



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE, ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO

ANDERSOM ALVES CAPRONI

**AVALIAÇÃO DE METAIS EM FÊMEAS E FILHOTES DE *PODOCNEMIS
EXPANSA* (SCHWEIGGER, 1812; TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EM UM
TRECHO DO MÉDIO RIO ARAGUAIA**

PORTO NACIONAL

2023

ANDERSOM ALVES CAPRONI

**AVALIAÇÃO DE METAIS EM FÊMEAS E FILHOTES DE *PODOCNEMIS
EXPANSA* (SCHWEIGGER, 1812; TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EM UM
TRECHO DO MÉDIO RIO ARAGUAIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Ecologia e Conservação - PPGBec, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade, Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Costa Gonçalves Portelinha

PORTO NACIONAL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- C254a Caproni, Anderson Alves.
Avaliação de metais em fêmeas e filhotes de *Podocnemis expansa* (schweigger, 1812; Testudines: Podocnemididae) em um trecho do médio rio Araguaia. / Anderson Alves Caproni. – Porto Nacional, TO, 2023.
54 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Porto Nacional - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Biodiversidade, Ecologia e Conservação, 2023.
Orientador: Thiago Costa Gonçalves Portelinha
1. Íons Metálicos. 2. Genotoxicidade. 3. Ações antrópicas. 4. Tartaruga-da-Amazônia. I. Título

CDD 577

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Andersom Alves Caproni

**AVALIAÇÃO DE METAIS EM FÊMEAS E FILHOTES DE *PODOCNEMIS*
EXPANSA (SCHWEIGGER, 1812; TESTUDINES: PODOCNEMIDIDAE) EM UM
TRECHO DO MÉDIO RIO ARAGUAIA**

Dissertação apresentada e avaliada para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade, Ecologia e Conservação e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 14 de julho de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Thiago Costa Gonçalves Portelinha Orientador), UFT

Profa. Dra. Alexandra Frossard

Profa. Dra. Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira

Porto Nacional - TO

2023

AGRADECIMENTOS

Esses dois últimos anos, foram intensos e cheio de aprendizagem, conheci e convivi com pessoas de diversas localidades e opiniões diferentes, que acrescentaram muito na minha construção pessoal e profissional, só tenho a agradecer a todos.

Queria agradecer em especial minha família, meus pais, Valter Caproni e Iêda Maria Alves e meu filho Cauã Neiva Caproni, por todo apoio e compreensão nos momentos de ausência, mesmo estando no quarto ao lado estava ausente.

Aos meus melhores amigos, que me acompanham a mais de 20 anos, Paulo Henrique e Flávio Alexandre, agradeço imensamente por todo esse tempo junto a vocês, não importa o espaço e tempo entre nossos seres, nossa amizade sem mantém intacta, agradeço também por ouvirem minhas lamentações durante a Pós e sempre estarem dispostos a me ajudar. **E MUITO OBRIGADO POR NUNCA DEIXAREM MEU COPO VAZIO!!!!!!!!!!**

O agradecimento mais especial vai para meu querido orientador, Thiago Portelinha. Não tenho palavras pra expressar o sentimento que foi construindo entre a gente, hoje te considero um grande amigo na vida pessoal e um mentor/inspiração na vida profissional. Eu aprendi muito com você, meus olhos se abriram para um novo mundo, só tenho a agradecer por todas as oportunidades proporcionadas por você meu querido Portela.

Quero agradecer também todos os amigos que fiz ao longo desses anos. Os meus amigos da turma 2021, em especial os Tiagos (Scapini e Nascimento), Karielly e a Sabrina, foram muitas horas na frente do computador, escrevendo, corrigindo, por muitas vezes quebrando a cabeça, mas no final valeu a pena, muito obrigado por compartilhar comigo essa aventura da Pós-Graduação.

Minha dissertação só foi realizada com o auxílio de várias pessoas e laboratórios. Aqui destaco a Professora Dra. Patrícia Guarda do Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ/UFT). Professora, meu trabalho não sairia do papel sem a ajuda da senhora, sou imensamente grato por ter sido recebido tão bem em seu laboratório, a senhora sempre esteve disposta a me ajudar, tirar minhas dúvidas. Perdi a conta das vezes que a senhora pegou na minha mão e ensinou o caminho, muito obrigado por me abrir as portas da Química.

Não poderia deixar de agradecer, as duas melhores pessoas que eu poderia ter como membros titulares da minha banca, Dra. Alexandra Frossard e Professora Dra. Vanessa. Professora vocês contribuíram de mais com a construção e desenvolvimento da minha dissertação, sempre estiveram presentes para tirar dúvidas quanto para me confortar e acalmar, muito obrigado pela existência de vocês duas na minha vida como mestrando.

RESUMO

As atividades humanas têm contribuído diretamente com o aumento dos níveis de íons metálicos nos ecossistemas, principalmente através da mineração, emissão de efluentes domésticos, industriais e agropecuária. O uso de fertilizantes e defensivos agrícolas pode ser uma importante fonte de inserção de metais no meio. Diversos estudos vêm apontando que os quelônios podem refletir impactos ocasionados por vários contaminantes, como os agroquímicos utilizados na agricultura tradicional. A tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*) é um quelônio de água doce que representa importância alimentar para as populações amazônicas, utilizada legalmente e ilegalmente por populações ribeirinhas e citadinas. O presente estudo avaliou a presença de nove metais; Al; Cd; Cr; Cu; Fe; Mn; Ni; Sn e Zn, em fêmeas e filhotes *P. expansa* durante o período reprodutivo. Foi realizado também, o teste de micronúcleos para avaliar a genotoxicidade desses metais presente nas células de *P. expansa*. Os resultados apontaram que fêmeas e filhotes apresentaram concentrações de metais superiores aos encontrados em diversos trabalhos com répteis. Foi possível observar também um aumento das concentrações do metal Sn, ao longo da bacia do Araguaia. Os resultados das concentrações dos metais no sedimento, foram inferiores aos valores de referencial químico (VRQ's) de vários estados, entretanto, conseguimos notar um aumento das concentrações dos metais Al, Cr e Fe ao longo da bacia do rio Araguaia. Foi possível observar também uma correlação entre o metal Mn nos sedimentos com os valores encontrados no fígado dos filhotes. O teste de micronúcleo indicou uma alta taxa de dano ao material genético, porém não foi possível traçar uma correlação entre os metais estudados, entretanto observamos uma correlação entre os micronúcleos e o tamanho das fêmeas. Portanto, os resultados obtidos, juntamente com a futura quantificação de metais em ovos, juvenis e machos da espécie se torna imprescindível, pois, poderão elucidar a real interação desses metais com as populações na área de estudo, apontando possíveis efeitos deletérios a saúde e reprodução desses indivíduos. Por fim, pode-se concluir que *P. expansa*, pode ser considerada como bioindicador na avaliação de riscos ambientais, e que apesar da área de estudo estar localizada entre importantes Unidades de Conservação, os resultados indicam que essas áreas também estão sujeitas às influências antrópicas.

Palavras-chaves: Íons Metálicos, Genotoxicidade, Ações antrópicas, Tartaruga-da-Amazônia.

ABSTRACT

Human activities have contributed directly to the increase in the levels of metallic ions in ecosystems, mainly through mining, emission of domestic, industrial and agricultural effluents. The use of fertilizers and pesticides can be an important source of insertion of metals in the environment. Several studies have indicated that chelonians may reflect impacts caused by various contaminants, such as pesticides used in conventional agriculture. The Amazonian turtle (*Podocnemis expansa*) is a freshwater chelonian that represents food importance for the Amazonian populations, used legally and illegally by riverside and urban populations. The present study detected and quantified nine metals; Al; Cd; Cr; As; Pb; Mn; Ni; Sn and Zn, in Females and Pups *P. expansa* during the reproductive period. We also performed the quantification of metals in the sediment of the nests of each female, to identify a possible route of contamination. The micronucleus test was performed to evaluate the genotoxicity of these metals present in *P. expansa* cells. The results showed that females and offspring had concentrations of metals higher than those found in several studies with reptiles. We can also observe an increase in Sn metal concentrations along the Araguaia basin. The results of metal concentrations in the sediment were lower than the VRQ's of several states, however, we were able to notice an increase in the concentrations of metals Al, Cr and Fe along the Araguaia River basin. It was also possible to observe a correlation between the metal Mn in the sediments with the values found in the liver of the puppies. The micronucleus test indicated a high rate of damage to the genetic material, but it was not possible to trace a correlation between the studied metals, however we observed a correlation between the micronuclei and the size of the females. Therefore, the results are preliminary, and the future quantification of metals in eggs, juveniles and males of the species becomes essential, as they will be able to elucidate the real interaction of these metals with the populations in the study area, pointing to possible deleterious effects on health and reproduction. of these individuals. Finally, we can conclude that *P. expansa* can be considered as a bioindicator in the assessment of environmental risks, and that despite the study area being located between important Conservation Units, the results indicate that these areas are also subject to anthropic influences.

Keywords: Metallic ions, Genotoxicity, Anthropogenic actions, Amazonian tortoise.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa de localização da praia monitorada no ano de 2021. Os pontos pretos marcam a distribuição dos ninhos de *P. expansa* na Praia do Abraãozinho, divisa entre os estados do Pará e Tocantins. Imagem satélite Landsat 8. Mapa construído por Maria Fernanda Oliveira Barbosa, agosto de 2022..... 16
- Figura 2:** Diagrama da análise de componentes principais com as concentrações dos metais no sangue e nos tecidos de fêmeas e filhotes de *P.expansa* 20
- Figura 3A:** Gráfico de pontos com intervalo de confiança 95% estimados por um modelo hierárquico Bayesiano, entre as concentrações no sangue e tecidos de fêmeas e filhotes. Ponto central indica média central e as barras os limites superiores e inferiores. Os pontos menores são os valores observados.....21.
- Figura 3B; 3C; 3D; 3E:** Gráfico de pontos com intervalo de confiança 95% estimados por um modelo hierárquico Bayesiano, entre as concentrações no sangue e tecidos de fêmeas e filhotes. Ponto central indica média central e as barras os limites superiores e inferiores. Os pontos menores são os valores observados..... 22
- Figura 3F; 3G; 3H; 3I:** Gráfico de pontos com intervalo de confiança 95% estimados por um modelo hierárquico Bayesiano, entre as concentrações no sangue e tecidos de fêmeas e filhotes. Ponto central indica média central e as barras os limites superiores e inferiores. Os pontos menores são os valores observados..... 23
- Figura 4:** Gráfico de dispersão de pontos, com os valores obtidos nos modelos bayesianos entre as concentrações dos metais em fêmeas e filhotes. Os valores no eixo x e y, são valores de regressão. Os pontos representam a interseção das concentrações entre as fêmeas e filhotes. A faixa cinza é a amplitude dos resultados. 24
- Figura 5:** Gráfico de dispersão de pontos, com os valores obtidos nos modelos bayesianos entre as concentrações dos metais no sangue das fêmeas com a quantidade de micronúcleos em 2000 células. Os valores no eixo y são a quantidades de micronúcleos, e no eixo x os valores de regressão dos metais. Os pontos representam a interseção das concentrações metais com a quantidade de micronúcleos. A faixa cinza é a amplitude dos resultados..... 26
- Figura 6:** Gráfico de dispersão de pontos, com os valores obtidos nos modelos bayesianos entre a quantidade de micronúcleos em 2000 células, com valores biométricos: comprimento da carapaça (Ccar) e índice de condição corpórea (ICC). Os valores no eixo y são a quantidades de micronúcleos, e no eixo x os valores biométricos. Os pontos representam a interseção da quantidade de micronúcleos com os valores biométricos. A faixa cinza é a amplitude dos resultados. 27

Figura 7: Diagrama da análise de componentes principais com as concentrações totais dos metais nas fêmeas, filhotes e nos sedimentos dos ninhos de *P.expansa* 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para cada metal estudado.....	22
Tabela 2: Valores de mediana das concentrações dos metais detectados no sangue e nos tecidos de fêmeas e filhotes de <i>P. expansa</i> . * maior valor de mediana, ** segundo maior valor de mediana, *** terceiro maior valor de mediana	23
Tabela 3: Valores de mediana, mínimo e máximo das concentrações em mg/kg, de oito metais no sedimento dos ninhos de <i>P.expansa</i>	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Geral.....	15
2.2	Específicos.....	15
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1	Área de estudo	16
3.2	Captura, biometria e aspectos reprodutivos.....	17
3.3	Obtenção das amostras	17
3.3.1	Fêmeas	17
3.3.2	Filhotes.....	18
3.3.3	Sedimentos dos ninhos.....	18
3.4	Atividades de laboratório	18
3.4.1	Quantificação de metais	18
3.4.2	Análise genotóxica - Teste de micronúcleo	19
3.5	análise de dados.....	20
4	RESULTADOS.....	21
4.1	Aspectos reprodutivos.....	21
4.2	Quantificação de metais.....	21
4.2.1	Biometria e Metais	28
4.3	Análise genotóxica - teste de micronúcleo.....	28
4.4	Sedimentos dos ninhos	31
5	DISCUSSÃO	33
5.1	Biometria e reprodução	33
5.2	Quantificação de metais.....	33
5.2.1	Fêmeas e filhotes.....	33
5.2.2	Biometria e Metais	37
5.3	Análise genotóxica - teste de micronúcleo.....	37
5.4	Sedimentos dos ninhos	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40

1 INTRODUÇÃO

O cenário ambiental global é preocupante e a pressão antrópica sobre a biota está alterando os ecossistemas de forma abrupta, levando à extinção de várias espécies (DIRZO *et al.*, 2014; LEWIS e MASLIN, 2015). As atividades humanas têm contribuído diretamente com o aumento dos níveis de íons metálicos nos ecossistemas, com maior destaque para a mineração, emissão de efluentes domésticos, industriais e agropecuária. O uso de fertilizantes e defensivos agrícolas (e.g. herbicidas e pesticidas) pode ser uma importante fonte de inserção de metais no meio, como o cádmio, cromo, chumbo, zinco, cobre, arsênio, mercúrio e manganês (CONCEIÇÃO, 2004). Apesar destes serem reconhecidos em escala mundial por desempenharem importante papel na otimização da produção e conservação dos produtos agrícolas, os agroquímicos utilizam ingredientes ativos, além de apresentarem metais em algumas formulações, que podem oferecer toxicidade para a população humana e organismos da fauna e da flora (CARNEIRO *et al.*, 2015).

De acordo com Latrubesse e Stevaux (2006), apesar da importante bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins concentrar uma enorme biodiversidade da Floresta Amazônica e do Cerrado, a expansão de fronteiras agrícolas tem degradado os sistemas fluviais e geomorfológicos, podendo causar impactos negativos na fauna e flora relacionados à presença de metais provenientes, principalmente, da utilização de agrotóxicos. A ação química dos metais no ambiente e nos seres vivos vem despertando grande interesse, particularmente pelo fato dos metais não serem naturalmente degradados, possibilitando sua acumulação e permanência em ciclos biogeoquímicos globais, sendo os corpos d'água seus principais meios de condução (ROHDE, 2013). Alguns metais causam uma ampla gama de efeitos tóxicos na vida terrestre e aquática, e vários deles têm o potencial de bioacumulação, incluindo o cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e zinco. Além disso, certas formas de cádmio e cromo têm propriedades carcinogênicas (CRUZ *et al.*, 2021), com isso surge a necessidade de se estudar os efeitos toxicológicos e genotóxicos desses contaminantes nos indivíduos, assim como no ecossistema.

