa, construída no Alto Tocantins, o reservatório de Serra da Mesa é considerado o maior do Brasil em relação ao volume de água (Eletrobras, 2024). Essas usinas de grande porte alteram o comportamento de muitas espécies de peixes como o processo de piracema – período de migração dos peixes para reprodução. Após o acasalamento, os ovos geralmente são levados rio abaixo até pararem em ambientes alagados, ideais para a eclosão, em seguida a desova os peixes adultos retornam rio acima para o ponto inicial (Silva, 2007). Pesquisas apontam que a migração dos peixes de jusante à montante dos rios em período de reprodução fica extremamente limitado na presença de barragens, modificando completamente a movimentação desses animais, além da alteração do fluxo de matéria orgânica disponível no ambiente (Agostinho *et al.* 2012).

Com a urbanização cada vez mais acelerada, diversas problemáticas vão se tornando aparentes, assim como a introdução de espécies exóticas em ambientes naturais, que rapidamente se tornam abundantes e constituem potenciais competidoras pelos recursos disponíveis (Vieira e Shibatta, 2006). A espécie *Poecilia reticulata* Peters 1859, por exemplo, é bastante resistente às alterações ambientais, apresentando níveis de equitabilidade extremamente baixos para as comunidades de peixes onde esta espécie está presente (Vieira e Shibatta, 2006). Além disso, esta espécie já foi documentada na bacia do Alto Tocantins (Garcia e Shibatta, 2013).

Ameaças decorrentes da ação antrópica, como a inserção de espécies exóticas, avançam, principalmente, por áreas que foram escassamente estudadas (Choueri e Azevedo, 2017). A introdução da tilápia *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897), por exemplo, já decorreu em diversos prejuízos ambientais

documentados em riachos do Paraíba do Sul e no Alto Paraná (Garcia *et al.* 2021). Todavia, tal espécie ainda não foi formalmente documentada no Alto Rio Tocantins (Agostinho *et al.* 2018). Dado o que foi exposto, este estudo visa ampliar o conhecimento da ictiofauna do Alto Tocantins, em especial amostrando regiões que carecem de coletas na região do Distrito Federal e entorno, possibilitando uma melhor compreensão da composição de espécies de peixes para esta sub-bacia.

OBJETIVO GERAL

Caracterizar e inventariar a ictiofauna da sub-bacia do Alto Rio Tocantins.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Cobrir lacunas amostrais para melhor conhecimento da diversidade de espécies de peixes da sub-bacia do Alto Rio Tocantins, especialmente em regiões próximas ao Distrito Federal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo e Amostragem

O registro de ocorrência das espécies foi obtido por meio de três fontes principais: levantamento bibliográfico, consulta a materiais de coleções científicas e expedições realizadas em trechos da sub-bacia do Alto Tocantins (Figura 1). Adotamos a subdivisão das bacias em Baixo Tocantins, Alto Tocantins e Araguaia, conforme a abordagem proposta por Dagosta e Pinna (2019), que representa a classificação mais recente. O levantamento bibliográfico das espécies presentes na sub-bacia do Alto Tocantins partiu de bases de dados online de artigos científicos online *Google Scholar* e *Web of Science*, utilizando combinações de palavras chaves como “Alto Tocantins” “Bacia” “Peixes” “Upper Tocantins” “Upper Tocantins Basin” “Freshwater fish”, para uma lista inicial de espécies. O esforço amostral foi de uma a duas horas durante um ano de pesquisa. Para a confecção da lista final da ictiofauna presente na sub-bacia,

foram selecionados apenas trabalhos taxonômicos ou de composição que apresentassem os vouchers, portanto, trabalhos que não trouxessem essa informação não foram considerados nesta pesquisa.

Após o levantamento inicial das espécies conhecidas para o Alto Tocantins, materiais de coleções científicas foram consultados na Coleção Ictiológica da Universidade de Brasília (CIUnB) e no Laboratório de Coleção Zoológica da Universidade Católica de Brasília (LACUZ), outras coleções ictiológicas de Brasília não foram visitadas devido à dificuldade de agendamento para visita. As visitas e exame dos materiais de coleções foram realizadas no ano de 2023. Todos os materiais pertencentes ao Alto Tocantins foram analisados para identificação ao menor nível taxonômico possível, seguindo listas de espécies já registradas para as regiões (e.g. Chamon *et al.* 2022), revisões taxonômicas (e.g. Vari e Harold, 2001), descrições originais de espécies (e.g. Bertaco e Lucinda, 2005) e consulta a especialistas.

Por fim, as coletas foram realizadas de abril de 2021 a janeiro de 2024, em período de seca e período de chuva no Cerrado, as estações chuvosas se concentrando nos meses de novembro a março de cada ano de coleta. Essas coletas foram voltadas principalmente a pontos com amostragem deficiente na sub-bacia. Ao todo foram realizadas cinco expedições de coletas nos Estados de Goiás e do Tocantins, além de diversas outras coletas pontuais no Distrito Federal (Tabela 1). Sessenta pontos foram amostrados ao longo das drenagens da sub-bacia do Alto Tocantins (Tabela 1), partindo dos limites sul desta sub-bacia no Distrito Federal (-15.545456°/ -47.860350°) até seu limite norte no Estado do Tocantins (-11.688735°/ -46.721710°), passando pela porção nordeste do Estado de Goiás (Figura 1). O esforço amostral para cada ponto visitado foi de no mínimo uma hora e no máximo duas horas para a realização das coletas.

Foram utilizadas para coletas redes de arrasto de mão (picaré), puçá, tarrafa e armadilhas de espera (como o covó). Cada trecho foi amostrado por uma hora, percorrendo no mínimo 100 metros ao longo de cada riacho. Para habitats com complexidade tridimensional dadas, principalmente, por raízes de plantas, foi usado o puçá. Para habitats abertos foi usada predominantemente a rede de arrasto. Por fim, para ambientes mais profundos, como poções, foram

utilizadas tarrafa e armadilha covo. Os ambientes aquáticos eram diversos, apresentando locais com cachoeiras, amostrados à montante e à jusante da queda d'água, locais com alagados e, principalmente riachos que formavam pequenos trechos com várias corredeiras.

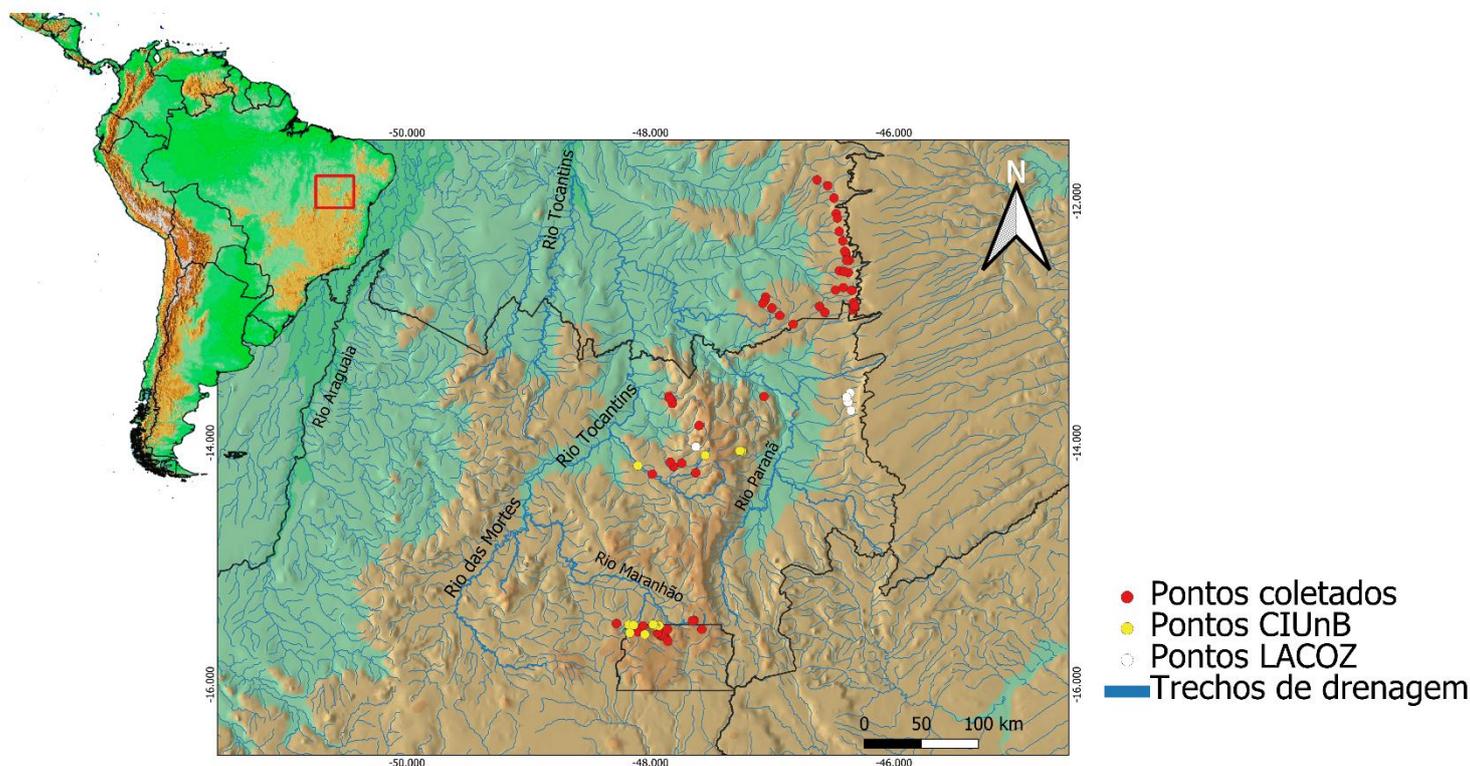


Figura 1. Mapa de amostragem das espécies de peixes da sub-bacia do Alto Rio Tocantins. Branco: Coleção Zoológica da Universidade Católica de Brasília (LACoz); Amarelo: Coleção Ictiológica da UnB (CIUnB); Vermelho: locais onde foram realizadas as coletas.

Tabela 1. Localização dos trechos amostrados na sub-bacia do Alto Tocantins, no Distrito Federal, nos Estados de Goiás e Tocantins.

Região	Curso d'água	Estado	Latitude	Longitude
Brazlândia	Rio Monteiro	Distrito Federal	-15.495	-48.277
Brazlândia	Rio Palma	Distrito Federal	-15.484	-48.045
Brazlândia	Poço Azul	Distrito Federal	-15.558	-48.044
Brazlândia	Ribeirão Amador	Distrito Federal	-15.507	-48.138
Planaltina	Rio Palmeiras	Distrito Federal	-15.5274	-47.7639
Planaltina	Riacho Grotão	Distrito Federal	-15.5623	-47.7641

		Distrito		
Fercal	Córrego Ouro	Federal	-15.512	-47.9301
		Distrito		
Fercal	Riacho Bromélia	Federal	-15.510	-47.961
		Distrito		
Fercal	Rio Maranhão	Federal	-15.5021	-47.6289
Brasília	Rio Salinas	Brasília	-15.306	-48.178
Brasília	Ribeirão Palmeiras	Brasília	-15.5289	-47.7408
Brasília	Ribeirão Votantim	Brasília	-15.5894	-47.8758
Dianópolis	Ribeirão Novo Jardim	Tocantins	-11.8281	-46.6366
Novo Jardim	Ribeirão do Salto	Tocantins	-11.8663	-46.5488
Novo Jardim	Ribeirão do Inferno	Tocantins	-11.9686	-46.4962
Ponte Alta do Bom Jesus	Rio Ponte Alta	Tocantins	-12.1007	-46.4755
Ponte Alta do Bom Jesus	Riacho	Tocantins	-12.1383	-46.4643
Pouso Alegre	Rio Grande	Tocantins	-12.251	-46.4494
Pouso Alegre	Riacho Conceição	Tocantins	-12.3228	-46.4194
Jaú do Tocantins	Rio Sobrado	Tocantins	-12.5752	-48.4479
Jaú do Tocantins	Fazenda Betinho	Tocantins	-12.7361	-48.3422
Jaú do Tocantins	Rio Azuis	Tocantins	-12.5809	-48.4072
Jaú do Tocantins	Rio Bezerra	Tocantins	-13.0759	-48.8288
Taguatinga	Riacho	Tocantins	-12.5903	-46.3749
Taguatinga	Rio Palma	Tocantins	-12.7368	-46.3498
Taguatinga	Praia do puçá	Tocantins	-12.8359	-46.3346
Taguatinga	Riacho Colmeia	Tocantins	-12.8629	-46.3231
Taguatinga	Riacho Buriti	Tocantins	-12.8684	-46.3221
Taguatinga	Riacho Andorinha	Tocantins	-12.8798	-46.3246
Taguatinga	Cachoeira Bartolomeu	Tocantins	-12.9014	-46.3349
Taguatinga	Buritizal	Tocantins	-12.4344	-46.3951
Taguatinga	Gruta dos Caldeirões	Tocantins	-12.4883	-46.3669
Taguatinga	Alagado	Tocantins	-12.4877	-46.3885
Taguatinga	Ribeirão do Abreu	Tocantins	-12.4128	-46.407
Arraias	Rio Santa Izabel	Tocantins	-12.7915	-47.0538
Arraias	Arraias	Tocantins	-12.8193	-47.0604
Arraias	Rio Arraias	Tocantins	-12.8826	-47.0016
Arraias	Riacho	Tocantins	-12.8448	-47.0759
Arraias	Riacho cidade Arraias	Tocantins	-12.9957	-46.9374
Combinado	Rio Novo Alegre	Tocantins	-12.919	-46.5531
Combinado	Ribeirão Cachoeira	Tocantins	-12.858	-46.6236
Combinado	Alagado	Tocantins	-12.7339	-46.4818
Aurora do Tocantins	Riacho Aurora	Tocantins	-12.7134	-46.4155
Aurora do Tocantins	Córrego Taquaraçu	Tocantins	-12.7135	-46.4164
Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros	Goiás	-14.2188	-47.6315
	Nascente Rio dos			
Alto Paraíso de Goiás	Couros	Goiás	-14.1007	-47.5496
Alto Paraíso de Goiás	Rio Loquinhas	Goiás	-14.144	-47.4897
Alto Paraíso de Goiás	Rio Saci	Goiás	-14.144	-47.4897
Alto Paraíso de Goiás	Rio Ponte	Goiás	-14.1375	-47.506

Alto Paraíso de Goiás	Córrego São Bento	Goiás	-13.9045	-48.0767
Alto Paraíso de Goiás	Ribeirão dos Padres	Goiás	-14.1489	-48.0833
Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Padres Pedras	Goiás	-14.1464	-48.0769
Alto Paraíso de Goiás	Veredinha	Goiás	-14.1406	-47.6604
Alto Paraíso de Goiás	Rio Hobbit	Goiás	-14.1616	-47.631
Alto Paraíso de Goiás	Rio Macrofitas	Goiás	-14.1686	-47.6332
Alto Paraíso de Goiás	Piçarrão	Goiás	-14.2501	-47.4858
Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu	Goiás	-14.0466	-47.3066
Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão	Goiás	-14.0682	-47.2488
Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá	Goiás	-14.0626	-47.2586
Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho	Goiás	-14.2516	-47.9289

Os espécimes coletados foram eutanasiados com Eugenol (em concentração mínima de 40mg/l) segundo o protocolo de Lucena *et al.* (2013), fixados em formaldeído tamponado 10% e, posteriormente, preservados em etanol 70%. A identificação ao menor nível específico foi feita com o auxílio de chaves de identificação (*e.g.*, Vari e Harold, 2001), trabalhos de composição e listas de espécies já publicados para a região (*e.g.*, Chamon *et al.* 2022), trabalhos de revisão taxonômica e descrição de espécies (*e.g.*, Okubo, 2022; Menezes e Lucena, 2014). Quando em dúvida, especialistas nos grupos taxonômicos foram consultados. O material coletado foi depositado na Coleção Ictiológica da Universidade de Brasília (CIUnB). Ao fim, foi elaborada uma lista de espécies de peixes encontrados na sub-bacia do Alto Rio Tocantins, a partir de dados bibliográficos, coleções científicas e material biológico recentemente coletado.

RESULTADOS

A partir da revisão bibliográfica, materiais de coleção observados e coletas feitas foram registradas um total de 491 espécies distribuídas em 11 ordens, 42 famílias, e 201 gêneros para sub-bacia do Alto Tocantins. Desse total, 469 espécies já haviam sido identificadas anteriormente para a sub-bacia em outros trabalhos científicos. Também, 22 espécies permaneceram indeterminadas a nível de espécie e correspondem, possivelmente, a novos táxons (Tabelas 2, 3). Do total, 70 espécies foram observadas a partir dos materiais de coleção examinados, e 141 espécies foram registradas nas coletas conduzidas (Tabela

2 e Figura 2). As ordens Characiformes e Siluriformes foram as mais representativas em número de espécies, com 240 espécies (49%) e 146 espécies (30%), respectivamente, seguidas de Cichliformes com 34 espécies (7%), Cyprinodontiformes com 32 espécies (7%) e Gymnotiformes com 23 espécies (5%), as outras ordens sendo pouco representativas (3%) (Figura 3). A família de maior representatividade foi Characidae, com 114 espécies (Figura 4). Por fim, foram coletadas 17 das 91 espécies registradas como endêmicas para a região por Chamon *et al.* 2022. A família Rivulidae apresenta um número alto de espécies endêmicas, com 22 espécies. No entanto, nenhuma espécie de Rivulidae foi coletada nas expedições e nem observada nas coleções visitadas.

