



UFRR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

JÉSSICA DANIELE LACERDA GOIS

AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NUCLEARES EM PEIXES DAS REGIÕES DO MÉDIO  
E BAIXO RIO BRANCO (RORAIMA – BRASIL)

BOA VISTA, RR

2025

JÉSSICA DANIELE LACERDA GOIS

AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NUCLEARES EM PEIXES DAS REGIÕES DO MÉDIO  
E BAIXO RIO BRANCO (RORAIMA – BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Leila Braga Ribeiro

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Franciele Oliveira Campos da Rocha

BOA VISTA, RR

2025

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

G616a Gois, Jéssica Daniele Lacerda.

Avaliação de alterações nucleares em peixes das regiões do médio e baixo Rio Branco (Roraima-Brasil) / Jéssica Daniele Lacerda Gois. – Boa Vista, 2025.

68 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Leila Braga Ribeiro.

Coorientadora: Profa. Dra. Franciele Oliveira Campos da Rocha.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

1. Micronúcleo. 2. Anormalidades nucleares. 3. Biodiversidade . 4. Ecossistema aquático. 5. Roraima. I. Título. II. Ribeiro, Leila Braga (orientadora). III. Rocha, Franciele Oliveira Campos da (coorientadora).

CDU (2.ed.) 574.5(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:  
Mariede Pimentel e Couto Diogo – CRB 11/354 - AM

JÉSSICA DANIELE LACERDA GOIS

AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES NUCLEARES EM PEIXES DAS REGIÕES DO MÉDIO  
E BAIXO RIO BRANCO (RORAIMA – BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas. Defendida em 26 de fevereiro de 2025 e avaliada pela seguinte banca examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Granja

Centro de Estudos da Biodiversidade (CBio) - UFRR

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nivia Pires Lopes

Curso de Zootecnia - UFRR

---

Prof. Dr. Sandro Loris Aquino Pereira

Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPGA) - UERR

Ao eterno amor da minha vida, minha mãe-avó  
Neuma Lacerda Pereira (in memoriam) e ao  
meu tio Tufic Antônio Assef Pereira, que me  
criaram e foram a base de tudo que me tornei.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais e à Universidade Federal de Roraima, pelo empenho em fornecer uma academia de excelência aos seus discentes e, paralelamente, realizando os sonhos de muitas pessoas.

Agradeço à Polícia Militar de Roraima, por meio da APICS/RR, e aos meus queridos colegas do II Curso de Operações Policiais Ambientais (COPAM), que prestaram apoio imprescindível na realização deste trabalho, nos levando a campo e colaborando nas coletas, durante o período de estágio no Baixo Rio Branco.

Agradeço aos meus colegas de curso e Policiais Militares, Major Correia (Diego) e Sargento Aurino pela ajuda, apoio e incentivo durante o II COPAM, que oportunizou a participação desta discente e sua orientadora na expedição ao Baixo Rio Branco.

Ao meu grande amigo, Geomar Carneiro, que disponibilizou sua pousada e toda sua estrutura para a realização dos nossos trabalhos de campo e estadia em Caracaráí, nos acolhendo com carinho, cuidado e a melhor hospitalidade. Muita gratidão.

À minha excelente orientadora, Leila Braga Ribeiro, que é uma pessoa maravilhosa, empática, parceira, paciente, delicada, que virou uma amiga e, no decorrer dessa caminhada, na qual tivemos que enfrentar alguns obstáculos, ganhou seu precioso Vicente, que está recebendo sua primeira citação nos trabalhos da mamãe.

À minha coorientadora espetacular, Franciele Oliveira, pelo apoio e contribuição com seu admirável e vasto conhecimento.

Agradeço à minha mãe, Gelda Márcia, por ser minha maior apoiadora, melhor amiga, confidente, conselheira, protetora e sempre me salvar nas horas de aflição, como no dia da prova de seleção do mestrado, que meu carro deu problema, ela foi me socorrer e consegui chegar a tempo.

Ao meu pai, Vlademir, pelo suporte e por sempre prezar pela minha educação, e à minha madrasta, Maria Antônia, sempre amorosa e torcendo pelas minhas vitórias, além de ter ajudado muito com a logística do trabalho de campo.

À minha tia-irmã Alice, minha princesa Julinha, sua filha, e meu amado tio Tufic, por serem minha maior rede apoio com meu filho e ficarem com ele sempre que preciso.

Por fim, agradeço aos meus amores, meu marido Marcos Vinicius e filho João Miguel, meus meninos, minha família, por serem minha maior motivação, minha recarga, meu porto seguro e o que me sustenta. É por vocês!

“Ainda que a minha mente e o meu corpo  
enfraqueçam, Deus é a minha força, Ele é tudo  
o que sempre preciso.”  
(Salmos 73:26)

## RESUMO

O estudo foi realizado em regiões do Médio e Baixo Rio Branco (Roraima, Brasil) e utilizou peixes como biomarcadores genotóxicos. Os objetivos do estudo incluíram investigar possíveis impactos ambientais no material genético de peixes com importância econômica, analisando a ocorrência de alterações nucleares e sua correlação com os hábitos alimentares dos indivíduos coletados e com as localidades estudadas. Para avaliar a presença de danos no material genético, realizou-se o teste de micronúcleo e análise de anormalidades nucleares. Foram coletados 33 indivíduos de 12 espécies distintas, com diferentes tamanhos, em três localidades: uma área não urbanizada, com pouco impacto antrópico, em Rorainópolis, em torno de 124 km a montante da vila Santa Maria do Boiaçu, sendo o primeiro ponto de coleta; o segundo ponto de coleta na vila Santa Maria do Boiaçu, no mesmo município, que é uma área urbanizada, mas com menor influência antrópica; e na vila Vista Alegre, próxima à sede do município de Caracaraí, uma área mais urbanizada e com maior influência antrópica. Os resultados mostraram que não houve significância estatística entre os hábitos alimentares dos indivíduos analisados, nem entre as regiões onde foram coletados, apesar das alterações nucleares observadas ressaltarem uma relação entre os hábitos alimentares e a vulnerabilidade dos organismos aos poluentes, especialmente por conta das influências antrópicas de cada região. O estudo revelou possível impacto de poluentes no material genético das espécies analisadas, reforçando que as pressões antrópicas afetam diretamente a saúde dos ecossistemas aquáticos. A relevância dos peixes como bioindicadores foi reforçada, considerando sua sensibilidade a poluentes e sua importância ecológica e econômica. Conclui-se que os testes de genotoxicidade, aliados ao uso de biomarcadores, são ferramentas eficazes para o monitoramento ambiental e a conservação dos ecossistemas aquáticos amazônicos. Recomenda-se a ampliação de estudos futuros, incluindo análises em maior escala e abordagens interdisciplinares, para aprofundar o conhecimento sobre os impactos antrópicos na região e subsidiar políticas públicas voltadas à preservação ambiental e à segurança alimentar das populações locais.

Palavras-chave: Micronúcleo; Anormalidades nucleares; Biodiversidade; Ecossistema aquático; Roraima.

## ABSTRACT

The study was conducted in the regions of the Middle and Lower Rio Branco (Roraima, Brazil) and used fish as genotoxic biomarkers. The study's objectives included investigating possible environmental impacts on the genetic material of economically important fish by analyzing the occurrence of nuclear alterations and their correlation with the feeding habits of the collected individuals and the studied locations. To assess the presence of genetic damage, the micronucleus test and nuclear abnormalities analysis were conducted. A total of 33 individuals from 12 distinct species with varying sizes were collected at three locations: one non-urbanized area with little anthropogenic impact in Rorainópolis, approximately 124 km upstream from the village of Santa Maria do Boiaçu, which was the first collection point; the second collection point in the village of Santa Maria do Boiaçu, in the same municipality, which is an urbanized area but with less anthropogenic influence; and in the village of Vista Alegre, near the municipality seat of Caracaraí, a more urbanized area with greater anthropogenic influence. The results showed no statistical significance between the feeding habits of the analyzed individuals or between the regions where they were collected, despite the observed nuclear alterations highlighting a relationship between feeding habits and the organisms' vulnerability to pollutants, especially due to the anthropogenic influences of each region. The study revealed a possible impact of pollutants on the genetic material of the analyzed species, reinforcing that anthropogenic pressures directly affect the health of aquatic ecosystems. The relevance of fish as bioindicators was underscored, considering their sensitivity to pollutants and their ecological and economic importance. It concludes that genotoxicity tests, combined with the use of biomarkers, are effective tools for environmental monitoring and the conservation of Amazonian aquatic ecosystems. Future studies are recommended to expand analyses on a larger scale and employ interdisciplinary approaches to deepen the understanding of anthropogenic impacts in the region and inform public policies aimed at environmental preservation and food security for local populations.

**Keywords:** Micronucleus; Nuclear abnormalities; Biodiversity; Aquatic ecosystem; Roraima.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Branco. A – Rio Uraricoera; B – Rio Tacutu. Segmentos: 1) alto rio Branco; 2) médio rio Branco; 3 e 4) baixo rio Branco. Rios não pertencentes à bacia do rio Branco: a) Xeruini; b) Mucucua; c) Jauaperi; d) Jatapu. .... 20
- Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de coleta. Ponto 1: Município de Rorainópolis, região do Baixo Rio Branco; Ponto 2: Vila Santa Maria do Boiaçu, localizada no município de Rorainópolis, região do Baixo Rio Branco; Ponto 3: Vila Vista Alegre, localizada no município de Caracaraí, região do Médio Rio Branco. .... 34
- Figura 3 - Peixes coletados na região do Baixo Rio Branco: a) *Leporinus fasciatus* (Santa Maria do Boiaçu); b) *Myloplus rubripinnis* (Santa Maria do Boiaçu); c) *Serrasalmus rhombeus* (Santa Maria do Boiaçu); d) *Pinirampus Pirinampu* (Rorainópolis); e) *Leporinus friderici* (Vista Alegre); f) *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre); g) *Curimata inornata* (Vista Alegre); h) *Plagioscion squamosissimus* (Vista Alegre); i) *Laemolyta varia* (Vista Alegre); j) *Schizodon fasciatus* (Vista Alegre); k) *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); l) *Hoplias malabaricus* (Vista Alegre). .... 36
- Figura 4 - Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) observadas: a) Célula sem alteração: *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); b) Micronúcleo: *Myloplus rubripinnis* (Santa Maria do Boiaçu); c) Forma de rim: *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre); d) Bolha: *Myloplus rubripinnis* (Santa Maria do Boiaçu); e) Lobado: *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); f) Vacuolado: *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); g) Forma de oito: *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre); h) Broto: *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre). .... 41
- Gráfico 1 - Diferença entre as médias dos postos, considerando a frequência de Micronúcleo (MN), mostrando a variância entre os hábitos alimentares, onde os onívoros são representados pelo grupo 1 (1), detritívoros pelo grupo 2 (2), carnívoros grupo 3 (3) e herbívoros grupo 4 (4), não havendo variância significativa (ns = não significativo) entre eles. .... 45
- Gráfico 2 - Diferença entre as médias dos postos, considerando a frequência de

Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), mostrando a variância entre os hábitos alimentares, onde os onívoros são representados pelo grupo 1 (1), detritívoros pelo grupo 2 (2), carnívoros grupo 3 (3) e herbívoros grupo 4 (4), não havendo variância significativa (ns = não significativo) entre eles. ....	46
Gráfico 3 - Frequência de Micronúcleo (MN) nas regiões do Baixo Rio Branco (BRB) e Médio Rio Branco (MRB). ....	50
Gráfico 4 - Frequência de Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) nas regiões do Baixo Rio Branco (BRB) e Médio Rio Branco (MRB). ....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Total de exemplares coletados e seus respectivos pontos de coletas. ....	35
Tabela 2 -	Ocorrência de Micronúcleo (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) por indivíduo, classificadas em: Forma de Rim (Rim), Bolha (Bol), Vacuolado (Vac), Lobado (Lob), Forma de oito (oito) e Broto (Bro). ....	40
Tabela 3 -	Frequência de Micronúcleos (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), classificadas por hábito alimentar, indivíduos e ponto de coleta. ....	42
Tabela 4 -	Média e desvio padrão da frequência de Micronúcleos (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), considerando o hábito alimentar e o ponto de coleta (n=33). ....	43
Tabela 5 -	Resultados do Teste de Kruskal-Wallis, considerando as alterações nucleares com relação aos hábitos alimentares dos indivíduos, o grau de liberdade, que determina a distribuição do teste, e o valor de “p” para cada comparação entre os grupos. ....	44

## LISTA DE SIGLAS

ANE	Anormalidades Nucleares Eritrocíticas
DNA	Ácido desoxirribonucleico (deoxyribonucleic acid)
MN	Micronúcleo
TMN	Teste de Micronúcleo
UVA	Raios ultravioletas A
UVB	Raios ultravioletas B

## LISTA DE VARIÁVEIS UTILIZADAS

Desvio padrão	Medida de dispersão que indica quanto os valores se afastam da média
H	Amplitude das classes (diferença entre limite superior e inferior)
Média	Valor central de um conjunto de dados
n	Número de amostras
Posto	Ordem atribuída a cada observação
Posto médio	Média dos postos de um grupo
U	Teste U de Mann-Whitney: soma das classificações de cada grupo da amostra
Valor de $p$	Probabilidade de significância

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
3.1	REGIÃO AMAZÔNICA .....	18
3.2	BACIA DO RIO BRANCO .....	20
<b>3.2.1</b>	<b>Biodiversidade .....</b>	<b>22</b>
3.3	A INFLUÊNCIA DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS .....	23
3.4	ALTERAÇÕES NUCLEARES EM AMBIENTES AQUÁTICOS .....	24
<b>3.4.1</b>	<b>Estudos na região amazônica .....</b>	<b>25</b>
3.5	BIOMARCADORES GENÉTICOS .....	28
<b>3.5.1</b>	<b>Peixes como bioindicadores .....</b>	<b>30</b>
3.6	TESTE DE MICRONÚCLEO .....	31
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	33
4.2	AMOSTRAGEM .....	34
4.3	TESTE DE MICRONÚCLEO E ANORMALIDADES NUCLEARES .....	37
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	38
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Rio Branco, principal curso d'água do estado de Roraima, destaca-se por sua relevância econômica, ambiental e social. Além de ser uma importante via de transporte fluvial que conecta comunidades e cidades da região, o rio é essencial para o sustento de populações ribeirinhas e o desenvolvimento de atividades econômicas, como a pesca esportiva e o turismo de base comunitária (PASSOS, 2013; VITÓRIO, 2016), além da pesca artesanal/comercial, atividade econômica muito relevante na região do Baixo Rio Branco, apesar de ser afetada por decisões do poder público, com criações de áreas protegidas, normativas de pesca e incentivo às atividades de pesca esportiva, que cresceram significativamente nos últimos anos (BASTOS *et. al.*, 2019; BRÍGLIA-FERREIRA *et. al.*, 2021).

Ambientalmente, o Rio Branco abriga uma rica biodiversidade, contribuindo para o equilíbrio ecológico e para a manutenção de habitats naturais essenciais à fauna e flora amazônicas. Além disso, o rio é fonte de água para consumo humano e agrícola, desempenhando um papel vital no contexto das mudanças climáticas e da degradação ambiental (MORAIS, 2022; YOUNG; MEDEIROS, 2018). No entanto, as atividades que ocorrem na bacia do Rio Branco representam desafios ambientais que exigem gestão responsável.

A bacia sofre com diversas práticas antrópicas que têm gerado impactos significativos nos ecossistemas e nas comunidades locais. Entre essas práticas, estão os impactos causados pela expansão da agricultura e pecuária, que tem levado ao desmatamento nas margens dos rios. A remoção da cobertura vegetal compromete a qualidade do solo, aumenta o assoreamento e altera os ciclos dos ecossistemas aquáticos (BARBOSA, 1998). Ademais, o crescimento da atividade garimpeira ilegal de ouro nos rios Uraricoera e Mucajaí, tem causado efeitos na qualidade da água dos rios, assim como o crescimento das cidades, que aumenta a demanda por água e o despejo de rejeitos, além de um projeto de construção de uma usina hidrelétrica na região das corredeiras do Bem Querer, na calha principal do rio Branco, que prevê a inundação de 560 km<sup>2</sup> de área, com consequências ainda não avaliadas sobre os ambientes aquáticos e sua fauna (BRÍGLIA-FERREIRA *et. al.*, 2021).

A urbanização às margens dos rios, a exemplo de Boa Vista, Caracará e áreas ribeirinhas, também agrava os problemas ambientais. O despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento adequado compromete a qualidade da água e aumenta os riscos à

saúde pública (NASCIMENTO *et al.* 2021). Além disso, projetos de construção de hidrelétricas têm suscitado preocupações sobre seus impactos socioambientais, como o deslocamento de comunidades ribeirinhas e a fragmentação de habitats naturais (INPA, 2013). As queimadas, associadas ao desmatamento para atividades agropecuárias, também têm alterado significativamente a paisagem do médio e baixo Rio Branco. Essas práticas não apenas contribuem para a degradação do solo, mas também elevam as emissões de gases de efeito estufa, agravando as mudanças climáticas (SANTOS, 2009).

Entre as atividades mais comuns está a extração de areia e seixo, especialmente no Médio Rio Branco, para atender à demanda da construção civil em Boa Vista. Essa prática altera a morfologia do rio, contribuindo para erosão e degradação da qualidade da água (CORTEZ *et al.*, 2013). Além disso, a mineração de ouro, realizada em larga escala de forma irregular, tem contaminado as águas com metais pesados, como mercúrio, causando danos à biodiversidade e à saúde das populações ribeirinhas (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Com isso, estudos ecotoxicológicos são importantes na região, como a avaliação da genotoxicidade, que é a capacidade que determinadas substâncias químicas, agentes físicos ou fatores biológicos têm de interagir com o material genético de um organismo, provocando danos no DNA ou nos cromossomos. Esses danos podem resultar em mutações, alterações na estrutura ou número de cromossomos, podendo também comprometer a integridade celular e levar a problemas como toxicidade reprodutiva e declínio populacional em organismos de água doce e a contaminação adicional de peixes usados para consumo humano, que coloca a saúde humana em risco, além de afetar a biodiversidade da flora e fauna aquáticas e vários parâmetros bioquímicos e moleculares dos peixes. (ALBERTINI *et al.*, 2000; LATIF *et al.*, 2023).

A utilização de peixes como objeto de estudo mostra-se importante não só pelo grupo fazer parte da cadeia alimentar, mas também por esses organismos mostrarem-se biomarcadores eficazes em pesquisas sobre genotoxicidade ambiental devido à sua sensibilidade a contaminantes ambientais e por serem bons indicadores da qualidade dos ecossistemas aquáticos, sendo utilizados em diferentes abordagens (OLIVEIRA *et al.*, 2020; HUSSAIN *et al.*, 2018; CORREIA *et al.*, 2017; FENECH, 2007;). Desse modo, a genotoxicidade conecta diretamente os impactos ambientais das práticas antrópicas com os efeitos na saúde dos organismos aquáticos, que são frequentemente expostos a poluentes lançados nas águas.