O teste de micronúcleo dentre os diversos métodos para se estudar os efeitos genotóxicos, é o mais amplamente utilizado como biomarcador genotóxico para espécies selvagens, por ser um método sensível e rápido, quantificando o dano ao DNA induzido por agentes físicos e químicos. (ZAPATA *et al.*, 2016). Apesar de crustáceos e peixes serem bastante utilizados em estudos sobre os efeitos toxicológicos e genotóxicos (COSTA *et al.*, 2008), os répteis aquáticos também podem refletir impactos ocasionados por essas substâncias. Entre os anos de 1970 e 2020 foram publicados 104 estudos que utilizaram quelônios de água doce e crocodilianos como bioindicadores de compostos inorgânicos (SANTOS *et al.*, 2021). A exemplo, concentrações de metais foram registradas em diferentes tecidos de espécies de quelônios de água doce (SCHNEIDER *et al.*, 2009), assim como no sangue, ovos e filhotes, constatando transferência materna para uma espécie

de tartaruga marinha (SINAEI e BOLOUKI, 2017) e para uma espécie de crocodiliano (LEMAIRE *et al.*, 2021). Efeitos genotóxicos também foram identificados em Testudines através do teste de micronúcleo (FROSSARD *et al.*, 2020; FROSSARD *et al.*, 2021; MORON *et al.*, 2019; HERNÁNDEZ-GUZMÁN *et al.*, 2015).

Os quelônios estão entre os animais mais explorados e utilizados no mundo e, por séculos, esse grupo tem sido uma fonte de proteína na dieta de populações humanas (DUPRE *et al.*, 2007). No Brasil, e principalmente na região Norte, o hábito de consumir quelônios é praticado há séculos, e as espécies do gênero *Podocnemis* são as mais procuradas (KLEMENS e THORBJARNARSON, 1995; PEZZUTI *et al.*, 2010). Apesar da caça ser uma forte ameaça aos quelônios amazônicos (FORERO-MEDINA *et al.*, 2021), estudos recentes têm apontado que alterações no ambiente podem refletir negativamente sobre o estado de saúde, fisiologia e a ecologia dessas espécies (FAGUNDES *et al.*, 2021; FROSSARD *et al.*, 2021; PIGNATI *et al.*, 2018; SCHNEIDER *et al.*, 2009;). Em detrimento da expansão agrícola e dos diferentes processos de uso e ocupação do solo, essas espécies podem habitar áreas próximas aos ambientes urbanizados, de intensa produção agrícola e de atividades de mineração, podendo refletir negativamente nos organismos desses ambientes. A exemplo disso, foi relatado que mudanças no habitat influenciaram no tamanho de neonatos de *Podocnemis unifilis* (ARRAES *et al.*, 2016). Portanto, torna-se essencial gerar conhecimentos sobre a ecologia e ecotoxicologia dos quelônios, assim como identificar a condição atual de conservação das espécies desse grupo e os possíveis efeitos que podem sofrer pelas atividades antrópicas, tais como: o uso de agroquímicos, metais e poluição da água.

O médio rio Araguaia possui extensas praias de desova de *P. expansa*, e está localizado em uma área de transição Cerrado-Floresta Amazônica que vem sofrendo forte expansão agropecuária nos últimos anos (DOS SANTOS *et al.*, 2018). Portanto, o estudo trará conhecimento sobre os aspectos reprodutivos e da concentração de poluentes (metais) em *P. expansa* em uma região do rio Araguaia, além de fornecer informações que poderão inferir sobre a sua condição sanitária e de saúde.

Dentre as espécies do gênero *Podocnemis*, *P. expansa* é a mais estudada, principalmente em relação aos seus aspectos reprodutivos. Apesar disso, pouco se sabe sobre a concentração de contaminantes e seus efeitos nos indivíduos desta espécie, em especial sobre a transferência de contaminantes entre fêmeas adultas e filhotes. A transferência materna de contaminantes foi evidenciada em espécies das ordens Testudines e Crocodylia, onde apresentaram diversas alterações na taxa de fecundidade e na formação do embrião (LEMAIRE *et al.*, 2021; MUÑOZ e VERMEIREN, 2018; SINAEI e BOLOUKI, 2017; GUIRLET *et al.*, 2010). O intuito principal deste trabalho foi avaliar a presença de metais em três tipos de tecidos de fêmeas e filhotes de *P. expansa*, assim como no sedimento de seus ninhos, localizados em um trecho do médio rio Araguaia. O

objetivo do trabalho foi testar as hipóteses de transferência materna e transferência entre compartimentos (biótico e abiótico). Portanto o presente estudo possibilitou identificar a presença de possíveis contaminantes para indivíduos de *P. expansa* que, por ser uma espécie longeva, tem potencial na bioacumulação de substâncias e, possivelmente, de transferi-los à sua prole. Consequentemente, o mesmo contribuirá com informações sobre a presença de metais em um quelônio da região, assim como inferir indiretamente sobre a qualidade dos ambientes utilizados por esta espécie em diferentes fases do seu ciclo de vida (ex.: água e sedimentos das praias). Tais informações poderão ser aplicadas em políticas públicas voltadas para o manejo e conservação das espécies e comunidades, dentro e fora de unidades de conservação.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Ampliar o conhecimento sobre a presença e concentração de metais e sobre a biologia reprodutiva de *P. expansa* em um trecho do médio rio Araguaia.

2.2 Específicos

- Avaliar aspectos biométricos e reprodutivos de fêmeas de *P. expansa*;
- Verificar a concentrações de metais nas fêmeas e filhotes de *P. expansa*;
- Avaliar os efeitos genotóxicos nas células sanguíneas das fêmeas;
- Relacionar os aspectos biométricos e genotóxicos das fêmeas com as concentrações de metais em seu organismo;
- Verificar a concentrações de metais nos sedimentos das praias de nidificação e a sua relação com os filhotes.

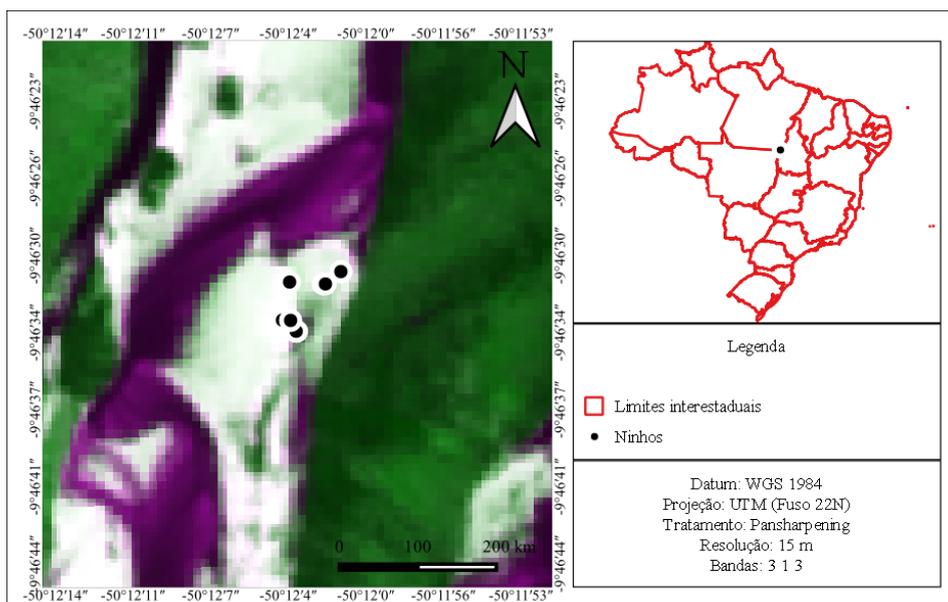
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na praia do Abraãozinho, no rio Araguaia, localizada entre as coordenadas geográficas 9°40'08"S - 9°50'35"S e 50°08'56"W - 50°12'28"W (Figura 1). Esta é uma das praias monitoradas pelo Programa Quelônios da Amazônia (PQA), que é coordenado pelo IBAMA/TO e executado em parceria com a Universidade Federal do Tocantins. A área de atuação do PQA/TO é circundada, em sua margem direita, pelo Parque Estadual do Cantão (PEC) e pelo Parque Nacional do Araguaia (PARNA), e sua margem esquerda é composta por propriedades rurais. Essa região é formada por um complexo ecótono que apresenta elementos do Cerrado, Floresta Amazônica e Pantanal, localizada entre duas importantes áreas protegidas da Amazônia brasileira.

A bacia do rio Araguaia abrange uma área de 343.000 km², com sua nascente na região Centro-Oeste do Brasil, e 2.600 km de extensão, constituindo-se o maior tributário do rio Tocantins, pertencente à bacia Amazônica. O rio Araguaia faz divisa entre os estados do Mato Grosso e Goiás e entre o Pará e Tocantins (AQUINO *et al.*, 2009). A região da Ilha do Bananal constitui-se em uma extensa planície formada por sedimentos terciários e quaternários, periodicamente inundada pelas cheias dos rios Araguaia e Javaés (FERREIRA JÚNIOR, 2003). A região está sob o domínio climático tropical úmido, com temperaturas médias anuais de 24°C e precipitação de 1.750mm, com duas estações bem definidas: uma seca de maio a outubro e outra chuvosa de novembro a abril (PEEL *et al.*, 2007).

Figura 1: Mapa de localização da praia monitorada no ano de 2021. Os pontos pretos marcam a distribuição dos ninhos de *P. expansa* na Praia do Abraãozinho. Imagem satélite Landsat 8.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

3.2 Captura, biometria e aspectos reprodutivos

As coletas foram realizadas entre os meses de setembro e dezembro de 2021, período reprodutivo da espécie no rio Araguaia. A captura das fêmeas de *P. expansa* foi realizada durante a noite (entre 00h00 e 06h00), por meio de caminhadas pela praia. Logo após, a fêmea ser localizada, aguardou-se a finalização do processo de nidificação e, em seguida, o indivíduo foi colocado na posição de decúbito dorsal (viração) para os procedimentos de morfometria. Os valores biométricos foram aferidos utilizando fita métrica (± 1 mm) e a massa corporal obtida com balança digital ($\pm 0,5$ g), realizando-se medidas de comprimento curvilíneo e largura curvilínea da carapaça (Ccar e Lcar) e do plastrão (Cpla e Lpla) (MALVASIO *et al.*, 2005). A condição corporal foi calculada pelo índice de Fulton (ICC = massa/comprimento da carapaça). Após esta etapa, os ninhos foram identificados com uma estaca de madeira devidamente numerada, seguindo o procedimento padrão adotado pelo IBAMA (2016), e monitorados até a eclosão dos ovos. Todos os procedimentos realizados durante os estudos estão regulamentados e devidamente licenciados (SISBIO: N. 80428 e CEUA: 23.101.001.214/01-66). As atividades do projeto contaram com o apoio logístico da Universidade Federal do Tocantins, do IBAMA e do NATURATINS durante as atividades em campo.

Os aspectos reprodutivos de *P. expansa* foram investigados por meio da contagem do número de ovos não-eclodidos, do número de filhotes vivos, e natimortos após o período de incubação dos ninhos. Ademais, o sucesso de eclosão foi calculado como: [(número de filhotes vivos/tamanho de postura) x 100]. Para determinar o tempo de incubação, os ninhos foram monitorados diariamente pela equipe de campo até a eclosão dos ovos.

3.3 Obtenção das amostras

3.3.1 Fêmeas

Após os procedimentos de morfometria das fêmeas e identificação de seus respectivos ninhos, foi realizada a coleta de sangue por punção do seio dorsal na região da cauda (SANTOS *et al.*, 2011), onde foram coletados 2,0 mL de cada indivíduo e armazenados em tubos com EDTA. O sangue coletado foi utilizado para realizar o teste de genotoxicidade (teste de micronúcleo) e na quantificação de metais. O tecido adiposo foi coletado da membrana interdigital dos membros posteriores do animal (MOSQUERA-MARTÍNEZ, 2017) e armazenado em tubos criogênicos. Todas as amostras foram resfriadas imediatamente em gelo e, posteriormente, conservadas em freezer -20°C para as futuras análises de quantificação de metais. A coleta do sangue e do tecido foi realizada para fêmeas adultas e filhotes recém-eclodidos.

3.3.2 Filhotes

Durante o período de eclosão (novembro-dezembro), os ninhos das fêmeas estudadas, foram visitados e, aleatoriamente, selecionados três filhotes recém-eclodidos para a coleta das amostras biológicas. Os filhotes foram eutanasiados, seguindo as diretrizes do Comitê de Ética de Uso de Animais da Universidade Federal do Tocantins (CEUA-UFT). Após a eutanásia, amostras de sangue e de tecido hepático (fígado) foram coletadas. O sangue foi coletado por punção da veia coccígea, que corre ao longo da linha média dorsal da cauda, com seringa de insulina (B-D U-100) de 0,1 ml, seguindo Bulte *et al.* (2006). O volume de sangue obtido foi de 0,05 ml e o fígado foi retirado da cavidade celomática, após incisão do plastrão.

3.3.3 Sedimentos dos ninhos

As amostras dos sedimentos (areia) dos ninhos foram coletadas em três profundidades (superfície: 10 cm; meio: ±50 cm; e fundo: ±100 cm), que após homogeneização formou uma amostra de 200 g para cada ninho. Os sedimentos foram armazenados em sacos plásticos individuais descontaminados e resfriados em gelo para posterior congelamento em freezer -20°C.

3.4 Atividades de laboratório

3.4.1 Quantificação de metais

As análises laboratoriais para detectar a presença e concentração dos metais na água, sedimentos, tecidos e ovos coletados foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ/UFT). Foi analisado dez metais distintos: alumínio (Al), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Chumbo (Pb), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Estanho (Sn) e Zinco (Zn). Em todos os procedimentos foram observados os cuidados analíticos necessários para evitar a contaminação externa das amostras, cuidados como: armazenamento e transporte correto das amostras, Descontaminação e limpeza dos materiais, processo de extração, preparação dos tecidos e soluções padrões para as análises (GUADAR, 2020). As amostras biológicas (sangue, tecido adiposo e tecido hepático) foram digeridas em ácido nítrico (HNO₃) durante 24h; logo após esse procedimento, as amostras foram aquecidas em bloco digestor a 70°C por 2h, até um volume total de 2 mL, seguindo a metodologia adotada por Santos *et al.* (2021) e Frossard *et al.* (2021). As amostras de sedimentos foram enviadas para o Laboratório de Análises Químicas (LACHEM), na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). As amostras de sedimentos foram digeridas em sistema fechado, com ácido nítrico (HNO₃) e ácido clorídrico (HCl), utilizando a metodologia EPA-3050b. Após a digestão, as amostras foram filtradas com um filtro quantitativo e transferidas para um tubo falcon de 15 mL e o volume ajustado com água ultrapura tipo 1 (MilliQ®). Para determinar os limites de detecção e quantificação foram utilizadas amostras em branco compostas somente por ácido nítrico (HNO₃) e água ultrapura tipo 1

(MilliQ®). Os procedimentos para quantificação dos metais foram conduzidos utilizando um Espectrômetro de Emissão Atômica de Plasma de argônio acoplado indutivamente (Agilent 4210 MP-AES). Os limites de detecção e quantificação foram calculados para todos os metais (Tabela 1).

Tabela 1: Valores dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para cada metal estudado.

Metais	LD mg/L	LQ mg/L
Al	0,00003	0,00011
Cd	0,00000	0,00000
Cr	0,00000	0,00000
Cu	0,00000	0,00000
Fe	0,00002	0,00006
Mn	0,00001	0,00002
Ni	0,00001	0,00002
Sn	0,00005	0,00018
Zn	0,00000	0,00000

Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

3.4.2 Análise genotóxica - Teste de micronúcleo

O sangue de cada animal foi coletado e gotejado em duas lâminas para a realização de esfregaço sanguíneo. As lâminas foram secas à temperatura ambiente por um período de 24 h e, posteriormente, fixadas em metanol (100%) por 30 min. Após a fixação, as amostras foram coradas com solução de Giemsa a 5% por 40 min, lavadas com água destilada e secas em temperatura ambiente por 24h, conforme Frossard *et al.* (2021). Após a secagem, o material foi observado em microscópio de luz. Os micronúcleos foram identificados seguindo o critério proposto por Fenech (2000). Em cada lâmina foram contabilizados 1.000 eritrócitos, totalizando 2.000 por fêmea, a contagem foi realizada com o auxílio de contadores numéricos. A frequência de micronúcleos de cada fêmea foi calculada da seguinte forma: quantidade de micronúcleos / total de eritrócitos contados x 1000 (HERRERA E BAENA, 2017).