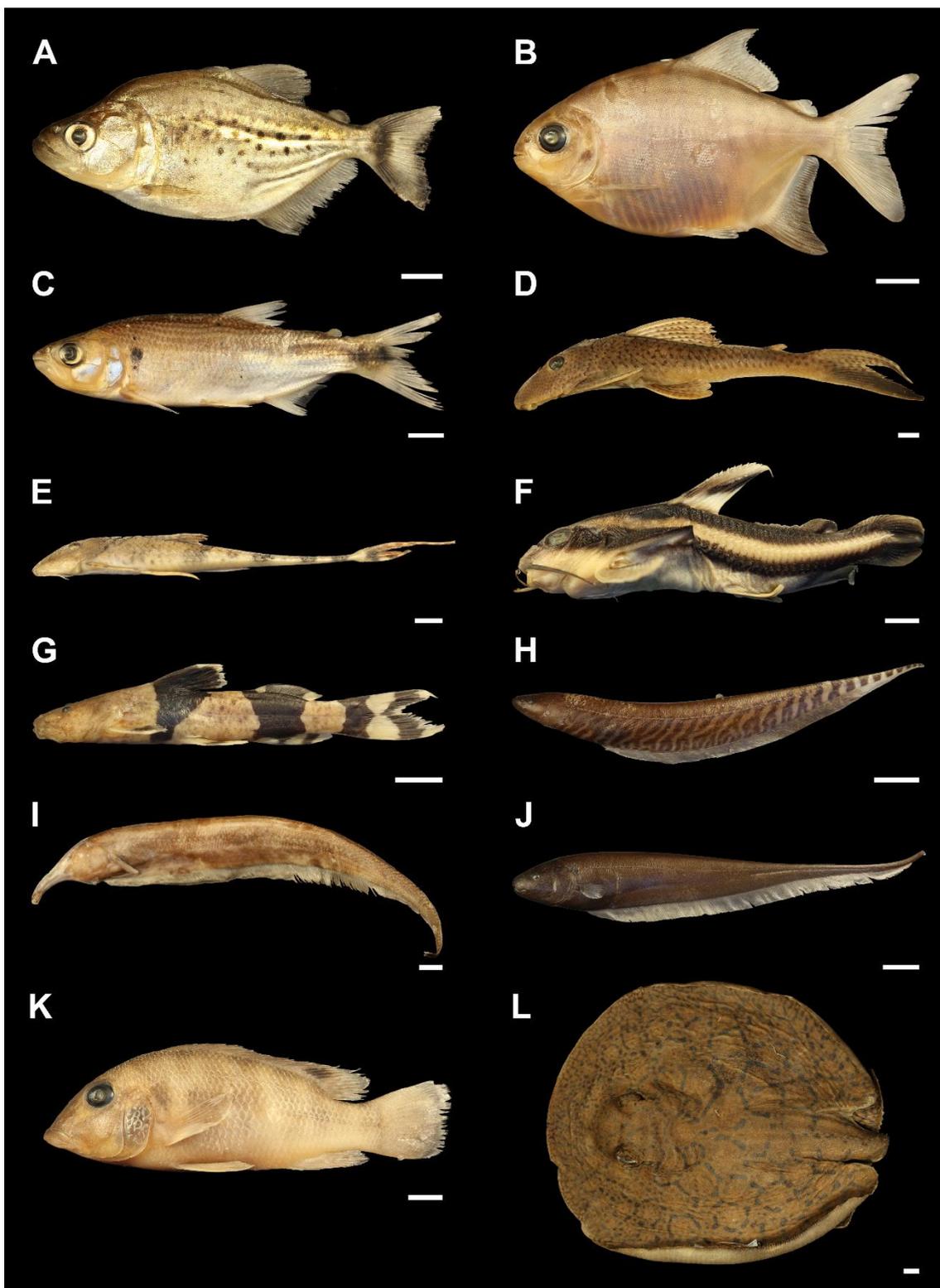


Figura 2. Algumas espécies coletadas na sub-bacia do Alto Rio Tocantins. **A.** CIUnB uncat, *Serrasalmus maculatus*, Colinas do Sul-Goiás. **B.** CIUnB uncat, *Myleus setiger*, do rio Salinas, Distrito Federal. **C.** CIUnB uncat, *Brycon nattereri*, do córrego São Bento da Chapada dos Veadeiros. **D.** CIUnB uncat, *Hypostomus* sp, Colinas do Sul. **E.** CIUnB uncat, *Spatuloricaria* aff. *evansii*, Brazlândia Rio Palma. **F.** CIUnB uncat, *Platydora costatus*, Colinas do Sul. **G.** CIUnB uncat, *Rhyacoglanis varii*, do rio Palma no Distrito Federal. **H.** CIUnB uncat, *Gymnotus carapo*, do riacho Buritis no Tocantins. **I.** CIUnB

uncat, *Sternarchorhynchus curvirostris*. J. CIUnB uncat, *Sternopygus macrurus*, Estado do Tocantins. K. CIUnB uncat, *Retroculus lapidifer*, Distrito Federal-Fercal. L. CIUnB uncat, *Potamotrygon orbignyi*, de Alto Paraíso de Goiás. Escala: 1 cm.

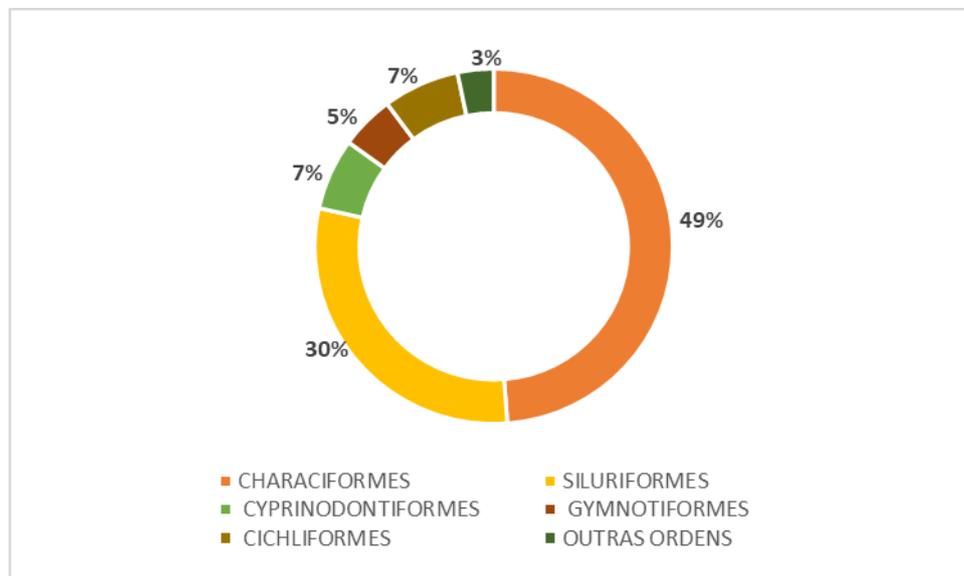


Figura 3. Gráfico de proporção do total de espécies de peixes da sub-bacia do Alto Rio Tocantins, registradas por ordem taxonômica.

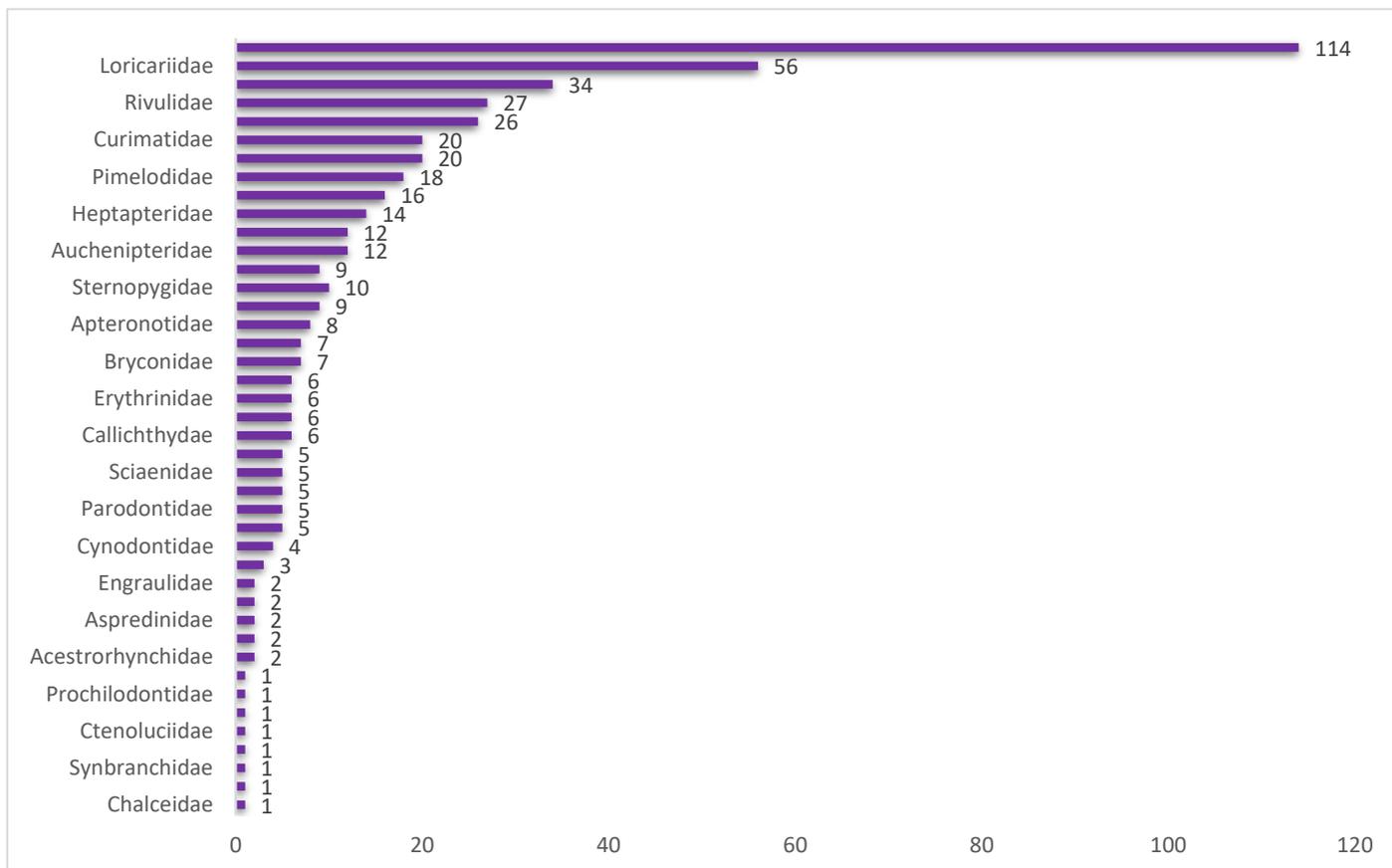


Figura 4. Total de espécies de peixes (nas coleções, coletado nas expedições e no levantamento bibliográfico) por família taxonômica na sub-bacia do Alto Rio Tocantins.

Tabela 2. Lista das espécies coletas na sub-bacia do Alto Rio Tocantins, total de 141 espécies, incluindo as espécies que foram identificadas até o nível de gênero.

Espécie	Ordem	Família	Subfamília	Região	Drenagem
<i>Apteronotus camposdapazi</i>	Gymnotiformes	Apteronotidae		Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Sternarchorhynchus curvirostris</i>	Gymnotiformes	Apteronotidae		Alto Paraíso de Goiás	
<i>Gymnotus carapo</i>	Gymnotiformes	Gymnotidae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Archolaemus blax</i>	Gymnotiformes	Sternopygidae		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Eigenmannia cf. trilineata</i>	Gymnotiformes	Sternopygidae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Eigenmannia trilineata</i>	Gymnotiformes	Sternopygidae		Brazlândia	Rio Monteiro
<i>Eigenmannia dutrai</i>	Gymnotiformes	Sternopygidae		Morro da Pedreira, Distrito Federal	Rio Salinas
<i>Sternopygus macrurus</i>	Gymnotiformes	Sternopygidae		Alto Paraíso de Goiás	
<i>Auchenipterus osteomystax</i>	Siluriformes	Auchenipteridae		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Tatia simplex</i>	Siluriformes	Auchenipteridae		Fercal- Distrito Federal	Rio Maranhão
<i>Aspidoras albater</i>	Siluriformes	Callichthyidae		Palmas, Tocantins	Ribeirão Taquaruçu
<i>Aspidoras poecilus</i>	Siluriformes	Callichthyidae		Parque Terra Ronca-São Matheus	
<i>Cetopsis coecutiens</i>	Siluriformes	Cetopsidae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Platydoras costatus</i>	Siluriformes	Doradidae		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Cetopsorhamdia cf. iheringi</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Tocantins	Riacho
<i>Imparfinis borodini</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Imparfinis cf. mirini</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Phenacorhamdia tenebrosa</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Planaltina	Rio Palmeiras
<i>Pimelodella spelaea</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Fercal	Riacho Indaiá
<i>Pimelodella sp.</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Brasília	Rio Salinas

<i>Pimelodella</i> sp.	Siluriformes	Heptapteridae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Rhamdia quelen</i>	Siluriformes	Heptapteridae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Pimelodus blochii</i>	Siluriformes	Pimelodidae		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Pseudopimelodus bufonius</i>	Siluriformes	Pseudopimelodidae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Rhyacoglanis varii</i>	Siluriformes	Pseudopimelodidae		Brazlândia	Rio Palma
<i>Corumbataia acanthodela</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypoptomatinae	Brazlândia	Poço Azul
<i>Corumbataia anosteos</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypoptomatinae	Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Otocinclus hasemani</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypoptomatinae	Fercal	
<i>Ancistrus aguaboensis</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Ancistrus</i> sp.	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Planaltina	Riacho Palmeiras
<i>Ancistrus reisi</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Hypostomus</i> cf. <i>cafuringa</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Planaltina	Rio Palmeiras
<i>Hypostomus</i> cf. <i>plecostomus</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Brasília	Ribeirão Votarantim
<i>Hypostomus plecostomus</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Colinas do Sul Parque Terra Ronca-São	Rio Tocantinzinho
<i>Hypostomus</i> sp.	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	Matheus	
<i>Spatuloricaria</i> aff. <i>evansii</i>	Siluriformes	Loricariidae	Loricariinae	Brazlândia	Rio Palma
<i>Sturisoma rostratum</i>	Siluriformes	Loricariidae	Loricariinae	Alto Paraíso de Goiás	
<i>Harttia punctata</i>	Siluriformes	Loricariidae	Loricariinae	Tocantins	Rio Azuis
<i>Farlowella henriquei</i>	Siluriformes	Loricariidae	Loricariinae	Tocantins	
<i>Ituglanis</i> sp.	Siluriformes	Trichomycteridae		Planaltina	Riacho Grotão
<i>Trichomycterus</i> sp.1	Siluriformes	Trichomycteridae		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Trichomycterus</i> sp.2	Siluriformes	Trichomycteridae		Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Aequidens tetramerus</i>	Cichliformes	Cichlidae		Tocantins	Rio Ponte Alta
<i>Cichla</i> sp.	Cichliformes	Cichlidae		Brazlândia	Rio Monteiro
<i>Cichlasoma araguaiense</i>	Cichliformes	Cichlidae		Alto Paraíso de Goiás	

<i>Cichlasoma sanctifranciscense</i>	Cichliformes	Cichlidae	Planaltina-Fercal	Rio Maranhão
<i>Cichlasoma</i> sp.	Cichliformes	Cichlidae	Planaltina-Fercal	Rio Maranhão
<i>Crenicichla cametana</i>	Cichliformes	Cichlidae	Alto Paraíso de Goiás	
<i>Crenicichla</i> aff. <i>cametana</i>	Cichliformes	Cichlidae	Alto Paraíso de Goiás	
<i>Crenicichla reticulata</i>	Cichliformes	Cichlidae	Tocantins	Riacho Aurora
<i>Crenicichla</i> cf. <i>compressiceps</i>	Cichliformes	Cichlidae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Crenicichla</i> sp.	Cichliformes	Cichlidae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Wallaciia</i> cf. <i>compressiceps</i>	Cichliformes	Cichlidae	Tocantins	Alagado
<i>Wallaciia lepidota</i>	Cichliformes	Cichlidae	Tocantins	Rio Sobrado
<i>Geophagus neambi</i>	Cichliformes	Cichlidae	Alto Paraíso de Goiás	
<i>Retroculus lapidifer</i>	Cichliformes	Cichlidae	Teresina de Goiás	Rio das Pedras
<i>Coptodon rendalli</i>	Cichliformes	Cichlidae	Brasília	Rio Salinas
<i>Poecilia reticulata</i>	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	Brasília	Riacho Votorantim
<i>Phalloceros harpagus</i>	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	Planaltina	Riacho Grotão
<i>Xiphophorus hellerii</i>	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	Fercal	Córrego Ouro
<i>Potamotrygon orbignyi</i>	Myliobatiformes	Potamotrygonidae	Alto Paraíso de Goiás	
<i>Acestrorhynchus falcatus</i>	Characiformes	Acestrorhynchidae	Tocantins	Riacho
<i>Leporinus friderici</i>	Characiformes	Anostomidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Leporinus</i> cf. <i>friderici</i>	Characiformes	Anostomidae	Tocantins	Rio Bezerra
<i>Leporinus</i> cf. <i>multimaculatus</i>	Characiformes	Anostomidae	Tocantins	Rio Azuis
<i>Leporinus unitaeniatus</i>	Characiformes	Anostomidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Leporinus</i> aff. <i>paranensis</i>	Characiformes	Anostomidae	Brasília	Rio Salinas
<i>Schizodon</i> sp.	Characiformes	Anostomidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Brycon nattereri</i>	Characiformes	Bryconidae	Cavalcante, Goias	Rio Santa Rita
<i>Brycon</i> cf. <i>nattereri</i>	Characiformes	Bryconidae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Charax</i> aff. <i>niger</i>	Characiformes	Characidae	Characinae	Rio São Bartolomeu

<i>Galeocharax gulo</i>	Characiformes	Characidae	Characinae	Fercal	Rio Maranhão
<i>Phenacogaster eurytaenia</i>	Characiformes	Characidae	Characinae	Planaltina	Riacho Palmeiras
<i>Phenacogaster naevata</i>	Characiformes	Characidae	Characinae	Brazlândia	Rio do Sal
<i>Roeboides affinis</i>	Characiformes	Characidae	Characinae	Tocantins	Arraias
<i>Serrapinnus lucindai</i>	Characiformes	Characidae	Cheirodontinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Serrapinnus sp.</i>	Characiformes	Characidae	Cheirodontinae	Tocantins	Rio Azuis
<i>Bryconamericus novae</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Bryconamericus sp.</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Brazlândia	Rio Palma
<i>Caiapobrycon tucurui</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Creagrutus atrisignum</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Brazlândia	Rio Salinas
<i>Creagrutus britskii</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Creagrutus figueiredoi</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Sobradinho/ DF	Rio Maranhão
<i>Creagrutus hysginus</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Creagrutus mucipu</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Creagrutus cf. seductus</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Knodus cf. moenkhausii</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Knodus aff. heteresthes</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Knodus rufford</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Brasília	Rio Maranhão
<i>Knodus obolus</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Distrito Federal-Fercal	Rio Maranhão
<i>Knodus chapadae</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Tetragonopterus argenteus</i>	Characiformes	Characidae	Tetragonopterinae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Tetragonopterus sp.</i>	Characiformes	Characidae	Tetragonopterinae	Brazlândia	Rio do Sal
<i>Astyanax argyrimarginatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Astyanax cf. argyrimarginatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Astyanax bimaculatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá

<i>Astyanax gr.bimaculatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Astyanax courensis</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Astyanax elachylepis</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão
<i>Astyanax novae</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Tocantins	Rio Azuis Córrego
<i>Astyanax goyacensis</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Cavalcante, Goiás	Conceiçãozinha
<i>Astyanax goyanensis</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Astyanax unitaeniatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Cavalcante, Goiás	Ribeirão Montes
<i>Astyanax bockmanni</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Sobradinho/Distrito Federal	Rio Maranhão
<i>Astyanax sp.</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Hemigrammus tocantinsi</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Sobradinho/Distrito Federal	Rio Maranhão
<i>Hemigrammus sp.</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Córrego Indaiá
<i>Hyphessobrycon cf. hamatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Hyphessobrycon hamatus</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Planaltina/DF	Rio Maranhão
<i>Hyphessobrycon sp.</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Brasília	Rio Salinas
<i>Moenkhausia aurantia</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Moenkhausia lopesi</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Tocantins	Rio Azuis
<i>Moenkhausia goya</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Cavalcante, Goiás	Ribeirão Montes
<i>Moenkhausia aff. tergimacula</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Brazlândia	Rio Monteiro
<i>Moenkhausia sp.</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá Chapada dos Veadeiros
<i>Characidium kalunga</i>	Characiformes	Crenuchidae		Alto Paraíso de Goiás	
<i>Characidium aff. stigmatosum</i>	Characiformes	Crenuchidae		Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Characidium aff. xanthopterum</i>	Characiformes	Crenuchidae		Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Characidium xanthopterum</i>	Characiformes	Crenuchidae		Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Characidium aff. zebra</i>	Characiformes	Crenuchidae		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Brejão

<i>Characidium</i> sp.	Characiformes	Crenuchidae	Brazlândia	Ribeirão Amador
<i>Cyphocharax</i> cf. <i>spilurus</i>	Characiformes	Curimatidae	Brazlândia	Rio Monteiro
<i>Steindachnerina brevipinna</i>	Characiformes	Curimatidae	Alto Paraíso de Goiás	
<i>Hoplias aimara</i>	Characiformes	Erythrinidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Hoplias</i> cf. <i>curupira</i>	Characiformes	Erythrinidae	Tocantins	Rio Santa Izabel
<i>Hoplias lacerdae</i>	Characiformes	Erythrinidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Hoplias malabaricus</i>	Characiformes	Erythrinidae	Parque Terra Ronca-São Matheus	
<i>Hemiodus tocantinensis</i>	Characiformes	Hemiodontidae	Cavalcante, Goiás	Ribeirão Montes Claros
<i>Hemiodus</i> cf. <i>tocantinensis</i>	Characiformes	Hemiodontidae	Tocantins	Rio Sobrado
<i>Bryconops melanurus</i>	Characiformes	Iguanodectidae	Tocantins	Arraias
<i>Apareiodon cavalcante</i>	Characiformes	Parodontidae	Tocantins	Riacho
<i>Apareiodon machrisi</i>	Characiformes	Parodontidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Parodon pongoensis</i>	Characiformes	Parodontidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu
<i>Prochilodus nigricans</i>	Characiformes	Prochilodontidae	Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Myleus setiger</i>	Characiformes	Serrasalmidae	Fercal	
<i>Myloplus animacula</i>	Characiformes	Serrasalmidae	Tocantins	Rio Sobrado
<i>Myloplus</i> sp.	Characiformes	Serrasalmidae	Brazlândia	Rio Monteiro
<i>Metynnis lippincottianus</i>	Characiformes	Serrasalmidae	Tocantins	Rio Azuis
<i>Serrasalmus maculatus</i>	Characiformes	Serrasalmidae	Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Characiformes	Serrasalmidae	Alto Paraíso de Goiás	Rio São Bartolomeu

Tabela 3. Lista de espécies da sub-bacia do Alto Rio Tocantins que permaneceram indeterminadas a nível de espécie nas coleções visitadas e nas coletas conduzidas, 22 espécies ao total.

