



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM SAÚDE ÚNICA

**POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM
Oreochromis niloticus (TILÁPIAS) ORIUNDAS DO RESERVATÓRIO DE
TAPACURÁ: UMA ABORDAGEM EM SAÚDE ÚNICA**

REINALDO DE ARAÚJO SOUZA

Orientadora: Prof^ª. Dr^a Luciana de Oliveira Franco

Co-orientador: Prof. Dr. Geraldo Jorge Barbosa de Moura

Recife, outubro de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM SAÚDE ÚNICA

**POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM
Oreochromis niloticus (TILÁPIAS) ORIUNDAS DO RESERVATÓRIO DE
TAPACURÁ: UMA ABORDAGEM EM SAÚDE ÚNICA**

REINALDO DE ARAÚJO SOUZA

**Orientadora: Profa. Dra. Luciana de
Oliveira Franco**

**Coorientador: Prof. Dr. Geraldo
Jorge Barbosa de Moura**

A apresentação desse Trabalho de Conclusão de Curso é exigência do Programa de Mestrado Profissional em Saúde Única da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre Profissional.

Linha de pesquisa: Epidemiologia e Planejamento em Saúde

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

S719p Souza, Reinaldo de Araújo.
Potencial de contaminação por metais tóxicos em
Oreochromis niloticus (Tilápias) oriundas do
reservatório de Tapacurá: uma abordagem em
saúde única / Reinaldo de Araújo Souza. - Recife,
2024.

64 f.; il.

Orientador(a): Luciana de Oliveira Franco.

Co-orientador(a): Geraldo Jorge Barbosa de
Moura.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado
Profissional em Saúde Única, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Saúde. 2. Metais - Toxicologia. 3. Tilápia do
Nilo. 4. Contaminação 5. Peixes - Efeito
da poluição da água. I. Franco, Luciana de Oliveira,
orient. II. Moura, Geraldo Jorge Barbosa de,
coorient. III. Título

CDD 614

BANCA EXAMINADORA

**POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM
Oreochromis niloticus (TILÁPIAS) ORIUNDAS DO RESERVATÓRIO DE
TAPACURÁ: UMA ABORDAGEM EM SAÚDE ÚNICA**

Prof^a. Dr^a. Luciana de Oliveira Franco
Programa de Mestrado Profissional em Saúde Única - PMPSU
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Presidente

Prof^a. Dr^a. Andrea Paiva Botelho Lapenda de Moura
Programa de Mestrado Profissional em Saúde Única - PMPSU
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Titular 1

Prof^a. Dr^a. Taciana de Amorim Silva
Departamento de Biologia
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Titular 2

Recife, 08 de outubro de 2024

AGRADECIMENTOS

No íntimo do meu ser considero que a gratidão é uma forma de conseguir fazer a vida prosperar em todos os seus sentidos. Dessa forma, agradeço primeiro a Deus como uma força maior regente dos resultados obtidos no decorrer da minha vida até o momento. Agradeço, em especial, a minha mãe dona Rosa e ao meu pai seu Severino pelos ensinamentos de vida que me deram. Agradeço ainda, de forma muito especial a minha esposa Edjane Lima, por todo apoio que me deu durante essa jornada. Agradeço também aos meus irmãos, irmãs e toda a minha família pelo que representam enquanto pessoas. Agradeço com um enorme carinho a minha orientadora, Prof^ª. Dr^ª Luciana de Oliveira Franco pela paciência e os seus ensinamentos. Muito obrigado, professora, foi muito prazeroso trabalhar com você, agradeço também com bastante carinho ao meu coorientador Prof^º. Dr^º Geraldo Barbosa de Moura. Como não agradecer ao Prof^º. Dr^º Pierre Castro, obrigado professor por tudo que me ensinou em laboratório, agradeço muito ainda a equipe de trabalho da Estação Ecológica de Tapacurá, desde os vigilantes aos auxiliares de limpeza pela dedicação ao trabalho, e pro me ajudarem com a compra das tilápias utilizadas na minha pesquisa. Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, ao Programa de Mestrado Profissional em Saúde Única - PMPSU. Agradeço ainda ao técnico de laboratório José Júlio Ferreira Júnior por todo esforço que teve para ajudar nas análises das tilápias no laboratório, quero agradecer ainda ao Centro de Apoio a Pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco CENAPESQ. Agradeço de mais a todos os professores do programa, de forma peculiar ao professor Luiz Maia que há época era coordenador do programa, à secretária Luana, aos colegas de turma, muito obrigado gente pela convivência e aprendizado juntos, foi bom de mais estudar com vocês.

Por fim, agradeço a todos que porventura não tenha falado aqui e que contribuíram de alguma forma com a construção desse trabalho, direta ou indiretamente. Termino aqui meus agradecimentos com muita ternura e gratidão a todos.

Gratidão!

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado aos meus pais,
a minha esposa e minha família.

REINALDO DE ARAÚJO SOUZA. POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM *Oreochromis niloticus* (TILÁPIAS) ORIUNDAS DO RESERVATÓRIO DE TAPACURÁ: UMA ABORDAGEM EM SAÚDE ÚNICA.
Dissertação. Programa de Mestrado Profissional em Saúde Única. UFRPE.

RESUMO

A espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia-do-nylo) é o peixe com maior abundância e também o mais pescado e consumido da barragem de Tapacurá. Sabe-se que esse peixe por ser onívoro-predador e estar no topo da cadeia trófica pode ser considerado como um bioindicador da qualidade das águas. Também toma destaque à presença de metais tóxicos como um dos principais poluentes aquáticos no mundo podendo causar vários efeitos deletérios para a saúde, animal e humana. Esta pesquisa, objetivou avaliar a presença de metais tóxicos em amostras de *Oreochromis niloticus* (tilápia-do-nylo) originadas do reservatório de Tapacurá. O método de análise foi a espectrofotometria de absorção atômica, onde foram analisadas 61 amostras de fígado e 62 amostras de músculo para os metais Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr e Zn. Nossos resultados demonstraram a ausência de contaminação por arsênio, cádmio, cobalto, cromo, manganês, molibdênio, níquel e chumbo nas amostras de tilápias testadas. Os metais alumínio e cobre foram encontrados tanto no fígado quanto no músculo, sendo os valores de Cu entre 0,04 e 2,51 mg/g. O Al no fígado variou entre 0,01 e 1,37 mg/g, e no músculo esse elemento não foi detectado. Os metais Ba, Se, Sr e Zn foram encontrados em parte das amostras, porém em valores de concentrações que variaram entre 0,01 a 0,07 mg/g. Já os elementos químicos Fe, K, Mg e P foram observados em 100% das amostras testadas. O ferro foi detectado em concentrações variando entre 0,08 a 23,78 mg/g e o potássio ficou entre os valores de 4,23 e 57,21 mg/g, magnésio entre 0,30 e 2,27 mg/g e o fósforo com valores entre 0,22 e 3,15 mg/g. De acordo com os parâmetros existentes, estes dados indicam um alto índice de poluição por efluentes no rio Tapacurá o que demanda atenção para a busca da mitigação dos riscos associados à saúde única ocasionados por esta contaminação descontrolada de origem multifatorial desconhecida.

Palavras-chave: Saúde, Metal tóxico, *Oreochromis niloticus*, Contaminação

REINALDO DE ARAÚJO SOUZA. **POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM TILÁPIAS (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) ORIUNDAS DO RESERVATÓRIO DE TAPACURÁ: UMA ABORDAGEM EM SAÚDE ÚNICA.** Dissertação. Programa de Mestrado Profissional em Saúde Única. UFRPE.

ABSTRACT

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is the most abundant fish and also the most fished and consumed in the Tapacurá dam. It is known that this fish, as an omnivorous predator and at the top of the food chain, can be considered a bioindicator of water quality. The presence of toxic metals is also highlighted as one of the main aquatic pollutants in the world, which can cause several deleterious effects to animal and human health. This research aimed to evaluate the presence of toxic metals in samples of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) originating from the Tapacurá reservoir. The analysis method was atomic absorption spectrophotometry, where 61 liver samples and 62 muscle samples were analyzed for the metals Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr and Zn. Our results demonstrated the absence of contamination by arsenic, cadmium, cobalt, chromium, manganese, molybdenum, nickel and lead in the tilapia samples tested. The metals aluminum and copper were found in both the liver and muscle, with Cu values between 0.04 and 2.51 mg/g. Al in the liver ranged from 0.01 to 1.37 mg/g, and this element was not detected in the muscle. The metals Ba, Se, Sr and Zn were found in some of the samples, but in concentrations ranging from 0.01 to 0.07 mg/g. The chemical elements Fe, K, Mg and P were observed in 100% of the samples tested. Iron was detected in concentrations ranging from 0.08 to 23.78 mg/g, potassium was between 4.23 and 57.21 mg/g, magnesium between 0.30 and 2.27 mg/g, and phosphorus with values between 0.22 and 3.15 mg/g. According to existing parameters, these data indicate a high level of pollution by effluents in the Tapacurá River, which demands attention to the search for mitigation of the risks associated with One Health caused by this problem.

Keywords: Health, Toxic metal, *Oreochromis niloticus*, Contamination

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
Lista de Figuras.....	10
Lista de Tabaleas.....	11
Lista de Gráficos.....	12
Abreviaturas e siglas.....	13
CAPÍTULO I	
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
Geral.....	18
Específicos.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Objetivos De Desenvolvimento Sustentável e Suas Relações Com Os Metais Tóxicos.....	19
3.2 Efeitos Tóxicos Dos Metais Aos Organismos Aquáticos.....	20
3.2.1 Exposição ao Chumbo (Pb).....	21
3.2.2 Exposição ao Cádmiio (Cd).....	21
3.2.3 Exposição Mercúrio (Hg).....	22
3.2.4 Exposição ao Cobre (Cu).....	22
3.2.5 Exposição ao Alumínio (Al).....	23
3.2.6 Exposição ao Arsênio (As).....	23
3.2.7 Exposição ao Níquel (Ni).....	24
3.2.8 Exposição ao Estrôncio (Sr).....	24
3.2.9 Expósição ao Maganês (Mn).....	25
3.2.10 Exposição ao Zinco (Zn).....	26
3.2.11 Exposição ao Selênio (Se).....	26
3.2.12 Exposição ao Bário (Ba).....	27
3.2.13 Exposição ao Cálcio (Ca).....	28
3.2.14 Exposição ao Cobalto (Co).....	28
3.2.15 Exposição ao Magnésio (Mg).....	29
3.2.16 Exposição ao Ferro (Fe).....	29
3.2.27 Exposição ao potássio (K).....	30
3.2.18 Exposição ao Molibidênio (Mo).....	30
3.2.19 Exposição ao Fósforo (P).....	31
3.2.20 Exposição ao Cromo (Cr).....	31
3.3 Bioacumulação de Metais Tóxicos em Peixes Atarvés de Água Contaminada.....	31
3.4 Riscos dos Metais Tóxicos Para a Saúde.....	33
3.5 Metais Tóxicos nas Águas e Animais do Reservatório de Tapacurá.....	34
3.6 Perspectiva Socioambiental da Estação Ecológica de Tapacurá.....	35
3.7 Legislação e Respeito da Presença de Metais Tóxicos em Alimentos no Brasil....	36
4.REFRÊNCIAS	38
CAPÍTULO II	44
1 INTRODUÇÃO	44

2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Local de Amostragem.....	47
2.2 Coleta de Animais (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	47
2.3 Limpeza dos materiais.....	48
2.4 Dosagem dos Metais.....	49
2.5 Digestão Ácida Assistida por Micro-ondas.....	50
2.6 Digestão do Músculo e Fígado.....	50
2.7 Determinação Mineral.....	51
3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	52
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização do ponto de compra dos peixes na Barragem de Tapacurá Município de São Lourenço da Mata, Pernambuco - Brasil (8° 3' 20" S, 35° 12' 09" W). Adaptado: Google Earth.....47
- Figura 2** - *Oreochromis niloticus* oriunda do reservatório de Tapacurá.....48
- Figura 3** - Tubos falcon com as amostras digeridas.....51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metais tóxicos presentes em fígado de <i>Oreochromis niloticus</i> oriundos do reservatório de Tapacurá - Pernambuco.....	52
Tabela 2 - Metais tóxicos presentes em músculo de <i>Oreochromis niloticus</i> oriundos do reservatório de Tapacurá – Pernambuco.....	53
Tabela 3 - Dados comparativos de contaminação por metais tóxicos em músculo de <i>Oreochromis niloticus</i>	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de amostras positivas x negativas por metal tóxico em fígado analisado nas amostras de *Oreochromis niloticus* oriundas de Tapacurá.....55

Gráfico 2 - Percentual de amostras positivas x negativas por metal tóxico em músculo analisado nas amostras de *Oreochromis niloticus* oriundas de Tapacurá..56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRH	Agência Estadual do Meio Ambiente
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento Básico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
CONAMA	Conselho Nacional de Meio ambiente
SNC	Sistema Nervoso Central
SNP	Sistema Hematopoiético
VLS	Volume Lamelar Secundário
VOPS	Volume de Pilares Sencundários
CF	Fator de Concentração
FCR	Razão de Conversão alimentar
ALP	Fosfatase Alcalina
AST	Asparato Transaminase
DA	Doença de Alzheimer
DP	Doença de Parkinson
DH	Doença de Huntington
ELA	Esclerose Lateral Amiotrófica
OMS	Organização Mundial de Saúde
EET	Estação Ecológica de Tapacurá
LMT	Limete Máximo Tolerado
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
GMC- MERCOSUL	Conselho Mercado Comum
PPM	Partes por Milhão
MG/G	Miligramas por Grama
IN	Intrução Normativa
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
ROS	Espécies Reativas de Oxigênio
RNS	Espécies não Reativas de Oxigênio
OCC	Conteúdo de Carbono Original

RCC**Quantificação de Carbono Residual**

Al	Alumínio
As	Asênio
Ba	Bário
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibidênio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
Se	Selênio
Sr	Estrôncio
Zn	Zinco

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Os estudos têm apontado que os metais tóxicos, quando em excesso no organismo podem causar diversos problemas de saúde, nesse sentido, Zhuzzhassarova *et al.* (2024) afirmaram que os metais tóxicos arsênico (As), mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) são os metais mais comuns que induzem envenenamento humano. O consumo de peixes e produtos aquáticos tem sido uma das principais fontes de contaminação relatadas para a exposição ao (Hg) e (As) e, em menor grau, ao (Cd) e ao (Pb).

Esses compostos são persistentes e não biodegradáveis e a atividade industrial é considerada a principal fonte de (Hg) inorgânico liberado e eventualmente depositado em ambientes aquáticos. Microrganismos em ambientes aquáticos, como bactérias redutoras de sulfato, realizam a biometilação do (Hg) para produzir metil-Hg, o qual, pode ser absorvido pelo fitoplâncton, que é então consumido pelos peixes. Este composto então, possui o potencial de bioacumulação e biomagnificação, conseqüentemente, grandes peixes predadores têm maior probabilidade de apresentar altos níveis de (Hg) como resultado da ingestão de muitos peixes menores que acumularam (Hg) através da ingestão de fitoplâncton Zhuzzhassarova *et al.* (2024).

Nesse sentido, é importante entendermos o que significa os termos biomagnificação e bioacumulação. De acordo com (Alves, 2024) a bioacumulação refere-se à forma como os poluentes (ex: metais) entram na cadeia alimentar e relaciona-se com a acumulação de contaminantes, em tecidos biológicos por organismos aquáticos, ao longo do tempo.

Estes contaminantes podem ser provenientes de fontes como água, alimentos e partículas de sedimentos em suspensão. Segundo Blowes *et al.* (2014) citados por (Alves, 2024) afirmam que a acumulação em seres vivos pode ocorrer sempre que os metais são absorvidos e armazenados no organismo de forma mais rápida do que são metabolizados ou excretados pelo mesmo.

Ainda segundo (Alves, 2024) a biomagnificação refere-se à condição em que a concentração de compostos químicos num organismo excede a concentração de seu alimento quando a principal via de exposição ocorre a partir da dieta do organismo. O termo biomagnificação da cadeia alimentar é usado para descrever o enriquecimento trófico de contaminantes nas cadeias alimentares e refere-se ao aumento progressivo das concentrações dos contaminantes com o aumento do nível trófico do animal.

Vale salientar que segundo Moure, 2024 a degradação dos rios é causada principalmente pelo descarte de resíduos de forma irregular: o esgoto doméstico, petróleo e seus derivados, metais tóxicos, substâncias organocloradas (poluentes orgânicos persistentes) e o lixo, são os principais poluentes.

Mediante Wahiduzzaman M, *et al.* (2021) a contaminação por metais tóxicos do ecossistema aquático é uma preocupação ambiental primária e mundial nos últimos tempos devido aos riscos ecológicos e para a saúde. Metais tóxicos os com alto tempo de persistência, naturezas não biodegradáveis e bioacumuláveis podem ser concentrados junto com a cadeia alimentar, causando um impacto venenoso em pontos que estão longe da fonte de contaminação, ainda segundo Wahiduzzaman M, *et al.* (2021).

