



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

LETÍCIA FURTADO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA BAÍA DO
GUAJARÁ EM BELÉM-PA**

**BELÉM/PA
2018**

LETÍCIA FURTADO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA BAÍA DO
GUAJARÁ EM BELÉM-PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: física do clima.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Marlison L. Sousa.

**BELÉM/PA
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

- S237a Santos, Letícia Furtado dos, 1993-
Avaliação da qualidade ambiental da baía de Guajará em Belém-PA / Letícia Furtado dos Santos. – 2018
- 103 f. : il. ; 30 cm
- Inclui bibliografias
- Orientador: Adriano Marlisom Leão de Sousa
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2018.
1. Impacto ambiental - Avaliação - Guajará, Baía de (PA). 2. Água - Guajará, Baía de (PA) - Análise. 3. Sedimentos (Geologia) - Guajará, Baía de (PA). 4. Bentos - Guajará, Baía de (PA). 5. Indicadores biológicos - Guajará, Baía de (PA). I. Título.

CDD 22. ed.: 333.714098115

Elaborada por
Hélio Braga Martins
CRB-2/698

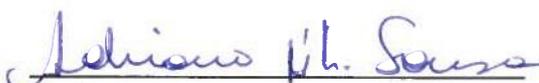
LETÍCIA FURTADO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA BAÍA DE GUAJARÁ EM
BELÉM-PA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 29/ 03 / 2018

Banca Examinadora:



Prof. Adriano Marlison Leão Sousa – Orientador
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Federal do Pará – UFPA



Profª. Aline Maria Meiguins de Lima – Membro
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental pelo
Núcleo de Altos Estudos Amazônicos
Universidade Federal do Pará – UFPA



Profª. Maria Isabel Vitorino – Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará – UFPA



Prof. Rosivaldo de Alcântara Mendes – Membro
Doutor em Química Orgânica
Instituto Evandro Chagas

Dedico este trabalho a minha mãe Jurema, que é o principal motivo de fazer eu seguir em frente com os estudos. Sem o apoio e força dela durante essa trajetória, não teria conseguido trilhar esse caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me abençoado nessa trajetória e em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Jurema e Jorge, pelo amor e educação a mim dedicado ao longo da minha vida.

Aos meus familiares que me deram toda força para que eu pudesse chegar à esse momento. Em especial à Larice e Fábio, que por muitas vezes me apuraram e aturaram nos momentos de aflição.

Ao professor Dr. Adriano Sousa, pela confiança depositada em mim desde o primeiro momento, acreditando no meu projeto de pesquisa e compartilhando seus conhecimentos durante esses dois anos.

Ao Kelson Faial, que compartilha seus conhecimentos comigo desde a minha iniciação científica. E a professora Silvana, por todos seus ensinamentos compartilhado sobre a pesquisa ambiental.

Ao Instituto Evandro Chagas, pela oportunidade de desenvolver meu trabalho nesse centro de pesquisa.

Aos meus amigos da Toxicologia, em especial a Cássia, Lorena, Neuton, Amilton, Danilo, Andréa e Mônia, que me acompanharam durante todo esse mestrado e que me deram o apoio que foi essencial para eu seguir em frente.

Ao LabHCAM, pelo conhecimento compartilhado e amizade durante o período que estive lá.

Aos meus amigos que estiveram comigo antes e durante essa trajetória, em especial ao Quarteto Fantástico (Larice, Fábio e Viviane), a família UEPA (pessoas que estão presentes nos melhores e mais difíceis momentos da minha vida), ao meu amigo para a vida (Álvaro), ao grupo Melhor churras ever (amigos do mestrado, em que compartilhamos toda aflição e momentos de descontração, durante esses dois anos). Muito obrigada galera, a força e a companhia de vocês foi essencial para a finalização desse caminho.

RESUMO

A água é um recurso natural fundamental para a manutenção da vida, logo é de suma importância preservar sua qualidade. Entretanto, com o aumento das atividades antrópicas, a mesma vem sofrendo fortes pressões, algo que pode afetar sua qualidade. Dessa forma, é necessário o monitoramento dos corpos hídricos, avaliando os fatores físicos, químicos e biológicos, a fim de saber se tais atividades estão acarretando riscos para qualidade desse recurso natural. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental da baía do Guajará, através da análise da qualidade da água, sedimento e macroinvertebrados bentônicos. As coletas ocorrem no ano de 2015, em períodos sazonais distintos, chuvoso e menos chuvoso, característicos da região amazônica. O estudo foi realizado em 4 pontos (PT01, PT02, PT03 e PT04). Na análise da água, foi avaliado os parâmetros físico-químicos e microbiológicos; no estudo do sedimento (total e lixiviado) foi quantificado os metais Cr, Cd, Cu e Fe, calculando o FC (Fator de Contaminação), I_{geo} (Índice de Geoacumulação) e FE (Fator de Enriquecimento); e na análise dos macroinvertebrados bentônicos foi avaliado os descritores ecológicos e o FAB (Fator de Bioacumulação). Na análise da precipitação, o volume precipitado foi acima da média das normais climatológicas no período chuvoso, e no período menos chuvoso foi abaixo da média. Nas análises químicas e microbiológicas da água, o parâmetro de OD (oxigênio dissolvido) apresentou-se abaixo do permitido pela Resolução CONAMA nº357/05, e a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e coliformes termotolerantes acima do limite de referência, além de elevadas concentrações de DQO (demanda química de oxigênio) e alta CE (condutividade elétrica). Na avaliação do sedimento, o Cd do sedimento total apresentou valores acima do permitido por PEL e CONAMA nº 454/12, já na fase lixiviada, todos os metais ficaram dentro do permitido pela legislação. No geral, os pontos apresentaram de baixa à moderada contaminação, caracterizados como ambiente não poluído à moderadamente poluído e com deficiência de enriquecimento. Na análise dos macroinvertebrados bentônicos, o filo mais representativo encontrado foi o Annelida, com a maior parte das espécies referentes à classe Polychaeta e a subclasse Oligochaeta (classe Clitellata). Os Oligochaetas pertencente à família Tubificidae foi o que mais se destacaram. Tal família é caracterizada como tolerantes e oportunistas a situações de hipóxia, conseguindo habitar em ambientes com água eutrofizada. Os resultados dos descritores ecológicos mostraram que a maior riqueza, abundância, diversidade e melhor equitabilidade, foram encontradas no período menos chuvoso,

devido a maior concentração de nutrientes e matéria orgânica provocada nesse período, os indivíduos bentônicos apresentaram bioacumulação em todos os pontos para os metais Cd, Cr, Cu. Os resultados das matrizes analisadas no estudo, indicaram que o acúmulo de poluentes na baía do Guajará é devido às atividades antrópicas, principalmente pelo descarte de esgoto doméstico sem pré-tratamento que é lançado nessa região e atividade portuária. Com isso, ressalta-se a importância do monitoramento contínuo, haja vista que tal contaminação além de acarretar danos para o ecossistema aquático, provoca prejuízo para população, já que a mesma utiliza esse corpo hídrico para práticas de recreação e pesca.

Palavras-chave: Avaliação ambiental. Análise da água. Sedimento. Macroinvertebrados bentônicos.

ABSTRACT

Water is a fundamental natural resource for the maintenance of life, so it is of the utmost importance to preserve its quality. However, with the increase of anthropic activities, it has been under severe pressure, something that can affect its quality. Thus, it is necessary to monitor the water bodies, evaluating the physical, chemical and biological factors, in order to know if such activities are causing risks to the quality of this natural resource. The objective of this work was to evaluate the environmental quality of Guajará Bay, through the analysis of water quality, sediment and benthic macroinvertebrates. The collections occur in the year 2015 and 2016, in distinct seasonal periods, rainy and less rainy, characteristic of the Amazon region. The study was performed in 4 points (PT01, PT02, PT03 and PT04). In the water analysis, the physical-chemical and microbiological parameters were evaluated; in the study of the sediment (total and leachate) was quantified the Cr, Cd, Cu and Fe metals, calculating the FC (Contamination Factor), I_{Geo} (Geoaccumulation Index) and FE (Enrichment Factor); and in the analysis of the benthic macroinvertebrates the ecological descriptors and the FAB (Bioaccumulation Factor) were evaluated. In the precipitation analysis, the precipitated volume was above the average of the normal climatological in the rainy period, and in the less rainy period it was below the average. In the chemical and microbiological analyzes of the water, the OD (dissolved oxygen) parameter was below that allowed by CONAMA Resolution n357/05, BOD (biochemical oxygen demand) and thermotolerant coliforms above the reference limit, in addition to high concentrations of COD (chemical oxygen demand) and high CE (electrical conductivity). In the evaluation of the sediment the total sediment Cd presented values above that allowed by PEL and CONAMA n 454/12, already in the leached phase, all the metals were within the allowed by the legislation. In general, the points presented low to moderate contamination, characterized as an unpolluted environment to a moderately polluted and enriched deficiency. In the analysis of the benthic macroinvertebrates, the most representative phylum found was the Annelida, with most of the species referring to the class Polychaeta and the subclass Oligochaeta (class Clitellata). The Oligochaetas belonging to the Tubificidae family was the most prominent. Such family is characterized as tolerant and opportunistic to situations of hypoxia, being able to inhabit in environments with eutrofizada water. The results of the ecological descriptors showed that the greatest richness, abundance, diversity and better equitability were found in the less rainy period, due to the higher concentration of nutrients and

organic matter caused in this period, benthic individuals presented bioaccumulation at all points for metals Cd, Cr, Cu. The results of the matrices analyzed in the study indicated that the accumulation of pollutants in Guajará bay is due to anthropic activities, mainly by the disposal of domestic sewage without pre-treatment that is launched in this region and port activity. Thus, the importance of continuous monitoring is emphasized, given that such contamination, besides causing damages to the aquatic ecosystem, causes harm to the population, since it uses this water body for practices and recreation and fishing.

Keywords: Environmental assessment. Water analysis. Sediment. Benthic macroinvertebrates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 01

Figura 1- Mapa da localização da área de estudo, em que: P1, Porto Bom Jesus (PT01); P2, Porto Belém- Armazém três Companhia Docas do Pará (PT02); P3, Canal São Joaquim (PT03); P4, Outeiro (PT04).....	24
Figura 2- Ponto 01, Porto Bom Jesus.....	24
Figura 3- Ponto 02, Porto Belém-Armazém três Companhia Docas do Pará.....	25
Figura 4- Ponto 03, Canal São Joaquim.....	25
Figura 5- Ponto 04, Outeiro.....	26

CAPÍTULO 02

Figura 1- Análise dos parâmetros Físico-Químicos. (A) Sonda Multiparâmetros; (B) Espectrofotômetro; (C) Incubadora.....	35
Figura 2- Precipitação acumulada mensal (mm) dos anos de 2014, 2015 e 2016 e as normais climatológicas (NC) na Região Metropolitana de Belém.....	37
Figura 3- Anomalia de precipitação (mm) dos anos de 2014, 2015 e 2016, da Região Metropolitana de Belém.Ponto 03, Canal São Joaquim.....	38
Figura 4- Valores de Temperatura da água (°C) e Turbidez (mg/L) registrados na baía do Guajará.....	39
Figura 5- Média por ponto, do período CH e MCH, do pH da baía do Guajará.....	40
Figura 6- CE (uS/cm ²) e STD (mg/L) na baía do Guajará.....	42
Figura 7- Média das concentrações por período de OD, DBO e DQO na baía do Guajará.....	40
Figura 8- Correlação das concentrações do OD com as de DQO encontrados na baía do Guajará.....	44
Figura 9- Média das concentrações por período de Nitrato na baía do Guajará.....	45
Figura 10- Análise dos Coliformes Termotolerante (NMP/mL) na baía do Guajará..	47

CAPÍTULO 3

Figura 1-	Coleta do sedimento de fundo.....	56
Figura 2-	Relação entre a concentração do Cd versus o teor de Al.....	58
Figura 3-	Relação entre a concentração do Cr versus o teor de Al.....	59
Figura 4-	Relação entre a concentração do Cu versus o teor de Al.....	59
Figura 5-	Relação entre a concentração do Fe versus o teor de Al.....	58
Figura 6-	Concentração do Cd no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.....	63
Figura 7-	Concentração do Cr no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.....	64
Figura 8-	Concentração do Cu no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.....	64
Figura 9-	Concentração do Fe no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.....	65
Figura 10-	Valores dos FC do Cd e Cr, calculados para os pontos de coletas na baía do Guajará. Em que $FC < 1$ = Baixa contaminação; $FC = 1$ a 3 = Moderada contaminação.....	67
Figura 11-	Valores dos FC do Fe e Cu, calculados para os pontos de coletas na baía do Guajará. Em que $FC < 1$ = Baixa contaminação; $FC = 1$ a 3 = Moderada contaminação.....	68
Figura 12-	Valores de FE para o Cd, Cr, Fe e Cu, encontrado na baía do Guajará. Em que valores do $FE < 2$, caracteriza o ambiente como deficiente de enriquecimento e $FE = 2 - 5$ = Enriquecimento moderado.....	69