Espécie	Ordem	Família	Subfamília	Coletado	CIUNB	Região	Drenagem
<i>Pimelodella</i> sp.1	Siluriformes	Heptapteridae		X	X	Brasília	Rio Salinas
<i>Pimelodella</i> sp.2	Siluriformes	Heptapteridae		X		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Ancistrus</i> sp.	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	X		Planaltina	Riacho Palmeiras
<i>Hypostomus</i> sp.	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	X		Parque Terra Ronca-São Matheus	
<i>Ituglanis</i> sp.	Siluriformes	Trichomycteridae		X		Planaltina	Riacho Grotão
<i>Paracanthopoma</i> sp.	Siluriformes	Trichomycteridae			X	Brasília	Rio da Palma
<i>Trichomycterus</i> sp.1	Siluriformes	Trichomycteridae		X		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Trichomycterus</i> sp.2	Siluriformes	Trichomycteridae		X		Alto Paraíso de Goiás	Rio dos Couros
<i>Cichla</i> sp.	Cichliformes	Cichlidae		X		Brazlândia	Rio Monteiro
<i>Cichlasoma</i> sp.	Cichliformes	Cichlidae		X		Planaltina-Fercal	Rio Maranhão
<i>Crenicichla</i> sp.	Cichliformes	Cichlidae		X		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá Rio São
<i>Schizodon</i> sp.	Characiformes	Anostomidae		X		Alto Paraíso de Goiás	Bartolomeu
<i>Tetragonopterus</i> sp.	Characiformes	Characidae	Tetragonopterinae	X		Brazlândia	Rio do Sal
<i>Astyanax</i> sp.1	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	X		Colinas do Sul	Rio Tocantinzinho
<i>Astyanax</i> sp.2	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae		X	Brasília	Córrego Bananal
<i>Ctenobrycon</i> sp.	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae		X	Brasília	Rio Salinas
<i>Hemigrammus</i> sp.	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	X		Alto Paraíso de Goiás	Córrego Indaiá
<i>Hyphessobrycon</i> sp.	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae		X	Brasília	Rio Salinas
<i>Moenkhausia</i> sp.	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	X		Alto Paraíso de Goiás	Riacho Indaiá
<i>Serrapinus</i> sp.	Characiformes	Characidae	Cheirodontinae	X		Tocantins	Rio Azuis
<i>Characidium</i> sp.	Characiformes	Crenuchidae		X		Brazlândia	Ribeirão Amador

<i>Myloplus</i> sp.	Characiformes	Serrasalminidae	X	Brazlândia	Rio Monteiro
---------------------	---------------	-----------------	---	------------	--------------

Nas coletas realizadas foram capturadas três espécies exóticas para a sub-bacia do Alto Tocantins (Figura 5), nenhuma das quais havia sido formalmente registrada para esta sub-bacia anteriormente (e.g., Chamon *et al.* 2022). *Poecilia reticulata* Peters 1859, conhecida popularmente como *Guppy*, foi coletada em Brasília-DF no riacho Votorantim. Esta espécie é nativa da Venezuela e Guiana (Kottelat e Whitten, 1996), e popularmente utilizada no aquarismo (Garcia *et al.* 2021). *Xiphophorus hellerii* Heckel 1848, conhecida como peixe espadinha, foi coletada no Distrito Federal, no córrego Ouro. Esta espécie é originária da América Central e México (Larentis *et al.* 2019), e também é popularmente utilizada no aquarismo. A espécie *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897), conhecida como tilápia, foi coletada em Brasília-DF, no rio Salinas. Esta espécie é nativa da África, da bacia do Congo (Kottelat e Whitten, 1996), e foi introduzida no Brasil para a piscicultura voltada à alimentação humana (Moreira e Silva, 2023) (Figura 5). Além disso, a espécie *Hyphessobrycon eques* Steindachner 1882, original da bacia do Paraguai nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Pivello *et al.* 2024), foi anteriormente reportada como uma espécie exótica presente na sub-bacia do Alto Tocantins (Graça e Pavanelli, 2007), mas não foi encontrada nos materiais de coleção examinados nem nas coletas conduzidas.

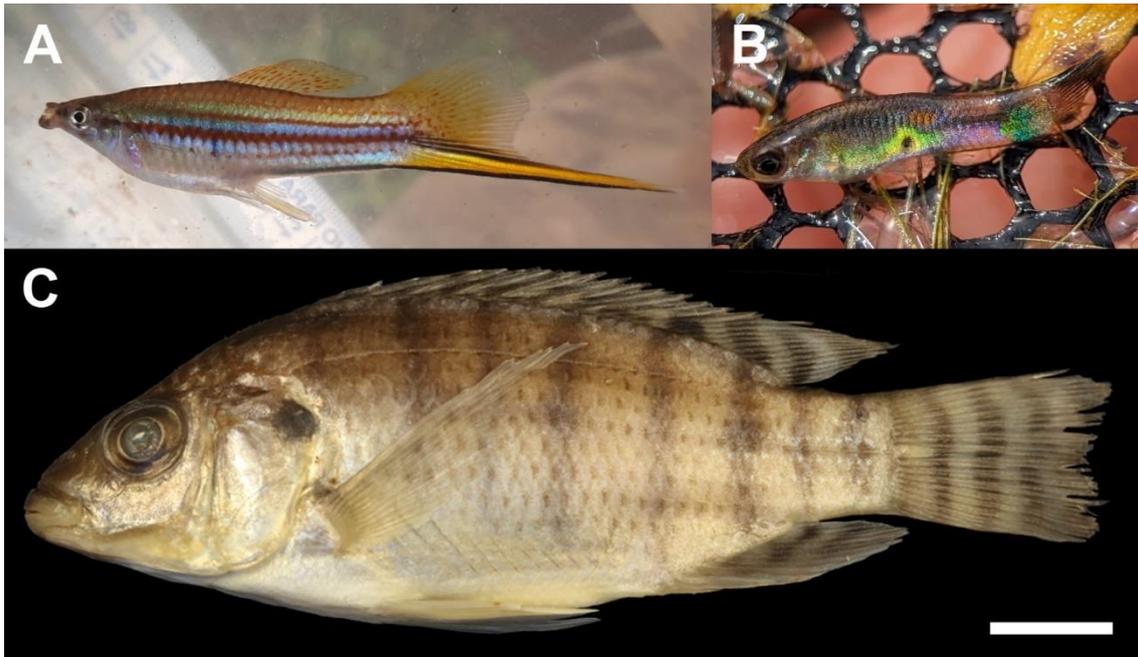


Figura 5. Espécies de peixes exóticos coletados na sub-bacia do Alto Rio Tocantins. **A.** CIUnB uncat, *Xiphophorus hellerii*, 60 mm CP. **B.** CIUnB uncat, *Poecilia reticulata*, 35 mm CP. **C.** CIUnB uncat, *Coptodon rendalli*, 90 mm CP. Escala: 1 cm.

Alguns riachos visitados para coletas estavam secos, principalmente na região da sub-bacia do Rio Maranhão, localizada no Distrito Federal e em regiões do Estado do Tocantins, o que impossibilitou as coletas. Também, diversos dos riachos coletados apresentavam sinais de deterioração derivados de atividades antrópicas, como descarte de lixo (materiais plásticos, materiais enlatados, entre outros), mau cheiro, atividades de exploração de calcário (perto do Rio Monteiro em Brazlândia/Distrito Federal), atividades turísticas (como no Poço Azul, localizado em Brazlândia; no Rio Azuis, localizado no Tocantins; e os riachos localizados em Alto Paraíso de Goiás, como exemplo, Rio dos Couros e Rio Loquinhos). Além disso, muitos desses riachos possuíam residências próximas, apresentando animais domésticos com acesso ao curso d'água. Alguns dos espécimes coletados no Estado do Tocantins no Rio Azuis (Tabela 4), considerado o terceiro menor rio do mundo (Marques, 2024), apresentaram anomalias morfológicas em relação ao tamanho da estrutura normal (Fisch-Muller *et al.* 2001; Zawadzki *et al.* 2013). Exemplos de espécimes coletados nesse rio são apresentados nas figuras 6 e 7.

Tabela 4. Lista das espécies coletadas no Estado do Tocantins, no Rio Azuis, sub-bacia do Alto Rio Tocantins, com indicação de espécies para as quais foram encontrados indivíduos anômalos.

Espécie	Ordem	Família	Subfamília	Anomalia
<i>Moenkhausia aurantia</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	
<i>Astyanax novae</i>	Characiformes	Characidae	Stethaprioninae	
<i>Knodus chapadae</i>	Characiformes	Characidae	Stervardiinae	
<i>Serrapinnus</i> sp.	Characiformes	Characidae		
<i>Leporinus</i> cf. <i>multimaculatus</i>	Characiformes	Anostomidae		X
<i>Characidium zebra</i>	Characiformes	Crenuchidae		
<i>Metynnis lippincottianus</i>	Characiformes	Serrasalminidae		
<i>Pimelodella</i> sp.	Siluriformes	Heptapteridae		X
<i>Harttia punctata</i>	Siluriformes	Loricariidae	Loricariinae	X
<i>Ancistrus aguaboensis</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	X
<i>Hypostomus plecostomus</i>	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	X
<i>Hypostomus</i> sp.	Siluriformes	Loricariidae	Hypostominae	



Figura 6. Algumas espécies coletadas no Rio Azuis, Tocantins. **A.** CIUnB uncat, *Astyanax novae*. **B.** CIUnB uncat, *Characidium zebra*. **C.** CIUnB uncat, *Knodus chapadae*. **D.** CIUnB uncat, *Moenkhausia oligolepis*. Escala: 1 cm.

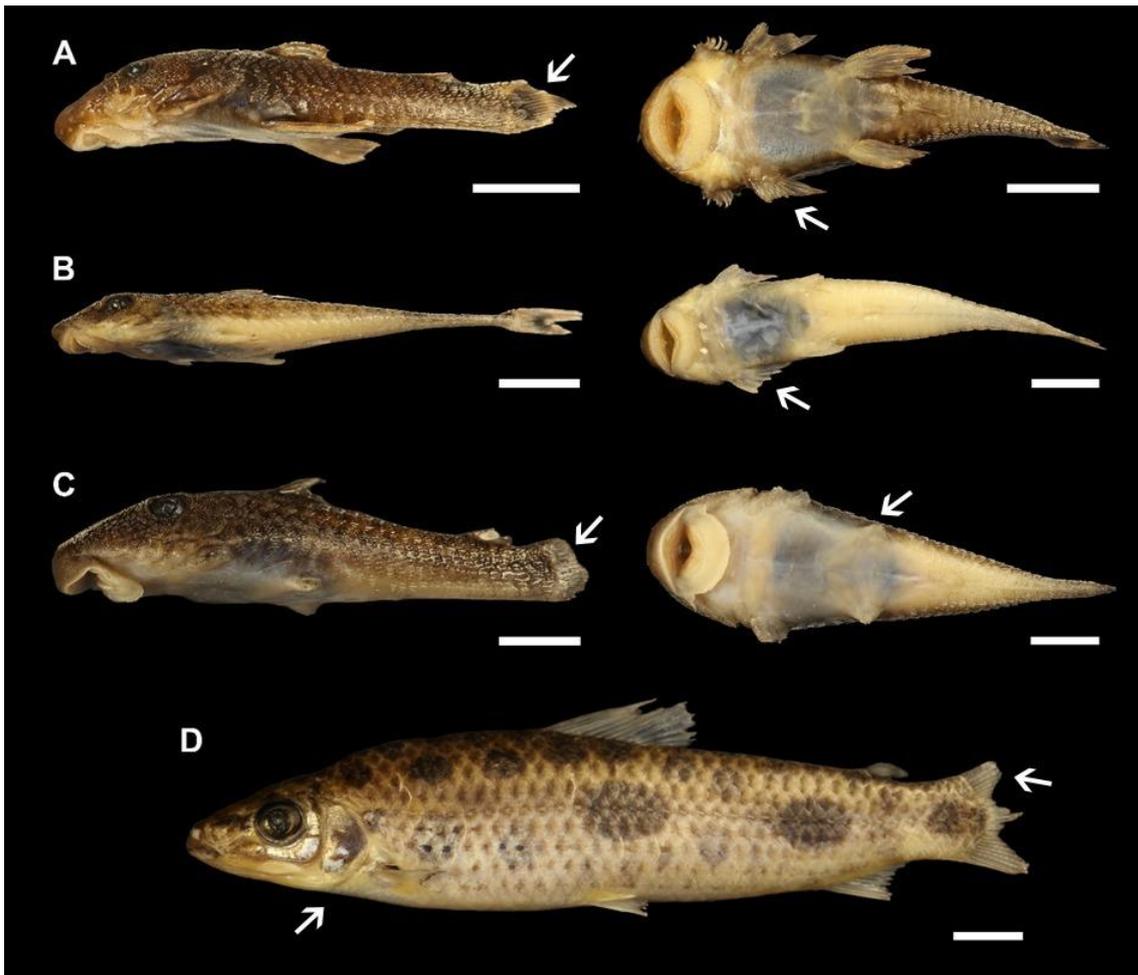


Figura 7. Espécies com indivíduos apresentando anomalias, indicada pelas setas, Rio Azuis-Tocantins. **A.** CIUnB uncat, *Ancistrus aguaboensis*, vista lateral e vista ventral. **B.** CIUnB uncat, *Harttia punctata*, vista lateral e vista ventral. **C.** CIUnB uncat, *Hypostomus plecostomus*, vista lateral e vista ventral. **D.** CIUnB uncat, *Leporinus cf. multimaculatus*. Escala: 1 cm.

A partir das coletas, seis espécies tiveram sua distribuição ampliada, com novos registros para a sub-bacia do Alto Tocantins (Figura 8): *Astyanax bockmanni* Vari & Castro 2007, natural da bacia do Alto Paraná (Vari e Castro, 2007); *Moenkhausia lopesi* Britski & Silimon 2001, natural da bacia do Rio Paraguai, próximo ao Rio Araguaia (IUCN, 2022); *Leporinus* aff. *paranensis*, uma espécie em estudo para redescritção de *Leporinus paranensis* Garavello & Britski, 1987; *Phalloceros harpagos* Lucinda & Reis 2005, anteriormente formalmente registrada nas bacias dos rios Paraná e Paraguai, mas não na sub-bacia do Alto Rio Tocantins (IUCN, 2022); *Farlowella henriquei* Miranda-Ribeiro, 1918, uma espécie considerada restrito à bacia do Araguaia (Ferraris, 2003), agora coletada no Estado do Tocantins, na sub-bacia do Alto Rio Tocantins; e

Eigenmannia dutrai Peixoto, Pastana & Ballen 2021, descrita no Rio Grande, uma drenagem do Rio Tietê no Estado de São Paulo, na bacia do Alto Paraná.



Figura 8. Espécies de peixes que tiveram novos registros de acordo com as coletas conduzidas. **A.** CIUnB uncat, *Leporinus* aff. *paranensis*. **B.** CIUnB uncat, *Moenkhausia lopesi*. **C.** CIUnB uncat, *Farlowella henriquei*. **D.** CIUnB uncat, *Phalloceros harpagos*. Escala: 1 cm.

DISCUSSÃO

A alta representatividade das ordens Characiformes e Siluriformes está de acordo com o esperado e encontrado em outras pesquisas (Chamon *et al.* 2022; Miranda e Mazzoni, 2003). Essas ordens são as maiores em diversidade de espécies encontradas na América do Sul (Castro, 1999). A família com mais espécies registradas foi Characidae, com 114 espécies no total, seguida por Loricariidae, com 56 espécies (Figura 4), refletindo o que também é esperado para os riachos brasileiros (Miranda e Mazzoni, 2003; Pavanelli e Caramaschi, 1997). A família Cichlidae foi a terceira mais representativa, com 34 espécies. Essa família possui uma enorme diversidade taxonômica, sendo considerada uma das maiores famílias de vertebrados (Landim, 2007).

A família Characidae foi a família com mais espécies endêmicas, apresentando 23 espécies exclusivas para a sub-bacia, das quais 10 foram coletadas nas expedições realizadas. A família Rivulidae, que apresenta uma alta diversidade (22 espécies endêmicas) para o Alto Rio Tocantins, não teve

espécimes coletados nos pontos amostrados neste trabalho. Os representantes dessa família são conhecidos como peixes anuais, que vivem em áreas úmidas sazonais, secando completamente durante o período de seca, nessa época, depositam ovos de resistência que eclodem apenas nas estações de chuva (Rosa *et al.* 2003). Esse ciclo de vida dificulta a coleta desses animais, que demandam expedições dedicadas, em períodos restritos do ano em locais que são temporários.

O trabalho mais recente sobre a composição da ictiofauna para a bacia do Tocantins-Araguaia foi realizado por Chamon *et al.* (2022). Nesta pesquisa, foram identificadas 229 espécies que ocorrem na sub-bacia do Alto Rio Tocantins. Em nosso esforço amostral coletamos 141 espécies. Entretanto, o limite norte das coletas foi o município de Dianópolis, no Estado do Tocantins, não alcançando os limites da sub-bacia do Alto Tocantins, que se estendem até a montante do município de Imperatriz, no Estado do Maranhão (Dagosta e Pinna, 2019). Das espécies coletadas e observadas nas coleções ictiológicas, 22 permaneceram indeterminadas a nível de espécie. Essas espécies possivelmente representam novos táxons, evidenciando a carência de estudos nesta região, um problema também observado em outras bacias brasileiras (e.g., Aquino *et al.* 2009; Burger, Zanata e Camelier, 2011).

A presença de espécies exóticas funciona como um indicador de qualidade ambiental, embora estudos que investiguem os impactos de peixes não-nativos na biota aquática de córregos ou riachos ainda sejam escassos (Aquino *et al.* 2009; Santos *et al.* 2023). Em alguns riachos visitados, as espécies *Poecilia reticulata*, *Coptodon rendalli* e *Xiphophorus hellerii* foram capturadas (Figura 5). *Poecilia reticulata* é uma espécie invasora generalista e vivípara, facilmente encontrada em riachos urbanos. Alterações ambientais nesses riachos, como a supressão da vegetação natural ao redor dos corpos d'água e a semelhança entre o ambiente de origem e a área invadida, garantem o sucesso desses peixes não-nativos (Garcia *et al.* 2021). Animais vivíparos possuem vantagem no processo de colonização de um ambiente, uma vez que mantêm os embriões protegidos dentro do corpo da fêmea, como é o caso de *Poecilia reticulata* e *Xiphophorus hellerii*, o que eleva as chances de sobrevivência dos indivíduos de ambas as espécies (Garcia, Vidotto-Magnoni e Orsi, 2019). A

presença de *Poecilia reticulata* na bacia do Tocantins-Araguaia já foi abordada na literatura ao longo dos anos e até o momento desta pesquisa não houve nenhuma mitigação para tal problema (Claro-Garcia e Shibatta, 2013; Guedes, 2021).

