UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

KEILA FERNANDA DE MELO ALBUQUERQUE

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO TEOR DE METAIS PESADOS EM PEIXES DO ESTUÁRIO DO RIO PERIZES (MA)

São Luís
2019

KEILA FERNANDA DE MELO ALBUQUERQUE

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO TEOR DE METAIS PESADOS EM PEIXES DO ESTUÁRIO DO RIO PERIZES (MA)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Saúde e Ambiente.

Área de concentração: Qualidade ambiental e saúde
Linha de pesquisa: Gestão socioambiental

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro

São Luís
2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

de Melo Albuqueruqe, Keila Fernanda.
Avaliação da Qualidade da Água e do Teor de Metais Pesados Em Peixes do Estuário do Rio Perizes ma / Keila Fernanda de Melo Albuqueruqe. - 2019.
70 p.

Orientador(a): Antonio Carlos Leal de Castro.
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

1. Qualidade da Água. 2. Metais Pesados. 3. Monitoramento Ambiental. 4. . 5. . I. Leal de Castro, Antonio Carlos. II. Título.

KEILA FERNANDA DE MELO ALBUQUERQUE

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO TEOR DE METAIS PESADOS EM PEIXES DO ESTUÁRIO DO RIO PERIZES (MA)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Saúde e Ambiente.

Dissertação defendida e aprovada em 06 de Agosto de 2019 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof.ª Drª Adenilde Nascimento Mouchrek - UFMA
Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente

Prof. Dr. Iranaldo Santos da Silva
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - UFMA

Prof. Dr. Victor Elias Mouchrek Filho - UFMA
Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente

Dedico este trabalho a minha querida mãe, Marineide Silva por ser a minha fonte de coragem e persistência e ao meu esposo, Leandro Saldanha por todo apoio, dedicação e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas as bênçãos em minha vida, a fé que tenho nele me permite criar forças para seguir sempre em frente, seja profissionalmente ou pessoalmente;

A minha avó, Maria da Conceição por ser tão especial na minha vida, pelos seus ensinamentos e apoio, estando presente em todos os momentos da minha vida.

Deixo meus sinceros agradecimentos ao meu Orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro pelo apoio que me foi dado, pelo incentivo, por ter acreditado no meu trabalho e em especial por ter aceitado a me orientar;

Aos professores que compuseram esta banca examinadora, Prof. Dr. Adenilde Ribeiro, Prof. Dr. Iranaldo Santos e Prof. Dr. Victor Mouchrek. Deixo aqui os meus sinceros agradecimentos, pois todas as vezes que precisei ao longo deste trabalho sempre se colocaram à disposição;

Aos professores e amigos do Programa de Mestrado em Saúde e Ambiente pelos ensinamentos, carinho e apoio;

Em especial ao meu amigo, Rayone Santos por todo apoio na análise das amostras, sem ele teria sido impossível a conclusão deste trabalho;

Ao Laboratório de Solos da UEMA, na pessoa do Prof. João Reis por ceder o laboratório e o equipamento de análise;

Ao Laboratório de Organismos Aquáticos, na pessoa do Prof. Dr. Jorge Luiz Silva Nunes, por compartilhar do espaço e dos materiais necessários para a análise das amostras;

Ao doutorando James Werllen de Jesus Azevedo, pelo auxílio nos trabalhos de campo, elaboração de gráficos e análises estatísticas.

Sou muito grata a minha sogra, Maria das Graças, por sempre acreditar na minha realização profissional;

Não posso deixar de agradecer a minha cunhada, Aline Saldanha por sua amizade verdadeira;

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa conquista;

A CAPES pela concessão da bolsa de Pesquisa.

RESUMO

Investigar a qualidade da água e de peixes de ambientes estuarinos é sem dúvida de extrema importância, ao considerar que boa parte da população depende quase que exclusivamente dos bens ofertados por este ecossistema, em especial os recursos pesqueiros. Além disso, os estuários estão na lista de ambientes naturais que mais sofrem intervenções antrópicas e consequentemente comprometendo a qualidade da água, fauna e flora. Portanto, o estudo buscou investigar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, assim como os níveis de metais pesados no tecido muscular de quatro espécies de peixes (*Genyatremus luteu* - peixe pedra*, Macrodon ancylodon* - pescada gó*, Sciades herzbergii* - Bagre e *Guribu Mugil curema* - Tainha Sajuba) do estuário do rio Perizes (MA). As coletas foram realizadas em quatro pontos de amostragem no estuário mencionado entre os meses de Novembro de 2017, Janeiro, Março e Maio de 2018. Os exemplares de peixes foram capturados por pescadores da região, levando-se em consideração o perímetro de amostragem dentre os quatro pontos de coleta. Quanto à análise físico-química da água utilizou-se o equipamento Kit-multiparâmetro HQ40D da Hach e disco de secchi; análise microbiológica a partir da Técnica dos Tubos Múltiplos. Na análise do pescado verificou-se a quantificação de metais por meio da técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica. Os resultados das variáveis ambientais foram satisfatórios conforme os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357/05 com exceção apenas para Turbidez que atingiu valor máximo, 449 UNT, em P3, no mês de Jan/18. Detectou-se presença de *Escherichia coli* nas amostras de água. Quanto à quantificação dos metais nas espécies citadas, registrou-se baixas concentrações dos metais (Al, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni e Hg) ao contrário do Cr e Pb. De maneira geral o estuário apresenta certo grau de conservação, ao considerar que as variáveis ambientais em sua maioria, estiveram em conformidade com a resolução CONAMA nº357/05. Em relação ao parâmetro coliformes termotolerantes, os resultados revelaram que os limites estão abaixo do que determina a resolução citada, embora não significa dizer que o ambiente não receba carga de contaminantes. Portanto, os dados expostos nesta pesquisa sugerem a necessidade da realização de monitoramento ambiental, ao considerar que as famílias do entorno utilizam o pescado na sua dieta alimentar e ao entrarem em contato com a água do rio.

Palavras-chave: Qualidade da água; metais pesados; monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Investigate the quality of water and fish in estuarine environments is undoubtedly extremely important, considering that a large part of the population depends almost exclusively on the goods offered by this ecosystem, especially fishery resources. In addition, the estuaries are on the list of natural environments that suffer most from anthropic interventions and consequently compromising the quality of water, fauna and flora. Therefore, the study sought to investigate the physico-chemical and microbiological parameters of water, as well as the levels of heavy metals in the muscle tissue of four species of fish (Genyatremus luteu – Peixe pedra, Macrodon ancylodon – Pescada Gó, Sciades herzbergii - Bagre and Guribu Mugil curema – Tainha Sajuba mullet) from the Perizes river estuary (MA). The samples were collected at four sampling points in the estuary mentioned between November 2017, January, March and May 2018. Fish specimens were captured by fishermen from the region, taking into account the sampling perimeter among the four collection points. The water analysis used the equipment. As for water analysis was used the equipment Kit-multiparameter HQ40D of Hach and disc of Secchi; Microbiological analysis by the multiple tube technique. In the analysis of the fish, the quantification of metals was verified by means of the atomic absorption spectrophotometry technique. The results of the environmental variables were satisfactory according to the maximum limits established by Resolution CONAMA nº 357/05, except for Turbidity that reached a maximum value, 449 UNT, in P3, in the month of Jan/18. There was presence of E. coli in most of the water samples. As for the quantification of the metals in the mentioned species, low concentrations of the metals (Al, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni andHg) were observed, unlike Cr and Pb. In general, the estuary has a certain degree of conservation, considering that the most environmental variables were in accordance with the CONAMA Resolution No. 357/05. Regarding thermotolerant coliforms, the results showed that the limits are lower than the resolution quoted, although it does not mean that the environment does not receive a load of contaminants. Therefore, the data presented in this study suggest the need for environmental monitoring, when considering that the surrounding families use the fish in their food diet and come in contact with the river water.

Key words: Water quality; heavy metals; environmental monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema contendo as principais fontes de poluição no estuário 18

Figura 2. Mapa representando a área de estudo (Estuário do rio Perizes/MA)..... 31

Figura 3. Mapa demonstrando a distribuição dos pontos de amostragem..... 32

Figura 4. Representação na escala espaço-temporal do pH no estuário do rio Perizes (MA). 39

Figura 5. Representação na escala espaço-temporal da transparência no estuário do rio Perizes (MA)..... 40

Figura 6. Representação na escala espaço-temporal do OD no estuário do rio Perizes (MA). 41

Figura 7. Representação na escala espaço-temporal da condutividade no estuário do rio Perizes (MA). 42

Figura 8. Representação na escala espaço-temporal da salinidade no estuário do rio Perizes (MA). 43

Figura 9. Representação na escala espaço-temporal da turbidez no estuário do rio Perizes (MA). 44

Figura 10. Representação na escala espaço temporal de Coliformes Termotolerantes no estuário do rio Perizes (MA)..... 46

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1. Liofilizador modelo (K105). 34

Imagem 2. Liofilizador modelo (K105). 34

Imagem 3. Amostras logo após serem liofilizadas. 34

Imagem 4. Amostras homogeneizadas..... 34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NOAA/EAU	Administração Oceânica e Atmosfera/Estados Unidos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais
EVM	Expert on Vitamins and Minerals
E. coli	Escherichia coli
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
NPM	Número Mais Provável
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
MA	Maranhão

LISTA DE SÍMBOLOS E FÓRMULAS

Cd	Cádmio
Cu	Cobre
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogênico
Zn	Zinco
Hg	Mercúrio
Mn	Manganês
OD	Oxigênio Dissolvido
Fe	Ferro
Ni	Níquel
Cr	Cromo
HNO_3	Ácido Nítrico

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE IMAGENS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS E FORMAS

1. INTRODUÇÃO 14

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16

2.1 A IMPORTÂNCIA DAS REGIÕES ESTUARINAS 16

2.2 CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL 17

2.3 METAIS PESADOS 20

2.4 CARACTERÍSTICAS DOS METAIS ANALISADOS 20

2.4.1 ALUMÍNIO 20

2.4.2 CROMO 21

2.4.3 COBRE 22

2.4.4 FERRO 23

2.4.5 MANGANÊS 24

2.4.6 CHUMBO 24

2.4.7 ZINCO 25

2.4.8 NÍQUEL 26

2.4.9 MERCÚRIO 27

2.5. CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES DE PEIXES ANALISADAS QUANTO À PRESENÇA DE METAIS PESADOS 28

2.5.1 PEIXE PEDRA (*Bloch,* 1795) 28

3.5.2 PESCADA GÓ (*Bloch; Schneider*, 1801) 29

2.5.3 BRAGRE GURIBU (*Bloch*, 1794) 29

2.5.4 TAINHA SAJUBA (*Valenciennes*, 1836) 29

3. OBJETIVOS 30

3.1 GERAL 30

3.2 ESPECÍFICOS 30

4. METODOLOGIA 30

4.1 ÁREA DE ESTUDO 30

4.2 ANÁLISE DA ÁGUA 31
4.2.1 FÍSICO-QUIMÍCA 31
4.2.2 MICROBIOLÓGICA 32
4.2.2.1 ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO BIOQUÍMICA DE *ESCHERICHIA COLI* 33
4.3 AQUISIÇÃO DOS PEIXES 32
4.3.1 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE METAIS NO TECIDO MUSCULAR DOS PEIXES 33
4.3.2 PROCESSO DE DIGESTÃO DAS AMOSTRAS POR VIA ÚMIDA 35
4.4 ANÁLISE DOS DADOS 36
5. RESULTADOS 36
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA 36
5.1.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA 36
5.1.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA 37
5.2 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA 44
5.2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICAS 44
5.2.2 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA 45
5.3 QUANTIFICAÇÃO DE METAIS DO TECIDO MUSCULAR DOS PEIXES . 46
5.3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA 46
5.3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE METAIS DO TECIDO MÚSCULAR DOS PEIXES 46
6. DISCUSSÃO 49
6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA 49
6.2 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA 52
6.3 CONCENTRAÇÃO DE METAIS NOS PEIXES 54
7. CONCLUSÃO 57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA 58

1 INTRODUÇÃO

Os estuários possuem uma ligação direta com o espaço marinho, terrestre e atmosférico, apresentando-se como ambiente extremamente vulnerável em função da intensa dinâmica dos processos naturais e interferência humana. Considera-se como ambiente de extrema relevância para a manutenção e sobrevivência de inúmeros organismos, sendo ainda local de desova para diversas espécies de crustáceos e peixes, além de exercer importantes funções reguladoras (SILVA *et al*., 2016). Estando entre os ecossistemas mais produtivos, responsáveis por uma variedade de serviços ecológicos, a exemplo, a ciclagem de nutrientes (MATTOS & ALMEIDA, 2016).

Mas, os estuários têm perdido cada vez mais suas características, pois a crescente demanda econômica e social, atrelado à ocupação humana desordenada tem gerado diversos impactos ambientais (WHITTOCK, 2017). Em especial, a crescente urbanização no entorno destes, que de forma descontrolada vem acarretando no uso excessivo dos recursos naturais ali produzidos, colocando em risco a sua estrutura e funcionamento (NETO *et al*., 2013).

Importante frisar, que além da ocupação humana, outras atividades como turismo, lançamento de efluentes, agricultura, aquicultura, pesca recreativa e industrial e atividades de dragagem, estão entre as principais atividades antrópicas que podem desencadear impactos severos sobre este ambiente (MATTOS, 2014). Estas atividades corroboram diretamente para a poluição e/ou contaminação de zonas estuarinas, comprometendo a qualidade da água e dos organismos, em especial os peixes.

Sobre a qualidade da água é pertinente mencionar que no Brasil existem leis que tratam sobre os padrões de qualidade da água, tanto no aspecto da potabilidade como da balneabilidade. Cita-se a Resolução Nº357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, assim como determina os padrões de lançamento de efluentes.

Considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade e, que a saúde e o bem-estar humano, assim como o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas (BRASIL, 2005).

Por isso, a importância em utilizar indicadores físicos, químicos e microbiológicos para o monitoramento da qualidade da água de corpos hídricos, visando apurar o grau de impacto dos ecossistemas costeiros, interferindo diretamente na qualidade da água e dopescado (CORREIA *et al*., 2015).

Dentre as variáveis ambientais é relevante avaliar o comportamento do oxigênio dissolvido, pH e concentração de metais pesados presente nos corpos hídricos (JULIÃO, 2011). Os íons metálicos ou seus compostos podem facilmente atingir os peixes na cadeia trófica alimentar, concentrando em regiões do músculo, brânquias, vísceras abdominais, rins etrato gastrintestinal (PORTO & ETHUR, 2009). Desta maneira são capazes de fornecerinformações necessárias para a análise do risco ecológico e a saúde humana.

O uso de peixe como indicador ambiental, consiste em uma importante ferramenta para o monitoramento de ambientes impactados por agentes químicos. Ao considerar que estes possuem adaptações anatômicas, comportamentais e fisiológicas do grupo, podendo ocupar vários ambientes aquáticos, em condições ambientais diversas (GRUPOINTEGRADO DE AQUICULTURA E ESTUDOS AMBIENTAIS, 2014).

Portanto, a qualidade da água e do pescado tem forte ligação com a saúde de uma população. Ao considerar que a água é um bem público e indispensável à sobrevivência de todos os seres vivos e manutenção de um ambiente saudável, mas também garantindo a qualidade de vida da população que usufrui dos seus benefícios, sendo um deles o próprio pescado, em especial o peixe, o qual deve estar inserido na dieta alimentar do homem, e que merece uma atenção especial quanto à qualidade e origem, evitando assim possível contaminação a população humana (SANTOS, 2016).

Diante da importância do monitoramento dos indicadores da qualidade da água e do pescado e, sobretudo a relação direta com a saúde da população, é que esta pesquisa se propôs analisar o comportamento das variáveis físico-químicas e microbiológicas da água, assim como realizar a quantificação de metais em quatro espécies de peixes que habitam o Estuário do rio Perizes.

Tendo em vista a realidade da área, espera-se ainda que as informações apresentadas neste trabalho possam servir de base para conduzir a criação de políticas públicas às comunidades que dependem quase que exclusivamente dos recursos deste ecossistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A importância das regiões estuarinas

Os sistemas estuarinos constituem ambientes de transição entre dois ecossistemas adjacentes e desempenham importante papel na transferência de sedimentos, água e energia entre os sistemas fluviais e marinhos, além de funcionar como depósito costeiro natural, inclusive de contaminantes e protegerem a costa no controle de enchentes (COGNETTI & MALTAGLIATI, 2000; RIDGWAY & SHIMMIELD, 2002; NAYLOR *et al*., 2000), atuando como "sistema tampão" que impede também que os efeitos de tormentas e outros eventos climáticos oriundos dos oceanos propaguem-se para o interior dos continentes (COELHO & HAVENS, 2015).

Além disso, a literatura ainda enfatiza que os estuários têm diversas outras funcionalidades. Do ponto de vista ecológico, funcionam como berçário natural de várias espécies e atuam como habitat natural favorável à manutenção e sobrevivência de diversos seres, a exemplo de aves e peixes.

Suas águas, que possuem influência da dinâmica oceânica e fluvial, possibilitam o transporte de nutrientes, que favorecem a produtividade pesqueira, além de contribuir nas rotas migratórias de peixes de valor comercial (AGUIAR, 2005).

Este tipo de ambiente está entre os ecossistemas mais produtivos do Planeta, mesmo quando são comparados com as florestas tropicais, uma vez que, a conversão de luz solar de biomassa vegetal dos estuários é de vintes vezes aquela encontrada em mar aberto (COELHO & HAVENS, 2015).

Portanto, os estuários influenciam também no desenvolvimento econômico das cidades, dadas as características ambientais referidas, as geomorfológicas, as geográficas e o fornecimento de recursos naturais. Além disso, possibilita uma via de deslocamento para o interior do continente, fornecendo locais relevantes para instalação de empreendimentos portuários, indústrias navais e ocupação humana.

Registros históricos apontam que grande parte da ocupação e desenvolvimento humano ocorreu inicialmente no entorno das regiões estuarinas, interferindo drasticamente no equilíbrio ambiental do ecossistema (SHETTINI, 2002).

Aguiar (2005), argumenta que aproximadamente 60% das grandes cidades em vários locais do mundo estão instaladas nas proximidades de áreas estuarinas, sendo normalmente "palco" para intensos conflitos entre os seus usuários.

Nesta perspectiva, a administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, EUA), enfatiza que trinta e duas das maiores cidades do mundo encontram-se na costa dos estuários, haja vista estarem localizados em áreas estratégicas e de grande interesse para a construção civil, além de serem locais oportunos para a atividade de pesca, rotas de navegação e várias outras modalidades de recreação aquática (COELHO & HAVENS, 2015).