As pesquisas ao longo dos anos apontam que os metais tóxicos são uma realidade em ecossistemas aquáticos brasileiros, sendo bioacumuláveis dentro da cadeia trófica dos peixes. Assim a concentração dos metais nas tilápias que se dá através da água contamina também as pessoas que as consomem, os danos são dessa forma causados ao ambiente ao animal e aos humanos de modo que não há como provocar efeitos deletérios em apenas um dos componentes desse tripé ou seja estamos diante de uma só saúde. De acordo com Basta 2020, numa Nota Técnica da fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) apresentou resultados alarmantes quanto a presença de mercúrio (Hg) presente no povo Munduruku, Terra Indígena situada no médio rio Tapajós, nos municípios de Itaituba e Trairão. Para Repula *et al.* (2012), os elementos Cromo (Cr) e chumbo (Pb), por exemplo, estão presentes na natureza através do intemperismo ou por atividades industriais e de mineração. Esses elementos podem exercer efeitos prejudiciais para a biota, dependendo da concentração nos organismos. Além disso, o cromo no estado trivalente é benéfico em pequenas quantidades, participando do metabolismo do corpo humano, mas no estado de oxidação hexavalente possui ação cancerígena. Já o chumbo é de grande interesse ambiental, pois está presente em concentrações consideráveis no meio urbano, porém quando relacionado à sua toxicidade ao ser humano o chumbo atinge, principalmente, o sistema nervoso central segundo Repula *et al.* (2012).

Ao mesmo tempo observa-se ainda a poluição das águas por esses metais através da disposição de efluentes sanitários nas redes de drenagem que vão parar nos corpos hídricos afetando a biota local. Outro ponto bastante importante e interessante de refletirmos, pois muito da sociedade consumidora de pescado não tem consciência dos riscos ao qual são submetidas ao consumir esse alimento quando ele advém de corpos hídricos contaminados através desses efluentes. Os peixes absorvem metais tóxicos da

água através das brânquias, pele e trato digestivo Mohamed *et al.* (2018).

Nesse sentido, a espécie *O. niloticus* é um peixe onívoro e por este motivo tem influência direta na cadeia trófica. Peixes planctívoros onívoros podem produzir efeitos variáveis nas comunidades planctônicas na sua biomassa e preferência alimentar Attayde *et al.* (2007). Os peixes planctívoros filtradores reduzem de forma direta as populações dos organismos zooplanctônicos menos invasivos e de grandes algas planctônicas favorecendo indiretamente os planctônicos com maior capacidade natatória e as pequenas algas planctônicas (Drenner *et al.*, 1986; Drenner *et al.*, 1987).

Dentro desse contexto de bioacumulação de metais tóxicos em ambientes aquáticos encontra-se a Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), peixe com grande capacidade de absorção e bioacumulação de metais tóxicos através de suas brânquias e também de sua alimentação. Resumindo, a tilápia-do-nilo que é um planctívoro filtrador que deve reduzir tanto a biomassa do zooplâncton diretamente com o consumo desses organismos como indiretamente pelo consumo dos seus principais recursos alimentares: fitoplâncton e detritos em suspensão (Dianna *et al.*, 1991; Elhigzi *et al.*, 1995; Figueredo & Giani 2005 citados por Attayde *et al.*, 2007).

A barragem do Tapacurá que pertence a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e ocupa parte do território da Estação Ecológica do Tapacurá tem como principal fonte de recebimento de água o rio Tapacurá. Ele tem como um dos principais afluentes o rio Natuba ambos com um alto índice de poluição por resíduos líquidos e sólidos, advindos da atividade industrial, de atividades hospitalares e também dos esgotos domésticos provenientes de cidades circunvizinhas, como Vitória de Santo Antão.

O rio Natuba está encravado em uma região onde a principal atividade econômica é a produção de hortaliças, trazendo pressão e riscos de degradação ambiental Melo *et al.* (2013), as consequências são o carreamento dessas águas até o lago de Tapacurá através dessa bacia hidrográfica, contaminando, água, solo e fauna aquática. É necessário porém esclarecer e sensibilizar os agricultores da região levando informação pra que eles possam diminuir as técnicas de produção degenerativas ou buscar técnicas de produção que tragão menos pressão e risco ao recurso hídrico local, aos animais e humanos que estão dentro desse ecossistema. Logo a bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá conta com doze sub-bacias sendo as principais formadas pelos riachos Itapessirica, Natuba, Gameleira e Várzea do Una (Duarte, 2008). Essa bacia abrange seis municípios: Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande. Está localizada entre as

coordenadas 35° 30' 00" e 35° 5' 00" de longitude oeste e 8° 13' 00" e 7° 58' 30" de latitude sul Duarte *et al.* (2008).

Além disso, o lago é circundado por monoculturas de cana-de-açúcar que podem carregar uma grande quantidade de resíduos químicos como os metais tóxicos para o reservatório devido a sua topografia, podendo alterar os padrões físico-químicos e biológicos da água e comprometer a saúde ambiental e humana através do processo de bioacumulação.

Esse processo de concentração de metais pode contaminar diretamente esse pescado (tilápia-do-nylo) o qual geralmente é comercializado em feiras livres da região e consumido por uma grande gama de pessoas das cidades adjacentes à Estação, sem que se possa quantificar e qualificar a que grau e tipo de substâncias nocivas à saúde estas pessoas estão expostas, já que o consumo e comercialização desses peixes não é submetido aos processos de controle dos órgãos de fiscalização.

Dessa forma, quando esses animais estão expostos aos metais tóxicos, seja através da água ou de seus alimentos eles passam a concentrá-los, em especial, nos músculos e órgãos do aparelho digestivo como o fígado. Podendo assim, representar um risco de provocar danos para a saúde, através do consumo a depender do tempo de exposição e da quantidade da carne consumida com a presença de tais substâncias tóxicas.

Ademais, foi comprovada que a bioacumulação acontece através da água e da cadeia trófica, desta forma, podemos afirmar que na pirâmide alimentar o ciclo da vida encontra-se em total desafio pela contaminação por metais tóxicos como o Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr), quando foram encontradas no grupo dos Crocodilianos e Testudines capturados no reservatório do Tapacurá Nordeste do Brasil (Santos, 2018). Como dito anteriormente, esses metais podem vir a comprometer a saúde animal, saúde ambiental e saúde humana, ganhando o *status* de saúde única e passaram a ser um coeficiente de conhecimento e controle a ser buscado nesse estudo dentro do campo de composição do território da barragem do Tapacurá.

2. Objetivos

2.1 Geral

- Avaliar a presença de metais tóxicos em amostras de *Oreochromis niloticus* (tilápia-do-nylo) originadas do reservatório de Tapacurá - Pernambuco.

2.2 Específicos

- Dosar metais tóxicos nas amostras de músculo e fígado de *Oreochromis niloticus* oriundas do reservatório de Tapacurá;
- Avaliar o grau de contaminação pelos metais tóxicos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr e Zn;
- Com base nos resultados obtidos após a análise das tilápias, propor medidas de mitigação dos impactos socioambientais levantados na pesquisa sob uma ótica de saúde única;
- Elaborar cartilha educativa abordando os riscos associados à contaminação por metais tóxicos à saúde única.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUAS RELAÇÕES COM OS METAIS TÓXICOS

Visando erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade até 2030, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou em 2015 os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Entre os 17 objetivos, destaca-se a importância de garantir a saúde e o bem-estar (ODS 3), o acesso à água potável e saneamento (ODS 6), e a vida na água e em terra (ODS 14 e 15). Esses objetivos estão intimamente ligados à gestão e mitigação dos impactos de metais tóxicos no meio ambiente e na saúde humana.

No contexto do ODS 3, a exposição a metais tóxicos é uma preocupação significativa. Por exemplo, no Sistema Nervoso Central, o metil-mercúrio pode provocar alterações sensoriais, motoras e cognitivas irreversíveis, resultando em diversos prejuízos às pessoas afetadas Basta *et al.* (2024). A mitigação dessa exposição a metais tóxicos requer políticas rigorosas de controle e remediação de áreas contaminadas. A qualidade da água potável é diretamente impactada pela presença de metais tóxicos, uma questão central do ODS 6. Embora os metais ocorram naturalmente nos diferentes compartimentos ambientais, o aumento de suas concentrações tem tornado os ecossistemas saturados e essas substâncias biodisponíveis Mantovoni *et al.*(2024) o que torna cada vez mais necessário o desenvolvimento e aplicação de programas de monitoramento e tecnologias de tratamento de água para garantir que as populações tenham acesso a água segura.

A preservação dos ecossistemas aquáticos e terrestres, conforme os ODS 14 e 15, também é prejudicada pela poluição por metais tóxicos, dessa forma, a bioacumulação de

metais em organismos aquáticos pode afetar toda a cadeia trófica. Os metais tóxicos, como o crômio (Cr), níquel (Ni), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e arsênio (As) são considerados elementos tóxicos que podem ser assimilados, armazenados e concentrados pelos organismos vivos através da cadeia alimentar (Alves, 2024).

A restauração de ecossistemas degradados e a prevenção de novas contaminações são cruciais para a manutenção da biodiversidade. Outro fator importante para a recuperação de ecossistemas é reconhecer que se precisa de mudanças ideológicas de processos produtivos. Dessa maneira, segundo Rodrigues *et al.* (2022) percebe-se na atualidade a mudança ideológica em direção a linhas de processos, produtos, economia e políticas mais sustentáveis e ecologicamente corretas, em detrimento da até então prática imprudente de geração de resíduos e uso indiscriminado de combustíveis fósseis.

Segundo Fagundes, 2024, uma técnica que está se destacando pela sua eficiência e perspectiva no tratamento de água de rejeitos é a adsorção, que nada mais é do que um processo em que um material, seja líquido ou gás, se acumula na superfície de um sólido, interagindo de forma majoritariamente física a fim de ficar retido em sua matriz. Por ser uma técnica relativamente simples e barata, tem se mostrado com grande potencial para descontaminação de rejeitos industriais, onde alguns materiais como carvão ativado já são utilizados e novos materiais proeminentes tem sido destacado para estudo.

Além disso, a colaboração internacional é essencial para enfrentar esses desafios globais. A troca de conhecimento e a implementação de melhores práticas entre países podem acelerar o progresso em direção ao cumprimento dos ODSs. Projetos conjuntos e financiamentos internacionais podem ajudar a fortalecer capacidades locais para a gestão de poluentes e a proteção ambiental. As políticas públicas também desempenham um papel crítico na regulação e mitigação dos impactos de metais tóxicos.

A legislação ambiental precisa ser rigorosa e efetivamente implementada para prevenir a contaminação e promover a remediação de áreas já afetadas. A exemplo da carência de efetivação das leis ambientais brasileiras, Suzando *et al.* (2024), citam que apesar do caráter de extrema relevância para o país, passados quatorze anos de sua publicação, a Resolução CONAMA n°420/2009 nunca havia sido revista. Assim o engajamento da sociedade civil e das comunidades locais é fundamental para garantir a transparência e a eficácia dessas políticas.

3.2 EFEITOS TÓXICOS DOS METAIS AOS ORGANISMOS AQUÁTICOS

Os metais tóxicos possuem diversos mecanismos de ação, exercendo os seus efeitos ao combinar-se com um ou mais grupos reativos as funções essenciais para funções fisiológicas normais. O principal efeito desse grupo de elementos é a sua ação sobre a estrutura das proteínas, em grande parte com atividade enzimática. Ao alterarem as atividades enzimáticas, os metais tóxicos afetam o metabolismo, membranas celulares e organelas (Senger, 2009).

3.2.1. Exposição ao chumbo (Pb)

O acúmulo de (Pb) em peixes causa hipocalcemia ao inibir os mecanismos de transporte basolateral de inócitos no epitélio branquial devido à alta afinidade do (Pb) com a Ca^{2+} ATPase, o trocador $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ ATPase; isso interrompe o gradiente eletroquímico e a regulação iônica Lee *et al.* (2019). Dessa forma, o (Pb) é relatado como causador de estresse oxidativo no DNA, embora a evidência de dano oxidativo ao DNA induzido por chumbo seja menos conclusiva (Hsu e Guo, 2002).

Ainda de acordo com Hsu e Guo, 2002 a exposição ao (Pb) causa uma grande variedade de efeitos tóxicos nas funções fisiológicas, comportamentais e bioquímicas em animais; também causa danos ao sistema nervoso central (SNC), sistema nervoso periférico (SNP), sistema hematopoiético, sistema cardiovascular e órgãos como o fígado e o rim.

A exposição ao (Pb) em peixes também tem efeitos tóxicos na estrutura e função da membrana devido à sua alta afinidade com os glóbulos vermelhos, o que aumenta a suscetibilidade a estresses oxidativos (Gurer e Ercal, 2000). Assim a bioacumulação por (Pb) pode ser fatal para animais aquáticos, mesmo em baixas concentrações.

3.2.2. Exposição ao cádmio (Cd)

Segundo Garcia *et al.* (2007) peixes expostos ao poluente (Cd) mostraram algumas alterações histológicas, proliferação do epitélio filamental, vasodilatação do seio venoso central e da região basal do eixo vascular das lamelas e destacamento do epitélio lamelar associado a edema intersticial pronunciado. A proliferação do epitélio filamental estendeu-se a toda a área epitelial conduzindo à fusão quase completa das lamelas. A necrose constituiu outro tipo de lesão observado, a qual foi mais acentuada na base do epitélio filamental estendendo-se, por vezes, na sua totalidade.

Esse tipo de lesão caracterizou-se pela condensação dos núcleos e ruptura das membranas celulares e resultou da ação direta do poluente. A vasodilatação marcada do eixo vascular das lamelas também foi observada, tendo por vezes conduzido à ruptura das células pilar, com perda da sua capacidade de suporte. Esse fato pode ter conduzido inclusive ao aparecimento de aneurismas lamelares nas tilápias.

Corroborando com dados de estudos passados de que os metais tóxicos como o (Cr) e (Cu) podem causar muitos danos aos vários tecidos dos peixes Bilal *et al.* (2022), concluíram que o acúmulo de (Cd) tem efeito substancial no nível de (Ca) nos ossos e, portanto, no sistema esquelético dos peixes *Channa gachua* (cabeça-de-cobra) e que influencia diretamente o desenvolvimento ósseo do animal.

3.2.3. Exposição ao mercúrio (Hg)

Segundo Silva *et al.* (2024) o mercúrio é um metal pesado reconhecido por seus riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente, especialmente quando se transforma em metilmercúrio, uma forma altamente tóxica, capaz de causar danos neurológicos, cardiovasculares e reprodutivos em animais e humanos.

A exposição a concentrações de mercúrio baixas e sub-letais, em ambiente moderadamente contaminado durante longo período, pode trazer danos ao crescimento, sobrevivência e reprodução de comunidades de organismos, comprometendo seriamente a biodiversidade e manutenção dessas comunidades Filho *et al.* (2008).

O mercúrio e seus compostos são considerados importantes poluentes ambientais e são quimicamente ativos, e, dependendo da concentração atingida nos tecidos animais, podem desnaturar proteínas e inativar enzimas e alterar a atividade celular Jesus *et al.* (2008).

Para Kasper *et al.* (2007) o efeito toxicológico do mercúrio provoca diversos danos em peixes dentre eles, a diminuição da capacidade predatória, diminuição dos reflexos, dano nas brânquias, deficiência reprodutiva, danos cerebrais e letargia.

3.2.4. Exposição ao cobre (Cu)

A exposição a elevadas concentrações de cobre é danosa. Sua toxicidade crônica afeta inicialmente o fígado, pois este é o primeiro local de deposição após entrar na

corrente sanguínea Oliveira *et al.* (2018). Citando (NRC 1993) Ferrari *et al.* (2004) afirmam que o cobre possui importantes funções no organismo dos peixes, sendo necessário no metabolismo de vários nutrientes e como constituinte de diversas enzimas.

No entanto, o excesso desse mineral pode causar efeitos nocivos ao organismo, como intoxicação hepática e formação de complexos insolúveis junto a outros minerais, resultando na não absorção Ferrari *et al.* (2004). Para Latif *et al.* (2022) o estresse oxidativo mediado pelo (Cu) provocou danos significativos ao DNA por concentrações nos tecidos dos peixes da espécie *Catla catla* (Carpa).

Segundo (Ribeiro, 2012) a exposição da espécie *Poecilia vivipara* (Guaru) ao (Cu) em concentrações sub-letais na faixa de 5 a 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$ causa alterações no comportamento dos juvenis relativos ao sistema sensorial olfatório, habilidades natatórias e de captura de presas. Além disso, Ribeiro, 2012 ainda afirma que as alterações na reação de alarme, que simulam defesa a um ataque de predador, foram afetadas com maior intensidade com base na frequência de estresse natatório em todas as concentrações de cobre usadas no seu estudo com o Guaru.

3.2.5. Exposição ao alumínio (Al)

O alumínio está presente em pequenas quantidades nos organismos vivos, mas é abundante no ambiente. Entretanto, estudos mostram que o aumento do alumínio dissolvido na água causa danos nas brânquias e mortes de peixes, e a cromatina é apontada como sendo a estrutura celular mais vulnerável Costa *et al.* (2012).