A espécie *Xiphophorus hellerii* já foi coletada em algumas regiões do Brasil, como no Rio de Janeiro na bacia do Rio Paraíba do Sul (Garcia *et al.* 2021), mas não havia sido formalmente documentada para a bacia do Tocantins, sendo este o primeiro registro desta espécie para a sub-bacia do Alto Rio Tocantins. Já a espécie *Coptodon rendalli* é amplamente utilizada para alimentação no Brasil. No ano de 2017 foi aprovada pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente do Tocantins (COEMA) a Resolução n° 88, que apresenta os critérios e a liberação para a criação de tilápia em tanques. Desde então esta espécie vem sendo cultivada ao longo da bacia do Tocantins (Santana, 2018). No entanto, até este momento não havia ocorrido registro desta espécie fora dos tanques para a sub-bacia do Alto Rio Tocantins, que foi coletada na Região Administrativa da Fercal, no Distrito Federal.

A tilápia é o peixe mais cultivado no Brasil, principalmente, devido à sua alta resistência e ao crescimento rápido (Borges, 2009). No ano de 2009, a Resolução n° 413 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que dispõe sobre o licenciamento ambiental para piscicultura, trouxe a regulamentação para o cultivo desses animais no Distrito Federal (Borges, 2009). Com a introdução no Brasil da *Coptodon rendalli* e *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), conhecida como tilápia do Nilo, alguns problemas surgiram, como o registro de sete novos parasitos branquiais em peixes (Garcia *et al.* 2021). Dessa forma, são inúmeras as perturbações ambientais causadas pela introdução dessas espécies no ambiente aquático. Algumas ações são realizadas para a redução dos impactos causados por essa espécie como a pesca controlada, captura e remoção e a regulamentação para a criação (Canonico *et al.* 2005).

A urbanização é outro fator preocupante para a proteção dos ambientes aquáticos. Visto que a urbanização avança cada vez mais sobre áreas de preservação ambiental, novos desafios são impostos para tentar conciliar o hábito de vida urbano com a natureza existente (Cordeiro *et al.* 2016). Nas expedições realizadas, foram identificadas várias perturbações associadas à

urbanização ao longo dos rios e riachos do Cerrado. Esse domínio possui naturalmente uma extensa rede hidrográfica, o que desperta grande interesse para diferentes atividades humanas. Entre elas, destaca-se a produção de alimentos, impulsionada pela expansão das fronteiras agrícolas sobre o solo do Cerrado, o que gera preocupações quanto ao uso sustentável da região. Além disso, o Cerrado tem atraído cada vez mais atenção para o turismo emergente, que também impacta o equilíbrio ambiental local (Almeida, 2010; Richards, 2015). O turismo é uma atividade econômica importante para várias regiões do Brasil, e atualmente não é mais considerado como uma atividade secundária, e sim como uma importante área da econômica do país (Maia, Freitas e Portuguez, 2012). Porém, as relações e a compreensão dos impactos dessas atividades turísticas no Cerrado ainda são subestimadas (Cardoso, Cardoso e Brito, 2014). Assim, pouco se sabe sobre os impactos letais ou subletais, como é o caso de malformações, derivadas de processos antrópicos.

A deformidade ou malformação estrutural pode ser causada por diversos fatores relacionados à urbanização, desde a contaminação por resíduos industriais a resíduos agrícolas ou de agropecuária liberados nos corpos d'água (Wlasow *et al.* 2010). Os peixes do Rio Azuis, que apresentaram malformações (Figura 7), estão em um ambiente de elevado estresse ambiental, pois existe uma intensa atividade turística no local, com comércios, casas residenciais, e criação de animais domésticos (como galinhas) ao redor do rio. As atividades turísticas na região são intensas e carecem de uma gestão adequada por parte do governo local, o que tem levado ao descarte inadequado de resíduos sólidos pelos visitantes. Além disso, o uso de protetores solares e produtos de higiene pessoal pelos turistas contribui para a contaminação da água, representando um risco significativo para os organismos aquáticos (Downs *et al.* 2016). O Rio Azuis, considerado o terceiro menor rio do mundo, tornou-se um ponto de referência importante para o turismo no município de Aurora do Tocantins (Rodrigues, 2010; Alves, 2018).

Sem a devida gestão ambiental das atividades desenvolvidas em locais altamente turísticos, há o risco de que o ambiente perca seus atrativos e seja eventualmente abandonado (Alves, 2018). Os exemplares coletados de *Leporinus cf. multimaculatus*, *Pimelodella sp.*, *Harttia punctata*, *Ancistrus*

aguaboensis e *Hypostomus plecostomus* apresentaram uma redução drástica de suas nadadeiras peitorais, com nadadeiras dorsais mostrando raios incompletos, como se tivessem sido cortados ou digeridos (Figura 7). Além disso, alguns exemplares, como *Hypostomus plecostomus*, aparentavam ter o corpo encurtado, sugerindo uma redução da coluna vertebral. Os peixes com malformações encontrados no Rio Azuis (Tabela 4) necessitam de uma série de investigações e estudos para obter mais detalhes sobre sua morfologia e identificar as causas dessas deformações. No entanto, atividades humanas podem estar relacionadas com as malformações de animais (Ortega e Martínez-Solano, 2009).

Algumas espécies tiveram novas ocorrências registradas para a sub-bacia do Alto Rio Tocantins. Entre elas, destaca-se a *Farlowella henriquei*, considerada endêmica da bacia do Araguaia (Ferraris, 2003), que foi coletada no Rio Sobrado, no Estado do Tocantins. Esta espécie pertence à subfamília Loricariinae e é o segundo maior gênero dessa subfamília, com 32 espécies válidas (Dópazo, Wosiacki e Britto, 2023). Esse achado sugere uma escassez de estudos nessa região e seus afluentes, o que é preocupante, pois a sub-bacia enfrenta constantes ameaças devido às atividades humanas. Isso resulta na falta de conhecimento sobre muitas espécies e na forte degradação de seus habitats (Perônico, Agostinho e Pélicice, 2020). Por exemplo, os peixes temporários *Cynolebias griseus* Costa, Lacerda & Brasil 1990, perderam seu habitat original, uma várzea do Alto Rio Tocantins no Estado de Goiás, devido à construção de uma rodovia (Pereira, 2003). Da mesma forma, a espécie *Simpsonichthys flammeus* Costa 1989, considerada vulnerável, foi afetada pela construção de uma usina hidrelétrica na mesma região (Pereira, 2003; Santos, Mérona e Juras, 2004).

A descoberta de novas ocorrências das espécies *Moenkhausia lopesi*, *Leporinus* aff. *paranensis*, *Phalloceros harpagos*, *Eigenmannia dutrai*, *Astyanax bockmanni* e *Farlowella henriquei* destaca a relevância de conduzir pesquisas de taxonomia e composição nas bacias hidrográficas brasileiras. As informações obtidas nesta pesquisa podem contribuir significativamente para um manejo e conservação mais eficaz da ictiofauna, especialmente em riachos de pequeno

porte que muitas vezes são negligenciados pelo poder público (Brasil *et al.* 2014).

CONCLUSÃO

A pesquisa alcançou seu objetivo de levantar a composição da ictiofauna da sub-bacia do Alto Rio Tocantins. Foram listadas 491 espécies que ocorrem nesta sub-bacia, das quais 140 foram coletadas ao longo das expedições. Identificamos 22 espécies que possivelmente são novos táxons, indicando a necessidade de mais estudos para melhor conhecer a composição ictiofaunística desta sub-bacia. A elevada representatividade das ordens Characiformes e Siluriformes é esperada para as bacias hidrográficas da América do Sul (Lowe-McConnell, 1999). As famílias com mais espécies registradas foram Characidae, Loricariidae e Cichlidae. A família Characidae apresentou o maior número de espécies endêmicas, com 23 espécies listadas na literatura, das quais 10 foram coletadas. A família Rivulidae, da ordem Cyprinodontiformes, apresenta um elevado número de espécies endêmicas; entretanto, nenhuma foi coletada nas expedições realizadas. Isso pode ser atribuído ao fato de serem peixes anuais, cuja ocorrência é mais restrita e os tornam mais sensíveis a mudanças ambientais, que vêm acontecendo ao longo do Alto Tocantins, dificultando sua coleta.

Ao todo, quatro espécies exóticas foram encontradas na sub-bacia do Alto Rio Tocantins: *Poecilia reticulata*, *Coptodon rendalli*, *Xiphophorus hellerii* e *Hyphessobrycon eques*, sendo que esta última não foi coletada nos nossos esforços. A *Poecilia reticulata*, conhecida como *guppy*, é uma espécie facilmente encontrada em riachos brasileiros e está entre os animais ornamentais mais procurados por aquaristas, o que facilita seu manejo incorreto (Magalhães e Jacobi, 2017; Garcia *et al.* 2014). A espécie *Xiphophorus hellerii* também é um dos animais ornamentais mais comercializados; no entanto, esta espécie ainda não havia sido registrada na sub-bacia do Alto Tocantins. A *Coptodon rendalli*, coletada no Distrito Federal, é um peixe de origem africana muito consumido na culinária brasileira, e seu cultivo vem se tornando cada vez mais comum nos ambientes aquáticos brasileiros (Santana, 2018). O alto incentivo da gestão

pública, sem o manejo adequado para o cultivo deste animal, juntamente com sua alta capacidade de adaptação e reprodução, gera um elevado custo ecossistêmico para as espécies nativas (Cassemiro *et al.* 2018).

Ao longo das expedições, foi possível observar diversas atividades humanas influenciando os ecossistemas aquáticos, desde áreas de pastagem ao redor do curso d'água até atividades turísticas sendo desenvolvidas. No entanto, a maior parte das atividades turísticas observadas não possui o devido acompanhamento da gestão pública, que muitas vezes não aplica as orientações e manejos necessários para o cuidado e conservação da biodiversidade (Alves, 2018). Lugares com elevado nível turístico mostram-se altamente vulneráveis às alterações, como é o caso do Rio Azuis. Neste rio, foram coletados animais com malformações estruturais em seus corpos, incluindo nadadeiras reduzidas e encurtamento da coluna vertebral em alguns exemplares (Figura 7). Ainda é necessária uma investigação aprofundada para entender melhor essas deformidades, mas a crescente urbanização tem influenciado cada vez mais na preservação da biodiversidade (Helgen *et al.* 2014).

Com o avanço da urbanização, é interessante ampliar os estudos nas sub-bacias brasileiras. Nesta pesquisa, foi possível registrar seis novas ocorrências para a sub-bacia do Alto Rio Tocantins. Por limitações de verba e tempo, a pesquisa não alcançou os limites do Alto Tocantins, no município de Imperatriz, no Estado do Maranhão. Com a acelerada degradação do Cerrado e seus micro-habitats, corre-se o risco de espécies desaparecerem sem mesmo terem sido previamente estudadas (Dirzo *et al.* 2014). Os resultados obtidos sugerem que há ainda escassez de estudos sobre a ictiofauna desta sub-bacia, e as espécies *Farlowella henriquei*, *Moenkhausia lopesi*, *Leporinus aff. paranensis*, *Phalloceros harpagos*, *Eigenmannia dutrai* e *Astyanax bockmanni* tiveram seu registro ampliado para a bacia do Alto Rio Tocantins. Dessa forma, os resultados mostram-se bastante valiosos para o conhecimento dos rios e riachos desta região.

REFERÊNCIAS

- Agostinho AA, *et al.* Fish Biodiversity in the High Tocantins River Basin: Challenges and Conservation Perspectives. *Biota Neotropica*. 2018; 18(1): e20170453.
- Agostinho AA, Agostinho CS, Pelicice FM, Marques EE. Fish Ladders: safe Fish passage or hotspot for predation? *Neotropical Ichthyology*. 2012; 10(4):687-696.
- Almeida MG. Dilemas Territoriais e Identitários em Sítios Patrimonializados: os Kalunga de Goiás. In: Pelá M, Castilho D, editors. *Cerrados Perspectivas e olhares*. Goiânia: Vieira; 2010. p. 113.
- Alves LRF. Aspectos da paisagem Cárstica do entorno do Rio Azuis, Tocantins: Caracterização Geomorfológica e Contribuições para Gestão Ambiental. [Dissertação de Mestrado]. Porto Nacional: Universidade Federal do Tocantins;
- Andrade GR, Bolfe LE, Victoria CD, Nogueira FS. Avaliação das condições de pastagens no Cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. *RBAS*. 2017; 7(1): 34-41.
- Aquino PPU, *et al.* Ictiofauna dos córregos do Parque Nacional de Brasília, bacia do Alto Rio Paraná, Distrito Federal, Brasil Central. *Biota Neotropica*. 2009; 9(1): 217-230.
- Bertaco VA, Lucinda PHF. *Astyanax elachylepis*, a new characid fish from the rio Tocantins drainage, Brazil (Teleostei: Characidae). *Neotropical Ichthyology*. 2005; (3)3: 389-394.
- Bertaco VA, Carvalho FR, Jerep FC. *Astyanax goyanensis* (Miranda-Ribeiro, 1944), new combination and *Astyanax courensis*, new species (Ostariophysi: Characiformes): two Characidae from the upper rio Tocantins basin, Central Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2010; 8(2): 265-275.
- Borges AM. Criação de tilápias. Brasília, DF: Emater-DF; 2009.
- Burger R, Zanata AM, Camelier P. Estudo taxonômico da ictiofauna de água doce da bacia do Recôncavo Sul, Bahia, Brasil. *Biota Neotropica*. 2001; 11(4):1-14.
- Britski HA, Silimon KZ. Description of a new species of *Moenkhausia* from the Paraguay River basin (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes). *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS, Série Zoologia*. 2001; 14(2): 111-120.
- Brasil LS, *et al.* Impact of urbanization on stream fish assemblages in Central Amazonia. *Hydrobiologia*. 2014; 738(1): 273-283.
- Canonico GC, Arthington A, McCrary JK, Thieme ML. The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*. 2005; 15(5): 463-483. <https://doi.org/10.1002/aqc.699>
- Cardoso MRC, Cardoso GCC, Brito JMBS. Economia e planejamento do ecoturismo: estudo de caso no Cerrado brasileiro. *Sustentabilidade em Debate*. 2015; 6(3): 100-115.

Castro RMC. Evolução da ictiofauna de riachos sul-americanos: padrões gerais e possíveis processos causais. Rio de Janeiro: PPGEUFRJ; 1999.

Cassemiro FAS, Bailly D, Graça WJ, Agostinho AA. The invasive potential of tilapias (*Osteichthyes*, *Cichlidae*) in the Americas. *Hydrobiologia*. 2018; 817(1): 133-154.

Chamon CC, Serra JP, Camelier P, Zanata AM, Fichberg I, Marinho MMF. Building knowledge to save species: 20 years of ichthyological studies in the Tocantins-Araguaia River basin. *Biota Neotropica*. 2022; 22(2): 1-18.

Choueri BR, Azevedo RAJ. Biodiversidade e impactos de grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia Tocantins-Araguaia: uma análise sistêmica. *Soc e Nat*. 2017; 29(3): 443-457.

Claro-García A, Shibatta OA. The fish fauna of streams from the upper rio Tocantins basin, Goiás State, Brazil. *Check List*. 2013; 9(1):28-33.

Codeplan. Um Panorama das Águas no Distrito Federal. Brasília: Secretaria de Economia do Distrito Federal; 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente do Estado do Tocantins. Resolução nº 88, de 05 de dezembro de 2018. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental da Aquicultura no Estado do Tocantins.

Cordeiro GG, Guedes NM, Kisaka TB, Nardoto GB. Avaliação rápida da integridade ecológica em riachos urbanos na bacia do rio Corumbá no Centro-Oeste do Brasil. *Rev Ambient Água*. 2016; 11(3): 1-9.

Claro-García A, Shibatta OA. The fish fauna of streams from the upper rio Tocantins basin, Goiás State, Brazil. *Check List*. 2013; 9(1):28-33.

Collicchio E, Rocha HR. Agricultura e mudanças do clima no Estado do Tocantins. Palmas, TO: EDUFT; 2022.

Dagosta FCP, Pinna MCC. The fishes of the amazon: distribution and biogeographical patterns, with a comprehensive list of species. *Mus Nat Hist*. 2019; 431: 1- 163. <https://digitallibrary.amnh.org/items/a0263df6-795c-4bdc-b217-f42e789609a2>

Deprá GC, *et al*. Two new species of *Knodus* (Characidae: Stevardiinae) from the upper rio Tocantins basin, with evidence of ontogenetic meristic changes. *Neotropical Ichthyology*. 2021; 19(1):1-28.

Dirzo R, *et al*. Defaunation in the Anthropocene. *Science*. 2014; 345(6195), 401-406.

Dópazo M, Wosiacki WB, Britto MR. New species of *Farlowella* (Siluriformes: Loricariidae) from the rio Tapajós basin, Pará, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2023; 21(1). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0097>

Downs CA, *et al*. Toxicopathological effects of the sunscreen UV filter, oxybenzone (benzophenone-3), on coral planulae and cultured primary cells and its environmental contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2016; 70(2): 265-288.

Dutra SS, Jesus Boaventura K, Dasdoriano PJE, Melo SNC. A última fronteira agrícola do Brasil: o Matopiba e os desafios de proteção ambiental no Cerrado. *Estudios Rurales*. 2018; 8: 145-178.

Eletrobras Furnas. Usina de Serra da Mesa. Rio de Janeiro [Internet]. Rio de Janeiro; 2024. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/129/usina-de-serra-da-mesa?culture=pt>

Ferreira EA, Tokarski DJ. Bacia Hidrográfica do Alto Tocantins Retrato e Reflexões. Minas Gerais: ECODATA; 2007.

Ferraris CJ, Reis RE, Kullander SO. Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS; 2003.

Fisch-Muller S, *et al.* Genetic and morphological evidences for two new sibling species of *Ancistrus* (Siluriformes: Loricariidae) in upper rio Tocantins drainage, Brazil. *Ichthyol Explor Freshwaters*. 2001; 12(4): 289-304.

Fricke R, Eschmeyer WN, Van der Laan R. (eds). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, references. Disponível em: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Electronic version accessed dd mmm 2024.

Garcia AC, Shibatta OA. The fish fauna of streams from the upper rio Tocantins basin, Goiás State, Brazil. *Check List*. 2013; 9(1):28-33.

Garcia DAZ, Costa ADA, Yabu MHS, Balconi APR, Orsi ML. Sobre como peixes de outras bacias chegam às nossas águas: o caso do rio Paranapanema, bacia do alto Paraná. *Bol Soc Bras Ictiol*. 2014; (110):8-15.

Garcia DAZ, Vidotto-Magnoni AP, Orsi ML. Características reprodutivas de peixes invasores no rio Paranapanema, bacia do alto rio Paraná, sul do Brasil. *Neotropical Biology and Conservation*. 2019; 14(4): 511-528.

Garcia DA, *et al.* Peixes não-nativos em riachos no Brasil: estado da arte, lacunas de conhecimento e perspectivas. *Oecologia Australis*. 2021; 25(2):565–587.

Garavello JC, Britski HA. Two new species of the genus *Leporinus* Spix, 1829, from the upper Paraná basin (Teleostei, Anostomidae). *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS*. 1987; 44: 153-165.

Graça WJ, Pavanelli CS. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes. Maringá: EDUEM; 2007.

Guedes TLO. A Ictiofauna da Ecorregião Tocantins-Araguaia: Diversidade, redes de pesquisa e construção do conhecimento. [Dissertação de doutorado]. Tocantins: Universidade Federal do Tocantins; 2021.

Helgen JC, *et al.* Deformities in Aquatic Wildlife and the Role of Environmental Contaminants. *Ecotoxicology*. 2014; 23(2): 172-192.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Planalto Central - Brasília: Ministério do Meio Ambiente [Internet]. Brasília; 2015. Disponível em:

<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/apa-do-planalto-central>

Klink CA, Machado RB. A conservação do Cerrado Brasileiro. Revista Megadiversidade. 2005; 1(1): 147-155.

Kottelat M, Whitten T. Freshwater biodiversity in Asia, with special reference to fish. World Bank Technical Paper. 1996; 343(343): 1- 59.