Por outro lado, a intensa atividade antrópica tem produzido profundo impacto sobre os estuários e interferem diretamente na qualidade da água, sedimento e redução de inúmeras espécies biológicas que dependem exclusivamente de condições ideias para assegurar a sobrevivência, desenvolvimento e conservação.

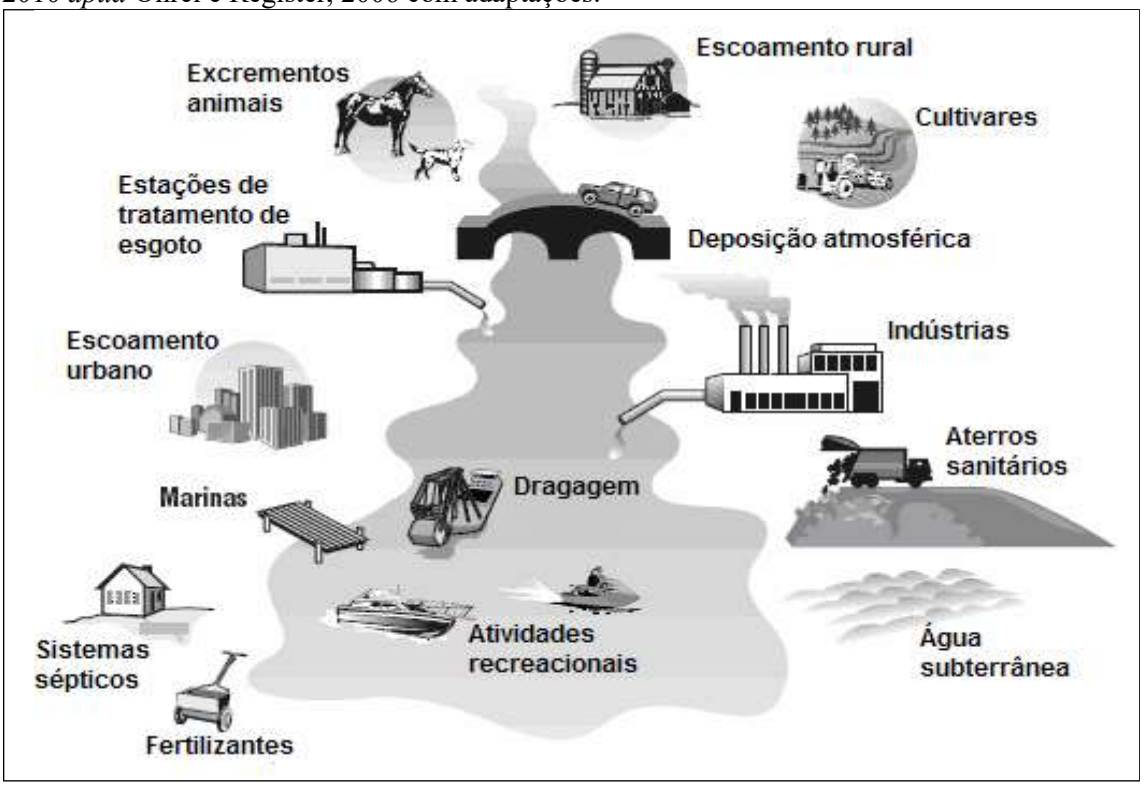
2.2 Contaminação ambiental

Como se sabe, as ações antrópicas afetam diretamente na qualidade ambiental dos corpos hídricos, não sendo diferente nos estuários que infelizmente atuam como receptores de diversos contaminantes, interferindo na biodiversidade natural e na saúde humana.

Os sinais da poluição tornaram-se mais evidentes com o aumento da população em todo o mundo, embora somente na década de 60, a poluição se tornou um fato reconhecido mundialmente devido aos problemas gerados ao homem e ao meio ambiente em face dos acontecimentos de acidentes ambientais envolvendo produtos químicos (MORAES, 2009*Apud* ZAGATTO, 2006).

Atualmente, a quantidade de poluentes introduzidos nos estuários é cada vez mais extensa, contínua e preocupante, sendo os mesmos facilmente introduzidos no meio aquático por diversas fontes de contaminação (Figura 01), do setor industrial à agricultura, agrupando os efluentes hospitalares e domésticos, sendo várias as vias de entrada a partir das quais ocorre a contaminação e modificação dos ecossistemas aquáticos (VENADE, 2013).

Figura 01: Esquema contendo as principais fontes de poluição no estuário. **Fonte:** Barbosa, 2010 *apud* Ohrel e Register, 2006 com adaptações.



Dentre os referidos meios de introdução de poluentes, deve-se maior destaque ao descarte de efluentes domésticos nos corpos hídricos, que inserem enormes quantidades de nutrientes, em especial o nitrogênio e fósforo, provocando o enriquecimento das águas.

Todavia, sabe-se que tal enriquecimento pode ocasionar o crescimento exagerado da biomassa vegetal e ao final toda essa biomassa morta passa a sofrer decomposição bacteriana, o que eleva o consumo de oxigênio disponível no meio, podendo gerar condições de hipóxia (CAMPELLO, 2006).

Campello (2006) ressalta que o fenômeno de enriquecimento do meio aquático, acompanhado do aumento na demanda bioquímica de oxigênio e posterior depleção de sua concentração na água, é denominado de eutrofização estando diretamente associado ao despejo de esgotos domésticos em ambientes aquáticos, podendo provocar desequilíbrio na estrutura das comunidades animais e vegetais.

No caso da poluição, o nocivo aumento da concentração destas substâncias para níveis maiores que os naturalmente encontrados no meio ocasionam danos para os organismos vivos (causando a morte ou efeitos subletais, como deformações na morfologia ou alterações genéticas) e para o homem, prejudicando tanto a saúde quanto as atividades desenvolvidas no ecossistema.

A problemática da poluição ambiental se arrasta há séculos, embora, como visto, somente nos últimos anos houve um despertar maior por parte do Poder Público e das Organizações ligadas ao meio ambiente em buscar soluções para amenizar os danos gerados nos ambientes aquáticos oriundos do descarte de poluentes.

Destaca-se que tal preocupação, entre outros benefícios, levou a adoção de critérios mais rigorosos no processo de licenciamento da instalação de novos empreendimentos nas proximidades dessas áreas.

Porém, verifica-se ainda a existência de algumas falhas por parte dos órgãos ambientais, o que acarreta inúmeros prejuízos aos ecossistemas, seja aquático ou terrestre. Enfatize-se que muitos são os casos de contaminação em corpos hídricos, sobretudo por metais pesados, em sua maioria proveniente de atividades de mineração.

O processo de contaminação pode ocorrer, por exemplo, através do rompimento de barragens, conforme se deu com a barragem de Fundão, localizada na cidade de Mariana (MG), onde os registros assinalam "que 34 milhões de m^3 de lama resultantes da produção de minério de ferro foi lançada no meio ambiente, acarretando em perdas humanas e mortandade de milhares de peixes e outros animais" (GOVERNO DO BRASIL, 2015).

De acordo com o laudo técnico parcial, divulgado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais - IBAMA, afirma que o nível de impacto foi tão profundo e perverso, ao longo de diversos estratos ecológicos, que é impossível estimar um prazo de retorno da fauna ao local, visando o equilíbrio das espécies na bacia (GOVERNO DOBRASIL, 2015).

Outro desastre desta estirpe foi o ocorrido na cidade de Brumadinho (MG), onde a lama tóxica composta por rejeitos de minério cobriu tudo em seu caminho em poucos minutos, chegando a despejar 12 milhões de metros cúbicos de lama na bacia do Rio Paraopeba (MANÇANO, 2019).

Ainda não é possível calcular com exatidão os prejuízos decorrentes deste acidente, tanto em perdas humanas como em fauna e flora. Sabe-se que as áreas atingidas levarão um bom tempo para se recuperar e em alguns casos dificilmente conseguirão recuperarem-se completamente.

Destaca-se que a ocorrência de sinistros ambientais, com envolvimento de substâncias tóxicas, a exemplo dos metais pesados, são altamente danosos ao ambiente, uma vez que estes ficam acumulados nos sedimentos, comprometendo a qualidade da água e do pescado e corroborando para o processo de extinção de várias espécies, em especial os peixes.

2.3 Metais pesados

Os metais são classificados de acordo com a interação com o organismo em essenciais ou não essenciais. Os essenciais (Zn, Mn, Cu e Fe) possuem a função de catalisadores, induzindo ou aumentando a atividade enzimática ao se associar a uma proteína. Os não essenciais (Al, Hg, Pb, Cd, Ag, Cr, Ni, e Sn), por sua vez, ocorrem naturalmente nos organismos, não desempenham nenhuma função bioquímica e são extremamente tóxicos quando em concentrações elevadas (SANTOS, 2015).

Estes elementos são responsáveis por funções importantes no metabolismo dos seres vivos, sendo fundamentais na manutenção da estrutura tridimensional de biomoléculas do metabolismo celular. As quantidades necessárias para os seres vivos podem variar de irrelevantes a mínimas (VALLS & LORENZO, 2002).

Quase todos os elementos químicos estão envolvidos em ciclos fechados na natureza, em concentrações que não causam efeitos nocivos aos organismos, movendo-se entre os vários compartimentos ambientais em velocidades e extensões variadas (VIRGA *et al*., 2007).

Nos ecossistemas aquáticos, os elementos estão presentes na biota, nos sedimentos de fundo e na água, isso em concentrações mínimas e necessárias para garantir o equilíbrio natural. Sabe-se que o grau de contaminação por metais nos níveis tróficos pode atingir valores superiores aos existentes na água e no ar (SOUZA *et al*., 2015).

A acumulação de metais nos "peixes vai depender da localização, cadeia alimentar, nível trófico, duração da exposição, estágio de vida, atividades de regulação homeostática de peixes e outros fatores" (SHANKAR *et al*., 2006).

Além disso, existem espécies de peixes na fase adulta que podem acumular maiores níveis de contaminantes em relação aos juvenis e prematuros. O comportamento alimentar é considerado um fator decisivo de acumulação de metais nesses seres (ASHRAF *et al*,. 2012).

Neste contexto, determinar as concentrações dos diferentes elementos tóxicos nos organismos proporciona uma gama de conhecimentos em relação aos mais variados contaminantes, permitindo avaliar os riscos potenciais à saúde humana.

2.4 Característica dos metais analisados

2.4.1 Alumínio

O Alumínio é liberado normalmente no meio ambiente através de processos naturais e diversos fatores influenciam sua mobilidade e subsequente transporte pelo ambiente, a

exemplos a especiação química, interações solo-água e a composição de materiais geológicos. O aumento de alumínio dissolvido na água decorre também da drenagem de mineração (GARLIPP, 2006 *apud* HEM, 1985).

A concentração desse elemento em águas naturais sofre variação e depende de fatores mineralógicos e físico-químicos. Por exemplo, em águas com valores de pH próximo ao neutro a concentração fica em torno de 0,001 a 0,05 mg/L^{-1}, podendo também atingir uma faixa de 0,5 a 1 mg/L^{-1} em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica (GARLIPP, 2006).

O homem tem contato com este metal ou seus compostos diariamente, tanto por via oral como por inalação e apenas uma pequena fração do que é ingerido é absorvido e a excreção renal é praticamente completa (BERTAGNOLLI, 2004).

Em se tratando de toxicidade para a saúde humana o que se sabe é que existem poucas indicações de que o Al seja tóxico através da exposição oral, apesar de sua ampla ocorrência em alimentos. Contudo, há especialistas que afirmam que o Al pode ocasionar alterações esqueléticas, hematológicas e até mesmo neurológicas (ZENDRON, 2015).

Conforme preconiza Zendron (2015), é através da ruptura da homeostase de metais de magnésio, cálcio e ferro que o alumínio passa a desencadear diversas alterações bioquímicas. Corrobora ainda com a afirmação de que a exposição humana ao alumínio é atribuída principalmente a sua ampla disponibilidade na natureza e nas diversas fontes artificiais existentes.

2.4.2 Cromo

O cromo é um metal de cor cinza obtido do mineral cromita, este elemento é usado em indústrias de galvanoplastia, na fabricação de ligas como o aço inoxidável, em indústrias de corantes, de curtimento de couro, no tratamento da madeira e dentre outros (GOMES & CALLAO, 2006; SINGH *et al*., 2007).

Ocorre naturalmente em animais, rochas, plantas e no solo, podendo se apresentar na forma de íons com valência +2, +3 e +6, e ser empregado em diversos processos industriais. Sendo o cromo trivalente importante para a saúde humana por ser essencial ao funcionamento do metabolismo (FILHO *et al*., 2011 *apud* ATSDR, 2009).

No ambiente aquático o cromo existe nos estados trivalente, Cr (III), e hexavalente, Cr (VI), e exibe diferentes propriedades químicas que estão relacionadas ao seu estado de oxidação. Enquanto o cromo trivalente é um micronutriente essencial, associado ao metabolismo de lipídios e carboidratos e cuja ausência está relacionada à diabetes e doenças

cardiovasculares, o Cr (VI) é considerado perigoso para a saúde pública devido às suas propriedades mutagênicas e carcinogênicas, sendo 0,05 mg/L^{-1} a concentração máxima permitida em águas destinadas ao consumo humano (BASHA *et al*., 2008; MALKOC & NUHOGLU, 2007).

A maior parte deste agente liberado na água deposita-se nos sedimentos de fundo e apenas uma pequena parcela pode se fazer presente na água nas formas solúvel e insolúvel. É muito empregado em indústrias de aço, aço inoxidável, ligas metálicas, plásticos, estruturas da construção civil, coloração de vidros, tintas, têxtil, circulação de águas de refrigeração, tratamento de couro de curtume e anticorrosivo (CAMPOS, 2012).

2.4.3 Cobre

Sendo amplamente distribuído na natureza e considerado um elemento traço essencial, o cobre atua em diversas funções fisiológicas e bioquímicas. Para a população em geral, maior parte deste micronutriente é obtida na dieta, por legumes, carnes, frutos secos, bebidase inclusive na água (BAIERLE, 2010).

Em se tratando de toxicidade, Andreazza *et al*., (2010) relatam que dentre os elementos tóxicos ao ambiente, o cobre quando em níveis elevados tona-se um dos principais metais pesados poluentes no solo e na água.

Em seu estado de solução no solo, encontra-se muitas vezes associado à matéria orgânica dissolvida e este somente é liberado sob a forma iônica e em condições de oxidação ou condições favoráveis à degradação da matéria orgânica pelos microrganismos (RIBEIRO, 2013).

O cobre é considerado um dos principais metais presentes no corpo humano, estando distribuído em praticamente todo o organismo em diferentes concentrações, o que indica seu papel funcional (OLIVEIRA *et al*., 2018).

Em suas contribuições, Sampaio (2013), enfatiza que os efeitos tóxicos deste metal dependem de inúmeros fatores, desde a natureza do elemento, a via de exposição, o local de ação, as vias metabólicas e a dose. Todos os efeitos tóxicos envolvem mecanismos moleculares e para compreensão dos efeitos de poluentes como metais, é necessário os estudos da assimilação, acumulação e exceção destes poluentes e organismos aquáticos.

Quando em situação de altas concentrações o cobre assume o papel de substância tóxica tanto ao meio ambiente, quanto aos seres vivos. Quando permanece no solo, tende a

afetar fortemente os minerais e matéria orgânica e pelo fato de não se fragmentar, este se acumula em plantas e animais (MENDES, 2007).

No homem, a toxicidade está associada ao excesso de cobre e, portanto considerado um problema de saúde pública. Pesquisas afirmam que a doença de Wilson está condicionada a toxicidade deste metal. Por outro lado, a deficiência do cobre no organismo humano pode acarretar na doença de Menkes. Além disso, o cobre quando disponível em excesso e associado com outros elementos tende a produzir anemia pela interferência com o transporte e/ou metabolismo do ferro (BARCELOS, 2008).

2.4.4 Ferro

Considerado o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, representando 6,2% de seu peso, o ferro possui propriedades que lhe garantem importância nos mais diversos ramos produtivos. Apesar de sua abundância, é insolúvel no meio ambiente e nos sistemas biológicos, é possível encontrar em dois estados de oxidação, a saber: ferroso e férrico, na forma sólida existe como metal ou compostos químicos e na sua forma em pó apresenta coloração cinza e negra (FISBERG *et al*., 2008 *apud* BEARD, 2008; BRAGA & BARBOSA, 2006).

O ferro desempenha um papel relevante no processo metabólico da respiração pulmonar e da respiração celular dos seres aeróbicos, atuando na composição química da hemoglobina (MIRANDA, 2007).

De acordo com o Relatório publicado pelo Grupo de especialistas em Vitaminas e Minerais, a quantidade de ferro no organismo é altamente conservada, e as perdas muito pequenas ocorrem através das fezes, da pele, da bile e na urina. Relata ainda que na ausência de sangramento ou gravidez, apenas uma pequena quantidade é perdida a cada dia (EXPERT ON VITAMINS AND MINERALS/EVM/EVM, 2003).

Nos peixes, o ferro tem papel importante, tendo em vista que participa da manutenção de processos vitais, como transporte do oxigênio no sangue destes organismos.

Por outro lado se sabe que este metal quando encontrado no ambiente em concentrações elevadas pode acarretar sérios danos aos seres vivos, incluindo a espéciehumana. De acordo com Miranda (2007), no organismo humano quando em excesso pode contribuir para a carcinogênese e inibir o crescimento celular.

2.4.5 Manganês

Sendo um elemento químico, dificilmente encontrado na natureza em sua forma metálica isolada e na maioria das vezes encontra-se associado a outros elementos, em estruturas bem organizadas, conhecidas como minerais. A literatura enfatiza que são mais de 300 minerais diferentes que contêm manganês em sua constituição (FARIA, 2011).

O manganês atua como componente na formação dos ossos e no metabolismo de aminoácidos, colesterol e carboidratos. Este metal pode se originar por meio da dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais, quando encontrado em elevadas concentrações, a água adquire uma coloração marrom (ACADEMIA NACIONAL DE CIÊNCIAS, 2001; VISÃO AMBIENTAL, 2011).

Em excesso se torna um metal tóxico, tendo em vista que em exposições prolongadas, seja por via oral ou inalada, pode ocasionar efeitos adversos ao sistema nervoso, tais como: hiperirritabilidade e alucinações (MIRANDA, 2007).