CAPÍTULO 4

Figura 1- Coleta do sedimento de fundo. Em: (A) e (B) lavagem do sedimento e (C) triagem e identificação dos macroinvertebrados bentônicos.....	79
Figura 2- Procedimento de digestão das amostras de bentos. Em: (A) Congelamento das amostras bentônicas; (B) Processo de liofilização e (C) Digestão das amostras.....	80
Figura 3- Variação do descritor ecológico riqueza (S) por período de amostragem da baía do Guajará.....	82
Figura 4- Variação do descritor ecológico abundância (N) por período de amostragem da baía do Guajará.....	83
Figura 5- Variação do descritor ecológico equitabilidade (J') por período de amostragem da baía do Guajará.....	84
Figura 6- Variação do descritor ecológico diversidade (H') por período de amostragem da baía do Guajará.....	85
Figura 7- Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Cd.....	87
Figura 8- Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Cr.....	88
Figura 9- Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Cu.....	88
Figura 10- Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Fe.....	89

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Pontos da área estudo e suas respectivas referências.....	34
---	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1- Pontos da área estudo e suas respectivas referências.....	55
---	----

Tabela 2- Programação da rampa de temperatura do forno de micro-ondas.....	57
--	----

Tabela 3- Classificação do grau de poluição através do I_{geo}	63
--	----

Tabela 4- Teor de metais nos sedimentos lixiviado na baía do Guajará.....	66
---	----

Tabela 5- Valores do I_{geo} encontrados na baía do Guajará.....	69
--	----

CAPÍTULO 4

Tabela 1- Pontos da área estudo e suas respectivas referências.....	77
---	----

Tabela 2- Programação da rampa de temperatura do forno de micro-ondas para a metodologia dos macroinvertebrados bentônico.....	80
--	----

Tabela 3- Programação da rampa de temperatura do forno de micro-ondas para a metodologia de sedimento.....	81
--	----

Tabela 4- Média e Desvio Padrão da concentração do Cd, Cr, Cu e Fe em mg/Kg, nas amostras dos macroinvertebrados bentônicos.....	86
--	----

Tabela 5- Concentração do Cd, Cr, Cu e Fe em mg/Kg nas amostras de sedimento..	86
--	----

LISTA DE SIGLAS

ACP - Análise dos Componentes Principais.

Al – Alumínio.

BEM - Ágar eosina azul de metileno.

Cd – Cádmiio.

CE - Condutividade Elétrica.

CNPq - Conselho Nacional Científico e Tecnológico.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Cr – Cromo.

Cu – Cobre.

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO - Demanda Química de Oxigênio.

E.C. - Escherichia coli.

FAB - Fator de bioacumulação.

FC - Fator de Contaminação.

FE - Fator de Enriquecimento.

Fe – Ferro.

H' – Diversidade.

H₂O₂ - Peróxido de hidrogênio.

H₃BO₃ - Ácido bórico.

HCl -Ácido clorídrico.

HF- Ácido fluorídrico.

HNO₃ - Ácido nítrico.

ICP OES - Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Induzido.

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano.

I_{geo} - Índice de Geoacumulação.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Inpe -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

J' – Equitabilidade.

LST - Caldo Lauril Sulfato de Sódio.

mg/Kg- Miligrama/kilograma

mg/L – Miligrama/litro

mL – Mililitro

N – Abundância.

NC - Normais climatológicas.

NEB - Nordeste do Brasil.

Ni - Níquel.

NMP - Número mais provável.

OD - Oxigênio Dissolvido.

OMS - Organização Mundial da Saúde.

Pb –Chumbo.

PEL - Probable Effect Level.

pH - Potencial Hidrogeniônico.

PPGCA - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Redox – Reação de oxirredução.

S - Riqueza.

SAMAM/IEC – Instituto Evandro Chagas, seção de Meio Ambiente.

STD - Sólidos Totais Dissolvidos.

TEL - Threshold Effect Level.

U – NTU - Nephelometric Turbidity Unity.

uS/cm² - Microsiemens por centímetro.

Zn – Zinco.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1 Qualidade da água	19
1.2 Biomonitoramento da qualidade da água	20
1.3 Qualidade do sedimento	21
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo Geral	22
1.4.2 Objetivos específicos	22
1.5 Área de estudo	23
1.6 Estrutura da dissertação	26
CAPÍTULO 2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DO GUAJARÁ EM BELÉM-PA POR MEIO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICO	28
Resumo.....	28
Abstract.....	30
2.1 Introdução	32
2.2 Material e métodos	33
2.2.1 Área de estudo	33
2.2.2 Clima	34
2.2.3 Coleta	35
2.2.4 Análise dos parâmetros físico-químicos	35
2.2.5 Análise microbiológica	35
2.3 Resultados e discussão	36
2.3.1 Precipitação	36
2.3.2 Análises física, química e microbiológica da água	38
2.3.3 Tratamento de esgoto em Belém	47
2.4 Conclusão	48
2.5 Agradecimentos	49
CAPÍTULO 3 ANÁLISE DE METAIS NO SEDIMENTO NA BAÍA DO GUAJARÁ EM BELÉM-PA	50
Resumo	50
Abstract.....	52
3.1 Introdução	53
3.2 Material e métodos	55

3.2.1 Área de estudo	53
3.2.2 Coleta.....	56
3.2.3 Análise laboratorial.....	56
3.2.3.1 Sedimento de fundo	56
3.2.3.2 Digestão das amostras de sedimento	56
3.2.3.3 Lixiviação do sedimento.....	57
3.2.3.4 Determinação dos metais nas amostras de sedimento	57
3.2.3.5 Normalização do Dados.....	57
3.2.3.6 Fator de contaminação (FC)	60
3.2.3.7 Índice de Geoacumulação (I_{geo}).....	61
3.2.3.8 Fator de Enriquecimento (FE)	62
3.3 Resultados e discussão.....	63
3.4 Conclusão	70
3.5 Agradecimentos	70
CAPÍTULO 4 OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NA BAÍA DO GUAJARÁ EM BELÉM-PA.....	71
Resumo.....	71
Abstract.....	73
4.1 Introdução	75
4.2 Material e métodos.	77
4.2.1 Área de estudo	77
4.2.2 Coleta.....	78
4.2.3 Análise laboratorial.....	78
4.2.3.1 Macrofauna bentônica	78
4.2.3.2 Descritores Ecológicos	79
4.2.3.3 Sedimento de fundo	79
4.2.3.4 Digestão dos organismos bentônicos.....	79
4.2.3.5 Digestão das amostras de sedimento	80
4.2.3.6 Determinação dos metais nas amostras de bentos e sedimento.....	81
4.2.3.7 Índice Fator de Bioacumulação (FAB).....	81
4.3 Resultados e discussão.....	82
4.3.1 Descritores Ecológicos	82
4.3.2 Análise de metais nos Macroinvertebrados Bentônicos e no Sedimento.....	85

4.3.3 Fator de Bioacumulação (FAB).....	87
4.4 Conclusão	90
4.5 Agradecimentos	90
CAPÍTULO 5 DISCUSSÃO GERAL	91
5.1 Resultados chaves: impactos e implicações	91
5.2 Prioridades para pesquisas futuras	92
5.3 Considerações finais	93
REFERÊNCIAS.	95

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Qualidade da água

O Brasil é conhecido pela sua abundância de recursos hídricos, em que aproximadamente 13% das águas superficiais do mundo pertence a região brasileira. O mesmo se destaca por obter em seu território a maior bacia do mundo, a região hidrográfica amazônica, que ocupa cerca de 45% do território brasileiro. Está situada na zona intertropical, recebendo precipitações médias anuais de 2460 mm. A mesma exerce forte importância econômica e socioambiental para o Brasil (BRASIL, 2017; MIRANDA et al., 2009).

Apesar da abundância desse recurso natural no Brasil, o mesmo vem sofrendo, desde a década de 1950, por problemas de escassez hídrica, devido o crescimento desordenado dos processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola, que conseqüentemente provocaram a degradação da qualidade da água (LIMA, 2001).

Sabe-se que os recursos hídricos superficiais assim como os recursos hídricos subterrâneos são necessários para o homem, plantas e animais. A água é responsável por cultivar os sistemas florestais, a produção agrícola e a biodiversidade nos sistemas terrestres e aquáticos. Dessa forma, manter a qualidade desse recurso natural, é essencial para a manutenção da vida humana e da biodiversidade, assim como para a economia (LIMA; FERREIRA, 2017).

Entretanto, com o aumento das práticas antropogênicas como atividade portuária, lançamento de efluentes domésticos e industriais sem pré tratamento, superexploração de recursos pesqueiros, práticas de mineração e agrícola, construção de barragens e represas, entre outras práticas, os recursos hídricos vêm sofrendo fortes pressões, que estão ocasionando uma crescente degradação na qualidade da água e perda da biodiversidade aquática, devido a desestruturação do ambiente físico, químico e alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas (VASCONCELOS, 2013).

É de extrema relevância o monitoramento contínuo de um corpo hídrico, haja vista que a água é um elemento essencial para manutenção da vida humana e das condições ambientais. Além disso, a mesma é o solvente mais eficiente do planeta, sendo considerada como solvente universal, podendo se associar a diversas substâncias,

inclusive com aquelas que podem contamina-la, e assim tornando o recurso hídrico fonte de transmissão de doenças, algo que pode ocasionar muitos problemas para população e ao ecossistema aquático (MORAES; JORDÃO, 2002).

Através das variáveis físicas, químicas e biológicas pode-se obter um diagnóstico de um determinado corpo hídrico, pois tais variáveis proporcionam identificação imediata das modificações nas propriedades físicas e químicas da água; detecção precisa da variável modificada, e determinação destas concentrações alteradas, além de obter informações sobre o comportamento do ecossistema aquático, no qual auxilia na avaliação do ambiente que está sofrendo impacto (GOULART; CALLISTO, 2003).

1.2 Biomonitoramento da qualidade da água

O biomonitoramento vem se tornando um importante aliado ao estudo dos impactos ambientais em que o ecossistema aquático está sofrendo, devido os organismos biológicos apresentarem adaptações evolutivas à determinadas condições ambientais, além de demonstrarem limites de tolerância conforme as modificações que o ambiente está sofrendo (MONTEIRO et al., 2008).

O termo bioindicador é denominado a espécies sentinelas, que são utilizadas como primeiros indicadores de efeito da contaminação de seu habitat. Ao escolher um bioindicador para realizar um monitoramento ambiental, é necessário observar o comportamento que o organismo apresenta e comparar com o objetivo da avaliação ambiental que se deseja fazer (BAGLIANO, 2012).

Um bom bioindicador ambiental deve conseguir sobreviver em ambientes saudáveis, apresentando também resistência a ambientes contaminados. É importante também que esse bioindicador tenha alta abundância na área de estudo e seja de fácil identificação e aplicável as análises laboratoriais (LINS et al., 2010).

O estudo do comportamento dos bioindicadores é realizado através dos índices de diversidade, riqueza, abundância de indivíduos e equitabilidade da distribuição das espécies. Tal levantamento sobre essas características, traz resposta sobre o comportamento do ecossistema aquático e sobre os impactos que ele está sofrendo. Complementando assim, as informações sobre qualidade das águas, especialmente para

avaliação de impactos ambientais decorrentes de descargas pontuais de esgotos domésticos e efluentes industriais (PIEDRAS et al., 2006).

Dentro dos bioindicadores de ecossistemas aquáticos, os macroinvertebrados bentônicos vem se sobressaindo, os mesmos são organismos que habitam no fundo (sedimento) de rios e lagos, aderidos a pedras, cascalhos e folhas ou enterrados na lama ou areia. Esses indivíduos apresentam ciclos de vida suficientemente longo, algo que favorece a identificação de modificações ambientais imediata, além de possuírem alta diversidade de espécies, oferecendo uma grande faixa de tolerância e amplo espectro de respostas frente a diferentes níveis de contaminação, dentre outras características. Os macroinvertebrados bentônicos são uma ferramenta eficiente para o monitoramento e avaliação dos impactos ambientais (CALLISTO et al., 2001).

Além dessas características, os indivíduos bentônicos, devido sua sensibilidade, podem bioacumular metais pesados em seu tecido, podendo sofrer o processo de bioacumulação e incorporar metais em concentrações mais elevadas nos níveis tróficos, algo que é prejudicial tanto para o ecossistema aquático quanto para a saúde da população, já que fazem parte da cadeia alimentar, do qual os indivíduos bentônicos se encontram na base (OLIVEIRA et al., 2013).

Os macroinvertebrados bentônicos são excelentes bioindicadores da qualidade de ambientes aquáticos, já que são capazes de responder a alterações ambientais nos sedimentos, água e entorno, trazendo respostas sobre os impactos que o corpo hídrico e o ecossistema aquático está sofrendo (ARIMORO et al., 2015).

1.3 Qualidade do sedimento

Na avaliação dos impactos ambientais em ambientes aquáticos, os sedimentos representam um importante compartimento para o monitoramento ambiental, no qual é possível observar a integração e acumulação de diversos contaminantes, além de serem transportadores de possíveis fontes de poluição, já que essa matriz pode abrigar espécies contaminadas por metais pesado presente em seu habitat, que bioacumulam elementos traços e podem transferir tal contaminação para cadeia trófica (COTTA et al., 2006).