Dentre as ferramentas utilizadas em estudos de genotoxicidade, destacam-se os testes de micronúcleo e ensaio cometa, capazes de detectar danos ao DNA e amplamente utilizados na determinação de compostos teratogênicos, mutagênicos e carcinogênicos (OLIVEIRA *et al.*, 2020; PORTO; ARAÚJO; FELDBERG, 2005; ROCHA; SILVA; COSTA, 2018).

Nesse contexto, considerando a exposição da bacia do Rio Branco, incluindo regiões estratégicas e de importância econômica, a exemplo da pesca comercial e o fluxo fluvial e área navegável, como o Médio e Baixo Rio Branco, esse trabalho teve o intuito de identificar possíveis alterações genéticas nos peixes dessa bacia, por meio do teste de micronúcleo, que possam acarretar consequências para a biodiversidade, contribuindo com informações que sirvam de alerta e auxílio para o monitoramento e preservação ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Investigar possíveis impactos no material genético de peixes com importância econômica, provenientes das regiões do Médio e Baixo Rio Branco.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a ocorrência de alterações nucleares nas espécies de peixes coletadas e a correlação entre elas;
- Correlacionar as alterações encontradas com os hábitos alimentares dos indivíduos coletados;
- Verificar se há correlação entre a frequência de alterações nucleares e as localidades estudadas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 REGIÃO AMAZÔNICA

A Amazônia, maior floresta tropical do mundo, é fundamental para o equilíbrio ambiental, social e econômico do planeta. Ecologicamente, a região abriga cerca de 10% da biodiversidade mundial e desempenha um papel essencial na regulação climática global, atuando como sumidouro de carbono e influenciando os regimes de chuva na América do Sul (FEARNSIDE, 2018). Economicamente, sustenta atividades como pesca, turismo ecológico e exploração de recursos minerais, enquanto socialmente é o lar de milhões de pessoas, incluindo mais de 400 povos indígenas que preservam tradições e culturas profundamente conectadas à floresta (BARBOSA *et al.*, 1998).

Entre suas particularidades estão a rica diversidade biológica e cultural, a conectividade hídrica proporcionada pela maior rede fluvial do mundo e a abundância de recursos naturais, como ouro, bauxita e ferro. No entanto, a Amazônia enfrenta desafios significativos. O desmatamento é o principal problema, impulsionado pela agricultura, pecuária e exploração madeireira. Além disso, as mudanças climáticas agravam secas e queimadas, enquanto atividades mineradoras e extrativistas ameaçam ecossistemas e comunidades locais (INPE, 2021).

O sistema fluvial amazônico é o maior do mundo, sustentando uma biodiversidade única e desempenhando funções cruciais para a regulação climática e o ciclo hidrológico. Com uma vasta diversidade de peixes, incluindo espécies endêmicas como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), é um dos ecossistemas aquáticos mais diversos do planeta (BARTHEM; GOULDING, 2007). Os rios amazônicos oferecem recursos naturais, como água doce, peixes e minerais, e são essenciais para a subsistência de comunidades ribeirinhas e indígenas, que mantêm práticas culturais e espirituais profundamente ligadas à floresta (BARBOSA *et al.*, 1998).

Apesar de sua importância, o sistema enfrenta ameaças significativas. Atividades como mineração, uso de agrotóxicos, desmatamento e construção de hidrelétricas têm causado degradação da qualidade da água, assoreamento e perda de biodiversidade (FEARNSIDE, 2018). Essas práticas impactam tanto os ecossistemas quanto as populações humanas que dependem dos rios para sua subsistência. Além disso, a região sofre com a escassez de

estudos científicos, especialmente em áreas remotas, dificultando a formulação de políticas públicas eficazes para a conservação dos recursos aquáticos (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Há um debate de classificação das águas da bacia Amazônica, de acordo com a quantidade de sedimentos e sólidos dissolvidos dos rios de origem, sendo águas brancas (ricas em sedimentos que formam as várzeas, drenam dos Andes) e as águas pretas e águas claras (drenam dos escudos brasileiros e das guianas, formando as planícies de menor fertilidade chamadas igapó), de acordo com Junk *et al.* (2011), Moquet *et al.* (2016) e Sorribas *et al.* (2017). Águas de diferentes características físico-químicas interagem ao longo do caminho, e extensas planícies inundáveis armazenam sazonalmente grandes volumes de água (SORRIBAS *et al.* 2017).

As planícies de inundação são componentes importantes da ecologia e hidrologia da bacia Amazônica, constituídas por lagos, florestas alagadas (várzea e igapós), que estão periodicamente ligados aos muitos rios e igarapés, sustentando diversos ecossistemas (JUNK *et al.*, 1989; VIEIRA *et al.*, 2021). Esses igarapés são cursos d'água caracterizados pelo leito delimitado, correnteza relativamente acentuada e baixa temperatura da água (SANTOS; FERREIRA, 1999; VIEIRA *et al.*, 2021).

Dos 6 milhões de km<sup>2</sup> pertencentes a bacia hidrográfica do Amazonas, cerca de 3.8 milhões km<sup>2</sup> estão inseridos no Brasil. Roraima está inserido integralmente na Amazônia, abrange 3% do total deste domínio morfoclimático, apresentando as mais variadas tipologias morfológicas do relevo e vegetação. (CARVALHO; CARVALHO 2012).

Tão rica quanto a diversidade ictiofaunística e a complexidade geomorfológica da Amazônia é a história do conhecimento sobre a biogeografia dos peixes que a habitam (DAGOSTA, 2016). A ictiofauna da região neotropical tem estimativas em torno de 3.000 a 8.000 espécies descritas das quais aproximadamente a metade é endêmica da bacia Amazônica (REIS *et al.*, 2016; SCHAFER, 1998). O grande número de espécies presentes na bacia corresponde a cerca de 7% das mais de 28.000 espécies de peixes conhecidas no planeta (HICKMAN *et al.*, 2014).

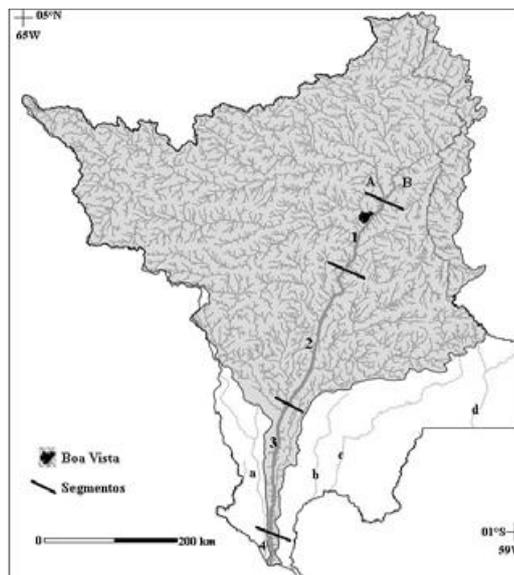
A bacia Amazônica é habitat para mais de 2400 espécies da ictiofauna, tendo cerca de 85% das espécies de peixes da América do Sul, onde 45% destas ocorrem somente nesse bioma. Porém, esses números ainda são incipientes levando em consideração as enormes áreas que ainda não foram suficientemente pesquisadas (BRASIL, 2021).

### 3.2 BACIA DO RIO BRANCO

O rio Branco, afluente da margem esquerda do rio Negro, é o principal sistema de drenagem de Roraima, possuindo uma bacia hidrográfica que abrange 83% do Estado, com 187.540 km<sup>2</sup>, onde 12.310 km<sup>2</sup> nascem em território guianense (Fig. 1). A partir da confluência dos rios Uraricoera e Tacutu, torna-se Rio Branco, que fica cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista, formando uma planície fluvial de 3.419 km<sup>2</sup>, tendo um comprimento médio é de 566 km, considerando os diferentes comprimentos do canal (CARVALHO, 2015). A bacia do Rio Branco pode dividir-se em duas grandes seções: uma que vai das nascentes na Serra Parima, até as corredeiras do Bem Querer, atravessando a formação sedimentar Boa Vista; a outra, nas rochas cristalinas do escudo das Guianas (trecho superior) e no baixo rio Branco (trecho inferior), drenando a bacia sedimentar amazônica (NAKA *et al.*, 2019).

Segundo Carvalho (2015), com base no perfil topográfico longitudinal, levando em consideração as principais quebras do gradiente do rio Branco (*knickpoints*) e aspectos morfológicos da planície de inundação, temos os trechos: Alto Rio Branco, que vai até a região do Bem Querer, Médio Rio Branco, que vai até as proximidades do rio Catrimani; Baixo rio Branco, que finaliza na proximidade da foz com o rio Negro.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Branco. A – Rio Uraricoera; B – Rio Tacutu. Segmentos: 1) alto rio Branco; 2) médio rio Branco; 3 e 4) baixo rio Branco. Rios não pertencentes à bacia do rio Branco: a) Xeruini; b) Mucucua; c) Jauaperi; d) Jatapu.



Fonte: CARVALHO, 2015.

Na estação chuvosa, o transbordamento das águas resulta na formação de uma ampla planície inundável, principalmente no trecho inferior do rio, que é habitada por uma ictiofauna bem diversificada (BRIGLIA-FERREIRA *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2007), tornando-se o que podemos chamar de “parte mais Amazônica” da bacia, pois é a partir daí que o rio entra no que pode-se chamar de “pantanal setentrional”, uma região sujeita a pulsos de inundação (BRASIL, 2014; CREMON; ROSSETI, 2011; SANTOS; NELSON, 1995; SCHAEFER *et al.*, 2020) caracterizando-se pela sazonalidade e pela ocorrência de um complexo sistema de campinas e campinaranas, abrangendo cerca de 8.000 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2014; CAMPOS, 2011).

A região do nordeste de Roraima abarca diferenças marcantes em termos de relevo, solo, vegetação e drenagem, abrangendo 43.281 km<sup>2</sup>, sendo o lavrado de Roraima suave, com cotas em torno de 50-200 metros, formadas por colinas dissecadas, localmente conhecidas como tesos, que são formas originadas pela dissecação da drenagem em torno dos sistemas lacustres interconectados por igarapés, com declividade variada entre 0°-5°, sendo um relevo plano, com baixa energia (CARVALHO; CARVALHO, 2012). Essa baixa energia do relevo na região central do lavrado favorece a formação de um interessante sistema de lagos de formato circular, não fluviais, estando associada às águas pluviais e ao lençol freático, formando uma grande extensão de áreas alagadas interconectadas no período chuvoso (MENESES *et al.*, 2007). Estas áreas são recortadas por igarapés intermitentes, os quais chegam a secar em vários locais durante a estiagem (agosto-maio), estando associada a eles a vegetação dos buritizais, que se torna mais complexa ao se aproximar das matas galerias dos rios maiores (CARVALHO, 2015).

O rio Branco, apesar de suas águas brancas, é alimentado por afluentes de águas claras e pretas, fazendo com que suas águas possuam características intermediárias entre aquelas típicas das várzeas amazônicas (FERREIRA *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 1985), estando completamente inserida na bacia do rio Negro, mas também sofre influência dos rios que drenam o escudo das Guianas, e da própria planície sedimentar amazônica, acarretando numa distribuição bastante heterogênea das espécies de peixes dentro da sua bacia (FERREIRA *et al.*, 2007; GOULDING; CARVALHO; FERREIRA, 1988).

A bacia do rio Branco está quase totalmente inserida no hemisfério norte, o que lhe infere um ritmo específico de pulso de inundação em comparação a bacia do rio Negro (BRIGLIA-FERREIRA *et al.*, 2021), com padrão de precipitação pluviométrica, que é o que determina a variação dos pulsos de inundação, diferente do restante da bacia, sendo fortemente influenciado pelos tipos climáticos existentes no Estado (BARBOSA, 1997).

De acordo com Ferreira *et al.* (2007) há o registro de pelo menos 527 espécies de peixes para a bacia do rio Branco, porém com desembarque pesqueiro concentrando-se em uma quantidade bem menor, destacando-se dentre as principais espécies de peixes comercializados o surubim *Pseudoplatystoma fasciatum*, a dourada *Brachyplatystoma rousseauxii*, o filhote *Brachyplatystoma filamentosum*, o caparari *Pseudoplatystoma tigrinum*, o pirarucu *Arapaima gigas*, a curimatã *Prochilodus rubrotaeniatus*, a matrinxã *Brycon falcatus*, a pescada branca *Plagioscion squamosissimus* e o tucunaré *Cichla sp* (BASTOS *et al.*, 2019).

### 3.2.1 Biodiversidade

A bacia Amazônica possui a mais diversa biota de peixes de toda a Terra (DAGOSTA, 2016). A riqueza e diversidade ictíca presente na bacia Amazônica está correlacionada a uma série de aspectos ambientais como a variação do nível da água (JUNK *et al.*, 1989; VANNOTE *et al.*, 1980) a complexidade de biótopos (lagos, rios e igarapés) e habitats (bancos de macrófitas aquáticas, região de floresta alagada), bem como a condição de acidez, temperatura, transparência, produtividade aquática, entre outros aspectos que estão diretamente associados à geologia da bacia (FREITAS *et al.*, 2010).

Os igarapés também abrigam uma fauna de peixes diversificada e pouco conhecida, que mantém uma íntima associação com a floresta, responsável pelo aporte de material orgânico, garantindo alimento e abrigo para a ictiofauna (VIEIRA *et al.*, 2021; FERNANDES *et al.*, 2017; ZUANON *et al.*, 2015; ANJOS, 2014; MENDONÇA *et al.*, 2005).

Caracaraí é o polo pesqueiro mais importante de Roraima, tanto para a atividade de pesca esportiva, como para a pesca artesanal/comercial, que há tempos é uma importante atividade econômica no município, ainda que restrita ao abastecimento de um mercado delimitado pela demanda local e principalmente pelo consumo da capital, Boa Vista. A pesca artesanal também se desenvolve no trecho superior do rio Branco, em Boa Vista (BRIGLIA-FERREIRA *et al.*, 2021; BASTOS *et al.*, 2019; LIMA; SILVA, 2014), onde foram identificados 57 grupos de espécies sendo comercializadas, sendo que 65% dos peixes provêm de criatórios (piscicultura), 63% de Roraima e cerca de 2% do Amazonas. O restante dos peixes que abastecem as feiras da capital provêm da pesca extrativa, sendo 21% proveniente do Estado do Amazonas, e 14% dos rios de Roraima (BRIGLIA-FERREIRA *et al.*, 2021; LOPES; SANTOS, 2017).

Já o trecho inferior, no baixo rio Branco, apresenta uma realidade distinta, tendo uma ocorrência de pelo menos 263 etnoespécies (grupos de espécies) de peixes de interesse para a pesca na região, classificados em três grupos: peixes de pele, ou “feras”, peixes de escama e peixes ornamentais (COSTA ALVES, 2020). Lopes e Souza (2015) identificaram 34 etnoespécies de peixes utilizadas pela comunidade de Sacai, das quais 29 foram relacionadas a algum tipo de uso, sendo as principais espécies citadas como de valor de uso comercial: tucunaré (*Cichla spp.*); carauaçu (*Astronotus sp.*); caparari (*Pseudoplatystoma spp.*); aracu/piau (*Leporinus spp. Schizodon spp.*); dourada (*Brachyplatystoma sp.*); aruanã (*Osteoglossum spp.*); surubim (*Pseudoplatystoma spp.*); piraiá/filhote (*Brachyplatystoma spp.*). Pacus (*Mylossoma spp., Myleus spp.*) e jaraquis (*Semaprochilodus sp.*) despertam interesse comercial menor, pois são vendidos não por quilo, mas por cento (LOPES; SOUZA, 2015). Sendo assim, as espécies mais conhecidas são as que possuem valor comercial.

Na Amazônia, a conservação e o uso sustentável dos recursos aquáticos é definitivamente um grande desafio, visto que o reconhecimento de todo o território é algo impreciso, assim como todas as relações de uso dos organismos com o ambiente (RYLANDS; PINTO, 1998).

### 3.3 A INFLUÊNCIA DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental na manutenção da vida, biodiversidade e desenvolvimento econômico, mas estão cada vez mais ameaçados por atividades humanas. A poluição aquática passou a receber maior atenção quando foi possível perceber consequências adversas em seus ecossistemas, bem como em seus organismos (FENT, 2004), surgindo um interesse global em relação às questões referentes à poluição de ambientes aquáticos, embora ainda haja diversos países, com inúmeras atividades antrópicas, produzindo cargas enormes de poluentes ambientais (LIU *et al.* 2018; TANG, 2014), sendo perceptível que as atitudes comportamentais do homem, desde que se tornou parte dominante dos sistemas, têm demonstrado tendência em sentido contrário à manutenção do equilíbrio ambiental (SUNJOG *et al.* 2013).

A região amazônica tem enfrentado pressões antropogênicas substanciais, resultando em um aumento na presença de pesticidas e metais pesados em ecossistemas aquáticos. Essa situação é atribuída principalmente ao crescimento populacional, expansão urbana descontrolada, altas taxas de desmatamento e expansão das atividades de mineração (BRAZ-MOTA *et al.*, 2024)

Outro fator significativo é a construção de hidrelétricas, que modifica drasticamente os fluxos hídricos naturais e fragmenta ecossistemas aquáticos. As barragens alteram os ciclos de sedimentação e impedem a migração de espécies aquáticas, impactando negativamente tanto a biodiversidade quanto os serviços ecossistêmicos associados aos rios (FEARNSIDE, 2006).

As consequências dessas atividades incluem a perda da qualidade da água, a redução da disponibilidade hídrica e danos à biodiversidade aquática. Além do aumento na concentração de metais tóxicos, as atividades antropogênicas podem causar diversos impactos ambientais, estando associadas com o aumento da condutividade elétrica, variação da temperatura da água e diminuição dos valores de oxigênio dissolvido, quando comparados com ambientes naturais (COUCEIRO *et al.* 2007; MARTINS *et al.* 2008). Uma vez que os organismos estão em interação com o meio em que vivem, é possível observar alterações na comunidade e distribuição das espécies, pois as mais sensíveis a essas mudanças tendem a deixar este ambiente (OLIVEIRA *et al.* 2010; OMAR *et al.* 2015; KROON *et al.* 2017).

A presença de metais representa um grande perigo à saúde de todo ecossistema aquático, pois não são degradáveis e apresentam um grande potencial bioacumulativo quando lançados em grandes quantidades. Isso se torna ainda mais preocupante com relação ao consumo dos peixes, que são utilizados como fonte de alimentação por populações humanas (NUVOLARI *et al.*, 2011), consistindo como principal fonte proteica para algumas.

De maneira geral, nas últimas décadas, a industrialização e as diferentes influências antropogênicas resultaram em uma maior presença de contaminantes em ecossistemas aquáticos (SUJONG *et al.* 2013). Como consequência, expressiva queda na qualidade da água e perda da biodiversidade aquática tem sido observada (GOULART; CALLISTO, 2003; KOLAREVIC *et al.*, 2017; ZAPPATA *et al.*, 2016). Diante desses desafios, o monitoramento ambiental contínuo, incluindo o uso de peixes como biomarcadores e o teste de genotoxicidade, é essencial para identificar fontes de poluição e propor estratégias de mitigação (ROCHA; SILVA; COSTA, 2018).