2.4.6 Chumbo

O chumbo constitui um metal abundante na crosta terrestre estando amplamente distribuído e sendo encontrado livre e em associação com outros elementos (MINISTÉRIO DA SAÚDE2006). Suas fontes naturais incluem as emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e as emissões provenientes do mar (QUITÉRIO, 2001).

Conforme Moreira *et al*., (2004), o chumbo é um elemento de ocorrência natural, sendo amplamente utilizado. Na atualidade, este metal se destaca dos demais por ser considerado um dos contaminantes mais comuns do ambiente, em decorrência das inúmeras atividades industriais que favorecem a sua enorme distribuição.

Considerado ainda um metal pesado e facilmente maleável, resistente à corrosão e com baixo ponto de fusão, sendo amplamente utilizado na produção automobilística, tintas e estabilizantes para plásticos, produção de cerâmicas, soldagem e petrolífera (WANG *et al*., 2012).

No Brasil cerca de 80% do chumbo é destinado à fabricação de baterias de indústrias automobilísticas, sendo que o consumo interno é sustentado pelas importações e pela reciclagem deste metal (ROCHA *et al*, 2017).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) este metal é um dos elementos químicos mais perigosos à saúde humana (VANZ *et al*., 2003).

Dentre os vários compostos onde o chumbo se faz presente, pontuam-se dois grupos tóxicos que englobam essa diversidade com diferentes níveis de toxicidade. O chumbo inorgânico, cuja intoxicação ocorre principalmente através da via respiratória e digestiva (SADAO, 2002); o chumbo orgânico, em que a intoxicação por este grupo se deve principalmente pelo chumbo tetraetila e tetrametila, com características lipossolúveis, é facilmente absorvidos pela pele, pelo trato gastrointestinal e pelos pulmões SCHIFER *et al*., 2005 *apud* KLASSEN, 1991; SADAO, 2002).

Kosnett (2003) relata que a maior incidência de intoxicação ocorre por meio da contaminação ambiental, ingestão de alimentos e bebidas contaminadas e por partículas suspensas no ar e dentre os gêneros alimentícios que mais contribuem para a ingestão de chumbo, destacam-se: água potável, bebidas em geral, cereais, vegetais e frutas (SALGADO, 2003).

No organismo humano este metal não é metabolizado, mas sim complexado por macromoléculas e sendo diretamente absorvido, distribuído e excretado. A absorção no organismo é influenciada pela rota de exposição, espécie química formada, tamanho da partícula, solubilidade em água e variações individuais fisiológicas e patológicas (MOREIRA *et al*., 2004).

Os efeitos da intoxicação podem ser percebidos em várias partes do organismo e os principais sistemas prejudicados são: o gastrointestinal, neuromuscular, neurológico, hematológico e renal (SHIFER, 2005).

Quanto aos organismos aquáticos, estes captam e acumula o chumbo presente na água e no sedimento, no caso dos peixes o metal fica concentrado principalmente nas brânquias, fígado, rins e ossos (SALGADO, 2003).

2.4.7 Zinco

O zinco é um metal de número atômico 30 e 23º elemento mais abundante na Terra, podendo ser encontrado nos mais diversos ambientes. Sua forma natural de entrada no substrato é por meio da ação do intemperismo físico ou químico da rocha matriz do solo, podendo se apresentar como zinco orgânico e inorgânico, estando disponível em maior quantidade na forma de íon de zinco ou complexado com ligantes orgânicos (SANTOS, 2005 & BROADLEY *et al*., 2007).

Extrai-se da literatura que este elemento é um micronutriente essencial para os organismos, tendo papel de destaque como componente de várias proteínas, participando

ainda no crescimento das plantas. No organismo humano este metal participa no processo de inúmeras reações diretamente ou como co-fator de enzimas (ALEXANDRE *et al*., 2012 *apud* LI *et al*., 2002).

Estando amplamente distribuído em todo o corpo humano, contudo em quantidades mínima e suficiente. Existem estudos científicos que relatam que apesar da quantidade (1,5g a 2,5g) a sua deficiência esta relacionada a quadros patológicos graves decorrentes da deficiência alimentar, presença de compostos quelantes nos alimentos, distúrbios no processo de absorção gastrointestinal ou devido ao aumento na excreção urinária (HAMBIDGE *et al*., 2008).

Apesar da sua importância para a espécie humana, o zinco infelizmente não difere dos demais em relação a sua toxicidade, diversos estudos relatam que este elemento em quantidades elevadas pode acarreta sérios problemas à saúde humana, assim como aos organismos aquáticos.

Os autores Jean e Yan (2010), comentam em um de seus estudos que o excesso de zinco no corpo humano é prejudicial, estando associado à supressão da resposta imune, diminuição da lipoproteína de alta densidade e à redução das concentrações de cobre no plasma.

Diversos sintomas clínicos são apresentados em detrimento da toxicidade do zinco no corpo humano. Já nas plantas, por exemplo, a toxicidade deste elemento pode acarretar na diminuição da produção de matéria seca da parte aérea, biomassa radicular, necrose daradícula ao entrar em contato com o solo; morte da plântula e inibição do crescimento vegetal (ALEXANDRE, *et al*., 2012).

Nos peixes, ainda que em níveis toleráveis de zinco, o que se sabe é que pode causar alterações histopatológicas nas brânquias, tais como: hiperplasia, fusão lamelar, aneurisma, destruição do epitélio lamelar secundário, ruptura de membrana, produção excessiva de muco e dentre outros (SANTOS, 2009).

2.4.8 Níquel

O níquel é o 24º metal em abundância na crosta terrestre, na sua forma metálica é branco prateado, dúctil e maleável com grande resistência à corrosão e oxidação pelo ar, água e agentes alcalinos. Dentre a variedade de compostos de níquel, destaca-se o óxido de níquel, hidróxido de níquel, sulfato de níquel e cloreto de níquel (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

As principais fontes antrópicas deste metal são decorrentes da queima de combustíveis fósseis, processos de mineração e fundição de metal, fusão e modelagem de ligas e indústrias de eletrodeposição (CETESB, 2001).

A utilização deste elemento e seus compostos na indústria são bastante diversificados, com uso predominante na fabricação do aço inoxidável, sendo utilizado também como componente catalisador em certas reações de hidrogenação, atuando na fabricação da margarina e manteiga por meio de gorduras líquidas (GONZALEZ, 2016).

Apesar de atuar como complemento suplementar para o organismo humano e de algumas plantas superiores, o que se sabe é que este metal quando em concentrações superiores pode acarretar danos a saúde dos seres vivos. Além disso, a exposição crônica de seres humanos ao níquel possibilita o desenvolvimento de câncer, hipertensão, doenças cardíacas e déficits neurológicos (AKHTAR, 2017).

2.4.9 Mercúrio

Ocorrendo naturalmente na crosta terrestre, o mercúrio pode ser encontrado nas formas orgânicas, inorgânicas, no estado sólido, dissolvido ou mesmo na fase gasosa. Seu ciclo biogeoquímico envolve processos que acontecem no solo, na água e na atmosfera (LEE, *et al*., 2009; TINÔCO *et al*., 2009).

Segundo Lee e colaboradores (2009), o mercúrio evapora-se muito lentamente quando exposto a temperatura ambiente. Seu vapor é estável na atmosfera o que possibilita o transporte em escala global, podendo inclusive afetar áreas que não possuem fontes pontuais de contaminação (LACERDA; MALM, 2008).

O aumento das atividades antrópicas tem contribuído mundialmente para o aumento dos níveis de contaminação do mercúrio. Conforme o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) essas atividades são responsáveis por cerca de 30% das emissões atmosféricas deste metal (STRATHERN, 2002; WISNIAK, 2001; UNEP, 2013; FELDMANN, 2013).

Quanto as principais fontes antrópicas de mercúrio emitidas para a atmosfera, destacam-se as indústrias químicas e a queima de combustíveis fósseis, sendo esta última a principal fonte (LACERDA *et al*., 2007).

Dentre os metais lançados no meio ambiente, o mercúrio é considerado o de maior potencial tóxico e sofre processos exclusivos, a exemplo a biomagnificação ao longo da cadeia trófica, sofrendo ainda, organificação e atingindo sua forma mais tóxica

(metilmercúrio) no sistema aquático, ao sofrer o processo de metilação (SIQUEIRA *et al*., 2005).

No ambiente aquático este composto pode contaminar o peixe e outros organismos.No caso dos peixes é principal via de exposição humana ao metilmercúrio (TRASANDE *et al*., 2010).

Segundo Tinôco *et al*. (2010), o metilmercúrio é facilmente absorvido por peixes, levando a sua deposição nos tecidos e acumulando-se ao longo do tempo, podendo atingir concentrações superiores das encontradas na água e no sedimento.

No tocante a presença de mercúrio no corpo humano, estudos realizados revelam a ocorrência de diversos danos à saúde humana, uma vez que este vai se acumulando nos tecidos e consequentemente dando origem a lesões graves, em especial nos rins, fígado, aparelho digestivo e sistema nervoso central (TINÔCO *et al*., 2010).

2.5 Características das espécies de peixes analisadas quanto a presença de metais pesados

2.5.1 Peixe pedra (*Bloch*, 1795)

A espécie *Genyatremus luteu*, popularmente conhecida como peixe pedra, sobressai-se devido a sua grande abundância e apreciação pela população de São José de Ribamar/MA, onde ocupa as primeiras posições de "ranking" do consumo diário de pescado (ALMEIDA *et al*., 2005). É uma espécie demersal de médio porte, com hábito alimentar eurifágica e oportunista, se alimentando de crustáceos, bivalves (ESPÍRITO SANTO *et al*., 2005).

Almeida e colaboradores (2005), ao estudarem a dieta alimentar desta espécie na Baía de São José, identificaram uma abundância de algas nos estômagos dos exemplares capturados, o que aponta um comportamento alimentar bentônico.

Em estudos realizados por Giarrizo & Krume (2007), revelou-se que o peixe pedra é uma espécie de ambiente tipicamente estuarino-marinha. Por sua vez, Carvalho-Neta e colaboradores (2011), ao realizarem estudos sobre peixes no Estado do Maranhão, em destaque a espécie *Genyatremus luteus*, observaram que esta se comporta de maneira oportunista, uma vez que utiliza como estratégia o ambiente estuarino para completar uma dasetapas do ciclo de vida, garantindo assim o sucesso da reprodução e recursos alimentares.

2.5.2 Pescada Gó (*Bloch; Schneider*, 1801)

A espécie *Macrodon ancylodon* está inserida na família *SCIAENIDAE*, que é representada por peixes demersais, com variação de tamanho (pequeno e médio). Conforme Ikeda (2003) essa espécie é vulgarmente conhecida como pescada gó, pescadinha, corvina e boca mole. Fonseca e Castro (2000) assinalam que a pescada gó é um peixe costeiro, demersal que habita ambientes de substratos arenosos.

Destaca-se por ser uma espécie de grande interesse comercial e possuindo uma distribuição geográfica significativa na América do Sul, a *M. ancylodon* tem uma dietaalimentar que provavelmente sofre influência da sazonalidade. Estudo realizado em um estuário no Estado do Maranhão revelou que a dieta desta espécie é composta basicamente de peixes e crustáceos (PIORSKI *et al*., 2004). Tal fato também foi relatado pelos autores Cergole & Rossi-Wongtschowski (2000) onde ressaltam que esta espécie tem hábito alimentarcarnívoro, com evidências de canibalismo alimentando-se preferencialmente de camarões e peixes, sendo este último dominante na dieta conforme os indivíduos crescem.

2.5.3 Bagre Guribu (*Bloch*, 1794)

A espécie *Sciades herzbergii* ou simplesmente bagre guribu é uma das poucas espécies que possui todo o seu ciclo de vida nos estuários, sendo considerada uma espécie estuarino-residente. Com relativa importância comercial na pesca artesanal do Estado, podendo ser classificada como carcinófaga, com forte tendência à especialização alimentar em crustáceos e decápodes (CARVALHO-NETA, 2010; SOUSA & CARVALHO-NETA, 2012).

2.5.4 Tainha Sajuba (*Valenciennes*, 1836)

A espécie *Mugil curema* é popularmente conhecida como tainha sajuba, a qual possui o corpo cilindro e fusiforme (SANTANA *et al*., 2015). Segundo Harrison (2002), esta espécie realiza a desova em alto mar, porém quando os juvenis adquirem autonomia motora migram em grandes cardumes para o litoral, podendo inclusive ser vista em poças de maré, onde permanecem até atingir sua maturidade sexual para retornar aos sítios de reprodução em alto mar.

O autor ainda revela que durante a permanência nas poças de maré os juvenis da tainha sajuba formam cardumes de forrageio e seus principais componentes alimentares é composto de plâncton, e quando adulto pode se alimentar de matéria orgânica e detrito.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a qualidade da água e níveis de contaminação por metais pesados nos peixes do Estuário do Rio Perizes (MA).

3.2 Específicos

- Avaliar os parâmetros físico-químicos da água nos quatro pontos de amostragem da área de estudo;
- Quantificar níveis de Coliformes Termotolerantes por meio da técnica do Número Mais Provável de bactérias e a identificação de *E. coli*.
- Analisar níveis de contaminação de metais pesados no tecido muscular dos peixes, considerando as espécies de maior interesse para consumo;
- Investigar possível relação entre a concentração de metais, sazonalidade e hábito alimentar das espécies *Genyatremus luteu*, *Macrodon ancylodon*, *Sciades herzbergii* e *Mugil curema*;

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área de estudo compreendeu o igarapé do Rio Perizes que está inserido em uma unidade de conservação de uso sustentável, a Reserva Extrativista do Rio Perizes, localizada na face nordeste do município de Bacabeira, limítrofe ao município de Rosário, apresentando uma área de 10,48 ha, com 65,13 Km de perímetro (SOUSA, *et al*., 2016).

A principal unidade de paisagem são os sistemas fluviomarinhos constituídos por manguezais. Os apicuns também se fazem presente, como áreas hipersalinas e desprovidas de vegetação vascular. O sistema estuarino (Figura 02) está representado pelo estreito dos Mosquitos, baías de São José, Arraial e São Marcos, compreendendo a região S/SW/SE da Ilha de São Luís (CASTRO, 2015).

Figura 02: Mapa representando a área de estudo (Estuário do Rio Perizes/MA). **Fonte**: CASTRO, 2015.

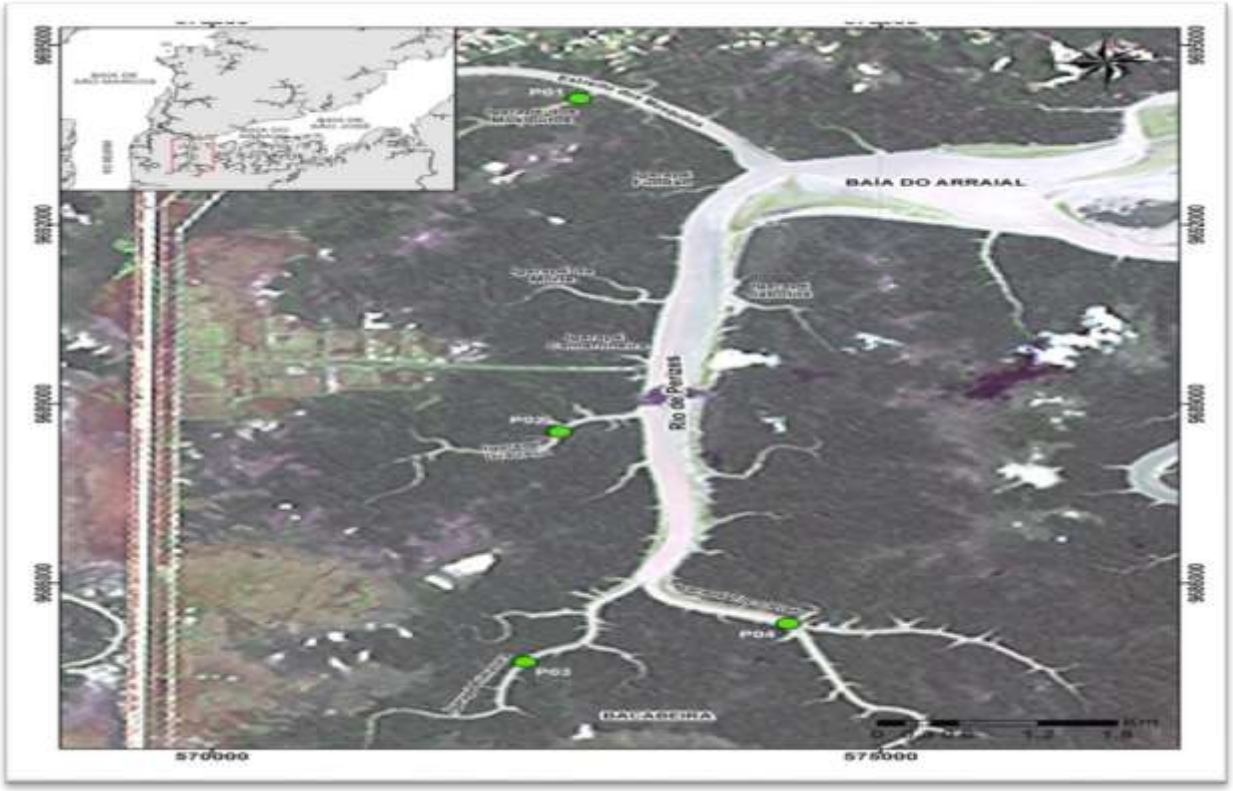
4.2 Análise da água

4.2.1 Físico-química

As amostras de água foram coletadas em frascos plásticos e armazenadas em caixas isotérmicas para garantir a conservação das mesmas até o laboratório. Foram realizadas quatro campanhas nos meses de novembro de 2017, janeiro, março e maio de 2018. Os pontos de coletas foram distribuídos ao longo da área de estudo (Figura 03), com as seguintes identificações:

- Ponto 01 - **Igarapé Estreito**
- Ponto 02 - **Igarapé Grauaçu**
- Ponto 03 - **Igarapé Primavera**
- Ponto 04 - **Igarapé Toco Preto**

Figura 03: Mapa demonstrando a distribuição dos pontos de amostragem. **Fonte:** Castro, 2015.



Em campo, foram mensurados os dados de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, salinidade e turbidez, com auxílio do equipamento Kit-multiparâmetro HQ40D da Hach. A transparência também foi medida "***in loco***" com uso do disco de secchi.

4.2.2 Microbiológica

Para a determinação do Número Mais Provável de bactérias do grupo coliformes termotolerantes, utilizou-se tubos múltiplos. Para prova presuntiva foram inoculadas alíquotas de 10 ml, 1 ml e 0,1 ml em caldo lactosado e incubados a 37ºC/48 horas.