De acordo com Narciso *et al.* (2021) o alumínio pode agir direta e/ou indiretamente na hipófise, afetando a esteroidogênese ovariana e alterando o eixo endócrino reprodutivo de fêmeas maduras de *O. niloticus* em um período agudo de exposição. Esse estudo mostrou que o alumínio age como um disruptor endócrino, sugerindo efeitos deletérios na reprodução que poderiam resultar em falha na ovulação.

3.2.6. Exposição ao arsênio (As)

Na literatura atual, não foram encontrados muitos trabalhos relacionados a bioacumulação do metal tóxico arsênio (As) em relação aos peixes. Não sendo possível dessa forma identificar com maior eficiência quais seriam os efeitos deletérios da concentração desse metal para os peixes. Porém, para (Souza, 2023) o arsênio é

considerado um veneno protoplasmático, pois exerce a sua toxicidade através da inativação de cerca de 200 enzimas, em particular as envolvidas na produção de energia celular e as relacionadas à síntese e reparo do DNA.

Aparentemente, os mecanismos relacionados à toxicidade causada pelo (As) inorgânico envolvem a indução de danos ao DNA devido à ação de espécies oxigenadas e nitrogenadas reativas (ROS e RNS, respectivamente). Assim, o estresse oxidativo causado por esses radicais, produzidos durante a biotransformação dos arsenicais, pode peroxidar lipídios, quebrar nas moléculas de DNA e aberrações cromossômica (Souza, 2023).

Segundo Matos *et al.* (2022) estudos têm revelado que o arsênio, mais precisamente, em sua forma inorgânica, como arsenito ou arsenato, pode apresentar altos níveis de toxicidade, inclusive causando diferentes tipos de cânceres, como de pele, fígado, pulmão e rim.

3.2.7. Exposição ao níquel (Ni)

Analisando a espécie *Oncorhynchus mykiss* (truta arco-íris) Pane *et al.* (2004) afirmam que o (Ni) transportado pela água (9,7-10,7 mg Ni L⁻¹) é agudamente tóxico para a truta adulta exclusivamente por mecanismos branquiais. Segundo Pane *et al.* (2004) a acumulação extensiva de (Ni) transmitido pela água resulta em danos ultraestruturais marcantes ao epitélio respiratório das guelras, incluindo inchaço das lamelas secundárias evidenciado por alterações tanto na região lamelar (aumento do volume do tecido lamelar secundário (VSL/V(LR)) quanto nas próprias lamelas secundárias (aumento do volume do tecido que fica fora do sistema de pilares (VOPS/VSL)). Além disso, a diminuição da altura lamelar e o aumento da largura lamelar indicaram uma redução na área da superfície lamelar disponível para difusão de gás.

3.2.8. Exposição ao estrôncio (Sr)

Com relação à bioacumulação de estrôncio (Sr) em peixes, também são escassas as pesquisas relatadas na literatura, no entanto, existem informações valiosas de correlação da microquímica e estruturas calcificadas de peixes como, otólitos e escamas que podem ser usadas, por exemplo, para identificação neonatal desses animais.

Segundo Santos *et al.* (2017) e Garcez *et al.* (2014) realizaram um estudo

correlacional na bacia do Rio Negro - AM, entre a microquímica de otólitos em exemplares jovens de *Cichla temensis* e a composição geológica do leito rochoso regional para explorar mecanismos subjacentes de diferenças na geoquímica de otólitos e identificar as áreas de nascimento dos peixes. Os resultados sugeriram que as diferenças espaciais na geoquímica de otólitos, podem ser usadas para distinguir origens natais com base nas razões Sr/Sr, Sr/Ca e Ba/Ca.

Esta abordagem permitiu classificar corretamente 99% dos peixes juvenis em seus tributários natais usando validação cruzada em uma análise de função discriminante linear. Neste estudo foi demonstrado que os padrões da composição isotópica de otólitos, em especial assinaturas de Sr^{87}/Sr^{86} , correspondem com padrões da geologia regional por meio de inferências a mapas geológicos. O resultado contribui para a classificação de microquímica de otólitos como uma valiosa ferramenta para interpretar movimentos de peixes em sistemas de água preta.

Sendo pioneiros na descrição de comportamento migratório de peixes bagres Hegg *et al.* (2015) determinaram o local de nascimento (berçário) e as rotas migratórias destes bagres, através das assinaturas de isótopos de estrôncio ($87Sr/86Sr$) registradas em seus otólitos, e correlacionadas com dados da química da água disponíveis na literatura, e classificados através de função discriminante. Ficando, portanto, evidente a função do (Sr) na identificação neonatal dos peixes e sua rota de migração, o que pode ajudar na identificação de fatores de bioacumulação de metais tóxicos em espécies de peixes migratórios.

3.2.9. Exposição ao manganês (Mn)

Segundo (Ferreira, 2022) o Mn é um elemento essencial e crucial para a função de uma variedade de enzimas. Como tal, o (Mn) está envolvido no metabolismo de aminoácidos, lipídios, proteínas e carboidratos. (Ferreira, 2022) descobriu por testes comportamentais que a exposição ao (Mn), juntamente com déficits locomotores, induziu fenótipos semelhantes à ansiedade em peixes-zebra. As maiores concentrações causaram perda de viabilidade celular, maior acúmulo de (Mn) e aumento da atividade da acetilcolinesterase no cérebro, e um aumento no conteúdo de cortisol no corpo inteiro.

A toxicidade do manganês pode resultar em estresse oxidativo, evidenciado pelo aumento de catalase, malondialdeído e superóxido dismutase, além de causar alterações

histopatológicas nas brânquias, como elevação do epitélio, hiperplasia, fusão lamelar e aneurisma (Santo, 2023).

3.2.10. Exposição ao zinco (Zn)

Ao realizar uma pesquisa com *Oncorhynchus mykiss* (truta arco-íris) Nasri *et al.* (2021) constataram que os peixes expostos a níveis mais elevados de (Zn) cresceram mais lentamente do que os peixes expostos a níveis mais baixos de (Zn). O ganho de peso e a SGR (Taxa de Crescimento Específico) diminuíram linearmente à medida que o nível de (Zn) na água aumentou. O CF (Fator de Condição) de peixes cultivados em água com alta concentração de (Zn) também diminuiu significativamente em comparação com a baixa concentração de (Zn), enquanto a Razão de Conversão Alimentar (FCR) aumentou com a concentração de Zn na água. As atividades de AST (Aspartato Transaminase) e ALT (Alanina Transaminase) foram significativamente alteradas pelo (Zn) e mostraram um padrão linear e diminuíram após 30 dias, enquanto os níveis de ALP (Fosfatase Alcalina) mostraram um aumento notável a partir de um nível médio de controle.

Para Santos *et al.* (2015) a exposição ao (Zn) tem implicações importantes para a saúde humana e a deficiência em zinco, provoca transtornos como diarreia, distúrbios da função cerebral, retardo do crescimento, declínio de defesa imunológica, lesões de olhos e pele, mau funcionamento de cicatrização de feridas e outras doenças de pele. No entanto, a toxicidade do zinco é refletida em ambas as formas agudas e crônicas. A ação desse íon metálico sobre o sistema respiratório dos peixes ocorre pela precipitação da secreção da mucosa produzida pelas brânquias dos peixes, que morrem por asfixia Marcantonio *et al.* (2018).

3.2.11. Exposição ao selênio (Se)

De acordo com (Torres, 2015) o selênio é um elemento nutricionalmente essencial, que está presente em todos os alimentos, mas é particularmente abundante em peixes oceânicos e é absolutamente necessário para a atividade de 25 a 30 enzimas geneticamente únicas (selenoenzimas). Todas as formas de vida que têm sistema nervoso possuem selenoenzimas para proteger o cérebro de danos de oxidação. Mecanismos homeostáticos normalmente mantêm a atividade das selenoenzimas em um nível ótimo nos tecidos do cérebro, mas a exposição a altas concentrações de metilmercúrio sequestram o selênio e inibem irreversivelmente a atividade das selenoenzimas (Torres,

2015).

Dessa forma, a exposição ao metilmercúrio potencializam a inibição das enzimas pelos organismos. Para Seixas *et al.*(2007) uma variedade de parâmetros abióticos e bióticos pode influir na eficiência com que os organismos aquáticos acumulam os metais tóxicos e o selênio em seus tecidos e órgãos. A concentração de (Se) nos detritos orgânicos dos sedimentos é mais importante para a contaminação da cadeia alimentar aquática que a concentração de (Se) dissolvido na coluna d'água. Estudos vêm mostrando que a contaminação dos sistemas aquáticos por (Se) pode causar sérios danos à biota, inclusive a mortalidade de peixes Seixas *et al.* (2007).

3.2.12. Exposição ao bário (Ba)

O metal tóxico bário (Ba) não é amplamente estudado em matéria de efeitos nocivos aos peixes. Em pesquisa feita nas plataformas Google acadêmico, PubMed, Scopus e Scielo não foram encontradas pesquisas relatando especificamente esse tema. No entanto, é possível verificar, por exemplo, pesquisas sobre a concentração de (Ba) no sangue humano. (Piveli, 2012) citado por (Zanotelli, 2024) afirma que o (Ba) provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos elevando a pressão arterial e efeitos sobre o sistema nervoso.

Além disso, segundo (Chagas, 2020) a exposição ambiental a contaminantes metálicos, como o bário (Ba), é uma preocupação mundial, pois este elemento é tóxico e não possui características benéficas nem essenciais para o organismo humano. Caracterizar as formas de exposição ao (Ba), identificar grupos vulneráveis e indicar possíveis rotas são dados de grande relevância para prevenção de efeitos danosos à saúde.

De acordo com (Chagas, 2020), o tempo de residência, gênero, idade e os hábitos de fumar e consumir bebidas alcóolicas não foram fatores que contribuíram significativamente com o aumento de concentração na população estudada em seu trabalho. As maiores concentrações foram associadas ao consumo de água potável, a partir de captação subterrânea (poços) e águas de rios da região, e peixes.

Ainda segundo Suarez *et al.* (2012) é possível realizar e avaliar procedimentos de marcação transgeracional específico de indivíduos usando dois isótopos de bário enriquecidos, (135)Ba e (137)Ba, misturados em uma razão molar dada e selecionável. O

método é baseado na desconvolução dos padrões de isótopos encontrados na amostra em quatro fatores de contribuição molar: xenônio natural (Xe nat), bário natural (Ba nat), Ba135 e Ba137.

3.2.13. Exposição ao cálcio (Ca)

Até o momento não é possível relacionar com segurança se há uma relação de efeitos nocivos por concentração de cálcio em organismos aquáticos, especialmente peixes, pois não encontradas pesquisas específicas sobre o assunto. Ainda sim, vale destacar que exerce papel importante na vida dos peixes.

Segundo (Ortiz, 2023), os peixes budião-azul *Scarus trispinosus* (o maior e mais ameaçado peixe papagaio endêmico do Brasil) sofre alteração de tamanho em relação a disponibilidade e quantidade de carbonato de cálcio que eles têm disponível para ser ingerido. Para (Ortiz, 2023) o carbonato de cálcio ciclado sofre influência do tamanho corporal e do uso de hábitat, aumentando conforme os indivíduos crescem, bem como quando estão localizados em recifes com maior disponibilidade de organismos calcificados como recurso alimentar.

Ainda de acordo com Kalka *et al.* (2024) os otólitos de peixes são biominerais de carbonato de cálcio encontrados no ouvido interno, comumente usados para rastrear biocronologias de peixes e como um sistema modelo para biomineralização. De acordo com Kalka *et al.* (2024) o processo de formação de otólitos de peixes é controlado biologicamente por inúmeras biomacromoléculas que não só afetam o tamanho do cristal, forma, propriedades mecânicas, mas também a seleção de polimorfos de carbonato de cálcio (por exemplo, aragonita, vaterita).

3.2.14. Exposição ao cobalto (Co)

Como para alguns outros metais tóxicos a exemplo do (Ba), não há na literatura estudos específicos relacionados a concentração de cobalto nos peixes. Mas, segundo (vieira, 2017) o cobalto (Co) exerce um papel relevante na cadeia das metaloproteínas, por exemplo, cobalto na vitamina B12. Além disso, quando ligadas a metais tóxicos, as metaloproteínas podem perder totalmente ou parcialmente suas funções no organismo levando este a um desequilíbrio.

3.2.15. Exposição ao magnésio (Mg)

O metal magnésio assim como o zinco é considerado um metal essencial, justificando o estudo de sua influência nos peixes e outros seres aquáticos. Nesse sentido, Oliveira *et al.* (2014) explicam que o (Mg) exerce participação obrigatória no metabolismo dos organismos, particularmente de processos envolvendo compostos enzimáticos do sistema aceptor/doador de elétrons.

Segundo Oliveira *et al.* (2014) o magnésio está presente nos músculos e ossos e trata-se de um macro elemento ativador de sistemas enzimáticos que controlam o metabolismo de carboidratos, gorduras, proteínas e eletrólitos e serve como cofator da fosforilação oxidativa.

Para Hansen *et al.* (2021) apesar de ter um rim aglomerular, o peixe-sapo do Golfo pode sobreviver em água que varia de quase doce até 70 partes por mil de salinidade. Em ambientes hiperosmóticos, a principal função renal é equilibrar a carga passiva de (Mg^{2+}) do ambiente com uma excreção igual.

Nesse contexto a homeostase renal é fundamental na excreção do excesso de (Mg^{2+}) para peixes Teleósteos como é o caso do *Opsanus beta* (peixe-sapo). Segundo Hansen *et al.* (2021) os íons divalentes como (Mg^{2+}) é excretado pelo rim em um volume isotônico de urina. Portanto, no oceano, a carga passiva de (Mg^{2+}) do ambiente e da água do mar ingerida é inevitável e os teleósteos marinhos dependem de mecanismos renais para excretar as quantidades em excesso.

3.2.16. Exposição ao ferro (Fe)

Mesmo o ferro (Fe) sendo um metal essencial para as funções fisiológicas, quando em altas concentrações pode causar toxicidade as células Aisen *et al.* (2001) citado por Singh *et al.* (2019). De acordo Singh *et al.* (2019) ele catalisa a reação de (Fenton, 1894) resultando na geração de espécies de radicais livres, incluindo hidroxila, que podem potencialmente causar danos oxidativos celulares, como peroxidação lipídica, oxidação de proteínas e alterações histológicas.

Segundo Cotteti *et al.* (2015) com seus vários estados de oxidação, o ferro é distribuído em três formas principais diferentes em ambientes aquáticos: (1) como um composto iônico dissolvido na água (ferro ferroso), (2) como um composto particulado (insolúvel em água) (ferro férrico) e (3) como um complexo de coordenação orgânico,

solúvel ou particulado. No reservatório, o ferro é originário principalmente de solos e sedimentos onde era comumente estocado em seu estado de oxidação férrico.

Ainda de acordo com Singh *et al.* (2019) foi descoberto por (Davidson, 1993); Debnath *et al.* (2012); Sevcikova *et al.* (2011); Slaninova *et al.* (2014); Teien *et al.* (2008) que o ferro ferroso (Fe^{2+}) é tóxico para animais aquáticos, pois se liga à superfície das guelras e é oxidado em ferro férrico insolúvel (Fe^{3+}) que cobre a superfície das guelras e induz danos celulares, seguidos por disfunção respiratória.

3.2.17. Exposição ao potássio (K)

No Brasil basicamente não há registros de trabalhos feitos buscando avaliar efeitos deletérios da concentração de potássio (K) em peixes. Porém Judycka *et al.* (2016) apontam que os íons de potássio (K^+) têm um efeito inibitório na motilidade dos espermatozoides dos salmonídeos. Portanto, uma alta concentração de potássio é um importante inibidor da motilidade dos espermatozoides em salmonídeos, mas a extensão da inibição varia em relação ao período da estação reprodutiva segundo Judycka *et al.* (2016).

Além disso, é importante destacar o papel de uma dieta combinada de (Mg) e (K) para o tratamento da pressão arterial em humanos. Para Geleijnse *et al.* (2003) o uso de um sal mineral com baixo teor de sódio e alto teor de potássio pode fazer uma contribuição útil para a prevenção e tratamento da hipertensão.

3.2.18. Exposição ao molibidênio (Mo)

Pouco se sabe sobre os efeitos causados pela concentração de molibidênio para a saúde dos peixes, mas segundo Satkanov *et al.* (2024) as enzimas de molibidênio (enzimas (Mo)) contêm um cofator de molibidênio (MoCo) no sítio ativo. Essas enzimas são potencialmente interessantes para estudar o mecanismo de sobrevivência de peixes em condições de água hipóxica. Isso ocorre porque as enzimas (MO) podem sintetizar óxido nítrico a partir de nitratos e nitritos, que estão presentes em altas concentrações em condições de água hipóxica.

Segundo Ricketts *et al.* (2015) pouco se sabe sobre os efeitos dos níveis elevados de (Mo) em sistemas vivos, especialmente peixes. A maioria das informações disponíveis, segundo eles, é baseada em grandes mudanças morfológicas ou sintomas facilmente

visíveis em animais domésticos. De acordo com Ricketts *et al.* (2015) testes de toxicidade em peixes de água doce realizados por outros pesquisadores relataram concentrações de LC 50 Mo (adicionado como molibdato de sódio) de 96 h variando de >50 a >10.000 mg l⁻¹.