Os sedimentos exercem forte influência na presença de metais em corpos d'água, já que dependendo do ambiente que se encontram (oxidado ou reduzido), podem

representar uma fonte de contaminação, que pode ser liberado para o meio, através dos processos físicos, químicos e biológicos, ou o mesmo pode apresentar-se como um sumidouro (deposição) para os metais procedentes das águas superficiais (DORNFELD, 2002).

Em razão dos metais pesados permanecerem por longo tempo no ambiente, pois não são biodegradáveis, e o sedimento apresentar o potencial de acumular esses elementos químicos por mais tempo, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos, devido o sedimento servir como um compartimento aquático ativo, que desempenha um papel fundamental na redistribuição das espécies à biota aquática (COTTA et al., 2006).

Os sedimentos podem liberar os metais pesados para a coluna d'água, prejudicando a qualidade da mesma, ou podem ainda acumular metais pesados por adsorção em argilominerais ou complexação na matéria orgânica, promovendo a entrada dessas substâncias na cadeia trófica através de organismos bentônicos (SANTOS et al., 2012).

Por mais que as modificações ambientais tenham causas naturais, os impactos podem ser agravados pelas atividades antrópicas decorrentes do uso e ocupação do solo, destacando-se o desmatamento, as práticas agrícolas, a mineração e a urbanização. Dessa forma, é necessário o monitoramento contínuo dos corpos hídricos, e os sedimentos apresentam-se como uma importante ferramenta no diagnóstico ambiental desse recurso natural (AMARAL et al., 2014).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água da baía do Guajará, através dos dados físico-químicos, microbiológico e biológico, conforme o período sazonal da chuva.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade da água por meio de medições dos parâmetros físico-químicos e microbiológico, conforme o período sazonal da chuva, identificando as principais fontes poluidoras e avaliando os prejuízos acarretados para a população;

- Analisar os metais cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) e ferro (Fe) no sedimento total e lixiviado;

- Avaliar o Fator de Contaminação (FC), o Índice de Geoacumulação (I_{geo}) e o Fator de Enriquecimento (FE), a fim verificar o grau de contaminação do sedimento;

- Examinar as condições ambientais utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental, avaliando seu comportamento, através dos descritores ecológicos como riqueza (S), abundância (N), equitabilidade (J') e diversidade (H');

- Analisar os metais cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) e ferro (Fe) nos organismos bentônicos e no sedimento, a fim verificar se está ocorrendo o processo de bioacumulação de metais nos mesmos;

1.5 Área de estudo

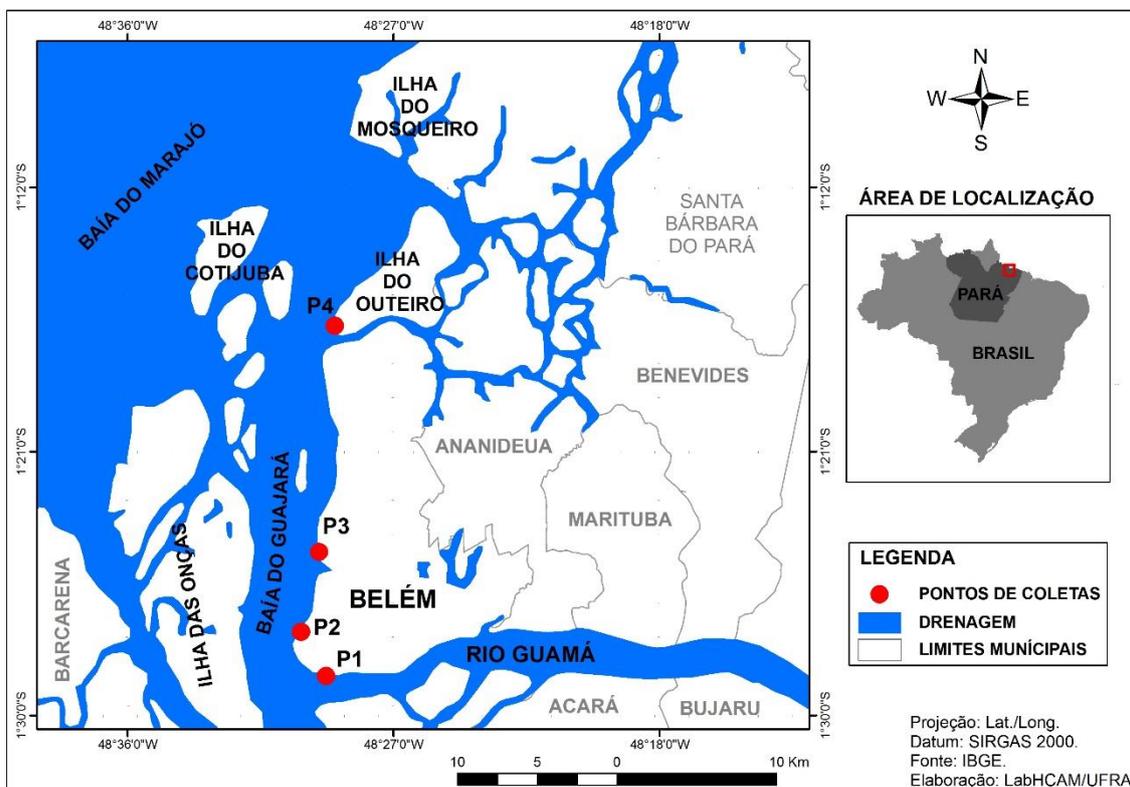
A cidade de Belém, localizada no estado do Pará, é um município que possui uma extensão territorial de 1.059,458 km², com população estimada em 1.452.275 pessoas, densidade demográfica de 1.315,26 hab/km² e IDH de 0,746. A mesma exerce um importante papel para a população e economia do estado, suas principais atividades econômicas envolvem o uso de recursos naturais (BRASIL, 2017).

No entorno de Belém encontra-se a baía do Guajará, posicionada na margem direita do Rio Pará (Amazônia), sua localização está entre os paralelos 1°22'S e 1°30' S e os meridianos 48° 25'W e 48°35'W, com cerca de 30 km de extensão e 4 km de largura, e recebe a contribuição hídrica e sedimentar de dois sistemas fluviais: rio Guamá e rio Acará. A deposição e dispersão do sedimento na baía é principalmente controlada pela baixa topografia, pelo grande aporte fluvial e atuação das correntes de maré (GREGÓRIO; MENDES, 2009; MIRANDA; MENDES, 2007).

A região em estudo desempenha grande importância econômica para o estado do Pará. Em sua margem direita ocorrer intensa atividade portuária, transporte, armazenamento e venda de petróleo em balsas (postos flutuantes), algo que fortalece a economia da região, porém deixa esse local mais suscetíveis a impactos ambientais (MIRANDA; MENDES, 2007; GREGÓRIO, 2008)

Diante do exposto, a pesquisa foi realizada na seguinte área da baía do Guajará (figura 1), nos determinados pontos (figura 2, 3 e 4):

Figura 1 - Mapa da localização da área de estudo, em que: P1, Porto Bom Jesus (PT01); P2, Porto Belém- Armazém três Companhia Docas do Pará (PT02); P3, Canal São Joaquim (PT03); P4, Outeiro (PT04).



Fonte: IBGE, 2007.

- Porto Bom Jesus (PT01): (S01°28'41.8'' W048°29'19.1'')

Figura 2 - Ponto 01, Porto Bom Jesus



Fonte: Georeferenciado Google Earth (2017).

- Porto Belém - Armazém três Companhia Docas do Pará (PT02): ($S01^{\circ}26'58.0''$ $W048^{\circ}30'05.6''$) (figura 3);

Figura 3 - Ponto 02, Porto Belém-Armazém três Companhia Docas do Pará.



Fonte: Georeferenciado Google Earth (2017).

- Canal São Joaquim (PT03): ($S01^{\circ}24'49.1''$ $W048^{\circ}29'41.0''$).

Figura 4 - Ponto 03, Canal São Joaquim.



Fonte: Georeferenciado Google Earth (2017).

- Outeiro (PT04): (S01°16'16.3'' W048°28'59.9'') (figura 5).

Figura 5 - Ponto 04, Outeiro.



Fonte: Georeferenciado Google Earth (2017).

1.6 Estrutura da dissertação

Foi realizada uma análise das condições ambientais da baía do Guajará em Belém do Pará, através das seguintes matrizes: água, sedimento e macroinvertebrados bentônicos. O estudo foi realizado no ano de 2015 em 4 pontos da baía, avaliando meses do período chuvoso e menos chuvoso, característico da região amazônica. Os resultados das análises estão divididos em cinco capítulos, em que o primeiro capítulo é apresentado a introdução geral do estudo, os três capítulos seguintes correspondem cada matriz ambiental analisada e o último capítulo faz uma discussão geral sobre os resultados encontrados no estudo e suas considerações finais.

No capítulo 2 da dissertação, é estudado a qualidade da água da área de estudo conforme o período sazonal da chuva, para isso foi utilizado os seguintes parâmetros físico-químicos: Temperatura da água, Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrato, Nitrito, Amônia e Cloreto. Além desses parâmetros, na pesquisa foi realizado a análise dos coliformes termotolerantes. Através dos resultados obtidos, podemos avaliar as condições ambientais que o local de estudo se encontra, identificando as fontes

antropogênica que está afetando esse corpo hídrico, e a forma que essas fontes se comportam conforme a precipitação, e assim discorrer uma discussão sobre os impactos acarretados para o meio ambiente e para a população.

No capítulo 3, é abordado o estudo sobre o sedimento, em que foi realizado a análise dos metais Cr, Cd, Cu e Fe no sedimento e na sua lixiviação, calculando o Fator de Contaminação (FC), Índice de Geoacumulação (I_{geo}) e Fator de enriquecimento (FE). Através desses resultados obteve-se informações para identificar possíveis contaminações do sedimento, e o grau de contaminação, realizando uma discussão sobre as fontes de poluição e a importância do monitoramento contínuo do sedimento da área de estudo.

No capítulo 4, é analisado os metais Cr, Cd, Cu e Fe nos macroinvertebrados bentônicos e no sedimento, a fim de obter o Fator de Bioacumulação, avaliando também o comportamento desses bioindicadores, através dos descritores ecológicos como riqueza (S), abundância (N), equitabilidade (J') e diversidade (H'), com intuito de verificar se os impactos antropogênicos estão prejudicando a comunidade desses indivíduos que estão na base da cadeia alimentar. Nesse capítulo é discutido sobre a importância do estudo desses bioindicadores, avaliando as espécies encontradas na baía do Guajará, discorrendo sobre os processos de bioacumulação que está acontecendo nos indivíduos analisados e os possíveis impactos que isso pode acarretar para o ecossistema aquático e para a população.

No capítulo 5 é discutido os principais resultados encontrados nas análises realizadas, correlacionando com as possíveis causas de tais resultados. É abordado também a importância de um estudo mais minucioso, através da pesquisa de um número maior de pontos e de análises, com outros parâmetros físico-químicos da água, de metais pesados no sedimento e o estudo da bioacumulação de metais em peixes. Para que assim, obtenha-se um diagnóstico mais detalhado da baía do Guajará. Por fim, o 5º capítulo apresenta as considerações finais da avaliação ambiental da área de estudo.

CAPÍTULO 2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DO GUAJARÁ EM BELÉM-PA POR MEIO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICO.

Resumo

A água é um recurso vital, a mesma exerce importante papel para sociedade e meio ambiente, na qual é usada de diversas formas. Entretanto, sua qualidade vem sendo prejudicada, devido o crescimento desordenado da população, acompanhado da urbanização. A poluição da água pode advim de origem química, física e biológica, em que o lançamento no corpo hídrico de qualquer tipo destes poluentes pode alterar características da água e do sedimento, e conseqüentemente impactar a biota aquática. Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água da baía do Guajará por meio de medições dos parâmetros físico-químicos e microbiológico, conforme o período sazonal da chuva. As coletas ocorreram no ano de 2015, nos meses de março, junho, setembro e dezembro, correspondente ao período chuvoso e menos chuvoso. Foi analisado os parâmetros físico-químicos da água e análise microbiológica. No período estudado, o volume precipitado foi acima da média das normais climatológicas no período chuvoso, e no período menos chuvoso foi abaixo da média. Nas análises química e microbiológica realizada, as concentrações de nitrato, nitrito, cloreto e o pH, estão dentro do permitido pela Resolução do CONAMA nº357/05, classe II para águas doces. Entretanto, o parâmetro OD apresentou-se nos pontos PT01 CH ($3,6 \pm 1,0$ mg/L), PT02 CH ($4,4 \pm 1,4$) e PT03 CH ($4,1 \pm 0,7$), abaixo do permitido por essa resolução. Em todos os pontos a DBO (mínimo= $5,2 \pm 3,9$ mg/L; máximo= $14,3 \pm 5,3$ mg/L) e coliformes termotolerantes (mínimo= $407,0 \pm 293,5$ NMP/100mL; máximo= $486775,0 \pm 286089$ NMP/100mL) constatarem valores acima do limite de referência do CONAMA nº357/05, além de elevadas concentrações de DQO (mínimo= $12,5 \pm 7,0$ mg/L; máximo= $27,3 \pm 19,8$ mg/L) e alta CE (mínimo= $86,4 \pm 63,5$ uS/cm²; máximo= $573,4 \pm 621,5$ uS/cm²). A DQO e OD apontaram uma forte correlação negativa, em que o aumento da DQO está ocasionando a diminuição do OD na baía do Guajará. O comportamento desses parâmetros é correspondente ao aumento da matéria orgânica apresentada na região. Devido as práticas portuárias frequente na área analisada, e a concentração urbana que despeja efluentes, principalmente de origem doméstica sem pré tratamento na baía do Guajará, que é agravado pelo período chuvoso. Isso gera danos irreversíveis para o

ecossistema aquático, prejudicando também a população que utiliza esse corpo hídrico para práticas de pescas e/ou recreação.

