

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E**  
**ENGENHARIA DE PESCA**

**MAX PORTUGUEZ OBESO**

Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia  
Tocantins – Araguaia: estudo de caso na sub-bacia do Rio do Sono

Toledo

2023

**MAX PORTUGUEZ OBESO**

Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins –  
Araguaia: estudo de caso na sub-bacia do Rio do Sono

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Makrakis  
Coorientador: Prof. Dr. Adriano dos G. de Carvalho

Toledo  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Obeso, Max Portuguez

Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins ? Araguaia: estudo de caso na sub-bacia do Rio do Sono / Max Portuguez Obeso; orientador Sérgio Makrakis; coorientador Adriano dos Guimarães de Carvalho. -- Toledo, 2023.

64 p.

Tese (Doutorado Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2023.

1. Bacia Hidrográfica . 2. Fragmentação. 3. Ictiofauna. 4. Hidrelétricas . I. Makrakis, Sérgio , orient. II. Guimarães de Carvalho, Adriano dos , coorient. III. Título.

## MAX PORTUGUEZ OBESO

"Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins – Araguaia: estudo de caso na sub-bacia do Rio do Sono"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, área de concentração Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, linha de pesquisa Manejo e Conservação de Recursos Pesqueiros de Águas Interiores, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

---

Orientador(a) - Sergio Makrakis

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)

---

Aldi Feiden

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)

---

Maristela Cavicchioli Makrakis

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)

---

Adila Maria Taveira de Lima

Universidade Federal do Tocantins (UFT)

---

Amintas Nazareth Rossete

Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

Toledo, 1 de junho de 2023

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pai José Carlos e Luz Leonor por ter me dado a vida, e a tod@s que encontrei no caminho e me inspiraram a questionar o mundo.

## AGRADECIMENTOS

Ninguém consegue alcançar seus objetivos sem trabalhar em equipe, seja diretamente ou indiretamente. Por isso, agradeço às pessoas que me ajudaram e incentivaram, mantendo-me focado. Agradeço às pessoas com as quais convivo e convivi de forma duradoura e aquelas que estiveram apenas de passagem, mas que deixaram suas marcas.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Makrakis, por ter me guiado, orientado e proporcionado a oportunidade de passar 02 meses com o Grupo de Pesquisa em Tecnologia em Ecohidráulica e Conservação de Recursos Pesqueiros e Hídricos – GETECH, transitando pelo Laboratório de Ecohidráulica e Hidrobiologia – LATECH, que pertence ao GETECH e desempenha um papel importante na formação de recursos humanos e disseminação de conhecimento, por meio de atividades de qualificação (estágio). Agradeço também ao meu coorientador, Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho, pela paciência e colaboração.

Agradeço aos meus queridos colegas e amigos que sempre me motivaram durante o estágio e o período no doutorado: Leandro F. Celestino, pelas ideias compartilhadas e pela paciência em me ensinar sobre o sistema RFID de PIT-telemetria, como o rádio frequência RI-RFM-008B-30, e pela instalação de antenas na escada de transposição em Porto Primavera, juntamente com o colega Jorge Valbuena, outra pessoa com quem compartilhei conhecimentos. Jhony Mendonça e Humberto R. Macedo, agradeço a vocês pelo apoio e pelas discussões valiosas a senhora Maria do José ou mamãe Zezé pela força e incentivo. Muito obrigado!

Agradeço ao apoio das Instituições Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) e Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), que possibilitaram minha qualificação.

De maneira muito especial, quero agradecer à minha família, que sempre me apoiou e acreditou na carreira acadêmica. À minha amada mãe, Luz Leonor Portuguez Obeso. Ao meu pai, José Carlos Portuguez Vicente. À minha irmã Marlen, por me apoiar desde que nossos pais nos deixaram fisicamente. Aos meus irmãos Karl, Elias, Domingo, Jose Dany, Rony e Howard P. Obeso. Com muito carinho e amor, agradeço à minha companheira, Elineide E. Marques, que pacientemente me acompanhou durante o mestrado e doutorado. E juntos, cuidando de nossas seis "crianças": três meninas, Luisa, Beatriz e Clara, e três meninos, Pedro, Gabriel e Alehandro. A vocês, muito obrigado de coração.

Agradeço à secretaria e aos coordenadores do curso de Engenharia de Pesca, que sempre estão prontos para colaborar e auxiliar os estudantes. Agradeço a todos os professores e professoras que tornaram possível o meu crescimento em conhecimento. Em particular, senti-

me desafiado e fora da minha zona de conforto. Encarei o desafio e hoje consigo enxergar a luz no fim do túnel. Muito obrigado a todos.

## Obeso, M. P. Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins – Araguaia: estudo de caso na sub-bacia do Rio do Sono

### RESUMO GERAL

O presente estudo aborda a fragmentação dos sistemas hídricos decorrente da construção de hidrelétricas e suas implicações na conservação da fauna de peixes, com foco nas espécies migradoras. As barragens restringem a movimentação dos peixes ao longo dos rios, impedindo o acesso às áreas essenciais para a sobrevivência das espécies. Este estudo divide-se em duas partes, a primeira trata das alterações considerando toda a bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, e a segunda especificamente da bacia hidrográfica do Rio do Sono. Foram analisados os empreendimentos hidrelétricos em operação e planejados para a bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, considerando a ocorrência de espécies de distribuição restrita e de migradoras. Para a bacia hidrográfica do Rio do Sono, afluente da margem direita do Rio Tocantins, cuja foz encontra-se no trecho lótico entre as hidrelétricas de Lajeado e Estreito, foram utilizados dados disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, sobre as hidrelétricas em operação e planejadas e calculado o Índice de Fragmentação do trecho mais longo com base no comprimento da rede de drenagem, considerando o cenário natural, atual (2023) e futuro (2050). Os resultados revelam a existência de 75 hidrelétricas em operação na bacia Tocantins-Araguaia, com previsão de mais 119 até 2050, o que intensificará a fragmentação nos trechos inferiores do rio Araguaia e nos trechos inferiores e médios do rio Tocantins, especialmente a bacia hidrográfica do Rio do Sono. Os trechos mais afetados no futuro serão o alto rio Tocantins e o alto rio Araguaia. Na ecorregião Tocantins-Araguaia, trecho à montante da barragem de Tucuruí, foram registradas 701 espécies de peixes, sendo 218 delas com distribuição restrita à bacia, e 43 espécies estão ameaçadas de extinção, a maioria com distribuição restrita. Além disso, foram identificadas 66 espécies migradoras. Em relação ao Rio do Sono os resultados indicam que, no cenário natural, a bacia hidrográfica do Rio do Sono apresenta 12,96% de fragmentação devido a presença de cachoeiras naturais. Na situação atual, com três hidrelétricas em operação, a fragmentação atinge 29,03%, enquanto no futuro, considerando a implementação de todas as hidrelétricas planejadas, a fragmentação chegará a 93,22% da bacia. Os estudos de impacto e os Planos Básicos Ambientais são realizados tardiamente, após a definição das obras, dificultando o planejamento antecipado da conservação. Portanto, é necessária uma coleta abrangente de dados e o envolvimento das comunidades na conservação, considerando a diversidade biológica, socioambiental e cultural para fundamentar as discussões na bacia. Em relação ao Rio do Sono, é essencial selecionar cuidadosamente as localizações das usinas hidrelétricas, ou deixar de construí-las, preservando trechos livres para a manutenção dos ecossistemas fluviais e da ictiofauna.

Palavras-chave: Fragmentação; Ictiofauna; Hidrelétricas; Amazônia



## Energy planning and the conservation of fish fauna in the Tocantins-Araguaia basin: a case study in the Rio do Sono sub-basin.

### ABSTRACT

This study addresses the fragmentation of water systems resulting from the construction of hydroelectric dams and its implications for the conservation of fish fauna, with a focus on migratory species. Dams restrict the movement of fish along rivers, preventing access to essential areas for the survival of species. This study is divided into two parts, the first dealing with changes to the entire Tocantins-Araguaia river basin, and the second specifically to the Rio do Sono river basin. The hydroelectric projects in operation and planned for the Tocantins-Araguaia basin were analyzed, taking into account the occurrence of species with a restricted distribution and migratory species. For the Rio do Sono river basin, a tributary of the right bank of the Tocantins River, whose mouth is in the lotic stretch between the Lajeado and Estreito hydroelectric plants, data provided by the National Electric Energy Agency was used on the hydroelectric plants in operation and planned, and the Fragmentation Index of the longest stretch was calculated based on the length of the drainage network, considering the natural, current (2023) and future (2050) scenarios. The results show that there are 75 hydroelectric plants in operation in the Tocantins-Araguaia basin, with a further 119 planned by 2050, which will intensify fragmentation in the lower stretches of the Araguaia River and the lower and middle stretches of the Tocantins River, especially the Rio do Sono basin. The stretches most affected in the future will be the upper Tocantins River and the upper Araguaia River. In the Tocantins-Araguaia ecoregion, the stretch upstream of the Tucuruí dam, 701 species of fish have been recorded, 218 of which have a distribution restricted to the basin, and 43 species are threatened with extinction, most of them with a restricted distribution. In addition, 66 migratory species were identified. In relation to the Rio do Sono, the results indicate that, in the natural scenario, the Rio do Sono watershed is 12.96% fragmented due to the presence of natural waterfalls. In the current situation, with three hydroelectric plants in operation, fragmentation reaches 29.03%, while in the future, considering the implementation of all the planned hydroelectric plants, fragmentation will reach 93.22% of the basin. Impact studies and Basic Environmental Plans are carried out late, after the works have been defined, making it difficult to plan conservation in advance. Therefore, comprehensive data collection and the involvement of communities in conservation is needed, taking into account biological, socio-environmental and cultural diversity to inform discussions in the basin. With regard to the Rio do Sono, it is essential to carefully select the locations of hydroelectric plants, or to stop building them, preserving free stretches for the maintenance of river ecosystems and ichthyofauna.

Keywords: Fragmentation; Ichthyofauna; Hydroelectric Power Plants; Amazon

### LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CR	Criticamente em Perigo
CR (PEX)	Criticamente em Perigo (Provavelmente Extinta)
EN	Em Perigo
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EX	Extinta
FECD	Fundação Educacional Ciência e Desenvolvimento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
km <sup>2</sup>	Quilômetro Quadrado
kW	Quilowatt
LF	Fragmento mais Longo
L <sub>M</sub>	Comprimento do Fragmento mais Longo na Rede do Rio
L <sub>T</sub>	Comprimento Total Dessa Rede
MLD	Migradoras de longa distância
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
N	Número
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PNE	Plano Nacional de Energia
QGIS	Geographic Information System / Sistema de Informação Geográfica (SIG)
R	Restrita à bacia
RHTA	Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SB	Sub-Bacia
SIEMAS	Sistema de Indicadores de Energia, Meio Ambiente e Sociedade
UC	Unidade de Conservação
UHE	Usina Hidrelétrica (acima de 30 MW)
VU	Vulnerável

## LISTA DE FIGURAS

### *Capítulo 01*

- Figura 1 Localização da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.
- Figura 2 Delimitação das ecorregiões de água doce do mundo com destaque para ecorregião 324 Tocantins-Araguaia (A), segundo Abell et al. (2008), e delimitação de área proposta Dagosta & De Pinna (2017), sendo as áreas 1. Alto Tocantins, 2. Araguaia, 3. Baixo Tocantins, 29. Estuário do Amazonas, 32. Capim (B).
- Figura 3 Número e frequência percentual de Centrais Geradoras de Energia (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação em 2021 e planejadas para a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia até 2050
- Figura 4 Potência de geração total e percentual de Centrais Geradoras de Energia (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação em 2021 e planejadas para a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia até 2050
- Figura 5 Potência total e quantidade de hidrelétricas acrescentadas por década, no período de 1899 a 2021, na bacia Tocantins-Araguaia: (A) Centrais Geradoras de Energia (CGH), (B) Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), (C) Usinas Hidrelétricas (UHE) e (D) número de hidrelétricas
- Figura 6 Localização, número e potência de unidade produtoras de hidroeletricidade, em operação e/ou planejadas, na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia por sub-bacia. Código das Sub-bacias: 20, Alto Tocantins e rio Preto; 21, Tocantins, entre os rios Preto e Paranã; 22, Tocantins, entre os rios Paranã e do Sono; 23, Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia; 24, Alto Araguaia e rio Claro; 25, Araguaia, a montante da ilha do Bananal; 26, Araguaia, trecho da ilha do Bananal; 27, Araguaia, a jusante da ilha do Bananal; 28, Baixo Araguaia; 29, Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz. Fonte: MARCUZZO (2017), bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil; e Annel (2021)
- Figura 7 Localização das Centrais Geradoras de Energia (CGH), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação em 2021 na Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Fonte: elaborado pelos autores
- Figura 8 Potência de geração total e percentual de Centrais Geradoras de Energia (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas em operação em 2022 e planejadas para a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia até 2050. Fonte: elaborado pelos autores

### *Capítulo 02*

- Figura 1 Localização da área de amostragem, bacia do Rio do Sono. Elaborado pelos autores.
- Figura 2 Distribuição dos empreendimentos por sub-bacia da bacia do Rio do Sono. Elaborada pelos autores com base em informações da Ana (2023) e Aneel (2023).
- Figura 3 Distribuição dos empreendimentos hidrelétricos na bacia do rio do Sono. Elaborada pelos autores com base em informações da Ana (2023) e Aneel (2023).
- Figura 4 Número de cachoeiras (com altura maior que 10 metros), de Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas (UHE) considerando os cenários natural, antes de 1982, atual (2023) e futuro, previsto para 2050 (A), e o total de cachoeiras e de empreendimentos em 2050 na bacia (19 usina e quatro cachoeiras (B))

- Figura 5 A fragmentação da bacia hidrografia do Rio do Sono da região hidrográfica Tocantins-Araguaia nos cenários natural, atual e futuro. A cor azul representa os rios livres sem barreira, cor vermelha indica os rios fragmentados com barreiras naturais e/ou construídas e cor rosa representa os rios principais. Os números de 1 a 24 representam as barreiras e para os detalhes da categoria, potência e localização consultar a Tabela 2.
- Figura 6 A fragmentação por hidrelétricas da bacia do Rio do Sono considerando os cenários natural, atual (2023) e futuro (2050) nas sub-bacias: do Rio Perdida (B), do rio das Balsas (C), e Rio do Sono (D), com indicação das barreiras em cada uma delas. Cada empreendimento está representado por um número e os detalhes consultar Tabela 3.
- Figura 7 Variação na área superficial de cobertura de água na bacia do Rio do Sono estimada a partir da diferença entre as áreas máximas, médias e mínima do ano em relação ao ano anterior, desde 1985 até 2021. Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do Mapbiomas.
- Figura 8 Variação percentual no uso e cobertura do solo na bacia do Rio do Sono nos anos de 2000, 2010 e 2020. Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do Mapbiomas

**LISTA DE QUADROS***Capítulo 01*

Quadro 1 Subdivisão da Macrorregião Tocantins Araguaia para fins de planejamento

## LISTA DE TABELAS

### *Capítulo 01*

- Tabela 1 Relação de estudos com levantamento de dados primários da ictiofauna para a bacia Tocantins-Araguaia, em campo
- Tabela 2 Número (N) e potência (MW) de hidrelétricas em operação e planejadas por sub-bacia na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Código da Sub-bacias: 20, Alto Tocantins e rio Preto; 21, Tocantins, entre os rios Preto e Paranã; 22, Tocantins, entre os rios Paranã e do Sono; 23, Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia; 24, Alto Araguaia e rio Claro; 25, Araguaia, a montante da ilha do Bananal; 26, Araguaia, trecho da ilha do Bananal; 27, Araguaia, a jusante da ilha do Bananal; 28, Baixo Araguaia; 29, Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz.

### *Capítulo 02*

- Tabela 1 As barragens da bacia hidrográfica Rio do Sono por sub-bacias nos cenários natural, com cinco cachoeiras; atual 2022, com duas CGH e um PCH em operação; e futuro, em 2050, com mais 10 PCH e 6 UHE. Sub-bacias: (B) Rio Perdida, (C) Rio Balsas, (D) Rio Sono; P (MW), potência em megawatts; BN, barreiras naturais; P(MW)/ H(m), potência dos empreendimentos em operação ou planejados ou altura (\*) das barreiras naturais.
- Tabela 2 Número e potência dos empreendimentos em operação e previstos para a bacia do Rio do Sono, afluente da margem direita do rio Tocantins.
- Tabela 3 Valores do fragmento mais longo ( $L_M$ ), Comprimento total ( $L_T$ ) e do índice do fragmento mais longo (LF) de acordo com Dias et al. (2019) para a bacia do Rio do Sono e sub-bacias (SB), considerando os cenários dos rios com as barreiras naturais (cachoeiras), atual (2023) é futuro (2050).

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 01. PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E A CONSERVAÇÃO DA FAUNA DE PEIXE NA BACIA TOCANTINS – ARAGUAIA .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	6
2.2 A ICTIOFAUNA DA BACIA TOCANTINS – ARAGUAIA .....	8
2.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	10
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>11</b>
3.1 RELAÇÃO COM A ICTIOFAUNA.....	16
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 02: FRAGMENTAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO SONO E A CONSERVAÇÃO DOS PEIXES MIGRADORES .....</b>	<b>41</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>45</b>
2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA .....	45
2.2 OBTENÇÃO DOS DADOS.....	47
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

Esta tese tem como objetivo apresentar o relacionamento o planejamento energético e a conservação de peixes na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia e, mais especificamente, na bacia do Rio do Sono, um afluente da margem direita do Rio Tocantins, cuja foz encontra-se entre duas grandes barragens, as Usinas de Lajeado à montante e a de Estreito à jusante.

Os resultados apresentados são de aspectos gerais centrada nos usos múltiplos e na conservação dos rios, que apesar de constituírem sistemas contínuos são recortados para a realização dos estudos de impacto. Nesse processo de análise perde-se, muitas vezes, a visão do todo, e as soluções apresentadas são pontuais e podem ser tomadas como resolutivas para questões que envolvem áreas muito maiores dos sistemas hídricos, a exemplo da fauna de peixes.

Considerando a temática é importante explicitar minha trajetória como pesquisador. Para isso é necessário evidenciar alguns aspectos da minha formação para esclarecer o posicionamento diante deste estudo.

Minha formação em nível de graduação é na área de Engenharia, sou Engenheiro – Habilitação Industrial Elétrica (1994), com estágio no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Na sequência trabalhei serviço público na área de Saneamento Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) no município do Governador Valadares (MG) e, posteriormente, como professor no Centro Federal de Educação Tecnológica (BA) (CEFET), que se tornou o Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), na Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC) e na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Vitória da Conquista (BA). Desde 2003, estou professor no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia (IFTO), onde ministro aulas para estudantes dos cursos Técnico Integrado ao Ensino Médio, Técnicos Subsequentes, Proeja e Graduação e, também, coordeno um projeto de extensão PSID-Projeto Social de Inclusão Digital Anjo da Guarda, que oferece cursos de curta duração visando a inserção dos sujeitos no mercado de trabalho.

A Especialização em Educação Técnica de nível Médio Integrada ao Ensino Médio Modalidade de Educação de Jovens e Adultos (2007), a Especialização em Informática em Educação (2001) e o Mestrado em Modelagem Profissional Computacional do Conhecimento (UFT, 2016), conduziram-me pelos caminhos da docência, da análise de dados, com o Mestrado me conectando com os peixes e as barragens.



As participações em eventos relacionados a influência das hidrelétricas na Amazônia<sup>1</sup> e o estágio de qualificação que possibilitou a participação no I Curso Prático sobre Passagens para Peixes, Cálculo, Desenho, Avaliação e Monitoramento, realizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2017), me colocaram diante da temática do planejamento hidrelétrico e os peixes.

Além disso, a vivência da instalação das hidrelétricas na região, com cerca de cinco grandes empreendimentos instalados entrando em operação entre 2001 e 2012, e o acompanhamento de discussões que trataram dos impactos desses represamentos motivaram o envolvimento com a temática das barragens e com os peixes. O desafio de sair da zona de conforto de um engenheiro eletricitista, usuário de energia elétrica, e pensar na fauna de peixes foi árduo, O resultado está apresentado neste documento, estruturado em dois capítulos. O capítulo *Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins – Araguaia*, tratou da fragmentação dos sistemas hídricos na bacia Tocantins-Araguaia; e o capítulo *Fragmentação da bacia hidrográfica do Rio do Sono e a conservação dos peixes migradores* tratou especificamente da fragmentação da bacia hidrográfica do Rio do Sono, que é um grande tributário do rio Tocantins, entre as hidrelétricas de Estreito e Lajeado, em uma região de alto endemismo e com características muito singulares

---

<sup>1</sup> WORKSHOP INTERNACIONAL, 4 a 6 de maio de 2014 Palmas – Tocantins, integrando conhecimentos sobre hidrelétricas na Amazônia Legal: Aprendendo com as experiências dos Rios Colorado (EUA), Madeira e Tocantins.

Workshop Palmas, 2015. “Mecanismo de Transposição & Bioacústica: uso experimental para a redução de mortandade de peixes a jusante de barragens hidrelétricas”.

Workshop Palmas, 2018. Rios, Terras e Culturas, aprendendo com o Sistema Socioecológico do Tocantins.

3º Workshop Internacional da Rede de Pesquisas em Barragens Amazônicas, 2020 (on line). Hidrelétricas na Amazônia: Governança, Gestão Adaptativa e Alternativas.

## **Capítulo 01. Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins – Araguaia**

### **RESUMO**

Com o aumento do número de empreendimentos hidrelétricos nas bacias hidrográficas brasileiras, a gestão de recursos hídricos torna-se mais complexa diante da fragmentação proposta pelo planejamento energético futuro e à necessidade de preservar os recursos pesqueiros e a pesca. Este estudo aborda a fragmentação dos sistemas hídricos na bacia Tocantins-Araguaia, resultante da construção de usinas hidrelétricas, e suas implicações para a conservação da fauna de peixes. Foram levantados os empreendimentos hidrelétricos em operação e planejados, assim como as espécies de peixes migradores da bacia hidrográfica. Os dados foram obtidos no site da Agência Nacional de Energia Elétrica e na literatura especializada. Atualmente, existem 75 hidrelétricas em operação, e prevê-se a construção de mais 119 até 2050, acentuando a fragmentação nos trechos inferiores do rio Araguaia e nos trechos inferiores e médios do rio Tocantins. Os trechos mais fragmentados no futuro serão o alto rio Tocantins e o alto rio Araguaia. Na ecorregião Tocantins-Araguaia, foram registradas 701 espécies de peixes, das quais 218 possuem distribuição restrita à bacia. Dessas espécies, 43 estão ameaçadas de extinção, a maioria delas com distribuição restrita. Também foram identificadas 66 espécies migradoras. O cruzamento dessas informações evidencia o impacto generalizado sobre a ictiofauna da bacia e a necessidade da ampliação da discussão de conservação para a bacia toda. Os estudos de impacto e os Planos Básicos Ambientais contribuem para o avanço do conhecimento, mas são realizados após a definição das obras, dificultando o planejamento da conservação com antecedência. Para a conservação da fauna de peixes na bacia hidrográfica, é necessário o envolvimento das comunidades ribeirinhas no levantamento e análise de dados abrangentes, considerando a biodiversidade e a diversidade socioambiental e cultural. É fundamental estabelecer áreas prioritárias de conservação antes da aprovação de empreendimentos hidrelétricos ou outros projetos relacionados ao ambiente aquático de água doce.

**Palavras-chave:** Fragmentação; ictiofauna; hidrelétricas; Amazônia.

## **Energy planning and the conservation of fish fauna in the Tocantins-Araguaia basin**

### **ABSTRACT**

With the increase in the number of hydroelectric projects in Brazilian river basins, water resource management is becoming more complex in the face of the fragmentation proposed by future energy planning and the need to preserve fish resources and fisheries. This study addresses the fragmentation of water systems in the Tocantins-Araguaia basin, resulting from the construction of hydroelectric plants, and its implications for the conservation of fish fauna. The hydroelectric projects in operation and planned were surveyed, as well as the migratory fish species in the basin. The data was obtained from the website of the National Electric Energy Agency and from specialized literature. There are currently 75 hydroelectric dams in operation, and another 119 are expected to be built by 2050, accentuating fragmentation in the lower stretches of the Araguaia River and the lower and middle stretches of the Tocantins River. The most fragmented stretches in the future will be the upper Tocantins River and the upper Araguaia River. In the Tocantins-Araguaia ecoregion, 701 species of fish have been recorded, of which 218 have a distribution restricted to the basin. Of these species, 43 are threatened with extinction, most of them with a restricted distribution. 66 migratory species were also identified. Cross-referencing this information highlights the widespread impact on the basin's ichthyofauna and the need to broaden the conservation discussion to the entire basin. Impact studies and Basic Environmental Plans contribute to the advancement of knowledge, but they are carried out after the works have been defined, making it difficult to plan conservation in advance. In order to conserve fish fauna in the river basin, it is necessary to involve riverside communities in the collection and analysis of comprehensive data, taking into account biodiversity and socio-environmental and cultural diversity. It is essential to establish priority conservation areas before approving hydroelectric or other projects related to the freshwater aquatic environment.