Ainda segundo Ricketts *et al.* (2015) esses estudos constataram que as manifestações que foram relatadas como resultado da exposição ao (Mo) incluem lamelas branquiais fundidas, hemorragia intestinal e cecos pilóricos, fígados pálidos com hemorragia ao longo das margens do fígado, rins pálidos, inibição da espermatogênese, diminuição do índice gonadossomático, aparência mais escura, aumento da produção de muco, frequências ventilatórias mais altas, perda de equilíbrio pós-exercício e mortalidade tardia induzida pelo exercício.

3.2.19. Exposição ao fósforo (P)

Apesar de não termos muitos trabalhos na literatura sobre efeitos danosos aos peixes causados por bioacumulação de (P) em ambientes aquáticos, é importante destacar a sua relevância para esses ambientes. O fósforo é considerado um nutriente, que quando é depositado em grandes quantidades nos corpos hídricos, por exemplo, pode causar diversos danos a esses ecossistemas, um deles é a eutrofização. A eutrofização é um processo natural do aumento da concentração de nutrientes e de matéria orgânica em um corpo hídrico, conferindo características que podem ser danosas a outros organismos que ali habitam (Aoki, 2012; WHO, 2022) citados por (Almagro, 2024).

O descarte inapropriado de efluentes domésticos e agrários ricos em nutrientes como fósforo e nitrogênio têm sido especialmente prejudiciais devido à aceleração da eutrofização Merilouto *et al.* (2017). Dessa forma, fica evidente que o (P), quando presente em excesso nos ambientes aquáticos pode ser extremamente prejudicial a qualidade das águas e a sua fauna, especialmente os peixes, além de se tornar danoso a saúde da população que venha fazer uso desses recursos.

3.2.20. Exposição ao cromo (Cr)

O cromo (Cr) é um oligoelemento que encontra a forma de Cr⁺³ (trivalente) e Cr⁺⁶ (hexavalente) na natureza e em itens alimentares. Estudos mostram que a exposição ao (Cr) transmitido pela água tem efeitos tóxicos nos peixes. No entanto, a exposição oral

ao (Cr) tem um impacto diferente nos peixes. O (Cr) geralmente está envolvido no metabolismo de gorduras, carboidratos, proteínas, função de crescimento, funções enzimáticas, etc. Este elemento pode desempenhar um papel significativo na nutrição e fisiologia dos peixes. O (Cr) como suplemento dietético pode melhorar o desempenho do crescimento e ajustar o metabolismo de carboidratos e lipídios Bagheri *et al.* (2023).

O (Cr) na sua forma hexavalente pode ser extremamente prejudicial aos ecossistemas aquáticos a depender do grau de contaminação. Segundo Velma *et al.* (2009) a industrialização intensa e outras atividades antropogênicas levaram à ocorrência global de cromo hexavalente solúvel (Cr) VI, que é facilmente lixiviado do solo para águas subterrâneas ou superficiais, em concentrações acima dos níveis permitidos. A ecotoxicologia do (Cr) VI está ligada à sua persistência ambiental e à capacidade de induzir uma variedade de efeitos adversos em sistemas biológicos, incluindo peixes Velma *et al.* (2009).

3.3 BIOCAMULUÇÃO DE TÓXICOS PESADOS EM PEIXES ATRAVÉS DE ÁGUA CONTAMINADA

Segundo Mohamed *et al.* (2018) afirmaram que descargas industriais e agrícolas, como combustão de carvão e óleo, fertilizantes fosfatados, plásticos e pesticidas, são consideradas as principais fontes de metais tóxicos poluentes em água. Segundo Sani *et al.* (2022), a poluição tornou-se mais prevalente em nossa vida diária e apresenta consequências negativas em nossa saúde.

Para Arias *et al.* (2007) a descarga de lixos tóxicos provenientes de efluentes industriais, os processos de drenagem agrícola, os derrames acidentais de lixos químicos e os esgotos domésticos lançados em rios e mares contribuem para a contaminação dos ecossistemas aquáticos com uma ampla gama de agentes tóxicos como metais tóxicos, agrotóxicos, compostos orgânicos, entre outros.

De acordo com Sorsa *et al.* (2016); Bahiru *et al.* (2019); Gure *et al.* (2019); Rahman *et al.* (2012); Mir *et al.* (2021); Samuel *et al.* (2020) descritos por Kotacho *et al.* (2024) afirmam que os metais tóxicos são ameaças graves tanto para organismos aquáticos quanto para humanos. Segundo esses autores, a ameaça é cada vez mais considerável em países em desenvolvimento como a Etiópia. Além disso, segundo eles os metais tóxicos podem ser absorvidos e acumulados nos músculos dos peixes, que são

consumidos por humanos, causando riscos à saúde em órgãos vitais indiferentes de humanos e peixes. De acordo com Kotacho *et al.* (2024), a contaminação por metais tóxicos em tecidos de peixes de água doce é uma preocupação séria em todo o mundo.

O consumo destes peixes contaminados representa uma séria ameaça para os consumidores associados a nível global. Os metais tóxicos são ameaças graves tanto para os organismos aquáticos como para os seres humanos. Assim, (Mckim, 1994) citado por Sampaio *et al.*; (2013) afirma que os peixes absorvem metais tóxicos da água através das brânquias, que funciona como sua principal via de absorção.

Nesse sentido, a Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) é considerado um peixe com grande valor nutricional de proteínas de alta qualidade e um excelente suprimento de minerais e vitaminas, e que, além disso tem um sabor muito agradável ao paladar humano, tornando-a um alvo de estudo em relação a bioacumulação de metais tóxicos em seus músculos. Em consequência, o elevado nível de consumo de carne deste peixe presente em águas que contenham a presença desses metais pode aumentar o risco de contaminação na população consumidora através do processo de bioacumulação.

3.4 RISCOS DOS METAIS TÓXICOS PARA A SAÚDE

Ao longo dos anos, pesquisas tem apontado que as exposições aos metais tóxicos podem causar muitos danos aos órgãos humanos. Segundo (Charkiewicz, 2023), a ingestão aguda pode resultar em dor abdominal, desconforto gástrico, queimação, náusea, vômito, sialorreia, câibras musculares, tonturas, choque, inconsciência ou mesmo convulsões.

Dados epidemiológicos recentes indicam que a exposição ao (Cd) também pode estar associada a alguns tipos de cânceres (próstata, bexiga, pâncreas, rim e mama). Pode desempenhar um papel no desenvolvimento de doenças relacionadas ao sistema nervoso central (SNC), como doença de Alzheimer (DA), Parkinsonismo e doença de Parkinson (DP), doença de Huntington (DH), esclerose lateral amiotrófica (ELA) e esclerose múltipla (EM), ou na deterioração das funções cognitivas e comportamentais, bem como doenças crônicas, como osteoporose e osteomalácia dos ossos pélvicos, fêmures, corpos vertebrais e ossos das omoplatas. Pode atravessar a placenta e a barreira do feto, exercendo efeitos teratogênicos, e está associado à doença de Itai-Itai, doenças cardiovasculares, anormalidades da função pulmonar, danos causados nos rins, etc.

De acordo com Al Osman *et al.* (2019) citando diversos autores afirma que a

exposição ao mercúrio em crianças pode levar ao retardo mental. A toxicidade do mercúrio pode se manifestar através de distúrbios de crescimento, epilepsia, salivação excessiva, deformidade dos membros, danos ao sistema nervoso, desalinhamento ocular e reflexos primitivos.

Ainda de acordo Al Osman *et al.* (2019) a Organização Mundial da Saúde (OMS 2017) informou que a inalação do vapor de mercúrio é capaz de causar danos a órgãos vitais do corpo, como rins, pulmões, sistemas digestivo e imunológico, bem como o sistema nervoso. Observou-se também que a exposição ao mercúrio causa corrosão nos olhos e na pele, levando a distúrbios neurocognitivos, como memória prejudicada.

3.5 METAIS TÓXICOS NAS ÁGUAS E ANIMAIS DO RESERVATÓRIO DE TAPACURÁ

A contaminação por metais tóxicos já foi relatada na bacia hidrográfica do rio Tapacurá por Aprile *et al.* (2003), estes autores constataram a presença de Ferro, Cobre, Chumbo, Maganês, Níquel, Cádmiio, Zinco e Cromo, na água e sedimentos ao longo da bacia do rio. Para se verificar o grau de contaminação eles fizeram coleta em vários pontos, desde seus afluentes até a jusante do seu principal reservatório: a barragem de Tapacurá. A pesquisa apontou que tanto a água como os sedimentos da bacia estão contaminados com esses metais. O estudo conseguiu apontar ainda, que a água apresentou uma maior contaminação no período das chuvas e os sedimentos no período de estiagem.

Dessa forma, o estudo mostrou que há uma recorrência de exposição do ecossistema do rio Tapacurá a contaminação por metais tóxicos. Para corroborar com os dados acima, (Santos, 2018) verificou a presença de metais tóxicos (Al, Cd, Cu, Cr, Pb, Mn, Zn, Fe e Ni) em testudines e crocodilianos capturados no reservatório de Tapacurá entre os anos de 2014-2018. Segundo Santos (2018) as concentrações de metais detectadas nas espécies de crocodilianos derivam do tamanho do animal, habitat, tempo de exposição e hábitos alimentares desses animais no decorrer de sua história natural.

3.6 PERSPECTIVA SOCIOAMBIENTAL DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE TAPACURÁ

Considerando a existência da Estação Ecológica do Tapacurá (EET), como de grande importância para o ecossistema da bacia hidrográfica do Rio Tapacurá e manutenção da biodiversidade local, Moura *et al.* (2018) apresentaram uma proposta de contribuições para a gestão ambiental da Estação, para tanto, foi realizada uma pesquisa *in situ*, com moradores locais buscando identificar a percepção da comunidade sobre a

EET. A análise das entrevistas com os moradores evidenciou que a maior parte dos entrevistados (mais de 80%) já visitou a EET e conhecem o local. Dentre estes, cerca de 58% dos participantes confirmaram a importância da unidade para si.

A atribuição desse valor pelos moradores se dividiu entre: a estação funcionar como uma forma de proteção ambiental e constituir parte do ambiente em que vivem. Dos depoimentos que se enquadram na primeira opção podemos destacar os relatos: M19: “Sim, por causa da preservação do ambiente, o ar é outro né!” M21: Sim, porque o local que o pessoal entra e faz pesquisa, defende os animais, preserva é muito importante pra gente. Para os participantes incluídos na segunda categoria observamos os seguintes relatos: M3: “Sim, pra mim esse é o melhor lugar do mundo isso é a nossa riqueza a nossa terra a nossa floresta que nós temos (...)”. M 27: “Sim, primeiramente a vida da gente, o ar que agente respira a natureza que a gente tem é importante porque ajuda tudo aqui”.

Segundo Moura *et al.* (2018), 86,2% dos participantes mostraram compreender a necessidade de conservação da EET, pois jugaram fundamental a manutenção do local para melhoria do clima, da floresta, do açude e conseqüentemente peixes, conforme descrito a seguir: M1. “Sim, porque é importante pra todo mundo porque a mata segura a água ajuda na melhoria dos peixes”, M4. “É importante sim! ... devia ser maior...porque a mata não deixa a água ir embora e daqui a 50 anos não vai ter mais água aí pronto né! Por isso que tem que cuidar mesmo”. M19. “Sim, Ela melhora 100% para chuva, para o ar, para várias coisas”. M26. “Sim, tenho pra mim que ajuda por causa das árvores que tem, eles preservam. Isso traz mais uma chuva é ventania para gente”.

3.7 LEGISLAÇÃO A RESPEITO DA PRESENÇA DE METAIS TÓXICOS EM ALIMENTOS NO BRASIL

A legislação brasileira no que diz respeito a metais tóxicos existe desde 1965 com a edição do Decreto 55.871 de 26 de março de 1965, o qual foi revogado e substituído pela Instrução normativa – IN nº88 de 26 de março de 2021. Essa instrução estabelece em seu anexo I os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos e foi publicada pela Diretoria colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Ademais, em 2005 foi editada a resolução CONAMA 357/2005 que estabeleceu os limites de minerais para corpos de água dividindo-as em classes. Segundo a resolução 357/2005 o reservatório de Tapacurá encontra-se na classe II, vale salientar que esses limites devem ser o mínimo possível dentro de suas respectivas classes.

Além disso, temos ainda a Resolução Nº42 de 29 de agosto de 2013 que

regulamenta os limites máximos para contaminantes inorgânicos em alimentos. De acordo com a resolução em seu Art. 1º Fica aprovado o Regulamento Técnico sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos, nos termos do Anexo desta Resolução; Art. 2º Esta Resolução incorpora ao ordenamento jurídico nacional a Resolução GMC MERCOSUL n. 12/2011; Art. 3º Revogam-se os limites máximos de arsênio, cádmio, chumbo estanho e mercúrio que constam no Anexo da Portaria SVS nº 685, de 27 de agosto de 1998.

Ainda de acordo com (Santos, 2018) a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece dose limite para alimentação com peixes contaminados com esses metais. (Tabela 1).

Tabela 1. Limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes inorgânicos em alimentos e água doce para os metais Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, k, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr e Zn (ppm, mg/kg, µg/g).

Contaminantes inorgânicos	IN N° 88 (1) (ppm)	Resolução 357(2) (mg/L)	RDC 42 (3) (mg/Kg)	OMS (4) (µg/mg/pessoa/Semana)
Al	*	0,1	*	1 mg/kgb/w/
As	1	0,01	1	*
Ba	*	0,7	*	*
Ca	*	*	*	*
Cd	0,05	0,001	0,05	7µg/0,49mg/pessoa/semana
Co	*	0,05	*	*
Cr	10	0,05	*	<10 a 1.300 µg/kg
Cu	40	0,01	*	3500µg/245mg/pessoa/semana
Fe	*	0,3	*	5600 µg/392/mg/pessoa/semana
K	*	0,01	*	*
Mg	*	*	*	*
P	*	0,020	*	*
Mn	*	0,01	*	980 µg/68,6 mg/pessoa/semana
Mo	*	*	*	*

Ni	*	0,025	*	35 µg/2,45/mg/pe ssoa/semana
Pb	2	0,01	0,3	25 µg/1,75 mg/pessoa/sem ana
Se	*	0,01	*	*
Sr	*	*	*	*
Zn	*	0,18	*	3500 µg/245 mg/pessoa/sem ana
Hg	1	0,0002	0,5	*

1. Instrução normativa IN N°88 que revoga o Decreto 55.871/1965;
 2. Alterada pelas resoluções CONAMA N° 393/2007, N° 398/2008, N° 410/2009 e N° 430/2011, retificada ao final;
 3. Dispõe o regulamento Técnico sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos e incorpora a GMC MERCOSUL n° 12/200;
 4. Disponibiliza a dose limite para alimentação com peixes;
- *Mostra os metais tóxicos com limites não estabelecidos nas legislações

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Sónia Raquel Guerreiro. **Bioacumulação de elementos essenciais e metais tóxicos no fígado dos grandes predadores do Atlântico**. 2024. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Veterinária.

ALMAGRO, Vinicius de Leles. **Cianobactérias como discriminadores ambientais nos reservatórios Jaguari e Jacareí (SP, Brasil)**. 2024.

ARIAS, Ana Rosa Linde et al. **Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 12, p. 61-72, 2007.

ALVES, Sónia Raquel Guerreiro. **Bioacumulação de elementos essenciais e metais tóxicos no fígado dos grandes predadores do Atlântico**. 2024. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Veterinária.

ATTAYDE, José Luiz; OKUN, Nils; BRASIL, Jandeson; MENEZES, Rosemberg; MESQUITA, Patrícia. **Impactos da Introdução da Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, sobre a Estrutura Trófica dos Ecossistemas Aquáticos do Bioma Ca**. *Oecologia Brasiliensis*, Lagoa Nova, Natal, Rn, p. 451-461, 04 dez. 2007

APRILE, F. M.; PARENTE, A. H.; BOUVY, M. **A dinâmica dos metais tóxicos nas águas e sedimentos superficiais do rio Tapacurá, Pernambuco, Brasil**. *Química e Tecnologia*, v. 2, p. 7-14, 2003.

ANDEMO KOTACHO, Abiy et al. **Level of Heavy Metals in Fish and Associated**

Human Health Risk From the Omo Delta in Southern Ethiopia: A First-Hand Report. Environmental Health Insights, v. 18, p. 11786302241238180, 2024.

BASTA, Paulo Cesar et al. **Impacto do mercúrio em áreas protegidas e povos da floresta na Amazônia: uma abordagem integrada saúde-ambiente-Relatório Técnico.** 2024.

BASTA, Paulo Cesar; HACON, Sandra de Souza. **Impacto do mercúrio na saúde do povo indígena Munduruku, na bacia de Tapajós.** 2020.

BAGHERI, Sara; GHOLAMHOSSEINI, Amin; BANAAE, Mahdi. **Investigation of different nutritional effects of dietary chromium in fish: a literature review.** Biological Trace Element Research, v. 201, n. 5, p. 2546-2554, 2023.