### 3.4 ALTERAÇÕES NUCLEARES EM AMBIENTES AQUÁTICOS

Em ambientes aquáticos, a genotoxicidade é amplamente utilizada como indicador de contaminação ambiental, permitindo a identificação de poluentes, como metais pesados, pesticidas e resíduos industriais, que representam sérias ameaças à biodiversidade e à qualidade ambiental (ALBERTINI *et al.*, 2000; GALINDO, 2007).

O monitoramento ambiental baseado na genotoxicidade é uma ferramenta essencial para detectar os efeitos prejudiciais dos poluentes antes que eles se tornem visíveis em níveis populacionais ou ecossistêmicos. Métodos como o teste de micronúcleo e o ensaio cometa têm sido amplamente aplicados para identificar danos genéticos em organismos aquáticos. Essas técnicas permitem avaliar a exposição a poluentes, detectando alterações cromossômicas e danos ao DNA com alta sensibilidade (FENECH, 2007).

No contexto amazônico, onde os ecossistemas aquáticos desempenham um papel fundamental para a biodiversidade e a subsistência das comunidades locais, a avaliação de genotoxicidade tem se mostrado indispensável. A intensa exploração de recursos naturais, como mineração e agricultura, frequentemente libera contaminantes genotóxicos nos corpos d'água, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. (NASCIMENTO *et al.*, 2021;).

Peixes são amplamente utilizados como biomarcadores de genotoxicidade devido à sua sensibilidade aos poluentes e à sua capacidade de refletir as condições de saúde dos ecossistemas aquáticos. Além disso, sua posição na cadeia alimentar os torna suscetíveis à bioacumulação de contaminantes, fornecendo uma visão holística dos impactos ambientais (ROCHA; SILVA; COSTA, 2018; GALINDO, 2007).

Entre os métodos utilizados, o teste de micronúcleo destaca-se por sua eficácia, simplicidade e custo relativamente baixo. Essa metodologia mede a frequência de micronúcleos em células eritrocitárias periféricas, sendo uma ferramenta eficiente para avaliar danos cromossômicos em peixes expostos a diferentes tipos de poluentes (FENECH, 2007). O teste é especialmente relevante em estudos *in situ*, pois fornece dados valiosos sobre os impactos das atividades humanas diretamente no ambiente natural. Estudos recentes reforçam a importância do teste de micronúcleo na identificação precoce de danos genéticos, permitindo o desenvolvimento de estratégias de mitigação para reduzir possíveis impactos das atividades antrópicas em ecossistemas sensíveis (GALINDO, 2007).

### **3.4.1 Estudos na região amazônica**

A genotoxicidade em peixes tem sido amplamente utilizada como ferramenta para avaliar os impactos ambientais causados por agentes químicos em ecossistemas aquáticos (ZAGATTO, 1998). Estudos na região amazônica destacam o uso do teste de micronúcleo para identificar danos genéticos em peixes expostos a diferentes fontes de poluição.

Bucker *et al.* (2006) conduziu uma análise em *Eigenmannia virescens* (peixe elétrico) coletado em áreas com alta contaminação por benzeno, na Ilha Xiborena, próxima à Manaus - AM. O teste de micronúcleo foi complementado com marcadores bioquímicos para avaliar os efeitos do benzeno como agente mutagênico. Frequências significativamente elevadas de micronúcleos foram observadas em locais mais contaminados, evidenciando o potencial genotóxico do benzeno. Este estudo destaca a importância de regulamentações mais rigorosas para a gestão de resíduos industriais na região.

O impacto da radiação ultravioleta foi explorado por Groff (2008), que utilizou tambaquis (*Colossoma macropomum*) e pirarucus (*Arapaima gigas*) como bioindicadores. A exposição controlada a radiação UVA e UVB em laboratório revelou danos genéticos significativos, especialmente sob exposição prolongada, a UVB, destacando os riscos potenciais do aumento da radiação solar devido à redução da camada de ozônio.

Outro estudo realizado por Silva (2009) analisou a genotoxicidade de cianobactérias do gênero *Microcystis spp.* em peixes amazônicos. A pesquisa utilizou o teste de micronúcleo e o ensaio cometa para avaliar danos genéticos causados por essas toxinas. Amostras coletadas em igarapés contaminados apresentaram frequências elevadas de micronúcleos, especialmente em altas concentrações de *Microcystis spp.*

Ferreira (2013) avaliou a genotoxicidade e a bioacumulação de metais em *Hoplias malabaricus* (traíra), coletada nos tributários dos rios Negro e Solimões. Os peixes foram analisados por meio do teste de micronúcleo, e os níveis de mercúrio, chumbo e cádmio foram quantificados em amostras de tecido. Foi observada uma forte correlação entre concentrações elevadas de metais pesados e frequência de micronúcleos, especialmente em locais próximos a áreas com atividades humanas intensas. Este estudo reforça a importância do monitoramento contínuo em corpos d'água amazônicos para identificar fontes de poluição e prevenir danos à biodiversidade local.

Nos rios Tapajós e Crepori, no Pará, ambos com influência de atividade garimpeira, foi investigado por Silva (2017) os níveis de mercúrio no tecido muscular fresco de *Hoplias malabaricus*, assim como, os níveis de danos genotóxicos em eritrócitos por meio do teste de micronúcleo (TMN) e ensaio cometa (EC), que apresentou índices mais elevados nas amostras coletadas no Rio Crepori, o que pode ser explicado pela sua proximidade com regiões de garimpo.

Da Silva (2019) realizou uma avaliação genotóxica em várias espécies de peixes capturados em igarapés urbanos de Manaus. O teste de micronúcleo foi aplicado em

eritrócitos periféricos e complementado por análises citogenômicas para identificar alterações no DNA. Foi evidenciado que igarapés com maior carga de resíduos domésticos e industriais apresentaram peixes com frequências mais altas de micronúcleos. Este trabalho reforça a necessidade de implementar medidas de saneamento e controle de resíduos para mitigar os impactos sobre a biodiversidade local.

Um estudo controlado conduzido por Oliveira *et al.* (2020) utilizou o *Danio rerio* (zebrafish) como modelo para avaliar os efeitos do biodiesel em ambientes aquáticos. Peixes foram expostos a concentrações crescentes de biodiesel, e a análise estatística demonstrou uma relação dose-resposta, com aumento da frequência de micronúcleos proporcional às concentrações

Foram investigadas alterações genotóxicas em *Plagioscion squamosissimus* (pescada-branca) em dois trechos de rios da Amazônia, com diferentes níveis de impacto ambiental. Testes de micronúcleo e ensaios do cometa foram aplicados para avaliar danos ao DNA. Rodrigues (2021) mostrou que seus resultados indicaram que peixes provenientes de áreas próximas a atividades de mineração apresentaram frequências significativamente maiores de danos genéticos em comparação aos peixes de áreas menos impactadas. Estes achados destacam os riscos associados ao uso de mercúrio na mineração e a necessidade de políticas ambientais mais rígidas.

Outro trabalho desenvolvido na região amazônica, mais precisamente no estado do Pará, também utilizou da mesma metodologia para avaliação da genotoxicidade em ambientes aquáticos expostos às ações de atividades antrópicas, como a investigação da toxicidade de dois estuários amazônicos no Pará, um antropizado e outro de controle, de importância ecológica e econômica, sendo um importante local de atividade pesqueira e o outro uma fundição de bauxita considerada uma das maiores corporações do mundo no setor de alumínio, onde a frequência de micronúcleo (MN) observada em qualquer momento pode ser considerada para refletir a complexa interação entre a atividade genotóxica e o mecanismo fisiológico do organismo em teste, avaliando os efeitos de poluentes sobre a biota aquática contaminada, aos quais humanos também podem estar expostos (DE OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Foi realizada por Soares e Da Silva (2023) uma investigação sobre alterações genotóxicas em *Hoplosternum littorale* (tamoatá) em áreas antropizadas e não antropizadas próximas a Manaus. O teste de micronúcleo foi aplicado em eritrócitos periféricos para avaliar danos ao DNA, e marcadores de estresse oxidativo foram utilizados como complementos analíticos. Os resultados demonstraram que indivíduos provenientes de áreas

contaminadas apresentaram frequências significativamente maiores de micronúcleos, em comparação aos coletados em áreas de controle. A pesquisa revelou que *H. littorale* é altamente sensível à presença de poluentes como metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, destacando sua aplicabilidade como bioindicador em ecossistemas impactados.

Na região urbana de Manaus, Pereira (2024) investigou a relação entre a poluição de igarapés e a frequência de micronúcleos em peixes nativos. Foram analisados igarapés próximos a áreas de alta densidade populacional e indústrias, mostrando que a presença de poluentes, como metais pesados, estava diretamente associada ao aumento da frequência de micronúcleos.

Esses estudos reforçam o papel crucial dos peixes como bioindicadores na detecção de agentes genotóxicos em ecossistemas aquáticos da Amazônia. O teste de micronúcleo, em particular, tem se mostrado uma ferramenta eficaz para monitorar a contaminação ambiental e os impactos das atividades humanas (FERREIRA, 2013; SOARES; DA SILVA, 2023; DA SILVA, 2019). Tais investigações são fundamentais para subsidiar políticas públicas voltadas à conservação da biodiversidade e à proteção das comunidades locais que dependem desses recursos.

Os estudos sobre genotoxicidade em peixes da Amazônia são limitados, especialmente em regiões remotas, e concentrados em áreas impactadas, como regiões urbanas, de mineração e portos, a exemplo dos estudos citados. Dificuldades logísticas e falta de recursos restringem investigações em larga escala, comprometendo o monitoramento de poluentes e a elaboração de estratégias de conservação eficazes (FERREIRA, 2013; RODRIGUES, 2021; SOARES; DA SILVA, 2023).

### 3.5 BIOMARCADORES GENÉTICOS

A presença de estressores no ambiente (principalmente poluentes orgânicos e inorgânicos) pode influenciar a integridade das moléculas de DNA nos organismos aquáticos, podendo ter consequências nos níveis individuais e populacionais (KOLAREVIC *et al.* 2016). Substâncias que são lançadas diariamente nos corpos d'água podem até não demonstrar efeitos agudos nos organismos que estão expostos, como no caso de poluição severa que pode resultar no desaparecimento de tais organismos. Entretanto, a exposição à poluição em curto prazo é capaz de ocasionar danos teciduais, danos no material genético de células somáticas e

germinativas, além da bioacumulação de contaminantes (THELLMANN *et al.* 2017; ZAPPATA *et al.* 2016).

De acordo Silva (2019), resultados demonstram que análise de micronúcleos, anormalidades nucleares eritrocíticas e o ensaio do cometa são métodos importantes para avaliar a saúde do ecossistema aquático, especialmente em espécies que estão apresentando remodelamento genético e epigenético, em função da má qualidade da água.

Deste modo, a exposição a agentes genotóxicos pode resultar em um funcionamento incorreto da maquinaria celular, fenômeno este que pode levar ao desenvolvimento de um processo cancerígeno ou até mesmo a morte celular, e caso não ocorra o reparo do DNA danificado, consequências biológicas em suas células, órgãos ou organismo inteiro pode ser ocasionado (BOMBASSARO 2007; KOLAREVIC *et al.*, 2016; LEE; STEINERT 2003). Em ambientes naturais da região amazônica, a contaminação por mercúrio (Hg) foi avaliada pelo teste do micronúcleo em eritrócitos de três espécies de diferentes níveis tróficos: *Prochilodus nigricans* (SPIX; AGASSIZ, 1829) (detritívoro), *Mylossoma duriventris* (CUVIER, 1818) (onívoro) e *Hoplias malabaricus* (BLOCH 1794) (piscívoro), onde foi possível observar altas frequências de micronúcleos em *H. malabaricus*, indicando uma interação de fatores ambientais (hábitos não migratórios) e biológicos (danos genéticos) (PORTO; ARAÚJO; FELDBERG, 2005).

Esse tipo de teste, em combinação com as análises de anormalidades nucleares, tem sido extensivamente aplicado entre os ensaios atualmente disponíveis, além de serem amplamente recomendados para estudos de biomonitoramento ambiental empregando os peixes como bioindicadores, com intuito de avaliar a qualidade de recursos hídricos e os efeitos da poluição sobre os organismos (HUSSAIN *et al.* 2018; PANTALEÃO 2002). Essas anormalidades nucleares são formadas quando determinada quantidade de material genético fica levemente atrasada na mitose, fazendo com que o núcleo resultante não seja oval, mas apresente uma saliência de cromatina, conhecida como anormalidades nucleares eritrocíticas (ANEs) (BRAHAM *et al.* 2017; KIRSCHBAUM *et al.* 2009; SOUZA; FONTANELLI, 2006).

Outro teste utilizado como ferramenta na avaliação genotóxica é o ensaio do cometa, que avalia danos no DNA em nível de células individuais, resultantes da exposição a um agente genotóxico, medindo a migração do DNA de células em gel de agarose, numa corrida de eletroforese (HUSSAIN *et al.*, 2018; SINGH, 1988). Este ensaio tem sido recomendado na avaliação de despejos industriais, domésticos e agrícolas, indução de danos e reparo no DNA,

assim como em estudos que visam o biomonitoramento de populações expostas a aplicações clínicas (COLLINS, 2014; LAPUENTE *et al.*, 2015).

### 3.5.1 Peixes como bioindicadores

São considerados bioindicadores, organismos sentinelas pelo qual se permite avaliar a integridade e saúde dos ecossistemas em que se encontram, atuando como indicadores biológicos para perturbações de atividades antrópicas com potencial antrópico (DE LIMA, 2015). Para tanto é ideal que os organismos sejam nativos e abundantes da área estudada, resilientes e com capacidade de se ambientar a condições experimentais, inclusive a ambientes sem a presença do contaminante analisado (KLINGELFUS, 2013).

Os peixes são considerados importantes organismos bioindicadores para pesquisas sobre contaminação ambiental. O metilmercúrio, a forma mais tóxica do mercúrio, consegue se acumular nos tecidos de animais aquáticos devido a fácil absorção desta forma orgânica, levando a altas concentrações na cadeia biológica, com concentrações bem maiores do que as originalmente encontradas no ambiente (AZEVEDO, 2003).

A concentração limite de mercúrio em peixes para consumo humano foi determinada pela Organização Mundial de Saúde em 0,5mg/kg (WHO,1990). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), determina o limite de 0,5 mg/kg para peixes não-predadores, e 1,0 mg/kg para peixes predadores (BRASIL, 2022).

Estudo realizado por DE VASCONCELLOS *et al.* (2022) em Roraima, verificou que a análise da razão do risco atribuível ao consumo de pescado contaminado em diferentes cenários de exposição revelou que a ingestão de metilmercúrio excede os limites preconizados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO/WHO) em praticamente todos os cenários hipotéticos estudados, sendo possível afirmar que as razões de risco estimadas mostram que a população de Roraima (tanto aqueles que residem em áreas urbanas, como aqueles que residem em áreas não urbanas) se encontra sob elevado risco de adoecimento, devido ao consumo de pescados contaminados.

Peixes tem se destacado como bioindicadores para ecossistemas aquáticos devido sua presença em todos os níveis tróficos, alta mobilidade, rápida reprodução, simples manutenção, fisiologia descrita, além de possuir importância socioeconômica e fisiologia semelhante à humana permitindo inferir a saúde de populações humanas a partir de seu estudo (ARIAS *et al.*,2007).

### 3.6 TESTE DE MICRONÚCLEO

O Teste de Micronúcleo (TMN) foi descrito por Schmid (1975), desenvolvido para células da medula óssea de camundongos e, posteriormente, adaptado por Hoofman e Raat (1982) para estudos em peixes, conhecido como teste de micronúcleo písceo (TMN), que é o principal teste de genotoxicidade recomendado pelas agências regulatórias, com o objetivo de identificar substâncias que causam efeitos clastogênicos (quebra cromossômica) e aneugênicos (perdas de cromossomos devido a erro de segregação durante a divisão celular) (MAISTRO, 2014).

O TMN é considerado uma técnica vantajosa e simples, sendo possível observá-los em todos os tipos de eritrócitos, como resposta complexa entre a exposição genotóxica e a eficiência dos mecanismos fisiológicos de defesa dos organismos (HAYASHI, 2016), permitindo a identificação do aumento da frequência de mutações em células que são expostas a uma quantidade variada de agentes genotóxicos (CARVALHO *et al.*, 2002; UCHÔA; MAGALHÃES, 2020).

Os micronúcleos (MN) são denominações dadas a pequenos corpúsculos de cromatina que se encontram dispersos no citoplasma de eritrócitos, sendo originados de fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que não foram incorporados nos núcleos das células-filhas durante a divisão celular (OBIAKOR *et al.* 2012; SCHMID 1975). São fragmentos de DNA que não foram incorporados ao núcleo durante a divisão celular apresentando relação com agentes mutagênicos ou clastogênicos (UCHÔA; MAGALHÃES, 2020).

O fundamento do teste é baseado na formação de micronúcleos, que são pequenos corpos destacados do núcleo principal e que apresentam material genético de 17 cromossomos inteiros e/ou seus fragmentos (RIBEIRO *et al.*, 2003; SILVA., 2003), também conhecido na hematologia como corpúsculos de Howell-Jolly (MAISTRO, 2014), onde ocorre a formação de micronúcleo em célula mononucleada de duas formas: evento aneugênico - um cromossomo duplicado não segregado durante a anáfase origina um micronúcleo em uma das células filhas; Evento clastogênico – um fragmento cromossômico acêntrico não segregado em anáfase resulta em micronúcleo em uma célula filha (TERRADAS *et al.*, 2010).

Hoofman e Raat (1982) foram os responsáveis por adaptarem o teste as células de peixes abrindo um leque de possibilidades de seu uso em diversas substâncias potencialmente mutagênicas encontradas nos ambientes aquáticos. Durante os estudos de células

micronucleadas, os pesquisadores notaram a existência de anormalidades nucleares e as relacionaram aos processos de morte celular, mutagenicidade e genotoxicidade (TROLLY, 2019), que são as ANEs, descritas por Carrasco *et al.* (1990) e Unbamani e Mohankumar (2011) como:

- **Blebbled (bolha):** núcleos com uma pequena evaginação da membrana nuclear, parecendo conter eucromatina ou heterocromatina (mais escuro). O tamanho destas evaginações varia desde pequenas protuberâncias a estruturas completamente circunscritas, semelhantes aos micronúcleos, mas ainda ligadas ao núcleo principal;
- **Lobed (lobado):** núcleos com evaginações mais largas do que as descritas para os blebbed. Sua estrutura não é tão definida como a anterior. Alguns núcleos apresentam várias destas estruturas;
- **Notched (forma de rim ou entalhado):** núcleos que apresentam um corte bem definido em sua forma. Geralmente com uma profundidade apreciável no núcleo. Esses cortes parecem não possuir nenhum material nuclear e parecem ser delimitados pela membrana nuclear;
- **Vacuolated (vacuolado):** núcleos que apresentam uma região que lembra os vacúolos no seu interior. Estes “vacúolos” apresentam-se destituídos de qualquer material visível no seu interior;
- **Binucleate (binucleado):** célula que apresenta dois núcleos.