**Key-words:** Fragmentation; Ichthyofauna; Hydroelectric power plants; Amazon

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de instalação de hidrelétricas é dinâmico e apresenta desafios crescentes para a gestão de recursos pesqueiros, devido aos avanços tecnológicos, de infraestrutura, sociais e da concorrência pelos recursos hídricos. Com o aumento do número de empreendimentos e do acúmulo de seus efeitos, sinérgicos ou não, tem sido cada vez mais difícil compatibilizar a produção de hidroeletricidade com a conservação da diversidade socioambiental. Esse processo se torna ainda mais complexo à medida que a dependência de energia se amplia e as áreas de conhecimento se tornam mais especializadas, dificultando o diálogo (Tundisi, 2005).

As comunidades de peixes são caracterizadas por sua dinamicidade e capacidade de adaptação às pressões bióticas e abióticas, independentemente de sua origem. A composição dessas é influenciada pelo histórico de conexões entre indivíduos e populações no meio aquático, bem como pelas variações ambientais, incluindo os tipos de ambiente (lêntico e lótico) e as condições climáticas (secas, cheias, variações de temperatura) dos sistemas onde evoluíram (Lima & Caires, 2011; Albert & Reis, 2011). A capacidade de adaptação dessas populações às mudanças ambientais, independentemente da sua causa, é influenciada pelo histórico geológico das bacias hidrográficas e de evolução da ictiofauna.

Entre os fatores evolutivos que influenciam as comunidades de peixes, destacam-se a diversidade dos ambientes e os fatores abióticos e bióticos (Stein et al., 2014; Su et al., 2021). Estes fatores estão interconectados e tem relações com a diversidade socioambiental e cultural existente.

No contexto da gestão de recursos hídricos, o planejamento energético é conflitante com a preservação dos recursos pesqueiros e da pesca, especialmente no que se refere ao setor elétrico. Enquanto na gestão para conservação da biodiversidade busca-se manter a diversidade de espécies associada aos sistemas naturais, no setor elétrico a maximização da extração e conversão da energia hidráulica em elétrica faz com que ocorra à fragmentação dos rios e à homogeneização de grandes trechos das bacias hidrográficas. Assim, torna-se importante considerar os impactos cumulativos e sinérgicos dos empreendimentos hidrelétricos na gestão dos recursos pesqueiros, uma vez que esses empreendimentos podem afetar as assembleias de peixes e sua capacidade de se adaptar às mudanças ambientais.

A instalação de barragens fragmenta os rios e tornam-se barreiras intransponíveis aos peixes na maioria das vezes. Os reservatórios que acumulam água e homogeneizam o ambiente à montante das barragens podem funcionar como filtros e selecionar as espécies que estão adaptadas aos fluxos lênticos em detrimento de outras (Pinto et al., 2019). Por outro lado, o

dessecação dos trechos à jusante tem um efeito na abundância da ictiofauna, devido à redução da conectividade com os ambientes laterais ao rio e irregularidade do nível em função da operação dos empreendimentos. Portanto, a localização das barragens nas bacias hidrográficas tem efeitos distintos nas características do ambiente, na ictiofauna e, conseqüentemente, nos sistemas de pesca (Tundisi, 2005; Barbosa et al., 1999).

As populações de peixes migradores são as principais impactadas pelas hidrelétricas. Essas espécies são os principais componentes comercializados na pesca de água doce e deixam milhares de pessoas que dependem dessa atividade para a sua subsistência sem alternativa no mundo todo (Winnemiller et al., 2016). Destarte, a taxa de implementação de empreendimentos hidrelétricos em corpos hídricos acelerou-se nas últimas décadas, e a preocupação com a conservação dos recursos pesqueiros e com as questões socioambientais é premente.

Na bacia Tocantins-Araguaia as hidrelétricas têm avançado rapidamente, assemelhando-se aos processos ocorridos nas bacias do rio Paraná e São Francisco (Agostinho et al., 2017). No rio Tocantins há sete grandes empreendimentos em operação, sendo Tucuruí (1984), Serra da Mesa (1998), Lajeado (2001), Cana Brava (2002), Peixe Angical (2006), São Salvador (2009) e Estreito (2011), as cinco últimas construídas em cerca de uma década.

A intensificação do processo de ocupação da bacia Tocantins-Araguaia (Pelicice et al., 2021) tem aumentado a complexidade da gestão dos recursos hídricos e a conservação dos recursos pesqueiros, especialmente devido ao aumento do número de usinas hidrelétricas. Assim, este estudo tem como objetivo descrever a fragmentação da bacia Tocantins-Araguaia, resultante da instalação de hidrelétricas que estão em operação e das planejadas até 2050 pelo setor elétrico, e sua relação com a conservação da fauna de peixes migradores.

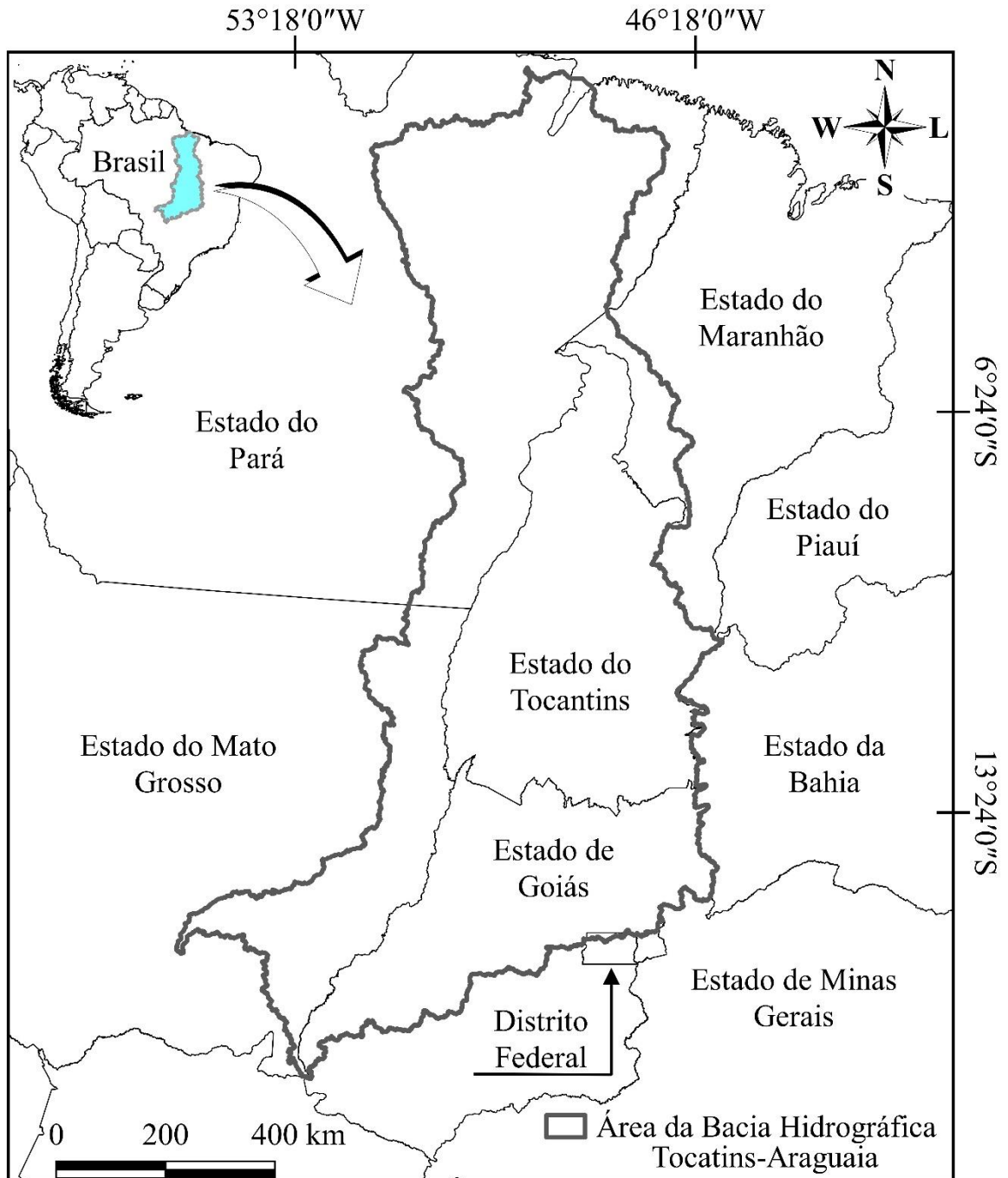
## **2. MATERIAIS e MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia tem uma configuração alongada e está localizada inteiramente no território brasileiro, com 938.368 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021), cerca de 11% do território brasileiro, abrangendo os estados de Goiás (21,4%), Tocantins (30,2%), Pará (30,3%), Maranhão (3,3%), Mato Grosso (14,7%) e Distrito Federal (0,1%). O estado do Tocantins está totalmente contido nessa região (ANA, 2009). – Figura 1. Desse total 717.332 km<sup>2</sup> (78,07%) corresponde à ecorregião Tocantins-Araguaia (Albert; Petry; Reis, 2011).

O rio Tocantins tem aproximadamente 2.400 km, é formado a partir da confluência dos rios Almas e Maranhão. As nascentes dos rios formadores estão localizadas no Planalto Central, à cerca de 1000 m de altitude, ocupando uma área de drenagem de cerca de 764.996 km<sup>2</sup> até

sua foz, dos quais 385.060 km<sup>2</sup> são do Araguaia. As nascentes do Araguaia na Serra do Caiapó estão à cerca de 850 m de altitude, percorrendo 2.600 km até sua foz no rio Tocantins dos quais 76,92% (2.000 km) percorre numa altitude média de 90 m (ANA, 2009), formando uma planície de inundação ampla e produtiva.



**Figura 1.** Localização da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaborado pelos autores.

O rio Tocantins categorizado em três trechos por Paiva (1982), a saber, o alto Tocantins, que se estende de suas nascentes até a cachoeira do Lajeado, 1.060 km e desnível de 925 m

(cerca de 0,87 m/km); o médio Tocantins, entre a cachoeira do Lajeado e a cachoeira de São João do Araguaia, 980 km e desnível de 149 m (cerca de 0,15 m/km); e o baixo Tocantins, que vai de São João do Araguaia até sua foz, 360 km e desnível de 26 m (cerca de 0,07m/km). A diferença de declividade do rio Tocantins formado por trechos entrecortados de cachoeiras e corredeiras proporcionou a diversificação de ambientes e, conseqüentemente da ictiofauna, especialmente no alto e médio curso. Contudo, essas mesmas características interessam ao setor elétrico, com vários empreendimentos em funcionamento na bacia. Conforme Pelicice et al. (2021), essa e outras atividades antropogênicas têm resultado na degradação da bacia em larga escala.

A área da bacia está principalmente no domínio morfoclimático Cerrado nas porções sul e central e pelo bioma Floresta Amazônica na porção norte (Ribeiro et al., 1995), com um gradiente desde regiões mais altas e secas, com períodos de chuvas bem definidos, nas áreas de nascentes dos formadores e mais planas e com declividade menor no trecho inferior, caracterizando-se por uma grande diversidade de ambientes, (TOCANTINS, 2020). A primeira grande usina hidrelétrica construída na bacia foi Tucuruí que entrou em operação em 1984, barrando o trecho inferior da bacia.

Visando o planejamento e gestão da bacia, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a Agência Nacional de Águas (ANA), em conjunto, categorizaram a Região Hidrográfica como Macrorregião Hidrográfica Tocantins-Araguaia (IBGE, 2021) em três (3) Mesorregiões e treze (13) Microrregiões (Quadro 1).

**Quadro 1.** Subdivisão da Macrorregião Tocantins-Araguaia para fins de planejamento.

	<b>Mesorregião Alto Tocantins</b>	<b>Mesorregião Araguaia</b>	<b>Mesorregião Baixo Tocantins</b>
<b>Microrregiões</b>	Alto Tocantins	Alto Araguaia	Acará/Guamá
	Médio Tocantins	Baixo Araguaia	Baixo Tocantins
	Paraná	Médio Araguaia	Itacaiúnas
	Sono	Mortes	Marajú Sul Pará (PA)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de IBGE (2021)

## 2.2 A ictiofauna da bacia Tocantins – Araguaia

De acordo com Nelson (2006), cerca de 11.950 espécies de peixes são exclusivas de água doce, numa área que cobre 1% da superfície terrestre e representa cerca de 0,01% de toda água do planeta, indicando a importância desses ambientes para a conservação da biodiversidade.

Na ecorregião Tocantins-Araguaia, localizada à montante da barragem de Tucuruí (Abell et al., 2008), foram listadas 701 espécies válidas, das quais 270 (38,5%) possuem localidade tipo dentro da ecoregião. Observa-se um aumento no número de descrições a partir do ano 2000, o qual tende a aumentar devido à grande quantidade de gêneros com espécies ainda a serem estudadas, ao adensamento das amostragens e a outros fatores (Guedes, 2021). A ampliação do levantamento para a bacia elevou para 751 o número de espécies (Chamon et al., 2022), com destaque para 30,5% (229) das espécies de peixes da bacia que são de ocorrência restrita ou endêmicas para a bacia Tocantins-Araguaia. Na literatura encontra-se listagens para estudos realizados em campo em trechos definidos da bacia a maioria em áreas relacionadas aos estudos de implementação de usinas hidrelétricas (Tabela 1), sem a realização de uma varredura da bacia com essa finalidade. A situação é preocupante quando se trata dos recursos pesqueiros.

**Tabela 1.** Relação de estudos com levantamento de dados primários da ictiofauna para a bacia Tocantins-Araguaia, em campo.

<b>Autores</b>	<b>Número de espécies</b>	<b>Período; hidrelétrica, ou riacho ou tributários</b>	<b>Observação</b>
Santos, Jegu e Merona (1984)	mais de 300 espécies	1980 e 1982; baixo rio Tocantins na área de influência da UHE Tucuruí	
Santos et al. (2004)	217 espécies	Baixo rio Tocantins	
Lucinda et al. (2007)	343 espécies, distribuídas em 42 famílias e 12 ordens	1999 e 2004, UHE Lajeado	38 endêmicas.
Soares et al. (2008)	288 espécies, distribuídas em 38 famílias e 11 ordens	UHE Peixe Angical	
Giongo et al. (2011)	37 espécies	três riachos pertencentes à bacia do rio Araguaia	
Ferreira et al. (2011)	271 espécies, 183 gêneros, 41 famílias e 12 ordens	Parque Estadual do Cantão, bacia do rio Araguaia	
Lima e Caires (2011)	35 espécies	Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (há registro de mais de cem espécies)	curto período amostral, período de seca
Bartolette et al. (2012)	233 espécies pertencentes a 39 famílias e 9 ordens	UHE Serra da Mesa	
Claro-García e Shibatta (2013)	67 espécies pertencentes a 19 famílias e 5 ordens	21 tributários da porção superior da bacia do rio Tocantins	
Jarduli, Claro-García e Shibatta (2014)	89 espécies, 21 famílias e 5 ordens	porção central da bacia do rio Araguaia	
Bartolette et al. (2017)	194 espécies pertencentes a 38 famílias e 10 ordens	UHE Lajeado	

Fonte: Organizada pelos autores



As principais ameaças às espécies de peixes continentais são a alteração dos ambientes aquáticos provocada pelas atividades agropecuárias, os barramentos dos rios relacionados à geração de energia, expansão urbana, poluição e sobrepesca (ICMBio, 2018).

Neste estudo o foco será a ictiofauna da ecorregião Tocantins-Araguaia cuja área está sujeita aos barramentos contidos no Plano Nacional de Energia 2050, aprovado pelo Ministério de Minas e Energia (Brasil-MME-EPE, 2020).

### 2.3 Coleta e análise dos dados

As informações sobre as usinas hidrelétricas em operação e planejadas foram obtidas no banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica em novembro 2021 (ANEEL, 2021)<sup>2</sup> para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Para a checagem das usinas em operação buscou-se informações disponíveis na rede mundial de computadores (internet). Na lista de usinas planejadas foram desconsideradas aquelas descritas no campo “Fase AHE” como “cancelada” e “desativada”.

As usinas foram agrupadas utilizando o critério de potência estabelecidos na Resolução Normativa n 875 de 10 de março de 2020 (BRASIL-ANEEL, 2020), que define os requisitos e procedimentos de aprovação de estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas necessários à obtenção de outorga de autorização para exploração, à capacidade instalada reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica de usinas hidrelétricas sujeitas à concessão. Por esta resolução a Central Geradora de Energia (CGH), está definida como tendo potência igual ou inferior a 5000 kW ( $\leq 5$  MW); a Pequena Central Hidrelétrica (PCH), com potência superior a 5000 kW ( $> 5$  MW) e igual ou inferior a 30000 kW ( $\leq 30$  kW) e reservatório até 13km<sup>2</sup>; e Usina Hidrelétrica (UHE) potência instalada superior a 50.000 kW ( $> 50$  MW). Optou-se pelo uso da potência para facilitar o agrupamento dos empreendimentos, sem discutir o processo de licenciamento em si. Os mapas foram elaborados com base nessas categorias e localidades (coordenadas) fornecidas pelos cadastros da Aneel (ANEEL, 2021), para análise dos dados utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS versão 3.22 (2022).

O foco deste estudo foi a ecorregião Tocantins-Araguaia, localizada à montante da barragem de Tucuruí (Figura 2), tomando com o base a lista de espécies da ictiofauna de Guedes (2021), para essa região. As espécies à jusante de Tucuruí, a primeira grande hidrelétrica que

---

<sup>2</sup> A última consulta foi realizada em fevereiro de 2022. Dados disponibilizados pela Aneel no link: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=c1716d81d491426197bf497ace41db8d>

entrou em operação na bacia, foram definidas por comparação do estudo de Guedes (2021) com de Chamon et al. (2022) e Dagosta & de Pinna (2019), com abrangência espacial maior (Figura 2) e com sobreposição na região entre a foz do rio Araguaia e a barragem de Tucuruí.

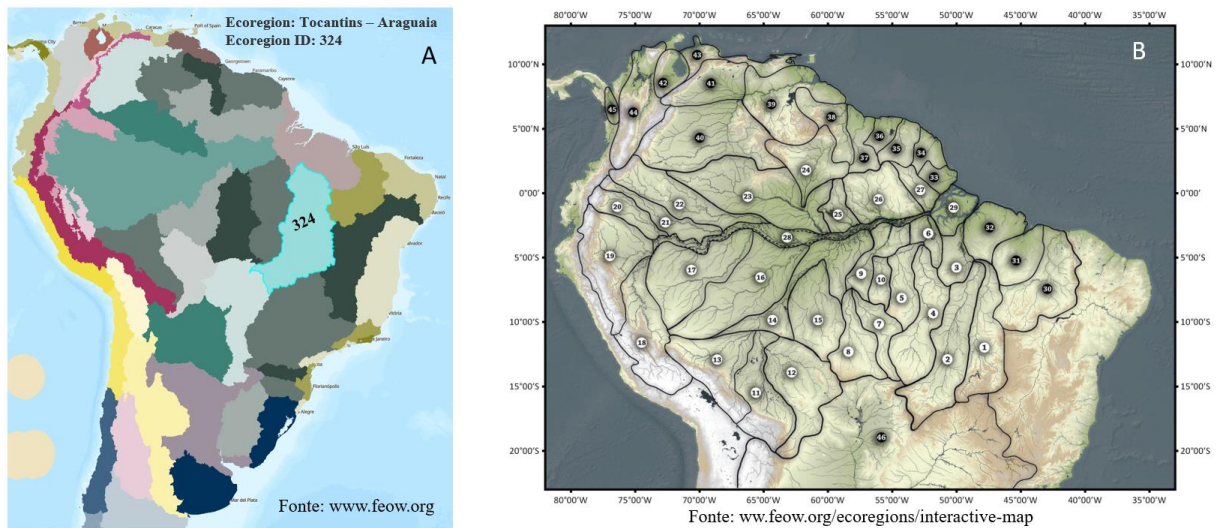


Figura 2. Delimitação das ecorregiões de água doce do mundo com destaque para ecorregião 324 Tocantins-Araguaia, segundo Abell et al. (2008) (A), e delimitação de área proposta Dagosta & De Pinna (2017), sendo as áreas 1. Alto Tocantins, 2. Araguaia, 3. Baixo Tocantins, 29. Estuário do Amazonas, 32. Capim (B).

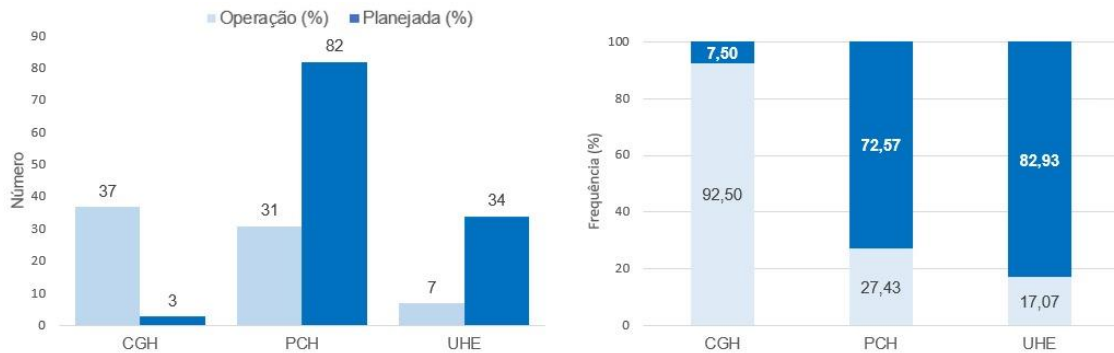
A Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção, contida na Portaria GM/MMA Nº. 300, de 13 de dezembro de 2022 (MMA, 2022), foi utilizada como base para definir as espécies com risco de extinção na ecorregião nas categorias Vulnerável (VU), Em Perigo (EN), Criticamente em Perigo (CR) e Criticamente em Perigo (provavelmente extinta; CR(PEX)).

As espécies migradoras foram definidas a partir de Carolsfeld et al. (2003), Neuberger et al. (2009), relatórios técnicos e experiência dos autores com estudos de ictiofauna na bacia.

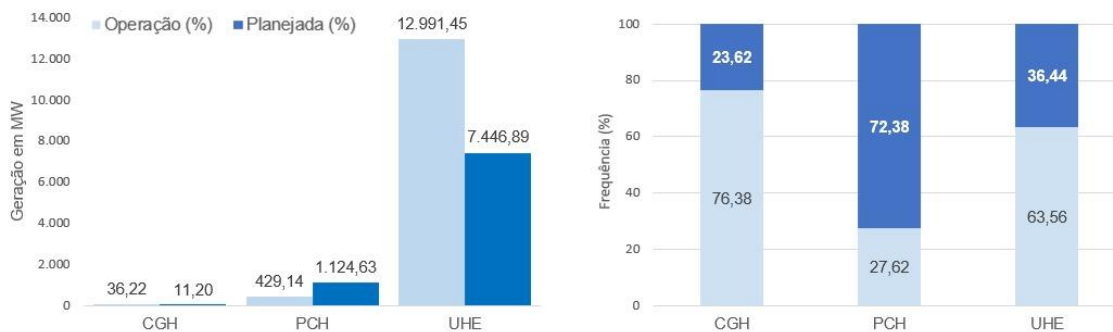
### 3. RESULTADOS

No banco de dados da Aneel (2021), constam 200 empreendimentos hidrelétricos, 46 CGHs, 113 PCHs e 41 UHEs. As análises incluíram 194 empreendimentos, com a exclusão de 06 CGHs (04 constam como canceladas; 02 como desativadas).

Os empreendimentos em operação na bacia correspondem a 75 hidrelétricas, sendo 37 (92,5%) CGHs, 31 (27,4%) PCHs e 07 (17,1%) UHEs. Contudo até 2050, há previsão de mais 119 empreendimentos (03 CGH; 82 PCH; 34 UHE) – Figura 3. As hidrelétricas em operação aportam 13.456,81 MW (cerca de 179 MW por usina), com previsão de incremento de 8.582,72 MW (cerca de 72 MW por usina) ao sistema energético especialmente pelas UHE (Figura 4). Esses resultados indicam o potencial de fragmentação da bacia tanto pelo número quanto pela amplitude dos empreendimentos.