CHAGAS, Brenda Rodrigues. **Bário em sangue de população de área industrial e portuária na Amazônia.** 2020.

COTTET, Maud et al. **Total iron concentrations in waters and fish tissues in the Nam Theun 2 Reservoir area (Lao PDR).** Environmental monitoring and assessment, v. 187, p. 1-17, 2015.

DE OLIVEIRA, Stener Camargo et al. **Avaliação toxicológica dos efeitos do cobre na espécie *Carassius auratus*.** Revista gestão & sustentabilidade ambiental, v. 7, n. 2, p. 260-275, 2018.

DE MORAES NARCIZO, Amanda et al. **Bioconcentração de alumínio em tilápia do Nilo fêmea *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) e os efeitos nas gonadotrofinas hipofisárias.** Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, v. 241, p. 108965, 2021.

DUARTE, Cristiana Coutinho et al. **Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do Rio Tapacurá-PE.** Revista de Geografia (Recife), v. 24, n. 2, p. 50-64, 2008.

DE OLIVEIRA, José Dilson Silva et al. **Estudo preliminar da biodisponibilidade de magnésio e zinco em espécimes de armado (*Pterodoras granulosus*), capturados no reservatório de Itaipu.** Boletim do Instituto de Pesca, v. 40, n. 3, p. 315-322, 2014.

DRENNER, Ray W. et al. **Experimental study of size-selective phytoplankton grazing by a filter-feeding cichlid and the cichlid's effects on plankton community structure 1.** Limnology and Oceanography, v. 32, n. 5, p. 1138-1144, 1987

ORTIZ, Nicolas Moore. **Mineradores dos recifes: influência do tamanho corporal na remoção de carbonato de cálcio recifal pelo budião azul *Scarus trispinosus*.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

AL OSMAN, Muwaffak; YANG, Fei; MASSEY, Isaac Yaw. **Rotas de exposição e efeitos na saúde de metais tóxicos em crianças.** Biometals, v. 32, p. 563-573, 2019.

FAGUNDES, Victor Brendo Caldeira et al. **Estudo de adsorção de corantes por diferentes nanoaluminas utilizando espectroscopia de absorção no visível.** 2024.

FERREIRA, Sabrina Antunes et al. **Efeitos do manganês sobre respostas neurocomportamentais e bioquímicas em peixe-zebra (*Danio rerio*).** 2022.

FERRARI, Jeisson Emerson Casimiro et al. **Níveis de cobre em dietas para a tilápia**

do Nilo, Oreochromis niloticus. Acta Scientiarum, v. 26, n. 4, p. 429-436, 2004.

JUDYCKA, Sylwia et al. **Íons de potássio no extensor influenciam diferencialmente a motilidade espermática pós-descongelamento de peixes salmonídeos.** Cryobiology , v. 73, n. 2, p. 248-256, 2016.

SILVA-FILHO, E. V. et al. **Mercúrio em peixes no Brasil e sua implicação ecológica: revisão bibliográfica.** In: III Congresso Brasileiro de Oceanografia-CBO. 2008.

LATIF, F. et al. **Estudos sobre padrões de bioacumulação, efeitos bioquímicos e genotóxicos do cobre em peixes de água doce, Catla catla: uma análise in vivo.** Brazilian Journal of Biology, v. 84, p. e256905, 2022.

MERILUOTO, Jussi; SPOOF, Lisa; CODD, Geoffrey A. (Ed.). **Manual de monitoramento de cianobactérias e análise de cianotoxinas .** John Wiley & Sons, 2017.

MOURE, Rodrigo Menezes. **Efluentes industriais e domésticos e seus efeitos ao meio ambiente e na saúde da população.** Revista UNICREA-Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do CREA/SC, v. 2, n. 1, p. 283-288, 2024.

MOURA, G. J. B.; AZEVEDO JUNIOR, S. M. (Org.) ; EL-DEIR, A. C. A. (Org.). **A Biodiversidade da Estação Ecológica do Tapacurá - Uma Proposta de Manejo e Preservação.** 1. ed. Recife: NUPEEA, 2012. v. 1. 406p.

MOHAMAD G. Hamada, Zakaria H. Elbayoumi, Reda A. Khader, Abdel Rahman M. Elbagory **Assessment of Heavy Metal Concentration in Fish Meat of Wild and Farmed Nile Tilapia (Oreochromis Niloticus), Egypt** AJVS. Vol. 57 (1): 30-37. April 2018 DOI: 10.5455/ajvs.295019

MARCANTONIO, Adriana Sacioto et al. **Toxicidade do sulfato de zinco para girinos de rã-touro (Lithobates catesbeianus): toxicidade aguda, crônica e parâmetros hematológicos.** Boletim do Instituto de Pesca, v. 37, n. 2, p. 143-154, 2018.

MANTOVANI, Júlia Neves et al. **MONITORAMENTO DE METAIS E QUALIDADE DE ÁGUA NO RIBEIRÃO TAQUARUCÚ GRANDE E AFLUENTES. DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins,** v. 11, n. 3, 2024.

MELO, Solange Cavalcanti de et al. **Análise qualitativa no rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão (PE).** 2013.

MATOS, Camilla Bruna Cruz de. **Mecanismos de indução do câncer mediados por arsênio.** 2022.

GURER, Hande; ERCAL, Nuran. **Os antioxidantes podem ser benéficos no tratamento de envenenamento por chumbo?** Free Radical Biology and Medicine, v. 29, n. 10, p. 927-945, 2000.

GARCIA-SANTOS, S. et al. **Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica Oreochromis niloticus causadas pelo cádmio** Histological alterations in gills of Nile tilapia Oreochromis niloticus caused by cadmium. 2007.

GELEIJNSE, JM; GROBBEE, DE **Nutrição e saúde-hipertensão**. Revista Holandesa de Medicina, v. 21, pág. 996-1000, 2003.

GARCEZ, Raniere CS et al. **Otolith geochemistry in young-of-the-year peacock bass *Cichla temensis* for investigating natal dispersal in the Rio Negro (Amazon-Brazil) river system**. Ecology of freshwater fish, v. 24, n. 2, p. 242-251, 2015.

HSU, Ping-Chi; GUO, Yueliang Leon. **Nutrientes antioxidantes e toxicidade de chumbo**. Toxicology, v. 180, n. 1, p. 33-44, 2002.

HANSEN, Nina G. Walker et al. **Transporte de magnésio no rim aglomerular do peixe-sapo do Golfo (*Opsanus beta*)**. Journal of Comparative Physiology B, v. 191, n. 5, p. 865-880, 2021.

HEGG, Jens C.; GIARRIZZO, Tommaso; KENNEDY, Brian P. **Diversas estratégias de história de vida inicial em bagres migratórios da Amazônia: implicações para conservação e manejo**. PLoS One, v. 10, n. 7, p. e0129697, 2015.

HUELGA-SUAREZ, Gonzalo et al. **Marcação transgeracional individual específica de populações de peixes com base em um procedimento de isótopo duplo de bário**. Analytical chemistry, v. 84, n. 1, p. 127-133, 2012.

DE JESUS, Taíse Bomfim; DE CARVALHO, Carlos Eduardo Veiga. **Utilização de biomarcadores em peixes como ferramenta para avaliação de contaminação ambiental por mercúrio (Hg)**. Oecologia brasiliensis, v. 12, n. 4, p. 7, 2008.

LEE, Ju-Wook et al. **Efeitos tóxicos da exposição ao chumbo na bioacumulação, estresse oxidativo, neurotoxicidade e respostas imunes em peixes: Uma revisão**. Environmental toxicology and pharmacology, v. 68, p. 101-108, 2019.

SILVA, Larissa Nayara Lima et al. **Concentração de mercúrio em pisciculturas do Mato Grosso, Brasil: uma necessidade de análise para a redução de impactos sobre o pescado**. Caderno Pedagógico, v. 21, n. 5, p. e4171-e4171, 2024.

TORRES, Daiane Placido. **Mercúrio: validação de método para determinação em peixe e camarão e avaliação da sua distribuição em tecidos de caranguejos e efeito da presença de selênio**. 2013. Tese de Doutorado. Tese de doutorado, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, Brasil.

SUZANO, Fábio Feler Pacheco Mariana Santos et al. **panorama do gerenciamento de áreas contaminadas no brasil**.

SANTO, CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO; BIOLÓGICAS-BACHARELADO, CURSO DE CIÊNCIAS. KORINA BLUNK DA SILVA. 2023.

SANTOS, S. de O.; DA SILVA, Carlos Alberto. **Determinação dos metais ferro e zinco em peixes marinhos comercializados em Aracaju, SE, Salvador, BA e Maceió, AL**. 2015.

SAMPAIO, F. G.; BOIJINK, C. de L.; RANTIN, F. T. **O uso do sulfato de cobre em ecossistemas aquáticos: fatores que afetam sua toxicidade em peixes de água doce**. 2013.

SENGER, Mario Roberto. **Influência de metais tóxicos nas enzimas do sistema purinérgico e na acetilcolinesterase em sistema nervoso central do peixe zebra (Danio rerio)**. 2009.

SANI, Ali et al. **Bioaccumulation and health risks of some heavy metals in Oreochromis niloticus, sediment and water of Challawa river, Kano, Northwestern Nigeria**. Environmental Advances, v. 7, p. 100172, 2022.

SANTOS, Rayssa Lima dos. **Análise de Metais tóxicos da Herpetofauna Aquática (Crocodilya e Testudines) Em Um Ambiente Lêntico de Mata Atlântica, Nordeste do Brasil**. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018

SOUZA, Ingrid Alves de. **Determinação de arsênio total em peixes tainha (Mugil sp.) através da espectrofotometria de absorção molecular**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SANTOS, Jamerson Aguiar et al. **Isótopos estáveis em estudos ecológicos com peixes na Amazônia Brasileira**.

SINGH, Mamta et al. **Alterações hematológicas, oxidativas e histológicas mediadas por ferro em peixes de água doce Labeo rohita**. Ecotoxicologia e segurança ambiental, v. 170, p. 87-97, 2019.

SATKANOV, Mereke et al. **Método para avaliar o conteúdo de enzimas de molibdênio nos órgãos internos de peixes**. MethodsX , v. 12, p. 102576, 2024.

REPULA, Carolina Marília Martins; GANZAROLLI, Edgard Moreira; LOPES, Mauro Chierici. **BIOMONITORAMENTO DE Cr E Pb EM PEIXES DE ÁGUA DOCE**. Quim. Nova, [s. l], v. 35, n. 05, p. 905-909, 28 fev. 2012.

RIBEIRO, Anderson de Brito. **Efeitos do cobre no comportamento de Poecilia vivipara**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

Ricketts CD, Bates WR, Reid SD. **The effects of acute waterborne exposure to sublethal concentrations of molybdenum on the stress response in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss**. PLoS One. 2015 Jan 28;10(1):e0115334. doi: 10.1371/journal.pone.0115334. PMID: 25629693; PMCID: PMC4309612.

RODRIGUES, Lauana et al. **Aplicações da tecnologia de cultivo de microalgas verdes com vistas à biorremediação de efluentes e produção de bioativos**. 2022.

VIANA, Jéssica Girello Mota; DA SILVA, Geilson Rodrigues; DE OLIVEIRA, Hygor Rodrigues. **Análise de metais potencialmente contaminantes nos peixes do Rio Taquari, bacia do rio Paraguai, município de Coxim-ms**. In: Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332. 2024. p. 1-8 e244669.

VELMA, Venkatramreddy; VUTUKURU, SS; TCHOUNWOU, Paul B. **Ecotoxicologia do cromo hexavalente em peixes de água doce: uma revisão crítica**. Revisões sobre saúde ambiental, v. 24, n. 2, p. 129-146, 2009.

VIEIRA, José Cavalcante Souza. **Investigação de metalotioneínas em peixes da região de Jirau-bacia do Rio Madeira-Rondônia.** 2017.

WAHIDUZZAMAN M, Islam MM, Sikder AHF, Parveen Z. **Bioaccumulation and heavy metal contamination in fish species of the dhaleswari river of Bangladesh and related human health implications.** Biol Trace Elem Res. 2022 Aug;200(8):3854-3866. doi: 10.1007/s12011-021-02963-0. Epub 2021 Oct 23. PMID: 34689300.

WAHIDUZZAMAN, Md; ISLAM, Md Mahfuz; SIKDER, Abdul Halim Farhad; PARVEEN, Zakia. **Bioaccumulation and Heavy Metal Contamination in Fish Species of the Dhaleswari River of Bangladesh and Related Human Health Implications.** Biological Trace Element Research, [S.L.], v. 200, n. 8, p. 3854-3866, 23 out. 2021. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12011-021-02963-0>.

PANE, Eric F.; HAQUE, Aziz; WOOD, Chris M.. **Mechanistic analysis of acute, Ni-induced respiratory toxicity in the rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): an exclusively branchial phenomenon.** Aquatic Toxicology, [S.L.], v. 69, n. 1, p. 11-24, jul. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.04.009>.

ZHUZZHASSAROVA, Gulnur; AZARBAYJANI, Faranak; ZAMARATSKAIA, Galia. **Fish and Seafood Safety: human exposure to toxic metals from the aquatic environment and fish in central asia.** International Journal Of Molecular Sciences, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 1590, 27 jan. 2024. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/ijms25031590>.

ZANOTELLI, Cláudio Luiz. **Efeitos permanentes da poluição oriunda da ruptura da barragem da empresa Samarco em Mariana (Minas Gerais) sobre a planície costeira do Rio Doce, Espírito Santo.** Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia, n. 62, 2024.

CHARKIEWICZ, A. E. et al. **Cadmium toxicity and health effects—A brief summary.** Molecules (Basel, Switzerland), v. 28, n. 18, p. 6620, 2023.

KALKA, Marta et al. **Calcium carbonate polymorph selection in fish otoliths: A key role of phosphorylation of Starmaker-like protein.** Acta Biomaterialia, v. 174, p. 437-446, 2024.

KASPER, Daniele et al. **Mercúrio em peixes-fontes e contaminação.** Oecologia Brasiliensis, v. 11, n. 2, p. 228-239, 2007.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.**

Disponível em:

https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024.

ANVISA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 88, DE 26 DE MARÇO DE 2021.**

Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-88-de-26-de-marco-de-2021-311655598>. Acesso em: 30 jul. 2024.

ANVISA. **Anvisa - Resolução RDC N° 42 de 29 de agosto de 2013 - Internaliza a Resolução GMC RES N.º 12 2011.pdf Atualizado em 24/03/2017 16h33.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes/documentos-da-pncrc/anvisa-resolucao-rdc-no-42-de-29-de-agosto-de-2013-internaliza-a-resolucao-gmc-res-n-o-12-2011.pdf/view>. Acesso em: 30 jul. 2024.

CAPÍTULO II

1. INTRODUÇÃO

Segundo Afzal *et al.* (2024) os animais sofrem exposição a metais tóxicos por meio de alimentos e água contaminados, principalmente como resultado da poluição ambiental antropogênica, a poluição causada por ações ou omissões humanas, por exemplo, uso excessivo de agrotóxicos em lavouras e despejos, resíduos químicos sem nenhum tratamento em córregos e rios. Os efeitos tóxicos dos metais levam à interrupção da homeostase celular por meio da geração de radicais livres que desenvolvem estresse oxidativo. E em casos de envenenamento agudo por metais tóxicos, sintomas clínicos característicos podem surgir, potencialmente culminando na morte de animais com achados de necropsia correspondentes, além de potencializar as chances de morte de demais ecossistemas e seres humanos.

De acordo com Afzal *et al.* (2024) os metais (Zn) e (Cu) são incorporados na ração animal porque desempenham papéis essenciais na função imunológica, crescimento e metabolismo, servindo de cofatores para inúmeras enzimas envolvidas na síntese de proteínas e no metabolismo energético, promovendo a utilização eficiente de nutrientes e o crescimento em animais. Além disso, segundo os pesquisadores acima citados o (Fe) e (Mn) são indispensáveis para a formação de hemoglobina e enzimas envolvidas no transporte de oxigênio e mecanismos de defesa antioxidante. Ademais, Afzal *et al.* (2024) afirmam que as crescentes atividades humanas contribuem para um aumento drástico na adição de metais tóxicos ao meio ambiente, representando uma ameaça contínua ao gado por meio da poluição da água e do solo. Os autores ainda afirmam que a transferência de metais tóxicos de animais para humanos por meio da cadeia alimentar levanta preocupações sobre a segurança alimentar e a saúde pública.

Os pesquisadores Rai, 2018 e Alengebawy *et al.* (2021) citados por Aslam *et al.* (2023) afirmam que alimentos produzidos em solo contaminado ou irrigados com água suja aumentam o teor de metais em animais e humanos. Ainda de acordo com esses autores, a aplicação de lama de esgoto e água de esgoto no solo aumenta gradativamente o conteúdo nocivo dos metais tóxicos, que são cada vez mais absorvidos pelas plantas e vegetais subindo na cadeia alimentar expondo a riscos os animais e os humanos.

Segundo Ali *et al.* (2019) também citados por Aslam *et al.* (2023) os metais tóxicos representam um sério risco na alimentação e dieta podendo ter repercussões toxicológicas para as plantas, animais e as pessoas se a exposição for prolongada,

incluindo nessa lista, por exemplo, o cádmio, chumbo, arsênio, cromo e mercúrio. Além disso, os metais tóxicos causam efeitos diretos e indiretos para a saúde humana segundo esses pesquisadores.