Furnus *et. al* (2014) considerou outros dois tipos de anormalidades nucleares observadas em indivíduos analisados em seu estudo, denominados:

- **Eightshaped (forma de oito):** núcleos apresentando uma constrição adquirindo um formato de oito;
- **Bud (broto):** brotações parcialmente separadas do núcleo.

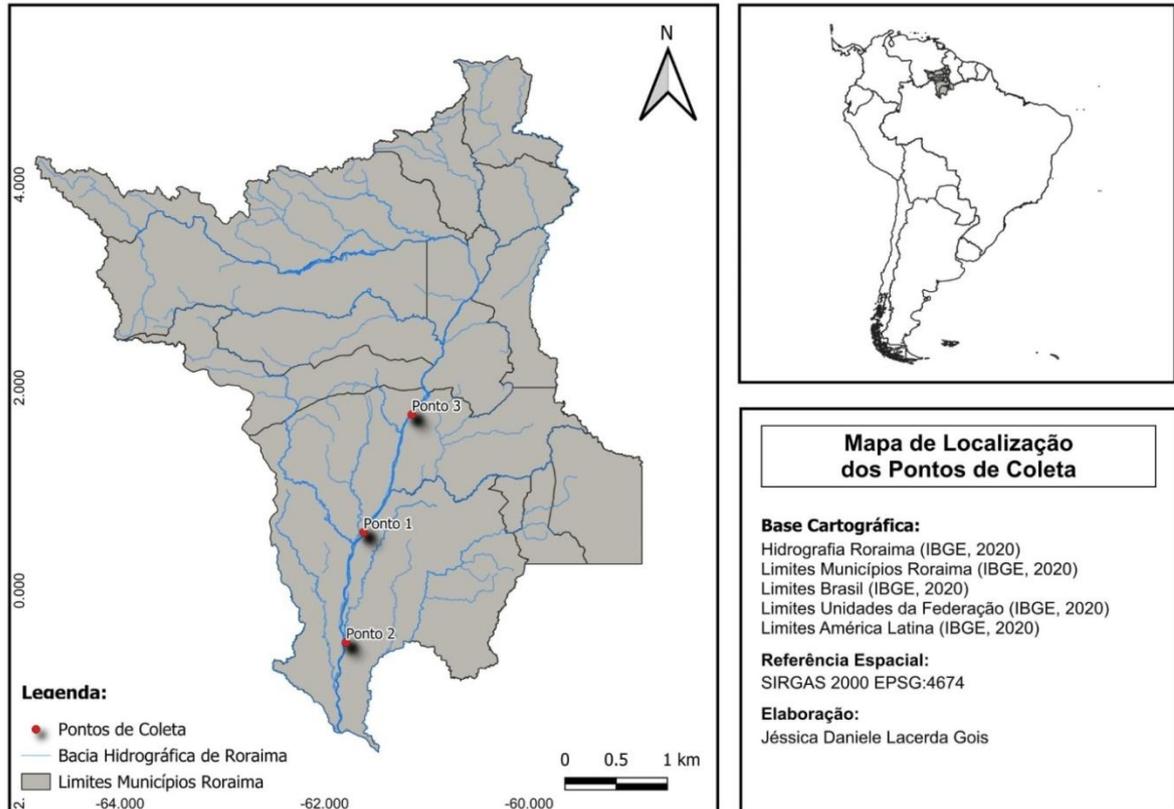
O processo de formação dessas alterações não é totalmente compreendido, mas sugere-se que ocorra quando uma parte do material genético fica atrasada no ciclo celular, fazendo com que o núcleo não seja oval e apresente saliências em sua cromatina (BOMBAIL *et al.*, 2001).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em três pontos de coleta, sendo os dois primeiros na região do Baixo Rio Branco (Roraima – Brasil): município de Rorainópolis – área não povoada – (Ponto 1: 0°34'31''N / 61°37'2''W), local com pouca influência de ações antrópicas, apenas com fluxo de alguns barcos de turismo para pesca esportiva e rota aquaviária, aproximadamente 124 km a montante do segundo ponto; e a Vila Santa Maria do Boiaçu (Ponto 2: 0°30'32''S / 61°47'21''W), também localizada no município de Rorainópolis, a 272 km da sede do município de Caracará (ponto de partida via fluvial), uma das maiores comunidades ribeirinhas e ponto estratégico da região, com pouco menos de 1.500 habitantes (CAVALCANTE *et al*, 2020), dispondo de escola, posto de saúde, posto policial, entre outras estruturas, sendo a pesca comercial um dos principais meios econômicos. O terceiro ponto foi em Vista Alegre (Ponto 3: 1°44'5''N / 61°8'41''W), uma vila de pescadores próxima à sede do município de Caracará, aproximadamente 14 km a jusante, um dos maiores e mais importantes polos pesqueiros de Roraima, sendo a pesca comercial seu principal meio econômico. Por ser próxima de área urbanizada e portuária, que possui cerca de 20.957 habitantes (IBGE, 2022), há mais influência de atividades antrópicas, de acordo com o que foi visualizado.

Figura 2 – Mapa de localização dos pontos de coleta. Ponto 1: Município de Rorainópolis, região do Baixo Rio Branco; Ponto 2: Vila Santa Maria do Boiaçu, localizada no município de Rorainópolis, região do Baixo Rio Branco; Ponto 3: Vila Vista Alegre, localizada no município de Caracaraí, região do Médio Rio Branco.



## 4.2 AMOSTRAGEM

Foram coletados 33 indivíduos (Ponto 1:  $n = 2$ ; Ponto 2:  $n = 6$ ; Ponto 3:  $n = 25$ ) de 12 espécies diferentes com tamanhos variados, como pode ser observado na Tabela 1, (Figura 6), identificados por meio do guia de Peixes comerciais de Manaus, pertencentes aos seguintes níveis tróficos: onívoros, detritívoros, carnívoros e herbívoros (BAYLEY; PRETERE, 1989; BERTO, 2018; CASTELLO, 2008; GOULDING, 1980; JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989; JUNK; SOARES, 2002; KULLANDER; FERREIRA, 2007; SILVA, 1993; TAVARES; SHIBATTA, 2006).

Tabela 1 – Total de exemplares coletados e seus respectivos pontos de coletas.

<b>Espécie</b>	<b>Nº de Indivíduos</b>	<b>Nome Popular</b>	<b>Ponto de Coleta</b>
<i>Pinirampus pinirampu</i> (Cope, 1872)	2	Barba-chata	Rorainópolis (Baixo Rio Branco)
<i>Leporinus fasciatus</i> (Linnaeus, 1758)	2	Aracu Flamengo	Santa Maria do
<i>Serrasalmus rhombeus</i> (Linnaeus, 1766)	1	Piranha Preta	Boiaçu
<i>Anostomoides laticeps</i> (Eigenmann, 1912)	1	Aracu Cabeça Gorda	(Rorainópolis /
<i>Myloplus rubripinnis</i> (Müller e Troschel, 1844)	2	Pacu	Baixo Rio Branco)
<i>Anostomoides laticeps</i> (Eigenmann, 1912)	8	Aracu Cabeça Gorda	
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch e Schneider, 1801)	1	Piau Três Pintas	
<i>Schizodon fasciatus</i> (Cuvier, 1816)	3	Aracu Comum	
<i>Plagioscion squamosissimus</i> (Bloch e Schneider, 1801)	1	Pescada	Vista Alegre (Caracaraí /
<i>Metynnis hypsauchen</i> (Müller & Troschel, 1844)	7	Pacu	Médio Rio Branco)
<i>Curimata inornata</i> (Vari, 1989)	3	Branquinha	
<i>Laemolyta varia</i> (Steindachner, 1879)	1	Aracu Caneta	
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	1	Traíra	
<b>Total de Indivíduos</b>	<b>33</b>		

Figura 3 – Peixes coletados na região do Baixo Rio Branco: a) *Leporinus fasciatus* (Santa Maria do Boiaçu); b) *Myloplus rubripinnis* (Santa Maria do Boiaçu); c) *Serrasalmus rhombeus* (Santa Maria do Boiaçu); d) *Pinirampus Pirinampu* (Rorainópolis); e) *Leporinus friderici* (Vista Alegre); f) *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre); g) *Curimata inornata* (Vista Alegre); h) *Plagioscion squamosissimus* (Vista Alegre); i) *Laemolyta varia* (Vista Alegre); j) *Schizodon fasciatus* (Vista Alegre); k) *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); l) *Hoplias malabaricus* (Vista Alegre).



Fonte: A autora.

Os peixes foram capturados com linha de pesca em todos os pontos, em outubro de 2023, período de seca, o qual dificultou a captura dos indivíduos, impossibilitando a escolha específica de espécies pela falta de garantia de captura das mesmas espécies em todos os pontos de coleta. Ao serem pescados, os indivíduos eram colocados em caixas plásticas de 50 litros com água do próprio ambiente de captura, oxigenada artificialmente com minicompressores de aquários e transportados até o laboratório montado em campo.

Após a aclimatação, os indivíduos foram anestesiados com 30mg/L de Eugenol, em banho anestésico com 10 litros de água, por 2 minutos. Em seguida, foi realizada a coleta de sangue a partir da nadadeira caudal, utilizando-se seringa previamente heparinizada. Foi utilizado cerca de 5 $\mu$ L de sangue para o esfregaço em lâminas limpas, devidamente identificadas para cada amostra, para a realização do teste de micronúcleo. Em seguida, os indivíduos foram eutanasiados com doses elevadas de Eugenol, sendo colocadas conforme comportamento do animal, para coleta de tecido muscular e estômago, material para análises moleculares posteriores.

As análises foram realizadas no Laboratório de Biologia Molecular do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (Pronat) e no Laboratório de Microscopia do Centro de Ciências da Saúde (CCS), pertencentes à Universidade Federal de Roraima. A metodologia foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Roraima (CEUA/UFRR), sob o nº de protocolo 016/2023, e cadastrada no Sistema de Aprovação e Informação em Biodiversidade (SISBio) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), sob o registro nº 87780, a qual também foi cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o código AEBAB4F.

#### 4.3 TESTE DE MICRONÚCLEO E ANORMALIDADES NUCLEARES

Após a punção, foram preparadas duas lâminas com esfregaço sanguíneo para cada exemplar, totalizando 66 lâminas, postas para secar a temperatura ambiente por uma noite, fixadas em metanol P.A. e em álcool 70%, ambas por 10 minutos, para testar o melhor método de fixação, obtendo melhores resultados com as lâminas fixadas em metanol. Depois de secas, foram coradas com Giemsa 5% e diluídas em tampão fosfato pH 6.8, por 8 minutos, sendo posteriormente lavadas com água destilada e deixadas para secar em temperatura ambiente. A análise citológica foi processada em microscópio óptico sob magnificação 1000x.

Foram avaliados 1000 eritrócitos por lâmina e a identificação de micronúcleos e ANE seguiu os critérios definidos por Carrasco *et al.* (1990), Fenech (2007), Vilches (2009), Unbamani e Mohankumar (2011) e Furnus *et. al* (2014), respectivamente. O cálculo da frequência de micronucleações e Anormalidades Nucleares se deu pela fórmula:

$$\text{Frequência de Micronúcleo (\%)} = \frac{\text{Número de micronúcleos} \times 100}{2000 \text{ eritrócitos}}$$

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As medidas de contagem e frequência foram organizadas em planilhas com o auxílio do programa Microsoft Excel e analisadas com o auxílio do software BioEstat 5.3 (AYRES *et al.*, 2007). Para dados não paramétricos, foram utilizados os testes de Kruskal-Wallis para avaliar a relação entre os tipos de alterações nucleares com relação aos hábitos alimentares, e o teste Mann-Whitney para avaliar as duas regiões estudadas, considerando a hipótese de não haver variação entre as espécies e os locais de coleta, por não ter uma distribuição padronizada das amostras. Foram considerados os valores de  $P < 0.05$ .

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

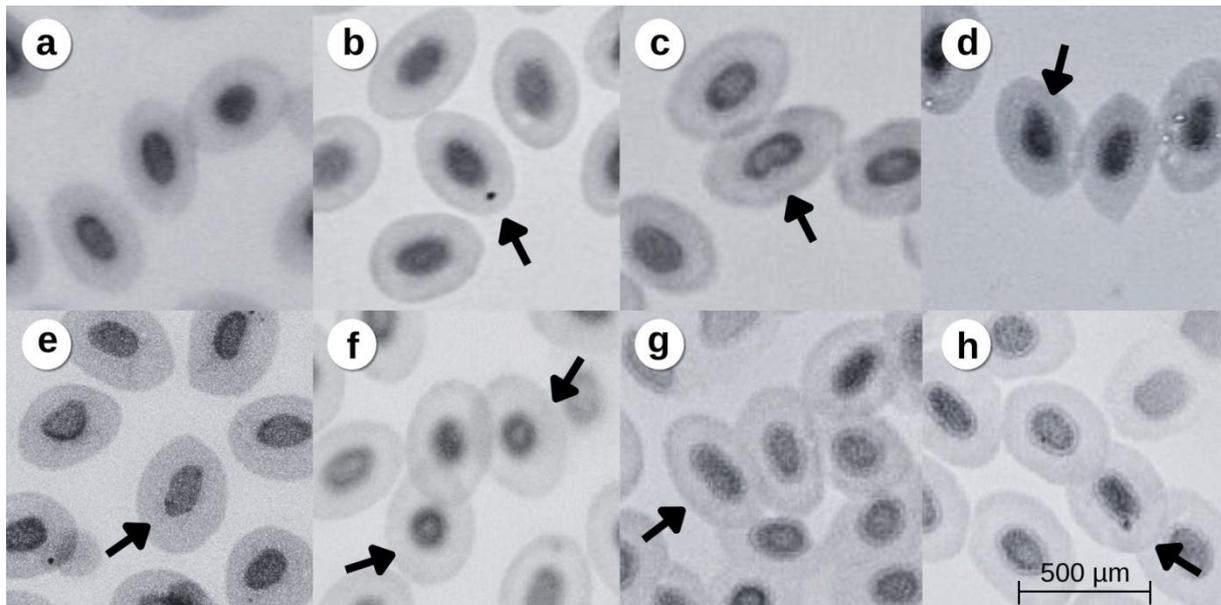
Foram analisados 33 peixes de 12 espécies diferentes, em duas áreas do Baixo Rio Branco – Rorainópolis e Santa Maria do Boiaçu (menor influência de atividades antrópicas, devido à menor concentração e fluxo de pessoas, porém sendo uma região de grande influência da atividade de pesca esportiva, com fluxo de barcos-hotéis) e uma região do Médio Rio Branco – Vista Alegre (maior influência de atividades antrópicas devido proximidade à área urbanizada e zona portuária). Para a análise do Teste de Micronúcleo (TMN), foram observados 2.000 eritrócitos por indivíduo, que revelaram ocorrência de micronúcleos e anormalidades nucleares eritrocíticas (Tabela 2).

Tabela 2 – Ocorrência de Micronúcleo (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) por indivíduo, classificadas em: Forma de Rim (Rim), Bolha (Bol), Vacuolado (Vac), Lobado (Lob), Forma de oito (oito) e Broto (Bro).

Indivíduo	Local de Coleta	Alterações Nucleares							Total
		MN	Rim	Bol.	Vac.	Lob.	Oito	Bro.	
<i>Pinirampus pirinampu</i>	Rorainópolis	3	5	2	1	6	1	-	18
<i>Pinirampus pirinampu</i>	(Baixo Rio Branco)	3	7	5	8	4	-	-	27
<i>Leporinus fasciatus</i>	Santa Maria do Boiaçu (Rorainópolis/Baixo Rio Branco)	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leporinus fasciatus</i>		2	1	17	-	13	-	-	33
<i>Serrasalmus rhombeus</i>		30	9	15	-	15	-	-	69
<i>Anostomoides laticeps</i>		0	9	6	1	14	-	-	30
<i>Myloplus rubripinnis</i>		4	19	8	126	9	1	-	167
<i>Myloplus rubripinnis</i>		9	31	12	5	6	-	-	63
<i>Curimata inornata</i>		5	2	2	1	1	-	-	11
<i>Anostomoides laticeps</i>		10	8	10	-	4	-	-	32
<i>Anostomoides laticeps</i>		0	1	1	-	-	-	-	2
<i>Anostomoides laticeps</i>		8	15	7	-	3	1	-	34
<i>Anostomoides laticeps</i>		1	1	-	1	-	-	-	3
<i>Anostomoides laticeps</i>		4	5	3	-	2	-	-	14
<i>Anostomoides laticeps</i>		0	14	1	-	5	-	-	20
<i>Anostomoides laticeps</i>		0	-	4	-	-	1	-	5
<i>Anostomoides laticeps</i>		6	82	67	10	17	1	-	183
<i>Leporinus friderici</i>		5	1	1	-	1	-	-	8
<i>Schizodon fasciatus</i>	Vista Alegre (Caracará / Médio Rio Branco)	7	11	5	-	1	1	-	25
<i>Schizodon fasciatus</i>		4	8	7	-	-	-	1	20
<i>Schizodon fasciatus</i>		0	1	-	-	-	-	-	1
<i>Plagioscion squamosissimus</i>		2	-	-	-	-	-	-	2
<i>Metynnis hypsauchen</i>		6	8	6	2	1	1	-	24
<i>Metynnis hypsauchen</i>		3	15	2	3	2	5	2	32
<i>Metynnis hypsauchen</i>		23	38	19	65	3	3	-	151
<i>Metynnis hypsauchen</i>		2	8	5	-	1	2	-	18
<i>Metynnis hypsauchen</i>		4	5	2	-	-	1	-	12
<i>Metynnis hypsauchen</i>		3	26	14	-	2	-	-	45
<i>Metynnis hypsauchen</i>		2	7	2	-	1	-	1	13
<i>Curimata inornata</i>		13	16	11	2	9	-	4	55
<i>Curimata inornata</i>		2	38	65	32	36	-	-	173
<i>Laemolyta varia</i>		1	32	23	2	8	8	-	74
<i>Hoplias malabaricus</i>		3	16	14	-	2	-	-	35
<b>Total</b>		165	439	336	259	166	26	8	1399

As Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) são classificadas de acordo com o formato do núcleo (Figura 8), sendo a classificação Forma de Rim, porque lembra o formato de um rim, a que teve maior ocorrência, totalizando 439 ANE observadas. A classificação de menor ocorrência foi a Broto, com apenas 8 ANE observadas. Não foi constatada nenhuma ocorrência da classificação Binucleado.

Figura 4 – Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) observadas: a) Célula sem alteração: *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); b) Micronúcleo: *Myloplus rubripinnis* (Santa Maria do Boiaçu); c) Forma de rim: *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre); d) Bolha: *Myloplus rubripinnis* (Santa Maria do Boiaçu); e) Lobado: *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); f) Vacuolado: *Anostomoides laticeps* (Vista Alegre); g) Forma de oito: *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre); h) Broto: *Metynnis hypsauchen* (Vista Alegre).