Após confirmação dos tubos positivos para essas bactérias, transferiu-se duas alças de cultura para tubos contendo Caldo EC, ficando em banho-maria a 45ºC. Considerou- se como prova positiva de bactérias a presença de gás nos tubos de Durham e com o auxílioda Tabela de Hoskins, obteve-se o NMP/100mL de água de bactérias termotolerantes (APHA,2014).

4.2.2.1 Isolamento e identificação bioquímica de *Escherichia coli*

Após a confirmação da presença de coliformes termotolerantes, realizou-se o plaqueamento nos meios de cultura seletivos Agar Eosina, Azul de Metileno (EMB) e Ágar MacConkey (MC), logo após, as colônias de *E. coli,* estas foram repicadas para tubos inclinados de Ágar Triptona de Soja (TSA) e incubadas a 37ºC/24 horas, com a aplicação dos seguintes testes bioquímicos: convencionais e Sistemas de Identificação Bactray. Para os testes convencionais foram usados: Indol, Vermelho de Metila, Voges - Proskauer, Citrato, Motilidade, H_2S, Ureia e Malonato e os seguintes carboidratos: Xilose, Arabinose, Sacarose, Rafinose e os aminoácidos: lisina e ornitina.

O teste bioquímico do Sistema Bactray I e II conforme indicado pelo fabricante (LABORCLIN), os quais analisados em conjuntos pelo Software Bactray identificaram as cepas de *E. coli*.

4.3 Aquisição dos peixes

Espécimes de *Genyatremus luteu*, *Macrodon ancylodon*, *Sciades herzbergii* e*Mugil curema* foram capturados pelos pescadores da região, totalizando 15 exemplares, sendo armazenados em sacos plásticos e acondicionados na caixa isotérmica para garantir a conservação destes durante o transporte até o Laboratório de Ictiologia (DEOLI/LABOHIDRO) da Universidade Federal do Maranhão - UFMA.

4.3.1 Procedimento para análise de metais no tecido muscular dos peixes

Com auxílio de uma faca de porcelana, retirou-se o tecido muscular dos peixes e em seguida pesou-se cerca de três gramas de músculo. Preservado em temperaturas baixas, o material congelado foi transferido para o Laboratório de Produtos Naturais/UFMA para proceder com a técnica de liofilização (Imagem 01 e 02). Nesta etapa, aplicou-se a metodologia descrita pelo autor Rocha (2010), com adaptações para o caso em questão.

Imagem 01 e 02: Liofilizador modelo (K105). **Fonte**: Melo, 2018

Após a desidratação, as amostras foram maceradas em pistilo de porcelana, a fim de obter uma amostra homogênea, conforme em destaque (Imagem 03 e 04).

Imagem 03 e **04:** Amostras logo após serem liofilizadas e em seguida homogeneizadas. **Fonte:** Melo, 2018.

4.3.2 Processo de digestão da amostra por via úmida - Sistema aberto - Banho Maria

O processo de digestão ácida das amostras liofilizadas se deu através da pesagem de 0,1 gramas de músculo, que após foram armazenadas em tubos de polipropileno do tipo falcon, adicionando-se 2 mL de ácido nítrico (HNO_3 65%), deixando-a em repouso por 48 horas em temperatura ambiente.

Decorrido este período, as mesmas ficaram em banho-maria a 35°C por 1 hora para garantir a digestão completa, posteriormente, adicionou-se 13 mL de água deionizada.

Ao final, as amostras foram filtradas, ficando na condição ideal para a realização da leitura. Importante frisar que a metodologia analítica empregada nesta etapa se baseou naquela descrita por Theophilo (2013), contudo, sofreu adaptações conforme as necessidades apresentadas ao longo da pesquisa.

As diferenças entre o método utilizado e o de Theophilo (2013) foram o volume de ácido nítrico, uso do banho-maria e a quantidade de material biológico. Neste estudo o volume de ácido nítrico foi de 2 mL e no método de Theophilo (2013) foi de 4 mL. Para finalizar a digestão ácida das amostras foram colocadas em banho-maria, enquanto Theophilo (2013) utilizou bloco digestor a 90 °C. Nesse método foram utilizadas 0,1 gramas de amostra, diferente do autor Theophilo (2013) que trabalhou com de 0,35 g da amostra.

Foram quantificados o Alumínio (Al), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Níquel (Ni) e Mercúrio (Hg) através de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), marca VARIAN modelo 720-ES do laboratório NTER, do Laboratório de solos da UEMA.

Para validar os resultados de metais pesados identificados no tecido muscular dos peixes, utilizou-se o Tort - 3, material certificado de referência de hepatopancreas de lagostas e o Europeu ERM®-CE278k - Mussel Tissue (Tecido muscular de mexilhão), a seguir consta os dados de recuperação obtido para cada metal analisado (Tabela 1).

Estes padrões de referência destinam-se principalmente na calibração de procedimentos e validação de métodos analíticos para a determinação de metais pesados na fauna marinha e materiais de matrizes semelhantes às dos organismos analisados neste estudo.

4.4 Análise dos dados

Os testes estatísticos foram realizados utilizando-se o programa PAST 3.14. Já para a elaboração dos gráficos foi utilizado o software Excel. Aplicou-se a Análise de Variância (ANOVA) para testar possíveis diferenças nas concentrações dos parâmetros físico-químicos entre os pontos e meses de amostragens, após o atendimento dos pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias. Quando os pressupostos não foram atendidos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, e posteriormente, quando os resultados se mostraram significantes, aplicou-se o teste Mann-Whitney para comparar o nível de diferença dos parâmetros entre os meses de forma pareada. Uma análise de variância com dois fatores (Two-way ANOVA), também foi aplicada para testar a relação entre a sazonalidade, hábito alimentar e concentração dos metais analisados.

Em relação aos resultados da qualidade da água, comparou-se os resultados com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 que trata da classificação e diretrizes ambientais para corpos de água.

Quanto à análise do pescado adotou-se como padrão de referência os parâmetros descritos na Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013(ANVISA), que dispõem sobre o Regulamento Técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos e o Decreto nº 55.871, de 26 de Março de 1965, também estabelecido pela (ANVISA).

5 RESULTADOS

5.1 Parâmetros físico-químicos da água

5.1.1 Análise estatística

A análise da estatística descritiva na escala espaço-temporal permitiu identificar variações estatísticas dos parâmetros físico-químicos, comtemplados nesta pesquisa. Extrai-se dos dados coletados que, em relação à escala espacial, todas as variáveis apresentaram variações homogêneas, possibilitando assim a aplicação da análise de variância (ANOVA).

Tal informação permitiu a aplicação do teste paramétrico, evidenciando semelhanças estatísticas ($p>0,05$) entre os quatros pontos de amostragens e para os parâmetros (pH, transparência, OD, condutividade, salinidade e turbidez).

No tocante a análise temporal destes mesmos parâmetros, o teste de Kruskal-Wallis, evidenciou diferenças estatísticas ($p<0,05$) para todos os parâmetros físico-químicos. Com tal resultado, foi possível fazer uso do teste Mann-Whitney objetivando comparar o nível de diferença dos parâmetros estudados entre o período de amostragem.

Quanto ao pH, o teste apresentou diferença significativa ($p<0,05$) entre o mês de Nov/17 e os demais meses de amostragem. Foram observadas ainda diferenças significativas entre Jan/18 e Mai/18, onde em Jan/18, os valores de pH foram mais elevados.

Em relação às variáveis transparência e oxigênio dissolvido, na escala temporal, apresentaram uma variância homogênea ($p>0,05$), permitindo assim a aplicação da(ANOVA).

As análises temporais da condutividade e da salinidade registraram, respectivamente, significativas diferenças ($p<0,05$) entre todos os meses, comparados um a um. Por fim, o parâmetro Turbidez também registrou diferenças significativas ($p<0,05$), entre o mês deNov/17 e os meses de Jan/18 e Mar/18, bem como, entre o mês de Mai/18 e os meses de Jan/18 e Mar/18.

5.1.2 Análise físico-química

O resultado das variáveis físico-químicas obtidos nos quatro pontos de amostragem, entre os meses de novembro de 2017 e maio de 2018, são apresentados na Tabela 2, tendo-se comparado-os com os limites máximos estabelecidos na Resolução Conama nº 357/2005, à excessão dos parametros transparência, condutividade e salinidade, cujo normativo desconsidera, quando do estabelecimento dos limites para categoria água salobra - Classe 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos da água do estuário do rio Perizes (MA).

	PH	TRANSP. (cm)	OD (mg/L)	COND. (mS/cm)	SAL. (g/Kg)	TUR. (UNT)
NOV/17						
P1	8,1	32,0	5,67	50,3	33,0	46,27
P2	8,1	27,0	5,51	50,3	33,0	57
P3	8,0	22,0	5,84	51	33,5	71
P4	8,0	28,0	4,86	51,2	33,6	72
JAN/18						
P1	7,8	20,0	5,84	47,5	31,0	116
P2	8,0	24,0	5,35	45,9	31,1	117
P3	8,0	10,5	6,49	41,1	26,5	449
P4	8,0	33,0	6,0	41,8	27,0	90
MAR/18						

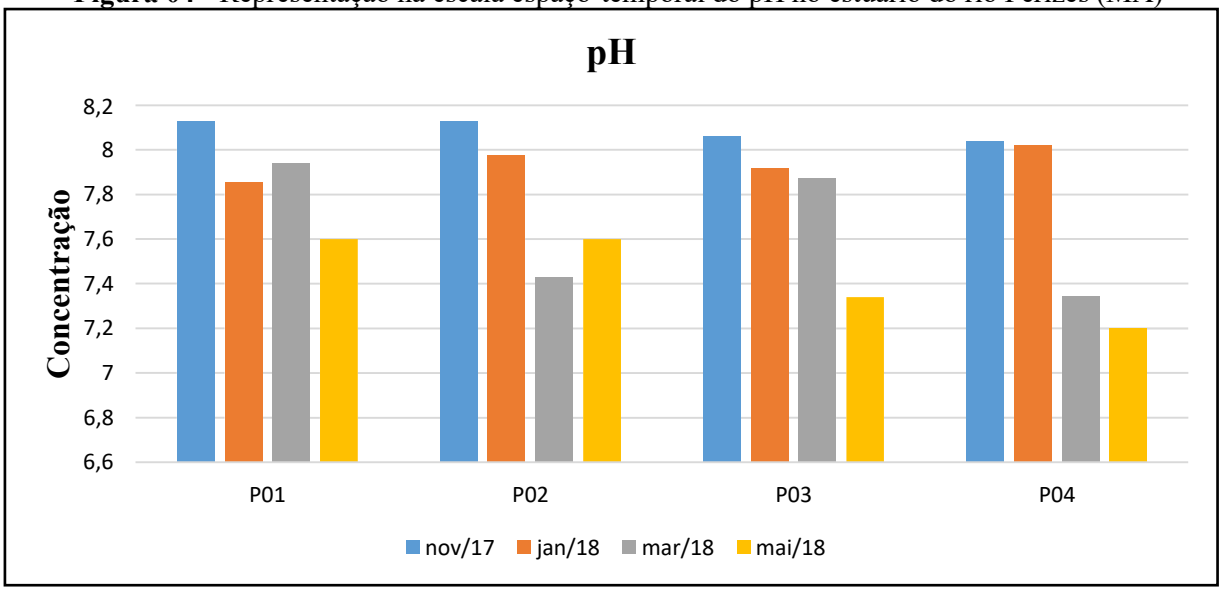
P1	8,0	11,0	3,97	16,79	9,8	371
P2	7,4	12,5	4,03	18,51	10,8	249
P3	7,9	13,0	3,60	18,27	10,7	203
P4	7,3	17,0	3,80	18,36	10,7	94
MAI/18						
P1	7,6	24,0	4,75	16,68	9,7	47,26
P2	7,6	29,0	4,10	16,20	9,40	23,55
P3	7,3	38,5	3,51	15,95	9,25	26,86
P4	7,2	36,0	3,40	16,10	9,30	30,14
Res. CONAMA Nº357/05	**Entre 6,5 a 8,5**	**Não estabelecido**	**Não inferior a 4,0 mg/L**	**Não estabelecido**	**Não estabelecido**	**Ausente**

Quanto ao pH, vale inicialmente ponderar que ele é uma importante varável na avaliação da qualidade da água, pois influencia em muitos processos biológicos e químicos dosistema hídrico, podendo afetar a sobrevivência dos organismos aquáticos, uma vez que a maior parte de suas atividades metabólicas dependem dele (OSIBANJO, *et al*., 2011).

Portanto, a luz da Resolução do CONAMA, é possível afirmar que a concentração do pH das amostras coletadas nos diversos pontos, encontram-se em conformidade, respeitando os limites estabelecido na legislação, fixados entre 6,5 a 8,5, já que, conforme a Figura 04, o menor pH obtido foi de 7,2, no P4, referente ao mês de Maio de 2017, e o maior foi 8,1, obtidos nos pontos P1 e P2 em Novembro de 2017.

Desta forma, pode concluir que a concentração de pH aferida, encontra-se em conformidade com o estabelecido como ideal para este tipo de ambiente, qual seja, de água salobra - classe 2.

Figura 04 - Representação na escala espaço-temporal do pH no estuário do rio Perizes (MA)

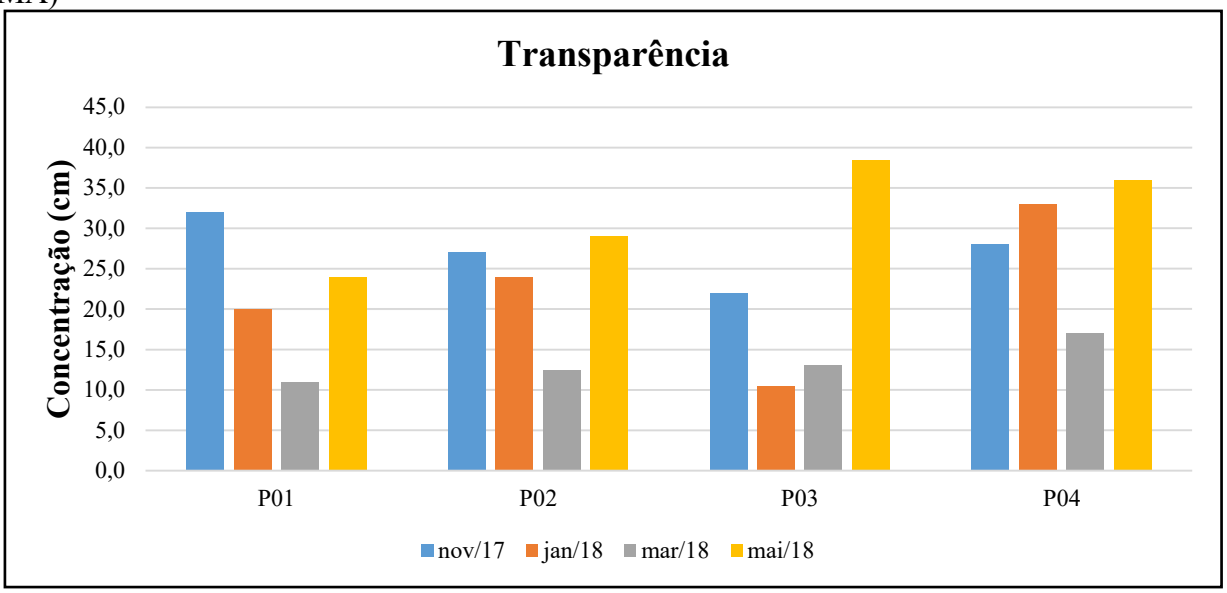


Da análise espaço-temporal da transparência, não houve diferença significativa entre os pontos de amostragem. Destacando-se, porém, no comparativo entre os meses, o registrodo valor mínimo, 10,5, e o máximo, 38,5, ambos no P3, respectivamente em Jan/18 e Mai/18 (Figura 05).

Embora estes resultados tenham sidos registrados no mesmo ponto, constatou-se diferença no ciclo de maré quando do momento da coleta, tendo esta ocorrido durante a maré enchente em Jan/18 e durante a maré vazante em Mai/18.

Apesar da Resolução CONAMA não estabelecer limites para esta variável, este é um parâmetro que está incluído em diversos estudos realizados em ambientes similares, pois influencia no nível da atividade fotossintética, fator relevante para a manutenção da vida nos ecossistemas aquáticos, desta forma, refletindo bem a qualidade do ambiente.

Figura 05 - Representação na escala espaço-temporal da transparência no estuário do rio Perizes (MA)



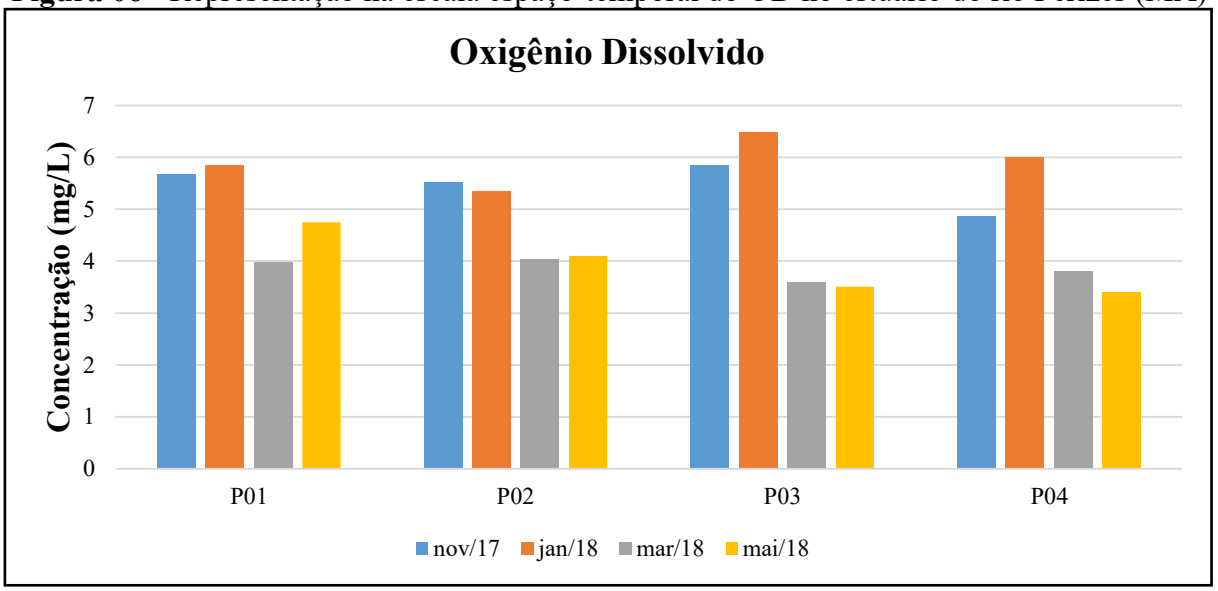
Durante o estudo os teores de oxigênio dissolvido registrados para o estuário do rio Perizes atingiram valor mínimo de 3,40 mg/L no P4, em Mai/18, e máximo de 6,49 mg/L, em Jan/18, no P3, em condições de maré vazante e enchente, respectivamente (Figura 06).