Landim MIPF. Relações filogenéticas na família Cichlidae Bonaparte, 1840 (Teleostei: Perciformes). [Tese de Doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2007. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001599679>

Larentis C, *et al.* First record of the non-native *Xiphophorus hellerii* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae), in the Iguazu River Basin, Paraná, Brazil. Journal of Applied Ichthyology. 2019; 35(5): 1164-1168. <https://doi.org/10.1111/jai.13965>

Lowe-McConnell RH. Estudos ecológicos em comunidades de peixes tropicais. São Paulo: EDUSP; 1999.

Lucinda PHF. Systematics and biogeography of the genus *Phalloceros* Eigenmann, 1907 (Cyprinodontiformes: Poeciliidae: Poeciliinae), with the description of twenty-one new species. Neotropical Ichthyology. 2008; 6(2):113-158.

Magalhães ALB, Jacobi CM. Colorful invasion in permissive Neotropical ecosystems: establishment of ornamental non-native poeciliids of the genera *Poecilia/Xiphophorus* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) and management alternatives. 2017; 15(1): 1-13.

Maia DM, Freitas B, Portuguese AP. Um Estudo Diagnóstico sobre os Impactos Ambientais do Turismo sobre a Orla Fluvial de Cachoeira Dourada de Minas (MG). Caminhos de Geografia. 2012; 13(41): 293-306.

Marques F. Descubra onde fica o menor rio do Brasil. [Internet]. Ministério do Turismo; 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/turismo/pt-br/assuntos/noticias/descubra-onde-fica-o-menor-rio-do-brasil>

Melo M, Ferreira-Netto LA, Masumoto F. 2021. A new species of *Characidium* (Characiformes: Crenuchidae) from the Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brazil. Neotropical Ichthyology. 2021; 19(2): 1-20.

Menezes NA, Lucena CAS. A taxonomic review of the species of *Charax* Scopoli, 1777 (Teleostei: Characidae: Characinae) with description of a new species from the rio Negro bearing superficial neuromasts on body scales, Amazon basin, Brazil. 2014; 12(2): 193-228.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Secretaria de Recursos Hídricos. [Internet]. Brasília: Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia; 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/>

Miranda JC, Mazzoni R. Composição da Ictiofauna de três riachos do Alto Rio Tocantins-GO. Biota Neotropica. 2003; 3(1): 1-11.

- Moyle P, García-Berthou E. Fishes. In: D. Simberloff D, Rejmánek M, editors. Encyclopedia of Biological Invasions. Davis: University of California Press; 2011. p. 229-234
- Moreira EA, Silva EP. Uma dúzia de peixes: algumas espécies exóticas invasoras encontradas em águas brasileiras e seus impactos. *Ciência Animal Brasileira*. 2023; 24: 1-22. <https://orcid.org/0000-0002-7741-6974>
- Nelson JS. Fishes of the world. New Jersey: John Wiley & Sons; 2011.
- Nepomoceno TAR, Carniatto I. The new agricultural frontier of Brazil: a theoretical essay on unsustainability in the Matopiba region. *Revista Cerrados*. 2022; 20(01):95-114.
- Oberdorff T, *et al.* (2019). Global and Regional Patterns in Riverine Fish Richness: A Review and Practical Exploration of Continental Scale Patterns and Predictors. *Environmental Research*. 2019; 14(1): 1-10.
- Ortega F, Martínez-Solano I. Deformities in amphibians: Natural causes, anthropogenic influences, and ecological implications. *Journal of Herpetology*. 2009; 43(4): 576-589.
- Okubo VKN. Os Anostomidae da bacia do Alto rio Paraná. [Dissertação de Trabalho de Conclusão de Curso]. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista; 2022.
- Pavanelli CS, Caramaschi EP. Composition of the ichthyofauna of two small tributaries of the Paraná river, Porto Rico, Paraná state, Brazil. *Ichthyol Explo Fresh*. 1997; 8: 32-31.
- Perônico PB, Agostinho CS, Fernandes R, Pélicice FM. Community reassembly after river regulation: rapid loss of fish diversity and the emergence of a new state. *Hydrobiologia*. 2020; 847(2):519-533. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04117-9>
- Pereira MF. Peixes do cerrado em Perigo. *Primeira Linha*. 2003; 34(200): 68-71.
- Peixoto LAW, Pastana MNL, Ballen GA. New species of glass knifefish genus *Eigenmannia* (Gymnotiformes: Sternopygidae) with comments on the morphology and function of the enlarged cephalic lateral-line canals of Sternopygidae. *Journal of Fish Biology*. 2021; 98 (1): 142-153.
- Pivello VR, Rocha RM, Vitule JRS, Braga RR, Brown GG, Castro CF, Cruz Neto CC, Franco AS, Heringer G, Magalhães ALB, Miranda R, Mormul RP, Oliveira I, Saulino HHL, Silva Matos DM. Impactos de espécies exóticas invasoras sobre as Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP), o Desenvolvimento Sustentável e a boa qualidade de vida. São Carlos: Editora Cubo; 2024. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-87228-6.cap4>.
- Reis RE, Albert JS, Di Dario F, Mincarone MM, Petry P, Rocha LA. Fish biodiversity and conservation in South America. *Jour Fish Biol*. 2016; 89:12-47.
- Rodrigues ML. A percepção da sociedade na gestão ambiental municipal. 2010. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2010.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-13102010-150144/fr.php>

Richards P. What Drives Indirect Land Use Change? How Brazil's Agriculture Sector Affects Frontier Deforestation. *Annals of the Association of American Geographers*. 2015; 105 (5): 1026-1040.

Rosa RS, Menezes NA, Britski HA, Costa WJ, Groth F. Diversidade, Padrões de Distribuição e Conservação dos Peixes da Caatinga. Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco; 2003.

Santos GM, Mérona B, Juras AA. Peixes do baixo Rio Tocantins 20 anos depois da Usina Hidrelétrica Tucuruí. Brasília: Eletronorte; 2004.

Santos, *et al.* Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. *Ateliê Geográfico*. 2017; 10(3): 89-108.

Santos BRB, *et al.* Tropical headwater streams and the role of non-native species on fish assemblage's diversity. *Biological Invasions*. 2023; 25: 3103-3118.

Santana JJ. Conselho Estadual do Meio Ambiente estabelece normas e critérios para o licenciamento ambiental da aquicultura. [Internet]. Tocantins: Governo do Tocantins; 2018. Disponível em: [Conselho Estadual do Meio Ambiente estabelece normas e critérios para o licenciamento ambiental da aquicultura \(www.to.gov.br\)](http://www.to.gov.br)

Sawyer D. Perfil do Ecossistema *hotspot* de Biodiversidade do Cerrado: resumo expandido. Brasília/DF: Supernova; 2017.

Silva JJLS. Impactos do Desenvolvimento do Potencial Hidroelétrico sobre os Ecossistemas Aquáticos do Rio Tocantins. [Dissertação de mestrado]. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro; 2007.

Silva DA, *et al.* Impactos Ambientais e Gestão Sustentável de Recursos Hídricos no Cerrado Brasileiro. *Journal of Environmental Management*. 2023; 310: 114695.

União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). The IUCN red list of threatened species. [Internet]; 2022. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>

Vari R, Harold AS. Phylogenetic Study of the Neotropical Fish Genera *Creagrutus* Gunther and *Piabina* Reinhardt (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes), with a Revision of the Cis-Andean Species. Smithsonian Institution Press Washington; 2001.

Vari R, Castro R. New Species of *Astyanax* (Ostariophysi: Characiformes: Characidae) from the Upper Rio Parana System, Brazil. *Bioone*. 2007; 1: 150-162.

Vieira DB, Shibatta OA. Peixes como indicadores da qualidade ambiental do ribeirão Esperança, município de Londrina, Paraná, Brasil. *Biota Neotropica*. 2006; 7(1):58-65.

Wlasow T, Demska-Zakes K, Gomulka P, Jarmolowicz S. Various aspects of piscine toxicology. *Interdiscip Toxicol.* 2010; 3(3): 100–104.

Zawadzki CH, *et al.* A new species of *Hypostomus* Lacépède, 1803 (Siluriformes: Loricariidae) from the rio Tocantins-Araguaia basin, Brazil. *Neotropical Ichthyology.* 2013; 11(1): 73-80.

Capítulo II: Verificando o nível de Assimetria Flutuante em populações de peixes nos riachos da Chapada dos Veadeiros/Goiás, sub-bacia do Alto Rio Tocantins

RESUMO

A verificação da assimetria flutuante (AF) em populações de organismos pode ser relevante para o monitoramento de impactos ambientais. Assim, o objetivo desta pesquisa foi investigar diferenças morfológicas derivadas da assimetria flutuante em diferentes populações que se encontram em áreas com níveis de preservação distintos. Para essa investigação, foram selecionadas drenagens do Rio São Bartolomeu, no Alto Rio Tocantins. Esta drenagem inclui os riachos Indaiá e Brejão, ambos apresentando parte da sua extensão com diferentes níveis de preservação. Foram amostrados dois pontos, um antropizado e um preservado, em cada riacho. Para definir o nível de preservação, foi utilizado o protocolo de Callisto *et al.* (2002). A espécie *Moenkhausia aurantia* Bertaco, Jerep, Carvalho 2011 foi selecionada para a averiguação da existência de assimetria flutuante por apresentar alta abundância e para as análises de assimetria flutuante, seguimos o protocolo de Palmer e Strobeck (1994). Foram tomados dados merísticos e morfométricos das estruturas selecionadas. Para comparar os níveis de assimetria flutuante entre as populações, utilizou-se um teste de análise de variância de dois fatores (ANOVA) para os dados morfométricos. Para os dados merísticos, foi utilizado o Modelo Linear Generalizado (GLM) para comparar os níveis de preservação. Os dados morfométricos apresentaram dependência nos testes de correlação. Foram mensurados 343 indivíduos, dos quais 166 foram coletados no riacho Indaiá e 177 no riacho Brejão. As médias dos traços dos lados direito e esquerdo não foram significativamente diferentes de zero, descartando a presença de assimetria direcional. A presença de antissimetria para os caracteres analisados em *M. aurantia* foi descartada, uma vez que as variâncias dos dados apresentaram uma distribuição normal. A existência de assimetria flutuante foi validada para cada um dos caracteres investigados por atenderem aos pressupostos. Foram observados índices de assimetria flutuante significativamente diferentes para o comprimento da nadadeira peitoral nos

espécimes de *M. aurantia* provenientes dos riachos Indaiá e Brejão, com o riacho Indaiá apresentando espécimes com índices de AF maiores. Entretanto, nem a qualidade do ambiente nem a interação entre riacho e qualidade do ambiente foram boas preditoras para as diferenças observadas. Já para o comprimento da nadadeira pélvica, houve diferenças significativas nos valores de AF entre espécimes de locais antropizados e preservados, sendo significativamente maiores os índices no primeiro. Para os dados de contagem (raios da nadadeira pélvica, raios da nadadeira peitoral, número de poros do pré-opercular e o número de escamas da linha lateral), foram testados quatro modelos pela análise de Modelo Linear Generalizado (GLM). Dentre os caracteres analisados, apenas os raios da nadadeira pélvica não apresentaram diferenças significativas entre os modelos testados. Dessa forma, com essa pesquisa foi possível verificar a relação da assimetria flutuante com a variação morfológica das populações. Essa ferramenta mostrou-se eficaz para a investigação de variações subletais nas populações de peixes.

Palavras-chave: Assimetria flutuante; peixes; Variação morfológica; Chapada dos Veadeiros; Alto Tocantins.

ABSTRACT

The verification of fluctuating asymmetry (FA) in populations of organisms may be relevant for monitoring environmental impacts. Thus, the objective of this research was to investigate morphological differences derived from fluctuating asymmetry in different populations that are found in areas with different levels of preservation. For this investigation, drainages from the São Bartolomeu River, in the Upper Rio Tocantins, were selected. This drainage includes the Indaiá and Brejão streams, both of which present part of their extension with different levels of preservation. Two points were sampled, one anthropized and one preserved, in each stream. To define the level of preservation, the protocol by Callisto et al. (2002). The species *Moenkhausia aurantia* Bertaco, Jerep, Carvalho 2011 was selected to investigate the existence of fluctuating asymmetry due to its high abundance and for the analyzes of fluctuating asymmetry, we followed the protocol of Palmer and Strobeck (1994). Meristic and morphometric measurements were taken of the selected structures. To compare the levels of fluctuating asymmetry between populations, a two-way analysis of variance (ANOVA) test was used for the morphometric data. For meristic data, the Generalized Linear Model (GLM) was used to compare preservation levels. The morphometric data, as they are continuous, were dependent on correlation tests. 343 individuals were measured, of which 166 were collected in the Indaiá stream and 177 in the Brejão stream. The means of the traces on the right and left sides were not significantly different from zero, ruling out the presence of directional asymmetry. The presence of antisymmetry for the characters analyzed in *M. aurantia* was discarded, since the data variances presented a normal distribution. The existence of fluctuating asymmetry was validated for each of the characters investigated as they met the assumptions. Significantly different floating asymmetry indices were observed for pectoral fin length in *M. aurantia* specimens from the Indaiá and Brejão streams, with the Indaiá stream presenting specimens with higher AF indices. However, neither environmental quality nor the interaction between stream and environmental quality were good predictors for the observed differences. As for the length of the pelvic fin, there were significant differences in FA values between specimens from anthropized and preserved sites, with the indexes being significantly higher in the former. For the count data (pelvic fin rays,

pectoral fin rays, number of preopercular pores and number of lateral line scales), four models were tested by Generalized Linear Model (GLM) analysis. Among the characters analyzed, only the pelvic fin rays did not show significant differences between the models tested. Thus, with this research it was possible to verify the relationship between fluctuating asymmetry and the morphological variation of populations.

Keywords: Fluctuating asymmetry; fish; Morphological variation; Chapada dos Veadeiros; Upper Tocantins.

INTRODUÇÃO

Com as consequências das mudanças climáticas para a sociedade e biodiversidade cada vez mais prementes, um dos enfoques da COP (Conference of Parties, organizada pela Organização das Nações Unidas – ONU) é pensar na mudança da matriz energética, com migração para energias renováveis (Araújo *et al.* 2022). Nesse quesito, o Brasil desponta dentre outros países do grupo das maiores economias do mundo (G20) como aquele com a maior proporção da sua matriz energética advinda de fontes renováveis com 79% (Climate transparency, 2022). Dessas, a maior parte é advinda de usinas hidrelétricas, que somam 57.7% do total de fontes (Climate transparency, 2022). O Brasil tem uma alta capacidade para desenvolvimento de usinas hidrelétricas devido ao seu grande potencial hídrico. Entretanto, apesar de ser uma fonte de energia renovável, a geração de energia por hidrelétricas causa impactos ecológicos e sociais diversos (Williams, 2019) principalmente em corpos d'água doce (Queiroz *et al.* 2013).

Os ecossistemas dulcícolas estão entre os mais diversos por unidade de área no mundo, com aproximadamente 12% das espécies em 2% da área disponível no planeta (Reid *et al.* 2019). Nos corpos dulcícolas também se concentra praticamente metade da diversidade de peixes, com populações inseridas em ambientes que apresentam mudanças drásticas desde a década de 2000 (Pelicice *et al.* 2017). Entretanto, o mecanismo de funcionamento ecossistêmico e, ainda, a causa da perda e redução de habitats afetando a ictiofauna (Silva, 2007) não são completamente conhecidos, sobretudo considerando que se trata de um grupo para o qual grande parte da diversidade ainda não foi descrita formalmente (Silva, 2007).

Dentre os corpos de água doce do Brasil, a bacia do Tocantins-Araguaia está localizada na região central do país, sendo a maior bacia localizada exclusivamente em território brasileiro (Chamon *et al.* 2022). Entretanto, apesar da alta biodiversidade nesta bacia, muitos trechos estão ameaçados e sendo constantemente degradados, ocorrendo o desmatamento de matas ciliares, entrada de fertilizantes nos cursos d'água, e construção de barragens (Chamon *et al.* 2022; Silva *et al.* 2023). Esses impactos aumentaram extensivamente nas últimas décadas, quando o Cerrado se tornou o local de maior produção de grãos

e gado do Brasil, principalmente voltado à exportação de commodities (Klink e Moreira, 2002). Atualmente o Cerrado é considerado a última fronteira agrícola brasileira, especialmente a região conhecida como MATOPIBA, que compreende porções nos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e inclui riachos do Alto Tocantins (Silva *et al.* 2023).

Além disso, esta bacia apresenta alto potencial para o desenvolvimento de usinas hidrelétricas: 73 usinas estão espalhadas pela bacia, a maioria está localizada na sub-bacia do Alto Tocantins (Chamon *et al.* 2022). Tais usinas alteram a dinâmica dos rios, afetando fortemente a ictiofauna de maneira geral, sendo consideradas a maior ameaça para as drenagens de maior porte do Tocantins-Araguaia (Chamon *et al.* 2022). É importante ressaltar também que as ameaças decorrentes de ação antrópica, como as anteriormente citadas, avançam, principalmente, por áreas que foram escassamente estudadas (Choueri e Azevedo, 2017; da Silva *et al.* 2023).

A degradação ambiental, como aquela proveniente das ações antrópicas anteriormente mencionadas, pode afetar as populações de organismos de diversas formas, levando em último caso à mortalidade em massa, redução da fecundidade, até mesmo a extinção (Wodz, 1992; Kasuya *et al.* 2002). Entretanto, efeitos mais sutis, ou subletais, podem ser detectados, incluindo altas taxas de anomalias morfológicas (Leary *et al.* 1989). Quando efeitos subletais são detectados precocemente é possível progredir com ações mitigatórias, que previnam uma maior degradação local (Galloway *et al.* 2004). Neste cenário, a verificação da assimetria flutuante pode ser uma ferramenta relevante para estudos de monitoramento de impacto sobre a fauna.

A assimetria flutuante mensura pequenas variações que ocorrem nos caracteres bilaterais de uma determinada espécie, as quais podem indicar uma resposta biológica ao ambiente sob perturbação (Mendes, 2014). Apesar de variações em características simétricas existirem de forma natural (especialmente no que concerne a assimetria direcional), a existência de assimetria flutuante (na qual o lado e a conformidade do desenvolvimento assimétrico muda conforme o organismo, pois não apresenta um padrão em seu desenvolvimento) seria um indicativo de que estressores genéticos ou ambientais resultariam na inabilidade dos organismos de se desenvolverem em

caminhos precisamente determinados (Sanseverino e Nessimian, 2008). Portanto, quando a assimetria flutuante existe, supõe-se que os organismos podem estar sendo expostos a estressores ambientais durante seu desenvolvimento (Allenbach, 2011).

A simetria é uma forma básica do corpo que se refere ao arranjo com disposição correlata das estruturas (Brusca, 2007). Dessa forma, as características bilaterais de um organismo se desenvolvem de forma simétrica, já que estão sob a expressão do mesmo genoma (Clarke, 1998). Quando ocorre a inabilidade do desenvolvimento simétrico, é possível observar casos de assimetria. O desvio da simetria bilateral correlata pode acontecer de três tipos diferentes: a assimetria flutuante (AF), assimetria direcional (AD) e antissimetria (AT) (Figura 1) (Allenbach, 2011).

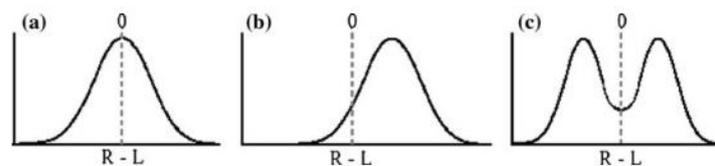


Figura 1. Distribuição das médias bilaterais em organismos com simetria bilateral: a) Assimetria flutuante, b) Assimetria direcional e c) Antissimetria. R-L é a diferença entre os lados direito e esquerdo. Extraído de Allenbach, 2011.