As espécies com maior ocorrência de ANE foram *Anostomoides laticeps* (onívoro), *Curimata inornata* (detritívoro) *Metynnis hypsauchen* (herbívoro), *Myloplus rubripinnis* (herbívoro), respectivamente, com mais de 150 eritrócitos apresentando anormalidades. Considerando a frequência de alterações nucleares por indivíduo (Tabela 3), onde o número de MN e ANE foram multiplicados por 100, divididos pela quantidade de eritrócitos observados (2.000), pôde-se observar que esses indivíduos apresentaram uma frequência de ANE maior que 6%, enquanto a espécie carnívora *Serrasalmus rhombeus* (piranha preta) apresentou a maior frequência de Micronúcleo (MN), sendo 1,5%, seguida do herbívoro

*Metynnis hypsauchen*, com 1,15%, indivíduo que também apresentou uma frequência de ANE mais elevada em comparação aos outros espécimes, com 6,40%.

Tabela 3 – Frequência de Micronúcleos (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), classificadas por hábito alimentar, indivíduos e ponto de coleta.

Hábito Alimentar	Espécie	N.I./Es p.	Ponto de Coleta	MN (%)	ANE (%)	
Onívoros	<i>Pinirampus pirinampu</i>	2	Rorainópolis (Rio Branco)	0,15	0,75	
	<i>Pinirampus pirinampu</i>			0,15	1,2	
	<i>Leporinus fasciatus</i>	2	Santa Maria do Boiaçu (Rio Branco)	0	0	
	<i>Leporinus fasciatus</i>			0,1	1,55	
	<i>Anostomoides laticeps</i>	1	Vista Alegre (Rio Branco)	0	1,5	
	<i>Anostomoides laticeps</i>	8		0,5	1,1	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0	0,1	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0,4	1,3	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0,05	0,1	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0,2	0,5	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0	1	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0	0,25	
	<i>Anostomoides laticeps</i>			0,3	8,85	
	<i>Leporinus friderici</i>	1		0,25	0,15	
	<i>Schizodon fasciatus</i>	3		0,35	0,9	
	<i>Schizodon fasciatus</i>			0,2	0,8	
	<i>Schizodon fasciatus</i>			0	0,05	
	<i>Laemolyta varia</i>	1		0,05	3,65	
	Detritívoros	<i>Curimata inornata</i>		3	Vista Alegre (Rio Branco)	0,25
		<i>Curimata inornata</i>	0,65			2,1
<i>Curimata inornata</i>		0,1	8,55			
Carnívoros	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	1	Santa Maria do Boiaçu (Rio Branco)	1,5	1,95	
	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	1	Vista Alegre (Rio Branco)	0,1	0	
	<i>Hoplias malabaricus</i>	1		0,15	1,6	
Herbívoros	<i>Myloplus rubripinnis</i>	2	Santa Maria do Boiaçu (Rio Branco)	0,2	8,15	
	<i>Myloplus rubripinnis</i>			0,45	2,7	
	<i>Metynnis hypsauchen</i>	7	Vista Alegre (Rio Branco)	0,3	0,9	
	<i>Metynnis hypsauchen</i>			0,15	1,45	
	<i>Metynnis hypsauchen</i>			1,15	6,4	
	<i>Metynnis hypsauchen</i>			0,1	0,8	
	<i>Metynnis hypsauchen</i>			0,2	0,4	
<i>Metynnis hypsauchen</i>	0,15	2,1				
<i>Metynnis hypsauchen</i>	0,1	0,55				

A maioria dos indivíduos apresentaram uma frequência de MN entre 0,1 e 0,45%, e uma frequência de ANE entre 0,1 e 3,7%. Considerando a média das frequências de alterações nucleares, os indivíduos de espécie carnívora apresentaram maior frequência de Micronúcleo, o

que pode estar associado à sua posição na cadeia alimentar, e as espécies detritívoras, apresentaram maior frequência de Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (Tabela 4), que pode ser um indicativo de toxicidade no ambiente, devido ao tipo de alimento que essas espécies consomem, com contato direto à sedimentos, onde poluentes se acumulam. Considerando os pontos de coleta, o Baixo Rio Branco apresentou maior frequência de MN e ANE, o que pode estar ligado ao alto índice de alterações nucleares em carnívoros e herbívoros coletados naquela região.

Tabela 4 – Média e desvio padrão da frequência de Micronúcleos (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), considerando o hábito alimentar e o ponto de coleta (n=33).

Variável	Nº de Indivíduos	%MN	%ANE
<b>Hábito Alimentar</b>			
Onívoros	18	0,15 ± 0,16	1,32 ± 2,07
Detritívoros	3	0,33 ± 0,28	3,65 ± 4,34
Carnívoros	3	0,58 ± 0,79	1,18 ± 1,04
Herbívoros	9	0,31 ± 0,33	2,61 ± 2,78
<b>Ponto de Coleta</b>			
Baixo Rio Branco	8	0,32 ± 0,50	2,23 ± 2,52
Médio Rio Branco	25	0,23 ± 0,25	1,76 ± 2,50

Dados da média de 33 indivíduos.

Ao ser aplicado o Teste de Kruskal-Wallis, considerando os hábitos alimentares dos indivíduos e avaliando as alterações nucleares de cada grupo, os resultados mostraram um H (diferença entre as medianas dos grupos) de 3,6425 e p de 0,3027 para Micronúcleo (MN), e um H de 3,4555 com um p de 0,3266 para Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), indicando que não há diferenças significativas entre os quatro grupos, tanto na frequência de MN quanto na de ANE, uma vez que o valor de  $p > 0,05$ .

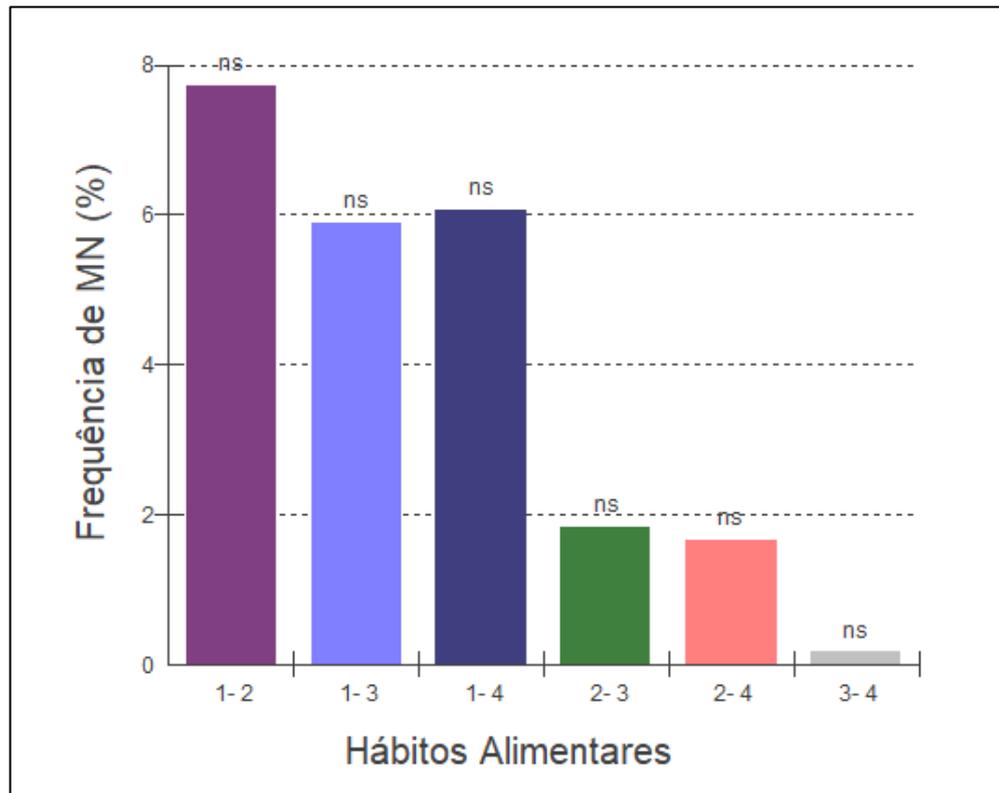
Tabela 5 – Resultados do Teste de Kruskal-Wallis, considerando as alterações nucleares com relação aos hábitos alimentares dos indivíduos, o grau de liberdade, que determina a distribuição do teste, e o valor de “p” para cada comparação entre os grupos.

<b>Alteração Nucelar</b>	<b>Valor de H</b>	<b>Grau de Liberdade (df)</b>	<b>Valor de p</b>
MN	3,6425	3	0,3027
ANE	3,4555	3	0,3266

Embora os resultados do teste de Kruskal-Wallis não tenham apontado diferenças estatisticamente significativas entre os grupos tróficos quanto à frequência de MN ( $p > 0,05$ ), como mostra o Gráfico 1, observa-se uma tendência de maiores valores na frequência nos peixes onívoros e carnívoros, em comparação aos detritívoros e herbívoros.

Onívoros (grupo 1) apresentaram as maiores frequências de MN, onde a barra 1–2 (onívoros e detritívoros) chega a quase 8%, sendo o maior valor visualizado. Apesar da ausência de significância estatística, esse valor elevado pode indicar uma tendência de maior suscetibilidade ou exposição ambiental. Essa alta média pode ser reflexo de uma dieta variada, que inclui presas contaminadas ou vegetais bioacumuladores. Detritívoros (grupo 2) e herbívoros (grupo 4) apresentaram frequências mais baixas. Surpreendentemente, os detritívoros mostraram baixa média de MN (~2%), quando seria esperada uma exposição maior por contato com sedimentos. Isso pode ser reflexo de pequeno tamanho amostral ( $n=3$ ), capacidade fisiológica de desintoxicação ou variabilidade ambiental local. Os carnívoros (grupo 3) ficaram entre os intermediários (~6%): como predadores de topo, há potencial para bioacumulação e biomagnificação (DE JESUS, 2013), o que justificaria uma frequência moderada a alta de MN. A média próxima à dos onívoros reforça essa suposição.

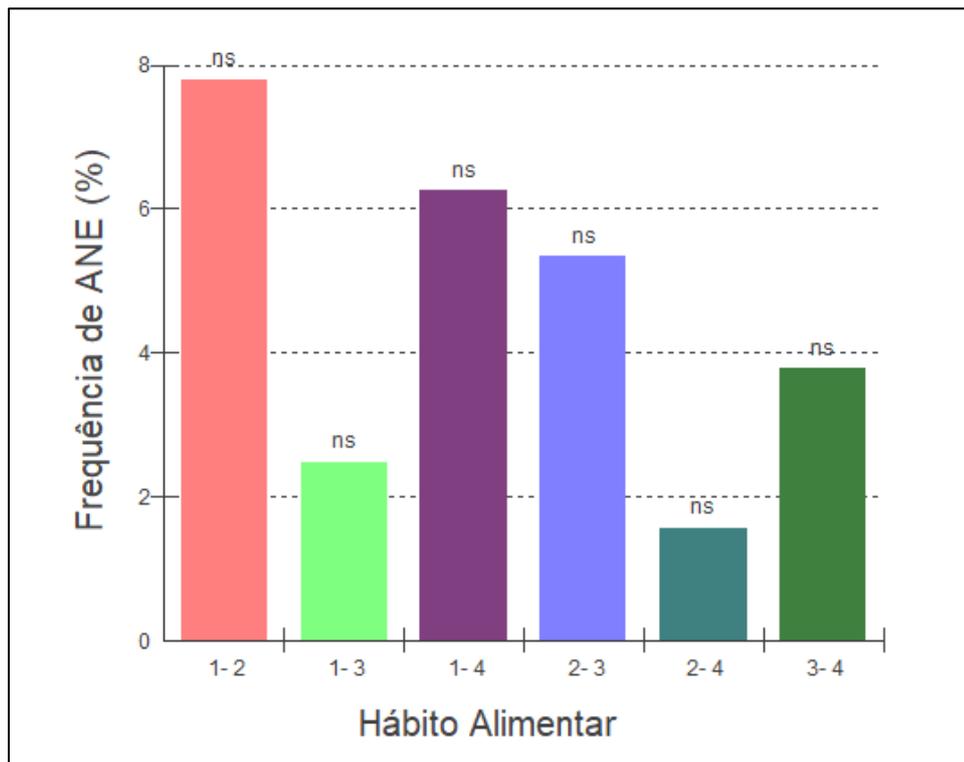
Gráfico 1 – Diferença entre as médias dos postos, considerando a frequência de Micronúcleo (MN), mostrando a variância entre os hábitos alimentares, onde os onívoros são representados pelo grupo 1 (1), detritívoros pelo grupo 2 (2), carnívoros grupo 3 (3) e herbívoros grupo 4 (4), não havendo variância significativa (ns = não significativo) entre eles.



Os dados obtidos no Gráfico 2, relacionados à frequência de ANE, também indicam uma maior média nos grupos onívoros, seguidos por herbívoros e carnívoros, enquanto os detritívoros apresentaram os menores valores. A barra comparando onívoros e detritívoros (1–2) indica a maior frequência (~8%), o que sugere que espécies onívoras podem estar mais expostas a múltiplos contaminantes, uma vez que ingerem tanto material vegetal quanto animal, ampliando as rotas de exposição à genotóxicos. Onívoros e herbívoros (1–4) também mostram alta frequência (~6,5%), reforçando a ideia de que a diversidade trófica da dieta onívora pode aumentar a suscetibilidade a danos genotóxicos, corroborando padrões semelhantes aos do teste de micronúcleo realizado neste estudo. Carnívoros (grupo 3) têm média intermediária (~4%), com baixa variação, onde a comparação 3–4 (carnívoros e herbívoros) também apresenta diferença não significativa, mas ligeiramente menor que 1–4. Detritívoros (grupo 2) mostram valores muito baixos de ANE (~1–2%), mais uma vez contrariando as expectativas clássicas de maior exposição por contato com sedimentos

contaminado e estando relacionado à fisiologia de defesa celular ou às condições específicas do ambiente estudado.

Gráfico 2 – Diferença entre as médias dos postos, considerando a frequência de Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE), mostrando a variância entre os hábitos alimentares, onde os onívoros são representados pelo grupo 1 (1), detritívoros pelo grupo 2 (2), carnívoros grupo 3 (3) e herbívoros grupo 4 (4), não havendo variância significativa (ns = não significativo) entre eles.



Esses resultados podem indicar que espécies com dietas mais generalistas ou em níveis tróficos superiores estão potencialmente mais expostas a agentes genotóxicos, como metais pesados ou compostos orgânicos presentes na cadeia alimentar. A ausência de significância estatística pode estar relacionada ao desequilíbrio no tamanho amostral entre os grupos, sobretudo para carnívoros e detritívoros ( $n=3$ ), reduzindo a capacidade estatística de detectar diferenças reais entre os grupos. Assim, a continuidade de estudos com maior robustez amostral é essencial para esclarecer os padrões observados.

Os hábitos alimentares desempenham um papel essencial na susceptibilidade de organismos aquáticos a contaminantes genotóxicos, influenciando diretamente a frequência de Micronúcleos (MN) e Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) em peixes. No presente

estudo, não foram observadas diferenças significativas entre os quatro grupos alimentares analisados (onívoros, detritívoros, carnívoros e herbívoros), o que reflete padrões distintos de exposição a contaminantes ambientais e suas respectivas respostas genotóxicas, uma vez que seu nível trófico determina como e onde os organismos interagem com as fontes de poluição.

A vulnerabilidade dos herbívoros pode ser atribuída à ingestão direta de vegetação aquática e sedimentos, que frequentemente acumulam pesticidas, compostos químicos de origem agrícola e poluentes industriais. Ramos (2005) destaca que esses contaminantes dissolvidos na água ou adsorvidos em partículas sedimentares são facilmente assimilados por peixes herbívoros, tornando-os potenciais bioindicadores de poluição ambiental.

Quanto aos carnívoros, estudos como o de Silva (2017) demonstrou que peixes desse grupo, como *Hoplias malabaricus* (traíra), acumulam altas concentrações de mercúrio devido à sua posição trófica, o que poderia resultar em danos genotóxicos, estando sujeitos à bioacumulação e biomagnificação de contaminantes ao longo da cadeia alimentar. No entanto, a expressão desses danos pode variar em função de mecanismos fisiológicos de detoxificação, condições ambientais específicas ou até mesmo número amostral reduzido, como ocorreu neste estudo.

Os Onívoros, por sua vez, apresentaram frequências mais altas de MN e ANE em comparação aos indivíduos dos outros grupos. Esse padrão pode ser atribuído à diversificação alimentar, embora estudos específicos sobre onívoros sejam menos comuns que outros tipos de hábitos alimentares. Lima (2021) investigou os impactos de atividades antropogênicas na genotoxicidade de peixes no médio Rio Aquidauana, no Pantanal Sul. Espécies herbívoras e onívoras apresentaram maior frequência de MN em comparação a espécies carnívoras, ressaltando a importância do tipo de dieta na exposição a contaminantes. Lima apontou que a ingestão direta de partículas sedimentares contaminadas por atividades agrícolas e industriais aumenta o risco genotóxico, uma conclusão que atenua a exposição de peixes detritívoros.

Em outro trabalho que avaliou a bioacumulação e biomagnificação de mercúrio em uma comunidade de peixes na Amazônia, Beltran-Pedrerros *et al.* (2007) observaram: iliófagos com 39 ng/g de Hg médio, detritívoros 128 ng/g Hg médio, herbívoros 137 ng/g Hg médio, onívoros 188 ng/g Hg médio, planctófagos 228 ng/g Hg médio, carnívoros 328 ng/g Hg médio e carnívoros piscívoros 450 ng/g Hg médio, indicando uma tendência de aumento na concentração do metal à medida em que se cresce nas cadeias alimentares, o que reforça a influência dos níveis tróficos quando expostos a xenobióticos.

A fauna em ambientes aquáticos se expõe aos contaminantes diretamente através de seu nicho e nível trófico e indiretamente por sua alimentação (ROCHA *et al*, 2023). Com esses resultados, observou-se que herbívoros apresentaram baixa frequência de MN e ANE. Por se alimentarem predominantemente de vegetação aquática e perifíton, têm menor bioacumulação de contaminantes tróficos como metais pesados e hidrocarbonetos. Podem servir como bioindicadores de exposição basal e são ideais para monitoramento de fundo ambiental, pois refletem a qualidade primária da água e da vegetação aquática. Nesse grupo, foram analisados indivíduos de duas espécies de pacu (*Metynnis hypsauchen* e *Myloplus rubripinnis*), que se alimentam basicamente de frutos e sementes e o pico da desova se dá no início da enchente; ocorre comumente em rios de águas claras (SANTOS *et al*, 2009).

Os detritívoros também mostraram frequência reduzida de alterações nucleares, embora teoricamente estejam mais expostos por contato direto com sedimentos. Isso pode indicar baixo nível de contaminação nos sedimentos da região ou que os mecanismos de defesa celular são mais eficazes nessas espécies, podendo atuar como bioindicadores sedimentares, revelando contaminações acumuladas no fundo, como metais e agrotóxicos. Também podem ser úteis em análises de poluição crônica, especialmente em regiões de várzea e igarapés lentos. A branquinha (*Curimata inornata*), espécie detritívora observada, consome matéria orgânica floculada, algas, detritos e microorganismos associados; e sua distribuição está confinada à porção média e baixa da bacia amazônica, ocorrendo normalmente em lagos ou margens dos rios (SANTOS *et al*, 2009).