3.5 Análise de dados

Optou-se por utilizar modelagem Bayesiana hierárquica, pois esse tipo de ferramenta vem ganhando força no meio acadêmico por otimizar a análise de extensos bancos de dados, dispensar os pressupostos de normalidade, assim como abandonar a necessidade de um *p-value*, que vem sendo amplamente questionado. Os Modelos Bayesianos hierárquicos usam como pressuposto a verossimilhança das hipóteses e foram construídos utilizando o pacote “brms” no software livre R (PAUL-CHRISTIAN BÜRKNER, 2017; PAUL-CHRISTIAN BÜRKNER, 2018; PAUL-CHRISTIAN BÜRKNER, 2021). Quatro modelos foram construídos para cada hipótese, sendo um deles um modelo nulo. A verossimilhança entre esses modelos foi comparada utilizando o pacote *loo* (*leave-one-out*), sendo que, quanto maior o valor de *loo*, maior é a verossimilhança do modelo. Foram apresentados apenas os modelos com a maior verossimilhança.

Para comparar as concentrações dos metais entre as fêmeas e os filhotes, e também entre as diferentes amostras (sangue, tecido adiposo e tecido hepático) de ambos grupos (fêmeas e filhotes), foram utilizados modelos bayesianos hierárquicos. Com os modelos foi testada, também, a hipótese de correlação da concentração total de cada metal entre as fêmeas e os filhotes. Para isso, agrupamos os valores obtidos para cada tipo de tecido e sangue separadamente em ambas categorias (fêmeas e filhotes) em uma única variável para criação do modelo. Os Modelos Bayesianos hierárquicos também foram utilizados para correlacionar a quantidade de micronúcleos presentes em células sanguíneas das fêmeas com as concentrações de cada metal em seu sangue, assim como correlacionar quantidade de micronúcleos com os valores biométricos (Ccar e ICC).

Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada para comparar as concentrações dos metais entre as fêmeas e os filhotes, e também entre as diferentes amostras (sangue, tecido adiposo e tecido hepático) de ambas categorias (fêmeas e filhotes). A PCA também foi utilizada para correlacionar a concentração total de cada metal em fêmeas e filhotes com as concentrações obtidas nas amostras de sedimento dos ninhos. Um teste de correlação de Spearman foi realizado para comparar as concentrações dos metais entre os sedimentos e os filhotes, com o intuito de testar a hipótese de transferência do compartimento abiótico (areia da praia) para o biótico (filhote de *P. expansa*) durante o período de incubação dos ovos. O nível de significância considerado para esta análise foi de $p < 0,05$. As análises estáticas foram realizadas no software livre R v.3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). Os valores biométricos são apresentados como média \pm desvio padrão.

4 RESULTADOS

4.1 Aspectos reprodutivos

Foram capturadas 17 fêmeas de tartaruga-da-Amazônia após o momento de nidificação no mês de setembro de 2021. Obteve-se um comprimento médio curvilíneo da carapaça (Ccar) de 70,9 cm \pm 5,05 (min-máx: 63,0-84,0 cm) e para o comprimento médio curvilíneo do plastrão (Cpla) 56,7 cm \pm 3,82 (min-máx: 50,5-67,5 cm). A largura média curvilínea da carapaça (Lcar) foi de 60,6 cm \pm 4,82 (min-máx: 52,0-72,0 cm), já a média da largura curvilínea do plastrão (Lpla) foi de 41,3 cm \pm 3,68 (min-máx: 35,2-51,5 cm). A massa corporal das fêmeas capturadas variou de 18,6 a 48,9 kg, apresentando uma média de 27,7 kg \pm 6,82. O cálculo do índice de massa corporal dos indivíduos capturados resultou em uma média de 0,39 (variação: 0,30-0,58).

Os ninhos das 17 fêmeas capturadas foram monitorados ao longo de todo o período de incubação dos ovos (setembro-dezembro). Devido as cheias antecipadas que ocorreram nos meses de novembro e dezembro de 2021 no rio Araguaia, houve a perda de quatro ninhos por inundação. Foi necessário, também, realizar a translocação de um ninho para minimizar a mortalidade de filhotes. O tempo médio de incubação dos ovos foi de 59 dias. Para os 17 ninhos monitorados, foram contabilizado um total de 815 ovos, que resultaram em 447 filhotes vivos (55%), 54 filhotes mortos (7%) e 314 ovos não eclodidos (38%). O sucesso de eclosão médio para os ninhos monitorado foi de 54,85%.

4.2 Quantificação de metais

Foram realizadas quantificações de metais para o sangue e tecidos das fêmeas e filhotes. Foi realizado a digestão de 86 amostras, sendo 32 de sangue, 54 de tecidos (adiposo e hepático). Entre os dez metais propostos, somente o Pb não foi quantificado. O elemento Ni não foi detectado no fígado dos filhotes. Para os sedimentos foram digeridas 17 amostras, uma para cada ninho estudado.

Foram quantificados nove metais no sangue e tecido adiposo das fêmeas de *P. expansa* (Tabela 2). O sangue das fêmeas apresentou valores mais elevados para os metais Zn, Al e Sn, sendo o menor valor encontrado para o Cr. No tecido adiposo das fêmeas os maiores valores encontrados foram para os metais Zn, Mn e Sn, já os menores valores foram para o Cd e Fe. Nas amostras de sangue dos filhotes, os metais com as maiores concentrações foram: Zn, Al e Sn. No tecido hepático (fígado) dos filhotes de *P. expansa*, os metais que apresentaram as maiores concentrações foram o Zn, Al, Cu, e o Fe apresentou a menor concentração (Tabela 2).

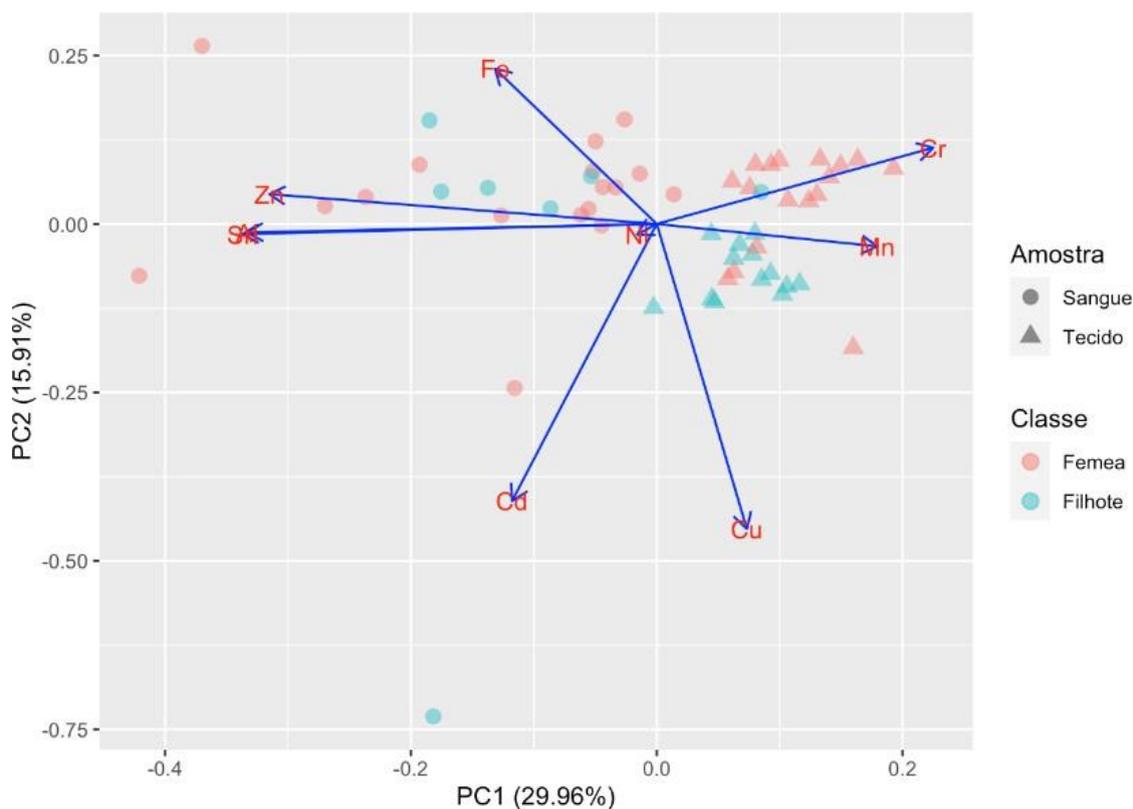
Tabela 2: Valores de mediana das concentrações dos metais detectados no sangue e nos tecidos de fêmeas e filhotes de *P. expansa*. * maior valor de mediana, ** segundo maior valor de mediana, *** terceiro maior valor de mediana.

Sangue (ml/L)				Tecidos (mg/Kg)			
Metais	Valores	Fêmeas	Filhotes	Metais	Valores	Fêmeas	Filhotes
Al	Mediana	0,02126**	0,01598***	Al	Mediana	0,00127	0,00590**
Cd	Mediana	0,00035	0,00053	Cd	Mediana	0,00010	0,00009
Cr	Mediana	0,00007	0,00003	Cr	Mediana	0,00035	0,00011
Cu	Mediana	0,00043	0,00016	Cu	Mediana	0,00087	0,00218***
Fe	Mediana	0,00027	0,00026	Fe	Mediana	0,00010	0,00004
Mn	Mediana	0,00017	0,00019	Mn	Mediana	0,00326**	0,00063
Ni	Mediana	0,00037	0,00039	Ni	Mediana	0,00081	-
Sn	Mediana	0,01879***	0,01731**	Sn	Mediana	0,00222***	0,00114
Zn	Mediana	0,02252*	0,02268*	Zn	Mediana	0,01025*	0,00735*

Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

Foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) entre as concentrações dos metais no sangue e nos diferentes tecidos das fêmeas e filhotes. Os valores dos componentes principais explicam, coletivamente, a 39,87% da variação dos dados (Figura 2). Foi possível observar que há uma segregação entre os tipos das amostras, onde com maior presença de Al, Fe, Sn e Zn no sangue das fêmeas. No sangue dos filhotes é possível observar uma tendência de concentrações mais altas dos metais Fe e Zn. Já para o grupo tecido (adiposo das fêmeas e hepático dos filhotes), nota-se que o Cr e o Mn foram os metais mais presentes nestes (Figura 2). No entanto, o Cr esteve mais concentrado no tecido adiposo das fêmeas, e o Mn no tecido hepático dos filhotes.

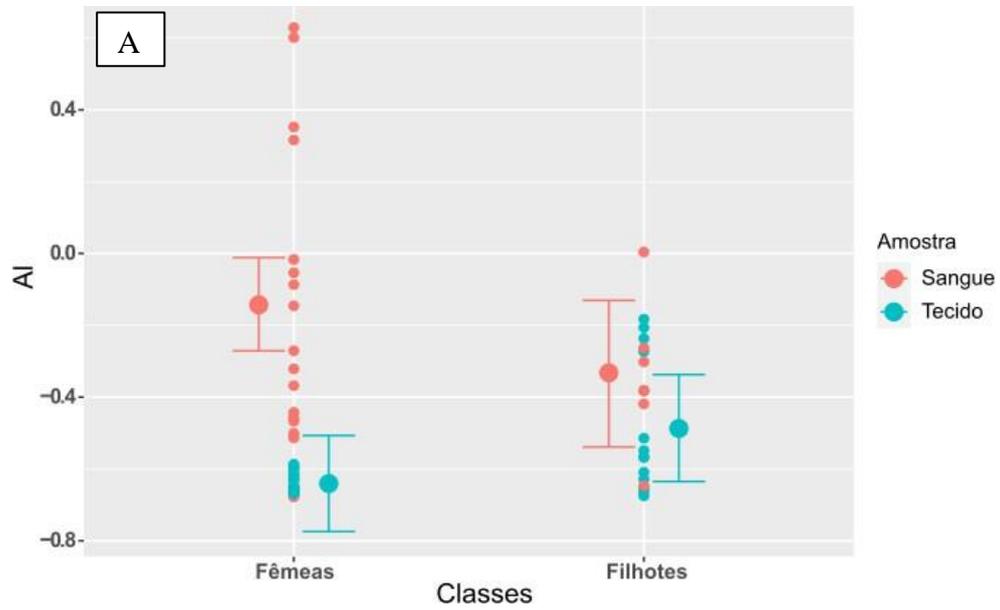
Figura 2: Diagrama da análise de componentes principais com as concentrações dos metais no sangue e nos tecidos de fêmeas e filhotes de *P.expansa*.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

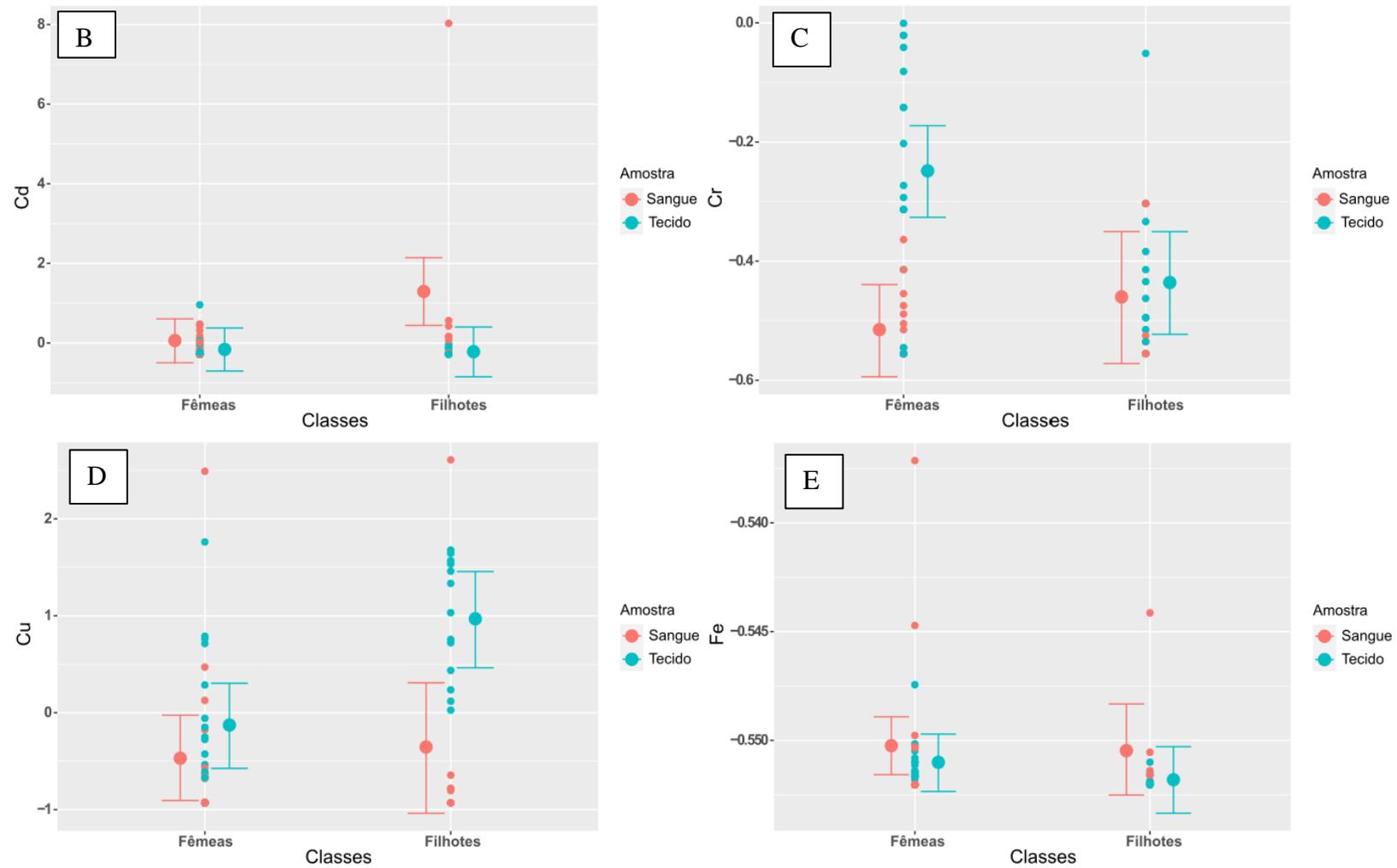
Na intenção de explicar a possível variação das concentrações dos metais, entre as amostras de sangue e tecidos, de fêmeas e filhotes, foram construídos Modelos Bayesianos hierárquicos para cada metal, e em cada tipo de amostra. Analisando os gráficos gerados pelo modelo, pode-se observar que o Al, Sn e Zn apresentaram valores superiores no sangue das fêmeas em comparação com os tecidos (Figuras 3A e 3C). Já os metais Cr Mn e Ni, estiveram mais concentrados nos tecidos adiposos do que no sangue das fêmeas (Figuras 3B; 3F 3G). Os metais Cd e Fe apresentaram pouca variação nas concentrações entre as amostras de sangue e tecido adiposo da fêmea (Figuras 3B; 3E). Nos filhotes, os metais Al, Cd, Fe, Sn e Zn apresentaram maior concentração no sangue do que no tecido hepático (Figuras 3A; 3B; 3E; 3H e 3I). O metal Cu foi o único que apresentou concentrações mais elevadas no tecido hepático do que no sangue dos filhotes (Figura 3D). Os metais Cr e Mn apresentaram concentrações muito próximas entre o sangue e o tecido hepático, apesar de mostrar uma maior tendência de prevalência no tecido hepático (Figura 3C e 3F).