Palavras chaves: Qualidade da água. Contaminação. Esgoto doméstico.

EVALUATION OF WATER QUALITY OF THE GUAJARA BAY IN BELÉM-PA BY MEANS OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETER

Abstract

Water is a vital resource, it plays an important role for society and the environment, in which it is used in a variety of ways. However, its quality has been undermined, due to the disorderly growth of the population, accompanied by urbanization. Water pollution can be derived from chemical, physical and biological sources, where the release into the water body of any type of these pollutants can alter water and sediment characteristics and consequently impact the aquatic biota. The objective of this study was to evaluate the water quality of the Guajará Bay by means of measurements of physico-chemical and microbiological parameters, according to the seasonal period of rainfall. The collections occurred in the year 2015, in the months of March, June, September and December, corresponding to the rainy and less rainy period. The physical-chemical parameters of the water and microbiological analysis were analyzed. In the studied period, the precipitated volume was above the average of the normal climatological in the rainy season, and in the less rainy period it was below the average. In the chemical and microbiological analyzes carried out, the nitrate, nitrite, chloride and pH concentrations are within the limits allowed by CONAMA Resolution 357/05, class II for fresh water. However, the OD parameter presented PT01 CH (3.6 ± 1.0 mg / L), PT02 CH (4.4 ± 1.4) and PT03 CH (4.1 ± 0.7), below allowed by this resolution. In all points, BOD (minimum = 5.2 ± 3.9 mg / L, maximum = 14.3 ± 5.3 mg / L) and thermotolerant coliforms (minimum = 407.0 ± 293.5 MPN / 100 mL; maximum = 486775.0 ± 286089 NMP / 100 mL) showed values above the reference limit of CONAMA nº 357/05, in addition to high concentrations of COD (minimum = 12.5 ± 7.0 mg / L, maximum = 27.3 ± 19.8 mg / L) and high CE (minimum = 86.4 ± 63.5 uS / cm², maximum = 573.4 ± 621.5 uS / cm²). The COD and OD showed a strong negative correlation, in which the increase of the COD is causing the decrease of the OD in Guajará bay. The behavior of these parameters corresponds to the increase of the organic matter presented in the region. Due to frequent port practices in the analyzed area, and the urban concentration that discharges effluents, mainly of domestic origin without pre-treatment in the Bay of Guajará, which is aggravated by the

rainy season. This creates irreversible damage to the aquatic ecosystem, also damaging the population that uses this water body for fishing and / or recreation.

Keywords: Water quality. Contamination. Domestic sewage.

2.1 Introdução

A água é um recurso natural essencial para a vida, considerada como constituinte principal de todos os organismos vivos. A mesma exerce importante papel para sociedade, e é usada de diversas formas, como abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação (ALVES et al., 2008).

A qualidade da água vem sendo prejudicada com o passar do tempo, devido ao crescimento desordenado da população, acompanhado da urbanização, e como consequência a ocupação de espaços urbanos inapropriados, para moradias com precário atendimento em sistemas de infraestrutura sanitária. Dessa forma, os corpos hídricos estão sofrendo grandes pressões devido esse crescimento e ocupação desordenado, em especial na Amazônia, haja vista que nessa região há uma forte influência das águas sobre a distribuição da população no território, por conta da característica logística que os rios sempre tiveram no local (MORALES et al., 2015; SANTOS et al., 2015).

A região amazônica não apresenta problemas de disponibilidade hídrica em grande escala, devido sua baixa densidade demográfica aliada a um desenvolvimento econômico ainda exordial e a alta disponibilidade hídrica. Entretanto, a riqueza do bioma amazônico, sua fragilidade e interação com os ecossistemas aquáticos determinam um alto potencial de impacto sobre os recursos hídricos para grande parte das ações despertadas no espaço geográfico dessa região (BRASIL, 2018).

A contaminação da água pode ser originada de diversas fontes, em que são classificadas como fontes pontuais ou fontes difusas. As fontes pontuais são aquelas em que os poluentes são emitidos em pontos específicos dos corpos d'água e de forma individualizada, no qual é possível identificar um padrão médio de lançamento, como exemplo os efluentes urbanos, rejeitos industriais e de esgotos. Já nas fontes difusas, os poluentes atingem os corpos d'água de modo aleatório, não havendo possibilidade de estabelecer um padrão médio de emissão, como exemplo, os aerossóis industriais, acidentes com produtos químicos ou combustíveis e cargas difusas urbana e agrícola. Em geral o dano ambiental que cada poluente pode ocasionar em um ambiente, vai depender das suas concentrações, do tipo de corpo hídrico que o recebe e dos usos da água (PERREIRA, 2004).

Sabe-se que todo corpo d'água pode estar suscetível a estas fontes de contaminação, mas nos ambientes estuarinos, em que ocorrem atividades portuárias, depósitos de resíduos industriais e urbanos, a situação é mais agravante, o que gera mais poluição e prejuízos ambientais (SILVA; GOMES, 2012).

É necessário que haja um preciso monitoramento ambiental sobre regiões que estão sujeitas a qualquer tipo de poluição. Com intuito de adquirir o conhecimento, o acompanhamento e a avaliação qualitativamente e quantitativamente das condições dos recursos ambientais, dos meios físico e biótico, buscando a recuperação, melhoria ou preservação da qualidade ambiental e auxiliando a implantação de políticas ambientais para garantir a conservação do corpo hídrico (BRASIL, 2009).

Existe uma legislação específica no Brasil, que é responsável em estabelecer limites dos fatores físico, químico e biológico para o controle da qualidade da água superficial, que é o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, com a resolução nº 357 de 17 de março de 2005. O CONAMA delibera sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2017).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água da baía do Guajará por meio das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológico, conforme o período sazonal da chuva, identificando assim, as principais fontes poluidoras que podem estar contribuindo para uma possível degradação deste manancial e avaliando os possíveis riscos acarretados para saúde da população.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na baía do Guajará, posicionada na margem direita do Rio Pará (Amazônia), com cerca de 30 km de extensão e 4 km de largura, e recebe a contribuição hídrica e sedimentar de dois sistemas fluviais: rio Guamá e rio Acará (GREGÓRIO; MENDES, 2009; MIRANDA; MENDES, 2007). Os pontos em estudos são apresentados na tabela 01.

Tabela 1. Pontos da área estudo e suas respectivas referências.

Pontos	Latitude	Longitude	Localização
Ponto 01	01°28'41.8'' S	048°29'19.1'' W	Porto Bom Jesus
Ponto 02	01°26'58.0'' S	048°30'05.6'' W	Porto Belém- Belém - Armazém três Companhia Docas do Pará
Ponto 03	01°24'49.1'' S	048°29'41.0'' W	Canal São Joaquim
Ponto 04	01°16'16.3'' S	048°28'59.9'' W	Outeiro

2.2.2 Clima

O clima da região Amazônica é definido por um clima quente e úmido, os gradientes de temperaturas do ar são muito pequenos, ocorrem nessa região intensa nebulosidade e precipitação convectiva, acontecendo durante todo ano uma grande incidência dos raios solares e variações da umidade (SANTOS et al., 2014).

Na Amazônia oriental, está localizado Belém, município do estado do Pará, que apresenta temperaturas sempre altas (devido ao alto potencial da radiação solar incidente), forte convecção, ar instável e alta umidade do ar contribuindo para formação de nuvens convectivas, dando origem a uma grande incidência de precipitação na forma de pancadas, principalmente à tarde. Geralmente, a formação de nuvens em Belém é do tipo cumulonimbus, favorecendo a ocorrência de vários tipos de trovoadas, com descargas elétricas, chuvas intensas e ventos muito forte (BASTOS et al., 2002).

De dezembro à maio ocorre a época mais chuvosa, a precipitação é originada pela Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) e pelos efeitos de mesoescala, como as linhas de instabilidades que se formam na costa Atlântica da Guiana e Pará, e propagam-se para o oeste como uma linha de cumulonimbus. Tais linhas advêm em associação à brisa marítima e se formam no período da tarde. Durante o período de junho a agosto ocorre o final do período chuvoso, a precipitação é provocada por efeitos locais, como as brisas terrestres e marítimas e por Ondas de Este, vindas nas correntes dos ventos alísios, geralmente os do Sudeste. Em setembro até novembro, período menos chuvoso, a

precipitação normalmente é ocasionada pelos fenômenos de mesoescala (BASTOS et al., 2002; SANTIAGO et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2010).

Neste estudo foram utilizados os acumulados diários de precipitação (mm) dos anos de 2014, 2015 e 2016, respectivamente. Para comparação dos dados foram utilizadas as normais climatológicas da região metropolitana de Belém, correspondente aos anos de 1961 a 1990. Todas as informações foram obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

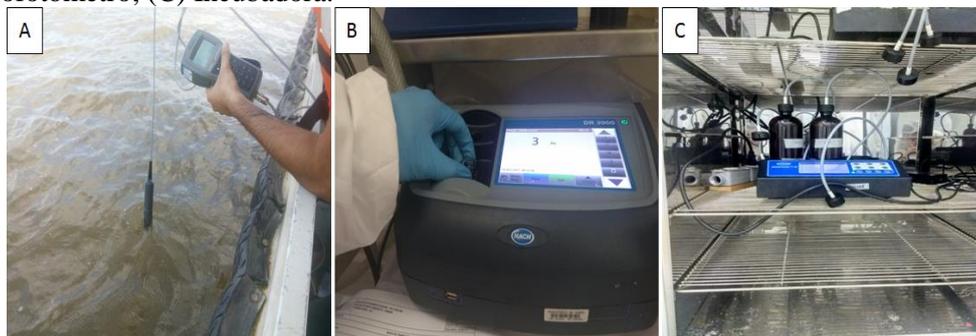
2.2.3 Coleta

As coletas ocorreram no ano de 2015, nos meses de março, junho, setembro e dezembro. Correspondente aos períodos chuvoso e menos chuvoso da região amazônica.

2.2.4 Análise dos parâmetros físico-químicos

A temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), Potencial Hidrogeniônico (pH)(U), Condutividade Elétrica (CE) (uS/cm^2), Oxigênio Dissolvido (OD)(mg/L), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (mg/L), foram determinados através da Sonda Multiparâmetros (Hanna, HI 9828) (Figura 1A). Já a Turbidez (mg/L), Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L), Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L), Amônia (mg/L) e Cloreto (mg/L) foram analisados através do Espectrofotômetro (Hach, DR 3900) (Figura 1B) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (mg/L) foi quantificada através da metodologia da Hach, na Incubadora (Ethik Thechnology, 411D) (Figura 1C).

Figura 1 - Análise dos parâmetros Físico-Químicos. (A) Sonda Multiparâmetros; (B) Espectrofotômetro; (C) Incubadora.



Fonte: Autora

2.2.5 Análise microbiológica

Na análise microbiológica foi avaliado os coliformes termotolerantes, a metodologia foi baseada através do Manual Prático de Análise de Água. Utilizou-se a

técnica do número mais provável (NMP) também conhecido como método de tubos múltiplos. Na primeira etapa, foram retirados assepticamente 25 mL de amostra e preparadas três diluições sucessivas (0,1; 0,01 e 0,001) e para cada diluição foram utilizados três tubos contendo 10 mL de Caldo Lauril Sulfato de Sódio (LST) com tubos de Durhan invertidos, os quais foram posteriormente incubados de 35 a 37°C por 24 horas (BRASIL, 2013). Em uma segunda etapa, os tubos positivos para VB foram transferidos para tubos contendo caldo com *Escherichia coli* (E.C.), meio confirmatório para coliformes termotolerantes (E.C.) e deixados em banho-maria de 44,5 a 45°C durante 24 horas.

A positividade do teste foi observada pela produção de gás no interior dos tubos de Durhan. Os resultados foram analisados em tabela do Número Mais Provável (NMP). Dos tubos positivos para o meio E.C. alíquotas foram semeadas em placas de Petri, contendo meio de cultura ágar eosina azul de metileno (EMB) e posteriormente incubadas de 35 a 37°C por 24 horas. Por fim, a caracterização dos coliformes termotolerantes foi evidenciada pelo crescimento de colônias com centros enegrecidos e brilho verde metálico.

Os resultados apresentados nos parâmetros físico-químicos e microbiológico foram comparados com a Resolução nº 357, de 17 de março 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no qual a baía do Guajará se enquadra na classe II água salobra (BRASIL, 2017).