Já os carnívoros apresentaram médias intermediárias de MN e ANE e, apesar de terem potencial para bioacumular e biomagnificar contaminantes, como o mercúrio, os níveis observados sugerem exposição moderada ou possível resistência fisiológica. São excelentes para monitoramento de biomagnificação, especialmente em estudos voltados à cadeia alimentar e impactos de longo prazo, úteis para avaliar contaminação em níveis superiores. Dentre as espécies carnívoras utilizadas nesse estudo, a piranha-preta (*Serrasalmus rhombeus*) consome peixes, invertebrados, insetos, tem maturidade sexual em indivíduos com cerca de um ano de vida e com comprimento padrão de aproximadamente 15cm; acima de 19cm de comprimento os indivíduos são todos adultos; desova mais de uma vez por ano, com pico no período de enchente; ocorre comumente em rios e lagos, principalmente em águas pretas e claras. Tem sido uma das espécies de peixes mais bem-sucedidas em reservatórios artificiais ou de hidrelétricas na Amazônia, onde é intensivamente pescada, mas pouco aproveitada. A pescada-branca (*Plagioscion squamosissimus*) consome basicamente peixes quando estão em

rios de água preta, e peixes e camarões, quando em águas brancas, ocasionalmente consome também insetos; primeira maturação sexual com 18 a 20cm de comprimento; a reprodução ocorre nos períodos de vazante e seca, e é essa época os machos produzem sons característicos (como se fossem roncos) audíveis fora d'água. A traíra (*Hoplias malabaricus*) se alimenta de peixes e ocasionalmente de camarões e insetos aquáticos; Para captura de alimentos, utiliza a tática de emboscada, e as presas são engolidas inteiras; Vive comumente em águas lânticas, como lagos, margens e remansos de rios e é capaz de suportar ambientes com baixíssimas concentrações de oxigênio; Maturação sexual com um ano e cerca de 15cm de comprimento; O período de desova é longo, abrangendo cerca de cinco meses, mas o pico da desova ocorre geralmente no começo da enchente. A fecundidade é baixa, em torno de 2.500 a 3.000 ovócitos, que apresentam diâmetro em torno de 2mm. Durante a desova, os reprodutores preparam ninhos, fazendo ou limpando depressões do terreno, em águas rasas e os ovos são guardados pelo macho; Tem a capacidade de se mover fora d'água e, graças a isso, normalmente faz migração entre um corpo d'água e outro através da vegetação ou terreno úmido; Apesar de não ser um peixe muito constante nos mercados, aparece com frequência relativamente alta no período de seca, quando a pesca é mais acentuada nos lagos. Em muitos reservatórios é utilizado na pesca esportiva (SANTOS *et al*, 2009).

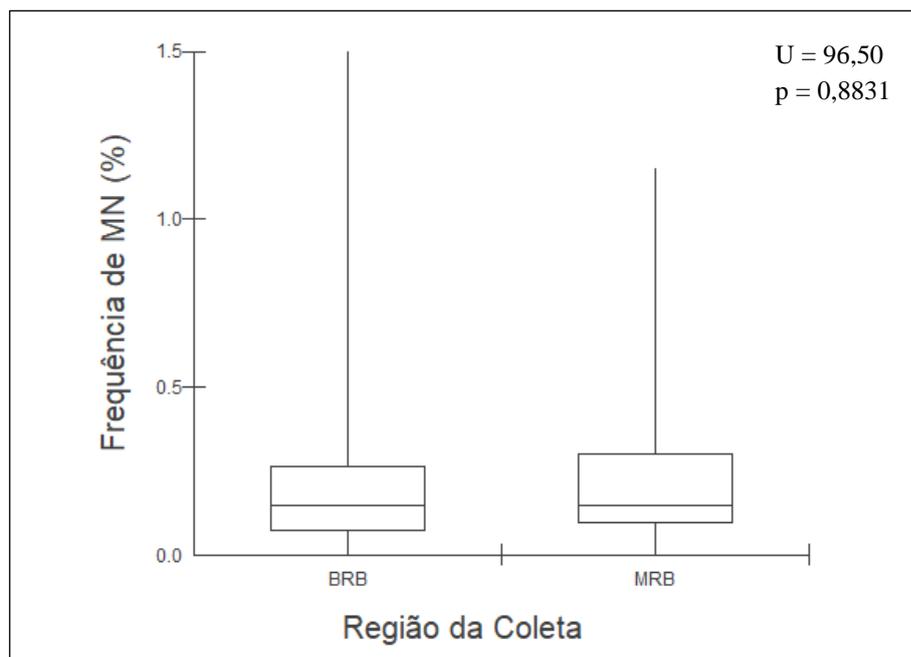
Os onívoros apresentaram as maiores frequências de MN e ANE entre todos os grupos. Por consumirem tanto matéria vegetal quanto animal (incluindo detritos e invertebrados), podem se expor a múltiplas rotas de contaminantes, podendo acumular genotóxicos de diferentes origens. São bioindicadores versáteis e sensíveis a contaminantes difusos, como resíduos urbanos e domésticos, substâncias orgânicas e inorgânicas e metais de diferentes origens. Entre os indivíduos que representam esse grupo estão o barba-chata (*Pirinampus pirinampu*) e cinco espécies de aracu (*Leporinus fasciatus*, *Anostomoides laticeps*, *Leporinus friderici*, *Schizodon fasciatus* e *Laemolyta varia*). Ainda de acordo com Santos *et al* (2009), o barba-chata consome basicamente pequenos peixes e, às vezes, invertebrados; É comum observar indivíduos dessa espécie atacando peixes presos em malhadeiras, em meio a grupos de piracatingas e candirus-açu (Cetopsidae); Se reproduz na fase inicial da enchente; Não há evidências de que realize longas migrações reprodutivas. Os aracus consomem material vegetal, larvas, insetos, algas, frutos, sementes, folhas, detritos; Desovam no início da enchente; Fazem migrações; Podem ocorrer nas margens de rios e lagos de águas claras; A espécie *Leporinus friderici* tem ampla distribuição, podendo ocorrer em

vários tipos de água, inclusive, fora da bacia amazônica, podendo ser encontrada em áreas alteradas, como nos arredores de grandes cidades.

Quanto à comparação das variações nos pontos de coleta, foi aplicado o teste Mann-Whitney, classificando duas regiões: Baixo Rio Branco (Amostra 1,  $n = 8$ ) e Médio Rio Branco (Amostra 2,  $n = 25$ ).

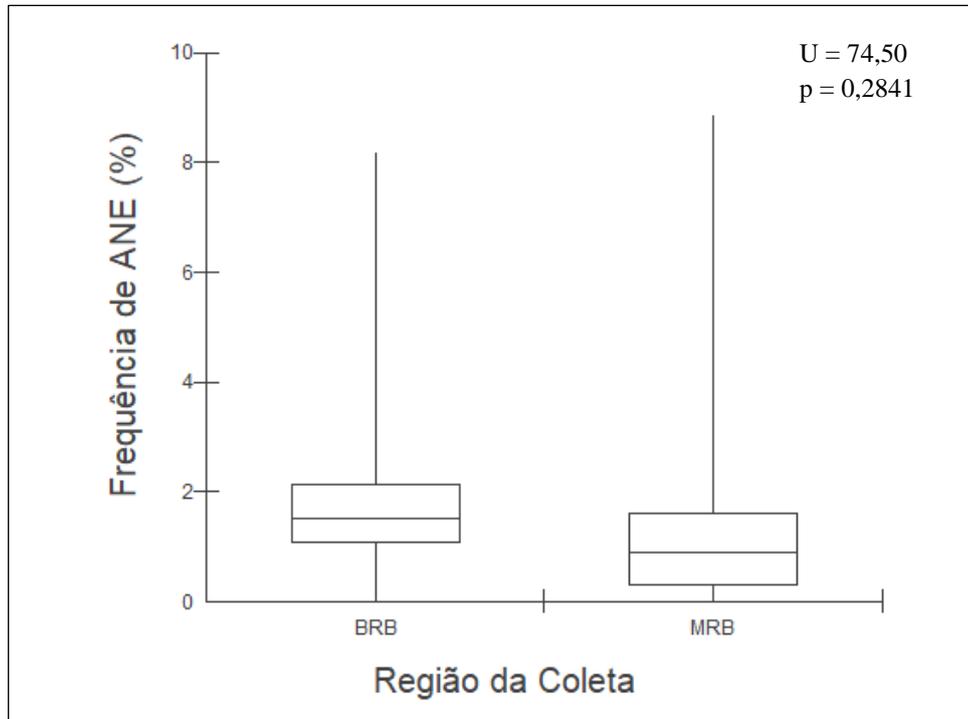
Com relação à frequência de micronúcleo, as medianas observadas foram de 0,15 para as Amostras 1 e 2, não apresentando variação entre elas. Como se pode observar no Gráfico 3, o teste de Mann-Whitney não indicou diferenças estatisticamente significativas entre as frequências de micronúcleos nas amostras do Baixo e Médio Rio Branco ( $U=96,50$ ;  $p=0,8831$ ).

Gráfico 3 – Frequência de Micronúcleo (MN) nas regiões do Baixo Rio Branco (BRB) e Médio Rio Branco (MRB).



Já para a frequência de anormalidades nucleares, as medianas observadas foram de 1.53 (Amostra 1) e 0.90 (Amostra 2). De acordo com o Gráfico 4, o teste estatístico revelou que não há diferenças estatisticamente significativas entre as frequências de Anormalidades Nucleares Eritrocíticas nas amostras do Baixo e Médio Rio Branco ( $U=74,50$ ;  $p=0,2841$ ). Embora a mediana da Amostra 1 (Baixo Rio Branco) esteja ligeiramente maior, essa diferença não foi suficiente para ser considerada estatisticamente relevante. Além do aumento da amostragem é interessante analisar outras variáveis para ver se a não significância se mantém.

Gráfico 4 – Frequência de Anormalidades Nucleares Eritrocíticas (ANE) nas regiões do Baixo Rio Branco (BRB) e Médio Rio Branco (MRB).



A presença de contaminantes xenobióticos em corpos hídricos pode ser afetada pelas propriedades físicas e químicas dos ambientes aquáticos, sendo importante a análise físico-química da água e sedimentos (fatores abióticos), que podem complementar as avaliações ecotoxicológicas (DE JESUS, 2013).

Apesar da não significância entre as variações de alterações nucleares nas duas regiões avaliadas, as diferenças observadas entre o Baixo e Médio Rio Branco podem ser atribuídas, em grande parte, às distintas influências antrópicas que caracterizam essas regiões. A região do Baixo Rio Branco está localizada nas fronteiras meridionais do estado de Roraima com o noroeste do estado do Amazonas, com uma rede hídrica tecida com rios, igarapés, furos e paranás. Abrange 16 comunidades: as que estão localizadas na margem direita do rio, pertencem ao Município de Caracaraí e aquelas situadas na margem esquerda pertencem ao Município de Rorainópolis. Essas comunidades possuem relações comerciais associadas à economia dos municípios onde estão inseridas e também com de outros estados, como o Amazonas, com influência das cidades de Barcelos e Manaus, e até com outros países, por exemplo, por meio da exportação de peixes ornamentais, de forma legalizada ou não (CAVALCANTE *et al.*, 2020; VERAS; RIBEIRO; SANTOS, 2020).

Algumas dessas comunidades estão localizadas em áreas protegidas, sob a normatização da União e do Estado de Roraima, como a Área de Proteção Ambiental Baixo Rio Branco – APABRB (FEMARH, 2006). Mesmo que sejam distantes de núcleos polarizadores do capitalismo periférico, são diretamente afetadas, pois parte de sua produção está no circuito produtivo, bem como habitam lugares de enorme interesse científico e turístico, o que atrai visitantes de diversos países. Por isso as comunidades tradicionais podem ser foco de conflitos em áreas protegidas (PIMENTEL; RIBEIRO, 2016).

Santa Maria do Boiaçu (Ponto 2) é considerada a maior comunidade do Baixo Rio Branco e funciona como um polo centralizador dos serviços básicos de saúde em relação às outras 15 comunidades do Baixo Rio Branco. Dispõe do sistema Salta – Z para distribuição de água tratada nas residências via encanamento, posto médico (que foi transformado em um mini-hospital) e uma Unidade Básica de Saúde, um campo de pouso, um posto policial, energia elétrica abastecida por gerador à base de óleo diesel, telefones públicos, internet, além de uma escola dos ensinos fundamental e médio (VERAS; RIBEIRO; SANTOS, 2020). As atividades econômicas são mais tradicionais, como pesca de subsistência e agricultura de pequena escala (CAVALCANTE *et al.*, 2020).

O médio rio Branco, localizado nas proximidades da sede do município de Caracaráí, apresenta uma intensa atividade econômica devido à presença do porto local, que é próxima ao ponto de coleta na Vila Vista Alegre (Ponto 3). A cidade desempenha um papel estratégico na logística de transporte fluvial em Roraima, sendo responsável pelo transbordo de mercadorias, transporte de combustíveis pelas balsas da Petrobras e Atem, além do escoamento de calcário e outros insumos essenciais para o estado (PMC, 2024).

A infraestrutura portuária e o fluxo constante de embarcações podem gerar pressões ambientais significativas, como a possibilidade de poluição hídrica por derramamento de combustíveis e sedimentos, além da fragmentação de habitats aquáticos, o que pode explicar diferenças nos parâmetros biológicos (taxa metabólica, sistema de defesa, proliferação celular, ciclo de vida e crescimento, genoma e cariótipo) e nos parâmetros ecológicos (nível trófico, hábitos alimentares, uso do habitat, migração e mobilidade, tolerância ecológica) de uma localidade para outra, podendo impactar: na saúde dos organismos aquáticos, evidenciada por danos genotóxicos, como as alterações genéticas e bioacumulação de metais pesados; na biodiversidade aquática, com alterações na composição e abundância de espécies; nos ciclos migratórios; na qualidade da água; além da eutrofização, impacto de áreas de reprodução e

alimentação, fragmentando habitats, e a redução da conectividade ecológica de espécies que dependem de corredores aquáticos.

O estudo de Trolly (2019) avaliou efeitos genotóxicos em *Pimelodus blochii* e *Geophagus proximus*, ocasionados pela exposição in situ aos poluentes aquáticos de áreas portuárias nas cidades de Santarém e Itaituba, no Pará, utilizando testes de micronúcleo (MN) e anormalidades nucleares (ANE) na identificação de perda do material genético e lesões na carioteca, e o ensaio cometa na observação de danos ao DNA, onde o *G. proximus* apresentou a maior frequência de micronucleações e anormalidades nucleares, em especial na região de Santarém, podendo ser considerado o mais sensível a exposição a xenobióticos presentes nas áreas estudadas, o que pode estar relacionado com a movimentação portuária, resíduos de mineradoras e indústrias. A autora enfatiza que as regiões portuárias são locais altamente antropizados devido às alterações físicas necessárias para sua implantação e manutenção, tanto nas margens quanto no leito dos rios, e que o derramamento de diversos xenobióticos, influencia no meio aquático podendo alterar suas características físico-químicas, disponibilidade de alimentos e a ictiofauna local.

As análises realizadas neste estudo reforçam a necessidade de considerar as especificidades das influências antrópicas em diferentes regiões fluviais. Estratégias de conservação devem ser desenvolvidas para reduzir os impactos no Médio rio Branco e garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos no Baixo Rio Branco. Para tanto, é essencial integrar estudos ambientais complementares, como mapear as áreas mais vulneráveis a poluentes e fragmentação, monitorar populações de espécies bioindicadoras, avaliar os impactos genotóxicos e as mudanças nos padrões de biodiversidade, ampliando o entendimento sobre a dinâmica ecológica e os impactos antropogênicos ao longo do rio Branco, que envolvem uma série de interações complexas entre os sistemas naturais e as atividades humanas, como ciclos biogeoquímicos, regulação hidrológica, manutenção da biodiversidade, que são afetados pela poluição hídrica, desmatamento, mudanças climáticas, urbanização, entre outros fatores.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo revelou alterações nucleares em biomarcadores da ictiofauna do Rio Branco, evidenciando possível impacto de poluentes no material genético das espécies analisadas e reforçando que as pressões antrópicas afetam diretamente a saúde dos ecossistemas aquáticos. Também destacou uma complexidade nas respostas biológicas entre espécies, sugerindo que a variabilidade na sensibilidade de bioindicadores pode estar associada a fatores ambientais específicos ou diferenças intrínsecas das espécies analisadas, como seus hábitos alimentares.

Os resultados da pesquisa corroboram a importância de análises genotóxicas para avaliar os impactos ambientais em ecossistemas aquáticos. A aplicação de métodos como o teste de micronúcleo demonstra sua relevância na identificação de danos genéticos em diferentes grupos alimentares, tanto para avaliações de danos em áreas contaminadas quanto para estudos de substâncias potencialmente genotóxicas. Os biomarcadores não apenas permitem avaliar os danos genotóxicos de forma precoce, mas também oferecem uma ferramenta robusta para monitorar a saúde ambiental de ecossistemas aquáticos, especialmente em regiões como a Amazônia, que sofrem pressões crescentes devido à intensificação de atividades antrópicas. Contudo, a comparação entre indivíduos de diferentes espécies não revelou significância estatística entre os hábitos alimentares, nem entre as diferentes localidades. Apesar dos resultados não significativos, as alterações nucleares analisadas ressaltam uma relação entre os hábitos alimentares e a vulnerabilidade dos organismos aos poluentes, especialmente por conta das influências antrópicas de cada região. São necessárias investigações mais abrangentes, consolidando resultados que possam apoiar o desenvolvimento de políticas públicas específicas para essas regiões.

Os dados obtidos neste estudo servem de alerta para os riscos associados ao ecossistema aquático e reforçam a necessidade de medidas de monitoramento ambiental contínuo. Essas ações são essenciais para garantir a segurança alimentar das populações locais e para preservar a biodiversidade aquática. Por fim, destaca-se a importância de ampliar estudos futuros, incorporando novos biomarcadores e abordagens interdisciplinares, com vistas a compreender melhor os processos de degradação ambiental e desenvolver estratégias eficazes de conservação para a bacia do Rio Branco e outros ecossistemas amazônicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTINI, R. J.; ANDERSON, D.; DOUMENIS, C.; MARTUS, H. J. Genotoxicity biomarkers in ecotoxicology: applications and validation for risk assessment. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, v. 35, n. 2, p. 126-133, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2280\(2000\)35:2<126::AID-EM8>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2280(2000)35:2<126::AID-EM8>3.0.CO;2-7)>. Acesso: 09/10/2024.

ANJOS, M. B. **Fontes autotróficas de energia para a ictiofauna de riachos de floresta de terra firme pertencentes à bacia de drenagem do Rio Preto da Eva, Amazonas, Brasil.** Tese de Doutorado, PPG BADPI/INPA, Manaus, 2014. p. 76.

ARIAS, A.R. L, BUSS, D. F.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BATISTA, D. F. **Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos.** Ciência e Saúde. 12. 61-72.2007

AYRES, M.; AYRES, M. J.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. **Bioestat 5.0 Aplicações Estatísticas nas Areas das Ciências Biológicas e Médicas.** Belém: Sociedade Civil Mamiraná, 2007.