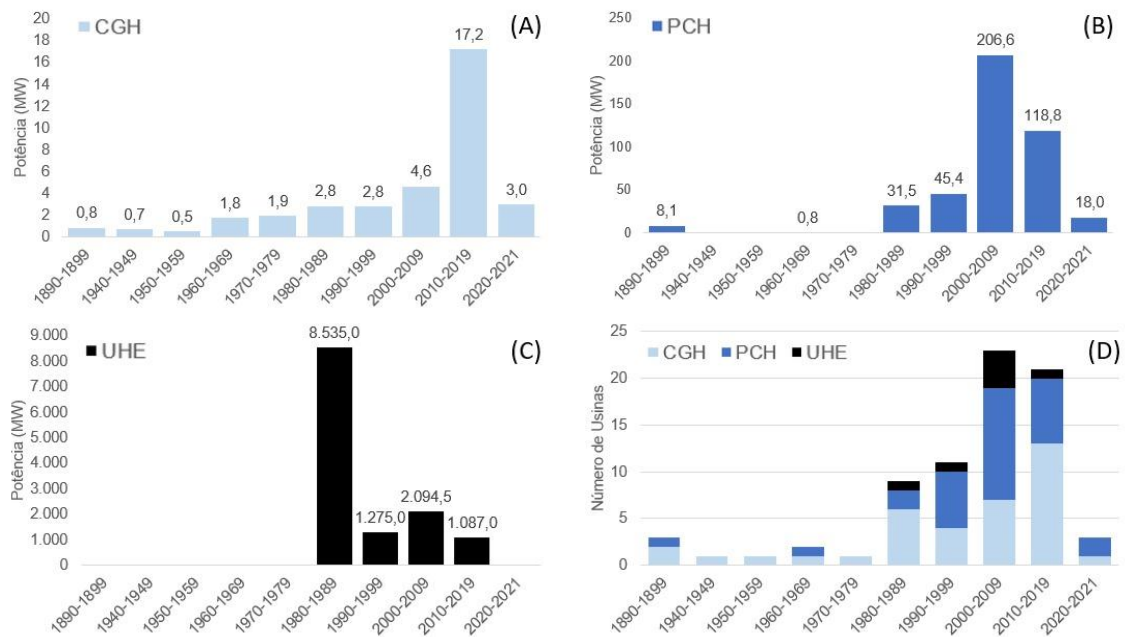


**Figura 3.** Número e frequência percentual de Centrais Geradoras de Energia (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação em 2021 e planejadas para a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia até 2050.



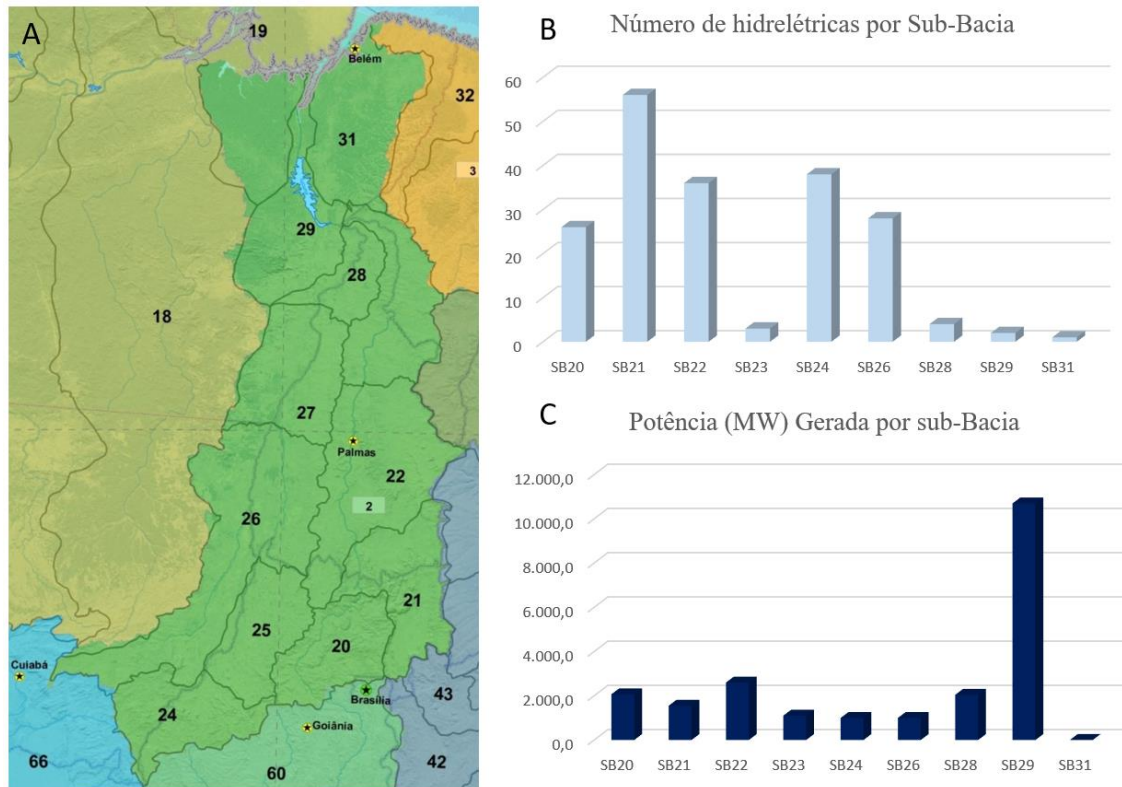
**Figura 4.** Potência de geração total e percentual de Centrais Geradoras de Energia (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação em 2021 e planejadas para a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia até 2050.

Antes de 1900 entraram em operação três hidrelétricas, duas CGHs e uma PCH: a PCH Primavera e a CGH Matula I, na sub-bacia 26, e a CGH Mãe Benta na sub-bacia 20 (Figura 6; Tabela 2). Recentemente, em 2021, entraram em operação a CGH Diamantino na sub-bacia 24, e a PCH Manuel Alves. Apesar da entrada em operação de CGHs e PCHs desde 1890, foi a partir de 1980 que o número de hidrelétricas aumentou com 23 unidades entrando em operação de 2000-2009, quando as UHEs Lajeado, Cana Brava, Peixe Angical e São Salvador entraram em operação, e 21 hidrelétricas de 2010-2019, com a entrada de operação da usina de Estreito e várias outras PCHs e CGHs (Figura 5).



**Figura 5.** Potência total e quantidade de hidrelétricas acrescentadas por década, no período de 1899 a 2021, na bacia Tocantins-Araguaia: **(A)** Centrais Geradoras de Energia (CGH), **(B)** Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), **(C)** Usinas Hidrelétricas (UHE) e **(D)** número de hidrelétricas.

Os trechos mais fragmentados nos próximos anos serão o alto rio Tocantins da sub-bacia do rio do Sono para montante (sub-bacias 20, 21, 22) e alto rio Araguaia (sub-bacia 24). Os trechos entre os rios Preto e Paranã (sub-bacia 21) e o Alto Araguaia e Rio Claro (sub-bacia 24) encontram-se fragmentados, com 29 e 15 usinas em operação, respectivamente (Figura 6; Tabela 2). A localização das CGH e PCH nas regiões de cabeceiras representa uma grande contribuição para a fragmentação dos habitats. Em relação à potência, os grandes rios são os principais contribuintes tanto em operação quanto em relação à previsão para os próximos anos (Tabela 2).



**Figura 6.** Localização (A), número (B) e potência (C) de unidade produtoras de hidroeletricidade, em operação e/ou planejadas, na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia por sub-bacia. Código das Sub-bacias: 20, Alto Tocantins e rio Preto; 21, Tocantins, entre os rios Preto e Paranã; 22, Tocantins, entre os rios Paranã e do Sono; 23, Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia; 24, Alto Araguaia e rio Claro; 25, Araguaia, a montante da ilha do Bananal; 26, Araguaia, trecho da ilha do Bananal; 27, Araguaia, a jusante da ilha do Bananal; 28, Baixo Araguaia; 29, Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz. Fonte: A - MARCUZZO (2017), bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil; B e C - Annel (2021).

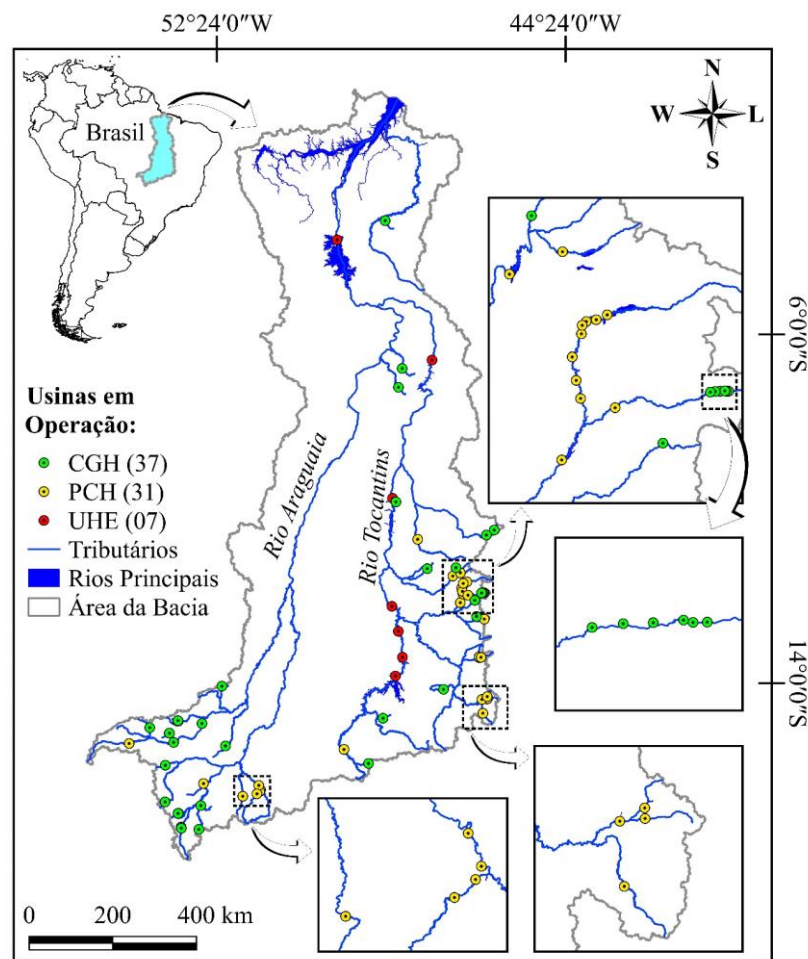
**Tabela 2.** Número (N) e potência (MW) de hidrelétricas em operação e planejadas por sub-bacia na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Código da Sub-bacias (SB): 20, Alto Tocantins e rio Preto; 21, Tocantins, entre os rios Preto e Paranã; 22, Tocantins, entre os rios Paranã e do Sono; 23, Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia; 24, Alto Araguaia e rio Claro; 25, Araguaia, a montante da ilha do Bananal; 26, Araguaia, trecho da ilha do Bananal; 27, Araguaia, a jusante da ilha do Bananal; 28, Baixo Araguaia; 29, Tocantins, entre o rio Araguaia e a foz.

Código Sub - Bacia	Usinas em Operação								Usinas em Planejamento							
	CGH		PCH		UHE		Total		CGH		PCH		UHE		Total	
	N	MW	N	MW	N	MW	N	MW	N	MW	N	MW	N	MW	N	MW
SB20	2	1,3	1	3,0	1	1275,0	4	1279,3			16	277,5	6	508,0	22	785,5
SB21	9	13,6	18	244,9	2	693,2	29	951,8	1	4,0	20	175,8	6	416,8	27	596,6
SB22	5	4,2	3	42,6	2	1401,3	10	1448,0			18	255,7	8	892,9	26	1148,6
SB23					1	1087,0	1	1087,0			2	11,7			2	11,7
SB24	8	8,2	7	126,5			15	134,7	2	7,2	15	214,6	6	638,2	23	860,0
SB26	10	5,4	2	12,1			12	17,5			11	189,4	5	791,0	16	980,4
SB28	2	2,6					2	2,6					2	2040,0	2	2040,0
SB29					1	8535,0	1	8535,0					1	2160,0	1	2160,0
SB31	1	0,9					1	0,9								
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>36,2</b>	<b>31</b>	<b>429,1</b>	<b>7</b>	<b>12991,5</b>	<b>75</b>	<b>13456,8</b>	<b>3</b>	<b>11,2</b>	<b>82</b>	<b>1124,6</b>	<b>34</b>	<b>7446,9</b>	<b>119</b>	<b>8582,7</b>

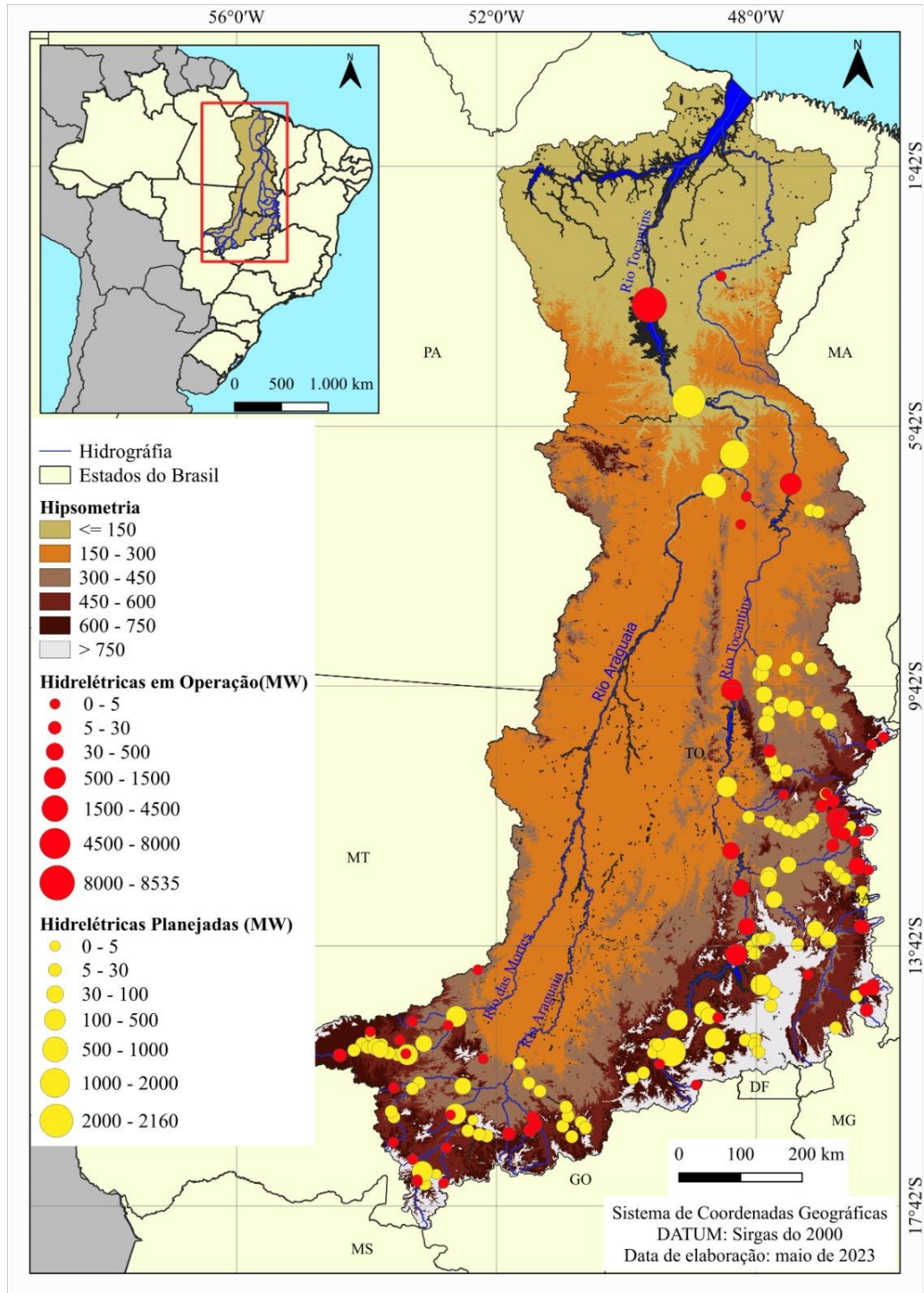
Fonte: Organizado pelos autores a partir dos dados da Aneel (2015).

As CGHs e PCHs em operação estão localizadas nos trechos superiores das bacias formadoras do rio Paranã (rios Palmeiras e Buritis, por exemplo), afluente do rio Tocantins, e no trecho superior do rio Araguaia (rios Araguainha e das Mortes, por exemplo). Por outro lado, as UHE, que são empreendimentos de maior porte, estão todas no rio Tocantins (Figura 7).

As 119 usinas hidrelétricas previstas no plano do setor elétrico devem acentuar a fragmentação nos trechos inferior do rio Araguaia e inferiores e médio do rio Tocantins com a construção de UHE, e nos trechos superiores de diversas sub-bacias, a maioria das PCHs e CGHs (Figura 8; Tabela 2). Todas as usinas planejadas estão dentro da ecorregião Tocantins-Araguaia.



**Figura 7.** Localização das Centrais Geradoras de Energia (CGH), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação em 2021 na Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Fonte: elaborado pelos autores.



**Figura 8.** Potência de geração total e percentual de Centrais Geradoras de Energia (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas em operação em 2022 e planejadas para a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia até 2050. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.1 Relação com a ictiofauna

Na ecorregião Tocantins-Araguaia, à montante da barragem de Tucuruí, encontram-se registradas 701 espécies de peixes (Guedes, 2021). A comparação da lista compilada de Guedes

(2021) com os demais autores, indicou a ocorrência de 98 espécies a jusante da UHE Tucuruí (Apêndice 01).

Do total de espécies da ecorregião, 218 (31,1%) tem distribuição restrita à essa área. Correm risco de extinção 43 (6,1%) espécies quase todas (41) com distribuição restrita, à exceção de *Hasemania crenuchoides* (EM) e *Scobinancistrus pariolispos* (VU) podem ser encontrados fora da ecorregião. Das espécies ameaçadas, oito criticamente em perigo (CR), 15 em perigo (EM), 19 vulnerável (VU) e uma criticamente em extinção e, provavelmente extinta (Apêndice 02).

As espécies migradoras são 66 (9,4%), com destaque para *Brycon gouldingi*, uma espécie de grande porte (maior que 40 cm), com distribuição restrita e ameaçada de extinção (Apêndices 02). As espécies de pequeno porte, com a categorização de restritas e ameaçadas que ocorrem em tributários de pequeno porte, principalmente nos trechos mais altos da bacia, onde se concentra a maioria das CGHs e PCHs (Apêndice 02; Figuras 4 e 5).

No grupo das espécies migradoras de longa distância estão os grandes bagres migradores conhecidos como filhote e/ou piraibas do gênero *Brachyplatystoma* (*B. platynemum*, *B. vaillantii* e *B. filamentosus*), a pirarara *Phractocephalus hemiliopterus*, o jaú *Zungaro zungaro*, o surubim *Pseudoplatystoma fasciatum*, o chicote *Sorubimichthys planiceps*, o barbado *Pinirampus pirinampu*, os cuiús-cuiús e abotoados, *Oxydoras niger* e *Pterodoras granulosus*, os peixes de escama caranha *Colossoma brachypomus*, a piracanjuba *Brycon gouldingi* e papa-terra ou curimatá *Prochilodus nigricans*, espécies de grande e médio porte importantes para pesca (Apêndice 02).

#### 4. DISCUSSÃO

As Regiões Hidrográficas Brasileiras foram definidas pela RESOLUÇÃO No. 32, de 15 de outubro de 2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente como “o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos” (BRASIL-MMA, 2003). No entanto Marcuzzo (2017), distingue regiões hidrográficas de bacias hidrográficas, estas definidas como “áreas que possuem uma única confluência (exutório) das águas sob seu domínio e são separadas topologicamente entre si pelos terrenos mais elevados (divisores de águas)” e conclui sobre a importância do entendimento correto das definições de bacia hidrográfica e região hidrográfica para não acarretar equívocos de denominações em textos técnicos. Essa definição é importante para aa



definição de medidas de conservação da ictiofauna uma vez que os processos de inundação e ressecamento determinam a conectividade entre os ambientes, e direcionam a evolução e a dinâmica das populações e orientam em muitos casos a diversificação da fauna de peixes.

Os critérios de definição das unidades de gestão de planejamento devem inserir critérios de conservação antes da definição dos empreendimentos. A construção de Tucuruí fragmentou a ictiofauna a jusante da barragem, dificultando e/ou impossibilitando a migração de jusante para montante. Entretanto, considerando a diversificação das espécies o baixo Tocantins, que compreende o trecho abaixo da desembocadura do rio Araguaia é categorizado como possuindo um conjunto de espécies distinto dos demais trechos, de acordo com Dagosto e de Pinna (2017).

A incorporação de novas tecnologias no planejamento e implementação de infraestrutura, como a combinação de imagem de satélites, monitoramento de vazão em tempo real, monitoramento remoto, materiais e inovações de projeto por exemplo, ajusta as metodologias periodicamente e leva à revisão dos planos de cada setor. No caso do setor elétrico esses planos são ajustados periodicamente com mudança na localização, dimensão e/ou operação dos empreendimentos, a exemplo da UHE Tupiratins que consta no Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 (BRASIL-MME-EPE, 2010; anexos, p.84), e da UHE Ipueiras, que figurou nos planos de 2017 a 2021 em desacordo com as exigências para a obtenção das licenças ambientais e aguardando o desenvolvimento de um novo estudo de viabilidade (BRASIL-MME-EPE, 2006 e 2012). Contudo, a partir de 2013 não é mais citada nos planos BRASIL-MME-EPE, 2013) e segue assim até o plano para 2031 (BRASIL-MME-EPE, 2022). A metodologia de apresentação dos Planos Decenais pela EPE mudou a partir do Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (BRASIL-MME-EPE, 2022), quando passou a explicitar as preocupações com as questões socioambientais, com a construção de índices de “bem estar energético” em andamento (EPE-DIVERSA, 2022).

É necessária atenção e atitudes pró-conservação no sentido de valorizar a diversidade socioambiental como uma contraposição aos empreendimentos justificados somente por questões econômicas em trechos de alta diversidade, como na região da confluência do rio Araguaia com o Tocantins, local importante para reprodução e crescimento de larvas e juvenis de peixe, onde planeja-se construir a UHE Marabá. Ou ainda, em regiões sensíveis, de alto endemismo, como a bacia do rio Sono, com a previsão de hidrelétricas em locais como a Cachoeira da Velha e várias outras áreas sensíveis da bacia.

Traçar um plano de conservação fundamentado em dados de toda a ecorregião para se debater e definir áreas importantes para conservação da ictiofauna, antes da concessão dos

empreendimentos, é uma necessidade tanto do ponto de vista da conservação quanto da evolução do setor elétrico. Os estudos da ictiofauna estão fragmentados, geralmente associados aos empreendimentos hidrelétricos ou à implementação de unidades de conservação (Guedes, et al., 2021), sem que se leve em conta a bacia como um todo.

Da mesma forma, o monitoramento quando ocorre, é realizado por trechos e de modo descontínuo. Há de se realizar a integração das informações para toda a bacia buscando-se equilibrar a produção de energia e a conservação da diversidade biológica e socioambiental, inclusive com possível otimização de investimento econômicos, cuidando do modo como o “desenvolvimento sustentável” é abordado. No Mekong uma série de incentivos políticos e econômicos às energias renováveis e de estratégias de mitigação de impactos justificou a implantação de mais usina hidrelétricas (Middleton, 2022) aumentando os impactos sobre os peixes e a pesca, portanto o conhecimento e reconhecimento do valor da biodiversidade deve ser incorporado aos empreendedores.

A cronologia de construção da bacia com o primeiro grande empreendimento, UHE Tucuruí, próximo à foz em 1984, o segundo, no trecho superior, Serra da Mesa em 1998, o terceiro no trecho médio, Lajeado em 2001, e os demais construídos restringem o deslocamento dos peixes tornando os trechos livres cada vez mais restritos. Mesmo com a possibilidade de completarem seu ciclo de vida em trechos menores a conservação da diversidade de peixes é desafiadora. As alternativas de mitigação e compensação de impactos são propostas para períodos curtos e geralmente desconsideram os efeitos cumulativos e aqueles que são perceptíveis à longo prazo.

Diante da dinâmica e complexidade dos sistemas hídricos, estratégias que maximizem as possibilidades de ajuste se tornam atributos importantes para se avaliar a conservação em face das mudanças climáticas. Há de se pensar também os saberes das populações locais que representam um patrimônio de diversidade socioambiental e cultural imensurável. Com o avanço das hidrelétricas em regiões tropicais intensificam-se as ameaças a subsistência de milhares de pessoas que dependem diretamente dos peixes de água doce, além de simplificar as alternativas dos serviços ecossistêmicos com a redução da diversidade de espécies.

O intervalo de tempo entre o planejamento do setor elétrico, que no Brasil tem previsão para 2050, e a realização dos diagnósticos associados aos empreendimentos que ocorrem praticamente quando a obra já está em vias de aprovação e ou implementação, no caso dos planos básicos ambientais, deixam a conservação dos peixes e, conseqüentemente, dos recursos pesqueiros em segundo plano. Por maior que seja a plasticidade, a capacidade de ajuste e a

resiliência das comunidades, a atividade pesqueira, baseada principalmente em espécies migradoras está em risco.

Os impactos ecológicos das usinas são desproporcionalmente elevados diante de seus benefícios econômicos e rentistas, sem projetos sociais. O desequilíbrio entre o número e a capacidade de produção das hidrelétricas coloca em questão os benefícios diante dos custos sociais e ambientais. No Brasil as UHE em operação representam 215 empreendimentos e 94% da energia elétrica; PCHs 426 e 5,2%; CGH 721 e 0,8% e representam uma questão importante para a conservação da paisagem e da biodiversidade aquática.