Figura 3 A: Gráfico de pontos com intervalo de confiança 95% estimados por um modelo hierárquico Bayesiano, entre as concentrações no sangue e tecidos de fêmeas e filhotes. Ponto central indica média central e as barras os limites superiores e inferiores. Os pontos menores são os valores observados.



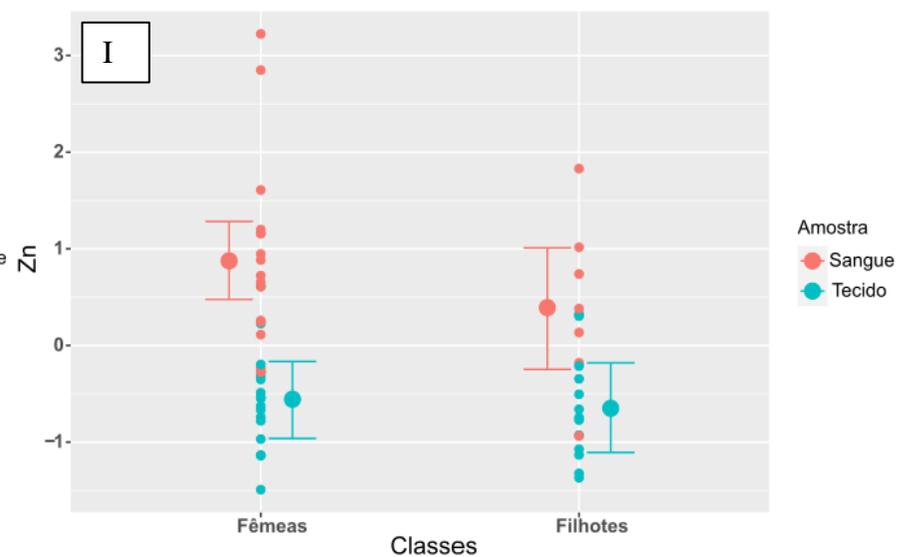
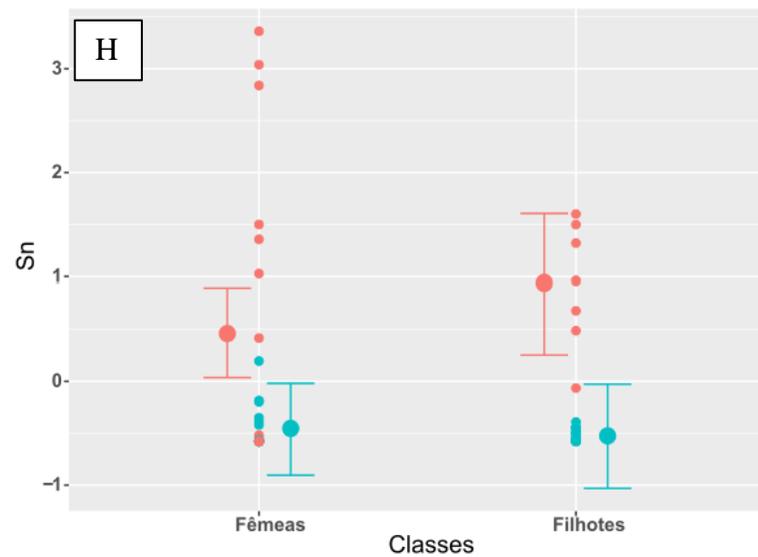
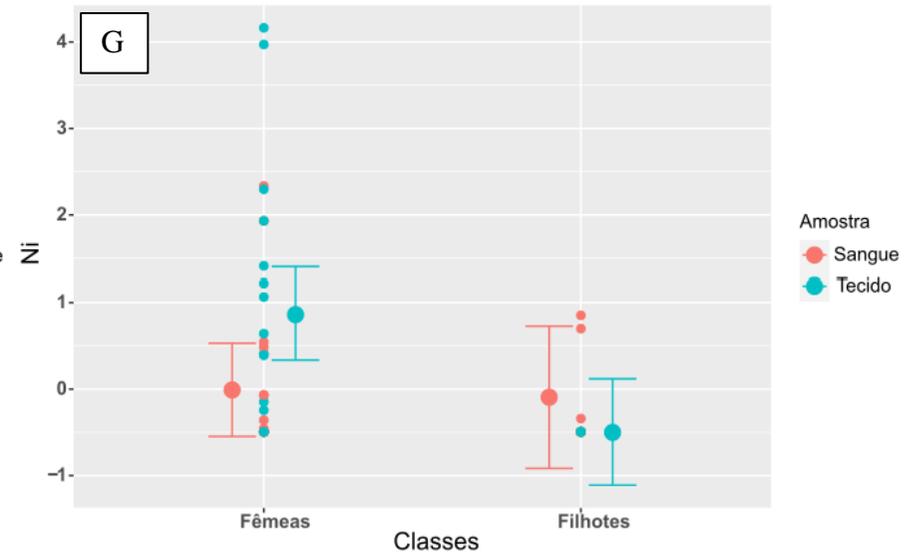
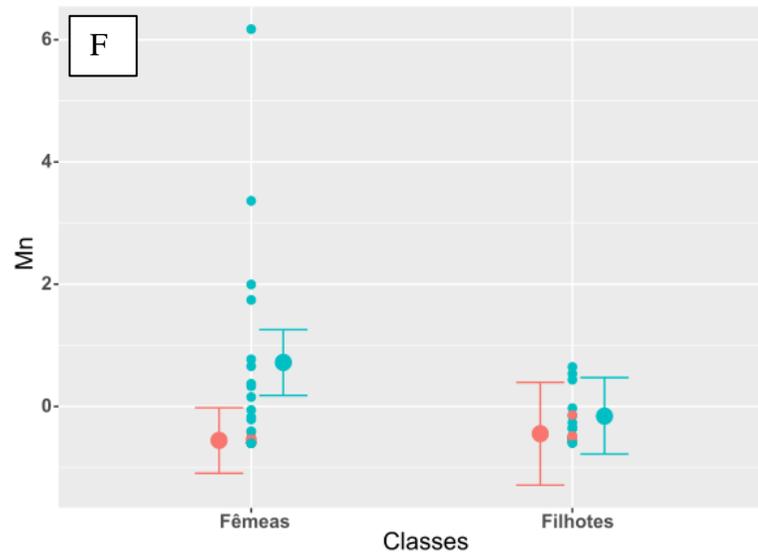
Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

Figuras 3B; 3C; 3D; 3E: Gráficos de pontos com intervalo de confiança 95% estimados por um modelo hierárquico Bayesiano, entre as concentrações no sangue e tecidos de fêmeas e filhotes. Ponto central indica média central e as barras os limites superiores e inferiores. Os pontos menores são os valores observados.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

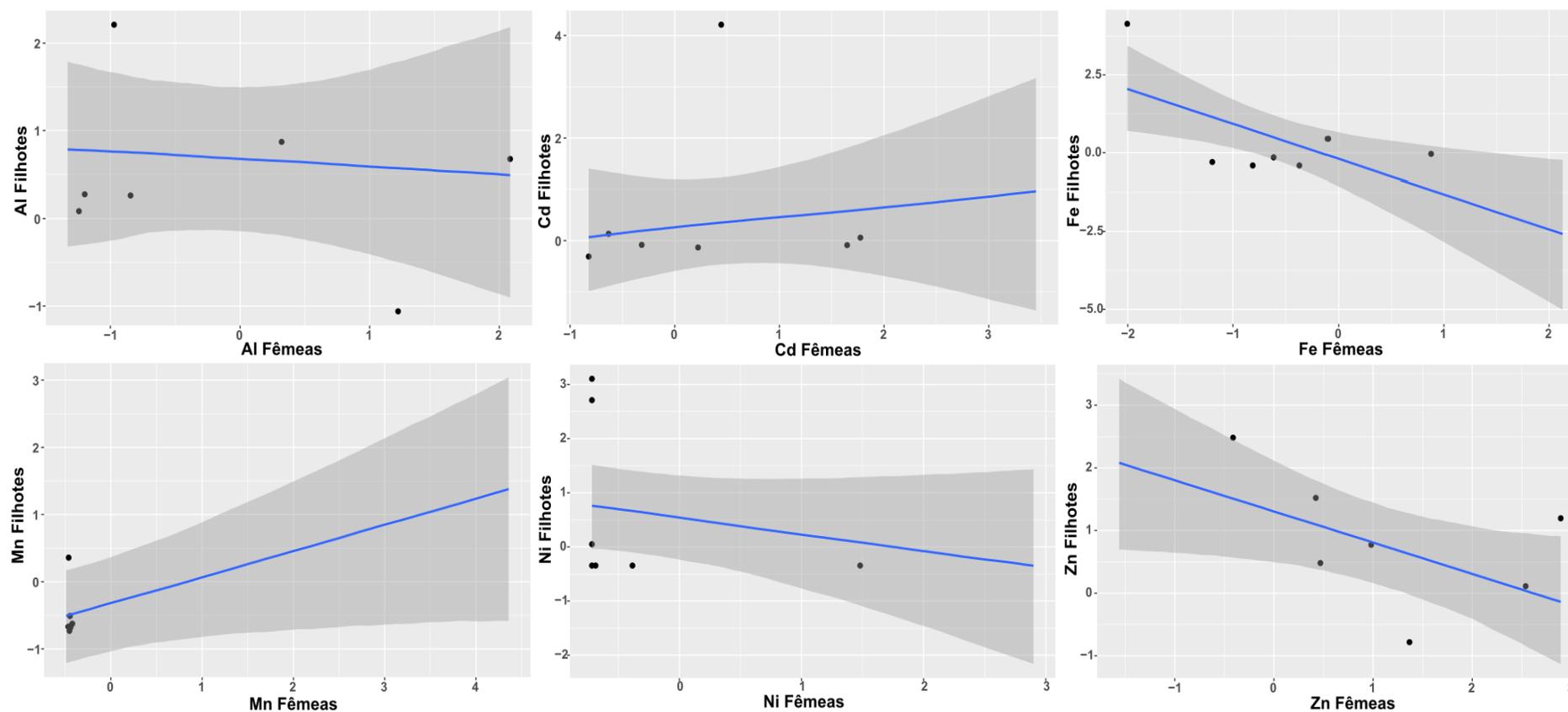
Figuras 3F; 3G; 3H; 3I: Gráficos de pontos com intervalo de confiança 95% estimados por um modelo hierárquico Bayesiano, entre as concentrações no sangue e tecidos de fêmeas e filhotes. Ponto central indica média central e as barras os limites superiores e inferiores. Os pontos menores são os valores observados.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

Os Modelos Bayesianos indicaram que a concentração de seis metais do sangue de fêmeas e filhotes apresentaram algum tipo de correlação (Figura 4). Nas fêmeas, o Cd e o Mn foram correlacionados positivamente. Já para os filhotes, os metais Fe, Ni e Sn, apresentaram correlações negativas; portanto, altas concentrações nos filhotes, refletiam em baixas concentrações nas fêmeas.

Figura 4: Gráfico de dispersão de pontos, com os valores obtidos nos modelos bayesianos entre as concentrações dos metais em fêmeas e filhotes. Os valores no eixo x e y, são valores de regressão. Os pontos representam a interseção das concentrações entre as fêmeas e filhotes. A faixa cinza é a amplitude dos resultados.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

4.2.1 Biometria e Metais

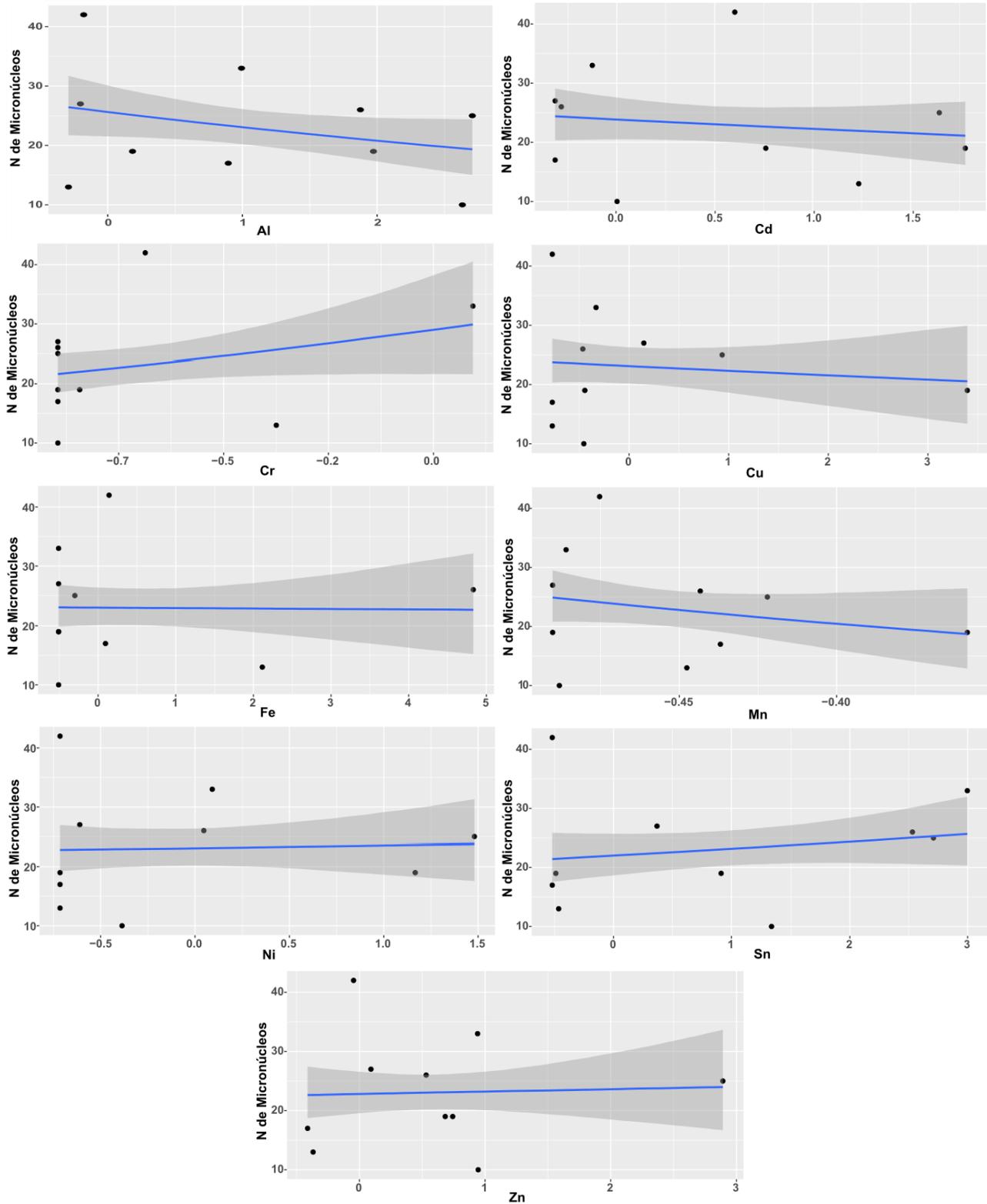
Foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) considerando as concentrações dos metais presentes nas fêmeas e seus parâmetros biométricos (Ccar, Cpla, Lcar, Lpla), massa corporal e índice de condição corpórea (ICC). O resultado da PCA explicou 94,29% da variância dos dados, e não houve uma relação aparente entre as concentrações dos metais e os valores biométricos das fêmeas. A ausência de correlação entre as variáveis biométricas e as concentrações dos metais nas Fêmeas, também foi confirmada através dos modelos bayesianos hierárquicos, sendo o efeito nulo o melhor resultado obtido.