AZEVEDO F.A. **Toxicologia do mercúrio.** São Paulo: Rima Editora, 2003.

BARBOSA, R. I. **Distribuição das chuvas em Roraima.** In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. F. G., CASTELLÓN, E. G. (Ed.). Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Manaus: INPA, cap. 15, 1997, p.325-335.

BARBOSA, R. I. Avaliação Preliminar da Área dos Sistemas Naturais e Agroecossistemas atingida por incêndios em Roraima. **Intituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, 1998. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/BCD00104.pdf>. Acesso: 09/10/2024.

BARTHEM, R.; GOULDING, M. **Os bagres-balizadores: ecologia, migração e conservação dos grandes bagres amazônicos.** Manaus: EDUSP, 2007.

BASTOS, R. G.; PINTO S. S.; COUTINHO MELLO, A. F.; SOUZA, R. F. C. **A pesca com rede de emalhe à deriva “descaideira” no médio e baixo Rio Branco, Roraima, Brasil,** Boletim Técnico e Científico/Cepnor, v. 19, n. 1, 2019, p.3742.

BAYLEY, P. B.; PETRERE, M. **The Amazon fisheries: Assessment of fishery potential.** Environmental Biology of Fishes, v. 26, n. 2, p. 121-138, 1989.

BERTO, M. F. C. A. **Caracterização morfológica e histopatológica de microparasitos em *Metynnis hypsauchen*, *Metynnis lippincotianus* e *Serrasalmus rhombeus* (Characiformes: Serrasalminidae), oriundos dos municípios de Belém e Vigia, Estado do Pará.** 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018. Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/11812/3/2018%20%20Maria%20de%20F%20C%20A%20tima%20Cancella%20de%20Almeida%20Berto%20%281%29.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024

BELTRAN-PEDREROS, S.; LEITE, R. G.; PELEJA, J. R. P.; MENDONÇA, A. B. **Biomagnificação e Bioacumulação de Mercúrio na comunidade de peixes de um lago de várzea da Amazônia Central.** Anais da 59ª Reunião Anual da SBPC. 2007.

BLOCH, M. *Naturgeschichte der Fische*, v. 1, p. 72-73, 1794.

BLOCH, M. E.; SCHNEIDER, J. G. *Systema Ichthyologiae, iconibus expedito et descriptionibus.* Vol. 1. Leipzig: Schreiber, 1801.

BOMBASSARO, J.U. **Análise genotóxica do complexo fosfatase ácida púrpura símile Fe Cu OHH2BPBPMP em leucócitos totais e sangue total humano.** Trabalho de conclusão de curso - Curso de Medicina da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, 2007, p. 51.

BRAHAM, R.P.; BLAZER, V.S.; SHAW, C.H.; MAZIK, P.M. **Micronuclei and other erythrocyte nuclear abnormalities in fishes from the Great Lakes Basin, USA.** *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 58, 2017, p. 570-581.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 722, de 1º de julho de 2022.** Estabelece limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-722-de-1-de-julho-de-2022-410087257>. Acesso em: 26/03/2023

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Ação Nacional para Conservação das Espécies Ameaçadas: Peixes Amazônicos.** Brasília: ICMBIO, 2021.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo do Parque Nacional do Viruá.** Brasília, 626 p., 2014.

BRAZ-MOTA, S., VAL, A.L., DUARTE, R.M. **Impactos toxicológicos de pesticidas e metais pesados em peixes da Amazônia:** tendências e perspectivas futuras. In: de Souza, SS, Braz-Mota, S., Val, AL (eds) *O futuro da biota aquática amazônica.* Springer, Cham. 2024. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-66822-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-66822-7_10). Acesso: 22/12/2024

BRÍGLIA-FERREIRA, S. R.; PEREIRA, S. L. A.; PEQUENO, P. A. C. L.; BARBOSA, R. I. A pesca artesanal na bacia do Rio Branco: dos antecedentes históricos ao abandono das estatísticas pesqueiras em Roraima. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento** – ISSN:1981-4127 Vol. 14 nº 3. Set/Dez 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v14i3.1027>. Acesso: 05/12/2022.

BOMBAIL, C.; MORRISON, D.; JENKINS, R.; ALLAN, A. Development of a DNA microarray for Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its application in the assessment of gene expression changes in fish exposed to estrogenic chemicals. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [S.l.], v. 20, n. 7, p. 1346–1353, 2001. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11434290/>. Acesso em: 23/03/2023.

BUCKER, A.; CARVALHO, W.; ALVES-GOMES, J.A. Avaliação da mutagênese e genotoxicidade em *Eigenmannia virescens* expostos ao benzeno. *Zoologia. Acta Amazônica.*

36 (3). 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300011>. Acesso em: 17 dez. 2024

CAMPOS, C. DE S. Diversidade Socioambiental de Roraima: subsídios para debater o futuro sustentável da região. São Paulo: **Instituto Socioambiental**, 2011. P. 64.

CARRASCO, K. R.; TILBURY, K. L.; MYERS, M. S. **Assesment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., v. 47, p. 2123-2136, 1990.

CARVALHO, M. B.; RAMIREZ, A.; GATTÁS G. J. F.; GUEDES, A. L.; AMAR, A.; RAPOPORT, A.; BARAUNA NETO, J. C.; CURIONI, O. A. **Correlação entre a Evolução Clínica e a Frequência de Micronúcleos em Células de Pacientes Portadores de Carcinomas Orais e Orofaringes**. Rev Assoc Med Bras, 2002: 317-322.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil - suggestions for future studies. **German: E&G Quaternary Science Journal (EGQSJ)**, v. 61, p. 146-155, 2012. Disponível em: <https://egqsj.copernicus.org/articles/61/146/2012/>. Acesso: 04/11/2022.

CARVALHO, T. M. **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Síntese dos aspectos hidrogeomorfológicos do Estado de Roraima, Brasil. Belém: Eds. Gorayeb,P.; Lima, A. SBG-Núcleo Norte, v. 9, p. 435-450, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/353715418\\_Sintese\\_dos\\_aspectos\\_hidrogeomorfologicos\\_do\\_Estado\\_de\\_Roraima\\_Brasil\\_Synthesis\\_of\\_hydrogeomorphological\\_aspects\\_of\\_Roraima\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/353715418_Sintese_dos_aspectos_hidrogeomorfologicos_do_Estado_de_Roraima_Brasil_Synthesis_of_hydrogeomorphological_aspects_of_Roraima_Brasil). Acesso: 04/11/2022.

CASTELLO, L. **Ecology and conservation of the fish species in the Amazon basin**. Revista Brasileira de Zoologia, v. 25, n. 1, p. 101-115, 2008.

CAVALCANTE, M. M. A.; VERAS, A. T. de R.; SEABRA, G. DE F.; SILVA, J. DA C.; SILVA, M. DAS G. N.; RIBEIRO, W. C. Amazônia: explorando o baixo Rio Branco – Roraima/Amazonas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 40, p. 203–217, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.170817. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/170817>.. Acesso em: 15/12/2024

CREMON, E. H. The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River. **Geomorphology**, v. 271, p. 22-39, 2016. Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.030>. Acesso em: 22/05/2025

CREMON, E.H.; ROSSETTI, D. **Evolução do megaleque Demini (norte da Amazônia) no quaternário tardio com base na extração de corpos d'água**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba: INPE, 2011.

COLLINS, A.R. **Measuring oxidative damage to DNA and its repair with the comet assay**. *Biochim. Biophys. Acta*, 1840(2), 2014, p.794-800.

COPE, E. D. **The Fishes of the Rio de la Plata**. 1872

CORREIA, L. L.; SILVA, J. R. S.; LIMA, G. C. **Avaliação da genotoxicidade de *Cichla melaniae* no Rio Xingu em ambientes impactados pela Usina Hidrelétrica de Belo Monte**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Pará. Disponível em: <https://www.bdm.ufpa.br/handle/prefix/3885>. Acesso em: 23/03/2023.

COSTA-ALVES, T. J. **Parque Estadual Catrimani Diagnóstico Socioeconômico da área proposta (Relatório)**. Instituto de Amparo à Pesquisa e Inovação (IACTI), Boa Vista, Roraima, 2020. P. 127.

COUCEIRO, S.R.M.; HAMADA, N.; LUZ, S.L.B.; FORSBERG, B.R.; PIMENTEL, T.P. **Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil**. *Hydrobiologia*, 575, 2007, p. 271-284.

CUVIER, G. **Le Règne Animal, distribué d'après son organisation**. 1818.

DA SILVA, F. A. Genotoxicidade e Citogenômica comparativa em peixes de igarapés poluídos de Manaus, Amazonas. **Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia - INPA**. Manaus, 2019. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/37479>. Acesso: 05/12/2022.

DAGOSTA, F. C. P. História biogeográfica dos peixes da bacia amazônica: uma abordagem metodológica comparativa. **Universidade de São Paulo**, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/38/38131/tde-06042017-182514/publico/DagostaFernando.pdf>. Acesso: 25/11/2022.

DE JESUS, I. S. **Determinação de metais e genotoxicidade em peixes do médio e baixo rio de Contas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Jequié - BA. 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www2.uesb.br/ppg/ppggbc2/wp-content/uploads/2017/12/Isac-Silva-de-Jesus-watermark.pdf>. Acesso em: 15/12/2024

DE LIMA, L. B. D. **Avaliação do risco ecológico por xenobióticos associado às atividades agrícolas**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/260>. Acesso em: 26/05/2024

DE OLIVEIRA, C. A. C. R.; SOUTO, P. S. DOS S.; PALHETA, D. DA C.; BAHIA M. DE O.; CUNHA, L. DA A.; SANTOS, M. DE L. S.; RODRIGUES, T. DO M. N.; BENTES, B. Genotoxicity assessment in two Amazonian estuaries using the *Plagioscion squamosissimus* as a biomonitor. **Environmental Science and Pollution Research** (2022) 29:41344–41356. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18767-1> Acesso: 26/02/2026.

DE VASCONCELLOS, A. C. S.; DE SOUSA, C. C.; DE OLIVEIRA, M. W.; BRÍGLIA-FERREIRA, S. R.; BASTA, P. C. **Health Risk Assessment Attributed to Consumption of Fish Contaminated with Mercury in the Rio Branco Basin, Roraima, Amazon, Brazil**. *Toxics*, v. 10, n. 9, p. 1–18, 2022.

EIGENMANN, C.H. **Os peixes de água doce da Guiana Britânica, incluindo um estudo do agrupamento ecológico de espécies e a relação da fauna do planalto com a das terras baixas.** *Memoirs of the Carnegie Museum* v. 5 (nº 1): i-xxii + 1-578, Pls. 1-103. 1912

EIGENMANN, C. H.; KENNEDY, C. H. *Metynnis lippincotianus*. **Proceedings of the United States National Museum**, v. 26, p. 500, 1903.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Forum. Revista Acta Amazônia**. 36 (3). 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>. Acesso: 22/12/2024

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: impactos, riscos e políticas públicas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 92, p. 51–73, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3fTqxQgF7Z6d8BcptKjcJZw/>. Acesso em: 22/12/2024.

FENECH, M. Cytokinesis-block micronucleus cytome assay. **Nature Protocols**, v. 2, n. 5, p. 1085-1104, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17546000/>. Acesso: 09/10/2024.

FENT, K. Ecotoxicological effects at contaminated sites. **Toxicology**, v. 205, n. 3, p. 223–240, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300483X04003841>. Acesso em: 22/12/2024.

FERNANDES, S.; LEITÃO, R.; DARY, E. P.; GUERREIRO, A. I. C.; ZUANON, J.; BUHRNHEIN, C. M. **Diet of two syntopic species of Crenuchidae (Ostariophysi: Characiformes) in na Amazonian rocky stream.** *Biota Neotropica*, 2017. n.17. v.1. p. 1-6. [htt://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-n-2016-0281](http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-n-2016-0281).

FERREIRA, M. R. S. **Perfil genotóxico e bioacumulação de metais em *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) de tributários dos rios Negro e Solimões.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2013. Disponível em: [https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/37560/1/tese\\_inpa.pdf](https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/37560/1/tese_inpa.pdf). Acesso em: 17 dez. 2024

FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J.; FORSBERG, B. R.; GOULDING, M.; FERREIRA, S. R. B. **Rio Branco - Peixes, Ecologia e Conservação de Roraima**. 1. ed. Lima: Wust Ediciones, 2007. v. 1. 201p.

FREITAS, C. E. C.; SANTOS, G. M.; VIEIRA, T. B. Dinâmica da comunidade de peixes em lagos de várzea da Amazônia Central submetidos a diferentes intensidades de pesca. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 121–128, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/jBhQrr7Pv79phYqSFG34pqh/?lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2025.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Femarh). **Procedimentos de criação da Área de Proteção Ambiental do Baixo Rio Branco – APA/BRB**. Boa Vista, 2006.

FURNUS, G.N.A.; CAFFETTI, J.D.; GARCÍA, E.M.; BENÍTEZ, M. F.; PASTORI, M. C.; FENOCCHIO, A.S. **Baseline micronuclei and nuclear abnormalities frequencies in native**

**fishes from the Paraná River (Argentina).** Braz. J. Biol., 2014, vol. 74, no. 1, p. 217-221. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.13712>

GALINDO, B. A. **Aplicação de biomarcadores genéticos para a avaliação de efeitos genotóxicos do alumínio em peixes *Prochilodus lineatus*.** Dissertação de Mestrado em Genética e Biologia Molecular. Universidade Estadual de Londrina. 2007. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL\\_d2416dfe030684647a0dfb8dba6f7d2b](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_d2416dfe030684647a0dfb8dba6f7d2b). Acesso em: 11 jan. 2025.

GOULART, M.; CALLISTO, M. **Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental.** Revista da FAPAM, ano 2, no 1, 2003.

GOULDING, M. **The fishes and the forest: explorations in Amazonian natural history.** Berkeley: University of California Press, 1980.

GOULDING, M.; CARVALHO, M.; FERREIRA, E. J. G. **Rio Negro, rich life in poor water: Amazonian diversity and foodplain ecology as seen through fish communities.** London: SPB academic publishing, 1988. 200 p.

GROFF, A. A. **Tambaqui e pirarucu como bioindicadores de genotoxicidade por radiação ultravioleta.** 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15487/000678232.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024

HAYASHI, M. The micronucleus test—most widely used in vivo genotoxicity test. **Genes and Environment**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 1–9, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/303468346\\_The\\_micronucleus\\_testmost\\_widely\\_used\\_in\\_vivo\\_genotoxicity\\_test-](https://www.researchgate.net/publication/303468346_The_micronucleus_testmost_widely_used_in_vivo_genotoxicity_test-). Acesso em: 23/04/2023.

HECKEL, J. J.. **Proceedings of the Zoological Society of London**, v. 8, p. 33, 1840.

HICKMAN, C. P.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A.; P'ANSON, H.; EISENHOUR, D. J. **Princípios integrados de zoologia.** 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 910 p.

HOOFTMAN, R. N.; de RAAT, W. K. **Induction of nuclear anomalies (micronuclei) in the peripheral blood erythrocytes of the eastern mudminnow *Umbra pygmea* by ethyl methanesulphonate.** Mutation Research, v. 104, p.147–152, 1982.

HUSSAIN, B.; SULTANA, T.; SULTANA, S.; MASOUD, M. S.; AHMED, Z.; MAHBOOB, S. **Fish eco-genotoxicology: Comet and micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ biomarker of freshwater pollution.** Saudi Journal of Biological Sciences, 25, 2018, p. 393–398.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados.** Roraima. Caracarái. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rr/caracarai.html>. Acesso em: 15/12/2024

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA). **Relatório sobre os impactos de hidrelétricas no Rio Branco.** 2013. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>. Acesso: 09/10/2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento do desmatamento da floresta amazônica brasileira por satélite: sistema PRODES – 2021.** São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 15/12/2024.

JUNK, W. J, BAYLEY, P. B, SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in river-floodplain systems.** Canadian Journal of Fishers and Aquatic, 106. 1989. 110-127.

JUNK, W. J.; SOARES, M. G. M. **The fish fauna of the Brazilian Amazon: Ecology and distribution of fish species.** Revista Brasileira de Biologia, v. 62, n. 3, p. 525-536, 2002

JUNK, W. J; PIEDADE, M. T. F; SCHÖNGART, J; COHN-HAFT, M; ADENEY, J. M; WITTMANN, F. **A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands.** Wetlands, v.31. 2011. p.623-640.

KIRSCHBAUM, A. A.; SERIANI, R.; RANZANI-PAIVA, M. J. T.; ABESSA, D.M.S.; PEREIRA, C.D.S. **Cytogenotoxicity biomarkers in fat snook *Centropomus parallelus* from Cananéia and São Vicente estuaries, SP, Brazil.** Gen. Mol. Biol. 32 (1), 2009, p. 151-154.

KLINGELFUS, M. C. **Organismos bioindicadores como ferramentas de avaliação ecotoxicológica em ambientes contaminados.** 2013. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KOLAREVIĆ, S. et al. 2016. **Assessment of the genotoxic potential along the Danube River by application of the comet assay on haemocytes of freshwater mussels: The Joint Danube Survey 3.** Science of the Total Environment, 540, 2016 a, p. 377–385.

KOLAREVIĆ S.; ABORGIBA M.; KRAČUN-KOLAREVIĆ M.; KOSTIĆ J.; SIMONOVIĆ P.; SIMIĆ V. Evaluation of genotoxic pressure along the Sava River. **PLOS ONE**, 11(9), 2017, p. 1-23. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162450>. Acesso: 25/11/2022.

KROON, F.; STRETEN, C.; HARRIES, S. **A protocol for identifying suitable biomarkers to assess fish health: A systematic review.** PLoS One, 12(4): e0174762, 2017.

KULLANDER, S. O.; FERREIRA, E. J. G. **The piranhas: a study of Serrasalminidae fish in the Amazon.** Journal of Fish Biology, v. 70, n. 4, p. 1471-1489, 2007.

LAPUENTE, J.; LOURENÇO, J.; MENDO, S.A.; BORRÀS, M; MARTINS, M.G.; COSTA, P.M.; PACHECO, M. **The Comet Assay and its applications in the field of ecotoxicology: a mature tool that continues to expand its perspectives.** Front. Genet., 6, 2015, p. 180.

LATIF, F., AZIZ, S., IQBAL, R., IRAM, S., NAZIR, M., SHAKEEL, M. Impacto da aplicação de pesticidas em ambientes aquáticos e biodiversidade. *In: Rather, M.A., Amin, A., Hajam, Y.A., Jamwal, A., Ahmad, I. (eds) Xenobióticos em animais aquáticos.* Springer, Cingapura. 2023. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-99-1214-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1214-8_5). Acesso: 22/12/2024

LEAL, W. M. M.; FREITAS, C. E. de C.; SIQUEIRA-SOUZA, F. K.. Diversidade de peixes em lagos manejados em área de várzea Amazônica brasileira. **Scientia Amazonia**, v. 7, n.1, 1-10, 2018. Revista On-line. Disponível em: <http://www.scientia-amazonia.org>, ISSN:2238.1910. Acesso: 25/11/2022.