A assimetria direcional consiste no maior desenvolvimento de um lado de uma determinada estrutura dentro de uma população, decorrendo em uma diferença entre os lados esquerdo e direito diferente de zero (Sanseverino e Nessimian, 2008). A antissimetria ocorre quando determinada estrutura apresenta uma distribuição bimodal, ou seja, em metade da população a estrutura se desenvolve mais do lado esquerdo, enquanto na outra metade a mesma estrutura se desenvolve mais do lado direito (Sanseverino e Nessimian, 2008). Em mamíferos é possível observar estruturas como o coração que tem a assimetria direcional, e em artrópodes é possível observar estruturas antissimétricas como é o caso das quelas de crustáceos (Sanseverino e Nessimian, 2008).

Esses dois tipos de assimetria são tratados como normais dentro de uma determinada população, ocorrendo na natureza devido ao controle de seu desenvolvimento por fatores genéticos, e podem e serão tratadas como tipos

adaptativos de assimetrias (Palmer, 2001). Por outro lado, na assimetria flutuante ocorre o desvio de estruturas de forma aleatória, de maneira que a diferença entre o lado esquerdo e direito é igual a zero (Allenbach, 2011). Esse desvio aleatório é indicativo de distúrbios no desenvolvimento individual, indicando que estressores genéticos ou ambientais resultariam na incapacidade dos indivíduos de se desenvolverem de forma precisa e, portanto, tais indivíduos apresentariam diferenças fenotípicas na ontogenia (Zakharov e Trofimov, 2022).

Sendo derivada de situações estressoras, a assimetria flutuante pode ser usada como uma medida de estabilidade do desenvolvimento, e tem sido aplicada no biomonitoramento de populações de animais e vegetais (Reis *et al.* 2011). Apesar do seu uso com sucesso na literatura há pelo menos 50 anos, a assimetria flutuante foi aplicada poucas vezes para estudos de estresse exógeno sobre populações de peixes dulcícolas brasileiros (Sanseverino e Nessimian, 2008; Allenbach, 2011). Por exemplo, uma pesquisa brasileira feita na Baía de Guanabara/Rio de Janeiro, com o uso da assimetria flutuante, indicou diferenças significativas nos seis caracteres analisados da espécie de peixe marinha *Orthopristis rubra* (Cuvier 1830), denotando estresse ambiental (Seixas, 2014). Também com peixes, mas do Paleártico, Oxnevad *et al.* (2002) investigaram o nível de assimetria flutuante em *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 em resposta à acidez de diferentes lagos. Por fim, a assimetria flutuante também pode servir como uma medida indireta para a heterozigose genética, refletindo em diferenças morfológicas, como feito para duas populações do gênero *Astyanax* Baird & Girard, 1854 por Gross *et al.* (2004).

Considerando a relevância de se verificar indicadores de estressores ambientais subletais, que possibilitem a mitigação de impactos a comunidades de peixes, este projeto visa testar a assimetria flutuante como uma ferramenta para detectar o impacto da antropização sobre a morfologia de determinada espécie dulcícola.

OBJETIVO GERAL

Investigar diferenças morfológicas derivadas da assimetria flutuante entre indivíduos de uma espécie, mas de diferentes populações que se encontrem em áreas com diferentes níveis de preservação.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar diferenças morfológicas derivadas da assimetria flutuante entre subpopulações, os quais se encontrem tanto em áreas preservadas como em áreas antropizadas;
- Avaliar o poder explanatório da Assimetria Flutuante como indicador da pressão de antropização sobre o desenvolvimento dos organismos estudados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Foi selecionada a drenagem do Rio São Bartolomeu, no Alto Rio Tocantins, para verificação da assimetria flutuante em populações de peixes. Tal drenagem foi escolhida por conter os riachos Indaiá e Brejão, ambos apresentando parte da sua extensão em terreno antropizado e parte em terreno preservado.

Há uma proposta para a criação da Reserva Privada do Patrimônio Natural (RPPN) Diamante, local onde o Rio São Bartolomeu e suas drenagens se encontram. Essa proposta trata da extensão da reserva já existente, com 369.2796 hectares, para um total de 962.7628 hectares (Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, 2013). Com a efetivação de tal proposta, a RPPN seria uma extensão do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (Ministério do Meio Ambiente, 2015). Os pontos amostrados se encontram dentro da Fazenda Brejão (município de Alto Paraíso-GO), que apresenta, portanto,

locais antropizados com presença de pastagem, e locais preservados, que correspondem à metragem indicada para a RPPN proposta.

Foram amostrados dois pontos, um antropizado e um preservado, em cada riacho, totalizando quatro pontos amostrais (Figura 2). A distância entre os pontos amostrados de cada riacho foi de no mínimo 200m, para melhor individualizar os pontos quanto às pressões antrópicas adjacentes. Para identificar o ponto com influência antrópica foi observada a presença de atividades humanas, como pastagem e atividades agrícolas.

O riacho Indaiá (14°3'43.37"/47°15'56.35") apresenta em sua borda a vegetação de mata de galeria. Entretanto, ao longo da sua extensão em porções fora da RPPN, apresenta aberturas para passagem de carro e gado, além desflorestamento para campo de pastagem. O fundo do riacho é diversificado, com pedaços de troncos submersos, cascalho e areia. Além disso, possui frequência de corredeiras curtas e rasas que se intercalam com áreas de poção. O riacho Brejão (14°0'66.31"/ 47°24'79.88") também apresenta a vegetação ciliar de mata de galeria, a qual também é interrompida fora da RPPN para passagem de carro e acesso do gado ao riacho. Além disso, esse riacho possui dentro da área da RPPN uma acentuada canalização de água para alimentação de açudes e da sede da fazenda. O fundo do riacho possui seixos como cascalho comum, com vários trechos de fundo lodoso. Ambos os riachos nascem na Serra Geral e deságuam no Rio São Bartolomeu.

A fitofisionomia da região se caracteriza por Cerrado *stricto sensu*, subtipo rupestre. Ao longo dos riachos ocorrem veredas e matas de galeria. A pluviosidade da região apresenta os meses de novembro, dezembro e janeiro com 49,6% da precipitação anual e os meses com menor incidência de precipitação são os meses de junho, julho e agosto acumulando 0,9%. A estação chuvosa se concentra nos meses de novembro a março e o período de seca nos meses de maio a setembro, com temperatura média anual de 22°–23°C (Machado, 2020).

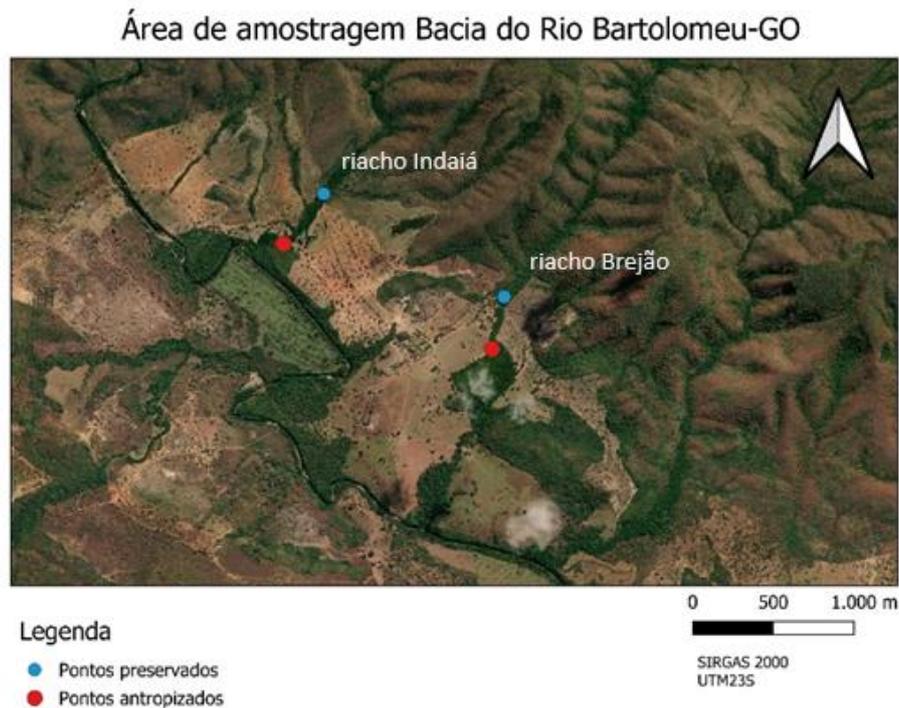


Figura 2. Mapa dos pontos de amostragem da Bacia do Rio Bartolomeu, Goiás. Pontos em azul representam áreas preservadas e os pontos em vermelho representam áreas antropizadas em ambos os riachos, Indaiá e Brejão.

Os pontos de coleta foram caracterizados quanto à presença e proximidade de pressões antrópicas (pastagens, monoculturas, urbanização, plantas exóticas nas bordas, cobertura do dossel, barragens, etc.) utilizando o protocolo de avaliação rápida de habitat de Callisto *et al.* (2002). Este protocolo permite caracterizar as condições ecológicas em trechos de bacias hidrográficas de maneira qualitativa, visando uma descrição geral do ambiente utilizando de informações visuais. Os atributos de qualidade do habitat são pontuados ao longo de um gradiente, fornecendo pontuações que podem ser traduzidas para o nível de preservação local (Callisto *et al.* 2002). Tal protocolo avalia um conjunto de parâmetros físicos do riacho e seu entorno, atribuindo pontuações de zero a cinco pontos que refletem a qualidade do ambiente (Anexo 1). Ao final somam-se os pontos e essa pontuação reflete o nível de preservação do local: locais cuja soma se dá entre 0 e 40 são identificados como impactados, de 41 a 60 pontos como alterados, e acima de 61 pontos como trechos naturais.

Coleta de dados

Foram feitas quatro coletas por ano entre março de 2021 e agosto de 2023, sendo duas coletas na estação de seca e duas coletas na estação chuvosa. O esforço amostral foi de 40 a 50 minutos em cada ponto amostrado. Os peixes foram capturados com rede de arrasto de mão (picaré), puçá e armadilha de covó. As armadilhas de covó foram deixadas no período da noite e retiradas no dia seguinte antes de começar a amostragem do ponto. Essa metodologia foi aplicada para os quatro pontos amostrados nos dois riachos. Os espécimes coletados nas expedições foram eutanasiados com eugenol (em concentração mínima de 40mg/l) segundo o protocolo de Lucena *et al.* 2013, fixados em formaldeído tamponado 10% e, posteriormente, preservados em etanol 70%. O material coletado foi depositado na Coleção Ictiológica da Universidade de Brasília (CIUnB).

A espécie *Moenkhausia aurantia* Bertaco, Jerep, Carvalho 2011 (Figura 3) foi selecionada para a averiguação da existência de assimetria flutuante por apresentar alta abundância tanto nos trechos de riacho sob influência de antropização quanto nos preservados. A identificação da espécie foi feita a partir do artigo de Bertaco, Jerep, Carvalho 2011 que trata da descrição original da espécie. Os indivíduos da espécie selecionada foram investigados quanto à existência de traços morfológicos distintos que desviem da simetria bilateral esperada, os quais possam ser ocasionados pelo estresse causado pelas pressões antrópicas, indicando a qualidade ambiental.

Os traços morfológicos investigados são derivados de dados merísticos e morfométricos bilaterais dos espécimes. A definição utilizada para a investigação das estruturas foi fundamentada em estudos já presentes na literatura (*e.g.* Seixas, 2014). Os dados merísticos investigados foram: número de raios nas nadadeiras pares (peitoral e pélvica), escamas da linha lateral, e poros do canal sensorial pré-opercular no dentário e hiomandibular. Também, dados morfométricos investigados foram referentes ao comprimento das nadadeiras pares (peitorais e pélvicas). As medições foram tomadas com paquímetro digital com precisão de 0.01 mm, seguindo o protocolo de Fink & Weitzman (1974).

Para a verificação do erro de medição dos indivíduos, as medidas foram executadas pelo mesmo medidor duas vezes para cada traço e indivíduo. Foi então calculado o desvio padrão entre as medidas de cada traço e indivíduo, e uma média do desvio de cada traço. Valores de desvio baixos (menores que 0.1%) indicam que o erro de medição é desprezível. Uma análise de teste *t* foi executada para determinar se a variação dos lados dos indivíduos era significativamente diferente do que o erro medido e calculado.



Figura 3. CIUnB uncat, *Moenkhausia aurantia*, 29.5 mm CP, riacho Indaiá, Alto Paraíso Goiás.

Apenas indivíduos adultos foram incluídos nas análises de assimetria para evitar uma amplitude de variação que não seria causado pela assimetria flutuante, mas por possíveis padrões alométricos de crescimento. Para a identificação de indivíduos adultos foi utilizado o comprimento médio de primeira maturação de 32.8 mm (segundo Lourenço *et al.* 2008), e indivíduos menores foram eliminados das análises.

Estimativa da assimetria flutuante

Para as análises de assimetria flutuante seguimos o protocolo de Palmer e Strobeck (1994). Neste protocolo, é calculado o índice de assimetria para cada indivíduo e característica (IA), dado pelo valor em módulo da subtração do valor do traço do lado esquerdo pelo direito.

$$IA = |E - D|$$

Esse índice de assimetria pode ser relativo à ocorrência de assimetria direcional, antissimetria, ou assimetria flutuante. Para descartar a ocorrência de assimetria direcional, é utilizado um teste *t* comparando se as distribuições dos traços dos lados esquerdo e direito são significativamente iguais a zero para

cada característica. Para descartar a existência de antissimetria, é aferida a normalidade da variância dos dados de cada característica por meio de um teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965). Características cujas distribuição não são significativamente diferentes de zero, e cuja distribuição é normal, são compreendidas como apresentando assimetria flutuante (AF) e descarta-se a ocorrência de assimetria direcional e antissimetria.

Para testar as correlações entre variáveis, três tipos de correlações foram verificadas utilizando o teste de correlação de Pearson: a interação I verificou a dependência da assimetria flutuante em relação ao tamanho da estrutura; a interação II verificou a dependência do tamanho da estrutura em relação ao comprimento padrão; e a interação III testou a dependência da assimetria flutuante em relação ao comprimento padrão. Em casos de dependência afirmativa, os valores dos IA foram corrigidos seguindo as recomendações de Palmer e Strobeck, 1994, com a log-transformação dos dados amostrais. Os dados morfométricos, por serem dados contínuos, apresentaram dependência para os três tipos de correlação que foram testados. Para remover a escala da dependência da assimetria flutuante com as correlações testadas os IA foram calculados com o valor de $\log(E/D)$.

Análises estatísticas

Para comparar os níveis de assimetria flutuante entre as populações, para os dados morfométricos, foi utilizado um teste de análise de variância de dois fatores-ANOVA, considerando a qualidade (antropizado e preservado) e o riacho (Indaiá e Brejão) como fatores. Para a ANOVA calculada, foi realizada uma análise de comparação múltipla de Tukey *a posteriori*. Esse teste mostra as diferenças mínimas significativas de todos os possíveis pares de média, indicando as amostras que são estatisticamente diferentes.

Para os dados merísticos foi utilizado o Modelo Linear Generalizado-GLM. A escolha do GLM se deu por permitir a análise de dados cuja distribuição do erro não é necessariamente normal (por exemplo, distribuição de Poisson), como geralmente ocorre com dados de contagem. No GLM são testados modelos generalizados diferentes e posteriormente é utilizado o Critério de Informação de Akaike-AIC que mensura os modelos estatísticos, lhe atribuindo

uma pontuação: quanto menos informação o modelo perde de acordo com o AIC, melhor a qualidade explicativa do modelo.

Os dados foram analisados no programa R (R CORE TEAM, 2016), utilizando o RStudio (RSTUDIO TEAM, 2022), adotando para as análises o nível de significância de 5%. Os pacotes utilizados foram *energy* e *pacman* para rodar a análise de GLM, para a ANOVA e a correlação usamos o pacote *tidyverse* e para os gráficos utilizamos o pacote *ggplot*.

RESULTADOS

Foram coletados 585 indivíduos da espécie *Moenkhausia aurantia*. Destes, 343 indivíduos foram mensurados e analisados, o restante foi eliminado da análise por apresentar o comprimento padrão inferior a 32.8mm e, dessa forma, foram interpretados como juvenis (e.g., Lourenço *et al.* 2008). Dos 343 indivíduos analisados, 166 indivíduos foram coletados no riacho Indaiá e 177 no riacho Brejão, sendo que no riacho Indaiá 100 indivíduos foram coletados em área preservada e 66 indivíduos em área antropizada, já no riacho Brejão 112 indivíduos foram coletados no trecho do riacho preservado e 65 no trecho antropizado. De acordo com o protocolo de Callisto *et al.* (2002) o trecho antropizado do riacho Indaiá somou 41 pontos, sendo considerado um ambiente alterado, enquanto o trecho preservado apresentou 80 pontos, sendo considerado um ambiente natural. O trecho antropizado do riacho Brejão apresentou 43 pontos, sendo classificado como alterado, e o trecho preservado desse riacho apresentou 81 pontos, sendo um ambiente natural (Anexo 2).

A média dos valores de assimetria flutuante foi calculada, assim como o desvio padrão para cada caráter (Tabela 1). As médias dos traços dos lados direito e esquerdo não são significativamente diferentes de zero, descartando a presença de assimetria direcional (Tabela 2). A presença de antissimetria para os caracteres analisados em *M. aurantia* foi descartada, uma vez que as variâncias dos dados apresentaram uma distribuição normal (Figura 4). Por fim, a existência de assimetria flutuante foi validada para cada um dos caracteres investigados por atenderem aos pressupostos de normalidade pela distribuição dos lados ser iguais a zero.

Tabela 1. Média dos valores de assimetria flutuante com desvio padrão (SD).

Carácter	AF (Média)	AF (SD)
raios nadadeira peitoral	0.44	0.67
raios nadadeira pélvica	0.10	0.31
escamas linha lateral	0.77	0.85
poros pré-opérculo	0.36	0.51
comprimento nadadeira peitoral	0.36	0.31
comprimento nadadeira pélvica	0.34	0.26

Tabela 2. Valores do teste *t* para verificar a existência de assimetria direcional. Como os valores encontrados não são significativos, descarta-se a assimetria direcional.

Carater	valor- <i>p</i>	<i>t</i>-test
comprimento nadadeira peitoral	0.275	-1.09
comprimento nadadeira pélvica	0.588	0.541
número de raios nadadeira peitoral	0.321	0.993
número de raios nadadeira pélvica	0.434	-0.781
número de poros do pré-opérculo	0.671	-0.424
número de escamas linha lateral	0.246	-1.159

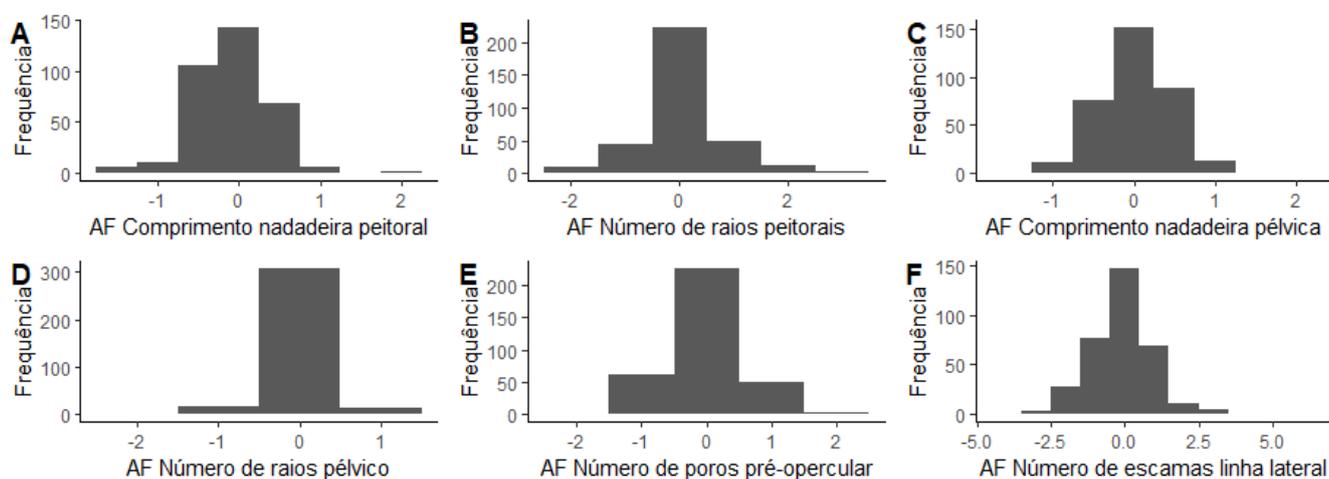


Figura 4. Teste de normalidade da variância com Shapiro-Wilk dos seis caracteres, não apresentaram distribuição bimodal.