4.3 Análise genotóxica - teste de micronúcleo

Foram preparadas 34 lâminas histológicas (duas para cada fêmea) para a realização do teste de micronúcleo (MN). Dessas, apenas 20 lâminas foram utilizadas na análise, pois as demais possuíam líquido da medula espinhal, impossibilitando a contagem de eritrócitos. Foram contabilizadas 20.000 células, com um total de 231 MN. A frequência média de MN foi de 11,55%. Quando analisado cada indivíduo, observou-se uma variação de 5% a 21%.

Para testar a correlação entre a quantidade de micronúcleos, com as concentrações de cada metal presente no sangue das fêmeas de *P. expansa*, utilizamos modelos bayesianos hierárquicos. Os modelos indicaram que as concentrações dos metais Cr, Sn e Zn apresentaram uma tendência positiva com a quantidade de micronúcleos presentes nas células sanguíneas (Figura 5). Os metais Al, Cd, Cu e Mn apresentaram uma tendência negativa (Figura 5). Já os metais Fe e Ni apresentaram uma relação nula entre a presença de micronúcleos e as concentrações desses metais (Figura 5). Apesar de alguns metais apresentarem tendência positiva ou negativa entre os micronúcleos e suas concentrações, o modelo geral indica que não há uma relação concreta entre essas variáveis.

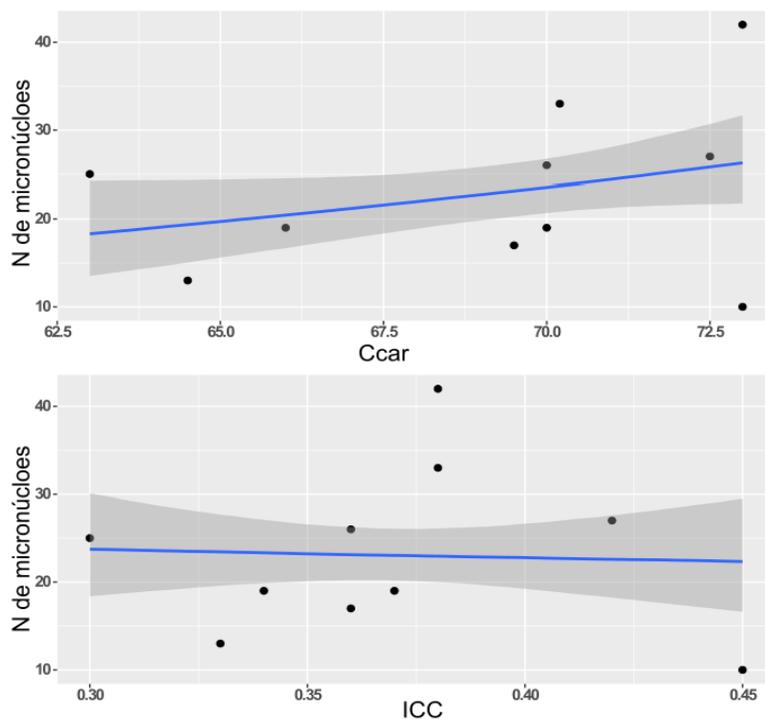
Figura 5: Gráfico de dispersão de pontos, com os valores obtidos nos modelos bayesianos entre as concentrações dos metais no sangue das fêmeas com a quantidade de micronúcleos em 2000 células. Os valores no eixo y são a quantidade de micronúcleos, e no eixo x os valores de regressão dos metais. Os pontos representam a interseção das concentrações metais com a quantidade de micronúcleos. A faixa cinza é a amplitude dos resultados.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

Os modelos bayesianos hierárquicos, foram utilizados para correlacionar os valores de micronúcleos com os valores do comprimento da carapaça (Ccar) e do índice de condição corpórea (ICC) das fêmeas. Modelos hierárquicos que relacionaram a quantidade de micronúcleos e o comprimento da carapaça (Ccar) demonstraram uma tendência positiva, sendo esperado um maior número de micronúcleos em células de indivíduos maiores (Figura 6A). No entanto, foi observada uma relação nula entre os micronúcleos e o índice de condição corpórea (ICC; Figura 6B).

Figura 6: Gráfico de dispersão de pontos, com os valores obtidos nos modelos bayesianos entre a quantidade de micronúcleos em 2000 células, com valores biométricos: comprimento da carapaça (Ccar) e índice de condição corpórea (ICC). Os valores no eixo y são a quantidades de micronúcleos, e no eixo x os valores biométricos. Os pontos representam a interseção da quantidade de micronúcleos com os valores biométricos. A faixa cinza é a amplitude dos resultados.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

4.4 Sedimentos dos ninhos

Foi realizada a análise de sete metais, sendo eles; Al, Cd, Cr, Fe, Pb, Mn, Ni. O Cd não foi detectado em nenhum dos ninhos (Tabela 3). O Ni foi detectado e quantificado em apenas quatro ninhos e obteve a menor concentração entre todos os metais. O metal com a maior concentração foi o Fe, seguido por Al e Mn (Tabela 3).

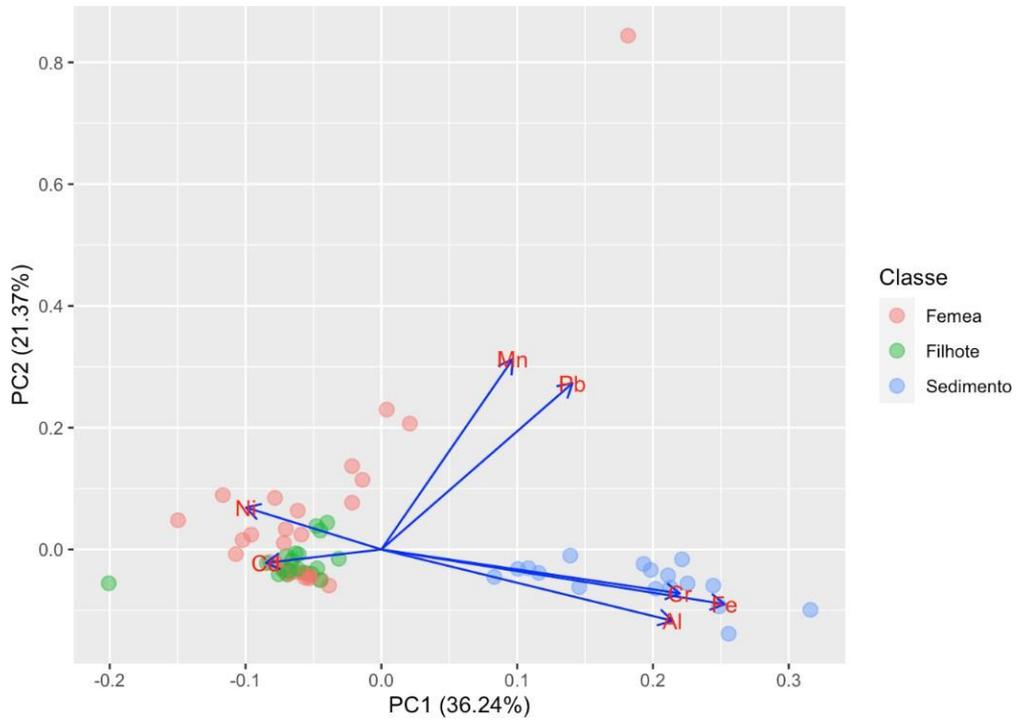
Tabela 3: Valores da mediana, mínimo e máximo das concentrações em mg/kg, de sete metais no sedimento dos ninhos de *Podocnemis expansa* em um trecho do médio rio Araguaia.

Concentração de metais no Sedimentos		
Metais	Mediana	Min-Máx
Al (mg/kg)	92,358	12,17 - 210,057
Cd (mg/kg)	-	-
Cr (mg/kg)	1,455	0,73 - 8,928
Fe (mg/kg)	361,851	260,20 - 456,25
Mn (mg/kg)	2,400	1,45 - 6,054
Ni (mg/kg)	0,185	0,05 - 0,252
Pb (mg/kg)	0,464	0,24 - 0,786

Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

A PCA utilizando as concentrações dos metais presentes no sedimento, e nas Fêmeas e Filhotes explicou 57,61% da variação entre esses três grupos (Figura 7). Os metais Al, Cr e Fe estavam mais presentes no sedimento, quando comparados com os tecidos de fêmeas e filhotes. Ademais, observou-se que o Cd e o Ni estão mais associados às fêmeas e filhotes, sendo o Cd mais relacionado aos filhotes, e o Ni às fêmeas (Figura 7). O resultado do teste de Spearman indicou que apenas o metal Mn, apresentou correlação entre as concentrações encontradas para o fígado dos filhotes e os sedimentos ($\rho = 0,68$; $p\text{-value} = 0,011$).

Figura 7: Diagrama da análise de componentes principais com as concentrações dos metais presentes em fêmeas e filhotes, e nos ninhos de *Podocnemis expansa*.



Fonte: CAPRONI, A. A. (2023).

5 DISCUSSÃO

5.1 Biometria e reprodução

Os resultados biométricos das fêmeas de *P. expansa* obtidos nesse trabalho estão dentro do esperado para fêmeas reprodutivas da espécie. Segundo Ferrara *et al.* (2017), as fêmeas de *P. expansa* alcançam maturidade sexual com comprimento médio de carapaça de 45 cm, e a menor fêmea capturada neste estudo apresentou 63 cm de comprimento de carapaça. Outros trabalhos apresentaram valores biométricos próximos aos encontrados no presente estudo, como Salera-Jr. *et al.* (2009) e Portelinha *et al.* (2014) para o rio Javaés e Alho e Pádua (1982) para o rio Trombetas.

O sucesso reprodutivo encontrado na área de estudo foi muito inferior aos valores encontrados em outros trabalhos (CARNEIRO, 2019; FERREIRA JÚNIOR e CASTRO, 2010; IBAMA, 2016; RUEDA-ALMONACID *et al.*, 2007; VOGT, 2008). No ano de 2021, a reprodução de *P. expansa* na área estudada foi influenciada negativamente pelas variáveis hidrometeorológicas. Neste ano, o período reprodutivo da espécie foi marcado por uma seca extrema entre os meses de agosto e outubro, seguidas por cheias repentinas nos meses de novembro e dezembro. A falta de chuvas afeta a disponibilidade de alimento, que influencia na taxa energética investida na reprodução dos répteis (CAMPOS e MAGNUSSON, 1995; CRUZ *et al.*, 1999), além de restringir o deslocamento das fêmeas das lagoas para o rio (DE LA OSSA e VOGT, 2011; FACHÍN-TERÁN *et al.*, 2006). A precipitação e o nível do rio também podem interferir diretamente no sucesso reprodutivo de *P. expansa*, como proposto por Simoncini *et al.* (2022). Portanto, variações ambientais podem explicar a redução no número de desovas na área estudada em 2021. As altas taxas de ovos não eclodidos e filhotes mortos, que resultaram no baixo sucesso de eclosão, estão diretamente relacionadas às cheias repentinas, que alagaram parcialmente ou totalmente os ninhos. Pela grande interferência de fatores ambientais na reprodução de *P. expansa*, não foi possível correlacionar efeitos deletérios na reprodução *P. expansa* induzidos pelas concentrações dos metais estudados.

5.2 Quantificação de metais

5.2.1 Fêmeas e filhotes

O chumbo não foi quantificado nas amostras biológicas. Tal fato poderia indicar a ausência deste elemento em fêmeas e filhotes de *P. expansa*, ou que o método de digestão utilizado não foi eficaz para esse metal. As concentrações de Ni no tecido hepático dos filhotes estavam abaixo dos limites de detecção e quantificação. Foi possível observar uma grande variação nas concentrações dos metais analisados nos diferentes tecidos de fêmeas e filhotes quando comparados com valores reportados para outros quelônios aquáticos, como o estudo de Burger *et al.* (2010). Estes autores quantificaram, no sangue, a concentração de Cd e Cr para quatro espécies de quelônios amazônicos (*P. erythrocephala*, *Podocnemis sextuberculata*, *Peltocephalus dumerilianus* e *Chelus fimbriata*). O

Cd apresentou valores inferiores aos encontrados no presente estudo para *P. expansa*. Já para o Cr, as concentrações apresentadas por Burger *et al.* (2010) foram superiores as que encontramos tanto no sangue das fêmeas quanto no sangue dos filhotes (ANEXO I).

No presente estudo, foi possível observar que no sangue das fêmeas de *P. expansa* os metais Al, Sn e Zn apresentaram concentrações mais elevadas, e os metais Cr, Cu, Mn e Ni concentrações inferiores, quando comparadas com a espécie *Phrynops geoffroanus* para a bacia do rio Piracicaba no estado de São Paulo (PIÑA *et al.*, 2009). O Cd no sangue das fêmeas de *P. expansa* capturadas no Araguaia foi superior apenas em uma das três localidades apresentadas por Piña *et al.*, (2009). Quando observamos as concentrações no sangue dos filhotes de *P. expansa*, os metais Al, Cd, Sn e Zn, apresentaram concentrações mais elevadas, enquanto os metais Cr, Cu, Mn e Ni apresentaram concentrações inferiores às apresentadas para *P. geoffroanus* (ANEXO I). O trabalho de Piña *et al.* (2009), aborda concentrações de metais em um ambiente que reflete inúmeras ações antrópicas, tais como: agricultura, urbanização e industrialização. Encontrar concentrações de metais superiores à ambientes altamente antropizados (e.g. Piña *et al.*, 2009) é extremamente preocupante, tendo em vista que nossa área de estudo está próxima a duas importantes unidades de conservação: o PEC (Parque Estadual do Cantão) e o PARNA (Parque Nacional do Araguaia).

Santos *et al.* (2021) quantificaram cinco metais (Al, Cd, Cr, Fe e Ni) no sangue de espécies da herpetofauna aquática (Crocodylia e Testudines) no reservatório Tapacurá (Pernambuco), e encontraram concentrações superiores no sangue de Crocodylia para todos os metais, quando comparadas às das fêmeas e filhotes de *P. expansa*. Para as concentrações em Testudines estudados por Santos *et al.* (2021), os metais Al, Cr, Fe e Ni foram superiores aos de *P. expansa*. Entretanto, no presente estudo, as concentrações de Cd foram mais elevadas em *P. expansa* em relação aos apresentados por Santos *et al.* (2021).

O ambiente marinho apresentar características físico-químicas diferentes dos ambientes fluviais, além de características fisiológicas únicas para os organismos que o habitam, dificultando comparações diretas, tanto das concentrações quanto do efeito toxicológicos nesses indivíduos. Entretanto, trabalhos realizados para *Chelonia mydas* ao longo da costa brasileira (AGOSTINHO *et al.*, 2020; PRIOSTE *et al.*, 2015) apresentaram valores mais elevados de metais no sangue, em relação aos encontrados para *P. expansa*, para Cd Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn (ANEXO I).

Quando comparamos as concentrações dos metais no fígado dos filhotes com outros estudos, tanto em répteis de ambientes fluviais quanto marinhos, foi observado uma grande variação em suas concentrações. O trabalho realizado por Frossard *et al.* (2021) com filhotes de *P. expansa* nos rios Araguaia e Crixás-açu no estado de Goiás, utilizou um conglomerado de tecidos (fígado,

rim e casco), para indicar as concentrações nos filhotes. Os metais (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Zn) estudados para os filhotes de *P. expansa* por Frossard *et al.* (2021) apresentaram valores superiores em relação aos encontrados no presente estudo, tanto para o tecido adiposo das fêmeas quanto para o tecido hepático dos filhotes. Entretanto, os filhotes do rio Araguaia (FROSSARD *et al.*, 2021) apresentaram concentrações de Sn entre 4,44 e 2,88 vezes inferiores às concentrações encontradas no tecido adiposo das fêmeas e tecido hepáticos dos filhotes no presente estudo (ANEXO II).