2.3 Resultados e discussão

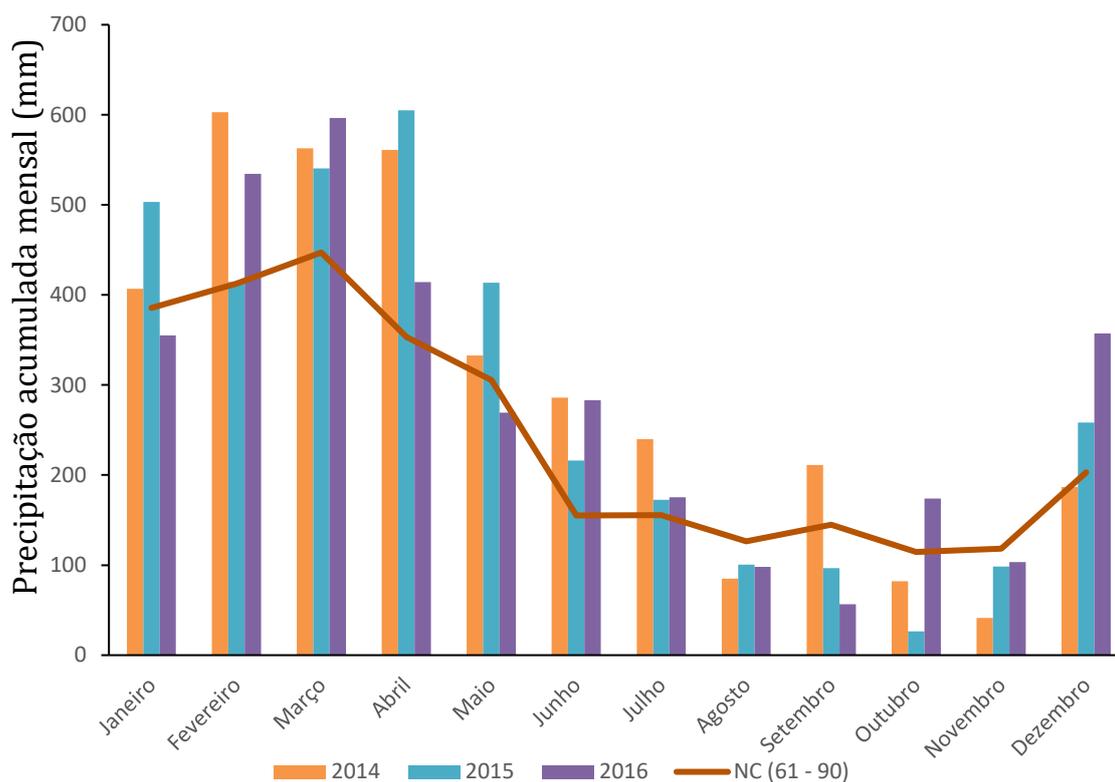
2.3.1 Precipitação

A análise da precipitação dos anos de 2014, 2015 e 2016, assim como as normais climatológicas, são apresentadas na figura 2. Nessa figura, observa-se que os valores da precipitação média na cidade de Belém são maiores nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio período caracterizado como chuvoso, os meses de agosto, setembro, outubro, novembro, são os que apresentaram menor precipitação, sendo denominados como período menos chuvoso, já os meses de junho e dezembro, são designados como período de transição na região amazônica (MORAES et al., 2005).

Durante o período analisado, o volume precipitado foi acima da média das normais climatológicas no período chuvoso, e no período menos chuvoso foi abaixo da

média. Tal comportamento da precipitação durante os anos avaliados, pode ter sido influenciado pelo evento El niño, que teve início em 2015 e perdurou até 2016. Caracterizado por Varotsos et al. (2016) como um forte evento. Tal fenômeno afeta a circulação atmosférica global, e conseqüentemente altera a precipitação e temperatura do ar (PEREIRA et al., 2017).

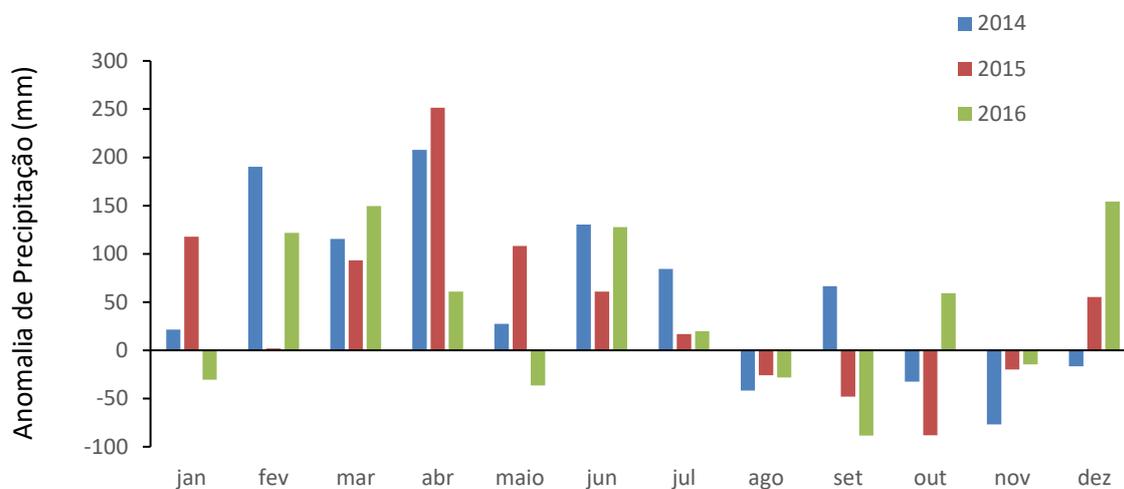
Figura 2 - Precipitação acumulada mensal (mm) dos anos de 2014, 2015 e 2016 e as normais climatológicas (NC) na Região Metropolitana de Belém



Fonte: INMET (2017).

Ao observar as anomalias de precipitação apresentadas na figura 3, nota-se que o período de dezembro à julho, caracterizado como período de maior precipitação na região amazônica, as anomalias apresentaram-se, em sua maior parte, positiva e durante os meses de agosto à novembro, a maioria das anomalias são negativas. Essas anomalias também são influenciadas pelo El niño.

Figura 3 - Anomalia de precipitação (mm) dos anos de 2014, 2015 e 2016, da Região Metropolitana de Belém.



Fonte: INMET (2017).

Uma pesquisa realizada pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (Elat), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), consideraram o El Niño (2015-2016) como o terceiro mais forte desde 1950, depois de 1983 e 1998. No qual houve uma diminuição das chuvas na região Norte e Nordeste (TRENBERTH, 1997; BRASIL, 2017). Essas regiões sofreram intensamente com o período de estiagem no ano de 2015. Segundo Marengo et al. (2016) a seca do Nordeste do Brasil (NEB) desse período de intenso El Niño, foi a mais grave das últimas décadas, no qual teve impactos em muitos distritos da região do semiárido dos estados do NEB, prejudicando aproximadamente 9 milhões de pessoas.

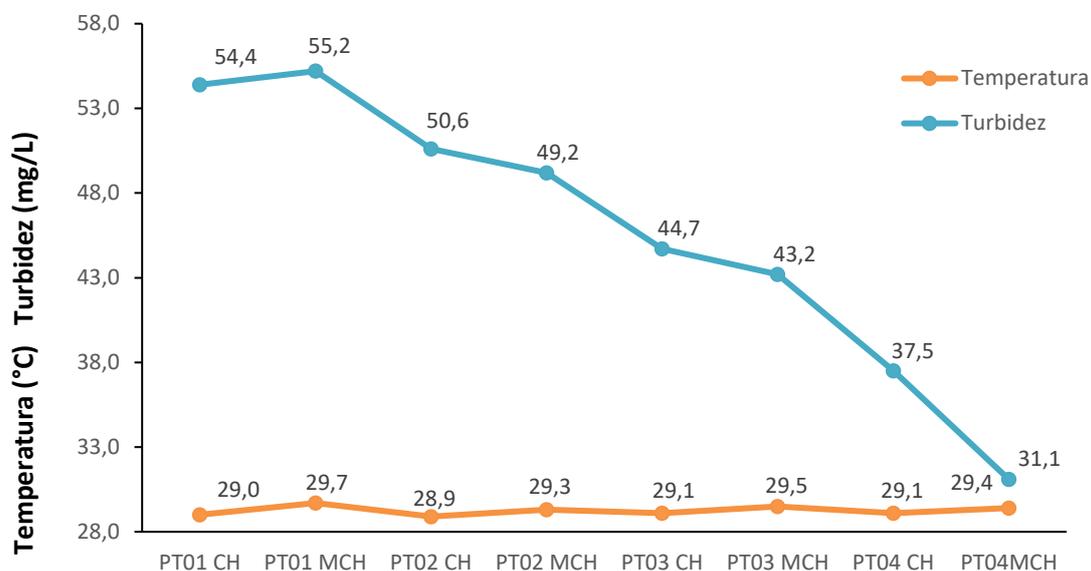
2.3.2 Análises física, química e microbiológica da água.

Os resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológica, foram comparados com a Resolução CONAMA nº357/05, Águas doces, Classe II. Entretanto, essa resolução não dispõe valores de referência para temperatura, CE e DQO.

A figura 4 exibe os resultados da temperatura da água e turbidez. A temperatura da água apresentou pouca variação, com média de $29,0 \pm 0,08$ °C no período chuvoso e no período menos chuvoso com média foi de $29,5 \pm 0,15$ °C. Apesar desse parâmetro não ser estabelecido no CONAMA 357/05, é importante sua análise devido o mesmo refletir

sobre as variações sazonais dos parâmetros físico químicos da água (VALLE JUNIOR et al., 2013).

Figura 4 - Valores de Temperatura da água (°C) e Turbidez (mg/L) registrados na baía do Guajará.



Ainda na figura 4, ao analisar o parâmetro da turbidez, obtivemos a maior turbidez no PT01 MCH com $55,2 \pm 23,4$ mg/L e a menor no PT04 MCH com $31,1 \pm 7,4$ mg/L.

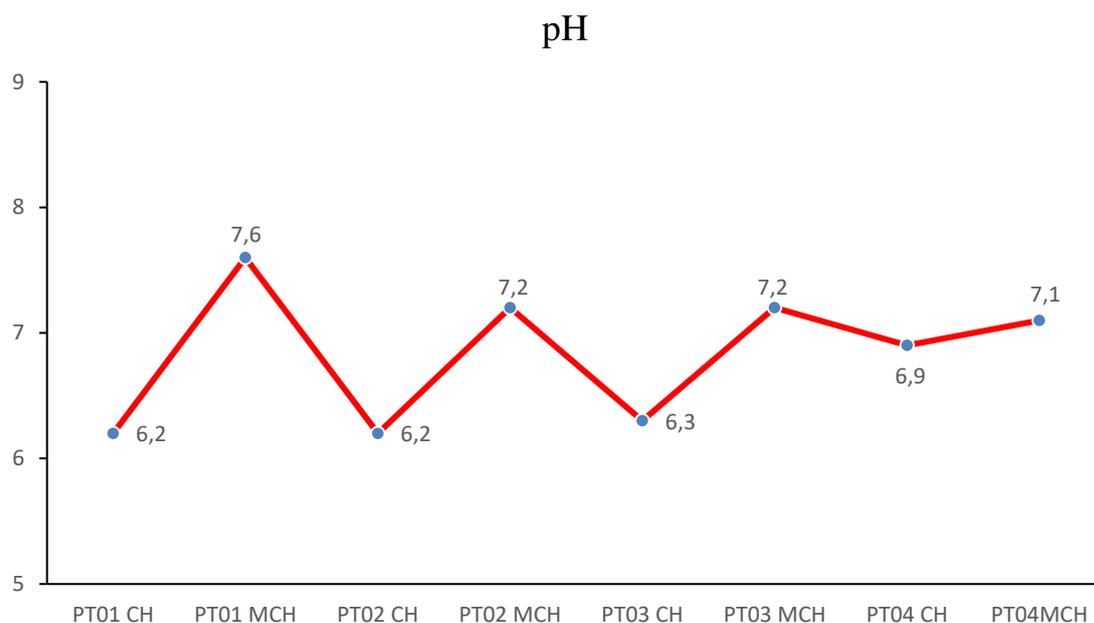
Segundo Mendes e Ferreira (2014), a turbidez deveria ser maior no período chuvoso, devido nesse período ocorrer um aumento dos sólidos em suspensão, o que contribui para elevação da turbidez. Porém, na pesquisa realizada, assim como nos estudos de Alves et al. (2012) e de Junior et al. (2013), a maior turbidez foi obtida no período menos chuvoso, isso pode estar relacionado ao fato de nesse período ocorrer um maior processo de evaporação natural da água, algo que contribui para o aumento da turbidez (SILVA et al., 2008; NAIME; FAGUNDES, 2005).

Todos os valores de turbidez encontrados no estudo estão dentro do padrão aceito pela resolução CONAMA nº357/05, em que o valor máximo permitido é de 100 mg/L. Dessa forma, a turbidez não está interferindo no desenvolvimento da vida aquática, já que em quantidade pequena, a turbidez não afeta a fotossíntese da vegetação presente na baía do Guajará, pois não impede que o feixe de luz penetre na água (ABREU; CUNHA, 2015; CARVALHO et al., 2005).

Na figura 5, é apresentado os valores do potencial hidrogeniônico (pH), no qual observa-se que o valor médio do mesmo variou de 6,2 à 6,9 no período chuvoso e de 7,1 à 7,6 no período menos chuvoso.