LEE, R.F.; STEINERT, S. **Use of the single Cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals.** Mutation Research/Review in Mutation Research, 544(1), 2003, p. 43-64.

LIMA, N. A. de. **Reflexos das atividades antropogênicas: genotoxicidade em peixes no médio Rio Aquidauana, Pantanal Sul.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/4798/1/NathalyaAlicedeLima.pdf>. Acesso em: 15/12/2024

LIMA, I. B.; SILVA, E. I. **Pesca esportiva como uma atividade de potencial turístico no município de Caracarái, no Baixo Rio Branco, Roraima, Amazônia Setentrional.** In: LIMA, I. B. de (Org.). *Abordagens Turísticas na Amazônia: Compêndio Monográfico sobre o Turismo em Roraima*, Boa Vista: Universidade Estadual de Roraima/MultiAmazon, p. 3540, 2014.

LINNAEUS, C. VON. **Systema Naturae per Regna Tria Naturae.** 10. ed. tom. 1, 1758.

LINNAEUS, C. **Systema naturae sive regna tria naturae, classes secundum, ordines, gêneros, espécies, cum characteribus, Differentiis, sinônimos, locis.** Laurentii Salvii, Holmiae. 12<sup>a</sup> edição. v. 1 (pt 1): 1-532, 1766.

LIU, W.Y.; YU, Z.B.; QIU, H.Y.; WANG, J.B.; CHEN, X.Y.; CHEN, K. **Association between ambient air pollutants and preterm birth in Ningbo, China: a time-series study.** BMC Pediatrics, 18, 2018, p. 305.

LOPES, P. L.; SOUZA, J. **Valor e categorias de uso dos apetrechos de pesca e das etnoespécies de peixes da comunidade de pescadores artesanais de Sacá, Caracarái-RR, Brasil.** Revista Brasileira de Agroecologia, 2015. Vol. 10 (2), p. 92-101.

LOPES, P. L.; SANTOS G. M. **Fish Commercialization in the Fairs of Boa Vista, Roraima, Brazil.** American Journal of Business and Society Vol. 5, No. 2, p. 3641, 2017.

MAISTRO, E. L. The in vivo rodent Micronucleus test. In: SIERRA, L.M., GAIVÃO, I. **Genotoxicity and DNA Repair: A Practical Approach.** New York: Humana Press Springer, 2014. p.199 – 218

MARTINS, R.T.; STEPHAN, N.N.C.; ALVES, R.G. **Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) as an indicator of water quality in an urban stream in southeast Brazil.** Acta Limnologica Brasiliensia, 20, 2008, p. 221-226.

MENDONÇA, F.P.; MAGNUSSON, W.E.; ZUANON, J. **Relationships between habitat Characteristics and Fish Assemblages in Small Streams of Central Amazônia.** Copeia, 4(4), 2005. P. 750-763.

MENESES, E.; COSTA, M.; COSTA, J. **Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima:** fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, v.37, n.3, p.478-489. 2007.

MOQUET, J. S, GUYOT, J. L., CRAVE, A. **Amazon River dissolved load:** temporal dynamics and annual budget from the Andes to the ocean, *Environ Sci Pollut Res*, 23, 2016, p. 11405.

MORAIS, E. DA S.. **O Rio Branco:** representações de ribeirinhos e balneabilidade na Vila Vista Alegre no Sul de Roraima. 2022. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufr.br:8080/jspui/handle/prefix/838>. Acesso: 09/10/2024.

MÜLLER, J.; TROSCHER, F. H. **Sinopse generum et specierum familiae Characinorum.** (Prodromus descriptionis novorum generum et specierum). *Archiv für Naturgeschichte* v. 10 (pt 1): 81-99 + mesa desdobrável (ao lado p. 99). 1844

NAKA, L. N.; LARANJEIRAS, T. O.; LIMA, G. R.; PLASKIEVICZ, A. C.; MARIZ, D.; COSTA, B. M. da; MENEZES, H. S. G. DE; TORRES, M. DE F.; COHNHAFT, M. **The Avifauna of the Rio Branco, an Amazonian evolutionary and ecological Hotspot in peril.** Cambridge: Bird Conservation International, , [s/n], p. 119, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0959270919000133>. Acesso: 15/11/2022.

NASCIMENTO, F. L.; VILELA, P. F.; CARDOSO, M. D.; FALCÃO, M. T. Paisagens da Margem Direita do Rio Branco no Perímetro Urbano de Boa Vista, RR: espaços não formais para o ensino de Geografia. **Revista Educação Geográfica em Foco**, v. 10, n. 1, p. 35-50, 2021. Disponível em: <https://periodicos.puc-rio.br/index.php/revistaeducacaogeograficaemfoco/article/download/1215/849>. Acesso: 09/10/2024.

NUVOLARI, A.; MARTINELLI, A.; TELLES, D.D.; RIBEIRO, J.T.; MIYASHITA, N.J.; RODRIGUES, R.B.; DE ARAÚJO, R. Esgoto Sanitário - Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola. In: Nuvolari, A. **Esgoto Sanitário**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

OBIAKOR M. O.; OKONKWO J.C.; NNABUDE P.C.; EZEONYEJIAKU C.D. Eco-genotoxicology: Micronucleus Assay in Fish Erythrocytes as In situ Aquatic Pollution Biomarker: **a Review**. *J Anim Sci Adv*, 2(1), 2012, p. 123-133.

OLIVEIRA, V., MARTINS, R., ALVES, R. **Evaluation of water quality of an urban stream in Southeastern Brazil using Chironomidae larvae (Insecta: Diptera).** *Neotrop. Entomol.* 39, 2010, p. 873-878.

OLIVEIRA, D. G.; PAULA, D. A.; MURGAS, L. D. S. Genotoxicidade em Danio rerio expostos a concentrações crescentes da fração solúvel do biodiesel. **Pubvet**, v. 14, n. 4, p. 1-6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a549.1-6>. Acesso em: 17 dez. 2024

OMAR, W.A.; MIKHAIL, W.Z.A.; ABDO, H.M.; ABOU EL DEFAN, T.A.; PORRAS, M.M. **Avaliação do Risco Ecológico da Poluição Metálicos ao longo do Grande Setor do**

**Cairo no Rio Nilo, no Egito, Usando Tilapia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, como Bioindicador.** J Toxicol., 2015. P. 167-319.

PANTALEÃO, S.M. Impacto genotóxico de poluentes químicos presentes na água e sedimento do Rio Japarutuba (Sergipe). **In: Pascalicchio, A.E.** 2002. Contaminação por metais pesados. Ed. Annablume, São Paulo/SP, 2008, p. 132.

PASSOS, L. H. S. A logística de transportes na Amazônia Ocidental: desafios, limitações e importância para o desenvolvimento do Estado de Roraima. **Revista de Administração de Roraima-RARR, 2013.** Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4962283.pdf>. Acesso: 09/10/2024.

PEREIRA, L. C. **Análise da genotoxicidade eritrocitária e histopatologia branquial em lambaris (*Astyanax lacustris*) expostos ao inseticida lambda-cialotrina.** 51f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.

PIMENTEL, M. A. S.; RIBEIRO, W. C. Populações tradicionais e conflitos em áreas protegidas. **GEOUSP: espaço e tempo**, v. 20, p. 224-237, 2016. Disponível em <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/122692/122598>. DOI : 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.122692

PORTO, J.I.R.; ARAÚJO, C.S.O.; FELDBERG, E. **Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species.** Environmental Research, 97, 2005, p. 287-292.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARACARAÍ - PMC. **Conheça a Cidade-Porto.** Disponível em: <https://www.caracarai.rr.gov.br/sobre/caracarai-conheca-a-cidade-porto>. Acesso em: 15/12/2024.

RAMOS, A. S. Contaminação por mercúrio e avaliação genotóxica em peixes da Baía da Ribeira. Rio de Janeiro: **CETEM**, 2005. Disponível em: <https://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/739/1/Alline%20dos%20Santos%20Ramos.pdf>. Acesso em: 15/12/2024.

REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS JR., C. J. (Orgs.). **Checklist of the freshwater fishes of South and Central America.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2016. 729 p.

RIBEIRO, L. R.; SALVADORI, D. M. F.; MARQUES, E. K. Teste do cometa para detecção do dano no DNA e reparo em células individualizadas. **In: Mutagênese Ambiental.** Canoas: Ed. ULBRA, 2003.

ROCHA, F. R.; SILVA, M. R. L.; COSTA, L. S. Avaliação de genotoxicidade em peixes como biomarcadores: revisão de metodologias e implicações ambientais. **Revista Brasileira de Ecotoxicologia**, v. 13, n. 1, p. 45-56, 2018. Disponível em: <https://revistaecotox.ufscar.br/index.php/ecotox/article/view/233>. Acesso: 09/10/2024.

ROCHA, C. A. M; MONTEIRO, J. A. N.; CUNHA, L.A.; REIS, H. S.; COSTA SÁ, P. R. Animais Aquáticos como bioindicadores de mercúrio na Amazônia. **Amazônia: tópicos atuais em ambiente, saúde e educação** - ISBN 978-65-5360-289-2 - Vol. 2 - Ano 2023 -

Editora Científica Digital. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220509027.pdf. Acesso: 21 de janeiro de 2025. Acesso em: 15/12/2024

RODRIGUES, C. A. C. **Avaliação da genotoxicidade ambiental utilizando *plagioscion squamosissimus* como bioindicador em dois trechos de rios da Amazônia, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia. 2021. Disponível em: [https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=11287478](https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11287478). Acesso em: 17 dez. 2024

RYLANDS, A. B.; PINTO, L. P. de S. **Conservação da biodiversidade na Amazônia brasileira: uma análise do sistema de unidades de conservação.** In: ALMEIDA, O. T. (Org.). Diversidade biológica e conservação na Amazônia. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998. p. 1–27.

SANTOS, G. M. **Peixes comerciais de Manaus/** Geraldo Mendes dos Santos, Efreim J. G. Ferreira, Jansen A. S. Zuanon. 2a ed. revisada – Manaus: INPA, 2009. p. 144. ISBN 978-85-211-0049-2. 1. Peixes. 2. Ictiofauna. 3. Fauna aquática. 4. Recursos pesqueiros. I. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. II. Título.

SANTOS, G. M.; FERREIRA, E. J. G. **Peixes das águas interiores do Brasil: macrohabitats, distribuição e biologia.** Brasília: IBAMA, 1999. 429 p.

SANTOS, U. DE M.; BRINGEL, S. R. B.; RIBEIRO, M. DE N. G.; DA SILVA, M. DE N. P. Rios da bacia amazônica II. **Os afluentes do rio Branco.** Acta Amazônica, 1985. V. 15 (12): p. 147-156.

SANTOS, J. O. S.; NELSON, B. W.. Os campos de dunas do Pantanal Setentrional. In: Congresso Latino Americano. **Temário 4.** Caracas, Venezuela, 9 p. 1995.

SCHAFER, A. **Distribuição e diversidade de peixes em rios amazônicos.** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 1998.

SCHAEFER, C. E. G. R.; CAMPOS, P. V.; CANDIDO, H. G.; CORRÊA, G. R.; FARIA, R. M.; VALE JR, J. F. do. **Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil.** Neotropical Biology and Conservation 15 (1), 2020, p. 4369.

SCHMID, W. The micronucleus test for cytogenetics analysis. In: **Hollaender, A. (Eds).** Principles and Methods for Their Detection. vol. 4. Plenum Press, New York, 1975, p. 31-53.

SILVA, C. DA. **Dieta da comunidade de peixes na área de influência da UHE de Balbina, rio Uatumã, Amazonas, Brasil.** 1993. 102 f. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1993. Disponível em: [https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/11337/1/Dissertacao\\_Cylene\\_Silva %20%281%29.pdf](https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/11337/1/Dissertacao_Cylene_Silva%20%281%29.pdf). Acesso em: 17 dez. 2024.

SILVA, C. D. L. E. **Análise de Genotoxicidade e níveis de mercúrio em *Hoplias malabaricus* (pisces – characiformes) de duas áreas da bacia do Rio Tapajós.**

Universidade Federal do Oeste do Pará, 12 de Abril de 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/558>. Acesso: 09/12/2022.

SILVA, J. **Genética Toxicológica**. Porto Alegre: Alcance, 2003.

SILVA, R. R. P. DA. **Avaliação da toxicidade aguda e genotoxicidade de extrato de floração de *Microcystis* spp. para peixes de água doce**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 2009. Disponível em: [https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/3736/1/2009\\_ricardo\\_silva\\_dissertacao.pdf](https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/3736/1/2009_ricardo_silva_dissertacao.pdf). Acesso em: 17 dez. 2024

SINGH, N. P. **A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells**. *Experimental Cell Research*, 175(1), 1988, p. 184-191.

SOARES, E. C. DA S.; DA SILVA, F. A. Investigação de Alterações Genotóxicas em *Hoplosternum littorale*, Frente a Contaminação Ambiental, com o Uso do Teste do Micronúcleo. **Journal of Education Science and Health**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 1–9, 2023. DOI: 10.52832/jesh.v3i3.220. Disponível em: <https://bio10publicacao.com.br/jesh/article/view/220>. Acesso em: 17 dez. 2024

SORRIBAS, M. N.; DE PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; FLEISCHMANN, A. S.; BONNET, M-P. Estudo da bacia amazônica com um modelo de rastreamento hidrológico. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22, 2017, Florianópolis, **Anais [...]** Florianópolis: ABRH, 2017, p. 1-8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2207>. Acesso: 15/01/2023.

SOUZA, T.D.S.; FONTANELLI, C.S. **Micronucleus test and observation of nuclear alterations in erythrocytes of Nile tilapia exposed to waters affected by refinery effluents**. *Mutation Research*, 605, 2006, p. 87-93.

SOUZA, R. O. **Capacidade de carga de pesca esportiva no Rio Água Boa do Univini na região do Baixo Rio Branco–Roraima–Brasil. 2022**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: [https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/7465/5/Tese\\_RobsonSouza\\_PPGCIPET.pdf](https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/7465/5/Tese_RobsonSouza_PPGCIPET.pdf). Acesso: 09/10/2024.

SPIX, J. B. von; AGASSIZ, L. *Selecta genera et species piscium, quos in itinere per Brasiliam annis MDCCCXVII–MDCCCXX collegit et pingendos curavit Dr. J. B. de Spix. Monachii: Typis Francisci Seraphici Hübschmanni*, 1829. Disponível em: [https://www.zobodat.at/pdf/Spixiana\\_011\\_0069-0093.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Spixiana_011_0069-0093.pdf). Acesso em: 23/04/2023.

STEINDACHNER, F. **Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften**, v. 79, p. 338-340, 1879.

SUNJOG, K.; KOLAREVIĆ, S.; HÉBERGER, K.; GAČIĆ, Z.; KNEŽEVIĆ-VUKČEVIĆ, J.; VUKOVIĆ-GAČIĆ, B.; ET AL. **Comparison of comet assay parameters for estimation of genotoxicity by sum of ranking differences**. *Anal Bioanal Chem.*, 14, 2013, p.4879-4885.

TANG, W. **Heavy metal pollution characteristics of surface sediments in different aquatic ecosystems in eastern china:** A comprehensive understanding. PLoS ONE 9, e108996, 2014.

TAVARES-DIAS, M.; SHIBATTA, O. A. **Alimentação e hábitos tróficos de peixes de água doce da Amazônia.** Revista Brasileira de Zoologia, v. 23, n. 1, p. 80-89, 2006.

TERRADAS, M.; MARTÍN, M.; TUSELL, L.; GENESCÀ, A. **Genetic activities in micronuclei:** Is the DNA entrapped in micronuclei lost for the cell? Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, v. 705, n. 2, p. 135–144, 2010

THELLMANN, P.; KUCH, B.; WURM, K.; KÖHLER, H.-R. Water quality assessment in the “German River of the years 2014/2015”: how a case study on the impact of a storm water sedimentation basin displayed impairment of aquatic ecosystems. **Environmental Sciences Europe**, v. 29, n. 1, p. 1–13, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12302-017-0108-y>. Acesso em: 23/03/2023

TROLLY, T. S. DE. **Avaliação de Genotoxicidade em peixes de duas áreas portuárias do Rio Tapajós, no Oeste do Pabrá.** Universidade Federal do Oeste do Pará, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/483>. Acesso: 09/12/2022.

UCHÔA, I. S.; MAGALHÃES, M. do A.V. Teste de Micronúcleo um importante Biomarcador Celular. **Brazilian Journal of Health Review**, 3 (2), 2020, 3851–3857. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n2-208>. Acesso: 26/02/2023.

UNBAMANI, M.; MOHANKUMAR, P. Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) using alkaline comet assay and micronucleus test. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, [S.l.], v. 726, n. 2, p. 104–109, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21382637/>. Acesso em: 26/02/2023.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. **The river continuum concept.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 37, p. 130–137, 1980.

VERAS, A. T. R.; RIBEIRO, W. C.; SANTOS, E. R. Uma incursão ao Baixo Rio Branco (Roraima/Amazonas), saneamento básico. **Confins: Revista franco-brasileira de geografia.** Open Edition Journals, n° 47, 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/31823>. Acesso: 26/02/2023.

VIEIRA, T. S. G. et al. **Composição E Diversidade Das Assembleias De Peixes Em Igarapés Na Reserva De Desenvolvimento Sustentável Do Tupé, Manaus – Am /** Composition and Diversity of Fish Assemblages in Streams in the Tupé Sustainable Development Reserve, Manaus – Am. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 30860–30879, 2021.

VITÓRIO, L. S. **Turismo de base comunitária:** análise quanto às interferências do turismo de pesca no Baixo Rio Branco, Roraima, Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1076/Dissertacao%20Luciana%20de%20Souza%20Vit%C3%B3rio.pdf?sequence=1>. Acesso: 09/10/2024.

VILCHES, M. **Análise genotóxica do rio Cadeia/RS através do ensaio cometa e teste de micronúcleo e anormalidades nucleares utilizando peixes como bioindicadores.** Dissertação (Mestrado) – Feevale, NovoHamburgo-RS, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Environmental Health Criteria 101: Methylmercury.** Geneva: World Health Organization, 1990.

Disponível em: <https://incem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>. Acesso em: 26/03/2023..

YOUNG, C. E. F.; MEDEIROS, R. **Quanto vale o verde: a importância econômica das unidades de conservação brasileiras.** Rio de Janeiro: Conservação Internacional, 2018. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/13399>. Acesso: 09/10/2024.

ZAGATTO, P.A. **Significado dos estudos de validação de testes de toxicidade:** resultados publicados. In: CONGRESSO DE ECOTOXICOLOGIA. Itajaí-SC, 1998.

ZAPPATA, L. M.; BOCK, B. C.; OROZCO, L. Y.; PALACIO, J. A. **Application of the micronucleus test and comet assay in *Trachemys callirostris* erythrocytes as a model for in situ genotoxic monitoring.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 127, 2016, p. 108-116.

ZUANON, J.; MENDONÇA, F.P.; ESPIRITO-SANTO, H.M.; DIAS, M.S.; GALUCH, A.V.; AKAMA, A. 2015. **Guia de Peixes da Reserva Ducke,** Amazônia Central. Manaus, INPA, 2015. P.154.