Quando comparamos trabalhos com quelônios de ambiente marinho, observamos que em sua maioria tendem a apresentar concentrações mais elevadas de metais em comparação com os valores que encontramos. A exemplo disso, Barbieri (2009) analisou a concentração de Cd, Cu, Mn e Ni, em filhotes e juvenis de *Chelonia mydas*, no litoral da Bahia, e todos os metais apresentaram valores mais elevados em relação aos encontrados no presente estudo para *P. expansa*. Macedo *et al.* (2015), também reportaram concentrações mais elevadas de Al, Cd, cobre, (Cu), Cr, Fe, Mn, Ni e Zn em indivíduos das espécies *C. mydas* e *Eretmochelys imbricata* no litoral do estado da Bahia. Destaca-se, também, os resultados apresentados para *C. mydas* no litoral do Rio de Janeiro (BRUNO *et al.*, 2021), onde relataram valores extremamente elevados para Al, Cd, cobre, (Cu), Fe, Mn, Ni e Zn. Concentrações de metais no fígado e no tecido adiposo de quatro espécies de tartarugas marinhas estudadas por Gardner *et al.* (2006) apresentaram valores mais elevados em relação aos encontrados para *P. expansa*, com exceção do manganês Mn (ANEXO II).

As concentrações de metais nos tecidos de fêmeas e filhotes de *P. expansa*, aparentemente, são inferiores aos apresentados para outros vertebrados de ambientes de água doce. Lima *et al.* (2015), apresentaram concentrações de Cd, cobre, (Cu), Cr e Zn para várias espécies de peixes de diferentes níveis tróficos no estado do Amapá. A maioria das espécies apresentou valores superiores aos de *P. expansa*, com exceção das espécies *Astyanax sp* e *Pygocentrus nattereri*, com concentrações inferiores de Cr, Cu e Zn. O estudo realizado com a espécie *Cyprinus carpio* em um reservatório no estado do Paraná, apresentou concentrações mais altas para os metais Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn no tecido muscular dessa espécie (VOIGT *et al.*, 2016). Concentrações elevadas para os metais Al, Cd e Cu, também foram relatadas em três espécies de peixes coletados na APA Rio Gelado, no estado do Pará (BARROS *et al.*, 2010) (ANEXO II).

No geral, os metais Al, Cd, Sn e Zn em *P. expansa* apresentaram concentrações elevadas em relação a outros trabalhos com répteis em ambientes com fortes interferências antrópicas. Relatar valores superiores a essas áreas é extremamente preocupante e gera inúmeros questionamentos sobre a origem, emissão e transporte desses metais entre os compartimentos abiótico e biótico, assim como os possíveis efeitos a médio-longo prazo para a biodiversidade no médio rio Araguaia. Destaca-se aqui, os metais Cd e Sn como prioritários para intensificar os esforços em conhecer os

efeitos toxicológicos nos organismos, assim como identificar e mitigar as fontes de emissão na área de estudo. O Cd é considerado um elemento altamente tóxico, sendo descrito como um dos metais mais perigosos, pois exerce efeitos deletérios sobre os rins, sistema esquelético, sistema respiratório e alto potencial carcinogênico (BAYRAMOGLU E ARICA, 2011; STRUMYLAITE *et al.*, 2011). Dentre as atividades antropogênicas que inserem Cd no ambiente, destacam-se as operações industriais, vazamentos de aterros sanitários e fertilizantes utilizados na agricultura. O Sn é um dos metais menos estudados no mundo. O levantamento realizado por Santos *et al.* (2021) apresentou 104 trabalhos que quantificaram metais em répteis em diferentes regiões no mundo, e apenas cinco reportaram concentrações para o Sn. Este metal possui diversas aplicações, sendo seu maior uso em tintas destinadas ao casco de embarcações para protegê-las da ação de organismos incrustantes, além de serem empregados como estabilizantes em plásticos e pesticidas (LINTELMAN, KATAYAMA E KURIHARA, 2003).

Os resultados do modelo hierárquico, que comparam as concentrações de metais entre as amostras (sangue e tecidos) e as grupos (fêmeas e filhotes), indicam que o Al, Cd, Fe, Sn e Zn estavam mais concentrados no sangue em ambos os grupos (Figuras 3A; 3B; 3E; 3H e 3I). Para os tecidos, observou-se que o Cr, Mn e Ni estavam mais presentes no tecido adiposo das fêmeas, e o Cu no fígado dos filhotes. A presença de metal pesado no sangue é um indicativo de que o animal foi submetido a algum tipo de exposição recente (GARCIA-FERNANDEZ, 1996) enquanto que a acumulação em tecidos moles, como o fígado, indica uma exposição em longo prazo (PEREZ-LOPEZ *et al.*, 2008). Portanto, podemos presumir que na área de estudo fêmeas e filhotes de *P. expansa* podem estar expostas à contaminações recentes e recorrentes. Portanto, torna-se necessário acompanhar e monitorar as concentrações dos metais Cr, Cu, Mn e Ni assim, como adotar medidas para identificar e mitigar as fontes de emissão desses metais na área de estudo.

As concentrações de metais que encontradas pode estar relacionada com a disponibilidade natural destes elementos no solo (FERNANDES *et al.* 2018), assim como pela influência antrópica na região (e.g. agropecuária e mineração). Concomitante a este fator, observou-se que os metais Fe, Ni e Zn apresentaram concentrações mais elevadas nos filhotes (Figuras 3E; 3G e 3I), sendo um possível indicativo da transferência destes contaminantes do compartimento abiótico (sedimento) para o biótico (sangue e tecidos) durante o processo de incubação dos ovos, assim como observado por Frossard *et al.* (2021).

Com os resultados obtidos no presente estudo não é possível determinar ou afirmar uma relação direta das concentrações dos metais entre as fêmeas e filhotes, mas não podemos desconsiderar a hipótese da transferência materna somada à transferência do ambiente (e.g. água e sedimento do ninho), ambos reportados para répteis (FROSSARD *et al.*, 2021; LEMAIRE *et al.*, 2021; SINAIE e BOLOUKI, 2017). Portanto, se torna essencial que futuros estudos na mesma área

testem essa hipótese de transferência de contaminantes, entre fêmeas e filhotes, assim como a transferência pelo ambiente.

5.2.2 Biometria e Metais

Contrariamente a outros estudos realizados para tartarugas marinhas que reportaram uma relação entre o tamanho corporal e a concentração média de determinados metais (FRANZELLITTI *et al.*, 2004; GARCÍA-Fernández *et al.*, 2009; JEREZ *et al.*, 2010; MAFFUCCI *et al.*, 2005;), não foi encontrada qualquer relação entre as concentrações dos metais e os aspectos biométricos (Ccar, massa e ICC) das fêmeas de *P. expansa*. Apesar dos aspectos biométricos em répteis estarem intimamente ligados ao tempo de vida desses indivíduos, aparentemente, as concentrações não estão relacionadas com o tempo de exposição (acumulação), mas sim com os níveis de concentrações presentes nos diferentes ambientes frequentado pela espécie.

5.3 Análise genotóxica - teste de micronúcleo

A concentração de micronúcleos (média de 11,55‰) presente nas células sanguíneas de fêmeas de *P. expansa* foram semelhantes aos reportados em outros trabalhos com Testudines: Frossard *et al.* (2021) encontrou valores entre 10‰ e 15‰ em filhotes de *P. expansa*; Hernández-Guzmán *et al.* (2015) 15‰ para *Kinosternon leucostomum*. No entanto, os mesmos valores encontrados em *P. expansa* foram superiores aos descritos por Frossard *et al.* (2020), com 1,3‰ em filhotes de *Chelonia mydas* e Moron *et al.* (2019), que reportou valores de 0,23 e 0,28‰ para *P. expansa* no rio Javaés, nas proximidades da região do médio Araguaia. Os valores de micronúcleo encontrados neste estudo foram superiores aos reportados para outros vertebrados, como: anfíbios (0,982‰: JOSENDE *et al.*, 2014; 1,42‰: POLLO *et al.*, 2016), peixes marinhos (6,25‰: MAJONE *et al.*, 1987); lagartos (0,95 ‰: SCHAUMBURG *et al.*, 2012). A grande quantidade de micronúcleos observados no sangue das fêmeas de *P. expansa* é um forte indicativo de possíveis efeitos de degeneração celular da toxicidade causada por contaminantes presentes na área de estudo. O dano genotóxico tem sido associado à carcinogênese, efeitos deletérios sobre a reprodução e longevidade de seres vivos (THEODORAKIS, 2000).

Não foi encontrada relação entre o grupo de metais e a frequência de micronúcleos presentes no sangue das fêmeas (Figura 5). No entanto, quando observados individualmente, alguns metais (Cr, Sn e Zn) apresentaram correlação positiva entre essas variáveis, mesmo que o modelo não tenha confirmado essa hipótese de correlação. A alta frequência de micronúcleos presente no sangue *P. expansa*, também, pode estar relacionada à interação química dos metais analisados com outros metais não quantificados, ou até mesmo outros tipos de contaminantes presentes na área de estudo. Talvez a possível interação entre diferentes metais, ou com outras substâncias químicas, possa resultar em uma soma de efeitos tóxicos, influenciando as frequências de micronúcleos, assim

como foi observado e proposto por Frossard *et al.* (2021).

Foi possível identificar uma relação entre os valores biométricos (Ccar) e a frequência de micronúcleos (Figura 6A), corroborando com a hipótese de efeitos genotóxicos cumulativos em indivíduos maiores (ou mais velhos). Como houve relação entre o tamanho e a frequência de micronúcleo, pode-se inferir que as altas frequências de micronúcleo estão relacionadas com o tempo de exposição à algum tipo de contaminação, sendo um possível indicativo da presença de altas concentrações de contaminantes no ambiente, ou até mesmo de contaminantes como uma alta capacidade de provocar efeitos deletérios nos seres vivos.

5.4 Sedimentos dos ninhos

As concentrações de Al, Cr, Fe, Mn e Ni presentes nos sedimentos dos ninhos de *P. expansa* apresentaram grande variação em relação aos valores apresentados para sedimentos de diferentes localidades do Brasil. Os metais Al, Cr e Fe encontrados nos sedimentos dos ninhos do presente estudo apresentaram valores superiores em relação às concentrações dos ninhos da mesma espécie para os rios Araguaia e Crixás-açu (FROSSARD *et al.*, 2021; ANEXO III).

As concentrações de Al e Fe encontradas no sedimento dos ninhos de *P. expansa* foram superiores aos apresentados por Guarda *et al.* (2021) para solos no rio Formoso, que compreende a bacia hidrográfica do rio Araguaia, no estado do Tocantins. Já os metais Cr, Mn e Pb apresentaram valores inferiores aos encontrados nos solos do rio Formoso. Os metais Cr, Mn e Ni apresentaram menor concentração em relação aos valores reportados para os rios Branco e Mariana no estado do Espírito Santo (CARMO *et al.*, 2011). Voigt *et al.* (2016) apresentou valores de Cr Mn, Ni e Pb superiores ao que encontramos no sedimento dos ninhos de *P. expansa*. Entretanto, os metais Al e Fe, foram mais concentrados nos sedimentos dos ninhos, em relação aos valores apresentados no reservatório de Alagados estado do Paraná (VOIGT *et al.*, 2016).

Conforme resolução 420/2009 do Conama, os VRQs (Valor de Referência de Qualidade) podem ser definidos a partir dos percentis 75 e 90. Sendo que percentis de 75 representam valores com maior segurança e menor risco à saúde dos animais e das plantas, já os valores de percentis 90 representam menor segurança e maior risco aos seres vivos. Comparando as concentrações encontradas no sedimento dos ninhos com os valores apresentados de VRQ para o estado do Pará (FERNANDES *et al.*, 2011). Os metais Al, Fe e Mn, apresentaram valores bem inferiores ao VRQ75. O metal Cr apresentou concentrações entre os valores do VRQ75 e VRQ90, e os metais Ni e Pb apresentaram valores muito próximos ao limite do VRQ75 (ANEXO III).

Segundo Fernandes *et al.* (2011), os valores de VRQ definidos para o estado do Pará estão entre os mais baixos comparados com outras regiões do Brasil. O mesmo foi observado para o

sedimento dos ninhos de *P. expansa*, que apresentaram valores inferiores em comparação com estudos de diversas localidades do país. Entretanto, os metais Al, Cr e Fe apresentaram valores superiores aos encontrados em dois trabalhos na mesma bacia hidrográfica (FROSSARD *et al.*, 2021; GUARDA *et al.*, 2021), porém, à montante da nossa área de estudo. Esse fator pode ser um indicativo do acúmulo desses metais ou ao aumento da emissão dos mesmos ao longo de toda a bacia hidrográfica do rio Araguaia, impulsionado pelo aumento da urbanização e produção agrícola na região Norte.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os metais apresentaram maiores concentrações no sangue em relação aos tecidos de fêmeas e filhotes. Entretanto, os metais com maior concentração nos tecidos são, também, àqueles que possuem uma maior capacidade de causar efeitos deletérios. O Cd, apesar de não estar dentre os metais com as maiores concentrações que analisamos, seus níveis são superiores aos encontrados em outros vertebrados de ambientes fluviais conservados e contaminados; com isso, torna-se essencial o monitoramento deste metal no longo prazo, tendo em vista que altas concentrações trazem efeitos deletérios aos organismos. Os metais Fe, Ni apresentaram concentrações mais elevadas em filhotes, tornando-se um indicativo da transferência destes do compartimento abiótico (sedimento ou água) para o compartimento biótico (organismos).

Os resultados genotóxicos (MN) indicam uma alta frequência de dano genético em *P. expansa*, e que está relacionada ao tamanho dos indivíduos, apesar da impossibilidade identificar a origem direta ou associar esse dano ao material genético à concentração dos metais presentes neste estudo. Entretanto, a alta frequência de dano genético em *P. expansa* é indicativo de uma possível contaminação na área de estudo por algum metal não analisado aqui, ou até mesmo por outros poluentes oriundos da agricultura e urbanização que ocorrem ao longo da bacia.

Os metais presentes no sedimento, em sua maioria, apresentaram valores inferiores em comparação com outras áreas do país. Entretanto, os metais Al, Cr e Fe apresentaram um aumento de suas concentrações ao longo da bacia hidrográfica do Araguaia, o que é preocupante, pois indica um possível aumento na emissão/acúmulo desses metais. O metal Mn apresentou correlação positiva entre o sedimento e o fígado dos filhotes, e esse resultado contribui para a hipótese de transferência de metais dos sedimentos para os filhotes.