Nesse sentido, os organismos aquáticos sofrem diretamente com os impactos dos corpos d'água, como poluição, aumento de temperatura, diminuição do pH, entre outros, por estas características, eles podem ser utilizados como excelentes indicadores, também chamados de bioindicadores, de mudanças ambientais por meio de suas respostas metabólicas (biomarcadores), Passos *et al.* (2024), e ainda de acordo com Collins *et al.* (2004) citados por Passos *et al.* (2024), os peixes são bons bioindicadores, pois estão constantemente expostos às variações ambientais e podem metabolizar, concentrar e acumular poluentes, além de serem sensíveis a análises bioquímicas e genotóxicas .

Os metais tóxicos são considerados micropoluentes devido à sua incapacidade de serem biodegradados por micróbios. Conseqüentemente, eles têm o potencial de permear diversos meios ambientais abrangendo corpos de água doce e marinhos. Numerosos organismos aquáticos, particularmente peixes, têm a capacidade de assimilar metais presentes em água contaminada. Assim, por serem um importante recurso proteico e fazerem parte da composição alimentar humana e de outros animais, os peixes representam uma das principais fontes de ingestão de metais tóxicos via cadeia alimentar (Viana, 2023); Elumalai *et al.* (2023)

Alguns elementos, como: Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se e Zn são essenciais em quantidades vestigiais para o crescimento e metabolismo dos peixes, mas em altas concentrações podem ter efeitos negativos. Por outro lado, As, Cd, Hg, Ni e Pb não são essenciais e são altamente tóxicos, mesmo em níveis baixos segundo Sfakianakis *et al.* (2015); Varol e Sünbül, 2018; Nikolić *et al.* (2019).

Dessa forma, corpos d'água lênticos, incluindo lagos, como a barragem de Tapacurá, são parte de importantes ecossistemas ecológicos que podem sofrer forte contaminação por metais tóxicos, implicando em bioconcentração desses metais e outros contaminantes na fauna local. Segundo Zargar *et al.* (2023) apesar da importância do reconhecimento dos corpos de água doce como ecossistemas ecológicos e socioeconômicos, é irônico que a maioria desses ecossistemas, incluindo outros ecossistemas de água doce, estejam expostos a pressões antropogênicas sem precedentes.

Nessa perspectiva encontra-se a Estação Ecológica de Tapacurá, uma reserva ecológica, criada pela Resolução Nº 51 de 1975 do conselho universitário da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Foi implementada como Refúgio de Vida

Silvestre (RVS) do estado de Pernambuco pela Lei nº 9.989, de 13 de janeiro de 1987 visando à proteção das áreas necessárias dos mananciais de interesse da Região Metropolitana do Recife (CPHR, 2024). Segundo Bezerra *et al.* (2019) a Estação Ecológica do Tapacurá (EET), é um Campi avançado da Universidade Federal Rural de Pernambuco, uma Unidade de Conservação de Mata Atlântica, com ênfase a subsidiar a construção do conhecimento, a sensibilização e estimular atores, multiplicadores na conservação ambiental.

Nesse sentido, além dos efeitos tóxicos letais ou subletais diretos sobre os organismos vivos, a poluição pode ter efeitos indiretos por meio da interrupção induzida por contaminantes da estrutura da comunidade ou degradação ambiental, levando a teias alimentares perturbadas que podem reduzir as oportunidades de forrageamento ou alterar a pressão de predação para alguns organismos Saaristo *at al.* (2008).

Dada a importância da concentração de metais tóxicos em ambientes aquáticos é relevante esclarecer que a água é a representação prática do que consiste em o conceito de Saúde Única. Sendo assim, a água seria uma perfeita representação desse conceito, haja vista que ela é de extrema relevância para a sobrevivência de todos os seres vivos, e está presente no desenvolvimento humano e atividades econômicas (Schmitt, 2012). Esse conceito defende a tese de que a saúde humana, a animal e a ambiental são interligadas Souza *et al.* (2022). o conceito de saúde única (ou "One Health", em inglês) destaca a interconexão entre a saúde humana, animal e ambiental. Para Guimarães *et al.* (2021) o termo saúde única não é novo e trata de uma abordagem de integração entre saúde humana, animal e meio ambiente. Essa abordagem integrativa é essencial para enfrentar diversos desafios de saúde pública, incluindo o impacto dos metais tóxicos no ecossistema e, conseqüentemente, na saúde de todos os seres vivos.

Entre os principais riscos estão a degradação da qualidade do solo e a poluição das fontes de água e da atmosfera, que são causadas pela presença de substâncias como metais tóxicos em fertilizantes. Eles também podem proporcionar sérios riscos aos seres vivos (Ecycle, 2018) citado por Marques *et al.* (2018).

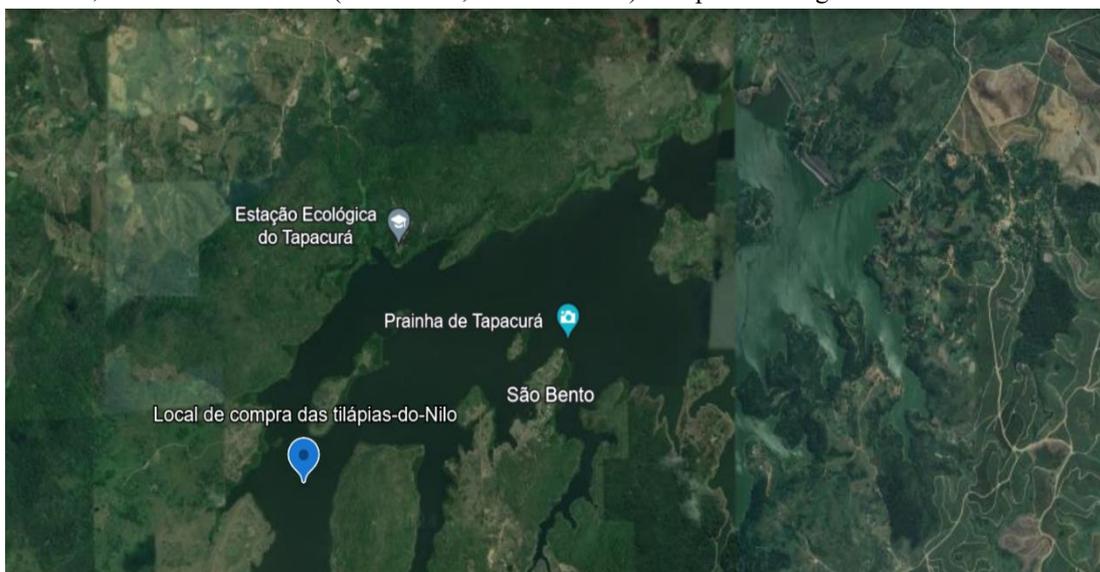
Ainda de acordo com Souza *et al.* (2022) dentre os diversos aspectos da água que se relacionam com o conceito de saúde única podemos citar: a água como veículo de transmissão de doenças; a acessibilidade a água como um instrumento de segregação socioeconômica; a sua quantidade no ambiente influenciando o equilíbrio de ecossistemas; matéria-prima de produtos industrializados e recurso para a execução de atividades econômicas.

2. MATERIAL E METÓDO

2.1 LOCAL DE AMOSTRAGEM

O reservatório de Tapacurá está situado no município de São Lourenço da Mata-PE-Brasil, sob as coordenadas de latitude 8° 3' 20'' e longitude 35° 12' 09'' (Figura 1). Ele tem como objetivo principal a contenção de enchentes na região metropolitana do município de Recife-Pernambuco, e também, é utilizado para abastecimento de água para a região. Em função de várias características físico-químicas e ambientais, muitos peixes se reproduzem na barragem, o que torna a barragem um ponto de pesca artesanal utilizado pela população ribeirinha, e, portanto, as amostras de peixes utilizadas neste estudo, foram obtidas deste comercio local.

Figura 1 - Localização do ponto de compra dos peixes na Barragem de Tapacurá Município de São Lourenço da Mata, Pernambuco - Brasil (8° 3' 20" S, 35° 12' 09" W). Adaptado: Google Eart.



Fonte: o autor

2.2 COLETA DE ANIMAIS (*Oreochromis niloticus*)

Na figura 1 é possível observar a barragem de Tapacurá e a localização de onde foram adquiridas 62 amostras de peixes (*Oreochromis niloticus*) pesando entre 600g e 800g e com comprimento médio de 25cm. Elas foram compradas de pescadores que moram à beira da barragem do reservatório de Tapacurá. Os animais aparentemente saudáveis, foram comprados após a pesca por redes e congelados. Em seguida, foram levados ao laboratório Dom Bento Pikel na Estação Ecológica do Tapacurá onde foram descongelados e foi realizado o processamento das amostras. Para coletar as amostras de músculo e fígado dos animais, foi realizada uma incisão retangular medindo

aproximadamente 1,5cm² em três pontos do antímero direito e do antímero esquerdo, onde se utilizou para cada amostra, uma lâmina de bisturi estéril para se evitar contaminação. Primeiro foi retirada a pele, logo após foi realizada a coleta em cada antímero, 15g de massa muscular somando os três pontos de amostra, totalizando 62 amostras de músculo. Também foram coletados os fígados de cada animal chegando a um total de 61 amostras, sendo possível verificar na figura 2 um exemplar de *Oreochromis niloticus* capturada no ponto de compra mostrado na figura 1. Em seguida, as amostras foram novamente congeladas e levadas para o Centro Multiusuário de Apoio a Pesquisa CENAPESQ da UFRPE, para realização do processamento para dosagem de metais tóxicos.

Figura 2 - *Oreochromis niloticus* oriunda do reservatório de Tapacurá.



Fonte: o autor

2.3 LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os instrumentos e a vidraria foram lavados com imersão em banho de HNO₃ 5% (v/v) por 24 horas. Em seguida, o material foi enxaguado com água destilada deionizada com resistividade específica de 18,2 M Ω cm (Milli-Q, Millipore, EUA) e seco à temperatura ambiente.

Os frascos de digestão foram limpos com solução de 5 ml de HNO₃ 65% no forno de micro-ondas e submetidos a programa de aquecimento no equipamento Multiwave 3000 da Anton Paar, utilizando o método descrito por Fonseca *et al.* (2023). O programa de lavagem funcionou de maneira que foram colocados no micro-ondas por 15 minutos até atingir a temperatura de 160°C, em seguida, foi mantido a essa temperatura por 40 minutos para a conclusão do processo. Posteriormente foi feita uma nova lavagem com

água Milli-Q e levado ao forno para secagem, inicialmente a uma temperatura de 160°C por 5 minutos e mantidos nessa temperatura por mais 10 minutos até a secagem total.

2.4 DOSAGEM DOS METAIS

Amostras de tecido muscular e de fígado dos animais foram submetidas a determinação dos principais metais tóxicos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, k, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr e Zn baseadas na unidade de peso (mg/kg). Os resultados dos níveis de concentração dos 19 elementos de metais tóxicos testados nas amostras de fígado e músculo de *Oreochromis niloticus* das amostras de Tapacurá, cinco (11,29%) metais como Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Molibidênio (Mo) Maganês (Mn), Níquel (Ni) e Chumbo (Pb) não apresentaram níveis de detecção. Nesse sentido, vale ressaltar que a RESOLUÇÃO - RDC N°42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece os limites máximos de contaminantes inorgânicos por (mg/kg). Para peixes nos elementos (As) 1,00 mg, (Pb) 0,30 mg e (Cd) 0,05 respectivamente.

Dessa forma, seguindo a metodologia da pesquisa as amostras de músculo e fígado, foram descongeladas sob refrigeração, acondicionadas em placas de Petri rotuladas e secas em estufa com temperatura controlada entre 60°C e 70°C por aproximadamente 24 horas ou até a completa secagem. Posteriormente, o material foi triturado com almofariz e pilão para obtenção de um pó fino e homogêneo. A contaminação cruzada foi evitada por meio da técnica de secagem em estufa dos tecidos. Antes da definição do método de digestão, foram realizados testes com uma amostra de tecido muscular da tilápia-do-nilo para avaliar a eficiência do procedimento de decomposição. A avaliação foi feita pela quantificação do teor de carbono residual (RCC) Fonseca *et al.* (2023).

O conteúdo de carbono original (OCC) e residual (RCC) foram quantificados em espectrofotômetro de absorção molecular UV-visível (DR/ 2010, Hach, EUA). Essa determinação foi realizada seguindo o procedimento proposto por Silva *et al.* 2020, descrito a seguir: uma alíquota de 1mL (solução ou suspensão) ou 6mg de amostra (sólida) foi transferida diretamente para tubos de ensaio com tampa de rosca (Hach, EUA). Logo após, foram adicionados 1,5mL de K₂Cr₂O₇ (50 g L⁻¹) e 2,5mL de H₂SO₄ 96%.

Os tubos após seu fechamento foram homogeneizados em agitador de tubos (Q-220B2, Quimis, Brasil), e então foram levados para um bloco digestor (Spectroquant TR 420, Merck, Alemanha) a 150°C por 2 h. Com a amostra em temperatura ambiente, a absorvância foi medida em um comprimento de onda de 620 nm usando o próprio tubo como cubeta (caminho óptico de 13,5mm). A concentração de carbono estimada utilizou uma curva analítica previamente preparada. Quando o teor de carbono for muito alto, a amostra foi diluída em solução ou suspensão.

Além disso, foi preparada uma solução estoque de hidrogeno fitalato de potássio (Merck, Alemanha) contendo 10.000mg L⁻¹ de carbono e, a partir dela, foram feitas soluções padrão de calibração na faixa de 50–3200mg L⁻¹ de carbono. Uma amostra do material (músculo) foi selecionada aleatoriamente para se determinar o RCC de acordo com a técnica preconizada por Fonseca *et al.* (2023).

A obtenção de baixos valores de RCC é fundamental para o bom desempenho da etapa de quantificação mineral, visto que a introdução de grandes quantidades de matéria orgânica não decomposta em equipamentos analíticos pode causar entupimento do sistema de introdução de amostras, instabilidade do plasma e intensificação da emissão de fundo quando a técnica ICP OES é usada Wiltsche *et al.* (2015).

2.5 DIGESTÃO ÁCIDA ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS

Foram preparadas amostras antes da quantificação dos minerais, às quais passaram por digestão ácida assistida por radiação de micro-ondas. As soluções analíticas em branco foram realizadas em triplicata e passaram por todas as etapas de preparação de amostra descritas em detalhes abaixo sem amostras Fonseca *et al.* (2023).

2.6 DIGESTÃO DO MÚSCULO E FÍGADO

Para amostras de músculo e fígado, foi medida uma massa de aproximadamente 500 mg em balança analítica e transferida para os frascos de digestão. Em seguida, foram adicionados 5 mL de HNO₃ 65%, os frascos foram fechados e aquecidos seguindo o seguinte esquema: (a) 15 minutos para atingir 160°C, (b) 40 minutos de manutenção a 160°C, e 5 minutos para resfriar os frascos de digestão. As amostras digeridas foram transferidas para tubos cônicos de polipropileno do tipo Falcon mostrados na figura 3, completando o volume para 15 mL com água Milli-Q. Neste trabalho, cada rodada de digestão realizada utilizou dezoito frascos de digestão Fonseca *et al.* (2023).

Figura 3 - Tubos falcon com as amostras digeridas.



Fonte: o autor

2.7 DETERMINAÇÃO MINERAL

Foram determinados os metais tóxicos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, k, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr e Zn em um espectrômetro de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente (ICP OES) (Modelo 5100, Agilent Technologies, EUA). As seguintes condições operacionais foram usadas: potência de radiofrequência de 1200 W, taxa de fluxo de gás de plasma de 12 L min⁻¹, taxa de fluxo de gás auxiliar de 1,0 L min⁻¹, taxa de fluxo de gás de nebulização de 0,7 L min⁻¹, taxa de fluxo de amostra de 1,0 mL min⁻¹, tempo de fusão de 10 s, tempo de atraso de 15 s, nebulizador concêntrico e câmara de pulverização ciclônica.

As seguintes linhas de emissão (nm) foram monitoradas na visão axial do plasma: Al I 396.152, Cd II 214.439, Co II 228.615, Cr II 267.716, Cu I 327.395, Fe II 238.204, Mn II 257.610, Mo II 202.032, Ni II 231.604, Pb II 220.353 e Zn I 213.857. Argônios com pureza mínima de 99,999% (Messer Gases, Brasil) foi utilizado no ICP OES para geração de plasma, nebulização e como gás auxiliar Fonseca *et al.* (2023).