O regime de chuva influência nos valores de pH, pois com o aumento pluviométrico o pH tende a subir e aproximar da neutralidade, já que ocorre a maior diluição dos compostos dissolvidos. Logo, o aumento da chuva faz com que o volume de água se eleve e com que a acidez diminua. Entretanto, no estudo realizado aconteceu o inverso, no qual houve um pequeno aumento na acidez com o aumento da precipitação. Tal fato pode ser explicado pela elevação da matéria orgânica, originados por atividades portuárias e descarte de esgoto sem pré-tratamento na área de estudo, algo que aumenta os ácidos orgânicos na água, o que ocasiona a diminuição do pH (PIRATOBA et al., 2017; SILVA et al., 2008).

Figura 5 - Média por ponto, do período CH e MCH, do pH da baía do Guajará.

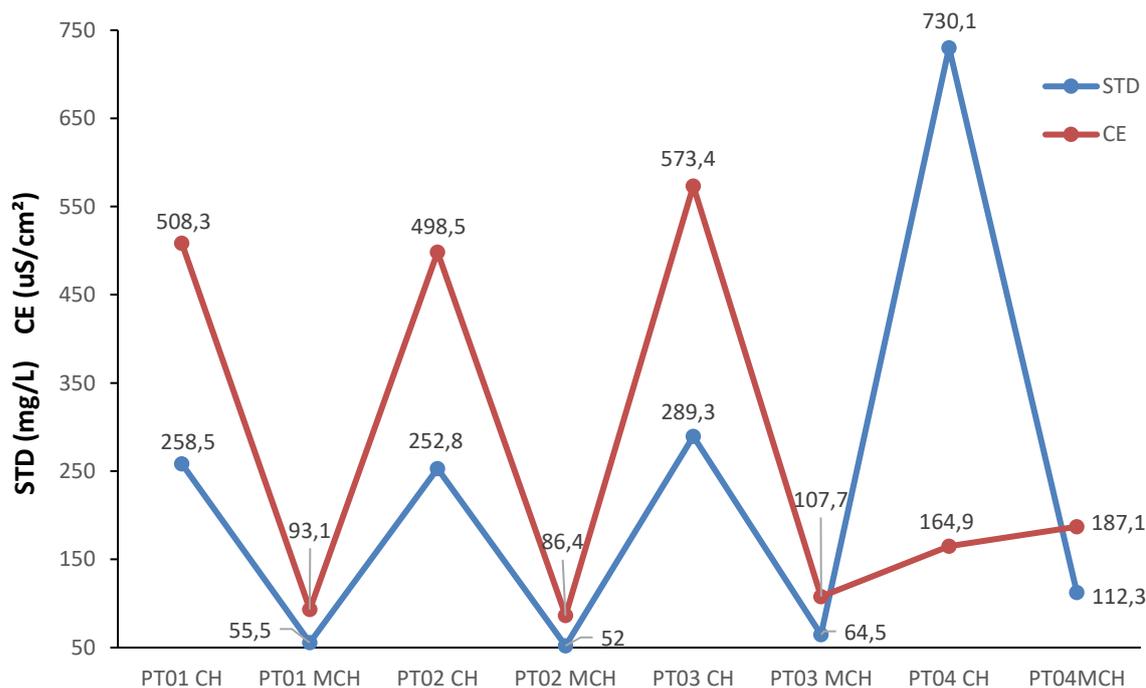


Os pontos avaliados estão dentro dos valores de pH permitido pelo CONAMA nº357/05, que é de 6 a 9. Logo, o pH dos pontos estudados não irá acarretar prejuízos para o meio aquático. É importante salientar, que é de suma importância que o pH fique dentro do padrão estabelecido, já que exerce influência nos ecossistemas aquáticos naturais devido seus efeitos influenciarem na fisiologia de diversas espécies (ESTEVES, 1998).

A média da Condutividade Elétrica (CE) (figura 6) apresentou valor máximo no PT03 CH com $573,4 \pm 621,5$ uS/cm² e mínimo no PT02 MCH com $86,4 \pm 63,5$ uS/cm². Ao analisar o comportamento da CE nos períodos chuvoso e menos chuvoso, nota-se que em todos os pontos, com exceção do PT04, a CE se apresentou mais alta no período chuvoso.

Esteves (2011) afirma que a CE se apresenta frequentemente em menor valor no período chuvoso, devido o aumento do fator de diluição dos íons. Entretanto, os valores desse parâmetro podem mudar com o lançamento de contaminantes, como os de esgoto doméstico, efluentes industriais e resíduos sólidos. Dessa forma, em ambiente em que as atividades antrópicas são constantes, a CE permanece sempre elevada, sendo agravada pelo período chuvoso, devido o maior arraste de contaminantes para a água, que esse período provoca (MORALES et al., 2015).

Figura 6 - CE (uS/cm²) e STD (mg/L) na baía do Guajará.

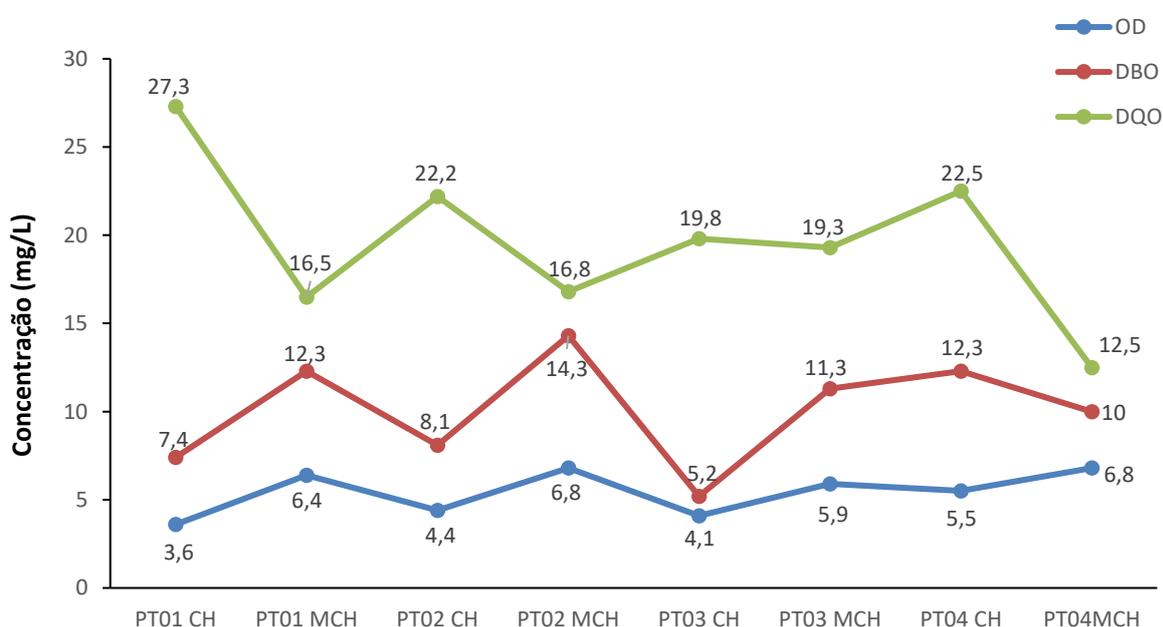


Ainda na figura 6, observa-se que o valor máximo dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foi encontrado no PT04 CH com $730,1 \pm 812,3$ mg/L e o menor no PT02 MCH com $52 \pm 38,4$ mg/L. Todos os pontos em estudo apresentaram maior concentração desse parâmetro no período chuvoso. Entretanto, todos os pontos nos dois períodos estão dentro do permitido pelo CONAMA nº 357/05, em que o valor máximo aceitado é de 500 mg/L.

Ao observar a CE e STD, nota-se que em todos os pontos, com exceção do PT04, os valores de CE e STD apresentaram seus valores máximo no período chuvoso. Isso se deve pelo aumento da lixiviação, nesse período, dos sólidos dissolvidos para o corpo hídrico, ocasionando o aumento do potencial da transferência de cargas elétrica para o rio (PINTO, 2006).

Na figura 7, são apresentados os resultados de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Figura 7 - Média das concentrações por período de OD, DBO e DQO na baía do Guajará.



O Oxigênio Dissolvido (OD) apresentou sua máxima concentração no PT04 MCH com $6,8 \pm 0,5$ mg/L e em menor valor no PT01 CH com $3,6 \pm 1,0$ mg/L. Nesse ponto que apresentou menor OD, ocorre intenso tráfego de embarcação por conta de atividades portuária, algo que ocasiona impactos diretos para qualidade da água (BRASIL, 2017).

Ao comparar os resultados de OD do estudo, com a Resolução CONAMA nº357/05, o período menos chuvoso apresentou valores dentro do permitido por essa resolução, que é ≥ 5 mg/L, porém em todos os pontos analisados do período chuvoso, com exceção do PT04, as concentrações ficaram abaixo do permitido. Segundo Junior et al. (2013), isso ocorre devido o período chuvoso provocar o aumento de nutrientes no rio, que é transportado pelo escoamento superficial, ocasionando excesso de matéria orgânica na água e consequentemente ocasionando a diminuição do teor de oxigênio dissolvido.

Devido o oxigênio ser considerado como um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição, pois detecta impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica, chama-se atenção para todos os pontos em estudos, já que no período chuvoso os efeitos da poluição estão sendo intensificados e consequentemente prejudicando a biota aquática, haja vista que os baixos níveis de OD ocasiona desequilíbrios ecológicos, podendo até causar a extinção dos organismos aeróbicos (SOUSA et al., 2016; NAIME; FAGUNDES, 2005; FIORUCCI; BENEDITTI FILHO, 2005).

Tanto a Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO), quanto a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (figura 7) são importantes para identificar a quantidade de matéria orgânica no corpo hídrico, pois ambas apontam a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica presente na água, na qual a DBO é responsável para identificar a quantidade de oxigênio necessária para oxidação bioquímica, já a DQO é destinada a quantificar a oxidação química (PARRON et al., 2011).

Analisando a Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO) da baía do Guajará, observa-se que o menor valor apresentou no PT03 CH, com $5,2 \pm 3,9$ mg/L e o maior no PT02 MCH, com $14,3 \pm 5,3$ mg/L. Todos os pontos analisados, nos dois períodos (chuvoso e menos chuvoso) estão apresentando DBO acima do permitido pelo CONAMA nº357/05, que é de até 5 mg/L O₂.

Segundo o Portal da Qualidade das Águas (BRASIL, 2017), concentrações altas de DBO, em um corpo hídrico, são ocasionadas pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente por esgotos domésticos. Dessa forma, a DBO descreve diretamente o teor de matéria orgânica nos corpos d'água sendo uma indicação do potencial do consumo de oxigênio dissolvido. Com isso, observa-se na figura 7, que conforme a concentração de DBO vai se elevando o OD diminui. Valores altos de DBO encontrados no rio ocasionam a diminuição do teor de OD, algo que acarreta a mortandade de peixes e extinção de outros organismos aquáticos. (SANTOS et al., 2014).

Ao avaliar o parâmetro da Demanda Química de Oxigênio (DQO), obteve-se o menor valor no PT04 MCH com $12,5 \pm 7,0$ mg/L e o maior valor no PT01 CH com $27,3 \pm 19,8$ mg/L. Não há valor estabelecido na resolução CONAMA nº357/05 para DQO.

Contudo, a análise de DQO é necessária para saber o conteúdo orgânico da baía do Guajará.

Na análise de correlação do OD com DQO (figura 8), observa-se que esses parâmetros possuem correlação entre si. Tal correlação é inversamente proporcional, ou seja, quando há um aumento da DQO ocorre o decréscimo de OD. Tal resultado corresponde com a correlação de Pearson, em que o coeficiente de correlação foi de $-0,844$ e $p=0,008$ o que indica correlação significativa.

Figura 8 - Correlação das concentrações do OD com as de DQO encontrados na baía do Guajará.