Os resultados são preliminares, e a futura quantificação de metais em ovos, juvenis e machos da espécie se torna imprescindível, pois, poderão elucidar a real interação desses metais com as populações na área de estudo, apontando possíveis efeitos deletérios a saúde e reprodução desses indivíduos. Estudos que apresentam valores de concentração de contaminantes em organismos vivos e no meio ambiente, são de extrema importância para compreender os efeitos da contaminação ambiental, que podem causar efeitos deletérios em todos os seres vivos, incluindo as populações humanas, pois depende diretamente do meio ambiente para sua sobrevivência. Por fim, podemos concluir que *P. expansa*, pode ser considerada como bioindicador na avaliação de riscos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, K. F. F.; LACERDA, D.; TOSTES, E. C. L.; BALDASSIN, P.; DI BENEDETTO, A. P. M.; CARVALHO, C. E. V. Trace elements in green turtles (*Chelonia mydas*) from Rocas Atoll, NE Brazil: Baseline reference from a pristine nesting site. **Marine Pollution Bulletin**, v. 157, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111271>
- ALHO, C. J. & PÁDUA, L. F. 1982. Reproductive parameters and nesting behavior of the Amazon turtle *Podocnemis expansa* (Testudinata: Pelomedusidae) in Brazil. **Canadian Journal of Zoology** 60(1):97-103.
- AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; FILHO, E. E. S. Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n.1, p.43-54, 2009.
- ARRAES, D. R. S.; CUNHA, H. F. A.; TAVARES-DIAS, M. Anthropogenic impacts on yellow-spotted river turtle *Podocnemis unifilis* (Reptilia: Podocnemididae) from the Brazilian Amazon. **Acta biol. Colomb.** v.21, n. 2, p.413-421, 2016.
- BARBIERI, E. Concentration of heavy metals in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) sampled in the cananéia estuary, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, 2009.
- BARROS, B. C. V.; PINHEIRO, S. F.; PALHETA, D. C.; SILVA, C. S. Cd, Cr, and Al Determination in fish tissue from Gelado River/ APA, Carajás-PA Forest. **Holos Environment**, v. 10, n. 2, p. 195, 2010.
- BAYRAMOGLU, G.; ARICA, M. Y. Preparation of a composite biosorbent using *Scenedesmus quadricauda* biomass and alginate/polyvinyl alcohol for removal of Cu (II) and Cd (II) ions: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. **Water, Air, Soil and Pollution**, v. 221, n. 1, p. 391-403, abr. 2011.
- BRUNO, D. D. A.; WILLMER, I. Q.; PEREIRA L. H. S. D. S.; ROCHA, R. C. C.; SAINT'PIERRE, T. D.; BALDASSIN, P.; SCARELLI, A. C. S.; TADEU A. D.; CORREIA, F. V.; SAGGIORO, E. M.; LEMOS, L. S.; SICILIANO, S.; HAUSER-DAVIS, R. A. Metal and Metalloid Contamination in Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) Found Stranded in Southeastern Brazil. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, 2021. [https://doi:10.3389/fmars.2021.608253](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.608253)

- BULTÉ, G.; VERLY, C.; DERMES, G. B. An Improved Blood Sampling Technique for Hatchling Emydid Turtles. **Herpetological Review**, v. 37, n. 3, p. 318–319, 2006.
- BURGER, J.; CAMPBELL, K.R.; CAMPBELL T.S.; SHUKLA, T.; JEITNER, C.; GOCHFELD, M. Use of Skin and Blood as Nonlethal Indicators of Heavy Metal Contamination in Northern Water Snakes (*Nerodia sipedon*). **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** v. 49, 2005.
- BURGER, J.; JEITNER, C.; SCHNEIDER, L.; VOGT, R.; GOCHFELD, M. Arsenic, Cadmium, Chromium, Lead, Mercury, and Selenium levels in Blood of four Species of Turtles from the Amazon in Brazil. **Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A**, v. 73, p. 33–40, 2010. [https://DOI: 10.1080/15287390903248877](https://doi.org/10.1080/15287390903248877)
- CAMACHO, M.; BOADA, L. D.; ORÓS, J.; LÓPEZ, P.; ZUMBADO, M.; ALMEIDAGONZÁLEZ, M.; LUZARDO, O. P. Monitoring organic and inorganic pollutants in juvenile live sea turtles: results from a study of *Chelonia mydas* and *Eretmochelys imbricata* in Cape Verde. **Science of the Total Environment**, v. 481, p. 303-310, 2014.
- CAMPOS, Z.; MAGNUSSON, W. Relationships between rainfall, nesting habitat and fecundity of Caiman crocodilus yacare in the Pantanal, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, p. 353-358, 1995.
- CARNEIRO, C. C. **Influência do ambiente de nidificação sobre taxa de eclosão, duração da incubação e a determinação sexual em Podocnemis (Reptilia, Podocnemididae) no Tabuleiro do Embaubal Rio Xingú.** Belém: Universidade Federal do Pará, 2012. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <<http://200.239.66.58/jspui/handle/2011/6025>>.
- CARNEIRO, F.F.; RIGOTTO, R.M.; AUGUSTO, L.G.S; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A.C.; organizadores. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Rio de Janeiro: EPSJV, São Paulo: Expressão Popular, 2015.
- CASTAÑO, G. V.; CABAGNA ZENKLUSEN, M.; PRIETO, Y.; MANZANO, A. S. Analysis of genotoxicity in erythrocytes of turtles (*Phrynops hilarii*) from anthropized and natural sites of Entre Ríos, Argentina. **BAG, Journal of basic and applied genetics**, v. 31, n. 1, p. 15-22, 2020.
- CHAPMAN, P. M. Integrating toxicology and ecology: putting the "eco" into ecotoxicology. **Marine Pollution Bulletin**, v.44, n. 1, p.7-15. 2002.

- CONCEIÇÃO, G. **Distribuição de elementos-traço em sedimentos superficiais do Rio Itajaí-Mirim em Santa Catarina**. 2004. 108p. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional de Blumenau, Programa de PósGraduação em Engenharia Ambiental, Blumenau-SC, 2004.
- COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPÍNDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.
- CRUZ, F. B.; TEISAIRE, E.; NIETO, L.; ROLDÁN, A. Reproductive biology of *Teius teyou* (Squamata:Teiidae), in the semiarid chaco, Salta, Argentina. **Journal of Herpetology**, v. 33, p. 420-29, 1999.
- CRUZ, J. V. B.; DOS SANTOS, É. P.; DE JESUS SILVA, N.; LIMA, F. L. O.; MARTINELLI, P. P. & DE VASCONCELLOS NETO, J. R. T. Influência dos metais pesados no acometimento do câncer: Uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 10 n. 6, 2021.
- DA SILVA, C. C.; KLEIN, R. D.; BARCAROLLI, I. F.; BIANCHINI, A. Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomas in juvenile female green sea turtles *Chelonia mydas* from the southern Atlantic Ocean. **Aquatic Toxicology**, v. 170, 2016.
- DE LA OSSA, J. R. C.; VOGT, R. C. Ecología poblacional de *Peltecephalus dumerilianus* (Testudines, Podocnemididae) en dos tributarios del río Negro, Amazonas, Brasil. **Inter-ciencia**, v. 36, n. 1, p. 53-58, 2011.
- DIRZO, R.; *et al.* Defaunation no Antropoceno, **Science**, v. 345, n. 6195, p. 401-406, 2014.
- DOS SANTOS, D. I. P., DA COSTA, F. S., DO NASCIMENTO, Í. R., MACIEL, H. M., & DA SILVA, V. V. A crise ambiental e o capitalismo contemporâneo: uma reflexão a partir de comunidades rurais amazônicas. **Terceira Margem Amazônia**, v. 3 n. 10, 2018.
- DUPRE, A.; DEVAUX, B. BONIN, F. **Turtles of the World**. A & C Black Publishers Ltd, London, 416 p, 2007.
- DUPRE, A.; DEVAUX, B. BONIN, F. **Turtles of the World**. A & C Black Publishers Ltd, London, 416 p, 2007.

- FACHÍN-TERÁN, A.; VOGT, R. C.; THORBJARNARSON, J. B. Seasonal movements of *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae) in the Mamirauá Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 5, n. 1, p. 18-24, 2006.
- FAGUNDES, C. K.; FATH, F.; CÔRTEZ, L. G.; UHLIG, V.; ANDRADE, P. C. M.; VOGT, R. C.; JÚNIOR, P. D. M. A large-scale analysis of threats to the nesting sites of *Podocnemis* species and the effectiveness of the coverage of these areas by the Brazilian Action Plan for Amazon Turtle Conservation. **Journal for Nature Conservation**, v. 61, p. 125-97, 2021.
- FRANZELLITTI, S., LOCATELLI, C., GEROSA, G., VALLINI, C., FABBRI, E. Heavy metals in tissues of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the northwestern Adriatic Sea. **Comp. Biochem. Physiol. C-Pharmacology, Toxicol. Endocrinol.** v. 138 p.187–194, 2004.
- FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutation Research**, v. 455, n. 1-2, p. 81–95, 2000.
- FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F.; BRAZ, M. A. S. Valores de referência de qualidade de metais pesados dos solos da Amazônia Oriental. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2011. Uberlandia-MG.
- FERRARA CR, FAGUNDES CK, MORCATTY TQ, VOGT RC, 2017 **Quelônios Amazônicos**, Guia de identificação e distribuição. MANAUS, AM., 182p.
- FERRARO, M. V. M.; FENOCCHIO, A. S.; RIBEIRO, M. S. M. C. O.; CESTARI, M. M. Mutagenic effects of tributyltin and inorganic lead (Pb II) on the fish *H. malabaricus* as evaluated using the comet assay and the piscine micronucleus and chromosome aberration tests. **Genetics and Molecular Biology**, v. 27, n. 1, p. 103-107, 2004.
- FERREIRA JÚNIOR, P. D.; CASTRO, P. T. A. Ecologia reprodutiva de *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812) e *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848) (Testudines, Podocnemididae) no Rio Javaés, Brasil. **Brazilian Journal of Biology** v. 70 n. 1, 2010.
- FERREIRA JUNIOR, P. D.; CASTRO, P. T. A. Geological control of *Podocnemis expansa* and *Podocnemis unifilis* nesting areas in Rio Javaés, Bananal Island, Brazil. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 3, p. 445-468, 2003.

- FORERO-MEDINA, G.; FERRARA, C. R.; VOGT, R. C.; FAGUNDES, C. K.; BALESTRA, R. A. M.; ANDRADE, P. C.; HORNE, B. D. On the future of the giant South American river turtle *Podocnemis expansa*. **Oryx**, v. 55, n. 1, p. 73-80, 2021.
- FROSSARD A, VIEIRA L. V.; CARNEIRO M. T. W. D.; GOMES L. C.; CHIPPARI-GOMES A. R. Accumulation of trace metals in eggs and hatchlings of *Chelonia mydas*. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 62, 2020.
- FROSSARD, A.; COPPO, G. C.; LOURENÇO, A. T.; HERINGER, O. A.; CHIPPARI-GOMES, A. R. Metal bioaccumulation and its genotoxic effects on eggs and hatchlings of giant Amazon River turtle (*Podocnemis expansa*). **Ecotoxicology**, v. 30, n. 4, p. 643-657, 2021.
- GARCIA-FERNANDEZ, A.J., SANCHEZ-GARCIA, J.A., GO MEZ-ZAPATA, M., LUNA, A. Distribution of cadmium in blood and tissues of wild birds. **Archives of Environmental Contamination Toxicology**, v.30, p. 252–258 1996.
- GARCÍA-FERNÁNDEZ, A.J., GÓMEZ-RAMÍREZ, P., MARTÍNEZ-LÓPEZ, E., HERNÁNDEZ-GARCÍA, A., MARÍA-MOJICA, P., ROMERO, D., JIMÉNEZ, P., CASTILLO, J.J., BELLIDO, J.J. (2009): Heavy metals in tissues from loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the southwestern Mediterranean (Spain). **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 72: 557–563.
- GARDNER, S. C., FITZGERALD, S. L., VARGAS, B. A., & RODRÍGUEZ, L. M. Heavy metal accumulation in four species of sea turtles from the Baja California peninsula, Mexico. **Biomaterials**, v.19 n. 1, 2006.
- GUARDA, P. M. **Concentrações de metais tóxicos em água, solo e sedimento do rio Formoso, TO**. Tese de doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte, Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO, 2020.
- GUIRLET, E.; DAS, K.; THOMÉ, J. P.; GIRONDOT, M. Maternal transfer of chlorinated contaminants in the leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, nesting in French Guiana. **Chemosphere**, v. 79, n. 1, p. 720-726, 2010.

- HERNÁNDEZ-GUZMÁN, J.; TRINIDAD, A. A.; ISLAS-JESÚS, R. E.; FRAIRE-VÁZQUEZ, A.; DE LA CRUZ-IZQUIERDO, R. I.; GARCÍA-GUZMÁN, N. C.; RUIZ, X. Cromosomas, lesión del adn y malformación nuclear en la tortuga dulceacuícola *kinosternon leucostomum* (testudines: kinosternidae). **The Biologist**, v. 13 n. 2, 2015.
- HERRERA, Q. V. H.; BAENA, P. J. Niveles sanguíneos de biomarcadores de daño genético en eritrocitos de *Lepidochelys olivacea* (Cheloniidae) en Colombia. **Acta Biologica Colombiana**, v. 22, n. 3, p. 322-330, 2017.
- IBAMA. **Manejo Conservacionista e Monitoramento Populacional de Quelônios Amazônicos**. Brasília, 2016.
- JEREZ, S., MOTAS, M., CÁNOVAS, R.Á., TALAVERA, J., ALMELA, R.M., RÍO, A.B. Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. **Chemosphere** **78**: 256–264.
- JOSENDE, M. E.; TOZETTI, M. T.; AKAKAN, M. T.; FILHO, V. M.; XIMENEZ, S. S.; SILVA-JUNIOR, M. R.; MARTINS, S. E. Genotoxic evaluation in two amphibian species from Brazilian subtropical wetlands. **Ecological Indicators**, v. 49, 2015.
- KLEMENS, M. W.; THORBJARNARSON J. B. Reptiles as a food resource. **Biodiversity and Conservation**, v. 4(3), p. 281-298, 1995.
- KLEMENS, M. W.; THORBJARNARSON J. B. Reptiles as a food resource. **Biodiversity and Conservation**, v. 4(3), p. 281-298, 1995.
- LATRUBESSE, E.; STEVAUX, J. C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia, Brasil central. **Geociências-UNG**, v. 5, n. 1, p. 65-73, 2006.
- LEMAIRE, J.; MARQUIS, O.; BUSTAMANTE, P.; MANGIONE, R.; BRISCHOUX, F. I got it from my mother: Inter-nest variation of mercury concentration in neonate Smooth-fronted Caiman (*Paleosuchus trigonatus*) suggest maternal transfer and possible phenotypical effects. **Environmental Research**, v. 194, n. 110494, p. 1-6, 2021.
- LEWIS S.L.; MASLIN M.A. A transparent framework for defining the Anthropocene.

Anthropocene Review, v. 2, p. 128-146, 2015.

LINTELMANN, J.; KATAYAMA, A.; KURIHARA, N.; SHORE, L.; WENZEL, A. Endocrine disruptors in the environment (Iupac Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 75, n.5, p.631–681, 2003.

LIMA, D. P.; SANTOS, C.; SILVA, R. S.; YOSHIOKA, E. T. O.; BEZERRA, R. M. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 4, p. 405 – 414, 2015.

M. S. C. S. LIMA, C. A. SANTOS-SOUSA, J. PEDERASSI, D. B. S. BARBOSA, J. M. FRAZÃO-SOBRINHOA, C. A. S. SOUZA, I. A. AMORIM, J. S. ANDRADE; A. N. G. ABREU-JÚNIOR. Phallus eversion sexing in *Phrynops geoffroanus* (Testudines: Chelidae): a new non-invasive approach. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p 1-6, 2021.

MACÊDO, G. R.; TARANTINO, T. B.; BARBOSA, I. S.; PIRES, T. T., ROSTAN, G.; GOLDBERG, D. W.; FRANKE, C. R. Trace elements distribution in hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) and green turtle (*Chelonia mydas*) tissues on the northern coast of Bahia, Brazil. **Marine Pollution Bulletin** v. 94, 2015.

MAFFUCCI, F., CAURANT, F., BUSTAMANTE, P., BENTIVEGNA, F. (2005): Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). **Chemosphere** 58: 535–542.

MAJONE, F.; BRUNETTI, R.; GOLLA, I.; LEVIS, A. G. Persistence of micronuclei in the marine mussel, *Mytilus galloprovincialis*, after treatment with mitomycin C. **Mutation Research**, n.191, 1987.

MALVASIO, A.; SOUZA, A. M.; SCHLENZ, E.; SALERA JÚNIOR, G.; SAMPAIO, F. A. A. Influência da manipulação dos ovos no sucesso das eclosões e no padrão normal de escutelação do casco em *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812) e *P. unifilis* (Troschel, 1848) (Testudines, Pelomedusidae). **Publicações avulsas do Instituto Pau Brasil de História Natural**, São Paulo - SP, v. 8, p. 39-52, 2005.

MCFADDEN, K. W.; GOMÉZ, A.; STERLING, E. J.; NARO-MACIEL, E. Potential impacts of

historical disturbance on green turtle health in the technique protected marine ecosystem of Palmyra Atoll (Central Pacific). **Marine pollution bulletin**, v. 89, 2014.