Em relação ao valor máximo registrado, pode-se considerar como fator de influência, o volume maior de águas provenientes da Baia de São Marcos, ou seja, a ação do ciclo de marés contribuindo para as oscilações nos níveis de oxigênio dissolvido encontrados.

Sabe-se que os níveis de OD de um rio podem ser reduzidos quando há o descarte de efluentes com elevada carga orgânica, cuja decomposição biológica do material depende de níveis elevados de oxigênio (OSIBANJO, *et al*., 2011). Além disso, a literatura enfatiza que baixas concentrações de oxigênio dissolvido podem afetar a sobrevivência das comunidades aquáticas.

Do ponto de vista da mencionada legislação, ao comparar o limite estabelecido com os valores encontrados nesta pesquisa para esta variável, concluiu-se que na maioria dos pontos de coleta os valores estiveram acima do valor mínimo expresso na resolução, estando assim em conformidade com esta.

Figura 06 - Representação na escala espaço-temporal do OD no estuário do rio Perizes (MA)

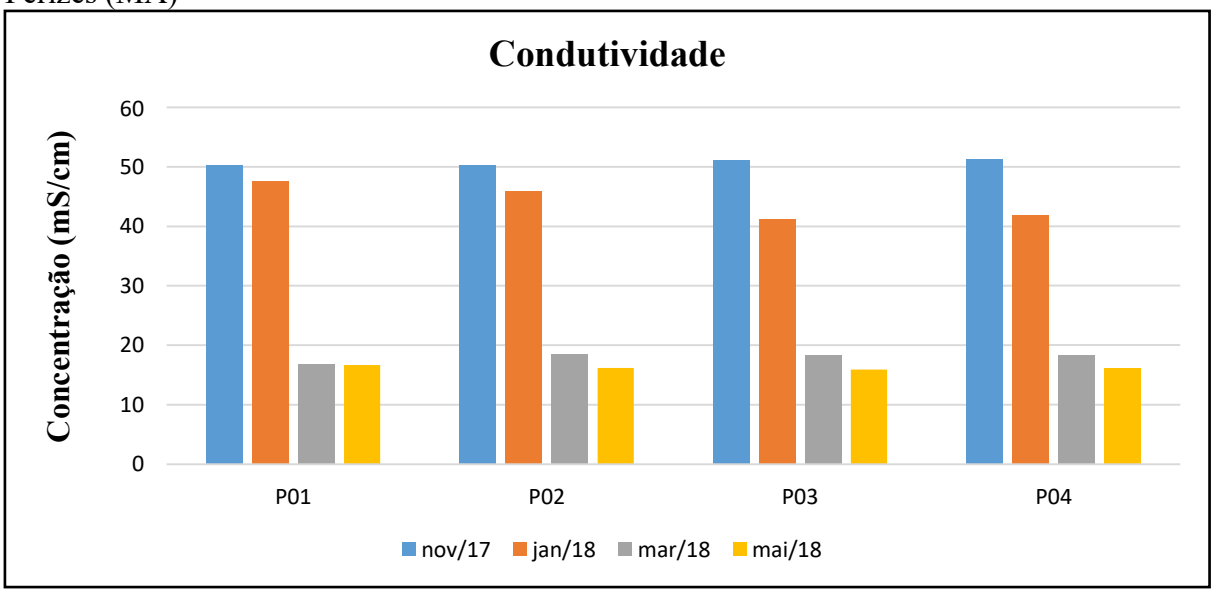


Em relação à condutividade, esta apresentou uma relação direta com o período de maior precipitação, é tanto que, o menor valor registrado foi de 15,95 mS/cm no P3 em Mai/18, por sua vez o maior valor foi de 51,2 mS/cm em P4 no mês de Nov/17 que corresponde ao período de estiagem (Figura 07). A redução dos níveis de condutividade neste estudo se deve a intensidade das chuvas no mês de Mai/18, tornando a água do estuário mais diluída e consequentemente com uma carga menor de íons dissolvidos.

De maneira geral, a condutividade da água apresentou variações similares nos meses de Nov/17 e Jan/18, obtendo os maiores níveis, assim como entre os meses de Março e Maio de 2018, registrando os menores índices.

A resolução 357 do CONAMA (2005), não estabelece limite para a condutividade em águas superficiais salobras, classe II. Entretanto, é importante a investigação deste parâmetro em aguas estuarinas, levando em consideração que esta variável indica a presença de compostos ionizáveis nos corpos hídricos. Este fator, que depende das concentrações iônicas e da temperatura, indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e que, portanto representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2014).

Figura 07 - Representação na escala espaço-temporal da condutividade no estuário do rio Perizes (MA)

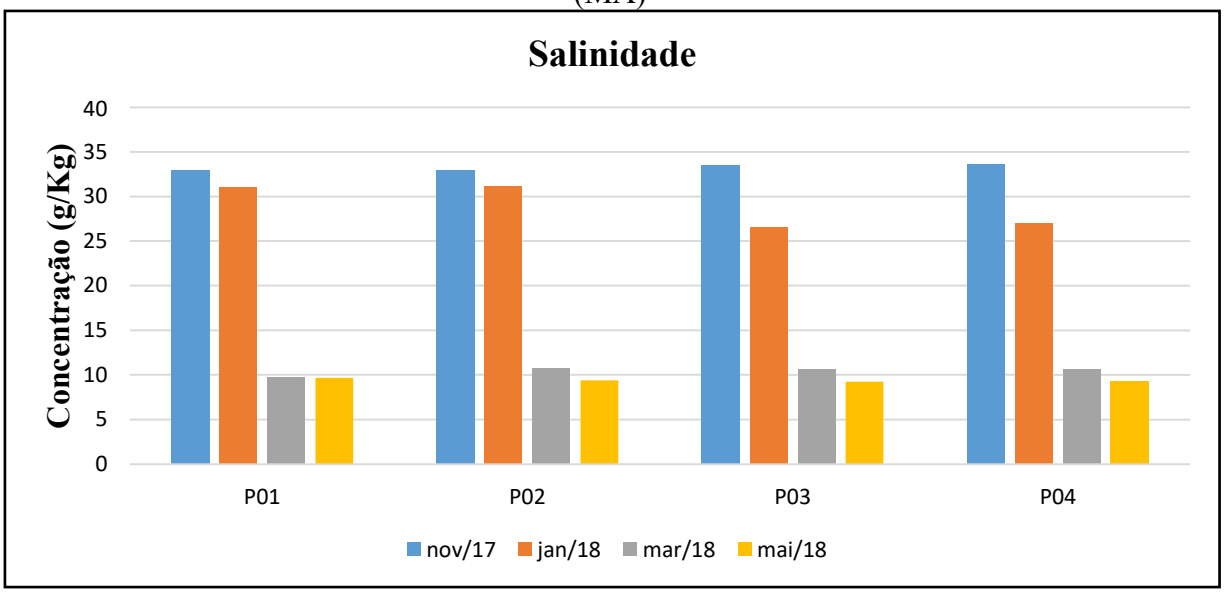


Para o parâmetro salinidade, este se comportou semelhante à condutividade elétrica, sendo possível registrar o maior valor 33,6 g/kg no P4, em Nov/17, e menor valor 9,25 g/Kg, no P3, em Mai/18 (Figura 08). Possivelmente, o fator preponderante para os referidos resultados foi a maior incidência de chuvas nos meses de março e maio de 2018, umacaracterística da região.

Vale apontar que, em estuários a distribuição da salinidade é controlada pelas marés e pelo influxo de água doce, sendo ainda um importante fator ambiental que afeta a distribuição de espécies animais e vegetais, agindo como controlador da distribuição de organismos em águas interiores (SERPE *et al*., 2010 *apud* SURYANARAYAMA RAO & GEORGE, 1959; RIPPINGALE & HODGKIN, 1977; RAO *et al*., 1975).

A resolução 357 do CONAMA, como dito, esta não especifica limites para salinidade.

Figura 08 - Representação na escala espaço-temporal da salinidade no estuário do rio Perizes (MA)



Como se sabe, a turbidez corresponde ao grau de atenuação de intensidade, que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, o que ocorre em decorrência da concentração de sedimentos em suspensão, sendo relevantes as características destes sedimentos, como tamanho, composição mineral, cor e quantidade de matéria orgânica (BARROS *et al*., 2011 *apud* CETESB, 2003; SANTOS *et al*,. 2001).

Nesta pesquisa, os valores de turbidez registrados variaram entre os valores máximo, 449 UNT, em P3, no mês de Jan/18, e o mínimo de 23,55 UNT, no P2, em Mai/18 (Figura 09).

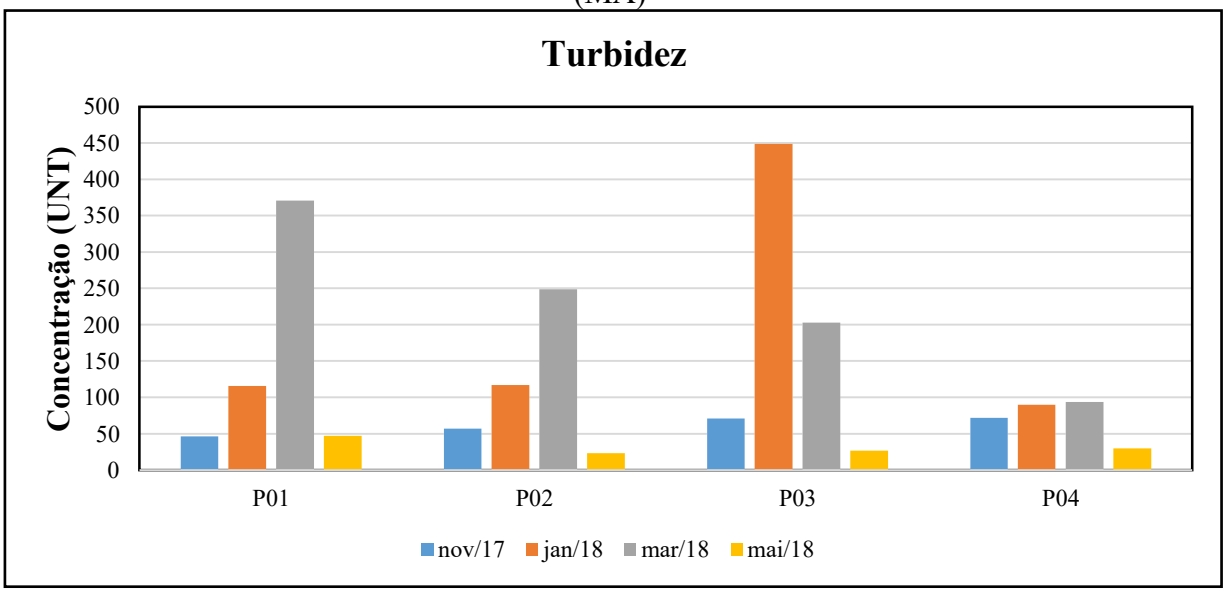
Desta forma, a maior turbidez foi encontrada na coleta realizada em janeiro de 2018, mês de início do período chuvoso, não se observando, porém, turbidez acentuada no período de menor concentração de chuvas na região, Jan/18, demonstrando a influência mais acentuada nos resultados em relação aos pontos de coleta, uma vez que o P3 situa-se em local mais interno no continente, em ecossistema de mangue, com maior estreitamento, o que favorecem o acúmulo de matéria orgânica oriunda das margens deste estuário. Quanto ao valor mínimo, verifica-se que os valores encontrados condizem com o esperado para a região, dado o ecossistema que a caracteriza.

Para turbidez a Resolução CONAMA 357/05, recomenda para águas salobras classe 1, virtualmente ausente, sendo assim, em todos os pontos as amostras deveriam ter turbidez

virtualmente ausente, o que não foi observado neste caso, considerando todos os pontos em não conformidade com a legislação supracitada.

Este parâmetro pode variar conforme o grau de atividade biológica existente no rio e por influencia da pluviosidade, além disso, os efluentes industriais e domésticos podem elevaro nível da turbidez das águas, considera que uma turbidez elevada pode reduzir a fotossíntese da vegetação submersa e de algas, suprimindo a vida aquática (CETEBS, 2014).

Figura 09 - Representação na escala espaço-temporal da turbidez no estuário do rio Perizes (MA)



5.2 Análise microbiológica da água

5.2.1 Análise estatística

Como complementação do estudo, buscou-se investigar o nível de bactérias do grupo coliformes termotolerantes na água do Estuário do rio Perizes/MA. Onde, na análise estatística, aplicou-se o teste Kruskal-Wallis, atestando diferença significativa ($p<0,05$) das concentrações de bactérias somente em relação aos meses, não havendo, portanto, diferença significativa ($p>0,05$) no comparativo entre os pontos de coleta.

Desta forma, visando identificar a variação entre os meses, apenas Nov/17 apresentou diferenças significativas ($p<0,05$), onde as concentrações de coliformes termotolerantes apresentaram-se mais baixas. Este resultado pode ser decorrente da intensa influência da precipitação registrada para maior ocorrência dos coliformes dentro da área de estudo.

5.2.1 Análise microbiológica

A análise microbiológica da água mostrou a presença de coliformes termotolerantes em todos os pontos de coleta, contudo não ultrapassou o limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05.

Quanto à presença de *Escherichia coli*, registrou-se ausência em todos os pontos no mês de Nov/17, em P1 e P4 em Jan/18, P4 referente ao mês de Mar/18 e P1 em Mai/18, conforme demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados referentes à determinação do NMP para coliformes termotolerantes e identificação de *Escherichia coli.*

	COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100mg/L)	***E. Coli***
	NOV/17	
P1	91	Ausente
P2	93	Ausente
P3	93	Ausente
P4	150	Ausente
JAN/18		
P1	240	Ausente
P2	2.400	Presente
P3	1.100	Presente
P4	240	Ausente
MAR/18		
P1	2.400	Presente
P2	2.400	Presente
P3	1.100	Presente
P4	460	Ausente
MAI/18		
P1	460	Ausente
P2	1.100	Presente
P3	2.400	Presente
P4	2.400	Presente
Res. CONAMA Nº357/05	2.500	

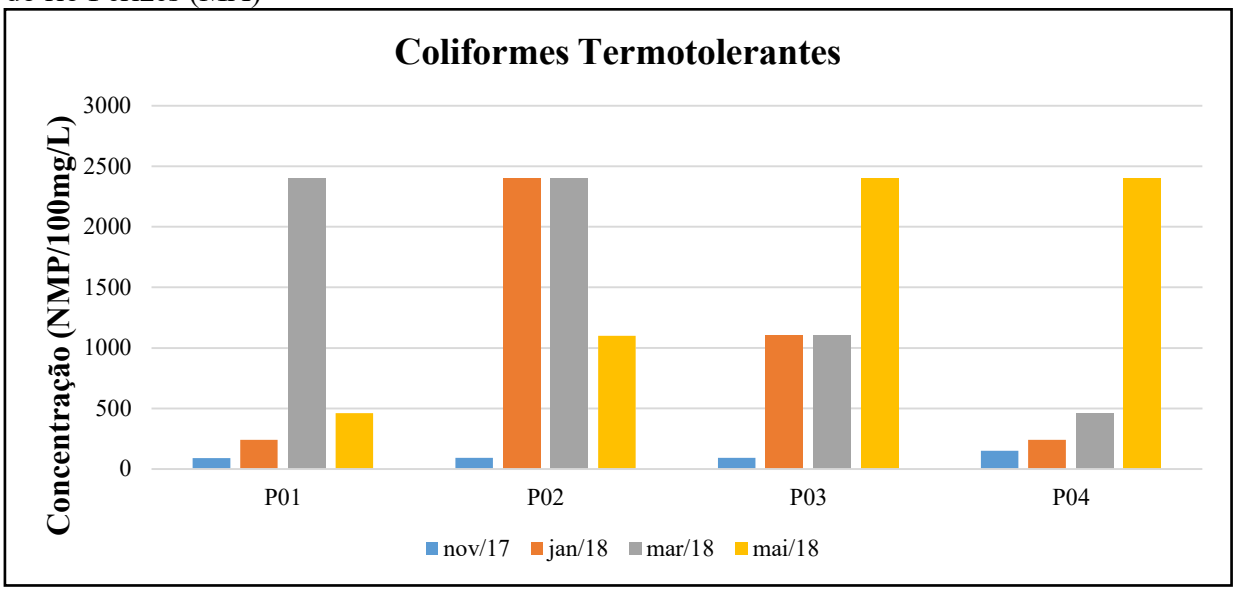
Levando-se em consideração o que preconiza a Resolução nº 357/05 em relação ao valor mínimo de bactérias do grupo coliformes termotolerantes em água salobras classe 2, foi possível analisar que em nenhum dos pontos de amostragem encontrou-se valores acima de 2.500 NMP/100 mL desta bactéria (Figura 10).

É importante frisar que os coliformes tem pouca tolerância a níveis elevados de sais na água, sendo esta, presente no local de análise, levando-nos a refletir a detecção de coliformes termotolerantes, embora dentro dos limites estabelecidos pela norma, denunciam que

provavelmente estes pontos de coleta tenham recebido uma descarga recente e constante de matéria fecal, posto que mesmo com a salinidade mostraram-se presentes.

A observação é latente na análise dos resultados do ponto P4 para o mês de Novembro/2017, onde se registrou a maior salinidade no período, tendo, mesmo com isso, registrado a maior concentração de coliformes.

Figura 10- Representação na escala espaço-temporal de Coliformes Termotolerantes no estuário do rio Perizes (MA)



5.3 Quantificação de metais no tecido muscular dos peixes

5.3.1 Análise estatística

A análise estatística da concentração de metais no tecido muscular dos peixes foi procedida por meio da submissão desta à análise de variância (ANOVA Two-way) considerando a sazonalidade e guilda trófica das espécies.