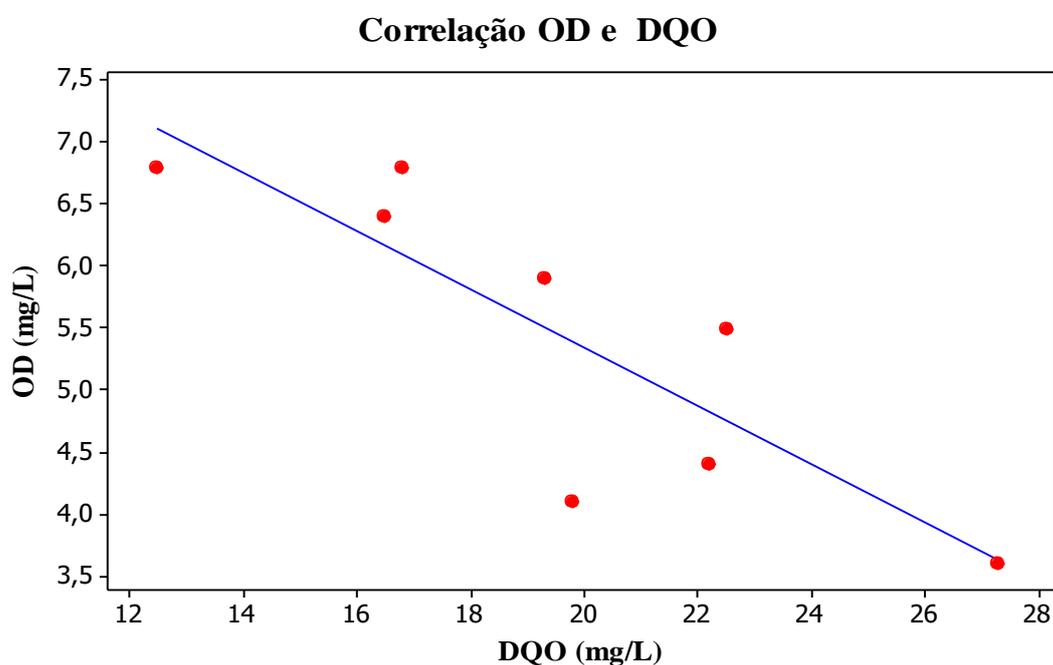
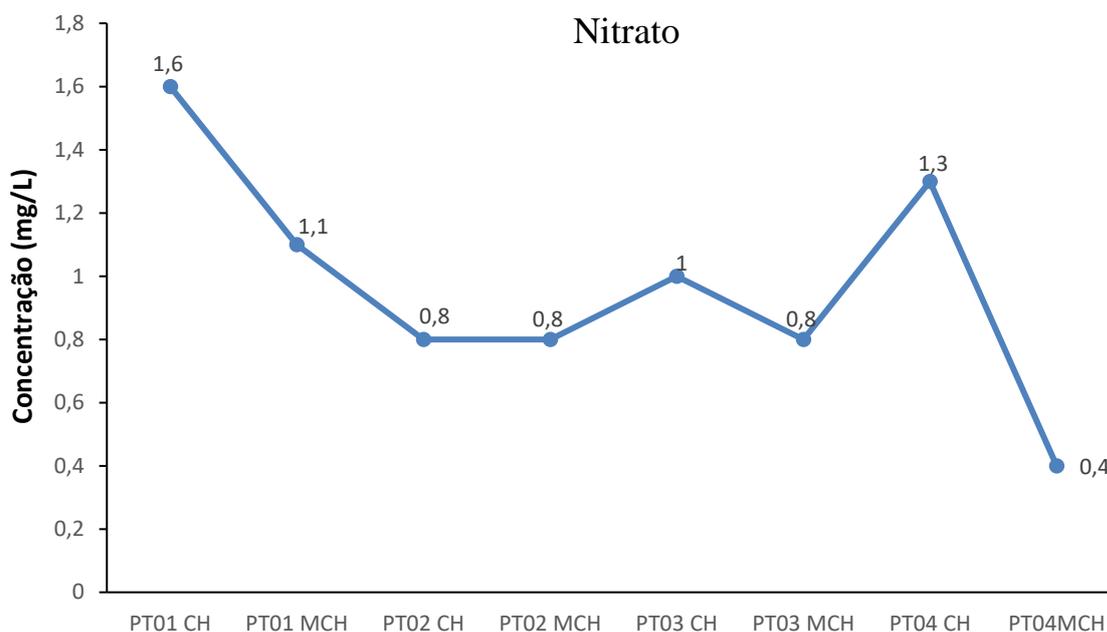


Figura 9 - Média das concentrações por período de Nitrato na baía do Guajará.



Quando avaliado as concentrações de nitrato (figura 9), a concentração mais baixa foi obtida no PT04 MCH com $0,4 \pm 0,4$ mg/L e a maior no PT01 CH com $1,6 \pm 0,8$ mg/L. Todos os teores de nitrato encontrado no estudo estão dentro do permitido pelo CONAMA nº357/05, no qual o valor limite é de 10 mg/L. Segundo Souto et al. (2006), em águas superficiais o íon nitrato ocorre geralmente em concentrações menores, podendo atingir níveis altos em águas subterrâneas.

É importante o controle da concentração de nitrato, pois em teor alto, ele pode acarretar prejuízos ambientais e trazer riscos para saúde da população, já que em pessoas adultas, a presença desse íon em água de consumo, pode ocasionar a deficiência de enzimas, e em crianças menores de um ano, o prejuízo é ainda maior, pois provoca a metemoglobinemia, conhecida também com “síndrome do bebê azul” (SILVA; BROTTTO, 2014).

Na quantificação de cloretos na baía do Guajará, não foi encontrado concentração esse íon na região. Logo não houve excedência do valor estimado pela Resolução CONAMA nº357/05, que é de 250 mg/L. É necessário a análise de cloretos constantemente na área de estudo, devido ele ser um indicador de poluição, que pode ser

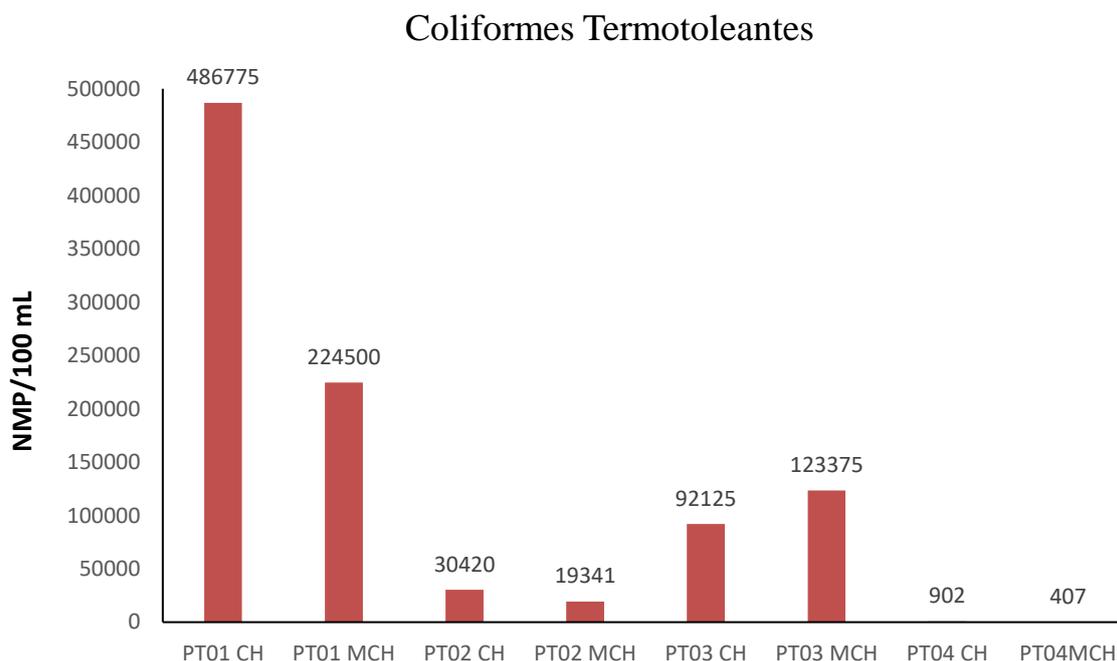
de origem antrópica ou geológica, através da lixiviação de rochas, esgotos domésticos e industriais (VASCONCELOS; SOUZA, 2011).

Na avaliação do nitrito, todos os valores para esse íon deram 0 (zero), com exceção do ponto PT01 CH com $0,20 \pm 0,24$ mg/L. Essa concentração está dentro do permitido pelo CONAMA nº357/05, em que delimita um limite de 1 mg/L de nitrito. Normalmente esse íon é encontrado em pequenas quantidades nas águas superficiais, devido ele ser instável na presença do oxigênio, advindo como uma forma intermediária (APDA, 2013).

Na análise dos coliformes termotolerantes (figura 10), o PT01 CH apresentou o maior valor, com $486775,0 \pm 286089$ NMP/100mL e o menor valor foi apresentado no PT04 MCH com $407,0 \pm 293,5$ NMP/100mL. Todos os pontos ficaram fora do estabelecido pelo CONAMA nº357/05 que é de 1000 NMP/100mL. Através de tais resultados, intui-se que os pontos em estudo estão sofrendo poluição por esgoto doméstico, haja vista que os coliformes termotolerantes são indicadores dessa poluição antropogênica, pois são bactérias que ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente, tendo como representante principal a bactéria a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal (BRASIL, 2013).

Apesar dessa bactéria não ser patogênica, sua presença em números elevados aponta para possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que provocam doenças de veiculação hídrica (ex: desintéria bacilar, febre tifóide, cólera). E isso prejudica diretamente a população que tem contato com a água da baía do Guajará, através de práticas de pesca e recreação (BRASIL, 2017).

Figura 10 - Análise dos Coliformes Termotolerante (NMP/mL) na baía do Guajará.



2.3.3 Tratamento de esgoto em Belém

Segundo o levantamento de dados do Instituto Trata Brasil, o Brasil está entre os 10 piores países do mundo em relação ao saneamento básico. A situação é mais agravante ainda na região norte, no qual menos de 10% da população tem coleta de esgoto. E em Belém a taxa de coleta e tratamento de esgoto na cidade é de apenas 8%. Ou seja, o sistema de esgoto da capital paraense é bastante precário e preocupante, haja vista que, principalmente nas regiões da periferia, o esgoto das casas é despejado em valas, córregos, nos rios e mesmo nas ruas. E isso gera graves problemas ambientais e para a saúde da população, já que podem provocar doenças que são transmitidas por meio hídrico ou pelo contato direto com o esgoto (BRASIL, 2017).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico encontrados na pesquisa, condiz com a situação alarmante de saneamento básico de Belém, no qual apontam que a contaminação encontrada na baía do Guajará é proveniente do descarte de esgotos domésticos in natura, o que gera danos irreversíveis para o ecossistema aquático e além de prejudicar a população que utiliza esse corpo hídrico para práticas de pescas ou recreação.

O crescimento populacional de forma desordenada, principalmente nos bairros periféricos de Belém, vem contribuindo ao longo do tempo, para o agravamento de lançamento de efluentes em rios, pois está ocorrendo uma expansão habitacional muito superior ao crescimento de sistemas de coleta/tratamento de esgotos e drenagem urbana. Dessa forma, os corpos hídricos são afetados com o descarte de esgotos in natura (RODRIGUES; SILVA, 2011).

Com tal situação, é de suma importância o investimento em saneamento básico, já que o mesmo está interligado diretamente a saúde da população, ao desenvolvimento ambiental e econômico. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), para cada dólar investido em água e saneamento, são economizados 4,3 dólares em custos de saúde no mundo (World Health Organization, UN-Water, 2014). Pois os gastos com saúde pública só tendem a aumentar quando não há um sistema de saneamento básico eficaz e, além disso, em uma perspectiva ambiental, o custo para descontaminar um corpo hídrico é muito alto. Logo ressalta-se a necessidade de investimento público em saneamento básico, projetos e monitoramento da qualidade de um corpo hídrico, para que assim consiga evitar os danos que a contaminação por esgotos pode causar para sociedade e o meio ambiente.

2.4 Conclusão

Os resultados da precipitação, demonstraram que durante o período chuvoso do ano de 2014, 2015 e 2016, a média da precipitação ultrapassou os das normais climatológicas. Tal fato pode ter exercido influência nos resultados dos parâmetros físico químicos da água, já que durante o período chuvoso do ano de 2015, o nível de contaminação na área de estudo foi elevado quando comparados com o período menos chuvoso. Isso está associado com o processo de arraste de matéria orgânica para o corpo hídrico, acompanhado do processo de lixiviação do solo que é intensificado pelo período de maior precipitação da região amazônica. Tais processos são agravados pelas atividades portuárias que ocorre de forma constante na região em estudo. Além disso, a situação precária de saneamento básico da região metropolitana de Belém, reflete fortemente na qualidade da água da baía do Guajará, devido o esgoto doméstico da região ser despejado de forma in natura nesse corpo hídrico. Isso afeta diretamente a biota aquática e da população, que usufrui desse local de estudo para práticas de esportes, lazer, pesca e turismo.

2.5 Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- PPGCA, ao Instituto Evandro Chagas- IEC e ao Conselho Nacional Científico e Tecnológicos- CNPq.

CAPÍTULO 3 ANÁLISE DE METAIS NO SEDIMENTO NA BAÍA DO GUAJARÁ BELÉM-PA¹.