A curva analítica multielementar foi preparada a partir de soluções monoelementares dos analitos Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn (Specsol, Brasil), Co, Mo, (SCP Science, Canadá) e Ni (Inorganic Ventures, EUA) na concentração de 1000 mg L⁻¹. Na elaboração da curva analítica foram aplicadas as seguintes concentrações da solução padrão de calibração: 0,5, 10, 20, 30, 40 e 50 mg L⁻¹ (Al, Fe); 0,05, 1, 2, 3, 4 e 5 mg L⁻¹ (Cu, Mn, Zn); 0,005, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 mg L⁻¹ (Cr, Ni, Pb); 0,001, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 e 0,1 mg L⁻¹ (Cd, Co, Mo). As soluções foram preparadas em meio HNO₃ 5% (v/v) para aumentar sua estabilidade, evitando a precipitação e absorção dos analitos nos recipientes Fonseca *et al.* (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os nossos resultados indicaram uma forte contaminação ambiental afetando a biodiversidade nas águas da barragem de Tapacurá. O fenômeno da eutrofização é uma realidade nessas águas e ocorre provavelmente por despejo de efluentes no leito do rio Tapacurá, e reforça a necessidade da realização de pesquisas nesta área de conservação. Além disso, é preciso que se realize ações de divulgação dos resultados encontrados para a população, já que é cada vez mais patente a participação de todas as esferas da sociedade nos processos de conservação da biodiversidade presente na reserva ecológica como forma de preservar também a saúde dessas pessoas tendo em vista que a saúde ambiental, animal e humana são indissociáveis.

Tabela 1 - Metais tóxicos presentes em fígados de *Oreochromis niloticus* oriundos do reservatório de Tapacurá - Pernambuco

Fonte: o autor

Metais tóxicos	Amostras positivas fígado	%	Amostras negativas fígado	%
(AL)	59	96,72%	02	3,28%
(As)	0	0%	61	100%
(Ba)	04	6,56%	57	93,44%
(Ca)	61	100%	0	0%
(Cd)	0	0%	61	100%
(Co)	0	0%	61	100%
(Cr)	0	0%	61	100%
(Cu)	59	96,72%	02	3,28%
(Fe)	61	100%	0	0%
(K)	61	100%	0	0%
(Mg)	61	100%	0	0%
(Mn)	0	0%	61	100%
(M0)	0	0%	61	100%
(Ni)	0	0%	61	100%
(P)	61	100%	0	0%
(Pb)	0	0%	61	100%
(Se)	28	45,90%	33	54,10%
(Sr)	01	01,64%	60	98,36%
(Zn)	60	98,36%	01	1,64%

Na tabela 1 estão descritas a quantidade de amostras positivas e negativas de metais tóxicos no fígado da seguinte maneira: todas as amostras com valores de - 0,01mg/g a 0,00mg/g foram quantificadas como negativas e todas as amostras com valores de 0,01mg/g acima foram quantificadas como positivas. A análise mostrou que o

elemento (Al) foi detectado em 59 dentre as 61 amostras de fígado nas tilápias de Tapacurá, dessas 38 apresentaram nível abaixo de 0,05mg/g e 21 amostras tiveram índices de alumínio acima 0,05mg/g, 02 apresentaram valores negativos.

O elemento Cálcio (Ca) foi detectado com valores muito acima de 0,05mg/g em 100% das amostras de fígado, com valores que chamam bastante atenção, chegando a (40,95 mg/g). O cobalto (Co) foi identificado em 13 amostras de fígado, mas com um percentual insignificante em termos de bioacumulação (-0,01), no restante das amostras não foi possível detectar o metal. O elemento (Cr) não foi detectado em nenhuma das amostras analisadas, 100% deram valor negativo para esse metal seja no fígado ou músculo.

Com relação ao cobre (Cu) foi possível identificar a presença em 59 amostras de fígado.

Tabela 2 - Metais tóxicos presentes em músculo de *Oreochromis niloticus* oriundos do reservatório de Tapacurá – Pernambuco

Fonte: o autor

Metais tóxicos	Amostras positivas		Amostras negativas	
	músculo	%	músculo	%
Al	13	20,97%	49	79,03%
As	0	0%	62	100%
Ba	0	0%	62	100%
Ca	62	100%	0	0%
Cd	0	0%	62	100%
Co	0	0%	62	100%
Cr	0	0%	62	100%
Cu	0	0%	62	100%
Fe	62	100%	0	0%
K	62	100%	0	0%
Mg	62	100%	0	0%
Mn	0	0%	62	100%
Mo	0	0%	62	100%
Ni	0	0%	62	100%
P	62	100%	0	0%
Pb	0	0%	62	100%
Se	5	8,07%	57	91,93%
Sr	4	6,46%	58	93,54%
Zn	43	69,35%	19	30,65%

Na tabela 2 é possível verificar os índices de metais analisados no músculo das tilápias em comparação ao fígado. O músculo apresentou 09 amostras, entre as 13 positivas analisadas com limite de (Al) acima do permitido de 0,05mg/g e 49 amostras se mostraram negativas em relação ao metal. O elemento (Ca) apresentou também altos índices de detecção no músculo chegando a (28,26mg/g) em uma das amostras.

Ao contrário do fígado o tecido muscular não apresentou o elemento (Cu) em nenhuma amostra. Em todas as amostras de fígado e músculo foi identificada a presença de ferro (Fe), com maior concentração no fígado, e limites bem acima do padrão de 0,05mg/g para ambos os grupos estudados. O destaque foi uma amostra de fígado com concentração de 23,78mg/g.

O potássio (K) apresentou um comportamento peculiar com apenas uma amostra de fígado apresentando concentração abaixo de 0,05mg/g. Todas as outras amostras apresentaram valores muito altos em relação ao grau de concentração desse elemento com o maior valor de 57,21mg/g no fígado.

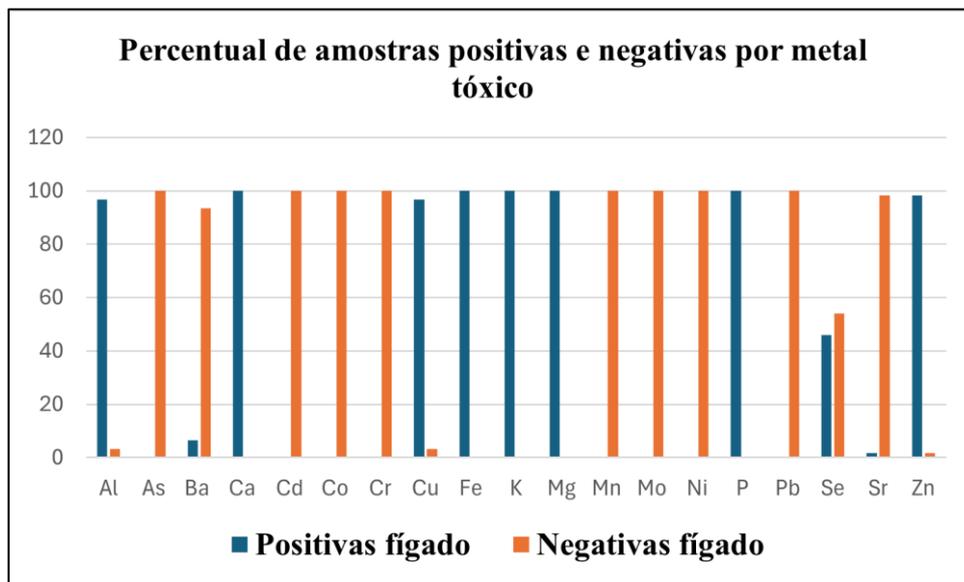
O elemento Magnésio (Mg) apresentou uma amostra de fígado com 0,30mg/g, e uma com 0,44mg/g. Outras 30 amostras foram detectadas com percentual entre 0,45 e 0,97mg/g. As 31 amostras de fígado restantes mostraram percentual acima de 1mg/g até 4,14mg/g desse metal, o músculo apresentou percentagem acima de 1mg/g em todas as amostras. O Manganês (Mn) também apresentou valores percentuais insignificantes de -0,01mg/g em duas amostras de fígado, enquanto no restante das amostras de fígado e músculo não foi possível quantificar a quantidade do metal tóxico.

Para o metal tóxico níquel não foram encontrados valores de detecção nas amostras, com exceção de uma com valor de -0,01mg/g no fígado o que torna o elemento irrelevante em termos de concentração nas Tilápias-do-nilo no reservatório de Tapacurá. O Fósforo (P) foi detectado com valores =1mg/g em apenas uma amostra de fígado outras 12 com valores acima de 1mg/g. O restante das amostras 78,68% com valores abaixo de 1 mg/g, em relação ao músculo assim como o fígado todas as amostras foram detectadas positivas para o elemento (P).

As amostras de tilápia testadas não apresentaram valores de Selênio (Se) de 0,05mg/g ou maior em nenhuma delas, sejam elas de músculo ou fígado, ficando 100% dentro dos padrões de normalidade em termos de nocividade. Já o metal tóxico Estrôncio (Sr) não foi detectado em 98,36% de todas as amostras de fígado e foi encontrado em 1,64% das amostras com valor 0,01 mg/g. No músculo o elemento foi detectado em 6,46% das amostras apenas. O Zinco (Zn) teve concentração de valores = 0,00 em 16,26%

das amostras analisadas, o restante apresentou valores de 0,01mg/g acima para fígado e músculo.

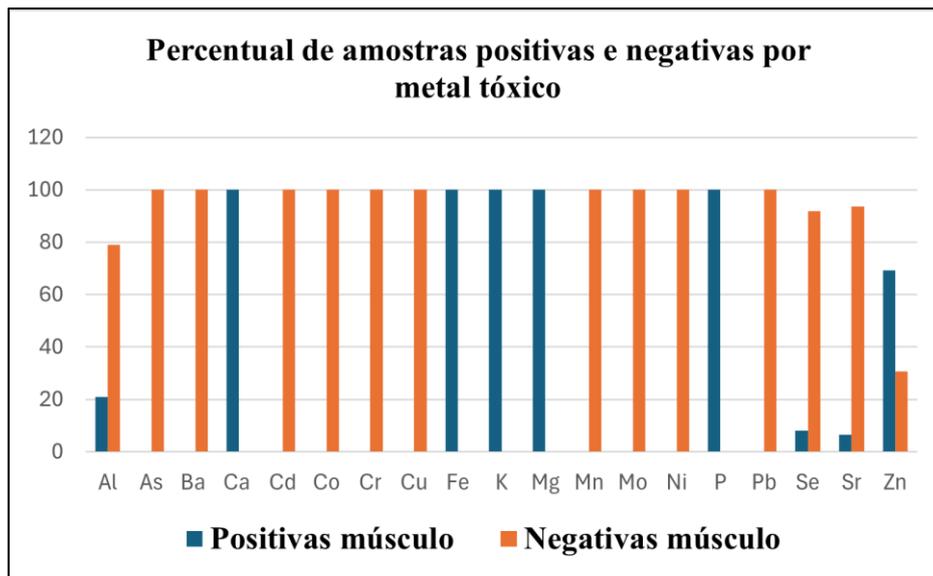
Gráfico 1 - Percentual de amostras positivas x negativas por metal tóxico em fígado analisado na espécie *Oreochromis niloticus* oriundas de Tapacurá. Eixo y = valores percentuais das amostras; Eixo x = metais por amostra: cor azul - positiva, cor laranja - negativa



Analisando o gráfico 1 nota-se que a contaminação do reservatório de Tapacurá representa a possibilidade de bioacumulação de 100% dos metais (Cálcio, Ferro, Potássio, Magnésio e Fósforo) em fígado de tilápias-do-nylo presentes na barragem. Da mesma forma, é possível verificar no gráfico que os metais (Arsênio, Cádmio, Cobalto, Cromo, Manganês, Molibidênio, Níquel e Chumbo) não estão presentes no fígado das tilápias de Tapacurá. Destaca-se ainda, que os elementos (Bário e Estrôncio) representam quase 100% de amostras negativas dos respectivos metais, enquanto os elementos (Alumínio e Cobre) estão presentes em mais de 90% das amostras de fígado das tilápias do reservatório.

Esses dados, no entanto, mostram que mesmo não havendo a presença de alguns desses metais nas tilápias do reservatório de Tapacurá, há riscos causados por todos os outros metais presentes nas amostras, riscos para o ambiente, animais e humanos.

Gráfico 2 - Percentual de amostras positivas x negativas por metal tóxico em músculo analisado na espécie *Oreochromis niloticus* oriundas de Tapacurá. Eixo y = valores percentuais das amostras; Eixo x = metais por amostra: cor azul - positiva, cor laranja - negativa



No gráfico 2 é possível verificar também 100% de contaminação no músculo das tilápias através dos metais (Cálcio, Ferro, Potássio, Magnésio e Fósforo). A análise mostrou ainda que não há contaminação no músculo das tilápias pelos metais (Arsênio, Bário, Cálcio, Cádmi, Cobalto, Cromo, Cobre, Manganês, Molibdênio, Níquel e Chumbo). Os metais (Alumínio, e o Zinco) estão presente entre 20% e 40% das amostras de músculo. Não obstante a isso há ainda uma pequena contaminação do músculo dos peixes pelos metais (Selênio e Estrôncio). Esses metais tanto no fígado quanto no músculo de *Oreochromis niloticus* originadas de Tapacurá representam riscos à saúde única. Há portanto, a necessidade de intervenções que possam levar informação à população ribeirinha quanto ao perigo de uso dessa água e o consumo desse pescado contaminado bem como é necessário ainda fazer com que se diminua o carreamento desses metais para essas águas. É preciso orientar os produtores de contaminantes das águas da região quanto uso excessivo de produtos químicos responsáveis pela contaminação com metais tóxicos da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, fazendo com que eles possam tomar medidas de mitigação desses despejos de metais tóxicos.

Sendo assim, foi feita uma análise comparativa de estudos anteriores com *Oreochromis niloticus* com o intuito de compararmos os resultados encontrados por esses estudos aos resultados encontrados nas tilápias de Tapacurá. Em um trabalho realizado com *Oreochromis niloticus* Nájera *et al.* (2018) fizeram cinco amostragens, em janeiro, abril, junho, setembro e novembro de 2015 na barragem Tenango (Puebla, México). Para cada amostragem eles utilizaram 30 exemplares de Tilápia-do-nilo com o intuito de verificar a bioacumulação dos metais tóxicos no fígado e tecidos musculares dos peixes. Os metais chumbo, cádmio, cromo e cobre foram os analisados. O chumbo (pb)

apresentou níveis de concentração entre 0,27mg e 3,79mg no fígado e entre 0,25µg e 3,42µg no músculo.

As concentrações de cádmio variaram de 0,05mg a 7mg no fígado e de 0,05mg a 8 mg no músculo. As bioconcentrações de cromo indicaram que essa substância potencialmente se acumulou nos organismos durante quatro dos 5 meses avaliados, com valores variando de 0,72mg a 8,37mg no fígado e de 0,54mg a 6mg no músculo. A concentração de cobre no fígado variou entre 0,13mg e 4010mg e no músculo variaram de 0,08mg a 170mg, o fígado foi o órgão com a maior bioconcentração de metal. O elemento mais concentrado foi o cobre, seguido por cromo, chumbo e cádmio.

Em comparação as análises realizadas por Nájera *et al.* (2018) as amostras de Tilápia-do-nilo da barragem de Tapacurá não apresentaram níveis potenciais de bioconcentração desses metais tornando o peixe seguro para consumo de acordo com a legislação vigente.

Os pesquisadores Mazed *et al.* (2023) analisaram um total de 120 amostras de Tilápia-do-nilo e *Pangasius* obtidos de quatro atacadistas de peixe no distrito de Chattogram (anteriormente conhecido como Chittagong), Bangladesh. A análise revelou especificamente que as concentrações de (As), (Pb) e (Cr) não foram quantificadas no músculo das tilápias ou a quantificação se mostrou não nociva em termos de bioacumulação.

O estudo de Parvin *et al.* (2023) apontou que a bioconcentração de metais tóxicos em *Oreochromis Niloticus* apresentou resultados com quantidades médias de Mn, Fe, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, As, Co e Hg significativamente inferiores aos limites máximos permitidos (MPLs) ($p < 0,05$) ao nível de significância de 5%. Entretanto, a diferença entre os teores médios de Pb e seu MPL foi insignificante ($p > 0,05$) ao nível de significância de 5%. Quando comparamos os metais tóxicos analisados nas amostras de tilápias de Tapacurá percebemos que, assim como a pesquisa de Pavin *et al.* (2023) não houve bioconcentração significativa na análise das tilápias de Tapacurá.

Valores inexpressivos de chumbo, cádmio, cromo e cobre também foram encontrados por Shaaban *et al.* (2023). Dessa forma, os resultados dessa pesquisa mostram que os níveis de metais tóxicos bioacumulados nos músculos das tilápias estão compatíveis com o permitido com a legislação. Analisando os dados obtidos nas tilápias presentes no reservatório de Tapacurá, observa-se que essa espécie também se encontra dentro dos limites de valores de referência de concentração desses metais tóxicos permitidos para peixes no Brasil.

Segundo Silva *et al.* (2021) com o seu trabalho, segurança alimentar: avaliação

do conteúdo de metais tóxicos presentes nos principais produtos aquícolas produzidos no Rio Grande do Norte nos trouxeram dados bastantes relevantes. Eles apontaram que as tilápias-do-nilo obtidas em água de reuso proveniente de esgoto tratado em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e outro grupo cultivado sobre condições controladas de produção na Escola Agrícola de Jundiá (EAJ) não apresentaram valores acima dos considerados de referência, apenas o (Cr) teve esse valor ultrapassado.