O teste demonstrou que não houve, em relação à categoria trófica e sazonalidade, alteração significativa ($p<0,05$) na concentração dos metais testados, quais sejam, Cromo (Cr), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Níquel (Ni) e Mercúrio (Hg).

5.3.2 Análise dos resultados de metais no tecido muscular dos peixes

Considerando que os ambientes estuarinos apresentam características únicas, proporcionando uma elevada produtividade biológica, contribuindo para uma importante zona

de alimentação para diversas formas juvenis de peixes e crustáceos de interesse comercial (BARBOSA, 2006), importa a realização da análise da concentração de metais no tecido muscular dos peixes, de maneira a estabelecer se há, em virtude desta, prejuízo para as espécies que os consumirão, inclusive o homem.

Com base nisso, objetivando estabelecer as espécies de peixe mais consumidas oriundas do local de estudo, conversou-se com pescadores da região, tendo sido possível observar que dentre uma variedade de pescado encontrado, estes relataram que possuem um interesse maior em capturar as espécies *Genyatremus luteu*, *Macrodon ancylodon*, *Sciades herzbergii*, *Mugil curema.* Sendo assim, foi possível verificar um esforço pesqueiro intenso sobre estas espécies, o que também serviu de critério para sua escolha neste estudo.

No Brasil existem normas que tratam sobre a concentração aceitável de metais nos alimentos, as quais serviram de base para contrastar os valores de metais encontrados no tecido muscular das espécies mencionadas acima, a fim de saber se estes estão em conformidade.

A legislação aplicável é o Decreto nº 55.871/65 e a Resolução da Diretoria Colegiada nº42/13, desconsiderando os valores estabelecidos na Portaria nº 685/88 da ANVISA, dada sua revogação, realizando-se a comparação dos resultados obtidos com os limites legalmente estabelecidos, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Limites máximos estabelecidos pelas legislações brasileiras para concentrações de metais em tecido muscular de peixes.

Metais	**Cr**	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ni**	**Hg**
Concentração	0,1[a]	30,0[a]	2,0[a]	50,00[a]	5,0[a]	0,5[a]
(mg/Kg)			0,30[b]			1,00[a]

[a]BRASIL, Decreto nº 55.871 de 26 de março de 1965
[b]RDC nº42 de 2013

Os resultados obtidos mostraram que as concentrações de Cu, Zn, Ni e Hg estiveram de acordo com as legislações referidas (Tabela 4), que como dito, determinam os limites máximos para consumo humano, tendo os valores conforme sido identificados em todas as quatro espécies analisadas, o que demonstra a ausência de contaminação por estes metais.

Tabela 5 - Resultados para concentração de metais no tecido muscular dos peixes amostrados na região estuarina do rio Perizes (MA).

Espécie	Categoria Trófica	Sazonalidade	Concentração dos metais mg/Kg								
			Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Ni	Hg
***Sciades herzbergii* (Bagre-Guribú)**	**Onívoro**	Estiagem (Nov/17)	0,08	**0,12**	0,01	0,70	0,00	**0,86**	0,08	0,02	0,10
		Chuvoso (Jan/18)	0,07	0,10	0,01	0,66	0,01	**0,32**	0,07	0,02	0,13
		Chuvoso (Mar/18)	0,07	0,10	0,01	0,60	0,01	0,16	0,07	0,03	0,13
		Chuvoso (Mai/18)	0,09	**0,11**	0,01	0,61	0,01	0,02	0,09	0,07	0,07
***Mugil curema* (Taínha Sajuba)**	**Herbívora**	Estiagem (Nov/17)	0,09	**0,11**	0,01	0,72	0,01	0,26	0,09	0,01	0,17
		Chuvoso (Jan/18)	0,05	**0,12**	0,01	0,62	0,01	0,09	0,05	0,07	0,13
		Chuvoso (Mar/18)	0,07	0,10	0,01	0,66	0,01	**0,40**	0,07	0,04	0,11
		Chuvoso (Mai/18)	0,10	0,10	0,01	0,60	0,01	**0,55**	0,10	0,01	0,10
***Macrodon ancylodon* (Pescada-Gó)**	**Carnívora**	Estiagem (Nov/17)	0,08	**0,11**	0,01	0,59	0,01	0,28	0,08	0,05	0,18
		Chuvoso (Jan/18)	0,08	0,10	0,01	0,56	0,01	**0,41**	0,08	0,02	0,15
		Chuvoso (Mar/18)	0,07	**0,11**	0,00	0,61	0,01	**0,32**	0,07	0,00	0,09
		Chuvoso (Mai/18)	0,05	**0,11**	0,01	0,65	0,01	**0,51**	0,05	0,05	0,13
***Genyatremus luteu* (Peixe Pedra)**	**Detritívora**	Estiagem (Nov/17)	0,07	0,09	0,01	0,60	0,01	**0,70**	0,07	0,08	0,08
		Chuvoso (Jan/18)	0,09	**0,11**	0,01	0,57	0,01	**0,48**	0,09	0,04	0,09
		Chuvoso (Mar/18)	0,07	0,09	0,00	0,51	0,00	**0,25**	0,07	0,06	0,13

Em contrapartida, verificou-se com base nos resultados, que houve registros de concentrações de chumbo e cromo acima daqueles estabelecidos pela legislação referida, em destaque na (Tabela 05).

Quanto ao chumbo, a concentração elevada foi registrada em pelo menos dois períodos para cada espécie, sendo mais presente nas amostras de *Genyatremus luteu* (Peixe Pedra) e *Macrodon ancylodon* (Pescada-Gó), onde foi percebida nos resultados de três coletas.

Por sua vez, a maior concentração encontrada ocorreu na espécie *Sciades herzbergii* (Bagre-Guribú), com hábito alimentar onívoro, diverso das anteriores, em período de estiagem (Nov/17).

A detecção de elevadas concentrações deste metal nas diversas espécies analisadas, com hábitos alimentares variados, denota que, apesar de os organismos aquáticos possuírem uma tendência a acumular chumbo através de sua dieta e da contaminação da água, é mais decorrente neste último caso, conforme VELUSAMY *et al*., 2014; DUDANI *et al*., 2017;

AHMED *et al*., 2019. Desta forma, mostrou-se menos relevante para o resultado os parâmetros escolhidos da sazonalidade e da categoria trófica.

Quanto aos níveis de cromo quantificados no tecido muscular dos espécimes, revelou-se que houve algumas incidências de valores superiores aos previstos nas legislações mencionadas, tendo ocorrido em todas as espécies e em todos os períodos de coleta.

A incidência mais frequente se deu na espécie *Macrodon ancylodon* (Pescada-Gó), com hábito carnívoro, tendo-se revelado em três das quatro coletas, em períodos de estiageme chuva, inclusive com valores iguais.

As espécies *Mugil curema* (Taínha Sajuba) e *Sciades herzbergii* (Bagre-Guribú), tiveram incidência de concentração elevada em dois períodos, a primeira nos meses deNov/17 e Jan/18 e a segunda em Nov/17 e Mai/18, o que também revela não terem sido relevantes aos resultados a sazonalidade e a categoria trófica.

Importante destacar que não houve diferença significativa nos níveis deste metal em relação às espécies de hábito alimentares distintos, ou seja, todas com concentrações foram bem próximas.

6 DISCUSSÃO

6.1 Parâmetros físico-químicos da água

Águas salobras devem, conforme a resolução CONAMA nº 357/05, apresentar um pH no intervalo entre 6,5 e 85. Sendo assim, a pesquisa demonstrou que na área objeto deste estudo em todos os pontos analisados, obtiveram valores dentro do limite determinado por tal legislação.

Segundo Denise (2015) *apud* IMESC (2011), o pH tende a sofrer alterações em decorrência das atividades industriais, a exemplo, da mineração e da produção de energia a partir de combustíveis fósseis, atrelado ainda às diversas atividades de origem urbana, como a falta de saneamento básico.

Em relação à área em discussão, o que se percebe é que existe a instalação de empreendimentos no entorno desta, contudo foi possível constatar que ainda assim os níveis de pH se mantiveram em conformidade com a supracitada lei.

Além disso, esta variável também sofre influência da sazonalidade da região, por exemplo, ao observar o comportamento desta, notou-se que os menores valores foram registrados no período de maior volume de chuvas.

Corroborando com tal resultado, Corrêa (2016), encontrou valores aproximados no Estuário do rio Mearim (MA), tendo seus valores variando entre 7, 8 e 8,1 no período chuvoso e de 8,1 e 8,2, no período seco, confirmando a relação feita pela autora neste estudo.

Nesta mesma linha de resultado, Milazzo *et al*., (2011) ao estudar a influência da sazonalidade em uma zona estuarina, encontrou valores similares aos apresentados nesta pesquisa para o pH, tendo sido o maior na estação seca e o menor na estação chuvosa.

Ramos e Castro (2004) ao realizarem estudo no Estuário de Paquatitua na cidade de Alcântara (MA) obtiveram valores semelhantes, enfatizando que a variação do pH esteve atrelada a sazonalidade da região.

Gomes (2017), ao estudar os nutrientes dissolvidos no Estuário do Arraial (MA), detectou que os maiores valores foram visto no período de estiagem.

O autor Gomes (2017) *apud* Santos Júnior & Flores Montes (2014), a variação do pH está associado com o ciclo de marés, que elevam o pH, fazendo com que se torne mais básico, como visto pelo dois últimos autores no estuário do rio Ipojuca (PE), quando registram valores entre 7,10 a 8,77, associando os baixos valores à influência fluvial, à produção e degradação da matéria orgânica e ao aumento de material particulado em suspensão.

A variação da transparência da água apresentou comportamento significativo apenas em termos temporais, tal resultado pode estar relacionado à ação direta do ciclo de marés, ao considerar o aporte maior de água marinha na maré enchente. Resultados similares foram percebidos em estudos anteriores como o de Travassos (2011), que ao analisar a transparência em ambiente Estuarino do Rio Botafogo, constatou a influência do ciclo de maré em seus resultados.

Isso ocorre, na forma descrita pelo autor, a geração da corrente de maré em sentido contrário a do rio, que tende a causar a ressuspensão dos sedimentos do fundo, aumentando a quantidade de partículas destes materiais, ocasionando a redução da transparência.

O oxigênio dissolvido sofreu variações ao longo do estudo, neste caso a ação da maré foi preponderante para tal resultado, observou-se que em alguns pontos este parâmetro esteve

abaixo de 5 mg/L. Compara-se tal resultado com o estudo realizado por Gomes (2017), onde encontrou resultados similares ao investigar os parâmetros físico-químicos na Baía do Arraial (MA).

Ainda nas contribuições de Gomes (2017) em relação às diferenças de marés, considerou que os maiores valores de OD foram observados durante a maré de quadratura, onde o alcance de área de manguezal alagadas é menor proporcionalmente que as de marés desizígia. Relatando ainda a distribuição desta variável pode estar relacionada com sua grande demanda para oxidação da matéria orgânica, que são típicos dessa região, a predominância de mangue nesta área implica no consumo maior de oxigênio dissolvido, assim como das contribuições de aporte terrígenos, que também exige grandes concentrações de OD para sua degradação.

Dados extraídos do estudo realizado por Santos (2016) no Estuário do rio Mearim (MA), mostra semelhança com os dados desta pesquisa, que segundo este autor os valores de OD variou entre 3,5 e 5,6 mg/L. Comenta ainda que o baixo valor encontrado possa estar associado ao consumo de oxigênio dissolvido pelo processo de decomposição da matéria orgânica proveniente de manguezais.

A condutividade elétrica neste caso mostrou uma relação direta com o período chuvoso e estiagem, é tanto que, os menores valores foram obtidos na estação chuvosa e vice- versa. Compara-se este resultado com o estudo realizado por Andrade *et al* (2014), que ao analisar os níveis de condutividade no estuário do rio Paraíba, encontrou resultados semelhantes em relação ao período de precipitação na região.

Esse mesmo resultado foi apontado em estudo realizado pelo autor Escobar (2011), que ao investigar o comportamento da condutividade nos estuários dos rios Jaguaribe e Passa vaca em Salvador (BA), obteve valores mínimos no período chuvoso.

Quanto ao comportamento da salinidade, observou-se relação direta com a sazonalidade da região, tendo sido registrado os maiores valores no período seco.

Gomes (2017) encontrou relação semelhante ao investigar os níveis de salinidade na Baía do Arraial, onde menciona que a distribuição deste parâmetro aumentou gradativamente do período chuvoso para o de estiagem. Sendo que, na estação chuvosa o estuário tende a receber um volume maior de água doce, contribuindo para a redução de sais na água. O

inverso foi visto na estação seca, com a baixa precipitação e elevada evaporação, além de uma maior intrusão salina contribuindo para o aumento da salinidade em decorrência da maior concentração de sais dissolvidos.

Resultados similares foram encontrados por Sousa *et al* (2015), ao analisar a incidência desse parâmetro em estudo realizado na costa amazônica maranhense, pois, segundo os autores, os valores de salinidade foram mais elevados no período de estiagem, issose dá em virtude do maior volume de água proveniente das chuvas.

De maneira igual, Farias *et al* (2010), ao analisar o comportamento da salinidade em ambiente com características similares, concluiu que "os níveis de salinidade foram elevados durante as duas primeiras amostragens (período de estio), decrescendo nas duas últimascoletas (período chuvoso) (5 a 40)", o que corrobora com a conclusão anterior, de que, o índice de precipitação pluviométrica influi diretamente na concentração de salinidade.

A turbidez apresentou relação direta com os níveis de precipitação da região durante os meses de estudo, o que possivelmente se deu em decorrência da alta pluviosidade durante o período da pesquisa.

Tal correlação também foi apontada pelos autores Moura e Nunes (2016), em águas estuarinas do rio Caeté (PA), sendo que no período chuvoso, encontraram valor máximo de 992 NTU e no período seco, máximo de 135 NUT, associando esses valores aos elevados índices de transporte de sedimento durante a ocorrência de chuvas.

Da mesma forma, Santos (2018) relata que na Baía de São Marcos o maior valor de turbidez esteve atrelado as maiores concentrações de sedimentos nos pontos amostrados, o que nos leva a pensar que esse aporte maior de sedimentos se deu possivelmente em decorrência da precipitação e do volume maior de rios que deságuam neste ecossistema.

6.2 Análise microbiológica

Os parâmetros microbiológicos compreendem os microrganismos indicadores de qualidade ecológica e sanitária de um ambiente. No presente estudo a ênfase é dada para dois parâmetros: coliformes termotolerantes e *E. coli.*

Santos (2015) ao estudar a Bacia hidrográfica do rio dos Cachorros em São Luís (MA) encontrou resultado similar ao desta pesquisa. Na maioria das coletas a autora obteve em suas amostras de água cerca de 2400/100mL.

Ao verificar os níveis desta bactéria na área de estudo, correlacionou-se ainda com o período de chuvas na região. Resultado semelhante foi registrado por Vieira *et al* (2007), quando constatou que os maiores níveis de coliformes estariam relacionados ao período de precipitação pluviométrica, comprovando que as chuvas interferem no índice de qualidade microbiológica da água, pois esta possui a capacidade de arrastar esgotos e resíduos sólidos para os cursos d'água que, por sua vez afluem para o mar.

Farias *et al* (2010) e Ramos *et al* (2010) ao estudarem a concentração de coliformes termotolerantes em ambientes com características semelhantes, registraram elevada concentração de bactérias em amostras de água estuarina, principalmente na estação chuvosa.

Melo (2014) encontrou valores parecidos e concluiu pela estreita relação da concentração de coliformes termotoleranres com o índice pluviométrico quando analisou a qualidade da água da praia do Araçagi em São Luís (MA). Ressalta que o volume maior de chuvas acarreta em um volume maior, tanto das águas fluviais, quanto das pluviais, amplificando a quantidade de coliformes diluída na água.

Como dito anteriormente, nesta pesquisa, deu-se destaque ainda para a identificação de bactérias *E. coli*, uma vez que, ela atua também como indicador de contaminação fecal em ambientes aquáticos. Os dados obtidos nos revelou que nos P2, P3 de Jan/18; P1, P2 e P3 no mês de Mar/18 e P2, P3 e P4 em Mai/18 foram encontradas a presença de cepas de *E. coli* e, nos demais registrou-se ausência desta bactéria.

Ressalta-se que a explicação para tal resultado, é similar ao discutido para os coliformes termotolerantes, existindo uma possível relação entre o aumento de bactérias como período de precipitação na região em questão.

Kolm *et al* (2016) ao investigarem a influência da precipitação na concentração de *E. coli*, concluíram que os maiores níveis desta foram registrados no período chuvoso, validando assim o resultado encontrado nesta pesquisa.

Denota tal preocupação o fato de ter encontrado bactérias *E. coli* na maioria dos pontos de amostragem no Estuário do rio Perizes, ao considerar possíveis riscos de

contaminação a comunidade do entorno. Por entender que muitos retiram seu alimento desse Estuário, e no preparo do pescado sabe-se que o processo de cozimento é rápido podendo não ser suficiente para inativar as bactérias ali presentes ou mesmo toxinas liberadas por cepas patogênicas.

Segundo Paiva (2016) *apud* El-Shafai *et al*., (2004) descrevem que os peixes podem alojar naturalmente em sua pele uma grande variedade de bactérias comumente encontradas em ambientes aquáticos, inclusive as de origem fecal, a exemplo, a *E. coli*, que não são habitantes comuns do trato intestinal de peixes, cuja presença é associada à contaminação por fezes de origem humana ou de outros animais de sangue quente na água de captura.

6.3 Concentração de metais em peixes

Os peixes são consumidores geralmente situados em níveis tróficos superiores e, portanto, podem vir a bioacumular grandes quantidades de metais pesados, estando entre os organismos mais susceptíveis às substâncias tóxicas presentes na água (TREVIZANI (2015) apud JARIC *et al*., 2011).

Além disso, são considerados importantes bioindicadores na avaliação do grau de exposição de um ambiente a elementos tóxicos e, as principais vias de exposição de peixes a metais ocorrem por meio da alimentação e de vias respiratórias, pela absorção direta da coluna d'água.

O músculo do peixe é comumente analisado para determinar as concentrações de contaminantes e para avaliar os riscos para a saúde, tendo em vista que se trata da principal parte consumida pelos seres humanos. Os peixes são altamente consumidos, pois apresenta alto teor proteico, baixa gordura e também contém ácidos graxos (BASTOS *et al*., 2008).

Em relação aos metais quantificados no tecido muscular das espécies de peixes analisados dentre os diferentes hábitos alimentares, verificou-se baixa concentração de cobre, zinco, níquel e mercúrio. Resultado diferente foi visto para os metais chumbo e cromo, estando assim em não conformidade com a legislação brasileira.