Diversos autores concordam que, para harmonizar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade é necessário que, antes da construção de novas barragens, seja avaliada a extensão dos impactos de perda de conectividade longitudinal e lateral dos sistemas aquáticos. Esta avaliação não pode ser centralizada em cada empreendimento de forma individualizada, mas deve ser uma avaliação regional, em grande escala, envolvendo um conjunto de empreendimentos (Seliger & Zeiringer, 2018; Soukhaphon, et al., 2021).

Uma forma que tem sido utilizada para mitigar a fragmentação de habitat causada pelas barragens, depois de sua construção, é a instalação de mecanismos de passagem de peixes nos locais das barragens (Celestino et al., 2019). Entretanto, estas soluções são relativamente pouco eficientes. As frações dos peixes migradores que conseguem transpor as barragens através de mecanismos de transposição são relativamente baixas (Agostinho et al., 2007; Agostinho, C. S. et al., 2007). Além disso, os ovos e larvas dos peixes migradores que conseguem atingir a cabeceira dos rios para desovar acabam retidos nos trechos de rio de baixa velocidade da água existentes a montante das barragens, e acabam não atingindo as regiões mais adequadas para seu desenvolvimento. Em alguns casos os mecanismos de transposição podem resultar no aumento da taxa de mortalidade de peixes (Agostinho et al., 2007; Pelicice & Agostinho, 2018).

O número de espécies categorizadas como ameaçada de extinção aumentou de 12 (Guedes, 2021; Portaria N° 445, 17 dezembro 2014), para 43 (Portaria GN/MMA N° 300, de 13 de dezembro de 2022) na ecorregião Tocantins-Araguaia, com um aumento de mais de 3,5 vezes em cerca de oito anos. A baixa resistência das espécies às variações ambientais, o turismo, a mineração a pesca comercial e esportiva, mas principalmente as hidrelétricas estão entre os fatores que ameaçam as espécies na bacia. A modificação do habitat e a interrupção das rotas de migração compõe esse cenário. Além disso, a formação dos reservatórios tem aberto espaço para a aquicultura em tanques-redes e, conseqüentemente para a entrada de espécies exóticas para criação. Doria et al. (2021) realizaram um extenso levantamento de espécies não nativas na região amazônica e registraram seis espécies não nativas para a bacia Tocantins-Araguaia.

Os autores destacaram que a invasão de espécies na região amazônica é um fenômeno que se iniciou em 1939, porém tem se intensificado a partir da década de 2000. A abertura para criação de tilápias em sistemas de tanques-redes (Tocantins 2018), por acidente, tem levado a liberação de milhares de indivíduos no reservatório da UHE Lajeado (informação pessoal dos autores).

Diante da diversidade de ambientes e de espécies as estratégias para conservação de populações de migradoras e não migradoras, especialmente aquelas de pequeno porte, geralmente restrita a alguns trechos da bacia demandam estratégias diferentes. Categorizadas “em perigo” na lista vermelha de espécies em extinção, estão *Aguarunichthys tocantinsensis* (pernambuco) e *Brycon gouldingi* (matrinchá, piracanjuba), ambas endêmicas para a bacia Tocantins-Araguaia e são reofílicas. O pernambuco tem preferência por áreas de correnteza forte e fundo pedregoso, porte médio, com até 35 cm de comprimento corporal padrão, com o tempo geracional calculado em nove anos. E a piracanjuba tem porte grande (maior exemplar registrado mediu 48 cm), é migradora, habita a calha de rios e planícies associadas, alimentando-se de frutos, invertebrados, sementes e ocasionalmente vertebrados terrestres, sendo alvo de pescarias comerciais e esportivas, e com tempo geracional estimado em 7,5 anos (ICMBio, 2018). Essas duas espécies ilustram impactos importantes da construção de barragens na bacia: a redução dos ambientes de corredeiras, a interrupção das rotas migratórias e a mudança da relação com a vegetação ripária seja pelo controle do nível que modifica o ritmo de inundação e/ou afogamento da vegetação no reservatório. As unidades de conservação que ocupam 7,4% da área região hidrográfica (Chamon et al., 2022, material suplementar) especialmente associadas às áreas de cabeceira e/ou criadas como medida de compensação em função das hidrelétricas, não são suficientes para conservar as espécies da bacia e manter a funcionalidade hidrogeomorfológica e ecológica de seus rios.

A fauna de peixes de água doce da América do Sul evoluiu ao longo de milhões de anos, sob a influência de numerosas mudanças geológicas e climáticas, envolvendo a formação e evolução de bacias hidrográficas e outras formações paisagísticas em larga escala, bem como condições de temperatura e umidade que prevaleceram ao longo desse intervalo. Os peixes de água doce estão restritos, devido à sua fisiologia, a rios e lagos, e geralmente possuem capacidades limitadas para se dispersar diante das barreiras. Em consequência disso, muitas vezes há uma correspondência próxima entre a história evolutiva das bacias fluviais os grupos de peixes presentes. No caso da bacia Tocantins – Araguaia, os resultados indicam a ocorrência de um grande número de espécies, geralmente de pequeno porte, restrita aos cursos de água mais altos da bacia, conforme apresentado por Chamon et al. (2022), que são os principais locais para a instalação de hidrelétricas menores (PCHs e CGHs). Por outro lado, nos trechos

mais baixos das bacias, e dos principais tributários, são locais essenciais para que as espécies migradoras completem seu ciclo de vida, mas também dentro das áreas indicadas para implementação das hidrelétricas de maior porte. Destarte, se as pressões sobre o ambiente seguirem o mesmo ritmo os ecossistemas podem nunca mais se recuperar com a perda tanto da diversidade de peixes quanto da socioambiental, que se adaptou a esses sistemas ao longo do tempo.

A vegetação é um componente primário do ciclo hidrológico, e os altos níveis de desmatamento e conversão da vegetação natural em lavouras, pastagens e cana-de-açúcar desencadeiam mudanças hidrológicas, geomorfológicas e bioquímicas em pequenos e grandes rios e ainda, mudanças significativas na temperatura da superfície terrestre. As mudanças decorrentes da construção das usinas em cascata têm efeitos negativos sobre a diversidade dos sistemas ripários (Sirqueira et al., 2020) e ressecamento das regiões litorâneas à jusante pela regulação do fluxo (Swanson et al., 2021). Ambas com efeitos sobre a fauna de peixes.

## **5. CONCLUSÃO**

O planejamento do setor elétrico está organizado em cenários que visam prever as condições do mercado até o ano de 2050. Contudo, destaca-se que o conhecimento e a definição de estratégias de conservação da fauna de peixes ocorrem geralmente após ou simultaneamente à implementação de usinas hidrelétricas. Os estudos de impacto e os Planos Básicos Ambientais para conservação da ictiofauna, que são exigidos legalmente, têm contribuído para o avanço do conhecimento, mas infelizmente são executados após a definição das obras impossibilitando o planejamento da conservação com antecedência.

Como perspectiva futura para a conservação da fauna de peixes na bacia hidrográfica, é necessário o respeito, a valorização e o envolvimento direto das comunidades ribeirinhas com a construção de dados consistentes que abranjam toda a bacia, levando em consideração a diversidade de espécies, de usos, de ambiente, bem como a diversidade socioambiental e cultural relacionada ao uso dos ambientes de água doce na governança dos sistemas. Além disso, é fundamental que as áreas prioritárias para conservação da biodiversidade sejam definidas com a participação efetiva das sociedades locais, antes da aprovação de novos empreendimentos hidrelétricos e de outros projetos relacionados ao ambiente aquático. Nesse sentido a bacia Tocantins-Araguaia é um desafio importante.

## 6. REFERÊNCIAS

- Abell, R., Thieme, M. L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., ... & P. Petry, 2008. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*, 58(5), 403-414.
- Agostinho, A. A.; Gomes, L. C.; & F. M. Pelicice, 2007. *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Maringá: Eduem, 501p.
- Agostinho, C. S., Agostinho, A. A., Pelicice, F., Almeida, D. A. D., & E. E. Marques, Selectivity of fish ladders: a bottleneck in neotropical fish movement. *Neotropical Ichthyology*, v.5, n. 2, 205-213, 2007.
- Akama, A., 2017. Impacts of the hydroelectric power generation over the fish fauna of the Tocantins River, Brazil: Marabá Dam, the final blow. *Oecologia Australis*, 21(3). p. 222- 231.
- Albert, J. S., & R. Reis, (Eds.), 2011. *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. Univ of California Press. P. 3-19.
- ANA - Agência Nacional de Águas, 2009. *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia: Relatório Síntese*. 256 p.: Il. ISBN 978-85-89629-55-3
- Anderson, E. P., Jenkins, C. N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Encalada, A. C., ... & P. A. Tedesco, 2018. Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Science advances*, 4(1), eaao1642.
- Aneel, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. AHE - Mapa dos Empreendimentos de Aproveitamento Hidrelétricos (Estágio da usina) <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acessado em: 12 de março de 2021.
- Aneel, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2022. Aplicação desenvolvida utilizando Web AppBuilder para downloads dos dados nos formatos Shapefile e KMZ. <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acessado em: 26 de abril de 2022.
- Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2023. *Matriz Elétrica Brasil, SCG – superintendência de Concessões e Autorização de Gestão*. <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acessado em: 03 de maio de 2023.
- Barbosa, F. A. R.; Padisák, J.; Espíndola, E. L. G.; Borics, G. & O. Rocha, 1999. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the river Tietê-basin, São Paulo State, Brazil. In: J. G. Tundisi & M. Strakraba (eds.), *Theoretical Reservoir Ecology and its applications* Backhuys Publ. The Netherlands, pp. 425-437.
- Bartolette, R., Souza-Lima, R., Figueiredo, C. A. A., Moraes Jr, D. F., & E. P. Caramaschi, 2012. Composição taxonômica da ictiofauna da área da UHE Serra da Mesa. In: Mazzoni R., Caramaschi E. P., & Iglesias-Rios, R. (Org.) *Usina hidrelétrica de Serra da Mesa: 15 anos de estudos da Ictiofauna do alto Rio Tocantins*. Rio de Janeiro: Furnas, 53-90.
- Bartolette, R., Vieira, C. S., Santos, C. D. C., Ludovice, J. S. V., Passos, T. S., D'avilla, T., ... & M. F. G. Brito, 2017. The ichthyofauna in the influence area of the Lajeado reservoir, Tocantins state, Brazil. *Check List*, 13(3), 2156-2156.

- Brasil. MMA. Portaria GM/MMA N° 300, de 13 de dezembro de 2022. Reconhece a Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. (Publicado no DOU em 14/12/2022)
- Brasil. Portaria MMA N° 445, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece a Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos. Publicada no DOU 18/12/2014 – seção 01 pág. 126
- Brasil. Resolução N. 32, de 15 de outubro de 2003 – Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. (Publicado no DOU em 17/12/2003).
- Brasil -MME-EPE. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2010 2 v.: il. 1. Energia Brasil. 2. Política Energética Brasil 3. Recursos Energéticos Brasil
- Brasil -MME-EPE. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2012 2v.: il. 1. Energia Brasil. 2. Política Energética Brasil 3. Recursos Energéticos Brasil.
- Brasil -MME-EPE. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética Plano Decenal de Expansão de Energia 2022 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2013 2v.: il. 1. Energia Brasil. 2. Política Energética Brasil 3. Recursos Energéticos Brasil.
- Brasil -MME-EPE. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2022 1v.: il. 1. Energia Brasil. 2. Política Energética Brasil 3. Recursos Energéticos Brasil
- Brasil -MME-EPE. Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2006-2015 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. – Brasília: MME: EPE, 2006. 304 p.: il. ISSN 1809-9971 1. Energia elétrica – Brasil. 2. Setor elétrico. 3. Plano decenal. I. Empresa de Pesquisa Energética. II. Título.
- Brasil – MME-EPE. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Plano Nacional de Energia 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020
- Carolsfeld, J., Harvey, B., Ross, C., & A. Baer, 2003. Migratory fish of South America. World Fisheries Trust, Victoria. British Columbia.
- Celestino, L. F., Sanz-Ronda, F. J., Miranda, L. E., Makrakis, M. C., Dias, J. H. P., & S. Makrakis, 2019. Bidirectional connectivity via fish ladders in a large Neotropical river. *River Research and Applications*, 35(3), 236-246.
- Chamon, C. C., Serra, J. P., Camelier, P., Zanata, A. M., Fichberg, I., & M. M. F. Marinho, 2022. Building knowledge to save species: 20 years of ichthyological studies in the Tocantins-Araguaia River basin. *Biota Neotropica*, 22.
- Claro-García, A., & O. A. Shibatta, 2013. The fish fauna of streams from the upper rio Tocantins basin, Goiás State, Brazil. *Check List*, 9(1), 28-33.

- Claro-García, A., & Shibatta, O. A. (2013). The fish fauna of streams from the upper rio Tocantins basin, Goiás State, Brazil. *Check List*, 9(1), 28-33.
- da Silva Coelho, L. O., dos Santos Alves, F., Lima, T. B., Nascimento, L., Fernandes, R. T. V., & J. F. de Oliveira, 2020. A fauna de peixes do Rio Tocantins, bacia Araguaia-Tocantins: composição.
- Dagosta, F. C., & M. De Pinna, 2017. Biogeography of Amazonian fishes: deconstructing river basins as biogeographic units. *Neotropical Ichthyology*, 15.
- Dagosta, F. C., & M. De Pinna, 2019. The fishes of the Amazon: distribution and biogeographical patterns, with a comprehensive list of species. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2019(431), 1-163.
- Dagosta, F. C., & Pinna, M. D. (2017). Biogeography of Amazonian fishes: deconstructing river basins as biogeographic units. *Neotropical Ichthyology*, 15.
- de Oliveira Guedes, T. L., 2021. A ictiofauna da ecorregião Tocantins-Araguaia: diversidade, redes de pesquisa e construção do conhecimento. [Tese doutorado em ciências do ambiente], Universidade federal de Tocantins.
- de Oliveira Guedes, T. L., Marques, E. E., & J. R. M. Alves, 2021. Rede de pesquisadores e instituições atuando na descrição de espécies de peixes da ecorregião Tocantins-Araguaia. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(5), 132-149.
- Doria, C. R. D. C., Agudelo, E., Akama, A., Barros, B., Bonfim, M., Carneiro, L., ... & J. R. S. Vitule, 2021. The silent threat of non-native fish in the Amazon: ANNF database and review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 646702.
- EPE E DIVERSAS - Sustentabilidade. SIEMAS – Sistema de Indicadores de Energia, Meio Ambiente e Sociedade. Bem-estar. Indicadores de Bem-Estar Energético. Texto base: Subsídios para as oficinas. Julho de 2022. <https://www.epe.gov.br> Acessado em: 06 de maio de 2023.
- Fearnside, P. M., 2015. Amazon dams and waterways: Brazil's Tapajós Basin plans. *Ambio*, 44, 426-439.
- Ferreira, E. J.G., Zuanon, J., dos Santos, G. M., & S. A. Amadio, 2011. The fish fauna of the Parque Estadual do Cantão, Araguaia River, State of Tocantins, Brazil. *Biota Neotropica*, Campinas, v. 11, n. 2, p. 277-284
- Giongo, P., Sampaio, W. M. S., Belei, F., de Carvalho, F. K., Fernandes, A., & J. A. Dergam, 2011. Ichthyofauna of the Carrapato, Mutum and Caba Saco streams (Araguaia River Basin), Serra dos Carajás region, southeastern Pará, Brazil. *Check List*, 7(4), 517-521.
- Hecht, S., Schmink, M., Abers, R., Assad, E., Humphreys Bebbington, D., Eduardo, B., ... & M. Pinedo-Vazquez, 2021. The Amazon in motion: Changing politics, development strategies, peoples, landscapes, and livelihoods. *Amazon Assessment Report 2021, Part II*, 14-2.
- Heckenberger, M. J., Christian Russell, J., Toney, J. R., & M. J. Schmidt, 2007. The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478), 197-208.



- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Bacias e divisões hidrográficas do Brasil / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2021.160 p. - (Relatórios Metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 48).
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI - Peixes. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília: ICMBio 1232p.
- Jarduli, L. R., Claro-García, A., & O. A. Shibatta, 2014. Ichthyofauna of the rio Araguaia basin, states of Mato Grosso and Goiás, Brazil. *Check List*, 10(3), 483-515.
- Jarduli, L. R., Claro-García, A., & Shibatta, O. A. (2014). Ichthyofauna of the rio Araguaia basin, states of Mato Grosso and Goiás, Brazil. *Check List*, 10(3), 483-515.
- Lima, F. C. T. D., & R. A. Caires, 2011. Peixes da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, bacias dos rios Tocantins e São Francisco, com observações sobre as implicações biogeográficas das "águas emendadas" dos rios Sapão e Galheiros. *Biota Neotropica*, 11, 231-250.
- Lucinda, P. H., Freitas, I. S., Soares, A. B., Marques, E. E., Agostinho, C. S., & R. J. de Oliveira, 2007. Fish, Lajeado reservoir, rio Tocantins drainage, state of Tocantins, Brazil. *Check List*, 3(2), 70-83.
- Marcuzzo, F. F. N., 2017. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRH. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18492>>. Acesso em: 01 fev. 2019.
- Middleton, C., 2022. Moving beyond ‘sustainable hydropower’ in the Mekong basin. Disponível em: <https://www.water-alternatives.org/index.php/blog/mekong> Acesso em: 03 maio de 2023.
- Nelson, J. S., 2006. *Fishes of the World*. 4º Ed. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 601p
- Neuberger, A. L., Marques, E. E., Agostinho, C. S., & F. M. Pelicice, 2009. Variações espaciais na atividade reprodutiva de peixes na área de influência do reservatório de Peixe Angical. Reservatório de Peixe Angical: bases ecológicas para o manejo da ictiofauna. São Carlos, RiMa Editora, 59-68.
- Pelicice F. M., & A. A. Agostinho, 2008. Fish-passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. *Conservation Biology* 22: 180–8 DOI: 10.1111/j.1523-1739.2007.00849.x
- Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Akama, A., Andrade Filho, J. D., Azevedo-Santos, V. M., Barbosa, M. V. M., ... & J. Zuanon, 2021. Large-scale degradation of the Tocantins-Araguaia River basin. *Environmental Management*, 68, 445-452.
- Pinto, M. D. S, da Costa Doria, C. R., & E. E. Marques, 2019. Alterações temporais sobre a estrutura funcional das assembleias de peixes durante onze anos de formação de um reservatório do médio rio Tocantins, Brasil. *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, 9(1), 17-21.

- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2015. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em 23 mai. 2023.
- Reis, R. E., Albert, J. S., Di Dario, F., Mincarone, M. M., Petry, P., & L. A. Rocha, 2016. Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of fish biology*, 89(1), 12-47.
- Ribeiro, M. C. L. D. B., Petrere, M., & A. A. Juras, 1995. Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia—Tocantins River Basin, Brazil. *Regulated rivers: research & management*, 11(3-4), 325-350.
- Santos, G. M. D., Juras, A. A., Mérona, B. D., & M. Jégue, 2004. Peixes do baixo rio Tocantins. 20 anos depois da Usina Hidrelétrica Tucuruí.
- Santos, G., Jegu, M., Merona, B. D., & C. E. D. N. do Brasil, 1984. Catálogo de peixes comerciais do baixo rio Tocantins; projeto Tucuruí.
- Seliger, C., & B. Zeiringer, 2018. River connectivity, habitat fragmentation and related restoration measures. *Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable Future*, 171-186.
- Sirqueira, E. G. G., Laufer, J., de Fátima Lolis, S., & E. E. Marques, 2020. A vulnerabilidade das matas ripárias diante da construção de grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia do Rio Tocantins. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(1), 375-395.
- Soares, A. B., Pelicice, F. M., Lucinda, P. H., Akama, A., & C. S. Agostinho, 2009. Diversidade de peixes na área de influência da barragem de Peixe Angical, antes e após a formação do reservatório. *Reservatório de Peixe Angical: bases ecológicas para o manejo da ictiofauna*. São Carlos: RiMa, 15-27.
- Soukhaphon, A., Baird, I. G., & Z. S. Hogan, 2021. The impacts of hydropower dams in the Mekong River Basin: A review. *Water*, 13(3), 265.
- Stein, A., Gerstner, K., & H. Kreft, 2014. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology letters*, 17(7), 866-880.
- Su, G., Tedesco, P. A., Toussaint, A., Villéger, S., & S. Brosse, 2022. Contemporary environment and historical legacy explain functional diversity of freshwater fishes in the world rivers. *Global Ecology and Biogeography*, 31(4), 700-713.
- Swanson, A. C., Kaplan, D., Toh, K. B., Marques, E. E., & S. A. Bohlman, 2021. Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. *Science of The Total Environment*, 800, 149494.
- Tocantins. Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ). Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins. Palmas: SEFAZ/GZT, 2020. 464 p., Ilust. Série TOCANTINS / Recursos Naturais / Cartas Climáticas - v. 1, 2020.

- Tocantins. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução COEMA- TO, N. 88, de 5 dezembro de 2018. Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura no estado do Tocantins. Publicado no DOE em 7 de dezembro de 2018.
- Tundisi, J. G., 2005. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios: estudos de caso e perspectivas. *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 1, 1-21.
- Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., ... & L. Saenz, 2016. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128-129.

## Apêndice 1

Espécies de ocorrência exclusiva à jusante da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

<b>Ordem</b>	<b>Família</b>	<b>Ano</b>	<b>Gênero/Espécie/Autoria/Ano</b>
Anguilliformes	Ophichthidae	1975	<i>Stictorhinus potamius</i> Böhlke & McCosker 1975
Characiformes	Crenuchidae	1863	<i>Crenuchus spilurus</i> Günther 1863
Characiformes	Crenuchidae	1993	<i>Microcharacidium weitzmani</i> Buckup 1993
Characiformes	Serrasalmidae	2020	<i>Myloplus nigrolineatus</i> Ota, Machado, Andrade, Collins, Farias & Hrbek 2020
Characiformes	Serrasalmidae	1908	<i>Pristobrycon calmoni</i> (Steindachner 1908)
Characiformes	Serrasalmidae	1819	<i>Pygopristis denticulata</i> (Cuvier 1819)
Characiformes	Hemiodontidae	1985	<i>Bivibranchia notata</i> Vari & Goulding 1985
Characiformes	Anostomidae	1890	<i>Laemolyta proxima</i> (Garman 1890)
Characiformes	Curimatidae	1889	<i>Curimata ocellata</i> Eigenmann & Eigenmann 1889
Characiformes	Curimatidae	1858	<i>Curimata vittata</i> (Kner 1858)
Characiformes	Curimatidae	1844	<i>Curimatella alburnus</i> (Müller & Troschel 1844)
Characiformes	Lebiasinidae	1876	<i>Nannostomus eques</i> Steindachner 1876
Characiformes	Gasteropelecidae	1864	<i>Carnegiella strigata</i> (Günther 1864)
Characiformes	Gasteropelecidae	1909	<i>Gasteropelecus levis</i> (Eigenmann 1909)
Characiformes	Characidae	1842	<i>Astyanax abramis</i> (Jenyns 1842)
Characiformes	Characidae	1989	<i>Brachychalcinus parnaiba</i> Reis 1989
Characiformes	Characidae	1758	<i>Charax gibbosus</i> (Linnaeus 1758)
Characiformes	Characidae	1909	<i>Deuterodon mutator</i> (Eigenmann 1909)
Characiformes	Characidae	1959	<i>Hemigrammus guyanensis</i> Géry 1959
Characiformes	Characidae	1858	<i>Hemigrammus unilineatus</i> (Gill 1858)
Characiformes	Characidae	1908	<i>Hyphessobrycon bentosi</i> Durbin 1908
Characiformes	Characidae	1965	<i>Jupiaba anteroides</i> (Géry 1965)
Characiformes	Characidae	1908	<i>Jupiaba zonata</i> (Eigenmann 1908)
Characiformes	Characidae	1908	<i>Moenkhausia comma</i> Eigenmann 1908
Characiformes	Characidae	1989	<i>Poptella brevispina</i> Reis 1989
Characiformes	Characidae	1901	<i>Poptella longipinnis</i> (Popta 1901)
Characiformes	Characidae	1870	<i>Prionobrama filigera</i> (Cope 1870)
Characiformes	Characidae	1894	<i>Pristella maxillaris</i> (Ulrey 1894)
Characiformes	Characidae	1819	<i>Psalidodon fasciatus</i> (Cuvier 1819)
Characiformes	Characidae	1937	<i>Serrapinnus kriegi</i> (Schindler 1937)
Gymnotiformes	Apteronotidae	1877	<i>Adontosternarchus sachs</i> (Peters 1877)
Gymnotiformes	Apteronotidae	1912	<i>Porotergus gimbeli</i> Ellis 1912