MOSQUERA-MARTÍNEZ, Y. **Concentración de mercurio total (hg-t) de *Trachemys c. callirostris* en las cuencas de los ríos sinú y san jorge, en el departamento de Córdoba, Colombia**. 2017. Tesis de Maestría. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2017.

MORON, S. E.; LIMA, L. B. D.; VIEIRA, L. P. L.; BENEVIDES, P. M.; ANDRADE, R. L. T. Monitoramento e caracterização da qualidade da água do rio javaés. **BIODIVERSIDADE NA REGIÃO DA ILHA DO BANANAL/CANTÃO**, p. 31-44, 2019.

MUÑOZ, C. C.; VERMEIREN, P. Profiles of environmental contaminants in hawksbill turtle egg yolks reflect local to distant pollution sources among nesting beaches in the Yucatán Peninsula, Mexico. **Marine Environmental Research**, v. 135, n. 1, p. 43-54, 2018.

PAUL-CHRISTIAN BÜRKNER. brms: An R Package for Bayesian Multilevel Models Using Stan. **Journal of Statistical Software**, v. 80, n. 1, p. 1-28, 2017. <https://doi:10.18637/jss.v080.i01>.

PAUL-CHRISTIAN BÜRKNER. Advanced Bayesian Multilevel Modeling with the R Package brms. **The R Journal**, v. 10, n. 1, p. 395-411, 2018. <https://doi:10.32614/RJ-2018-017>.

PAUL-CHRISTIAN BÜRKNER. Bayesian Item Response Modeling in R with brms and Stan. **Journal of Statistical Software**, v. 100, n. 5, p. 1-54, 2021. <https://doi:10.18637/jss.v100.i05>

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., AND MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 4, p. 439–473, 2007.

PEREZ-LOPEZ, M., MENDONZA, M.H., BECEIRO, A.L., RODRIGUEZ, F.S. Heavy metal (Cd, Pb, Zn) and metalloid (As) content in raptor species from Galicia (NW Spain). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 70, p. 154–162, 2008.

PEZZUTI, J. C. B.; LIMA, J. P.; SILVA, D. F.; BEGOSSI, A. Uses and taboos of turtles and tortoises along Rio Negro, Amazon Basin. **BioOne**, v. 30-1, p. 153–168, 2010.

PEZZUTI, J. C. B.; LIMA, J. P.; SILVA, D. F.; BEGOSSI, A. Uses and taboos of turtles and tortoises along Rio Negro, Amazon Basin. **BioOne**, v. 30-1, p. 153–168, 2010.

PIGNATI, M.T, COSTA DE SOUZA, L., DE ALCÂNTARA MENDES, R., DE OLIVEIRA LIMA, M., ANTONIO PIGNATI, W., & CARLOS BRITO PEZZUTI, J. Levels of organochlorine pesticides in Amazon turtle (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River, Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 53, n. 12, p. 810-816, 2018.

PIÑA, C. I.; LANCE, V. A.; FERRONATO, B. O.; GUARDIA, I.; MARQUES, T. S.; VERDADE, L. M. Heavy Metal Contamination in *Phrynops geoffroanus* (Schweigger, 1812) (Testudines: Chelidae) in a River Basin, São Paulo, Brazil. **Bull Environ Contam Toxicol**, v. 83, p. 771–775, 2009. [https://DOI 10.1007/s00128-009-9866-6](https://doi.org/10.1007/s00128-009-9866-6)

POLLO, F. E.; GRENAT, P. R.; OTERO, M. A.; SALAS, N. E.; MARTINO, A. L. Assessment in situ of genotoxicity in tadpoles and adults of frog *Hypsiboas cordobae* (Barrio 1965) inhabiting aquatic ecosystems associated to fluorite mine. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 133, 2016.

PORTELINHA, T. C. G.; MALVASIO, A.; PINA, C. I.; BERTOLUCI, J. Population Structure of *Podocnemis expansa* (Testudines: Podocnemididae) in Southern Brazilian Amazon. **Copeia**, 4, 707-715, 2014.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J.B. **A Vida dos Vertebrados: Os Diapsida da Era Mesozóica: Dinosauria, Crocodylia e Aves.** São Paulo: Atheneu, 2006. Cap. 16, p. 388-434.

PRIOSTE, F. E. S.; SOUZA, V. C. O.; QUEIROZ, M. R.; DI CHIACCHIO, R. G.; BARBOSA JR, F.; MATUSHIMA, E. R. Chemical Element Concentrations in the Blood of Green Turtles (*Chelonia mydas*) Captured at Fernando De Noronha Marine National Park, Brazil. **Journal of Environmental e Analytical Toxicology**, v. 5, 2015.

R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

ROHDE, G. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto–4ª ed.** Oficina de Textos, 2013.

- RUEDA-ALMONACID, J.V., J. L. Carr, R. A. Mittermeier, J. V. Rodríguez-Mahecha, R. B. Mast; R. C. Vogt, A. G. J. Rhodin, J. de la Ossa-Velásquez, J. N. Rueda & C. G. Mittermeier. **Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico**. Bogotá, Colombia: Panamericana, 2007.
- SALERA-Jr., G., PORTELINHA, T.C.G. & MALVASIO, A. Predation on adult females of *Podocnemis expansa* Schweigger (Testudines, Podocnemididae) by *Panthera onca* Linnaeus (Carnivora, Felidae), in Tocantins State. **Biota Neotropical.**, v.9 n.3, 2009.
- SANTOS, A. L. Q. *et al.* Proteinograma sérico de Tartarugas-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*, Schweigger – 1812) - Testudines, Podocnemididae. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 16, 2011.
- SANTOS, R. L.; CORREIA, J. M. S.; SANTOS, E. M. Freshwater aquatic reptiles (Testudines and Crocodylia) as biomonitor models in assessing environmental contamination by inorganic elements and the main analytical techniques used: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 498, 2021.
- SANTOS, R. L.; CORREIA, J. M. S.; PAIM, A. P. S.; DA SILVA SELVA DE OLIVEIRA, L. L.; DINIZ, G. T. N.; SANTOS, E. M. Metallic elements in aquatic herpetofauna (Crocodylia; Testudines) from a lentic Atlantic rainforest environment in northeastern Brazil. **Environ Monit Assess**, v. 193, n. 314, 2021.
- SCHAUMBURG, L. G.; POLETTA, G. L.; SIROSKI, P. A.; MUDRY, M. D. Baseline values of Micronuclei and Comet Assay in the lizard *Tupinambis merianae* (Teiidae, Squamata). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 84, 2012.
- SCHNEIDER, L.; BELGER, L.; BURGER, J.; VOGT, R. C. Mercury bioaccumulation in four tissues of *Podocnemis erythrocephala* (Podocnemididae: Testudines) as a function of water parameters. **Science of the Total Environment**, v. 407(3), p.1048-1054. 2009.
- SIMONCINI, M. S.; SOUSA, H. C.; PORTELINHA, T. C. G.; FALCON, G. B.; COLLICCHIO, E.; BALESTRA, R. A. M.; LUZ, V. L. F.; COLLI, G. R.; MALVASIO, A. "Hydrological Effects on the Reproduction of the Giant South American River Turtle *Podocnemis expansa* (Testudines: Podocnemididae)," **Ichthyology & Herpetology**, v.110, n.3, p.547-560, 2022. <https://doi.org/10.1643/h2020152>
- SINAEI M.; BOLOUKI M. Metals in blood and eggs of green sea turtles (*Chelonia mydas*) from

nesting colonies of the northern coast of the sea of Oman. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 73, n. 4, p. 552-561, 2017.

SISINNO, C. L. S.; & OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios de toxicologia ambiental**. Digitaliza Conteúdo, (2021).

STRUMYLAITE, L. *et al.* Cadmium concentration in biological media of breastcancer patients. **Breast Cancer Research and Treatment**, v. 125, n. 2, p. 517, jan. 2011.

THEODORAKIS C. W.; SWARTZ C. D.; ROGERS W. J.; BICKHAM J. W.; DONNELLY K. C.; ADAMS S. M. Relação entre genotoxicidade, mutagenicidade e estrutura da comunidade de peixes em um rio contaminado. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, 2000.

TRUHAUT, R. Ecotoxicology: Objectives, Principles and Perspectives. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 1, n. 2, p. 151-173, 1977.

U.S. EPA. 1996. “**Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils**,” Revision 2. Washington, DC.

VOGT, R. C. **Tartarugas da Amazônia**. Lima, Peru, 2008. 104 p.

VOIGT, C. L.; SILVA, C. P.; CAMPOS, S. X. Avaliação da bioacumulação de metais em *Cyprinus carpio* pela interação com sedimento e água de reservatório. **Química Nova**, v. 39, n. 2, p. 180-188, 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160014>

ZAPATA, 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. **Ecotoxicol Environ Safety**, v. 127, n. 108-116, p. 108–116, 201

ANEXOS

ANEXO I - SANGUE

Referência		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Sn	Zn
Este estudo	Fêmeas	0,02126	0,00035	0,00007	0,00043	0,00027	0,00037	0,00017	0,01879	0,02252
	Filhotes	0,01598	0,00053	0,00003	0,00016	0,00026	0,00039	0,00019	0,01731	0,02268
Burger <i>et al.</i> (2010)	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	-	0,00012	0,00549	-	-	-	-	-	-
Burger <i>et al.</i> (2010)	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	-	0,00001	0,00661	-	-	-	-	-	-
Burger <i>et al.</i> (2010)	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	-	0,00001	0,00469	-	-	-	-	-	-
Burger <i>et al.</i> (2010)	<i>Chelus fimbriata</i>	-	0,00001	0,00409	-	-	-	-	-	-
Piña <i>et al.</i> (2009)	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0,00892	0,00042	0,00101	0,21946	-	0,00445	0,00605	0,00060	0,21838
Piña <i>et al.</i> (2009)	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0,01113	0,00034	0,00075	0,11544	-	0,00351	0,00536	0,00060	0,11660
Piña <i>et al.</i> (2009)	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0,00938	0,00037	0,00110	0,13913	-	0,00492	0,00558	0,00057	0,14997
Santos <i>et al.</i> (2021)	Crocodylia	0,31800	0,07200	0,04800	-	13,436	-	0,07900	-	-
Santos <i>et al.</i> (2021)	Testudines	0,89300	0,01500	0,10600	-	11,820	-	0,13700	-	-
Prioste <i>et al.</i> (2015)	<i>Chelonia mydas</i> (PE)	-	0,00097	-	-	-	-	-	-	0,6
Prioste <i>et al.</i> (2015)	<i>Chelonia mydas</i> (CE)	-	0,00101	-	-	-	-	-	-	0,6619
Prioste <i>et al.</i> (2015)	<i>Chelonia mydas</i> (ES)	-	0,00056	-	-	-	-	-	-	0,8493
Prioste <i>et al.</i> (2015)	<i>Chelonia mydas</i> (SP)	-	0,00026	-	-	-	-	-	-	0,6630
Agostinho <i>et al.</i> (2020)	<i>Chelonia mydas</i> (Atol das Rocas)	-	0,0100	0,001	0,16300	40,110	0,009	0,00200	-	2,3120

ANEXO II - Tecidos

Referência		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Sn	Zn
Este estudo	Fêmeas	0,00127	0,00010	0,00035	0,00087	0,00010	0,00326	0,00081	0,00222	0,01025
	Filhotes	0,00590	0,00009	0,00011	0,00218	0,00004	0,00063	-	0,00114	0,00735
Frossard <i>et al.</i> (2021)	Filhote de <i>P.expansa</i> Rio Araguaia	1,000	0,00760	0,03000	0,80000	4,000	0,15000	-	0,00050	3,000
Frossard <i>et al.</i> (2021)	Filhote de <i>P.expansa</i> Rio Crixá-Açu	0,75000	0,00030	0,02000	0,10000	4,000	0,12000	-	0,00640	2,000
BARBIERI, (2009)	Adulto <i>Chelonia mydas</i>	-	0,09570	-	3,990	-	0,43200	0,02800	-	-
BARBIERI, (2009)	Juvenil <i>Chelonia mydas</i>	-	0,02790	-	2,070	-	0,48100	0,01300	-	-
MACEDO <i>et al.</i> (2015)	Fígado <i>C. mydas</i>	2,020	1,880	0,06000	3,670	454,200	0,87300	0,07900	-	13,200
MACEDO <i>et al.</i> (2015)	Fígado <i>E. imbricata</i>	8,550	2,010	0,06800	2,180	556,600	0,79700	0,07500	-	14,400
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Fígado <i>C. mydas</i>	-	3,300	-	60,40	14,350	0,06000	0,01000	-	62,910
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Fígado <i>Caretta caretta</i>	-	1,750	-	33,940	301,00	1,290	0,35000	-	69,140
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Fígado <i>L. olivacea</i>	-	17,890	-	36,730	731,00	0,10000	0,58000	-	47,140
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Fígado <i>E. imbricata</i>	-	0,49000	-	2,470	71,880	0,74000	2,480	-	25,890
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Adiposo <i>C. mydas</i>	-	0,00200	-	0,01000	2,630	0,00300	0,02000	-	48,820
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Adiposo <i>Caretta caretta</i>	-	0,50000	-	0,69000	1,330	1,820	0,17000	-	12,660
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Adiposo <i>L. olivacea</i>	-	0,69000	-	0,83000	27,910	2,100	0,03000	-	3,700
GARDNER <i>et al.</i> (2006)	Adiposo <i>E. imbricata</i>	-	0,43000	-	0,72000	11,140	2,530	-	-	42,390
BRUNO <i>et al.</i> (2021)	<i>C. mydas</i> Rio de Janeiro	532,10	2067,60	-	249,200	7315,30	107,10	0,03490	-	4382,4
LIMA <i>et al.</i> (2015)	<i>Astyanax sp</i>	-	0,00070	0,00020	0,00180	-	-	-	-	0,09990
LIMA <i>et al.</i> (2015)	<i>Pygocentrus nattereri</i>	-	0,00460	0,00530	0,00360	-	-	-	-	0,01820
LIMA <i>et al.</i> (2015)	<i>Curimata cyprinoides</i>	-	0,00080	0,00820	0,00680	-	-	-	-	0,02670
LIMA <i>et al.</i> (2015)	<i>Pimelodella cristata</i>	-	0,00060	0,01310	0,00470	-	-	-	-	0,04080
Voigt <i>et al.</i> (2016)	<i>Cyprinus carpio</i>	25,984	0,35700	-	3,732	241,131	0,29000	0,13000	-	33,856
Barros <i>et al.</i> (2010)	<i>Branquinha</i>	72,530	2,160	0,99000	-	-	-	-	-	-
Barros <i>et al.</i> (2010)	<i>Piranha</i>	62,630	1,740	0,6000	-	-	-	-	-	-
Barros <i>et al.</i> (2010)	<i>Tucunaré</i>	45,29	1,59	1,06	-	-	-	-	-	-

ANEXO III - sedimentos

Referência		Al	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb
Este estudo	Sedimentos Ninhos	92,358	1,455	361,851	2,400	0,185	0,464
Frossard <i>et al.</i> (2021)	Ninhos Rio Araguaia	4,345	0,029	18,468	0,213	-	0,028
Frossard <i>et al.</i> (2021)	Ninhos Rio Crixá-Açu	15,190	0,085	84,139	2,498	-	0,042
Carmo <i>et al.</i> (2011)	Rio branco	-	236,83	-	413,75	32,450	-
Carmo <i>et al.</i> (2011)	Rio Mariana	-	18,80	-	79,920	6,570	-
Voigt <i>et al.</i> 2016	Reservatório de Alagados-PR	7,544	4,018	5,308	33,639	2,765	6,593
Fernandes <i>et al.</i> (2011)	VRQ PARÁ 75	500,00	1,640	640,00	10,270	0,150	0,450
Fernandes <i>et al.</i> (2011)	VRQ PARÁ 90	740,00	3,580	780,00	22,650	0,520	0,640
Fernandes <i>et al.</i> (2011)	VRQ MT e RO 75	-	4,480	-	-	0,210	0,900
Fernandes <i>et al.</i> (2011)	VRQ MT e RO 90	-	5,910	-	-	0,320	1,270
Guarda <i>et al.</i> (2021)	Solos Rio Formoso-TO	17,500	42,380	16,270	260,77	-	14,920