Buscou-se ainda fazer uma correlação da concentração de metais em relação à sazonalidade da região e nível trófico das quatro espécies. Porém os resultados comprovaram

que especificamente neste estudo não houve diferença significativa para nenhum dos metais analisados.

Os níveis de chumbo estiveram acima do limite máximo determinado pela Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), comparando este resultado com o estudo realizado por Medeiros *et al*., (2012) que analisando onze espécies de peixes comercializadosem Niterói (RJ), detectaram 0,50 mg/kg de chumbo. Da mesma forma Morgano *et al*., (2011) ao analisarem a concentração deste metal em peixes comercializados em São Paulo (SP) obtiveram teores variando entre 0,03 mg/kg a 0,48 mg/kg, ou seja este último bem acima do limite estabelecido pela norma brasileira.

Resultado similar foi visto por Santos (2011) quando investigou a concentração de chumbo em espécies de peixes estuarinos na Baia de Todos os Santos, registrando valores entre 0,3 mg/kg a 1,5 mg/kg no robalo *Centropomus spp* e de 0,10 mg/kg a 0,8 mg/kg na tainha *Mugil spp*.

Importante frisar que as duas espécies de peixes citadas acima possuem hábitos alimentares diferentes, tal resultado também foi visto nesta pesquisa quando os dados mostraram que o chumbo esteve elevado em todas as espécies de hábito alimentar diferentes, não havendo, portanto diferença significativa da relação entre concentração de metais e hábito alimentar.

Santos (2015) ao quantificar a concentração de chumbo em espécies de peixes coletados no rio dos Cachorros em São Luís (MA) encontrou valores elevados em todas as espécies analisadas.

Em relação aos níveis elevados de chumbo no tecido muscular dos peixes registrados neste estudo é bastante preocupante, ao considerar que quando ingerido, pode ocasionar sérios problemas a saúde humana.

Quanto aos níveis de cromo, atesta-se que este esteve acima do limite determinado pela legislação em todas as espécies analisadas e em períodos diferentes, conforme apresentado na tabela 9. Os resultados encontrados neste trabalho são semelhantes aos reportados por Lunardelli *et al*., (2018) ao registrarem concentrações elevadas de cromo no tecido muscular de peixes capturados em ambiente sob influência de atividades de curtume.

Os autores Miranda Filho *et al*., (2011) ao estudarem a concentração de cromo em peixes oriundos da Baía de Sepetiba (RJ), detectaram concentrações superior ao permito pela legislação nacional, validando assim os dados encontrados para este metal no estuário do rio Perizes (MA).

Diversos estudos sobre a toxicidade do cromo foram realizados com espécies aquáticas, dependendo da espécie este metal pode ser mais ou menos agressivo, podendo deixar os peixes mais suscetíveis a infecções em decorrência de alterações no sistema imunológico e, as concentrações elevadas podem danificar e/ou acumular-se em vários tecidos desses seres (MUNIZ & OLIVEIRA-FILHO, 2006).

A presença de altas concentrações de Cr no ambiente, principalmente de origem antrópica, é extremamente preocupante a comunidade que vive no entorno da área pesquisada, ao considerar que estas pessoas utilizam o pescado local em sua dieta alimentar. O contato secundário com a água contaminada também contribui para o aparecimento de sérios problemas a saúde humana, tais como: dermatite irritativa e alérgica.

7 CONCLUSÃO

A análise dos parâmetros físico-químicos da água revelou conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, que caracterizam a condição ideal para ambientes de água salobra, classe 2, à exceção da turbidez, onde se registrou valores elevados em todas as amostras, quando a legislação exige a sua ausência. Possivelmente, tais resultados, justificam-se pelo lançamento de efluentes domésticos, oriundos da população circunvizinha e das industriais instaladas nas proximidades, conforme identificado em mapeamento, bem como da ocorrência de chuvas na região.

Na análise microbiológica com base na resolução citada não houve níveis significativos de contaminação, porém não significa afirmar que a área não receba carga de contaminantes, ao considerar que a salinidade inibe a presença de coliformes termotolerantes. Em relação à presença de *E. coli* ao contrário dos demais meses não houve detecção em Nov/17, o que pode ser justificado em virtude deste mês compor o período de estiagem no local.

Em relação à concentração de metais no tecido muscular dos peixes, observaram-se elevadas concentrações de Chumbo e Cromo em todas as quatro espécies analisadas, o que enseja a realização de novos estudos e o controle e fiscalização pelo poder publico, uma vez que há exploração industrial no entorno da área e, esses metais quando ingeridos em concentrações elevadas são prejudiciais à saúde do homem.

Como se sabe, os estuários são ecossistemas cujo equilíbrio é facilmente abaladodiante das intervenções humanas, o que sobreleva a preocupação com sua preservação, sobretudo em virtude da sua importância à manutenção das diversas espécies e sua relevância econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACADEMIA NACIONAL CIÊNCIA. **Ingestão de referência dietética para vitamina A, vitamina K, arsênico, boro, cromo, cobre, iodo, ferro, manganês, molibdênio, níquel, silício, vanádio e zinco**. Instituto de Medicina. Washington, 2001. Disponível em: < https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222332/>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2019.

AGUIAR, J.E. **Geoquímica de metais-traço em sedimentos superficiais nos estuário dos rios Ceará e Pacoti, CE**. Monografia - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 62 f. 2005.

AHMED, S.; KHURSHID, S.; QURESHI, F.; HUSSAIN, A.; BHATTACHARYA, A. Heavy metals and geo-accumulation index development for groundwater of mathura city, Uttar Pradesh. **Desalination and Water Treatment.** v. 138, Janeiro, p. 291-300, 2019.

AKHTAR, J.M..; ULLAH, S.; AHMAD, I.; RAULF, A.; NADEEM, S. M.; KHAN, M. Y.; HUSSAIN, S.; BULGARIU, L. **Nickel phytoextraction through bacterial inoculation in *Raphanus sativus***. Revista Elsevier, v. 190, january, p. 234-242, 2018.

ALEXANDRE, JR.; OLIVEIRA, MLF.; SANTOS, TC. S.; CANTON, GC.; CONCEIÇÃO, JM.; EUTRÓPIO, FJ.; CRUZ, ZMA.; DOBBSS, LB.; RAMOS, AC. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. Revista natureza online, v. 10, n. 1, janeiro/março, p.23-24, 2012. **In:** Li X, CHEN B, Feng G, CHRISTIE P. Role of arbuscular mycorrhyzal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. In 17 th WCSS, Thailand, 2002.

ALMEIDA ZS, NUNES JLS, ALVES MGFS. **Dieta alimentar de Genyatremus luteus (Bloch, 1790) - (Teleostei, Perciformes: Haemulidae) na Baía de São José, Maranhão, Brasil**. Atlântica, Rio Grande, 27(10): p. 39-47, 2005.

ALMEIDA, Z. S.; NUNES, J. L. S.; ALVES, M. G. F. S. Dieta Alimentar de Genyatremus Luteus (Bloch, 1790) - (Teleostei, Perciformes: Haemulidae) na Baía de São José, Maranhão, Brasil. **Revista Atlântica**, Rio Grande. v. 27, p. 39-47, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Microbiological examination of water. In: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Washington, 2014. P. 541.

ANDRANDE, R. W. N.; FERNANDES, A. J. D.; LUCIO, M. M. L.; MARTINS, A.; ARAÚJO, D. L. S.; GUEDES, L. L. R. Estudo preliminar da qualidade da água do estuário do rio Paraíba: área de extração de marisco. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, V., 2014, Belo Horizonte (MG). **Anais**... Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de estudos ambientais, 2014, p. 6.

Andreazza R, Okeke BC, Lambais MR, Bortolon L, Melo GWB, Camargo FAO. **Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria**. Chemosphere 2010; 81(9): 1149-1154. PMid:20937516. http://dx.doi.org/10.1016/j. chemosphere, 2010.

ASHRAF, M.A.; MAAH, M.J.; Yusoff, I. Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish Species Collected From Former Tin Mining Catchment. **International Journal of Environmental Research**, v.6, n. 1, p. 209-218, 2012.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. M.. **Metais Gerenciamento da toxicidade**. Belo Horizonte: Atheneu, p. 554, 2003.

BAIERLE, M.; VALENTINI, J.; PANIZ, C.; MORO, A.; BARBOSA JUNIOR, F.; GARCIA, S. C. **Possíveis efeitos do cobre sanguíneo sobre parâmetros hematológicos em idosas**. J Bras Patol Med Lab, v. 46, n. 6, p. 463-47. Dezembro, 2010.

BARBOSA, F.G. **Variações temporais e espaciais de nutrientes dissolvidas e metais traço na área portuária da cidade do Rio Grande (Estuário Lagoa dos Patos - RS)**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.

BARBOSA, R. P. **Aplicação do Índice de proteção da Vida Aquática (IVA) ao Sistema estuarino da Baia de Vitória**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, 115f. Vitória (Espírito Santo), 2010. **In**: OHREL, R. L.; REGISTER, K. M. (Ed.) (2006). Volunteer Estuary Monitoring: A Methods Manual (2nd ed.). Washington: The Ocean Conservancy.

BARCELOS, T. D. J. **Cobre: Vital ou prejudicial para a saúde humana?** 85f. Dissertação (Mestrado em medicina). Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2008.

BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; FRAGA, M. S.; GENEROSO, T. N.; MELO, A. R. B. Variação da turbidez em pontos distintos de um perfil transversal do rio catolé-ba sob diferentes níveis de vazão. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.7, N.12, p. 1-6, 2011. In: CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo** *2002/ CETESB***.** São Paulo: CETESB, 2003. 264 p. (Série Relatórios).

BASTOS, W. R.; REBELO, M. F.; FONSECA, M. F.; ALMEIDA, R. MALM, O. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, 431-438, 2008.

BERTAGNOLLI, D. C. **Avaliação dos níveis séricos de alumínio da dieta alimentar e medicamentos de pacientes com insuficiência renal crônica**. 2004. 114f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004.

BRAGA JAP, BARBOSA TNN. **Fisiologia e metabolismo do ferro**. **In:** BRAGA JAP, Amancio OMS, Vitalle MSS. **O ferro e a saúde das populações**. 1. ed. São Paulo: Roca, 2006. p.10-31.

BRASIL, 1965. Decreto n° 55871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto n° 50040, de 24 de Janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimento, alterado pelo Decreto n° 691 de 13 de Abril de 1962. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília**, DF, 09 abr. 1965.

BRASIL, 2013. Resolução da Diretoria Colegiada - RCD nº 42, de 29 de Agosto de 2013. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p. 17, Poder Executivo, Brasília, DF, 2013.

BRASIL. CONAMA, **Resolução 357 de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, p. 23, Brasília, 2005.

BRASIL. CONAMA, Resolução 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p. 23, Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Atenção à saúde dos trabalhadores expostos ao chumbo metálico**. Brasília (DF), Editora do Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: < https://central3.to.gov.br/arquivo/276632/>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2018.

Cadernos de Geociências, v. 8, n. 1, p. 42-46 2011.

CAMPELLO. F. D. **A problemática da poluição por esgotos domésticos no sistema estuarino-lagunar Tramandaí-Armazém (RS, Brasil): física e química da água e a resposta dos macroinvertebrados bentônicos**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 194f. Porto Alegre, 2006.

CAMPOS, A. P. S. **A presença de metais e compostos químicos orgânicos nas águas superficiais e nos sedimentos do Rio Tietê**. 323 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CARVALHO-NETA, R. N. F.; ABREU-SILVA, A. L. Sciades herzbergii oxidative stress biomarkers: An in situ study of estuarine ecosystem (São Marcos' Bay, Maranhão, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 11-17, 2010.

CARVALHO-NETA, R.N.F., NUNES, J.L.S., & PIORSKY, N.M. 2011. **Peixes estuarinos do Maranhão** (pp. 95–104). Em: J.L.S. Nunes & N.M. Piorski (Eds.), Peixes marinhos e estuarinos do Maranhão. São Luís: Café & Lápis, p. 224.

CASTRO. A.C.L. **Biota aquática do Estuário do Rio Perizes (MA): Dinâmica ambiental, composição, abundância e diversidade das comunidades de plâncton, bentos e peixes**. Projeto de Pesquisa. São Luís – MA. 2015. 24f. Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

CETESB. Qualidade das águas Superficiais no Estado de São Paulo/ **Apêndice D - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade**. São Paulo, p. 48, 2014.

CETESB. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo/Dorothy C. P. Casarini. São Paulo: **Série Relatórios Ambientais**, p. 73, 2001.

CETESB. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo/Dorothy C. P. Casarini. São Paulo: **Série Relatórios Ambientais**, p. 73, 2001.

COGNETTII, G.; MALTAGLIATI, F. Biodiversity and adaptive mechanisms in Brackish water fauna. **Mar. Pollut. Bull**. v. 40, n.1, p. 7-14, 2000.

CORRÊA, M. C. **Hidrogeoquímica dos sólidos totais em suspensão no estuário do rio Mearim**. 111f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal doMaranhão (UFMA), São Luís (MA), 2016.

CORREIA, L. J. H.; FERNANDES, A. J. D.; LÚCIO, M. M. L. M.; TOMAZ, J. K. O.; HONORATO, M. B.; CARNEIRO, E. N. **Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba - Cabedelo, PB**. Revista Principia. João Pessoa. N. 27, p. 47-54. Dezembro, 2015.

DEAKER, M.; MAHER, W.; Anal. Chim. **Acta** 1997, p. 350-287.

DUDANI, S. N.; LAKHMAPURKAR, J.; PATEL, T. Heavy metal accumulation in the mangrove ecosystem of south Gujarat coast, India. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. V. 17, n. 4, p. 755-766, 2017.

ESCOBAR, N. F. C. **Estudo hidrogeoquímico nos estuários dos rios Jaguaribe e passa-vaca, Salvador, BA**. 78f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal da Bahia (BA), Salvador, 2011.

ESPÍRITO SANTO, R.V.; ISAAS, V.J.; SILVA, L.M.A.; MARTINELLI, J.M.; HIGUCHI, H.; SAIT-PAUL, U. 2005 **Peixes e Camarões do litoral bragantino, Pará, Brasil**. Belém: Madam, p. 268.

Expert Group on Vitamins and Minerals (EVM). **The final report of the Expert Group on Vitamins and Minerals was published in May 2003**. Disponível em:< https://cot.food.gov.uk/committee/committee-on-toxicity/cotreports/cotjointreps/evmreport>. Acesso em 12 de Dezembro de 2018.

FARIA, G. L. **Estudo geometalúrgico de granulados e pelota de minério de manganês**. Dissertação de doutorado, REDEMAT - Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

FARIAS, M. F.; ROCHA-BARREIRA, C. A.; CARVALHO, F. C. T.; SILVA, C. M.; REIS, E. M. F.; COSTA, R. A.; VIEIRA, R. H. S. F. Condições Microbiológicas de *Tagelusplebeius* (Lightfoot, 1786) (mollusca: bivalvia: solecurtidae) e da água no estuário do rio Ceará, em Fortaleza - CE. **Boletim Instituto de Pesca**, 36 (2), São Paulo, p. 135-142, 2010.

FELDMANN, F. Consultor Ambiental Diz Que Projeto De Lei Para Combater Contaminação Está Parado Há 25 Anos No Congresso. **Jornal da ciência**, fev. de 2013. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=85997>. Acesso em: 17 de Março de 2019.

FILHO, L. M.; MOTA, A. K. C.; CRUZ, C. C.; MATIAS, C. A. R.; FERREIRA, A. P. Cromo hexavalente em peixes oriundos da Baía de Sepetiba no Rio de Janeiro, Brasil: uma avaliação de risco à saúde humana. Revista Ambiente e Água. **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 6, n. 3, p. 200-209, 2011. In: AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR (USA), 2009.

FISBERG, M.; BRAGA, J. A. P.; BARBOSA, T. N. N.; MARTINS, O. F. **Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes - Ferro**. ILSI Brasil, v.3, 2008.

FONSECA, F. A. L. & CASTRO, A. C. L. D. Dinâmica da nutrição da pescadagó, Macrodon ancylodon (Bloch & Schneider, 1801) (Teleostei: Scianidae), na costa do estado do Maranhão. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 13, p. 4349, 2000.

GARLIPP. A. B. **Variação espacial e sazonal de elementos maiores e traços no estuário do rio Curimataú (RN), através de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 110f. Natal, 2006. **In**: HEM, J. D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. 3a ed., U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. p. 263.

GIARRIZZO, T.; KRUMME, U. Spatial differences and seasonal cyclicity in the intertidal fish fauna from four mangrove creeks in a salinity zone of the Curuçá Estuary, North Brazil. **B. Mar**. **Sci**., 80(3), p. 739–754, 2007.

GOMES, C. K. **Estudo dos nutrientes dissolvidos no complexo estuarino do Arraial - Maranhão.** 38f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2017.

GOMES, C. K. **Estudo dos nutrientes dissolvidos no complexo estuarino do Arraial - Maranhão.** 38f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2017. **In:** SANTOS JUNIOR, A. D. C.; FLORES MONTES, M. D. J. Frações orgânica de carbono, fóforo e nitrogênio em estuários do complexo industrial portuário de Suape, Pernambuco, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 42,n. 1, p. 1-23, Recife, 2014.

GONZALEZ, K. R. **Toxicologia do Níquel**. Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade, v. 9, n. 2, p. 30-54, jun. 2016.

GOVERNO DO BRASIL. **Entenda o Acidente de Mariana e suas consequências para o meio ambiente**. Governo do Brasil. 23 de Dezembro de 2015. Disponível em:< http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2015/12/entenda-o-acidente-de-mariana-e-suas-consequencias-para-o-meio-ambiente>. Acesso em 24 de Fevereiro de 2019.

HAMBIDGE, M. K.; MILLER L. V.; WESTCOTT, J. E. **Dietary Reference Intakes for Zinc May Require Adjustment for Phytate IntakeBased upon Model Predictions**. J. Nutr.v.138, p.2363–2366, 2008.

HARRISON, I. J. 2002. **Order Mugiliformes**. pp 1071-1085. **In:** Carpenter, K.E. (Ed). The living marineresources of the Western Central Atlantic.Vol. 2: Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication.No 5. Rome, FAO.

IKEDA, G. P. **Idade, crescimento e aspectos reprodutivos de Macrodon ancylodon (Bloch & Schneider, 1801) na costa norte do Brasil**. 2003. 131f. Tese (Mestrado emCiência) Universidade de São Paulo, São Paulo SC, 2003.