Gymnotiformes	Apterodontidae	2013	<i>Sternarchella calhamazon</i> Lundberg, Cox Fernandes, Campos-da-Paz & Sullivan 2013
Gymnotiformes	Apterodontidae	2010	<i>Sternarchorhynchus goeldii</i> de Santana & Vari 2010
Gymnotiformes	Apterodontidae	1868	<i>Sternarchorhynchus mormyrus</i> (Steindachner 1868)
Gymnotiformes	Apterodontidae	2007	<i>Tenebrosternarchus preto</i> (de Santana & Crampton 2007)
Gymnotiformes	Sternopygidae	1942	<i>Distocyclus conirostris</i> (Eigenmann & Allen 1942)
Gymnotiformes	Sternopygidae	1856	<i>Rhabdolichops troscheli</i> (Kaup 1856)
Gymnotiformes	Gymnotidae	1935	<i>Gymnotus coatesi</i> LaMonte 1935
Gymnotiformes	Gymnotidae	1962	<i>Gymnotus coropinae</i> Hoedeman 1962
Gymnotiformes	Rhamphichthyidae	1880	<i>Steatogenys elegans</i> (Steindachner 1880)
Siluriformes	Trichomycteridae	1927	<i>Ochmacanthus alternus</i> Myers 1927
Siluriformes	Trichomycteridae	1931	<i>Stegophilus panzeri</i> (Ahl 1931)
Siluriformes	Trichomycteridae	1994	<i>Typhlobelus macromycterus</i> Costa & Bockmann 1994
Siluriformes	Callichthyidae	1906	<i>Corydoras julii</i> Steindachner 1906
Siluriformes	Loricariidae	1988	<i>Acanthicus adonis</i> Isbrücker & Nijssen 1988
Siluriformes	Loricariidae	1864	<i>Ancistrus hoplogenyis</i> (Günther 1864)
Siluriformes	Loricariidae	1913	<i>Farlowella smithi</i> Fowler 1913
Siluriformes	Loricariidae	2009	<i>Lamontichthys parakana</i> de Carvalho Paixão & Toledo-Piza 2009
Siluriformes	Loricariidae	1864	<i>Lasiancistrus schomburgkii</i> (Günther 1864)
Siluriformes	Loricariidae	1940	<i>Limatulichthys petleyi</i> (Fowler 1940)
Siluriformes	Loricariidae	1758	<i>Loricaria cataphracta</i> Linnaeus 1758
Siluriformes	Loricariidae	2008	<i>Loricaria pumila</i> Thomas & Rapp Py-Daniel 2008
Siluriformes	Loricariidae	1935	<i>Peckoltia brevis</i> (LaMonte 1935)
Siluriformes	Loricariidae	1854	<i>Pterygoplichthys gibbiceps</i> (Kner 1854)
Siluriformes	Loricariidae	1854	<i>Pterygoplichthys punctatus</i> (Kner 1854)
Siluriformes	Cetopsidae	2005	<i>Denticetopsis epa</i> Vari, Ferraris & de Pinna 2005
Siluriformes	Aspredinidae	1855	<i>Amaralia hypsiura</i> (Kner 1855)
Siluriformes	Aspredinidae	1794	<i>Platystacus cotylephorus</i> Bloch 1794
Siluriformes	Auchenipteridae	2017	<i>Ageneiosus lineatus</i> Ribeiro, Rapp Py-Daniel & Walsh 2017
Siluriformes	Auchenipteridae	1855	<i>Ageneiosus ucayalensis</i> Castelnau 1855
Siluriformes	Auchenipteridae	1908	<i>Ageneiosus vittatus</i> Steindachner 1908
Siluriformes	Auchenipteridae	1794	<i>Pseudauchenipterus nodosus</i> (Bloch 1794)
Siluriformes	Auchenipteridae	2006	<i>Tetranematichthys wallacei</i> Vari & Ferraris 2006
Siluriformes	Auchenipteridae	1853	<i>Centromochlus heckelii</i> (De Filippi 1853)
Siluriformes	Doradidae	1853	<i>Astrodoras asterifrons</i> (Kner 1853)
Siluriformes	Doradidae	1840	<i>Lithodoras dorsalis</i> (Valenciennes 1840)
Siluriformes	Doradidae	1961	<i>Rhynchodoras xingui</i> Klausewitz & Rössel 1961

Siluriformes	Heptapteridae	1912	<i>Brachyglanis melas</i> Eigenmann 1912
Siluriformes	Heptapteridae	1915	<i>Cetopsorhamdia insidiosa</i> (Steindachner 1915)
Siluriformes	Heptapteridae	1912	<i>Leptorhamdia essequibensis</i> (Eigenmann 1912)
Siluriformes	Heptapteridae	1849	<i>Rhamdia foina</i> (Müller & Troschel 1849)
Siluriformes	Pimelodidae	1855	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i> (Castelnau 1855)
Siluriformes	Pimelodidae	2006	<i>Propimelodus caesius</i> Parisi, Lundberg & DoNascimento 2006
Siluriformes	Pimelodidae	1946	<i>Propimelodus eigenmanni</i> (Van der Stigchel 1946)
Siluriformes	Pseudopimelodidae	1840	<i>Batrochoglanis raninus</i> (Valenciennes 1840)
Siluriformes	Pseudopimelodidae	1912	<i>Batrochoglanis villosus</i> (Eigenmann 1912)
Gobiiformes	Eleotridae	1792	<i>Dormitator maculatus</i> (Bloch 1792)
Gobiiformes	Eleotridae	1789	<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin 1789)
Gobiiformes	Eleotridae	1927	<i>Microphilypnus ternetzi</i> Myers 1927
Gobiiformes	Gobiidae	1837	<i>Awaous flavus</i> (Valenciennes 1837)
Pleuronectiformes	Achiridae	1858	<i>Apionichthys dumerili</i> Kaup 1858
Cichliformes	Cichlidae	1849	<i>Acarichthys heckelii</i> (Müller & Troschel 1849)
Cichliformes	Cichlidae	1840	<i>Acaronia nassa</i> (Heckel 1840)
Cichliformes	Cichlidae	1875	<i>Apistogramma agassizii</i> (Steindachner 1875)
Cichliformes	Cichlidae	1980	<i>Apistogramma caetei</i> Kullander 1980
Cichliformes	Cichlidae	2003	<i>Apistogramma tucurui</i> Staeck 2003
Cichliformes	Cichlidae	1875	<i>Chaetobranchopsis orbicularis</i> (Steindachner 1875)
Cichliformes	Cichlidae	1758	<i>Cichlasoma bimaculatum</i> (Linnaeus 1758)
Cichliformes	Cichlidae	1863	<i>Crenicara punctulata</i> (Günther 1863)
Cichliformes	Cichlidae	1905	<i>Crenicichla wallacii</i> Regan 1905
Cichliformes	Cichlidae	1840	<i>Heros severus</i> Heckel 1840
Cichliformes	Cichlidae	1998	<i>Mesonauta guyanae</i> Schindler 1998
Cichliformes	Cichlidae	1963	<i>Pterophyllum leopoldi</i> (Gosse 1963)
Cyprinodontiformes	Anablepidae	1758	<i>Anableps anableps</i> (Linnaeus 1758)
Beloniformes	Hemiramphidae	1948	<i>Hyporhamphus brederi</i> (Fernández-Yépez 1948)
Mugiliformes	Mugilidae	1830	<i>Mugil incilis</i> Hancock 1830
Perciformes * <i>sedis mutabilis</i> *	Sciaenidae	1855	<i>Plagioscion auratus</i> (Castelnau 1855)

Fonte: Elaborada pelos autores a partir da literatura.

## Apendice 2

Lista de espécies com ocorrência restrita à ecorregião Tocantins-Araguaia (R), ameaçadas de extinção de acordo com a Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçada de Extinção (categorias: Em Perigo (EN), Vulnerável (VU), Criticamente em Perigo (CR) e Criticamente em Perigo, Possivelmente Extinta (CRPEX)), de acordo com a Portaria GM/MMA N 300, de 13 de dezembro de 2022. E espécies migradoras de longa distância.

ORDEM/Família/Espécie	Restrita à bacia	Ameaçadas de extinção*	Migradoras de longa distância
<b>MYLIOBATIFORMES</b>			
<b>Potamotrygonidae</b>			
<i>Potamotrygon henlei</i> (Castelnau 1855)	R		
<i>Potamotrygon rex</i> Carvalho 2016	R		
<b>CLUPEIFORMES</b>			
<b>Engraulidae</b>			
<i>Anchoviella carrikeri</i> Fowler 1940			MLD
<i>Lycengraulis batesii</i> (Günther 1868)			MLD
<b>Pristigasteridae</b>			
<i>Pellona castelnaeana</i> Valenciennes 1847			MLD
<i>Pellona flavipinnis</i> (Valenciennes 1837)			MLD
<i>Characidium mirim</i> Netto-Ferreira, Birindelli & Buckup 2013	R		
<i>Characidium stigmosum</i> Melo & Buckup 2002	R		
<b>Parodontidae</b>			
<i>Apareiodon argenteus</i> Pavanelli & Britski 2003	R		
<i>Apareiodon cavalcante</i> Pavanelli & Britski 2003	R		
<i>Apareiodon tigrinus</i> Pavanelli & Britski 2003	R		
<i>Hydrolycus armatus</i> (Jardine 1841)			MLD
<i>Hydrolycus tatauaia</i> Toledo-Piza, Menezes & Santos 1999			MLD
<i>Rhaphiodon vulpinus</i> Spix & Agassiz 1829			MLD
<i>Colossoma macropomum</i> (Cuvier 1816)			MLD
<i>Mylesinus paucisquamatus</i> Jégu & Santos 1988	R	EN	
<i>Myloplus torquatus</i> (Kner 1858)			MLD
<i>Mylossoma duriventre</i> (Cuvier 1818)			MLD
<i>Mylossoma unimaculatum</i> (Steindachner 1908)	R		MLD
<i>Piaractus brachypomus</i> (Cuvier 1818)			MLD
<i>Piaractus mesopotamicus</i> (Holmberg 1887)			MLD
<i>Serrasalmus geryi</i> Jégu & Santos 1988	R		
<i>Tometes ancylorhynchus</i> Andrade, Jégu & Giarrizzo 2016			MLD
<i>Tometes siderocarajensis</i> Andrade, Machado, Jégu, Farias & Giarrizzo 2017			MLD
<i>Argonectes robertsi</i> Langeani 1999			MLD

<i>Hemiodus microlepis</i> Kner 1858			MLD
<i>Hemiodus semitaeniatus</i> Kner 1858			MLD
<i>Hemiodus ternetzi</i> Myers 1927			MLD
<i>Hemiodus tocantinensis</i> Langeani 1999			MLD
<i>Hemiodus unimaculatus</i> (Bloch 1794)			MLD
<i>Leporinus bistrriatus</i> Britski 1997	R		
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch 1794)			MLD
<i>Leporinus geminis</i> Garavello & Santos 2009	R		
<i>Leporinus santosi</i> Britski & Birindelli 2013	R		
<i>Leporinus taeniofasciatus</i> Britski 1997	R		
<i>Leporinus venerei</i> Britski & Birindelli 2008	R		
<i>Megaleporinus trifasciatus</i> (Steindachner 1876)			MLD
<i>Sartor tucuruensis</i> Santos & Jégu 1987	R	EN	
<i>Schizodon vittatus</i> (Valenciennes 1850)			MLD
<b>Curimatidae</b>			
<i>Curimata acutirostris</i> Vari & Reis 1995			MLD
<i>Curimata cyprinoides</i> (Linnaeus 1766)			MLD
<i>Curimata inornata</i> Vari 1989			MLD
<i>Cyphocharax signatus</i> Vari 1992	R		
<i>Psectrogaster amazonica</i> Eigenmann & Eigenmann 1889			MLD
<i>Steindachnerina gracilis</i> Vari & Williams Vari 1989	R		
<i>Steindachnerina notograptos</i> Lucinda & Vari 2009	R		
<b>Prochilodontidae</b>			
<i>Prochilodus nigricans</i> Spix & Agassiz 1829			MLD
<i>Semaprochilodus brama</i> (Valenciennes 1850)			MLD
<b>Triporthidae</b>			
<i>Clupea charax anchoveoides</i> Pearson 1924			MLD
<i>Triporthus albus</i> Cope 1872			MLD
<i>Triporthus trifurcatus</i> (Castelnau 1855)			MLD
<b>Bryconidae</b>			
<i>Brycon falcatus</i> Müller & Troschel 1844			MLD
<i>Brycon gouldingi</i> Lima 2004	R	EN	MLD
<i>Salminus hilarii</i> Valenciennes 1850			MLD
<i>Bryconops hexalepis</i> Guedes, Oliveira & Lucinda 2019	R		
<i>Bryconops tocantinensis</i> Guedes, Oliveira & Lucinda 2016	R		
<b>Acestrorhynchidae</b>			
<i>Roestes itupiranga</i> Menezes & Lucena 1998	R	VU	
<b>Characidae</b>			
<i>Acestrocephalus maculosus</i> Menezes 2006	R		



<i>Astyanax courensis</i> Bertaco, Carvalho & Jerep 2010	R	
<i>Astyanax goyanensis</i> (Miranda Ribeiro 1944)	R	
<i>Astyanax joaovitori</i> Oliveira, Pavanelli & Bertaco 2017	R	
<i>Astyanax kullanderi</i> Costa 1995	R	
<i>Astyanax unitaeniatus</i> Garutti 1998	R	
<i>Bryconamericus novae</i> Eigenmann & Henn 1914	R	
<i>Caiapobrycon tucurui</i> Malabarba & Vari 2000	R	
<i>Creagrutus atrisignum</i> Myers 1927	R	
<i>Creagrutus figueiredoi</i> Vari & Harold 2001	R	
<i>Creagrutus molinus</i> Vari & Harold 2001	R	
<i>Creagrutus saxatilis</i> Vari & Harold 2001	R	
<i>Creagrutus seductus</i> Vari & Harold 2001	R	
<i>Ctenocheirodon pristis</i> Malabarba & Jerep 2012	R	
<i>Cynopotamus tocantinensis</i> Menezes 1987	R	
<i>Hasemania crenuchoides</i> Zarske & Géry 1999		EN
<i>Hasemania kalunga</i> Bertaco & Carvalho 2010	R	
<i>Hemigrammus ataktos</i> Marinho, Dagosta & Birindelli 2014	R	
<i>Hemigrammus filamentosus</i> Zarske 2011	R	
<i>Hemigrammus tocantinsi</i> Carvalho, Bertaco & Jerep 2010	R	
<i>Hyphessobrycon amandae</i> Géry & Uj 1987	R	
<i>Hyphessobrycon eilyos</i> Lima & Moreira 2003	R	
<i>Hyphessobrycon hamatus</i> Bertaco & Malabarba 2005	R	
<i>Hyphessobrycon haraldschultzi</i> Travassos 1960	R	
<i>Hyphessobrycon langeanii</i> Lima & Moreira 2003	R	
<i>Hyphessobrycon stegemanni</i> Géry 1961	R	
<i>Hyphessobrycon weitzmanorum</i> Lima & Moreira 2003	R	
<i>Jupiaba elassonaktis</i> Pereira & Lucinda 2007	R	
<i>Knodus figueiredoi</i> Esguícero & Castro 2014	R	
<i>Moenkhausia alesi</i> Petrolli & Benine 2015	R	
<i>Moenkhausia dasalmas</i> Bertaco, Jerep & Carvalho 2011	R	
<i>Moenkhausia goya</i> Deprá, Azevedo-Santos, Vitorino Júnior, Dagosta, Marinho & Benine 2018	R	
<i>Moenkhausia pankilopteryx</i> Bertaco & Lucinda 2006	R	
<i>Moenkhausia tergimacula</i> Lucena & Lucena 1999	R	
<i>Moenkhausia venerei</i> Petrolli, Azevedo-Santos & Benine 2016	R	
<i>Phenacogaster eurytaenia</i> Lucena, Antonetti & Lucena 2018	R	
<i>Phenacogaster naevata</i> Antonetti, Lucena & Lucena 2018	R	
<i>Rhinopetitia myersi</i> Géry 1964	R	
<i>Rhinopetitia paucirastra</i> Menezes & Netto-Ferreira 2019	R	
<i>Serrapinnus aster</i> Malabarba & Jerep 2014	R	

<i>Serrapinnus lucindai</i> Jerep & Malabarba 2014	R	
<i>Serrapinnus malabarbai</i> Jerep, Dagosta & Ohara 2018	R	
<i>Serrapinnus sterbai</i> Zarske 2012	R	
<i>Serrapinnus tocantinensis</i> Malabarba & Jerep 2014	R	
<i>Tetragonopterus anostomus</i> Silva & Benine 2011	R	
<i>Tetragonopterus araguaiensis</i> Silva, Melo, Oliveira & Benine 2013	R	
<i>Tetragonopterus denticulatus</i> Silva, Melo, Oliveira & Benine 2013	R	
<i>Xenurobrycon coracoralinae</i> Moreira 2005	R	
<b>GYMNOTIFORMES</b>		
<b>Apteronotidae</b>		
<i>Apteronotus camposdapazi</i> de Santana & Lehmann A. 2006	R	
<i>Sternarchorhynchus axelrodi</i> de Santana & Vari 2010	R	
<i>Sternarchorhynchus mesensis</i> Campos-da-Paz 2000	R	
<i>Sternarchorhynchus schwassmanni</i> de Santana & Vari 2010	R	
<b>Sternopygidae</b>		
<i>Eigenmannia vicentespelaea</i> Triques 1996	R	VU
<b>SILURIFORMES</b>		
<b>Trichomycteridae</b>		
<i>Ammoglanis diaphanus</i> Costa 1994	R	
<i>Henonemus intermedius</i> (Eigenmann & Eigenmann 1889)	R	
<i>Ituglanis bambui</i> Bichuette & Trajano 2004	R	CR
<i>Ituglanis boticario</i> Rizzato & Bichuette 2015	R	
<i>Ituglanis epikarsticus</i> Bichuette & Trajano 2004	R	VU
<i>Ituglanis ina</i> Wosiacki, Dutra & Mendonça 2012	R	
<i>Ituglanis macunaima</i> Datovo & Landim 2005	R	
<i>Ituglanis mambai</i> Bichuette & Trajano 2008	R	EN
<i>Ituglanis passensis</i> Fernández & Bichuette 2002	R	VU
<i>Ituglanis ramiroi</i> Bichuette & Trajano 2004	R	VU
<i>Tridentopsis tocantinsi</i> LaMonte 1939	R	
<b>Callichthyidae</b>		
<i>Aspidoras albater</i> Nijssen & Isbrücker 1976	R	
<i>Aspidoras belenos</i> Britto 1998	R	
<i>Aspidoras brunneus</i> Nijssen & Isbrücker 1976	R	
<i>Aspidoras eurycephalus</i> Nijssen & Isbrücker 1976	R	
<i>Aspidoras gabrieli</i> Wosiacki, Graças Pereira & Reis 2014	R	
<i>Aspidoras mephisto</i> Tencatt & Bichuette 2017	R	
<i>Aspidoras pauciradiatus</i> (Weitzman & Nijssen 1970)	R	
<i>Aspidoras velites</i> Britto, Lima & Moreira 2002	R	
<i>Corydoras araguaiaensis</i> Sands 1990	R	

<i>Corydoras cochui</i> Myers & Weitzman 1954	R	
<i>Corydoras eversi</i> Tencatt & Britto 2016	R	
<i>Corydoras maculifer</i> Nijssen & Isbrücker 1971	R	
<b>Loricariidae</b>		
<i>Ancistomus micrommatos</i> (Cardoso & Lucinda 2003)	R	
<i>Ancistomus spinosissimus</i> (Cardoso & Lucinda 2003)	R	
<i>Ancistrus aguaboensis</i> Fisch-Muller, Mazzoni & Weber 2001	R	
<i>Ancistrus cryptophthalmus</i> Reis 1987	R	EN
<i>Ancistrus jataiensis</i> Fisch-Muller, Cardoso, da Silva & Bertaco 2005	R	
<i>Ancistrus karajas</i> de Oliveira, Rapp Py-Daniel, Zawadzki & Zuanon 2016	R	
<i>Ancistrus minutus</i> Fisch-Muller, Mazzoni & Weber 2001	R	EN
<i>Ancistrus reisi</i> Fisch-Muller, Cardoso, da Silva & Bertaco 2005	R	
<i>Ancistrus stigmaticus</i> Eigenmann & Eigenmann 1889	R	
<i>Baryancistrus longipinnis</i> (Kindle 1895)	R	CR
<i>Baryancistrus niveatus</i> (Castelnau 1855)	R	CR
<i>Corumbataia anosteos</i> (Carvalho, Lehmann A. & Reis 2008)	R	
<i>Corumbataia canoeiro</i> (Roxo, Silva, Ochoa & Zawadzki 2017)	R	
<i>Corumbataia tocantinensis</i> Britski 1997	R	
<i>Corumbataia veadeiros</i> Carvalho 2008	R	
<i>Curculionichthys tukana</i> Roxo, Dias, Silva & Oliveira 2017	R	
<i>Farlowella henriquei</i> Miranda Ribeiro 1918	R	
<i>Harttia duriventris</i> Rapp Py-Daniel & Oliveira 2001	R	
<i>Harttia punctata</i> Rapp Py-Daniel & Oliveira 2001	R	
<i>Hemiancistrus cerrado</i> de Souza, Melo, Chamon & Armbruster 2008	R	
<i>Hisonotus</i> sp.	R	
<i>Hypoptopoma muzuspi</i> Aquino & Schaefer 2010	R	
<i>Hypostomus asperatus</i> Castelnau 1855	R	
<i>Hypostomus atropinnis</i> (Eigenmann & Eigenmann 1890)	R	
<i>Hypostomus delimai</i> Zawadzki, de Oliveira & Debona 2013	R	
<i>Hypostomus ericae</i> Hollanda Carvalho & Weber 2005	R	
<i>Hypostomus goyazensis</i> (Regan 1908)	R	
<i>Hypostomus paucipunctatus</i> Hollanda Carvalho & Weber 2005	R	
<i>Lamontichthys avacanoeiro</i> de Carvalho Paixão & Toledo-Piza 2009	R	
<i>Loricaria lata</i> Eigenmann & Eigenmann 1889	R	
<i>Microplecostomus forestii</i> Silva, Roxo, Ochoa & Oliveira 2016	R	
<i>Nannoplecostomus eleonora</i> Ribeiro, Lima & Pereira 2012	R	
<i>Otocinclus tapirape</i> Britto & Moreira 2002	R	
<i>Pseudacanthicus major</i> Chamon & Costa e Silva 2018	R	
<i>Pseudacanthicus pitanga</i> Chamon 2015	R	

<i>Pterygoplichthys joselimaianus</i> (Weber 1991)	R		
<i>Rhinolekos capetinga</i> Roxo, Ochoa, Silva & Oliveira 2015	R		
<i>Rineloricaria osvaldoi</i> Fichberg & Chamon 2008	R		
<i>Scobinancistrus pariolispos</i> Isbrücker & Nijssen 1989		VU	
<i>Spectracanthicus javae</i> Chamon, Pereira, Mendonça & Akama 2018	R		
<i>Spectracanthicus tocantinensis</i> Chamon & Rapp Py-Daniel 2014	R		
<b>Cetopsidae</b>			
<i>Cetopsis arcana</i> Vari, Ferraris & de Pinna 2005	R		
<i>Cetopsis caiapo</i> Vari, Ferraris & de Pinna 2005	R		
<i>Cetopsis sarcodes</i> Vari, Ferraris & de Pinna 2005	R		
<b>Aspredinidae</b>			
<i>Xyliphius anachoretetes</i> Figueiredo & Britto 2010	R		
<b>Auchenipteridae</b>			
<i>Ageneiosus dentatus</i> Kner 1858			MLD
<i>Ageneiosus inermis</i> (Linnaeus 1766)			MLD
<b>Doradidae</b>			
<i>Doras zuanoni</i> Sabaj Pérez & Birindelli 2008	R		
<i>Megalodoras uranoscopus</i> (Eigenmann & Eigenmann 1888)			MLD
<i>Oxydoras niger</i> (Valenciennes 1821)			MLD
<i>Pterodoras granulatus</i> (Valenciennes 1821)			MLD
<i>Rhinodoras boehlkei</i> Glodek, Whitmire & Orcés V. 1976			MLD
<i>Rhinodoras dorbignyi</i> (Kner 1855)			MLD
<b>Heptapteridae</b>			
<i>Phenacorhamdia somnians</i> (Mees 1974)	R		
<i>Pimelodella spelaea</i> Trajano, Reis & Bichuette 2004	R	EN	
<i>Rhamdia itacaiunas</i> Silfvergrip 1996			MLD
<i>Rhamdia muelleri</i> (Günther 1864)			MLD
<i>Rhamdia poeyi</i> Eigenmann & Eigenmann 1888			MLD
<b>Pimelodidae</b>			
<i>Aguarunichthys tocantinsensis</i> Zuanon, Rapp Py-Daniel & Jégu 1993	R	EN	
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i> (Lichtenstein 1819)			MLD
<i>Brachyplatystoma platynemum</i> Boulenger 1898			MLD
<i>Brachyplatystoma vaillantii</i> (Valenciennes 1840)			MLD
<i>Hemisorubim platyrhynchus</i> (Valenciennes 1840)			MLD
<i>Hypophthalmus marginatus</i> Valenciennes 1840			MLD
<i>Megalonema amaxanthum</i> Lundberg & Dahdul 2008			MLD
<i>Megalonema platycephalum</i> Eigenmann 1912			MLD
<i>Phractocephalus hemiliopterus</i> (Bloch & Schneider 1801)			MLD
<i>Pimelodus blochii</i> Valenciennes 1840			MLD