Diferenças estatisticamente significativas nos níveis de metal (Cu), (Cr,) (Fe) e (Zn) foram encontradas sendo em todos os casos concentrações maiores em tecido de tilápia capturada em água de reuso de esgoto tratado comparado com os níveis atingidos em condições de produção padrão. Os elementos (As), (Hg) e (Al) presentes na tabela 1 não foram inseridos na pesquisa de Silva *et al.* (2021).

Nas Tilápias do reservatório de Tacapurá o arsênio não foi encontrado, o alumínio foi encontrado com valores inexpressivos no músculo em 13 amostras, 48 amostras apresentaram valor = 0,00mg/g. O fígado, porém, concentrou alumínio em todos os peixes testados nessa pesquisa, esse é um dado bastante expressivo já que esse é o principal órgão responsável pela homeostase do animal. Quando a função hepática não é eficaz, devido ao aumento da concentração de metais, esses metais podem ser liberados para outros tecidos dos peixes, podendo se estabelecer um processo de bioacumulação e dessa forma, haverá a contaminação dos consumidores finais.

Avaliando as concentrações dos metais tóxicos (Pb), (Cd), (Hg), (Cr) e (Zn) em 18 músculos de peixes do rio Tano em Gana Nyantakyi *et al.* (2021) verificaram que a espécie *Oreochromis niloticus* apresentou baixa concentração dos metais não essenciais e quantidade de (Zn) foi de 4,67mg/kg.

Os pesquisadores Pavanello *et al.* (2017) fizeram uma avaliação da bioacumulação de metais em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas na região de Londrina. As amostras de tilápia identificaram para o (Zn) metal considerado essencial em quantidade adequada para o organismo, valores que flutuaram de 8,47mg a 12,68 mg/kg. O (Cd) não foi detectado em nenhuma das amostras. Os valores de (Cu) variaram de 0,28mg a 0,44mg/kg, o (Cr) não foi quantificado em apenas uma das amostras, as outras mostraram valores de 0,08mg a 0,14mg/kg. O (Hg) apresentou 0,20 e 0,55mg/kg em duas amostras, no restante não foi quantificado nenhum valor. A quantidade de (Pb) variou de 0,5mg a 0,51mg/kg. Em uma amostra não foi percebido nenhum valor de (Pb).

Os pesquisadores Khallaf *et al.* (2018) trabalham com a contaminação e avaliação de risco ecológico de metais tóxicos em sedimentos de água doce e músculos de peixes

Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) em um canal do rio Nilo no Egito. A pesquisa foi realizada nas quatro estações do ano. Os resultados mostraram que não foi detectado (Cd) nos peixes. Das amostras de metais tóxicos no músculo das tilápias o (Fe) foi quantificado em 34,26mg também no verão o que mostra uma correlação sazonal desse elemento nessa pesquisa.

O (Pb) teve sua maior quantidade verificada no outono 2,14mg. Além disso, foi possível verificar que a maior quantidade de (Zn) foi detectada na primavera 22,86mg. Em relação as amostras de músculo das tilápias oriundas do reservatório de Tapacurá utilizadas nessa pesquisa, os números revelam que os elementos (Cd) e (Cu) não foram detectados, como nos peixes no canal rio Nilo, Egito. Ao mesmo as análises mostraram que os peixes pesquisados por Khallaf *et al.* (2018) contém quantidades de (Fe) e (Zn) maiores que 1mg/kg enquanto que as tilápias de Tapacurá apresentaram níveis de concentração abaixo de 1mg/kg desses metais nos seus músculos.

Com um estudo feito em um lago de Wadi Namar, Árabia Saudita Ahmad *et al.* (2015) analisaram os metais tóxicos (Cu), (Hg), (Cd) (Pb) e (Cr) em duas espécies de peixe, dentre elas a tilápia-do-nilo em dois pontos amostrais do lago. As amostras revelaram uma concentração na ordem de 1,279µg/kg de (Cu), 2,05µg/kg de (Hg), 9,24 µg/kg de (Cd), 55,38µg/kg de (Pb) e 164,35µg/kg de (Cr) respectivamente, com esses números correspondendo aos valores mais altos entre os dois pontos amostrais. Comparada as amostras de músculos das tilápias de Tapacurá, percebemos que elas podem apresentar um risco maior á saúde dos peixes e das pessoas que comam sua carne, devido a quantidade de metal quantificada em algumas amostras. No entanto, os peixes de Tapacurá não apresentam necessariamente um alto risco de consumo de sua carne já que não foram quantificados esses metais tóxicos em seu músculo.

A pesquisa de Ogungbile *et al.* (2022) encontrou em coletas mensais no reservatório de Agodi em Ibadan, estado de Oyo, Nigéria, diversos metais tóxicos não essenciais em músculo de *Oreochromis niloticus*. Os maiores valores foram de (Cd) 11,69mg/kg no mês de dezembro. O (Cr) teve o seu maior nível registrado para o mês de junho 14,58 mg, o (Cu) também em junho registrou um nível de 33,93 mg e o (Pb) de 13,50mg no mês de maio.

Tabela 3 - Dados comparativos de contaminação por metais tóxicos em músculo de *Oreochromis niloticus*
Fonte: o autor

Níveis máximo de concentração de metais tóxicos não essenciais no músculo dos peixes em mg										
Autor	Ano	Espécie	Pb	Cd	Cr	Cu	As	Hg	Al	

(Nájera et al., 2018)	2018	O. niloticus	3,42	8	6	170	N	N	N
(Mazed et al., 2023)	2023	O. niloticus	0,007	N	0,00	N	0,00	N	N
(Parvin et al., 2023)	2023	O. niloticus	79,2	18,1	623	N	N	5,2	N
(Shaaban et al., 2021)	2021	O. niloticus	0,003	0,012	0,002	0,001	N	N	N
(Silva et al., 2021)	2021	O. niloticus	0,043	0,00	0,898	0,679	N	N	N
(Nyantakyi et al., 2021)	2021	O. niloticus	0,01	0,05	14,3	0,03	N	0,14	N
(Pavanello et al., 2017)	2017	O. niloticus	0,51	0,00	0,14	0,44	N	0,55	N
(Khallaf et al., 2018)	2018	O. niloticus	2.14	0,00	N	1,64	N	N	N
(Ahamad et al., 2015)	2015	O. niloticus	58,35	9,24	164,35	1,279	N	2,05	N
(Ogungbile et al., 2022)	2022	O. niloticus	13,50	11,69	14,58	33,93	N	N	N

N= não avaliado na pesquisa; 0,00 = valor não detectado na amostra

A tabela 2 acima apresenta pesquisas com *Oreochromis niloticus* feitas de 2015 a 2023 em vários países, e os números aqui apresentados tratam especificamente da contaminação por metais tóxicos no músculo desses peixes. É possível observar que o metal tóxico (Hg) não foi analisado em 60% dessas pesquisas deixando uma lacuna de informações relevantes em termos de saúde dos peixes estudados e do ambiente. Ao mesmo tempo é possível verificar também que o (Al) não foi estudado em 100% dessas pesquisas. O (As) foi avaliado em 1 pesquisa o corresponde a 10% do total de pesquisas. Vale destacar ainda que mesmo não tendo sido analisado,s o estudo da possível bioacumulação do (Hg) é de extrema importância tendo em vista que ele é um metal tóxico muito abrangente e de muitos efeitos deletérios a saúde dos organismos.

Essa tabela revela ainda um contraste entre a quantidade de metal encontrada por esses pesquisadores em suas pesquisas e as amostras de *O. niloticus* de Tapaurá. Especialmente o (Pb), (Cd), (Cr) e o (Cu) não foram quantificados nos peixes de Tapacurá, o que gera segurança ao consumo desses peixes com relação a concentração desses metais. No entanto, as amostras das tilápias de Tapacurá revelaram números elevados em relação a alguns metais essenciais. O (K) foi detectado em níveis bastantes altos tanto para o fígado como para o músculo, na ordem músculo maior que fígado. O

(Ca) assim como o (K) foi detectado em nível elevado tanto no fígado quanto músculo com os maiores percentuais no fígado. O (P) também foi detectado de forma mais elevada com valores acima de 0,05 mg/g para todas as amostras tanto de fígado quanto de músculo. Já o (Mg) apresentou números expressivos aproximados para o fígado e também para o músculo. Outros metais como (Ba), (Co), (Fe), (Mn), (Mo), (Se) e (Zn) não representaram preocupação em termos de concentração nos peixes de Tapacurá. Ademais, é válido esclarecer que a grande quantidade, principalmente de (Ca) e (K) presentes nos peixes da barragem deve estar ocorrendo, provavelmente pela geração de resíduos industriais e esgotamento doméstico que são produzidos e jogados na bacia do rio Tapacurá a montante do reservatório, ocasionando o aumento da concentração desses metais nas tilápias ali presentes.

4. CONCLUSÃO

Considerações Finais

Diante da grande problemática que os metais tóxicos representam para a saúde única, e da importância da reserva ecológica de Tapacurá este trabalho buscou trazer esclarecimentos que contribuíssem para a segurança da população ribeirinha da barragem de Tapacurá, no sentido de prover informações relevantes com relação aos peixes consumidos, pois a análise dos metais tóxicos das tilápias originadas do reservatório demonstrou o risco ao qual os consumidores de peixe da barragem estão expostos. A exemplo do risco de intoxicação por alumínio, um elemento presente na nos peixes, tanto nos fígados quanto nos músculos avaliados.

Se faz necessário, no entanto, esclarecer que a análise das amostras de *Oreochromis niloticus* (tilápias-do-nylo), oriundas do reservatório de Tapacurá não representa, nesse momento, um risco muito alto de contaminação a saúde dos consumidores, tendo em vista que os metais tóxicos não essenciais como chumbo, cádmio e arsênio não foram detectados nas amostras. Porém, é preciso alertar a população quanto ao risco de contaminação por alumínio já mencionado anteriormente, visto que esse metal pode ser causa de efeitos deletérios relevantes mesmo em pequenas concentrações no organismo.

Outro metal importante detectado no fígado das tilápias de Tapacurá foi o cobre, que caso continue aumentando o seu nível de concentração nessas águas, poderá causar grandes danos aos peixes bem como a toda cadeia trófica que faz uso deles e da água da

barragem. Além disso, é possível verificar uma concentração elevada de ferro nessas águas podendo causar desequilíbrio desse ecossistema;

É importante ainda, destacar a quantidade elevada de cálcio, fósforo, potássio e magnésio nas amostras de *Oreochromis niloticus* analisadas. Pois esse é um indicativo de eutrofização das águas do reservatório de Tapacurá, o que tem potencial de causar danos irreversíveis ao ecossistema hídrico local, nocividade aos peixes e aos humanos que consomem sua carne e fazem uso das águas do reservatório;

Ademais, os metais bário, cobalto, cromo, manganês, molibdênio, níquel, selênio, estrôncio e zinco não foram detectados em níveis altos de concentração ou mesmo nem foram encontrados nos peixes da barragem de Tapacurá, tornando o consumo da tilápia seguro em relação a esses metais. No entanto, é preciso pontuar que a análise das tilápias indica uma forte contaminação por efluentes agrícolas e industriais que podem comprometer a saúde da população ribeirinha aos arredores do reservatório de Tapacurá, assim é necessária direcionar atenção para o planejamento e implantação de medidas que venham a contribuir com a mitigação do problema.

5. Referências bibliográficas

AL MAZED, M. et al. Heavy metal (As, Cr, and Pb) **contamination and associated human health risks in two commercial fish species in Bangladesh**. Environmental monitoring and assessment, v. 195, n. 12, 2023.

ASLAM, B. et al. **Dietary toxicity of heavy metals; one health perspective** In: Abbas RZ, Saeed NM, Younus M, Aguilar-Marcelino L and Khan A (eds), One Health Triad. 2023.

AFZAL, Ali; MAHREEN, Naima. **Emerging insights into the impacts of heavy metals exposure on health, reproductive and productive performance of livestock**. Frontiers in Pharmacology, v. 15, p. 1375137, 2024.

BEZERRA, Thaís et al. **ANFÍBIOS E RÉPTEIS, TUDO JUNTO E MISTURADO: AÇÕES EDUCATIVAS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TAPACURÁ, PERNAMBUCO**. 2019.

AHMAD, Zubair et al. **Accumulation of heavy metals in the fish, Oreochromis niloticus and Poecilia latipinna and their concentration in water and sediment of dam lake of Wadi Namar, Saudi Arabia**. Journal of Environmental Biology, v. 36, n. 1, p. 295, 2015.

DE SOUZA, Daniella Azevedo et al. **A importância da água dentro do conceito de saúde única: The importance of water within the one health concept**. Brazilian

Journal of Health Review, v. 5, n. 6, p. 24012-24029, 2022.

DA FONSECA, Cristina Farias et al. Evaluation of metal exposure through the composition of essential and toxic micro-minerals in freshwater turtles (*Phrynops geoffroanus*) from a Brazilian river. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 19, p. 54871-54884, 2023.

ELUMALAI, S. et al. **Review on heavy metal contaminants in freshwater fish in South India: current situation and future perspective.** *Environmental science and pollution research international*, v. 30, n. 57, p. 119594–119611, 2023.

OGUNGBILE, P. O. et al. **Bio-tolerance potential and environmental risks assessment of *Oreochromis niloticus* and *Ipomoea aquatica* in Agodi Reservoir, Nigeria.** *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 1594, 2022.

MUÑOZ-NÁJERA, M. A. et al. **Heavy metal bioaccumulation in *Oreochromis niloticus* from Tenango Dam, Puebla, Mexico.** *Environmental monitoring and assessment*, v. 190, n. 5, 2018.

MARQUES, Márjori Brenda Leite; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. **Efeitos ecotoxicológicos de metais aos organismos aquáticos.** *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 14, n. 4, 2018.

GUIMARÃES, Alessandro Sá; CARVALHO, B. C. **Saúde única: o conceito abrangente e definitivo.** *Anuário Leite*, p. 36-37, 2021.

NIKOLIĆ, D. et al. **Risk assessment of using fish from different types of reservoirs as human food – A study on European perch (*Perca fluviatilis*).** *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)*, v. 257, n. 113586, p. 113586, 2020.

NYANTAKYI, AJ et al. **Concentrações de metais tóxicos em peixes do rio Tano em Gana e os riscos à saúde apresentados aos consumidores.** *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2021, n. 1, p. 5834720, 2021.

PARVIN, A. et al. **Trace metal exposure and human health consequences through consumption of market-available *Oreochromis niloticus* (L.) in Bangladesh.** *Environmental science and pollution research international*, v. 30, n. 15, p. 45398–45413, 2023.

PASSOS, L. S. et al. **Do manganese and iron in association cause biochemical and genotoxic changes in *Oreochromis niloticus* (teleostei: Cichlidae)?** *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v. 108, n. 4, p. 708–715, 2022.

PAVANELLO, Ana Clara Longhi et al. **Avaliação da bioacumulação de metais em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).** In: *Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos: Resultados de Pesquisas Acadêmicas-Vol. 3*. Blucher Open Access, 2017. p. 349-390.

SAARISTO, Minna et al. **Efeitos diretos e indiretos de contaminantes químicos no comportamento, ecologia e evolução da vida selvagem.** Proceedings of the Royal Society B , v. 285, n. 1885, p. 20181297, 2018.

SHAABAN, Nashwa A. et al. **Potential health risk assessment of some bioaccumulated metals in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in Kafr El-Shaikh farms, Egypt.** Environmental Research, v. 200, p. 111358, 2021.

SCHMITT, M. L. T. (2012). **Educação ambiental, uma proposta para a conscientização da importância da preservação da água para a vida.**

SILVA, José Custodio da et al. **Segurança alimentar: avaliação do conteúdo de metais tóxicos presentes nos principais produtos aquícolas produzidos no Rio Grande do Norte.** 2021.

SFAKIANAKIS, D. G., Renieri, E., Kentouri, M., & Tsatsakis, A. M. (2015). **Effect of heavy metals on fish larvae deformities: a review.** Environmental research, 137, 246-255.

VIANA, Ana Barbosa et al. **Desenvolvimento de sistema FI-CVG-ICP-MS para determinação de mercúrio em peixe.** 2023.

VAROL, M., & Sünbül, M. R. (2018). **Biomonitoring of trace metals in the Keban Dam Reservoir (Turkey) using mussels (*Unio elongatulus eucirrus*) and crayfish (*Astacus leptodactylus*).** Biological trace element research, 185(1), 216-224.

ZARGAR, U. R. et al. **Accelerated eutrophication alters fish and aquatic health: a quantitative assessment by using integrative multimarker, hydrochemical, and GIS modelling method in an urban lake.** Environmental monitoring and assessment, v. 196, n. 1, 2024.

KHALLAF, Elsayed A.; AUTHMAN, Mohammad MN; ALNE-NA-EI, Alaa A. **Contamination and ecological hazard assessment of heavy metals in freshwater sediments and *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fish muscles in a Nile River Canal in Egypt.** Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 14, p. 13796-13812, 2018.

CPRH. **Unidade de conservação RVS Mata Tapacurá.** Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/uc/rvs-mata-tapacura/>. Acesso em: 08 ago. 2024.