JEN, M.; YAN, A.C. **Syndromes associated with nutritional deficiency and excess. Clin Dermatol.** v. 28, n.6, p.669-85, nov./dez. 2010.

JULIÃO, F. C. **Avaliação das condições microbiológicas e físico-químicas da água de reservatório domiciliar e predial: importância da qualidade dessa água no contexto da saúde pública**. 157f. Tese (Doutorado em Enfermagem) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, São Paulo, 2011.

KOLM, H. E.; SIQUEIRA, A.; MACHADO, E. C. Influência da pluviosidade na qualidadeda água de dois sangradouros do litoral do Paraná, Brasil. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology - Univali, 20 (2), 2016.

KOSNETT, M. J. **Intoxicação por Metais Pesados & Quelantes. In:** KATZUNG, B. G. Farmacologia Básica & Clínica. 8.Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 867-870, 2003.

LACERDA, L.D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas, **Estudos Avançados**, 22 (63), 173-190, 2008.

LACERDA, L.D.; SANTOS, A.F.; MARINS, R.V. Emissão de mercúrio para a atmosfera pela queima de gás natural no Brasil, **Quim. Nova**, 30 (2), p. 366-369, 2007.

LEE, R. A review of events that expose children to elemental mercury in the United States, **Ciência e Saúde Coletiva**, 15 (2), p. 585-598, 2009.

LUNARDELLI, B.; CABRAL, M. T.; VIEIRA, C. E.D.; OLIVEIRA, L.F.; RISSO, W. E,; MELETTI, P. C.; MARTINEZ, C. B.R. Chromium accumulation and biomarker responses in the Neotropical fish Prochilodus lineatus caged in a river under the influence of tannery activities. **Ecotoxicology and Environmental Safety - Journal Elsevier**, v. 153, p. 188– 194, 2018.

MAGRO, M.; CERGOLE, M. C. & ROSSIWONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. **Síntese de conhecimento dos principais recursos pesqueiros costeiros potencialmente explotáveis na costa sudestesul do Brasil: peixes**. MMA/ CIRM, 143p, 2000.

MANÇANO, L. **Não foi acidente, é crime! O rompimento da barragem em Brumadinho (MG), no Brasil. Brasil de Fato**. 01 de Fevereiro de 2019. Disponível em: <https ://www.brasildefato.com.br/2019/02/01/nao-foi-acidente-e-crime-o-rompimento-da barragem-em-brumadinho-mg-no-brasil/>. Acesso em 24 de Fevereiro de 2019.

MATTOS, P. R. **Distribuição espaço-temporal da macrofauna em um baixo estuário urbanizado subtropical: Variações ambientais e impactos antropogênicos**. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), 2014.

MATTOS, P.R.; ALMEIDA, T.C.M. Spatiotemporal distribution of the benthic macrofauna in an urbanized subtropical estuary: environmental variations and anthropogenic impacts. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 3, p.227-238, 2016.

MEDEIROS, R. J.; SANTOS, L. M. G.; FREIRE, A. S.; SANTELLI, R. E.; BRAGA, A. M. C. B.; KRAUSS, T. M.; JACOB, S. C. Determination of inorganic trace elements in edible marine fish from Rio de Janeiro State, Brazil. **Food Control**, Amsterdam, v. 23, p. 535-541, 2012.

MELO, K. F. S. **Avaliação microbiológica da água e areia da praia do Araçagi, São José de Ribamar - MA.** 68f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2014.

MENDES, A. M. S.; SEMI-ÁRIDO, Embrapa. **Introdução A Fertilidade Do Solo**, 2007.

metais em águas superficiais do estuário do rio São Paulo, Baía de Todos os Santos.

MILAZZO, A. D. D. RIOS, M. C. OTERO, O. M. F. CRUZ, M. J. M. Concentração de

MIRANDA FILHO, A. L.; MOTA, A. K. M.; CRUZ, C. C.; MATIAS, C. A. R; FERREIRA, A. P. Cromo hexavalente em peixes oriundos da Baía de Sepetiba no Rio de Janeiro, Brasil: uma avaliação de risco à saúde humana. **Ambi-Agua,** Taubaté, v. 6, n. 3, p. 200-209, 2011.

MIRANDA, L. H. S. **Análise dos metais pesados e sua relação com o meio ambiente e a saúde na bacia do ribeirão Anicuns**. 139f. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais e saúde). Universidade Católica de Goiás, 2007.

MORAES. A. C. T. **Concentração de metais pesados em peixes teleósteos do rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Minas Gerais). 108f. 2009. **In**: ZAGATTO. P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática - princípios e aplicações**. Rima, 468f. SãoCarlos, 2006.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **A cinética do chumbo no organismo e sua importância para a saúde**. Ciência & Saúde Coletiva. v. 9 (1), p.167-181, 2004.

MORGANO, M. A.; RABONATO, L. C.; MILANI, R, F.; MIYAGUSKU, L.; BALIAN, S. C. Assesment of trace elements in fishes of Japanese foods marketed in São Paulo (Brazil). **Food Control**, v. 22 p.778-85, 2011.

MOURA, H. T. G. S.; NUNES, Z. M. P. Caracterização sazonal das águas do sistemaestuarino do Caeté (Bragança-PA). **Boletim Instituto de Pesca,** 42 (4), São Paulo, p. 844- 854, 2016.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente**. Universitas: Ciências da Saúde, v. 4, n. 1/2, p. 83-100, 2006.

NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J; MOONEY, H.; TROELL, M.. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**. v. 405. p.1017-1024, 2000.

NETO, F. O. L.; GORAYB, A.; SILVA, E. V.; RABELO, F. D. **Diagnóstico Ambiental E Zoneamento Funcional Do Estuário Do Rio Curu: Subsídios Para A Gestão Local E Regional**. Revista Eletrônica Geoaraguaia. Barra do Garças (MT). v. 3, n.1, p. 97-113. Janeiro/julho. 2013.

OLVEIRA, S. C.; WAGNER, C.; HERMAN, E. C.; ROSA, R. B.; PERTILLE, D. C. VIVIAN, F. T. **Avaliação toxicológica dos efeitos do cobre na espécie carassius auratus**. R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.260-275, abr./jun. 2018.

OSIBANJO, O.; DASO, A. P.; GBADEBO, A. M. The impact of industries on surface water quality of River Ona and River Alaro in Oluyole Industrial Estate, Ibadan, Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 696–702, 2011.

PAIVA, T. V. **Avaliação das condições microbiológicas da água e de peixes do rioMearim, no município de Bacabal - MA**. 51f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2016. **In:** EL-

SHAFAI, S.A. GIJZEN, H.J.; NASR, F.A; EL-GOHARY, F.A. Microbial quality of tilapia reared in fecal-contaminated ponds. Environmental Research, v. 95, p. 231-238, 2004.

PINTO-COELHO, R. M. **Crise nas Águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas**. 1ª ed. Belo Horizonte (Minas Gerais), [s.n.], p. 83-84, 2015.

PIORSKI, N. M.; MARANHÃO, F. R. C. L.; ROCHA, R. M. V.; NUNES, J. L. S. Análise da estratégia alimentar de Macrodon ancylodon (Bloch & Schneider, 1801) – (Perciformes: Sciaenidae) de um estuário do litoral ocidental do Maranhão - Brasil. **Boletim do laboratório de hidrologia**, v. 17, 2004.

PORTO, I, L.C.S.; ETHUR, E. M. Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v.39, n.9, dez, 2009.

QUITÉRIO, S. L. **Uso da poeira e do ar como indicadores de contaminação ambiental em áreas circunvizinhas a uma fonte de emissão estacionária de chumbo**. Cad. Saúde Pública, v. 3, p. 501-508, 2001.

RAMOS, R. S.; CASTRO, A. C. L. Monitoramento das variáveis físico-químicas no cultivo de crassostrea rhizophorae (mollusca) (guilding, 1928) no estuário de Paquatiua - Alcântara/ MA, brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**. v. 17, n.1, 2004.

RAMOS, R.J.; PEREIRA, M.A.; MIOTTO, L.A.; FARIAS, L.F.B.; SILVEIRA JUNIOR, N.; VIEIRA, C.R.W. (2010) Microrganismos indicadores de qualidade higiênico-sanitária em ostras (Crassostrea gigas) e águas salinas de fazendas marinhas localizadas na Baía Sul da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 1, p. 29-37.

RAO, T.S.S.; MADHUPRATAP, M.; HARIDAS, P. (1975). Distribution of zooplankton in space and time in a tropical estuary. Bull. **Dept. Mar. Sci. Univ.Cochin**. 7(4): 695-704.

RIBEIRO, M. A. C. **Contaminação do solo por metais pesados**. 249f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente – Gestão e Ordenamento Ambiental). Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2013.

RIDGWAY, J.; SHIMMIELD, G. Estuaries as repositories of historical contamination and their impact on shelf seas. **Est. Coast. Shelf Sci**. v. 55, p. 903-928, 2002.

RIPPINGALE, R.J.; HODGKIN, E.P. (1977). Food Availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. Aust. J. **Mar. Freshwater Res**.; 28 (1): 1-7.

ROCHA, M. M. R. **Liofilização como método de agregar valor ao camarão marinho**. 185f. Tese (Doutorado ciência e tecnologia de alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (Paraíba), 2010.

ROCHA, R.; PEZZINI, M. F.; POETA, J. **Fontes de contaminação pelo chumbo e seus efeitos tóxicos na saúde ocupacional**. Revista Ciência em movimento - Biociências e Saúde, v.19, n.39, p.26-27, 2017.

SADAO, M. **Intoxicação por chumbo**. Revista de Oxidologia. p. 37-42, 2002.

SALGADO, P. E. T. **Metais em Alimentos**. **In:** OGA, Seizi. Fundamentos de Toxicologia. 2. Ed. São Paulo: Atheneu, p.411-415, 2003.

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**. Embrapa Meio Ambiente-Documentos (INFOTECA-E), 2013.

SANTANA, T. C.; CASTRO, J. J. P.; LIMA. D. J. V.; CASTRO, J. S.; LINDOSO, A. L. P.; TEIXEIRA, E. G. Levantamento e caracterização das espécies do gênero Mugil Linnaeus, 1758 (TELEOSTEI: MUGILIFORMES) da Ilha do Maranhão, Brasil. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, v. 8, p. 55-64, 2015.

SANTOS, D. C. C. **Bacia hidrográfica do rio dos cachorros: população, saúde e ambiente**. 89f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2015. **In:** IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Situação Ambiental da Ilha do Maranhão**. São Luís: IMESC, 2011.

SANTOS, D. C. M. **Toxidez Aguda do Zinco em Lambaris Astyanax aff. Bimaculatus (Linnaeus, 1758)**. 125f, Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

SANTOS, D. C.C. **Bacia Hidrográfica Do Rio Dos Cachorros: População, Saúde E Ambiente**. 89f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, MA, 2015.

SANTOS, G. C. G. D. **Comportamento de B, Zn, Mn, e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico**. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de concentração em solos e nutrição de plantas). Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, 2002.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. Hidrometria Aplicada. Curitiba: **Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento**, p. 372, 2001.

SANTOS, L. F. P. **Avaliação dos teores de cádmio e chumbo em pescado proveniente de São Francisco do Conde, Bahia**. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SANTOS, T. T. L. **Distribuição e partição geoquímica de metais em sedimentos deestuários de macromaré, Maranhão, Brasil**. 116f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2018.

SANTOS, T. T. L. **Fluxos de nutrientes dissolvidos para o complexo estuarino do rio Mearim, Maranhão**. 76f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Maranhão (UFMA). São Luís (MA), 2016.

SCHIFER, T. S.; BOGUSZ JUNIOR, S.; MONTANO, M. A. E. **Aspectos Toxicológicos do Chumbo**. Revista Infarma, v. 17, n. 5/6, p. 69, 2005.

SERPE, F. R.; ADLOFF, C. T.; CRISPIM, M. C.; ROCHA, R. M. Comunidade zooplanctônica em estuários hipersalino no nordeste do Brasil. **Revista Bras. Eng**. Pesca 5(3), p. 57-73, 2010.

SHANKAR, G.; SINHA A.G. SANDHU, J.S. Pulsed Ultrasound Does Not Affect Recovery From Delayed Onset. Muscle Soreness, v. 1, n. 5, 2006.

SHETTINI, C. A. F. **Caracterização física do estuário do Rio Itajaí-Açú**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 7, n.1, p.123-142, 2000.

SILVA, E. G.; SILVA, E. R.; ALMEIDA, J. R. **Avaliação dos Impactos Ambientais nos estuários das regiões de Caravelas e Mucuri (BA-Brasil) com base no modelo de pressão estado impacto resposta (PEIR)**. Revista Internacional de Ciências. v. 6, n.1. p. 2-20, Janeiro/junho. 2016.

SIQUEIRA, G.W. Distribuição do mercúrio em sedimentos de fundo no Estuário de Santos SP/Brasil, **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, 58 (4), p. 309-316, 2005.

SOUSA, D. B. P.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Lesões branquais e hepáticas como biomarcadores de contaminação aquática em Sciades herzbergii e Bagre bagre da Baía de São Marcos, Maranhão. **Relatório parcial (Iniciação Científica - CNPq).** Pró- Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PPG) - UEMA. São Luís, 2012. p. 22, 2016.

SOUSA, D. B.; SANTOS, N. B.; OLIVEIRA, V. M.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; ALMEIDA, Z. S. Carcinofauna bêntica estuarina de dois manguezais da costa amazônica maranhense, Brasil. Revista Sielo, **Série Zoologia**, 105 (3), Porto Alegre, p. 339-347, 2015.

SOUSA, E. R.; CASTRO, A. C. L.; AZEVEDO, J. W. J.; ARAUJO, G. M. C. Evolução espaço-temporal do uso e cobertura da terra em áreas propostas para a implantação deunidades de conservação no município de Bacabeira - MA. **Revista espacios**, v. 37, n. 12, p. 27, 2016.

SOUZA, A. F. **Caracterização morfohistológica do trato digestório de genyatremus luteus (bloch, 1790) - (teleostei, perciformes: haemulidae)"** Monografia (Graduação em Oceanografia). 70f. Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís (MA), 2018.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian journal of radiation sciences**, v. 03 Ed.1ª, p. 01-13, 2015.

STRATHERN, P. O Sonho de Mendeleiev: **A Verdadeira História Da Química**, ed. Jorge Zahar: Rio de Janeiro, 2002.

SURYANARAYAMA RAO, S.V.; George, P.C. (1959). Hydrology of the Korapuzha Estuary, Malabar, Kerala State; J. **Mar. biol. Ass**. India, 2: 212:223.

TINÔCO, A.A.P. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 15 (4), p. 305–314, 2010.

TINÔCO, A.A.P. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 15 (4), p. 305–314, 2010.

TRASANDE, L. Methylmercury exposure in a subsistence fishing community in Lake Chapala, Mexico: an ecological approach, **Environmental Health**, 9 (1), 2010.

TRAVASSOS, R. K.; **Análise da qualidade ambiental no estuário do rio Botafogo: Determinação do índice trófico e componentes do fósforo na coluna da água**. 94f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco (RE), 2011.

TREVIZANI, T. H. **Bioacumulação e biomagnificação de metais pesados em teias tróficas de estuários do sul-sudeste do Brasil**. 179f. Tese (Doutorado em Ciências - Oceanografia química). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2015. **In:** Jaric, I.; Visnjic-Jeftic, Z.; Cvijanovic, G.; Gacic, Z., Jovanovic, L.; Skoric, S.; Lenhardt, M. 2011. Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES. *Microchem. Jour.,* 98: 77-81. (doi: 10.1016/j.microc.2010.11.008).

THEOPHILO, C. Y.S. **Análise de elementos potencialmente tóxicos em material biológico da Ilha da Trindade, Brasil**. 125f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade de São Paulo (SP), 2013.

UNEP. Global Mercury Assessment 2013: **Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport**. 2013. Disponível em:< http://www.unep.org/PDF/PressReleases/GlobalMercury Assessment2013.pdf>. Acesso em 29 de Abril de 2019.

VALLS, M.; LORENZO, V. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for remediation of heavy metal pollution. **FEMS Microbiology Reviews**, v.26, p. 327-338, 2002.

VANZ, A.; MIRLEAN, N.; BAISCH, P. **Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: Uma abordagem geoquímica**. Química Nova. v. 26, n.1, p.25-29. 2003.

VELUSAMY, A.; KUMAR, P.S.; RAM, A.; CHINNADURAI, S. Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai Harbor, India. **Marine Pollution Bulletin**. v. 81, n. 15, p. 218-224, 2014.

VENADE. C. S. F**. Contaminação ambiental por disruptores endócrinos - Estuário do rio Minho**. Dissertação (Mestrado em Toxicologia e Contaminação Ambiental) - Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto. 105f. Portugal, 2013.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.27, n.4, p. 779- 785, 2017.

VISÃO AMBIENTAL. **Estudo de Impacto Ambiental**. 235f. 2011. Disponível em:< http://www.siam.mg.gov.br/siam/lc/2011/2694020100012011/9223362011.pdf>. Acesso em 03 de Março de 2019.

WANG, J.; YANG, Z.; LIN L.; ZHAO, Z.; LIU, Z.; LIU, X**. Protective effect of naringenin against lead-induced oxidative stress in rats**. Biol Trace Elem Res 2012; p.354-359.

WHITE, L. D.; CORY-SLECHTA D. A.; GILBERT M. E.; TIFFANY-CASTIGLIONI E.; ZAWIA N. H.; VIRGOLINI M.; ROSSI-GEORGE A.; LASLEY S. M.; QIAN Y. C. &

BASHA M. R. **New and evolving concepts in the neurotoxicology of lead**. Toxicology and applied pharmacology, 255, p.1-27, 2007.

WHITTOCK, P.A.; PENDOLEY, K.L.; LARSENC, R.; HAMANN, M. Effects of a dredgingoperation on the movement and dive behaviour of marine turtles during breeding. **Biological Conservation** v. 206, p. 190-200, 2017.

WISNIAK, J. Historical Development of the Vapor Pressure Equation from Dalton to Antoine. **Journal of Phase Equilibria**, p. 22, 622, 2001.

ZEDRON. R. **Mecanismos de neurotoxicidade e doenças neurológicas relacionadas à intoxicação por metais pesados**. Revista Brasileira de Nutrição Funcional. n. 64. p. 45-47, 2015.

ZENI, T. Utilização de peixes como Bioindicadores. **Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais**, 2014. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/bioindicadores1/>. Acesso em 20 de Dezembro de 2018.