Para a análise, conduzimos separadamente os dados morfométricos e os dados merísticos, uma vez que os dados merísticos são dados de contagem e, dessa forma, os pressupostos de normalidade não foram atendidos para executar uma análise de ANOVA. Portanto, abaixo são apresentados os resultados referentes às assimetrias presentes em caracteres morfométricos e merísticos separadamente.

Dados Morfométricos

Os caracteres morfométricos (comprimento da nadadeira peitoral e o comprimento da nadadeira pélvica) apresentaram dependência para as três correlações testadas, sendo, portanto, utilizados os dados log-transformados para tais caracteres no cálculo dos índices de assimetria flutuante. Como os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade foram atingidos, a relação entre os valores de assimetria flutuante e a qualidade do ambiente e/ou riachos foi testada por Anova de dois fatores.

Nem a qualidade do ambiente nem a interação entre riacho e qualidade do ambiente foram boas preditoras para diferenças nos valores de AF dessa estrutura (Tabela 3). Entretanto, foram observados índices de assimetria flutuante significativamente diferentes para o comprimento da nadadeira peitoral nos espécimes de *M. aurantia* provenientes dos riachos Indaiá e Brejão, com o riacho Indaiá apresentando espécimes com índices de AF maiores (Figura 5 e Tabela 4).

Já para o comprimento da nadadeira pélvica, houve diferenças significativas nos valores de AF entre espécimes de locais antropizados e preservados, sendo significativamente maiores os índices no primeiro (Figura 6). Entretanto, o riacho isoladamente ou a interação entre riacho e qualidade do ambiente não foram boas preditoras para diferenças nos índices de AF dessa estrutura (Tabela 3). Para o comprimento da nadadeira pélvica, existem valores maiores para assimetria flutuante nos riachos antropizados (Figura 6).

O teste de Tukey, realizado *a posteriori* para comparações múltiplas, indicou que há diferença entre as amostras dos riachos Indaiá e Brejão para o comprimento da nadadeira peitoral e, existe diferença entre os valores de AF das populações analisadas para os locais preservado e antropizado para o comprimento da nadadeira pélvica (Tabela 4).

Tabela 3. Valores do teste de Anova para as estruturas morfométricas. Em vermelho são destacados os valores de p cujas diferenças são significativas

Carácter	riacho		qualidade		riacho:qualidade	
	valor- F	valor- p	valor- F	valor- p	valor- F	valor- p
comprimento nadadeira peitoral	4.3482	0.0378	0.7078	0.4008	2.0681	0.1513
comprimento nadadeira pélvica	0.0909	0.7632	4.1443	0.0425	0.2552	0.6137

Tabela 4. Valores do teste de Tukey para as estruturas morfométricas. Em vermelho são destacados os valores de p cujas diferenças são significativas.

Carácter	riacho	valor- p	qualidade	valor- p
comprimento nadadeira peitoral	Indaia-Brejao	0.0124	0.038	0.635
comprimento nadadeira pélvica	preservado-antropizado	0.002	0.764	0.039

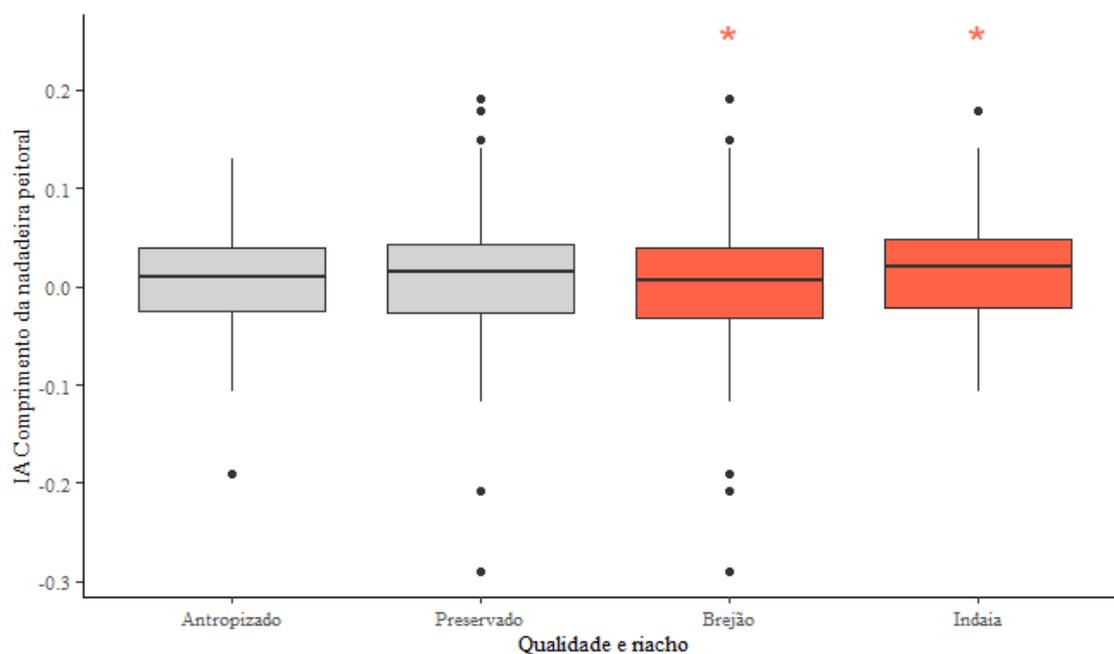


Figura 5. Índice de assimetria flutuante no comprimento da nadadeira peitoral, calculado com $\log(E/D)$. Categorias com asteriscos (Brejão e Indaia) diferenciam estatisticamente com nível de significância de 0,05%, de acordo com o teste de Tukey.

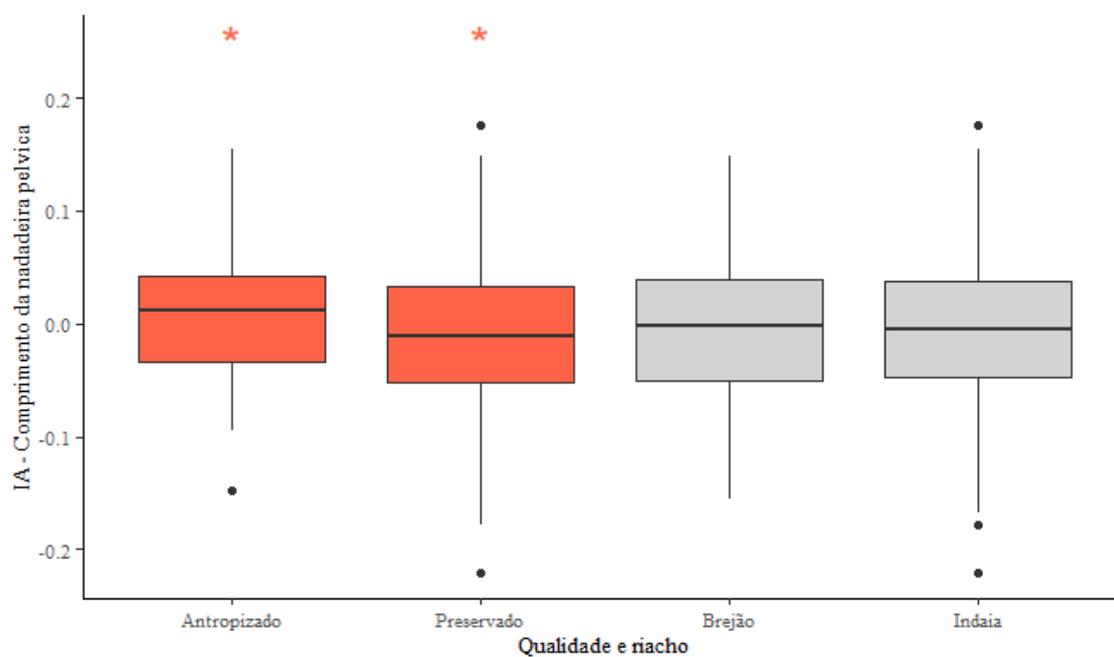


Figura 6. Índice de assimetria flutuante no comprimento da nadadeira pélvica, calculado com $\log(E/D)$. Categorias com asteriscos (Antropizado e Preservado) diferenciam estatisticamente com nível de significância de 0,05%, de acordo com o teste de Tukey.

Dados Merísticos

Para os dados de contagem (raios da nadadeira pélvica, raios da nadadeira peitoral, número de poros pré-operculares e o número de escamas da linha lateral) foram testados quatro modelos pela análise de Modelo Linear Generalizado-GLM, de forma a entender se há diferenças significativas nos valores de AF a depender do riacho, qualidade do ambiente, e interações entre esses fatores (Tabela 5). Dentre os caracteres analisados, apenas os raios da nadadeira pélvica não apresentaram diferenças significativas entre os modelos testados, de forma que riacho, qualidade do ambiente ou relação entre ambos não explicam de maneira satisfatória diferenças nos índices de AF deste caráter (Tabela 5).

Dos caracteres restantes, diferenças nos índices de AF para os raios da nadadeira peitoral e para o número de escamas da linha lateral foram bem explicados pelo componente riacho; enquanto para o número de poros do canal látero-sensorial no pré-opérculo foram bem explicados pela qualidade do ambiente. Entretanto, para este último, as diferenças não alcançaram o nível de significância estatística de 0,05% (Tabela 5).

Tabela 5. Valores do critério de informação de Akaike (AIC) e o valor de p para cada modelo testado. Os menores valores de AIC estão em negrito. Em vermelho são destacados os valores de p cujas diferenças são significativas.

Caráter	modelos					valor p
	qualidade*riacho	qualidade + riacho	qualidade	riacho	sem modelo	
raios nadadeira peitoral	595.0363	593.7622	596.6067	592.691	594.9611	riacho $p = 0.0406$
raios nadadeira pélvica	237.7376	236.587	235.0912	234.7211	233.1531	Sem modelo
escamas linha lateral	765.1669	763.167	781.7016	763.7484	780.4084	riacho $p = 2.34e-05$
poros pré- opérculo	506.1987	504.4868	502.5555	505.7262	503.7297	qualidade $p = 0.0679$

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo indicam a existência de assimetria flutuante para cinco dos seis caracteres analisados. O número de raios da nadadeira pélvica foi a característica analisada que não apresentou diferenças significativas entre as populações de diferentes riachos e qualidade do ambiente (Tabela 5). Assim, este caráter é bastante conservado entre populações, e apresenta baixo potencial para estudos de assimetria flutuante. Por outro lado, para os caracteres que apresentaram assimetria flutuante, foram encontradas associações ou com um fator analisado (riacho ou qualidade do ambiente), o que traz implicações interessantes para o uso da AF como indicador de estresse ambiental.

Os caracteres relativos à nadadeira peitoral (comprimento e contagem de raios) e escamas da linha lateral apresentaram maiores variações nos valores de AF quando comparados entre os diferentes riachos. Por outro lado, o comprimento da nadadeira pélvica e número de poros no canal látero-sensorial pré-opercular apresentaram maiores variações quando comparadas populações residentes em ambientes com níveis de preservação diferentes. Entretanto, a significância estatística da diferença dos poros foi menor ($p=0.068$), não alcançando o nível de significância de 5% usado neste trabalho. Essas diferenças do(s) fator(es) que influenciam no índice de assimetria indicam ser essencial testar a existência de AF para vários traços e analisá-los ao nível de população, para se obter padrões que permitam avaliar corretamente a existência de instabilidade durante o desenvolvimento.

A atenuação da estabilidade da ontogenia de um organismo pode servir como um alerta biológico de estresse ambiental, visto que diferenças morfológicas podem ser entendidas como resultado de imperfeição na compreensão genética no processo de desenvolvimento individual (Zakharov e Trofimov, 2022). Assim, a instabilidade no fenótipo resultante representa um componente de variação fenotípica estocástico (Lajus *et al.* 2019). A existência de AF aponta apenas que a população está sujeita a algum estresse, e pode ser multifatorial (Leary e Allendorf, 1989). Em uma revisão, Sanseverino e Nessimian

(2008) elencaram onze estudos experimentais que indicaram ao menos nove estressores que levam à AF em peixes, dentre eles diferenças de temperatura, poluição, parasitas e mesmo a competição por recursos. Apesar da concordância entre diferentes caracteres estar implicitamente assumida como uma pré-condição para considerar a instabilidade genética como geradora da assimetria flutuante, é importante considerar que caracteres diferentes podem responder de forma diferente ao estresse, uma vez que as influências genéticas ou ambientais podem agir de forma diferente dificultando a comunicação entre os lados do organismo (Hoffmann e Woods, 2003; Freeman *et al.* 2005).

A escolha inicial de se avaliar a presença de assimetria flutuante no número de raios e tamanho das nadadeiras peitorais e pélvicas se deveu ao fato de serem estruturas pareadas, mas também por se formarem em momentos próximos ao longo do desenvolvimento de *Moenkhausia* (Marinho, 2022). O desenvolvimento da nadadeira peitoral ocorre ao longo de um vasto período em diversas espécies de peixes (e.g., Cabbage e Mabee, 1996; Arratia, 2010; Mattox *et al.* 2014), também tendo sido assim registrado para *Moenkhausia pittieri* Eigenmann, 1920 (Marinho, 2022). Entretanto, apesar do primórdio da nadadeira peitoral já estar presente em espécimes com 2 dias após a eclosão do ovo (2 dph), os raios desta nadadeira se formam apenas com 58 dph (entre 11 e 12 mm CP) (Marinho *et al.* 2017; Marinho, 2022). Já para a nadadeira pélvica, seu primórdio está presente com 49 dph, e os raios se formam com 52 dph (10 mm CP), em um período mais curto (Marinho *et al.* 2017; Marinho, 2022).

Assim, podemos observar que a formação dos raios de ambas as nadadeiras se dá em momentos muito próximos do desenvolvimento. Este é um fato importante, já que fatores estressores presentes no ambiente poderiam afetar ambas as estruturas no mesmo período do desenvolvimento da larva. Também, pesquisas apontam que em áreas degradadas a nadadeira pélvica de *Knodus moenkhausii* (Eigenmann & Kennedy, 1903) desenvolveu um maior nível de assimetria flutuante, assinalando ser uma estrutura eficaz para investigação de AF (Drager, 2022). Porém, nossos resultados foram conflitantes para a espécie aqui analisada, que apresentou a contagem de raios da nadadeira pélvica conservada dentro das populações.

O que observamos é que as nadadeiras respondem de forma diferente aos fatores estressantes investigados, com caracteres relativos à nadadeira peitoral apresentando maiores variações nos valores de AF quando comparados entre os diferentes riachos, enquanto o comprimento da nadadeira pélvica apresentou maiores variações quando comparadas populações residentes em ambientes com níveis de preservação diferentes. Nesse sentido, a função das nadadeiras pélvicas pode ser determinante para a existência de pressões estabilizadoras de forma dos organismos. No caso de peixes cujas nadadeiras pélvicas apresentam alinhamento vertical mais próximo ao centro de massa (como é o caso nas espécies de *Moenkhausia*), as nadadeiras pélvicas têm funções locomotoras ativas e estabilizadoras de movimento em manobras delicadas (principalmente em menor velocidade), enquanto as nadadeiras peitorais atuam como hidrofólios para a locomoção nas diferentes alturas da coluna d'água (Standen, 2008).

Assim, uma possível explicação é que em ambientes com maior pobreza tridimensional de microhabitats não haja uma pressão estabilizadora, que é uma seleção que elimina fenótipos que estejam longe do fenótipo ideal (Simon, 2010) na forma da nadadeira pélvica e, assim, ela passa a ser mais susceptível a variações derivadas da assimetria. Este é o caso da comparação entre ambientes com diferentes níveis de antropização. Como pode ser observado no Anexo 2, os locais preservados apresentaram habitats mais diversificados que os antropizados, o que pode gerar uma pressão estabilizadora na forma da nadadeira pélvica, permitindo a execução de manobras e estabilização corporal posterior.

Já as nadadeiras peitorais de *Moenkhausia aurantia* apresentam inserção no corpo aproximadamente paralela ao eixo ântero-posterior, em uma posição anterior. A espécie se move por natação do tipo carangiforme, com movimentação predominante da metade posterior do eixo axial (obs. pess.). Dado que o movimento de remar (*paddling*) é pequeno, sendo predominante o uso da nadadeira peitoral para o movimento de subida e descida na coluna d'água (*heaving*), assim o movimento das nadadeiras peitorais nesta espécie está correlacionado com a movimentação vertical na coluna d'água (Breda *et al.* 2005). Como a nadadeira peitoral é menos participativa nos movimentos finos, a

quantidade de microhabitats não geraria uma pressão estabilizadora na sua forma, demandando outras hipóteses. Neste caso, a explicação é que características dos riachos possam estar atuando como filtros ambientais, e não o fator qualidade.

No riacho Brejão, em sua área mais preservada, há uma pequena barragem para captação de água, de forma que há um represamento do riacho, com o fluxo de água à jusante da barragem sendo derivado de uma pequena porção de água que é desviada por canos. Por mais que a barragem não impeça completamente a passagem de organismos, ela altera a hidrodinâmica, ao menos durante a estação de seca: nas coletas que ocorreram na estação seca foi observada uma nítida formação de ambiente com características mais lênticas à montante da barragem, e desconexão com a parte à jusante; nas coletas em estação chuvosa o aumento no nível da água permitia um extravasamento por cima da barragem. Barreiras naturais (corredeiras, cachoeiras) ou barreiras construídas dificultam a dispersão dos organismos e, como resultado, a similaridade entre os riachos é consideravelmente baixa, pois a discrepância genética e morfológica aumenta entre as populações de uma espécie (Dias *et al.* 2021). Assim, ao longo das estações podemos observar mudanças nas características do fluxo de água do riacho Brejão. Tais mudanças podem atuar como geradores de estresse, que contribuem para os índices de assimetria dos caracteres relativos à nadadeira peitoral no riacho Brejão.

A escolha de escamas da linha lateral para inferir índices de assimetria se deu por dois motivos: a formação de escamas ocorre mais tardiamente no desenvolvimento de *Moenkhausia* (e.g., Marinho *et al.* 2017; Marinho 2022); e o número de escamas da linha lateral é usado recorrentemente para a taxonomia de espécies do gênero, podendo ir de 33 a 35 escamas para *Moenkhausia aurantia* (Bertaco *et al.* 2011). Assim, acreditamos ser um caráter cuja variação seria interessante de ser explorada, e discussões acerca do seu potencial taxonômico poderiam ser feitas. Nossos resultados indicam que os valores de AF para as escamas da linha lateral foi significativo para os riachos, $p= 2.34e-05$ (Tabela 5), com maiores diferenças entre os riachos do que para o fator qualidade ambiental.

O número de escamas não apresenta um valor adaptativo explícito, apresentando uma amplitude de variação. Assim, a explicação para maiores níveis de assimetria entre riachos para as escamas da linha lateral é semelhante àquela apresentada para as estruturas da nadadeira peitoral, onde outras características dos riachos poderiam estar influenciando na morfologia dos indivíduos, demandando outras investigações. Portanto, esses riachos podem estar atuando como um filtro ambiental, uma vez que os indivíduos dentro de uma escala local apresentam certas semelhanças morfológica que possibilitem superar os filtros ambientais aos quais esses organismos estão expostos (Cornwell *et al.* 2006; Sobral e Cianciaruso, 2012).