<i>Pimelodus halisodous</i> Ribeiro, Lucena & Lucinda 2008	R		
<i>Pimelodus joannis</i> Ribeiro, Lucena & Lucinda 2008	R	VU	
<i>Pimelodus luciae</i> Rocha & Ribeiro 2010	R		
<i>Pimelodus ornatus</i> Kner 1858			MLD
<i>Pimelodus quadratus</i> Lucinda, Ribeiro & Lucena 2016	R		
<i>Pimelodus speciosus</i> Costa e Silva, Ribeiro, Lucena & Lucinda 2018	R		
<i>Pimelodus stewarti</i> Ribeiro, Lucena & Lucinda 2008	R	VU	
<i>Pimelodus tetramerus</i> Ribeiro & Lucena 2006			MLD
<i>Pinirampus pirinampu</i> (Spix & Agassiz 1829)			MLD
<i>Platynematchthys notatus</i> (Jardine 1841)			MLD
<i>Platystomatchthys sturio</i> (Kner 1858)			MLD
<i>Propimelodus araguayae</i> Rocha, de Oliveira & Rapp Py-Daniel 2007	R		
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Linnaeus 1766)			MLD
<i>Pseudoplatystoma punctifer</i> (Castelnau 1855)			MLD
<i>Sorubim lima</i> (Bloch & Schneider 1801)			MLD
<i>Sorubimichthys planiceps</i> (Spix & Agassiz 1829)			MLD
<i>Zungaro zungaro</i> (Humboldt 1821)			MLD
<b>Pseudopimelodidae</b>			
<i>Microglanis maculatus</i> Shibatta 2014	R	CR	
<i>Microglanis oliveirai</i> Ruiz & Shibatta 2011	R		
<i>Microglanis robustus</i> Ruiz & Shibatta 2010	R	CR	
<i>Microglanis xerente</i> Ruiz 2016	R		
<i>Microglanis xylographicus</i> Ruiz & Shibatta 2011	R		
<b>BATRACHOIDIFORMES</b>			
<b>Batrachoididae</b>			
<i>Potamobatrachus trispinosus</i> Collette 1995	R		
<b>CICHLIFORMES</b>			
<b>Cichlidae</b>			
<i>Cichla piquiti</i> Kullander & Ferreira 2006	R		
<i>Crenicichla cametana</i> Steindachner 1911	R		
<i>Crenicichla compressiceps</i> Ploeg 1986	R		
<i>Crenicichla cyclostoma</i> Ploeg 1986	R	CR	
<i>Crenicichla jegui</i> Ploeg 1986	R		
<i>Crenicichla stocki</i> Ploeg 1991	R		
<i>Geophagus sveni</i> Lucinda, Lucena & Assis 2010	R		
<i>Retroculus acherontos</i> Landim, Moreira & Figueiredo 2015	R		
<i>Rondonacara hoehnei</i> (Miranda Ribeiro 1918)	R		
<i>Teleocichla cinderella</i> Kullander 1988	R	EN	
<b>CYPRINODONTIFORMES</b>			

**Rivulidae**

<i>Anablepsoides tocantinensis</i> (Costa 2010)	R	
<i>Cynolebias griseus</i> Costa, Lacerda & Brasil 1990	R	EN
<i>Hypsolebias brunoi</i> (Costa 2003)	R	VU
<i>Hypsolebias flammeus</i> (Costa 1989)	R	EN
<i>Hypsolebias marginatus</i> (Costa & Brasil 1996)	R	CR(PEX)
<i>Hypsolebias multiradiatus</i> (Costa & Brasil 1994)	R	CR
<i>Hypsolebias notatus</i> (Costa, Lacerda & Brasil 1990)	R	
<i>Hypsolebias radiosus</i> (Costa & Brasil 2004)	R	
<i>Hypsolebias tocantinensis</i> Nielsen, Cruz & Babtista 2012	R	CR
<i>Melanorivulus crixas</i> (Costa 2007)	R	VU
<i>Melanorivulus ignescens</i> Costa 2017	R	
<i>Melanorivulus imperatrizensis</i> Nielsen & Pinto 2015	R	
<i>Melanorivulus jalapensis</i> (Costa 2010)	R	
<i>Melanorivulus javahe</i> (Costa 2007)	R	
<i>Melanorivulus karaja</i> (Costa 2007)	R	VU
<i>Melanorivulus kayapo</i> (Costa 2006)	R	VU
<i>Melanorivulus kunzei</i> Costa 2012	R	VU
<i>Melanorivulus litteratus</i> (Costa 2005)	R	
<i>Melanorivulus petrisecundi</i> Costa 2016	R	
<i>Melanorivulus pindorama</i> Costa 2012	R	
<i>Melanorivulus planaltinus</i> (Costa & Brasil 2008)	R	
<i>Melanorivulus rubromarginatus</i> (Costa 2007)	R	VU
<i>Melanorivulus salmonicaudus</i> (Costa 2007)	R	VU
<i>Melanorivulus spixi</i> Costa 2016	R	
<i>Melanorivulus ubirajarai</i> Costa 2012	R	VU
<i>Melanorivulus violaceus</i> (Costa 1991)	R	
<i>Melanorivulus wallacei</i> Costa 2016	R	
<i>Maratecoara formosa</i> Costa & Brasil 1995	R	VU
<i>Maratecoara lacortei</i> (Lazara 1991)	R	
<i>Maratecoara splendida</i> Costa 2007	R	VU
<i>Pituna compacta</i> (Myers 1927)	R	
<i>Pituna obliquoseriata</i> Costa 2007	R	
<i>Pituna poranga</i> Costa 1989	R	
<i>Plesiolebias aruana</i> (Lazara 1991)	R	
<i>Plesiolebias canabravensis</i> Costa & Nielsen 2007	R	VU
<i>Plesiolebias filamentosus</i> Costa & Brasil 2007	R	
<i>Plesiolebias fragilis</i> Costa 2007	R	
<i>Plesiolebias lacerdai</i> Costa 1989	R	

<i>Plesiolebias xavantei</i> (Costa, Lacerda & Tanizaki 1988)	R	EN	
<i>Simpsonichthys choloptyx</i> Costa, Moreira & Lima 2003	R	EN	
<i>Spectrolebias costai</i> (Lazara 1991)	R		
<i>Spectrolebias gracilis</i> Costa & Amorim 2018	R		
<i>Spectrolebias inaequipinnatus</i> (Costa & Brasil 2008)	R		
<i>Spectrolebias semiocellatus</i> Costa & Nielsen 1997	R		
<i>Trigonectes rubromarginatus</i> Costa 1990	R		
<i>Trigonectes strigabundus</i> Myers 1925	R	EN	
<b>Poeciliidae</b>			
<i>Cnesterodon septentrionalis</i> Rosa & Costa 1993	R		
<i>Pamphorichthys akroa</i> (Figueiredo & Moreira 2018)	R		
<i>Phalloceros leticiae</i> Lucinda 2008	R		
<b>PERCIFORMES</b>			
<b>Sciaenidae</b>			
<i>Pachyurus junki</i> Soares & Casatti 2000			MLD
Totais	218	43	66

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Guedes (2011), Chamon et al. (2022).

## **Capítulo 02: Fragmentação da Bacia Hidrográfica do Rio do Sono e a conservação dos peixes migradores**

### **RESUMO**

A proliferação de barragens restringe a movimentação dos peixes ao longo dos rios, impedindo o acesso a áreas vitais para a sobrevivência das populações. A conservação dos sistemas fluviais e da ictiofauna exige considerar cuidadosamente o posicionamento das usinas hidrelétricas na bacia, visando a manutenção de trechos livres. Este estudo tem como objetivo demonstrar a fragmentação da bacia do Rio do Sono e seus efeitos sobre a fauna de peixes migradores, sendo um tributário entre duas grandes hidrelétricas UHE Lajeado e UHE Estreito. Para isso, utilizou-se o número e a distribuição das hidrelétricas em operação e planejadas, bem como suas contribuições para o índice de fragmentação. As informações sobre os empreendimentos hidrelétricos foram obtidas por meio do site da Agência Nacional de Energia Elétrica. Além disso, foram levantadas as informações disponíveis nos arquivos digitais da Agência Nacional de Águas para estimar o comprimento da rede de drenagem. Com base nesses valores, calculou-se o Índice do Fragmento mais Longo considerando três cenários: natural (sem hidrelétrica), atual (com as hidrelétricas em operação em 2023) e futuro (ano de 2050). A bacia do Rio do Sono possui um comprimento total de 31.574,46 km de rede de drenagem e é naturalmente fragmentada pelas cachoeiras. No cenário natural, que representa 12,96% de fragmentação, a bacia já apresenta restrições à movimentação dos peixes. No cenário atual, com três hidrelétricas em operação, a fragmentação é de 29,03%. No futuro, caso todas as hidrelétricas sejam implementadas, a fragmentação será de 93,22% da bacia. Considerando o amplo impacto dos empreendimentos hidrelétricos, é recomendável adotar diretrizes que busquem a conservação da fauna de peixes e a sobrevivência socioeconômica das comunidades locais, bem como o reconhecimento e valorização socioambiental da região.

**Palavras-chave:** Fragmentação; ictiofauna; hidrelétricas; Tocantins-Araguaia.



## SUMMARY

The proliferation of dams restricts the movement of fish along rivers, preventing access to vital areas for the survival of populations. The conservation of river systems and ichthyofauna requires careful consideration of the positioning of hydroelectric plants in the basin, with a view to maintaining clear stretches. This study aims to demonstrate the fragmentation of the Rio do Sono basin and its effects on migratory fish fauna, as it is a tributary between two large hydroelectric plants - HPP Lajeado and HPP Estreito. To do this, we used the number and distribution of hydroelectric plants in operation and planned, as well as their contributions to the fragmentation index. Information on the hydroelectric projects was obtained from the website of the National Electric Energy Agency. In addition, the information available in the National Water Agency's digital files was collected to estimate the length of the drainage network. Based on these values, the Longest Fragment Index was calculated considering three scenarios: natural (without hydroelectric plants), current (with hydroelectric plants in operation in 2023) and future (2050). The Rio do Sono basin has a total length of 31,574.46 km of drainage network and is naturally fragmented by waterfalls. In the natural scenario, which represents 12.96% fragmentation, the basin already has restrictions on fish movement. In the current scenario, with three hydroelectric plants in operation, fragmentation is 29.03%. In the future, if all the hydroelectric plants are implemented, fragmentation will be 93.22% of the basin. Considering the wide-ranging impact of hydroelectric projects, it is advisable to adopt guidelines that seek to conserve fish fauna and the socio-economic survival of local communities, as well as recognizing and valuing the socio-environmental value of the region.

**Keywords:** Fragmentation; ichthyofauna; hydroelectric power plants; Tocantins-Araguaia.

## 1. INTRODUÇÃO

A proliferação generalizada de hidrelétricas é uma ameaça à persistência de peixes migratórios (Agostinho et al., 2007; Makrakis et al., 2019). As barragens restringem os movimentos migratórios nas redes fluviais e impedem o acesso à ambientes de alimentação, desova e desenvolvimento inicial dos juvenis cruciais ao seu ciclo de vida, podendo resultar no declínio e/ou colapso de populações pesqueiras (Agostinho et al., 1999). Em consequência, os peixes migradores e muitas comunidades pesqueiras estão entre as mais ameaçadas nas regiões tropicais (Winemiller et al., 2016).

A localização das hidrelétricas é um fator que determina o sucesso das espécies de peixes. Essa discussão é importante para balancear o posicionamento dos empreendimentos, a geração de energia, a conservação das espécies e a diversidade socioambiental. Assim, buscar estratégias que reduzam fragmentação, minimizando a perda de conectividade fluvial e, conseqüentemente, de diversidade é desejável, ou mesmo a utilização de outras formas de energia em detrimento da manutenção dos serviços ambientais dos corpos hídricos.

Os sistemas fluviais são redes dendríticas hierárquicas e o seu funcionamento depende fortemente da conectividade física. A fragmentação natural decorre de processos geológicos e geomorfológicos que modificam o rio ao longo do tempo. As corredeiras são feições geomorfológicas marcadas pela presença de pequenos desníveis de camadas rochosas existentes no leito das drenagens locais originando rápidas quedas de água que se distribuem no curso dos rios (Cristo & Robaina, 2014). Com o tempo, isolam naturalmente as populações, incluindo os peixes por constituírem uma barreira à movimentação entre as áreas necessárias para completar seu ciclo de vida. A fragmentação é uma das maiores ameaças à conservação dos sistemas fluviais em todo o mundo (Franklin et al., 2002; Grill et al., 2019).

As barragens tornam-se obstáculos intransponíveis aos peixes na maioria das vezes. Mesmo alternativas visando manter a conectividade dos ambientes e a mitigação de impactos propostas ao longo do processo de licenciamento, como os mecanismos de transposição de peixes no caso das usinas hidrelétricas. No entanto, abordagem sobre papel das passagens para peixe é diferente entre os pesquisadores (Agostinho et al., 2007; Pompeu; Agostinho & Pelicice, 2012; Makrakis et al., 2012, Celestino et al. 2019). E os reservatórios que acumulam água à montante das barragens homogeneízam o ambiente e podem funcionar como filtros e selecionar espécies adaptadas a esse ambiente em detrimento de outras (Pinto; Doria; Marques, 2019). Desse modo, a localização dos empreendimentos nas bacias tem efeitos distintos nas

características do ambiente, da ictiofauna e, conseqüentemente, nos sistemas de pesca (Tundisi, 2006; Barbosa et al., 1999).

No caso de espécies de peixes migradores de longa distância, a desova geralmente ocorre a montante das áreas de alimentação de adultos. A corrente predominante no rio transporta os ovos e as larvas para jusante, onde os peixes juvenis se alimentam e crescem até se juntarem aos adultos (Barletta et al., 2010) – singularidades da conexão Tocantins-Araguaia.

A importância de manter trechos de rios relativamente longos livres de qualquer tipo de obstáculo à migração, como barragem, por exemplo, foi recentemente comprovada no Brasil em estudos no rio São Francisco (Lopes et al., 2019) e no rio Paraná (Marques et al., 2018). No entanto, passagens para peixes podem proporcionar a conectividade para manter o fluxo genético de espécies migradores (Ferreira et al., 2017, Celestino et al., 2019).

Na ictiofauna as espécies migradoras são as principais impactadas pelas hidrelétricas. Os peixes migradores são os principais componentes comercializados nas pescarias de água doce e deixam milhares de pessoas que dependem da pesca para a sua subsistência sem alternativa (Winnemiller et al., 2016). No Brasil as Usinas Hidrelétricas (UHE) em operação representam 215 empreendimentos e 94% da energia elétrica, as Pequenas Centrais Elétricas (PCH) 426 e 5,2%, e as Centrais de Geração de Energia (CGH) 721 e 0,8%, e representam uma questão importante para a conservação da biodiversidade aquática e da paisagem ANEEL (2023).

Na bacia do Tocantins-Araguaia o Plano do Setor Elétrico prevê a instalação de 22.039,53 MW, correspondendo a 194 usinas, das quais 61,1% estão instaladas e 38,9% prevista até 2050, resultando em 113,61 MW por usina caso todas sejam implementadas. O acréscimo de empreendimentos planejados deve aumentar a fragmentação e reduzir o aporte médio de energia de cerca de 179 MW (13.456,81 MW; 75 hidrelétricas - 37 CGH, 31 PCH e 7 UHE), para 72 MW por usina (8.582,72 MW; 119 usinas - 3 CGH; 82 PCH; 34 UHE) – ANEEL (2021); ver capítulo 1 deste estudo. Conhecer os trechos de bacias hidrográficas já impactados, como aqueles que estão em planejamento com novos empreendimentos hidrelétricos é fundamental para se buscar manter a maioria dos rios e tributários livres de obstáculos por barragens (Makrakis et al., 2019).

O Rio do Sono, que é um afluente do rio Tocantins, que está categorizado pelo setor elétrico como sub-bacia 22 (ANEEL, 2015), esse processo está em curso. É o principal afluente à jusante da Usina de Lajeado (ou Usina Luís Eduardo Magalhães) e à montante Hidrelétrica de Estreito, ambas no rio Tocantins, e o principal tributário indicado como rota de migração de peixes migradores nesse trecho.

Na bacia do Rio do Sono há três usinas em operação (2 CGH e 1 PCH), com a perspectiva de construção de outros barramentos e aumento da fragmentação da bacia nos próximos anos. Assim, o objetivo deste estudo é demonstrar a fragmentação da bacia do Rio do Sono e seus efeitos sobre a fauna de peixes migradores. Para isso utilizou-se o número e a distribuição das hidrelétricas em operação e planejadas e suas contribuições para o índice de fragmentação.

## **2. MATERIAL e MÉTODO**

### **2.1 Descrição da área**

A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA), definida pela Resolução N°. 32, do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 2003). O Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia, definiu 17 Unidades de Planejamento para a bacia segundo os aspectos físicos, socioeconômicos, hidrológicos, de ocupação do solo, de saneamento, de uso da água e de áreas irrigadas (ANA, 2009).

A Unidade de Planejamento Sono (UP 11), com área de 45.687 km<sup>2</sup>, representando 5,0% da RHTA, corresponde à bacia do Rio do Sono, tributário da margem direita do Rio Tocantins (Figura 1). A bacia para fins de planejamento hidrelétrico está subdividida nas sub-bacias rio Perdida, rio das Balsas e do Rio do Sono (Figura 1) – ANEEL (2023).

A bacia hidrográfica do Rio do Sono, têm suas nascentes junto a Serra Geral de Goiás e a Chapada das Mangabeiras, onde nascem os formadores do rio Novo e Rio das Balsas, esse com nascentes, também, junto as Serras da Piabanha e da Ponte Alta Grande, local conhecido como Serra da Muriçoca dentro da unidade de conservação de tempo integral Estação Serra Geral do Tocantins (Cristo & Robaina, 2014).

O relevo da bacia é do tipo ondulado suave a ondulado, com declividade suave em direção aos leitos do rio. Os solos apresentam textura arenosa com condições de alta permeabilidade devido ao predomínio de litologias arenosas com um bom grau de infiltração de água no solo. A vegetação é do tipo sub-caducifólio e campo cerrado, com 36,0% da área da bacia com solo classificado com risco alto ou muito alto de erosão (Torres, 2018; Cristo & Robaina, 2014; ANA, 2009)

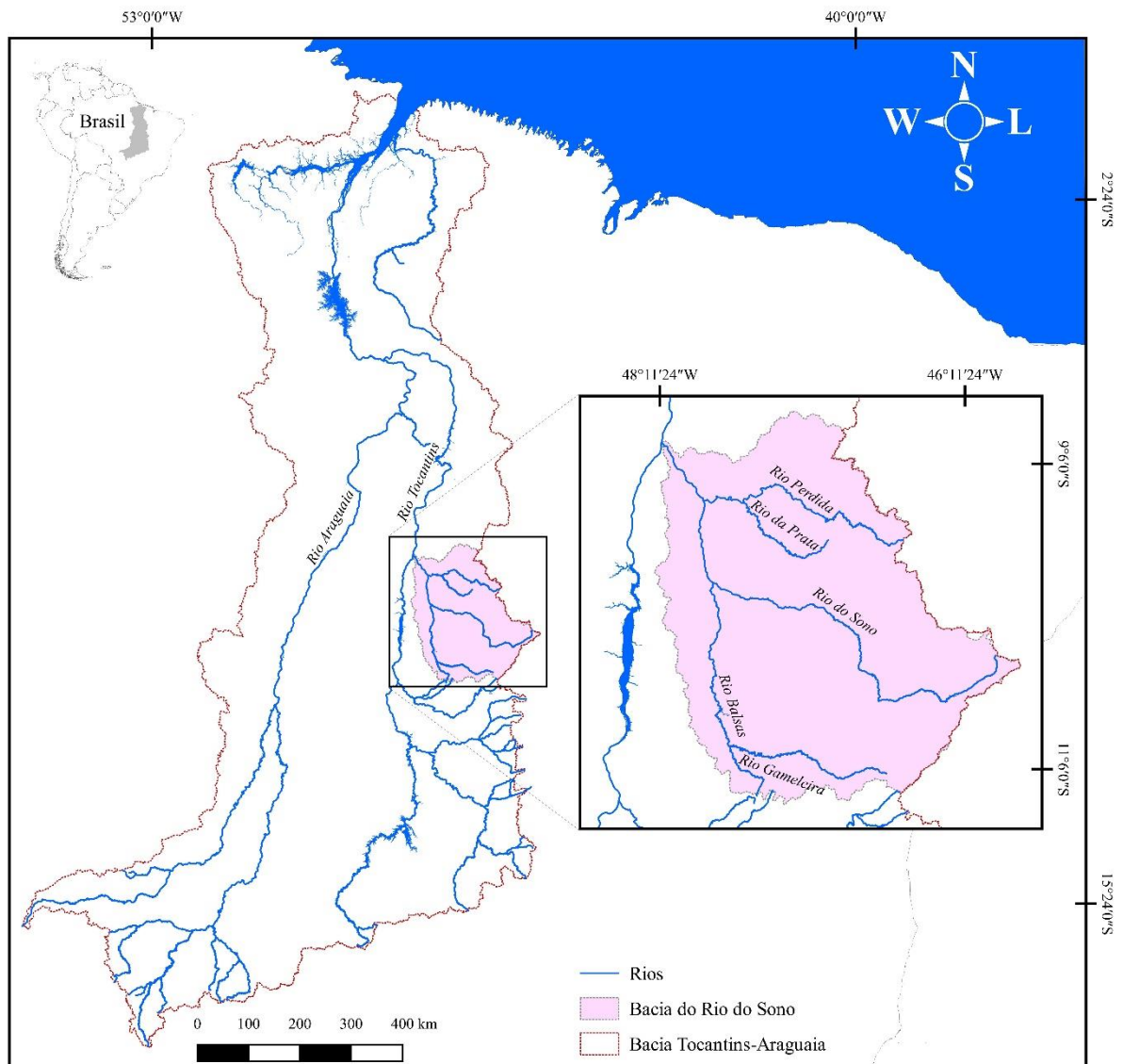


Figura 1. Localização da área de amostragem, bacia do Rio do Sono. Elaborado pelos autores.

De acordo com Tocantins (2012), a área de estudo está inserida no Domínio do Cerrado, sua geomorfologia é representada pela Depressão do Médio Tocantins a oeste, Patamares das Mangabeiras e Chapadão Ocidental Baiano, Cabeceiras do Parnaíba e Chapada das Mangabeiras na borda leste da Região, com solos presentes em bacias sedimentares das eras Páleo-Mesozóicas e Meso-Cenozóicas. A região apresenta formas correspondentes a superfícies planas, em formas de chapadas, cujas continuidades são interrompidas por escarpas que localmente recebem a denominação de serras (Santos,2008).

A geologia da área é do período Cretáceo Superior, com a formação Itapecuru (mesma Urucua), constituída quase exclusivamente por arenitos finos de cores diversas, predominando o cinza, róseo e vermelho, argilosos, com estratificação cruzadas e silicificações,

principalmente no topo. Intercalam-se leitos de siltitos, folhelhos cinza esverdeados e avermelhados (Santos, 2008).

O regime hidrológico é bem definido, com o período chuvoso compreendendo os meses de novembro a março e o período seco ocorrendo nos meses de maio a setembro, com os meses de abril e outubro como transição (ANA 2009). Segundo a ANA (2018), o índice pluviométrico no ano de 2016, por período hidrológico, foi de 1.119 mm durante a cheia, 21,6 mm na vazante, 15,6 mm na seca e de 45,6 mm na enchente (ANA, 2018).

Em 2005 o uso e cobertura do solo era composto principalmente por campo cerrado (56,0%), formação florestal ciliar (22,2%) e campo/pastagem (19,4%). Com 26,9% categorizadas como área de conservação de proteção integral e/ou de uso sustentável, 2,1% de Terras Indígenas e a presença de três comunidades quilombolas 36,0%, 0,11% de lâmina de água (ANA, 2009).

As unidades de conservação que compõem o conjunto de grandes recortes para preservação integral são: Área de Proteção Ambiental do Jalapão; Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga; Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins; Parque Estadual do Jalapão e Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. (Lima & Martins, 2021).

## 2.2 Obtenção dos dados

As informações sobre as usinas hidrelétricas em operação e planejadas foram obtidas no banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica em novembro 2021, com recorte da sub-bacia 22 do rio Tocantins, entre os rios Parana e do Sono (ANEEL, 2021)<sup>3</sup>, selecionando os empreendimentos planejados para a bacia do Rio do Sono, delimitada como Unidade de Planejamento 11 no Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia (ANA, 2009). A checagem das usinas em operação foi feita por meio de busca na rede mundial de computadores (internet).

As usinas foram agrupadas utilizando o critério de potência estabelecidos na Resolução Normativa n 875 de 10 de março de 2020 (BRASIL-ANEEL, 2020), que define os requisitos e procedimentos de aprovação de estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas necessários à obtenção de outorga de autorização para exploração, à capacidade instalada reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica de usinas hidrelétricas sujeitas à concessão. Nesse a Central Geradora de Energia (CGH), está definida

---

<sup>3</sup> A última consulta foi realizada em fevereiro de 2022. Dados disponibilizados pela Aneel no link: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=c1716d81d491426197bf497ace41db8d>

como tendo potência igual ou inferior a 5000 kW ( $\leq 5$  MW); a Pequena Central Hidrelétrica (PCH), com potência superior a 5000 kW ( $> 5$  MW) e igual ou inferior a 30000 kW ( $\leq 30$  kW) e reservatório até 13km<sup>2</sup>; e Usina Hidrelétrica (UHE) potência instalada superior a 50.000 kW ( $> 50$  MW). Optou-se pelo uso da potência para facilitar o agrupamento dos empreendimentos, sem discutir o processo de licenciamento em si. Os mapas foram elaborados com base nessas categorias e localidades (coordenadas) fornecidas pelos cadastros da Aneel (ANEEL, 2023).

Para calcular os dados, primeiramente foram obtidos dados de *shapefiles* dos rios presentes na bacia do Rio do Sono da Agência Nacional de Águas (ANA). Após a obtenção dos dados mediu-se o comprimento de todos os rios presentes na área de estudo, utilizando a função *length*. Após esta etapa, os dados foram separados por cada cenário para comparação entre eles e calculado os trechos livres para o trânsito dos peixes em cada período. A partir desses valores calculou-se Índice do Fragmento mais Longo (*LF*), obtendo-se o resultado espaço temporal para os rios mais fragmentados na área de estudo. Para análise dos dados utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS versão 3.22 (2022).

Para determinar o estado de fragmentação dos rios o *shapefile* com as redes fluviais foi sobreposta com os *shapefile* contendo as barreiras georreferenciadas e as usinas em operação e planejadas com base na Aneel (ANEEL, 2023). Estes dados foram utilizados para criar três cenários: natural, atual e futuro.

O **Cenário natural**, quedas de água com alturas superiores a 10 m, que geralmente implicam na interrupção da migração dos peixes para trechos à montante. Foram identificadas na base de dados do Google Earth e confirmadas em documentos técnicos, imagens e/ou fotografias disponíveis na rede mundial de computadores (internet). Essa região é parte do Jalapão e têm um fluxo de turistas intenso praticamente o ano todo.

O **Cenário atual** (2023), barreiras físicas que obstruem completamente a secção transversal do rio, representadas pelas hidrelétricas em operação, independentemente de sua potência. Esses dados foram obtidos junto à Aneel (2023), considerando as hidrelétricas em operação.

O **Cenário futuro** (2050), as barreiras neste cenário incluíam as do cenário atual (2023), e as usinas planejadas pelo setor elétrico, independentemente da potência, considerando o horizonte de 2050 (ANEEL, 2023). Nesse cenário foram consideradas todas as barragens previstas, contudo com a ciência de que este plano pode ser alterado ao longo do tempo.

O nível de fragmentação foi avaliado para estes três cenários utilizando o Índice do Fragmento mais Longo (*LF*) (Díaz et al., 2019), para estimar a secção disponível do rio para o movimento dos peixes. O *LF* quantifica o comprimento máximo disponível para os peixes se

deslocarem dentro da rede fluvial. Este comprimento pode ser encontrado entre duas barreiras ou uma barreira e um limite da rede fluvial (cabeceira ou foz do rio). Foi calculado como a razão entre o comprimento do fragmento mais longo da rede fluvial ( $L_M$ ) e o comprimento total da rede ( $L_T$ ), sendo:  $LF = L_M/L_T$  (Díaz et al., 2019).

Os valores de  $LF$  se aproximam de zero (0) com a redução da rede disponível para o movimento dos peixes e se aproximam de um (1) quando a rede disponível para movimentação dos peixes é semelhante ao comprimento total da rede. A opção pelo uso do  $LF$  se deu pela sua aplicabilidade em relação ao uso dos rios pelas espécies migradoras, dependentes da ocorrência de sistemas de trechos livres na bacia, os rios fragmentados por barramentos hidrelétricos são limitadores da movimentação das espécies, sendo que aumenta quando uma barreira é adicionada no fragmento mais longo (Díaz et al., 2019).

O  $LF$  foi calculado para a bacia do Rio do Sono, considerando os cenários natural, atual (2023) e futuro (2050), e para suas três sub-bacias do Rio Perdida (B), do rio das Balsas, e Rio do Sono (D) visando a compreensão do processo de fragmentação.

### 3. RESULTADOS

A bacia do Rio do Sono é naturalmente fragmentada pelas cachoeiras, especialmente nos trechos superiores, cinco delas com altura superior a 10 metros de queda de água (Figura 3). A Cachoeira da Fumaça e a Cachoeira do Soninho, ambas com 30 m, a Cachoeira da Velha com 20 m, a Cachoeira do Lajeado com 15m, e a Cachoeira do Brejo da Cama com 10 m, estão localizadas no rio das Balsas e no rio Novo (Tabela 1; Figura 2 e 3).

Na bacia do Rio do Sono está em operação, desde 1982, a PCH Isamu Ikeda, no rio das Balsas, e a CGH Fazenda Jedai (2003) e Mateiros (2011), ambas no rio Galhão, sub-bacia do rio Sono (Tabelas 1 e 2; Figuras 2 e 3).

No Plano do Setor Elétrico que considera o cenário para 2050, constam 19 empreendimentos na bacia do Rio do Sono, três estão em operação (Tabelas 1 e 2; Figuras 3 e 4). Dentro do planejamento da bacia Tocantins-Araguaia (194 usinas) a bacia Rio do Sono contribui com 9,8% do número empreendimentos e 2,7% da geração, com 602,6 MW (Tabela 2) dos 22.039,53 previstos para a bacia.

Considerando-se a fragmentação natural, por cachoeiras, e a fragmentação pelas hidrelétricas (CGH, PCH e UHE), percebe-se o acréscimo de CGH e PCH no cenário atual e previsão de construção de mais 11 PCH e 6 UHE que irá fragmentar fortemente a bacia até 2050, caso se concretize o que está planejado (Tabela 1 e Figuras 2 e 3). A distribuição dos



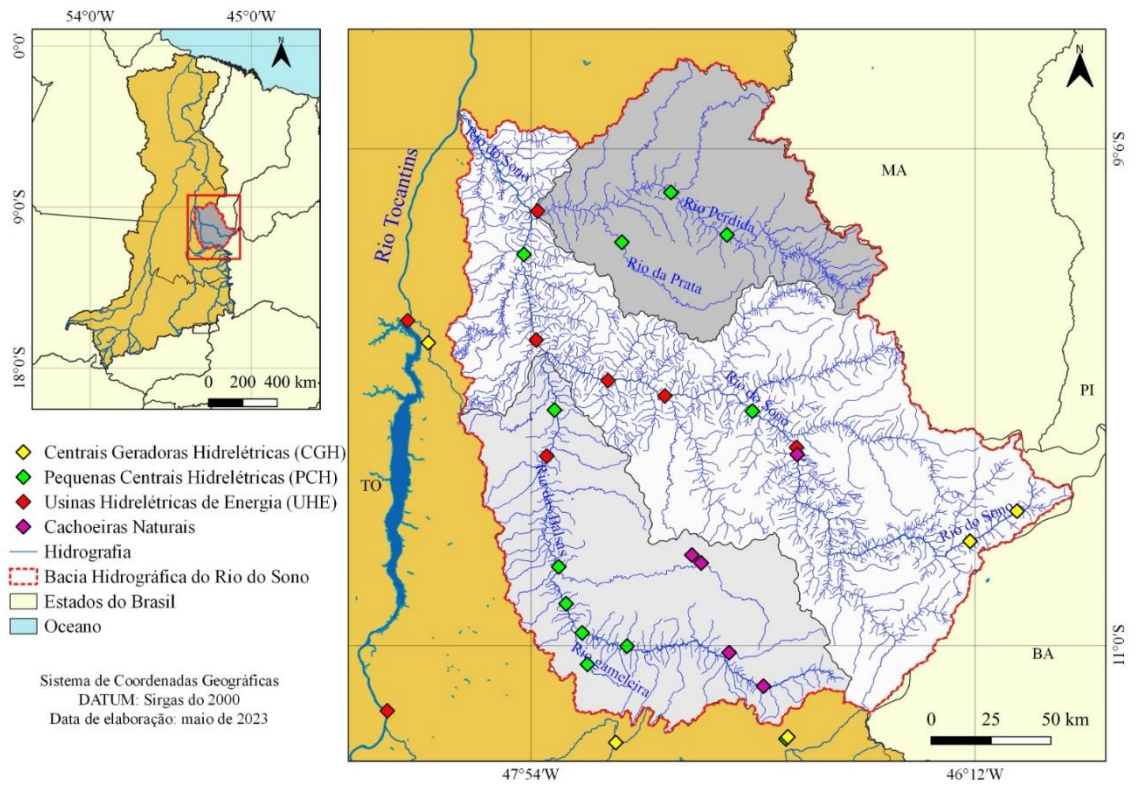
empreendimentos na bacia indica que no trecho médio inferior, estarão principalmente as UHE, com as PCHs tendendo a ocupar com mais frequência os trechos superiores (Figura 3). A localização dos empreendimentos por sub-bacia, indica que é apresentada na figura 2, com tendência de aumento de PCHs no Rio das Balsas de de UHEs no Rio do Sono.

Na sub-bacia do Rio do Sono está prevista uma usina em substituição da Cachoeira da Velha, uma barreira natural no Rio Novo (Tabela 1; Figuras 2 e 4).

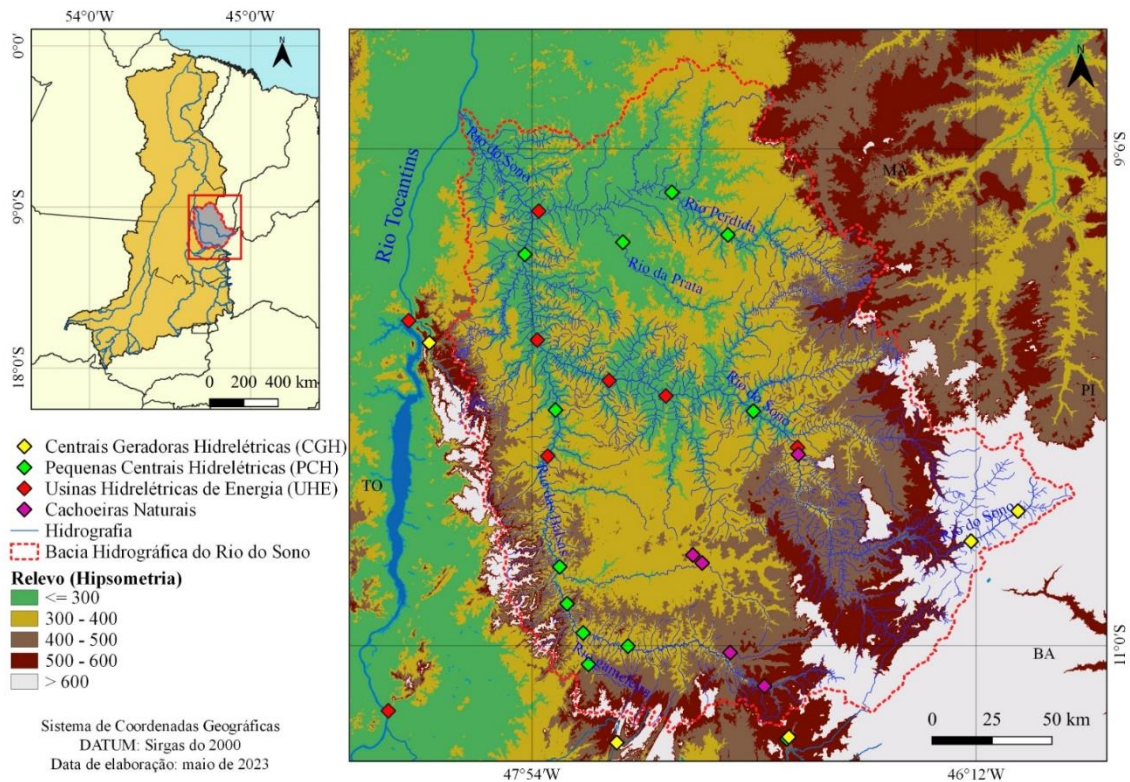
**Tabela 1.** As barragens da bacia hidrográfica Rio do Sono por sub-bacias nos cenários natural, com cinco cachoeiras; atual 2022, com duas CGH e um PCH em operação; e futuro, em 2050, com mais 10 PCH e 6 UHE. Sub-bacias: (B) Rio Perdida, (C) Rio Balsas, (D) Rio Sono; P (MW), potência em megawatts; BN, barreiras naturais; P(MW)/H(m), potência dos empreendimentos em operação ou planejados ou altura (\*) das barreiras naturais.

N	Tipo de Barreira	Cenário	Nome	Município	Rio	Sub-bacia	Situação/ Ano de início	Latitude	Longitude	P(MW)/ H(m)
1	PCH	Futura	Anajanópolis	Rio Sono / Lizarda	Rio Perdida	B	Planejada	9°25'43,98"S	47°8'59,54"W	5,7
2	PCH	Futura	Arraia Alta	Rio Sono	Rio da Prata	B	Planejada	9°27'24,89"S	47°33'7,46"W	6,0
3	PCH	Futura	Perdida 1	Centenário / Jalapão	Rio Perdida	B	Planejada	9°15'59" S	47°21'52" W	23,0
4	UHE	Futura	Perdida 2	Rio Sono / Pedro Alfonso	Rio Perdida	B	Planejada	9°20'17,011"S	47°52'27,298"W	49,0
5	PCH	Atual	Isamu Ikeda	Monte do Carmo / Ponte Alta do Tocantins	Rio Balsa Mineiro	C	Operação (1982)	10°41'55,782"S	47°47'38,09"W	29,1
6	PCH	Futura	Foz do Gameleira	Ponte Alta do Tocantins	Rio das Balsas	C	Planejada	10°57'7,01"S	47°42'14,96"W	14,3
7	PCH	Futura	Gameleira	Pindorama do Tocantins	Ribeirão Gameleira	C	Planejada	11°4'19,32"S	47°41'1,94"W	6,5
8	PCH	Futura	Samaron	Ponte Alta do Tocantins	Rio das Balsas	C	Planejada	11°0'8,83"S	47°31'57,02"W	18,3
9	PCH	Futura	São Silvestre	Palmas	Rio das Balsas	C	Planejada	10°5'56,83"S	47°48'36,27"W	22,5
10	PCH	Futura	Zacarias	Ponte Alta do Tocantins	Rio das Balsas	C	Planejada	10°50'25,04"S	47°45'56,32"W	16,4
11	UHE	Futura	Santa Teresa	Palmas	Rio das Balsas	C	Planejada	10°16'31,61"S	47°50'23,74"W	74,5
12	BN	Natural	Cachoeira da Fumaça	Ponte Alta do Tocantins	Rio das Balsas	C	Cachoeira	11°09'18,9"S	47°00'39,7"W	30 m*
13	BN	Natural	Cachoeira do Lajeado	Ponte Alta do Tocantins	Ribeirão Piabanha	C	Cachoeira	10°39'14,4"S	47°17'02,8"W	15 m*
14	BN	Natural	Cachoeira do Soninho	Ponte Alta do Tocantins	Rio Soninho	C	Cachoeira	11°01'37,2"S	47°08'29,9"W	30 m*
15	BN	Natural	Cachoeira do Brejo da Cama	Ponte Alta do Tocantins	Rio Ponte Alta	C	Cachoeira	10°41'02,3"S	47°14'56,8"W	10 m*
16	CGH	Atual	Fazenda Jedai	Mateiros	Rio Galhão	D	Operação (2003)	10°29'9,1"S	46°2'22,5"W	0,1
17	CGH	Atual	Mateiros	Mateiros	Rio Galhão	D	Operação (2011)	10°36'4,06"S	46°13'9,29"W	0,9
18	PCH	Futura	Brejão Jusante	Novo Acordo	Rio do Sono	D	Planejada	10°6'13"S	47°3'9"W	19,7
19	PCH	Futura	Rio Sono Baixo	Rio Sono / Tocantinia	Rio do Sono	D	Planejada	9°30'12"S	47°55'38"W	56,7
20	UHE	Futura	Monte Santos	Rio Sono / Novo Acordo	Rio do Sono	D	Planejada	9°59'10,6"S	47°36'18,38"W	47,0
21	UHE	Futura	Vermelho	Rio Sono	Rio do Sono	D	Planejada	10°2'42"S	47°23'15"W	58,9
22	UHE	Futura	Ponte Nova	Rio Sono / Aparecida do Rio Negro	Rio do Sono	D	Planejada	9°49'52"S	47°52'48"W	73,0
23	UHE	Futura	Cachoeira da velha	Mateiros	Rio Novo	D	Planejada	10°14'30,707"S	46°53'2,405"W	81,0
24	BN	Natural	Cachoeira da Velha	Mateiros	Rio Novo	D	Cachoeira	10°16'11,3"S	46°52'50,9"W	20 m*

Fonte: Organizada pelos autores.



**Figura 2.** Distribuição dos empreendimentos por sub-bacia da bacia do Rio do Sono. Elaborada pelos autores com base em informações da Ana (2023) e Aneel (2023).

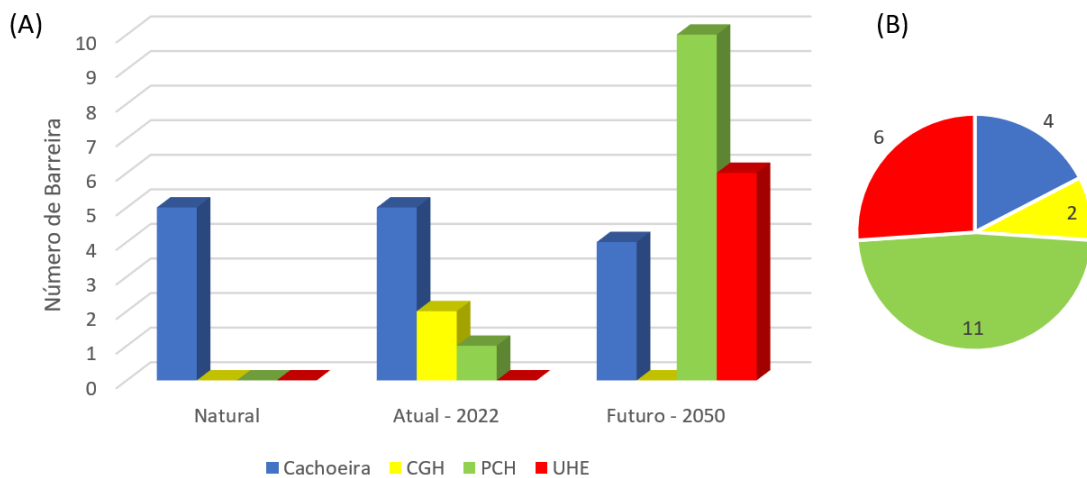


**Figura 3.** Distribuição dos empreendimentos hidrelétricos na bacia do rio do Sono. Elaborada pelos autores com base em informações da Ana (2023) e Aneel (2023).

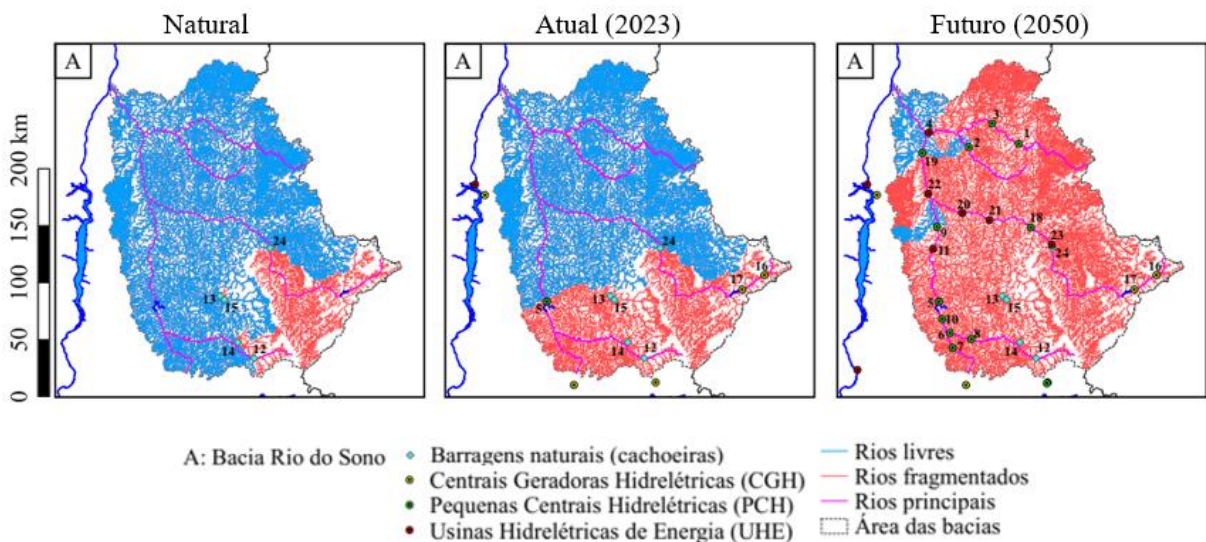
**Tabela 2.** Número e potência dos empreendimentos em operação e previstos para a bacia do Rio do Sono, afluente da margem direita do rio Tocantins.

Tipo	Operação		Planejada		Total	
	N	MW	N	MW	N	MW
CGH	2	1,0	-	-	2	1,0
PCH	1	29,1	10	189,1	11	218,2
UHE	-	-	6	383,4	6	383,4
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>30,1</b>	<b>16</b>	<b>572,5</b>	<b>19</b>	<b>602,6</b>

Elaborada pelos autores a partir de informações da Aneel (2023).



**Figura 4.** Número de cachoeiras (com altura maior que 10 metros), de Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH), de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e de Usinas Hidrelétricas (UHE) considerando os cenários natural, antes de 1982, atual (2023) e futuro, previsto para 2050 (A), e o total de cachoeiras e de empreendimentos em 2050 na bacia (19 usina e quatro cachoeiras (B)).



**Figura 5.** A fragmentação da bacia hidrografia do Rio do Sono da região hidrográfica Tocantins-Araguaia nos cenários natural, atual e futuro. A cor azul representa os rios livres sem barreira, cor vermelha indica os rios fragmentados com barreiras naturais e/ou construídas e cor rosa representa os rios principais. Os números de 1 a 24 representam as barreiras e para os detalhes da categoria, potência e localização consultar a Tabela 2.

As drenagens da bacia do Rio do Sono somam um comprimento total de 31.574,46 km e a proporção dos fragmentos à montante das cinco barreiras naturais compreendem 12,96% da bacia (4.091,35 km) e o índice  $LF$  é de 0,87, se aproximando de 1 (um) (Tabela 3, Figura 5).

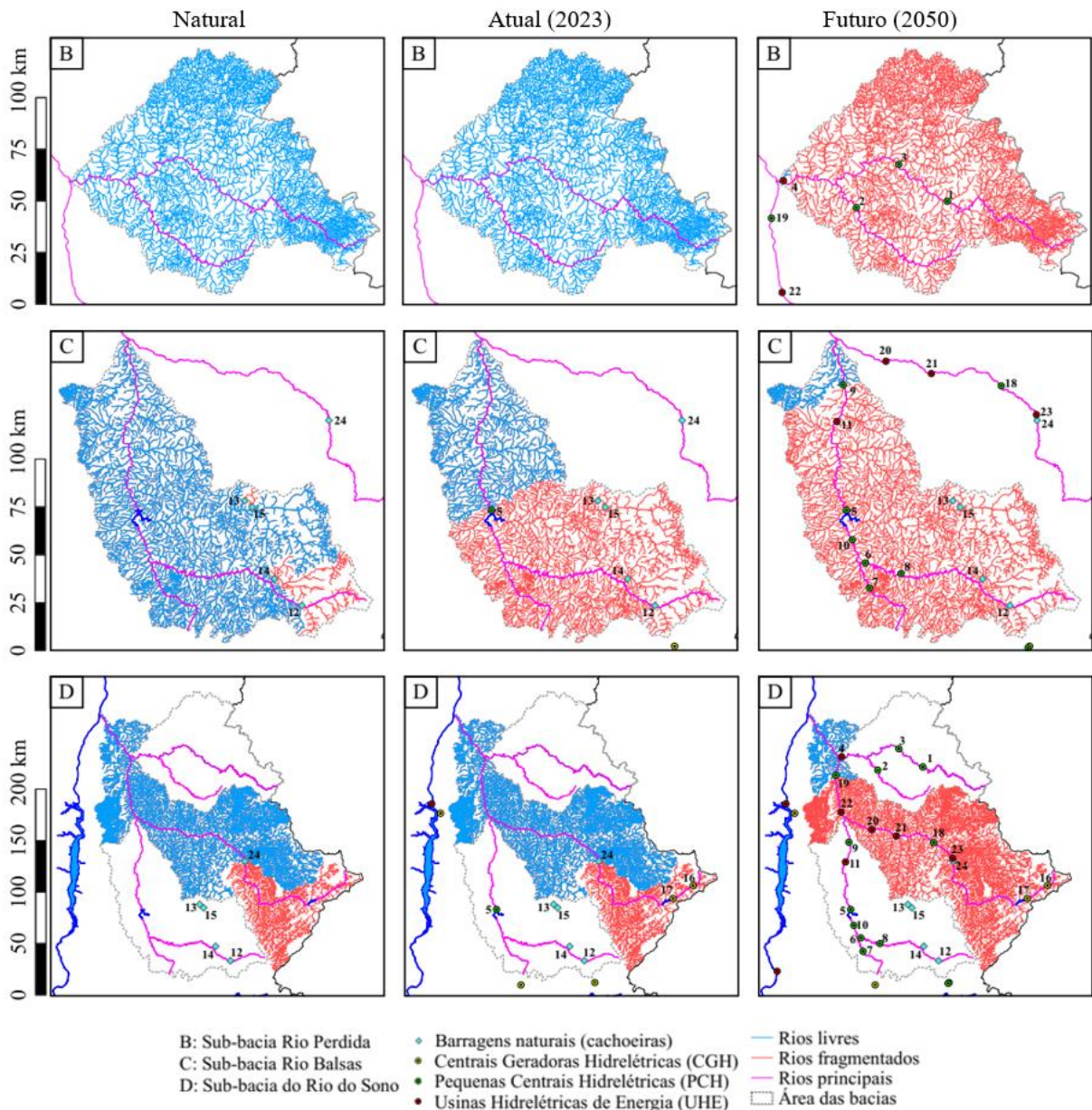
A inclusão da PCH Isamu Ikeda no sistema em 1982 e das CGH Fazenda Jedai, em 2003, e CGH Mateiros em 2011, aumentou a fragmentação da bacia para 29,03%, reduzindo extensão dos rios livres para 22.407,07 km e o índice  $LF$  para 0,710, acrescentando-se assim à fragmentação natural (Tabela 3; Figura 5). No entanto, no caso específico de sub-bacia do Rio das Balsas, a inclusão da PCH Isamu Ikeda causou uma fragmentação de 67,26% (Tabela 3, Figuras 5 e 6).