Por fim, o número de poros do pré-opérculo foi um caráter que apresentou significância estatística baixa para os testes de Assimetria Flutuante. É documentado na literatura que o número de poros dos canais látero-sensoriais cefálicos pode apresentar variação de simetria em populações de peixes cavernícolas (Rizzato e Bichuette, 2017), que poderia incorrer em detecção de assimetria, justificando a inclusão deste caráter no estudo aqui conduzido. Tal variação do número de poros em peixes cavernícolas pode ser explicada pelo pequeno tamanho populacional, que decorreriam em menores níveis de heterozigose e, portanto, em maiores índices de assimetria (Mazzi *et al.* 2002; Rizzato e Bichuette, 2017). Entretanto, em *Moenkhausia* (e.g. Marinho, 2022) o número de poros do osso pré-opercular apresenta uma amplitude considerável de variação intraespecífica, não sendo indicado para investigações de assimetria flutuante.

CONCLUSÃO

Em suma, o intuito do nosso trabalho foi analisar o potencial explanatório da assimetria flutuante como indicadora de estresse subletal para comunidades de peixes de riachos. Encontramos que algumas características apresentam maiores amplitudes nos valores de assimetria, podendo ser empregadas para esse tipo de estudo. Características merísticas que são determinadas precocemente no desenvolvimento, como número de raios das nadadeiras (e.g., Marinho, 2022), apresentam baixos índices de assimetria flutuante. Ainda, para

o caso da nadadeira pélvica, sua importância funcional leva à contagem de raios não ser adequada para este tipo de estudo (em concordância com Palmer e Strobeck, 1986). Já caracteres morfométricos (como as medidas de tais nadadeiras) mudam ao longo da vida do indivíduo, sendo mais adequados para investigações de assimetria flutuante.

Entretanto, os padrões de assimetria encontrados não foram perfeitamente congruentes para as diferentes estruturas e fatores ambientais investigados. Nesse sentido, os caracteres devem ser trabalhados individualmente, para se estabelecer hipóteses para as incongruências encontradas. O número de raios da nadadeira pélvica indicou não ser uma boa estrutura para a investigação de AF, pois não apresentou informações significantes para os fatores investigados: riacho e a qualidade ambiental, sendo uma estrutura bem conservada nas populações. As nadadeiras peitorais (tanto os dados merísticos quanto o comprimento da mesma) apresentaram valores de AF relevantes, mostrando diferença entre os riachos Indaiá e Brejão. Dessa forma esses riachos podem estar atuando como filtros ambientais nessas populações.

Para as escamas da linha lateral foram encontrados valores de AF significativos entre os riachos, de forma que outras características dos riachos podem estar influenciando no desenvolvimento dessa estrutura. Nesta pesquisa, por exemplo, fatores químicos da água não foram verificados, o que poderia ser explorado para se testar a correlação com a AF. Outros trabalhos indicam que impactos ao ambiente aquático no que concerne a qualidade da água influenciam no desenvolvimento de organismos aquáticos (Lutterschmidt, Martin e Schaefer, 2016). Por fim, os poros do osso pré-opercular não apresentaram eficácia para a investigação de assimetria flutuante.

Em suma, é possível notar que o estresse ambiental afeta o desenvolvimento das estruturas de forma diferente, denotando que as estruturas mais sensíveis para a investigação de assimetria flutuante foram os raios da nadadeira peitoral, as medidas de comprimento das nadadeiras peitoral e pélvica, bem como, as escamas da linha lateral. Dessa forma, com nossa investigação foi possível verificar a relação da assimetria flutuante com a

variação morfológica das populações, essa ferramenta mostrou-se eficaz para investigação de variações subletais nas populações de peixes.

REFERÊNCIAS

- Allenbach DM. Fluctuating asymmetry and exogenous stress in fishes: a review. *Fish Biology and Fisheries*. 2011; 21(3):355-376.
- Araújo RS, *et al.* Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. *Society and Development*. 2022; 11(11): 1-14.
- Arratia G. Early Ossification and Development of the Cranium and Paired Girdles of *Chanos chanos* (Teleostei, Gonorynchiformes). *Science Publishers*. 2010; 2: 73-106.
- Bertaco VA, Jerep FC, Carvalho FR. A new characid fish, *Moenkhausia aurantia* (Ostariophysi: Characiformes: Characidae), from the upper rio Tocantins basin in Central Brazil. *ZooTaxa*. 2011; 2934: 29-38.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN. Brasil, Goiás, 2015. Disponível em: <https://goias.gov.br/vistoriaRPPNReservaJM-3b1>
- Breda L, Oliveira EF, Goulart F. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. *Acta Sci Biol Sci*. 2005; 27(4):371-381.
- Brusca B. Invertebrados, 2º edição. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 2007.
- Callisto M, Ferreira WR, Moreno P, Goulart M, Pretucio M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnol*. 2002; 14(1): 91-97.
- Cornwell WK, Schilck DW, Ackerly DD. Trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology*. 2006; 87:1465-1471.
- Cubbage CC, Mabee PM. Development of the cranium and paired fins in the zebrafish *Danio rerio* (Ostariophysi, Cyprinidae). *J Morphol*. 1996; 229(2):121-160.
- Clarke GM. Developmental stability and fitness: the evidence is not quite so clear. *American Naturalist*. 1998; 152:762-66.
- Climate Transparency. Climate Transparency Report 2022. [Internet]. 2022. Disponível em: <https://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2022>
- Chamon CC, Serra JP, Camelier P, Zanata AM, Fichberg I, Marinho MMF. Building knowledge to save species: 20 years of ichthyological studies in the Tocantins-Araguaia River basin. *Biota Neotropica*. 2022; 22(2):1-18.
- Choueri BR, Azevedo RAJ. Biodiversidade e impactos de grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia Tocantins-Araguaia: uma análise sistêmica. *Soc e Nat*. 2017; 29(3): 443-457.
- Dias MS. Macroecologia de peixes de riachos brasileiros. *Oecologia Australis*. 2021; 25(2):512–530. <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2502.18>

Drager DHC. A Ictiofauna de Riachos responde às alterações da paisagem no Cerrado? Investigando os Sinais Sutis da Assimetria Flutuante. [Dissertação mestrado]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais; 2022.

Fink WL, Weitzman SH. The so-called cheirodontin fishes of Central America with descriptions of two new species (Pisces: Characidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*. 1974;172: 1–46.

Galloway TS, Brown RJ, Browne MA *et al.* A multibiomarker approach to environmental assessment. *Environmental Science Technology*. 2004; 38(6):1723–1731.

Gross *et al.* Population structure, fluctuating asymmetry and genetic variability in an endemic and highly isolated *Astyanax* fish population (Characidae). *Genetics and Molecular Biology*. 2004; 27(4):529-534.

Kasuya T, Yamamoto Y, Iwatsuki T. Abundance decline in the finless porpoise population in the Inland Sea of Japan. *Raffles Bull Zool*. 2002; 10: 57–65.

Klink CA, Moreira AG. Past and current human occupation, and land use: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. In: P. Oliveira & R. The Cerrados of Brazil. Columbia; 2002. p. 69.

Lajus D, Golovin PV, Yurtseva AO, Ivanova TS, Dorgham AS, Ivanov MV. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress and fitness in stickleback: a review of the literature and examination of cranial structures. *Evol Ecol Res*. 2019; 20: 83-106.

Leary RF, Allendorf FW. Fluctuating Asymmetry as an Indicator of Stress: Implications for Conservation Biology. *Trends in ecology e evolution*. 1989; 4(7): 214.

Lourenço LS, Mateus LA, Machado NG. Sincronia na reprodução de *Moenkhausia sanctaefilomenae* (Steindachner) (Characiformes: Characidae) na planície de inundação do rio Cuiabá, Pantanal Mato-grossense, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2008; 25(1):20-27.

Lutterschmidt WI, Martin SL, Schaefer JF. Fluctuating Asymmetry in Two Common Freshwater Fishes as a Biological Indicator of Urbanization and Environmental Stress within the Middle Chattahoochee Watershed. *Symmetry*. 2016; 8(11):2-17.

Machado LA. Caracterização do Regime Pluviométrico no entorno do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO). 2020; 27: 702-725.
<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.71611>

Marinho MMF. Comparative development in *Moenkhausia pittieri* and *Paracheirodon innesi* (Ostariophysi: Characiformes) with comments on heterochrony and miniaturization in the Characidae. *Journal of fish Biology*. 2017; 1-16. <https://doi.org/10.1111/jfb.13384>

Marinho MMF. Ontogeny of the skeleton of *Moenkhausia pittieri* (Ostariophysi: Characiformes) with discussion on functional demands and ossification patterns

in the Characidae. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2022; 197(2):474–513.

Mattox GMT, Britz R, Toledo-Piza M. Skeletal development and ossification sequence of the characiform *Salminus brasiliensis* (Ostariophysi: Characidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*. 2014; 25(2):103-158.

Mazzi D, Largiader CR, Bakker TC. Inbreeding and developmental stability in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.) *Heredity* (Edinb). 2002; 89(4):293-9.

Mendes GM. Assimetria flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em *Cecropia pachystachya*. [Dissertação de Mestrado]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais; 2014.

Oxnevad SA, Heibo E, Vollestad LA. Is there a relationship between fluctuating asymmetry and reproductive investment in perch (*Perca fluviatilis*)?. *Canadian Journal of Zoology*. 2002; 80:120-125.

Palmer AR. Fluctuating asymmetry analyses: a primer. *Developmental instability: its origins and evolutionary implications*. Kluwer, New York; 1994.

Pelicice FM, Azevedo-Santos VM, Vitule JR, Orsi ML, Lima Junior DP, Magalhães AL, Pompeu PS, Petrere Junior M, *et al.* Neotropical freshwater fishes imperilled by unsustainable policies. *Fish and Fisheries*. 2017; 18:1119–1133.

Queiroz R, *et al.* Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. *Revista REGET*. 2013; 13(13): 2774-2784.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

R Studio Team. R Studio. Disponível em: <https://rstudio.com>. Acesso em: 13 de jun. 2020.

Reid AJ, Carlson AK, Creed IF, Eliason EJ, Gell PA, Johnson PT, Kidd KA, MacCormack TJ, *et al.* Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*. 2019; 94: 849–873.

Reis EV, *et al.* Efeito da integridade ambiental sobre a assimetria flutuante em *Erythrodiplax basalis* (Libellulidae: Odonata) (Kirby). *Entomo Brasilis*. 2011; 4(3): 103-107.

Rizzatto PP, Bichuette, ME. The Laterosensory Canal System in Epigeal and Subterranean *Ituglanis* (Siluriformes: Trichomycteridae), With Comments About Troglomorphism and the Phylogeny of the Genus. *Journal of Morphology*. 2017; 278: 4-28.

Sanseverino AM, Nessimian JL. Assimetria flutuante em organismos aquáticos e sua aplicação para avaliação de impactos ambientais. *Oecologia Brasiliensis*. 2008 12(3): 382-405.

Secretária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Estudo técnico para criação do Parque Estadual São Bartolomeu. [Internet]. Goiás; 2013. Disponível em: rppn-Diamante-862.pdf (goias.gov.br)

Seixas LB. Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos sobre a ictiofauna na Baía da Guanabara, RJ. [Dissertação de Mestrado]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2014.

Silva JJLS. Impactos do desenvolvimento do potencial hidroelétrico sobre os ecossistemas aquáticos do Rio de Tocantins. [Dissertação de Mestrado]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2007.

Silva CS, *et al.* Ichthyofauna of the Nascentes do Rio Parnaíba National Park: watershed divide in the main agricultural encroachment area in the Brazilian Cerrado. *Biota Neotropica*. 2023; 23(1): 1-13. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2022-1414>

Simon MN. Acomodação fenotípica e acomodação genética: evidências e questões não resolvidas em macroevolução. *Revista da Biologia*. 2010; 6: 1-5.

Sobral FL, Cianciaruso MV. Estrutura Filogenética e Funcional de Assembléias: (Re)montando a Ecologia de Comunidades em Diferentes Escalas Espaciais. *Biosci*. 2012; 28(4): 617-631.

Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 1965; 52(3/4): 591-611.

Standen EM. Pelvic fin locomotor function in fishes: three-dimensional kinematics in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J Exp Biol*. 2008; 211(18): 2931-2942. <https://doi.org/10.1242/jeb.018572>

Williams JM. The hydropower myth. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019; 27:12882-12888.

Wodz J. Effects of the degradation of the biophysical environment on mortality in Upper Silesia, Poland. *Society Nature Resources*. 1992; 5(3):307–312.

Zakharov VM, Trofimov IE. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress. *Emerging Topics Life Sciences*. 2022; 6(3): 295-301.

ANEXO 1

Tabela 1. Protocolo de avaliação da qualidade de trechos de bacias hidrográficas, parâmetros. Modificado do protocolo de Callisto *et al.* 2002.

Parâmetros	4 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	vegetação natural	Campo de pastagem/ agricultura	residencial/ comercial industrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento	ausente	moderada	acentuada
3. Alterações antrópicas	ausente	alteração de origem doméstica	alteração de origem industrial
4. Cobertura vegetal no leito	parcial	total	ausente
5. Odor da água	nenhum	esgoto (ovo podre)	óleo industrial
6. Oleosidade da água	ausente	moderada	abundante
7. Transparência da água	transparente	turva/ cor de chá-forte	opaca ou colorida
8. Odor do sedimento (fundo)	nenhum	esgoto (ovo podre)	óleo/ industrial
9. Oleosidade do fundo	ausente	moderado	abundante
10. Tipo de fundo	pedras/cascalho	lama/areia	cimento/canalizado

Tabela 2. Protocolo de avaliação da qualidade de trechos de bacias hidrográficas, parâmetros. Modificado do protocolo de Callisto *et al.* 2002

Parâmetros	5 PONTOS	3 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
11. Tipos de fundo	mais de 50 % com habitats diversificados: pedaços de troncos submersos.	30% a 50 % de habitats diversificados: habitats adequados para a manutenção.	10 a 30% de habitats diversificados: disponibilidade de habitats insuficiente.	menos que 10 % de habitats diversificados: ausência de habitats óbvia.
12. Extensão de rápidos	rápidos e corredeiras bem desenvolvidas: rápidos tão largos quanto o rio.	Rápidos com a largura igual à do rio.	trechos rápidos podem estar ausentes: rápidos não tão largos quanto o rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes.	rápidos ou corredeiras ocasionais: habitats formados pelos contornos do fundo.	rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelo contorno de fundo.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos: pobreza de habitats.

14. Tipos de substrato	seixos abundantes (prevalecendo em nascentes)	seixos abundantes: cascalho comum	fundo formado predominantemente por cascalho: alguns seixos presentes.	fundo pedregoso: seixos ou lamoso.
15. Deposição de lama	entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.	entre 25 e 50 % do fundo coberto por lama.	entre 50 e 75% do fundo coberto por lama	mais de 75% do fundo coberto por lama.
16. Depósito sedimentares	menos de 5 % do fundo com deposição de lama.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de lama: 5 a 30% do fundo afetado	deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens: entre 30 a 50% do fundo afetado.	grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens: mais de 50% do fundo modificado: remansos ausentes.
17. Alterações no canal do rio	canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima: rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes.	Alguma modificação presente nas duas margens: 40 a 80% do rio modificado.	margens modificadas: acima de 80% do rio modificado.
18. Características do fluxo das águas	fluxo relativamente igual em toda a largura do rio: mínima quantidade de substrato exposta.	lâmina d'água acima de 75% do canal do rio: ou menos de 25% do substrato exposto.	lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos "rápidos" expostos.	lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
19. Presença de mata ciliar	acima de 90% com vegetação ripária nativa, mínima evidência de deflorestamento	entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa: deflorestamento evidente.	entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa: deflorestamento óbvio: trechos com solo exposto.	menos de 50% da mata ciliar nativa: deflorestamento muito acentuado.
20. Estabilidade das margens	margens estáveis: evidência de erosão mínima ou ausente, menos de 5% da margem afetada.	moderadamente estáveis: pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	moderadamente instável: entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	instável: muitas áreas com erosão, a erosão é óbvia entre 60 e 100% da margem.
21. Extensão de mata ciliar	largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas.	largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m: mínima influência antrópica.	largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m: influência antrópica intensa.	largura da vegetação ripária menor que 6 m: vegetação restrita ou ausente devido

				à atividade antrópica.
22. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito.	macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídas no rio, substrato perifiton.	algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos.	ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (ex: aguapé)

ANEXO 2

Tabela 3. Pontuação do protocolo de Callisto *et al.* 2002 aplicado no riacho Indaiá preservado totalizando 80 pontos.

Parâmetros	4 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	X		
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento	X		
3. Alterações antrópicas	X		
4. Cobertura vegetal no leito	X		
5. Odor da água	X		
6. Oleosidade da água	X		
7. Transparência da água		X	
8. Odor do sedimento (fundo)	X		
9. Oleosidade do fundo	X		
10. Tipo de fundo		X	

Parâmetros	5 PONTOS	3 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
11. Tipos de fundo	X			
12. Extensão de rápidos			X	
13. Frequência de rápidos			X	
14. Tipos de substrato		X		
15. Deposição de lama		X		
16. Depósito sedimentares		X		
17. Alterações no canal do rio	X			
18. Características do fluxo das águas		X		
19. Presença de mata ciliar	X			
20. Estabilidade das margens	X			
21. Extensão de mata ciliar		X		
22. Presença de plantas aquáticas	X			

Tabela 4. Pontuação do protocolo de Callisto *et al.* 2002 aplicado no riacho Indaiá antropizado totalizando 41 pontos.

Parâmetros	4 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)		X	
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento		X	
3. Alterações antrópicas		X	
4. Cobertura vegetal no leito			X
5. Odor da água		X	
6. Oleosidade da água		X	
7. Transparência da água			X
8. Odor do sedimento (fundo)		X	
9. Oleosidade do fundo			X
10. Tipo de fundo		X	

Parâmetros	5 PONTOS	3 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
11. Tipos de fundo		X		
12. Extensão de rápidos			X	
13. Frequência de rápidos			X	
14. Tipos de substrato			X	
15. Deposição de lama			X	
16. Depósito sedimentares		X		
17. Alterações no canal do rio		X		
18. Características do fluxo das águas			X	
19. Presença de mata ciliar			X	
20. Estabilidade das margens			X	
21. Extensão de mata ciliar			X	
22. Presença de plantas aquáticas		X		

Tabela 5. Pontuação do protocolo de Callisto *et al.* 2002 aplicado no riacho Brejão preservado totalizando 81 pontos.

Parâmetros	4 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)		X	
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento	X		
3. Alterações antrópicas	X		
4. Cobertura vegetal no leito	X		
5. Odor da água	X		
6. Oleosidade da água	X		
7. Transparência da água		X	
8. Odor do sedimento (fundo)	X		
9. Oleosidade do fundo	X		
10. Tipo de fundo		X	

Parâmetros	5 PONTOS	3 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
11. Tipos de fundo	X			
12. Extensão de rápidos		X		
13. Frequência de rápidos		X		
14. Tipos de substrato			X	
15. Deposição de lama	X			
16. Depósito sedimentares			X	
17. Alterações no canal do rio	X			
18. Características do fluxo das águas			X	
19. Presença de mata ciliar	X			
20. Estabilidade das margens	X			
21. Extensão de mata ciliar	X			
22. Presença de plantas aquáticas	X			

Tabela 6. Pontuação do protocolo de Callisto *et al.* 2002 aplicado no riacho Brejão antropizado totalizando 43 pontos.

Parâmetros	4 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)		X	
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento			X
3. Alterações antrópicas		X	
4. Cobertura vegetal no leito		X	
5. Odor da água		X	
6. Oleosidade da água		X	
7. Transparência da água		X	
8. Odor do sedimento (fundo)	X		
9. Oleosidade do fundo		X	
10. Tipo de fundo		X	

Parâmetros	5 PONTOS	3 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
11. Tipos de fundo		X		
12. Extensão de rápidos			X	
13. Frequência de rápidos			X	
14. Tipos de substrato			X	
15. Deposição de lama		X		
16. Depósito sedimentares			X	
17. Alterações no canal do rio		X		
18. Características do fluxo das águas			X	
19. Presença de mata ciliar			X	
20. Estabilidade das margens			X	
21. Extensão de mata ciliar				X
22. Presença de plantas aquáticas				X