Se todos os empreendimentos planejados para a bacia forem implementados, nove PCHs, seis UHEs e a substituição da Cachoeira da Velha, uma barreira natural, por uma UHE de mesmo nome, a fragmentação será de 93,22%. Os trechos de rios livres, de 2.140,49 km, estarão restritos aos trechos inferiores na região próxima à foz, município de Pedro Afonso, TO (Tabela 3; Figura 5 e 6).

**Tabela 3.** Valores do fragmento mais longo ( $L_M$ ), Comprimento total ( $L_T$ ) e do índice do fragmento mais longo ( $LF$ ) de acordo com Dias et al. (2019) para a bacia do Rio do Sono e sub-bacias (SB), considerando os cenários dos rios com as barreiras naturais (cachoeiras), atual (2023) é futuro (2050).

Bacia do Rio do Sono e Sub-Bacia do Rio do Sono	Rios Livres $L_M$ (km)	Rios Totais $L_T$ (km)	Fórmula $LF = \frac{L_M}{L_T}$	(%) Rios Livres	(%) Rios Fragmentado	Número Barreira	Ordem de Horton Strahler
Bacia do Rio do Sono Natural	27.483,11	31.574,46	0,870	87,04	12,96	5	
Bacia do Rio do Sono Atual	22.407,07	31.574,46	0,710	70,97	29,03	3	7
Bacia do Rio do Sono Futuro	2.140,49	31.574,46	0,068	6,78	93,22	16	
SB Rio Perdida Natural	7.810,80	7.810,80	1,000	100,00	0,00	0	
SB Rio Perdida Atual	7.810,80	7.810,80	1,000	100,00	0,00	0	6
SB Rio Perdida Futuro	13,64	7.810,80	0,002	0,17	99,83	4	
SB Rio do Sono Natural	12.125,23	15.710,20	0,772	77,18	22,82	1	
SB Rio do Sono Atual	12.125,23	15.710,20	0,772	77,18	22,82	2	5
SB Rio do Sono Futuro	1.713,94	15.710,20	0,109	10,91	89,09	6	
SB Rio das Balsas Natural	7.786,11	8.275,72	0,941	94,08	5,92	4	
SB Rio das Balsas Atual	2.709,81	8.275,72	0,327	32,74	67,26	1	6
SB Rio das Balsas Futuro	579,61	8.275,72	0,070	7,00	93,00	6	

Fonte: elaborado pelos autores



**Figura 6.** A fragmentação por hidrelétricas da bacia do Rio do Sono considerando os cenários natural, atual (2023) e futuro (2050) nas sub-bacias: do Rio Perdida (B), do rio das Balsas (C), e Rio do Sono (D), com indicação das barreiras em cada uma delas. Cada empreendimento está representado por um número e os detalhes consultar Tabela 3.

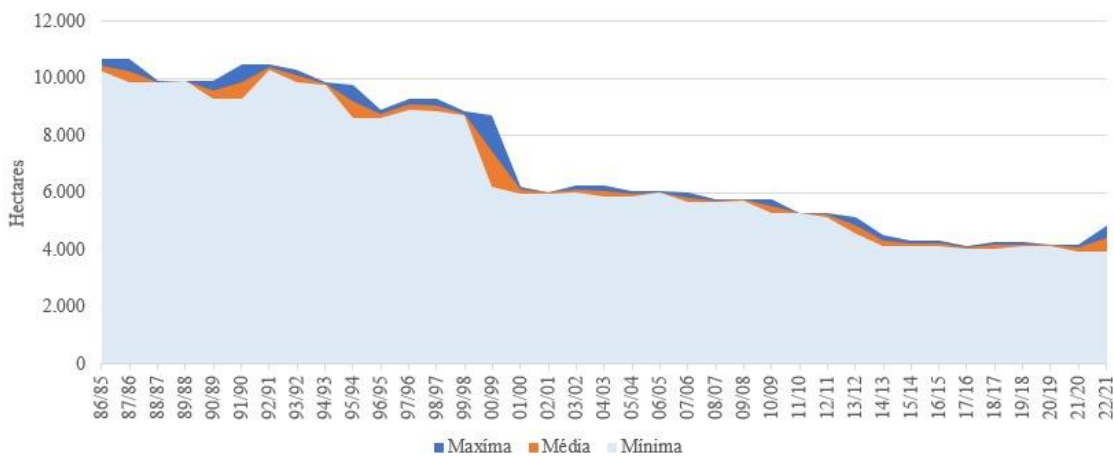
No cenário futuro, as hidrelétricas nos trechos inferiores serão as principais fragmentadoras da bacia em função de sua localização nos trechos inferiores da bacia. Na sub-bacia do rio Perdida, a UHE Perdida 2 (código 4) com potência prevista de 49 MW bem próximo à foz, e a UHE Santa Tereza (71 MW) e a PCH São Silvestre (22,5 MW) na sub-bacia do rio Balsas, à jusante de Isamu Ikeda, irão aumentar a fragmentação.

No rio das Balsas, as hidrelétricas previstas à montante de Isamu Ikeda tem um potencial menor de fragmentação em relação às rotas de migração de peixes (Códigos 6, 7, 8 e

10; Tabela 1; Figura 6), entretanto a instalação desses empreendimentos deverá considerar outros fatores para a tomada de decisão.

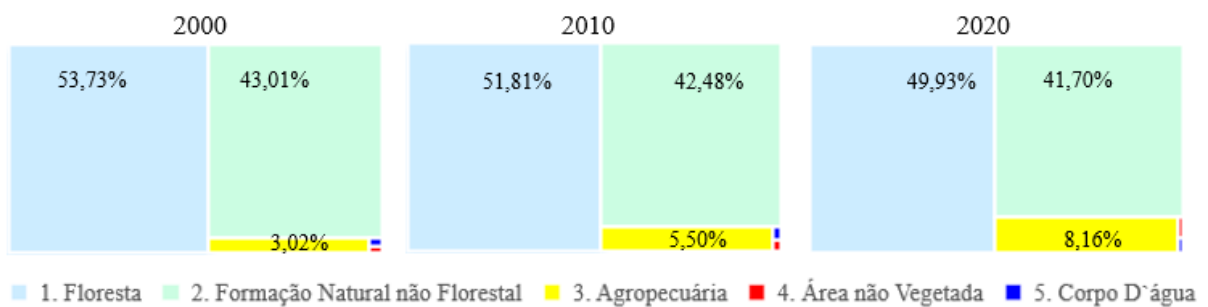
As maiores fragmentações da sub-bacia do rio Sono podem ser atribuídas às UHE planejadas para o trecho inferior, códigos 19, 20, 21 (Tabela 1; Figuras 5 e 6). Considerando-se as possibilidades de rota migratória para os peixes, mas outros fatores devem ser levados em consideração para a tomada de decisão.

A diferença na área superficial de água na bacia do Rio do Sono do ano em relação ao ano anterior reduziu entre 1985 e 2021, com uma redução acentuada nos valores entre os anos de 1998 e 2001 e a partir do ano de 2013 em relação aos anos anteriores (Figura 7).



**Figura 7.** Variação na área superficial de cobertura de água na bacia do Rio do Sono estimada a partir da diferença entre as áreas máximas, médias e mínima do ano em relação ao ano anterior, desde 1985 até 2021. Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do Mapbiomas.

Outro fator de extrema importância, com influência direta na disponibilidade hídrica da bacia, relaciona-se à cobertura vegetal e ao uso do solo. Observa-se o aumento da substituição de áreas não florestais por atividades agropecuárias ao longo do tempo. Em 2000, esse percentual era de 3,02%, enquanto em 2020, o índice saltou para 8,16% (Figura 8).



**Figura 8.** Variação percentual no uso e cobertura do solo na bacia do Rio do Sono nos anos de 2000, 2010 e 2020. Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do Mapbiomas.

#### 4. DISCUSSÃO

As cachoeiras são consideradas barreiras naturais à migração de peixes. Entretanto, durante períodos de cheias intensas a dificuldade de transpor esse obstáculo é reduzida pelo aumento do volume da água, possibilitando a passagem de peixes esporadicamente entre as regiões à montante e à jusante das cachoeiras.

As variáveis ambientais são importantes para os ajustes evolutivos e diversificação da fauna de peixes, adaptados a essas condições em função de sua história de vida. As cachoeiras têm origem associada principalmente à erosão remontante de antigas quedas de água que foram reduzidas em tamanho por desgaste natural feito pela água com o passar do tempo. As mesmas são formadas pelas condições das drenagens que se apresentam sob um forte controle estrutural feito pela geologia local, somado ao significativo volume de água, à alta velocidade de fluxo e a um alto poder erosivo que escava o embasamento rochoso, entre essas feições estão as corredeiras do Rio das Balsas e Rio Novo (Cristo & Robaina, 2014).

As barragens, por outro lado, fragmentam os rios de modo permanente reduzindo a conectividade em função da instalação da barreira no sistema aquático, com a mudança do ambiente à montante e à jusante pela formação do reservatório e controle do nível do rio.

O rio Tocantins tem sido impactado pela construção de sete grandes hidrelétricas. A usina de Lajeado, iniciada em 2001, fragmentou o rio à cerca de 1.300 km de sua foz (THEMAG, 2004), causando alterações significativas na paisagem e nos ecossistemas locais. Já a usina de Estreito, construída em 2010, localiza-se a cerca de 800 km de sua foz (THEMAG, 2004), e também fragmentou o rio, causando impactos ambientais. Entre as duas usinas, há um trecho de aproximadamente 500 km do rio Tocantins, sendo que 240 km a montante do reservatório de Estreito apresenta águas lólicas.

Nesse trecho livre está a desembocadura do rio do Sono, situado a cerca de 100 km a jusante da usina de Lajeado. Esse rio tem sido utilizado como rota de migração de peixes. Esse fenômeno foi percebido pelo aumento da densidade de ovos e larvas após a conclusão da Usina de Lajeado (Marques et al., 2006), pelos peixes que migram rio acima a partir da Usina de Estreito, conforme foi relatado pela recaptura um espécime de jaú, *Zungaro zungaro*, marcado na área da barragem de Estreito (Ponte, 2013). Os pescadores da região relatam a subida de cardumes na região (Souza, 2019).

A redução das áreas superficiais de água na bacia a partir do ano de 2001, em relação aos anos anteriores provavelmente coincide com as alterações do nível de base do rio Tocantins. Em primeiro de setembro de 2001 foi iniciado o enchimento do reservatório da Usina de



Lajeado, localizada cerca de 100 km à montante do exutório do Rio do Sono. A operação da Usina iniciou em primeiro de dezembro do mesmo ano (INVESTCO, 2023). Tanto o enchimento do reservatório quanto a operação da Usina alteraram o volume e o regime de fluxo à jusante (Soares-Neto, 2005; Swanson et al., 2021), influenciando a retenção da água especialmente nos trechos mais baixos da bacia do Rio do Sono, que é também o provável local utilizado como área de desenvolvimento de larvas e juvenis de peixes.

Uma tendência de redução das precipitações na bacia foi indicada através da análise dos índices pluviométricos ao longo de um período de 30 anos (1977 a 2006), conforme Marcuzzo & Goularte (2012). Contudo, uma queda brusca na superfície da água entre 1998 e 2002, que persistiu após o ano de 2002. Essa ocorrência pode indicar possíveis alterações no nível de base do rio e/ou rebaixamento do lençol freático, provavelmente devido à construção e operação da Usina de Lajeado. A Usina está localizada no rio Tocantins, cerca de 100km à montante da foz do Rio do Sono, que teve sua construção iniciada em 3 de julho de 1998, e a operação em primeiro de dezembro de 2001, de acordo com Investco (2023).

Além das hidrelétricas, as atividades agropecuárias também extraem água da bacia especialmente no período de abril a outubro quando os índices de pluviosidade na região são reduzidos. O plantio da soja chegou na região em 1992 e se intensificou especialmente a partir de 1996 com a implementação do Projeto Prodecer III (Projeto de Cooperação Nipo-Brasileira para o desenvolvimento do Cerrado) nos estados do Mato Grosso e Tocantins. Posteriormente, em 2007, com a chegada da cana, as áreas de soja sendo gradualmente substituídas pelas lavouras de cana na região, se intensificando a partir de 2011 com a chegada da Bunge ao município de Pedro Afonso. Em 2012 o município de Pedro Afonso, localizado na foz do Rio do Sono, tinha 32 mil ha de cana de açúcar, dos quais 500 hectares irrigados com pivôs. Em 2013, a área plantada chegou a 80 mil hectares de cultivo de cana (Silva, 2022), aumentando assim a pressão sobre o volume de água da bacia disponível na bacia e a conectividade entre os ambientes.

## **5. CONCLUSÃO**

Os resultados indicam a fragmentação presente da Bacia do Rio do Sono. Considerasse importante o estudo de alternativos locais para a continuidade dos ecossistemas e a valorização das atividades desenvolvidos pelas comunidades locais que utilizam o rio como fonte de recurso, especialmente para pesca, contemplação e turismo.

## 6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esses fatos demonstram a necessidade de uma abordagem holística para a conservação dos recursos pesqueiros. O uso de tecnologia apesar de auxiliar em algumas situações, pode não resolver os problemas na medida em que propõe medidas, muitas vezes com custos elevados, sem levar em consideração as características locais, simplificando os fatores para facilitar a padronização e o atendimento do mercado.

Combinar estudos ambientais, econômicos e de engenharia é, sem dúvida, uma tarefa complexa. No entanto, é *condição sine qua non* para que a avaliação ambiental seja utilizada como instrumento eficaz de tomada de decisão e não apenas cumprida como requisito legal para cumprir o protocolo para o licenciamento do empreendimento.

Não se deve negligenciar a contribuição fundamental da energia hidrelétrica para a matriz energética nacional nem desmerecer os compromissos com o desenvolvimento econômico e social de um país como o Brasil. No entanto, dado o tamanho e a abrangência do impacto que os empreendimentos hidrelétricos produzem, recomenda-se a adoção de diretrizes para garantir os serviços ecossistêmicos buscando a sobrevivência socioeconômica das comunidades locais.

Alterações no curso d'água, especialmente aquelas que afetam os ecossistemas, devem ser consideradas não apenas pela sensibilidade dos rios da região aos impactos, mas também porque levam a alterações socioecológicas. Isso significa fazer um balanço energético, hídrico, de biodiversidade, dos recursos pesqueiros e dos demais componentes numa visão holística, na qual a água pode ser considerada o recurso limitante à vida. Afinal, a relação água, energia e alimento é vital para os seres vivos e para os peixes que vivem imersos nesse ambiente.

Pensar a conservação e restauração considerando os casos em que os custos da restauração e o uso de tecnologias ultrapassem o de conservação, um caminho possível seria atuar preventivamente em nível de bacia hidrográfica e contemplando procedimentos voltados para a conservação da sociobiodiversidade. As soluções não podem se limitar à dimensão econômica.

A expectativa é que contribua para a convergência de políticas públicas de conservação socioambiental, energética, mineral e de produção agropecuária, bem como definição de estratégias de planejamento para assegurar as condições de sustentabilidade sob uma perspectiva de mudanças climáticas.

## 7. REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., Miranda, L. E., Bini, L. M., Gomes, L. C., Thomaz, S. M., & H. I. Suzuki, 1999. Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging.
- Agostinho, A. A.; Gomes, L. C.; & F. M. Pelicice, 2007. *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Maringá: Eduem, 501p.
- ANA - Agência Nacional de Águas, 2009. *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia: Relatório Síntese*. 256 p.: II. ISBN 978-85-89629-55-3
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. AHE - Mapa dos Empreendimentos de Aproveitamento Hidrelétricos (Estágio da usina) <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acessado em: 12 de março de 2021.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2022. Aplicação desenvolvida utilizando Web AppBuilder para downloads dos dados nos formatos Shapefile e KMZ. <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acessado em: 26 de abril de 2022.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2023. Matriz Elétrica Brasil, SCG – superintendência de Concessões e Autorização de Gestão. <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acessado em: 03 de maio de 2023.
- Celestino, L. F., Sanz-Ronda, F. J., Miranda, L. E., Makrakis, M. C., Dias, J. H. P., & S. Makrakis, 2019. Bidirectional connectivity via fish ladders in a large Neotropical river. *River Research and Applications*, 35(3), 236-246.
- Chamon, C. C., Serra, J. P., Camelier, P., Zanata, A. M., Fichberg, I., & M. M. F. Marinho, 2022. Building knowledge to save species: 20 years of ichthyological studies in the Tocantins-Araguaia River basin. *Biota Neotropica*, 22.
- Costa, W. J., Lima, S. M., & R. Bartolette, 2010. Androdioecy in *Kryptolebias* killifish and the evolution of self-fertilizing hermaphroditism. *Biological Journal of the Linnean Society*, 99(2), 344-349.
- Cristo, S. S. V., & L. E. de Souza Robaina, 2014. Caracterização da rede hidrográfica na estação ecológica serra geral do Tocantins, estados do Tocantins e Bahia. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 103-116.
- Díaz, G., Arriagada, P., Górski, K., Link, O., Karelovic, B., Gonzalez, J., & E. Habit, 2019. Fragmentation of Chilean Andean rivers: expected effects of hydropower development. *Revista chilena de historia natural*, 92.
- Ferreira, D. G., Souza-Shibatta, L., Shibatta, O. A., Sofia, S. H., Carlsson, J., Dias, J. H. P., ... & M. C. Makrakis, 2017. Genetic structure and diversity of migratory freshwater fish in a fragmented Neotropical river system. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27, 209-231.
- Franklin, A. B., Noon, B. R., & T. L. George, 2002. What is habitat fragmentation?. *Studies in avian biology*, 25, 20-29.

- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., ... & C. Zarfl, 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215-221.
- IBAMA - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI - Peixes. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília: ICMBio. 1232p.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil | 2021. <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em fevereiro de 2023.
- Investco S/A, 2023. Estado do Tocantins, Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães (UHE Lajeado). <https://www.investco.com.br/pt-br/a-usina>. Acessado em 25 de maio de 2023
- INVESTCO. UHE Lajeado: Dados Técnicos. Disponível em: <https://www.investco>. Acessado em 14/05/2023.
- Lima, J. R., & C. da Cruz Martins, 2021. Análise preliminar de estudos relacionados à região do Jalapão–To/Pi/Ba/Ma/Preliminary analysis of studies related to the Jalapan Region-To/Pi/Ba/Ma. *Brazilian Journal of Development*, 7(3), 30197-30210.
- Lopes, J. D. M., Pompeu, P. S., Alves, C. B. M., Peressin, A., Prado, I. G., Suzuki, F. M., ... & Kalapothakis, E. (2019). The critical importance of an undammed river segment to the reproductive cycle of a migratory Neotropical fish. *Ecology of Freshwater Fish*, 28(2), 302-316.
- Makrakis, S., Bertão, A. P., Silva, J. F., Makrakis, M. C., Sanz-Ronda, F. J., & L. F. Celestino, 2019. Hydropower development and fishways: a need for connectivity in rivers of the Upper Paraná Basin. *Sustainability*, 11(13), 3749.
- Makrakis, S., Castro-Santos, T., Makrakis, M. C., Wagner, R. L., & M. S. Adames, 2012. Culverts in paved roads as suitable passages for Neotropical fish species. *Neotropical Ichthyology*, 10, 763-770.
- Marcuzzo, F. F. N.; Melo, D. C. R.; & H. C. Costa, 2012. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n.1, p. 77 a 86
- Marques, E. E., Oliveira, R. J., Agostinho C. S., Lucinda, P. H. F., Soares, A. B., Neuberger, A. L., de Sousa, M. A. Freitas & I. S., J. R. B. de Melo, 2006. Estudos da ictiofauna na região da Hidroelétrica Luís Eduardo Magalhães - UHE Lajeado.
- Marques, H., Dias, J. H. P., Perbiche-Neves, G., Kashiwaqui, E. A. L., & Ramos, I. P. (2018). Importance of dam-free tributaries for conserving fish biodiversity in Neotropical reservoirs. *Biological Conservation*, 224, 347-354.
- Mendes, L. R., 2008. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para análise geomorfológica do Parque Estadual do Jalapão (TO) e entorno.
- Obeso et al., 2023. Planejamento energético e a conservação da fauna de peixe na bacia Tocantins – Araguaia, em andamento.

- Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Akama, A., Andrade Filho, J. D., Azevedo-Santos, V. M., Barbosa, M. V. M., ... & J. Zuanon, 2021. Large-scale degradation of the Tocantins-Araguaia River basin. *Environmental Management*, 68, 445-452.
- Pompeu, P. D. S., Agostinho, A. A., & F. M. Pelicice, 2012. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America. *River Research and Applications*, 28(4), 504-512.
- Ponte C. F., 2013. Programa de Conservação da Ictiofauna da UHE Estreito. Fundação Educacional Ciência e Desenvolvimento – FECD. Relatório técnico p.: 249
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2015. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em 23 mai. 2023.
- Santos, P. A. A, 2008. Utilização das Geotecnologias Para o Mapeamento e Análise Multitemporal da Cobertura Vegetal do Parque Estadual do Jalapão (PEJ) – Tocantins. (Dissertação de Mestrado) Pós-graduação em Ciências do Meio Ambiente- Palmas, 2008.
- Sarmiento, F. N. M., 2014. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) - Centro Tecnológico de Engenharia., Centro Tecnológico de Engenharia Volume IV Estudo de Impacto Ambiental do AHE Perdida 1/ Centro Tecnológico de Engenharia - Goiânia, GO. 50p.
- Silva, V. V. D., 2022. Expansão agrícola e as transformações ambientais no município de Pedro Afonso–Tocantins. [Dissertação Mestrado Geografia], Universidade Federal de Tocantins.
- Soares-Neto, J. L. 2005. Variações nos padrões espaço-temporais da ictiofauna à montante e à jusante da Usina Hidrelétrica do Lajeado. [Dissertação Mestrado Ciências do Ambiente], Universidade Federal do Tocantins - UFT.
- Souza, M. F. 2019 Pesca, perfil e conhecimento dos pescadores à jusante da Usina Luís Eduardo Magalhães. [Dissertação Mestrado Ciências do Ambiente], Universidade Federal do Tocantins - UFT.
- Swanson, A. C., Kaplan, D., Toh, K. B., Marques, E. E., & S. A. Bohlman, 2021. Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. *Science of The Total Environment*, 800, 149494.
- THEMAG Engenharia, 2004. Usinas e aproveitamentos hidroelétricos. Documento técnico. São Paulo: THEMAG Engenharia. Disponível em: <https://www.themag.com.br/pdf/usina.pdf>. Acessado em: 25 de maio de 2023.
- THEMAG-CELTINS. RIMA - Relatório de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica de Lajeado. Relatório técnico. 1996, 196 fl.
- Timpe, K., & Kaplan, D. (2017). The changing hydrology of a dammed Amazon. *Science Advances*, 3(11), e1700611.
- Torres T. P., 2018. Aspectos Ecológicos da Ictiofauna da Drenagem do Rio Do Sono, Bacia Do Rio Tocantins, Brasil [Tese de Doutorado] Pós-Graduação em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos. Universidade Federal do Oeste do Pará.

Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., ... & L. Saenz, 2016. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128-129.