Resumo

Manter a qualidade dos corpos hídricos é algo de extrema relevância, já que o mesmo exerce um significativo papel para o ecossistema aquático e população. Na baía do Guajará em Belém-PA, não é diferente, pois a mesma desempenha importante papel para os organismos aquáticos e exerce uma considerável influência econômica para o estado. Entretanto, sua qualidade está sendo prejudicada devido as mudanças provocadas por atividades naturais e/ou antrópica. A avaliação ambiental por meio do estudo de sedimentos (fundo e suspensão) vem se destacando como um meio de avaliar as condições ambientais de um corpo hídrico. Essa matriz, permite quantificar o grau de poluição de um determinado local e verificar possíveis contaminações que a água e os organismos aquáticos podem estar sujeitos ao longo do tempo. Dessa forma, o estudo analisou os metais Cr, Cd, Cu e Fe no sedimento de fundo, na forma total e lixiviado da baía do Guajará, Belém/PA, calculando o FC (Fator de Contaminação), I_{geo} (Índice de Geoacumulação) e FE (Fator de Enriquecimento), no intuito de verificar o grau de contaminação do sedimento de fundo, a origem dessa poluição, e assim obter um diagnóstico do local de investigação. O estudo foi realizado em 4 pontos (PT01, PT02, PT03 e PT04). As coletas ocorreram no ano de 2015, em períodos sazonais distintos (chuvoso e menos chuvoso). As amostras foram coletadas com o auxílio de dragas do tipo Van Veen. Foi realizado o processo de digestão ácida e lixiviação do sedimento coletado. Os metais foram quantificados através da técnica de ICP OES. Na análise do sedimento total, o Cd apresentou valores acima do permitido por PEL e CONAMA nº 454/2012, com concentração máxima de $5,00 \pm 0,41$ mg/Kg, já na fase lixiviada, todos os metais ficaram dentro do permitido pela legislação. No geral, os pontos apresentaram de baixa à moderada contaminação, caracterizados como ambiente não poluído à moderadamente poluído e com deficiência de enriquecimento, a origem desse enriquecimento está apontando para fonte natural. É necessário o monitoramento contínuo da baía do Guajará, haja vista que a concentração de contaminantes no sedimento pode atingir valores que causam prejuízos para biota aquática, e isso também coloca em risco a saúde da população

¹Aprovado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V09 N03 2018), QUALIS CAPES B1. Artigo na fase de edição.

humana, considerando que o processo de contaminação pode começar no sedimento e atingir os níveis mais altos da cadeia alimentar.

Palavras-chave: Sedimento. Metais. Contaminação. Diagnóstico Ambiental.

ANALYSIS OF METALS IN THE SEDIMENT IN THE BAY OF GUAJARÁ BELÉM-PA

Abstract

Maintaining the quality of water bodies is extremely important, as it plays a significant role in the aquatic ecosystem and population. In the bay of Guajará in Belém-PA, it is no different since it plays an important role for aquatic organisms and exerts considerable economic influence on the state. However, its quality is being impaired due to changes brought about by natural and / or anthropic activities. The environmental evaluation through the study of sediments (bottom and suspension) has been highlighted as a means to evaluate the environmental conditions of a water body. This matrix allows quantifying the degree of pollution of a given site and verifying possible contaminations that water and aquatic organisms may be subject to the time logo. Thus, the study analyzed the Cr, Cd, Cu and Fe metals in the bottom sediment, in the total and leached form of Guajará Bay, Belém / PA, calculating the FC (Contamination Factor), Igeo (Geoaccumulation Index) and FE (Enrichment Factor), in order to verify the degree of contamination of the bottom sediment, the origin of this pollution, and thus obtain a diagnosis of the research site. The study was performed in 4 points (PT01, PT02, PT03 and PT04). The collections occurred in the year 2015, in distinct seasonal periods (rainy and less rainy). The samples were collected with the aid of dredges of the Van Veen type. The process of acid digestion and leaching of the collected sediment was carried out. The metals were quantified using the ICP OES technique. In the analysis of the total sediment, the Cd presented values above that allowed by PEL and CONAMA n° 454/2012, with maximum concentration of 5.00 ± 0.41 mg / Kg, already in the leached phase, all the metals were within the allowed by the legislation. In general, the points presented low to moderate contamination, characterized as an unpolluted environment to a moderately polluted and with a deficiency of enrichment, the origin of this enrichment is pointing to a natural source. Continuous monitoring of the Guajará Bay is necessary since the concentration of contaminants in the sediment can reach values that cause damage to aquatic biota, and this also endangers the health of the human population, considering that the contamination process can begin in the sediment and reach the highest levels of the food chain.

Keywords: Sediment. Metals. Contamination. Environmental Diagnosis.

3.1 Introdução

Manter a qualidade dos corpos hídricos e utilizar o sistema aquático de forma sustentável, vem sendo um dos grandes desafios atualmente. Essa qualidade é influenciada por diversos fatores, como a cobertura vegetal, topografia, geologia e uso e manejo do solo. Esses fatores influenciam nas condições físicas, químicas e biológicas de uma bacia hidrográfica. Entretanto, com as alterações provocadas pelas atividades antrópicas, esses conjuntos podem sofrer alterações e ocasionar perturbações ao ecossistema aquático (FURLAN et al., 2009).

Devido a capacidade do sedimento em acumular compostos em seu compartimento, o mesmo vem se destacando como um meio de avaliar as condições ambientais de um corpo hídrico. O sedimento é caracterizado como material sólido ou semi-sólido que é depositado no fundo de rios, lagos e reservatórios e conduzido a partir da interação constante e contínua dos processos de intemperismo e erosão (LICHT, 1998).

Nos ecossistemas aquáticos, o sedimento desempenha o papel de acumular, reprocessar e transferir metais. Tais elementos químicos ficam potencialmente disponíveis para os organismos aquáticos e podem ser liberados através da atividade microbiana e mudanças nos vários parâmetros físico-químicos que afetam o meio, como o pH, salinidade e condições de óxido-redução (MORREIRA; BOAVENTURA, 2003).

A avaliação de metais no sedimento, é importante devido essa matriz ser um compartimento que funciona como um sistema de estoque de poluentes, devido sua alta capacidade de adsorção de elementos químicos (TRINDADE et al., 2012).

Existem metais que não ocasionam prejuízos para o meio, porém com seu acúmulo, podem trazer malefícios para biota aquática, como por exemplo o Fe (ferro), que pode se concentrar em valores maiores em ambientes que possui intensa atividade portuária. Há também os metais pesados, como o Cr (cromo), Cd (cádmio) e Cu (cobre), que em pequena quantidade já acarretam danos para o ecossistema aquático e sociedade (MALDONADO; WENDLING, 2009).

A análise de metais no sedimento possibilita quantificar o grau de poluição de um determinado lugar e verifica possíveis contaminações que a água e os organismos

aquáticos podem estar sujeitos ao logo do tempo. Para obter tais informações, utiliza-se ferramentas de avaliação, dentre as quais se destacam o Fator de Contaminação (FC), o Índice de Geoacumulação (I_{geo}) e o Fator de Enriquecimento (FE). Essas ferramentas têm por objetivo estimar o risco que pode afetar a saúde dos ecossistemas aquáticos (BELO et al., 2010).

O FC faz uma estimativa geral da qualidade do sedimento, já o I_{geo} possibilita obter dados quantitativos sobre a intensidade da contaminação, no qual é classificado por nível de poluição. Por sua vez, o FE avalia o grau de influência antrópica que o ambiente pode estar sofrendo, o mesmo diferencia o enriquecimento originado das atividades antrópicas e aqueles acarretadas por fenômenos naturais (ARAÚJO; SOUZA, 2012; SANTOS et al.; 2012; SILVA et al., 2002).

Assim, é de grande importância a realização de estudos detalhados dos sedimentos de rios, a fim de saber as origens e o nível de contaminação que o ambiente está sendo afetado.

Se o sedimento estiver contaminado por poluentes, o mesmo dependendo das condições físico-química da água, pode ser biodisponibilizado para a coluna d'água e para os organismos que estão no 1º nível trófico da cadeia alimentar, como as algas e os macroinvertebrados bentônicos, tais indivíduos estão na base da teia alimentar e servem de alimento para a biota aquática, como os peixes, que são em sua maior parte ingeridos pela população humana. Dessa forma, ressaltasse a necessidade do monitoramento frequente da baía do Guajará, já que a mesma exerce um importante papel para a biota aquática, população e para a economia do Pará (REPULA et al., 2012; SILVA et al., 2008).

À vista disso, esta pesquisa avaliou os metais cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) e ferro (Fe) no sedimento e na lixiviação desse sedimento na baía do Guajará, localizada na cidade de Belém no Estado do Pará, analisando o fator de contaminação (FC), o índice de geoacumulação (I_{Geo}) e o fator de enriquecimento (FE), a fim verificar o grau de contaminação do sedimento e a origem dessa poluição, e assim obter um diagnóstico do local de estudo.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na baía do Guajará, posicionada na margem direita do Rio Pará (Amazônia), com cerca de 30 km de extensão e 4 km de largura, e recebe a contribuição hídrica e sedimentar de dois sistemas fluviais: rio Guamá e rio Acará. Além disso, é a principal conexão entre a sub-bacia Guamá- Moju e o estuário do rio Pará. Essa sub-bacia tem como principais drenagens os rios Guamá, Moju, Acará e Capim (GREGÓRIO; MENDES, 2009; MIRANDA; MENDES, 2007).

A geomorfologia da área de estudo é composta por um substrato irregular constituído por lama (fluída a composta) e areia (fina a média), formando bancos (barras) sedimentares. Cerca de 72% do substrato são cobertos por sedimento do tipo LL1. As areias, predominante do setor noroeste, são geralmente de coloração avermelhada, por conta da presença do óxido de ferro. Já ao longo da orla de Belém, há predominância do teor de lama composta por silte e argila (GREGÓRIO; MENDES, 2009).

Ocorre uma redução da precipitação pluviométrica em junho; e em dezembro essa taxa começa a se elevar. O clima na área de estudo é quente e úmido, com baixa variação de temperatura e estação seca mal definida (MORAES et al., 2005).

Os pontos em estudos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Pontos da área estudo e suas respectivas referências.

Pontos	Latitude	Longitude	Localização
Ponto 01	01°28'41.8'' S	048°29'19.1'' W	Porto Bom Jesus
Ponto 02	01°26'58.0'' S	048°30'05.6'' W	Porto Belém- Belém - Armazém três Companhia Docas do Pará
Ponto 03	01°24'49.1'' S	048°29'41.0'' W	Canal São Joaquim
Ponto 04	01°16'16.3'' S	048°28'59.9'' W	Outeiro

3.2.2 Coleta

As coletas ocorreram no ano de 2015, durante os seguintes meses: MARÇO, JUNHO, SETEMBRO e DEZEMBRO, correspondente aos períodos chuvoso e menos chuvoso da região amazônica.

O sedimento de fundo foi coletado com o auxílio de draga do tipo Van Veen (20x20x20cm) (Figura 1) de acordo com o procedimento de coletas proposto por Eleftheriou; Mcintyre (2005), foi retirado aproximadamente 1Kg de amostra cada ponto analisado.

Figura 1 - Coleta do sedimento de fundo.



Fonte: autora.

Após coletadas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, mantidas sob refrigeração e levadas aos laboratórios de Toxicologia, na Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (SAMAM/IEC).

3.2.3 Análise Laboratorial

3.2.3.1 Sedimento de fundo

As amostras passaram pelo processo de secagem a temperatura ambiente, retirando-se após esse período, a fração bruta e em seguida foi realizado o processo de maceramento e peneiração em uma malha de 53mm e assim tirado a fração de 270 mesh.

3.2.3.2 Digestão das amostras de sedimento

Na digestão das amostras de sedimento, foi utilizada uma massa aproximada de 0,2g. As amostras foram acidificadas com 3 ml de HNO_3 (ácido nítrico, 65% v.v⁻¹), 1 ml

HCl (ácido clorídrico 38% v.v⁻¹), 1 ml de HF (ácido fluorídrico 40% v.v⁻¹) e 2 ml de H₃BO₃ (ácido bórico 99,59% v.v⁻¹), após esse procedimento as amostras foram expostas à radiação por micro-ondas (MarsXpress - CEM) para digestão total dos elementos.

Foi utilizado o programa com rampa de potência e temperatura detalhadas na tabela 2, em seguida as amostras foram retiradas do forno e aferidas com água deionizada para um volume final de 50 ml.

Tabela 2 - Programação da rampa de temperatura do forno de micro-ondas.

Rampa	Potência (W)	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Estabilização (minutos)
1	400	2	110	1
2	800	4	150	1
3	800	30	200	1
4	800	10	Resfriamento	0

3.2.3.3 Lixiviação do sedimento

Para a determinação dos metais biodisponíveis, pesou-se 1,0g da amostra de sedimento em um erlenmeyer e foi adicionado 25 ml de HCl (ácido clorídrico) a 0,10 mol L⁻¹, passando pelo processo de agitação em um agitador horizontal (RECIPRO SHAKER, SR-1) a 200 rpm, por 2 h. Após esse processo as amostras foram centrifugadas (COTTA, et al., 2006)

3.2.3.4 Determinação dos metais nas amostras de sedimento.

Os metais foram quantificados pela técnica de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Induzido (ICP OES), modelo Vista- MPX CCD simultâneo (Varian, Mulgrave, Austrália), configuração axial e equipado com um sistema de amostragem automático (SPS-5). O controle das condições operacionais do ICP OES foi realizada com o software ICPExpert Vista.

3.2.3.5 Normalização dos dados

A normalização é um procedimento utilizado para obter e quantificar concentrações irregulares de metais em sedimentos (Hortellani et al., 2008). Nesse trabalho foi utilizado a normalização através da extrapolação da curva de regressão, no

qual os pontos do estudo que ficaram fora do limite de confiança da regressão (intervalo de 95%) não foram utilizados para obtenção do valor de referência para o metal analisado.

Como elemento normalizador da concentração dos metais em estudo no sedimento e como o elemento de referência natural (background), foi utilizado o teor do Al, devido o mesmo ser um dos mais abundantes na crosta terrestre e apresentar melhor recuperação na análise das amostras certificada, no processo de quantificação dos metais no sedimento (figuras 2, 3, 4 e 5).

Figura 2 - Relação entre a concentração do Cd versus o teor de Al.

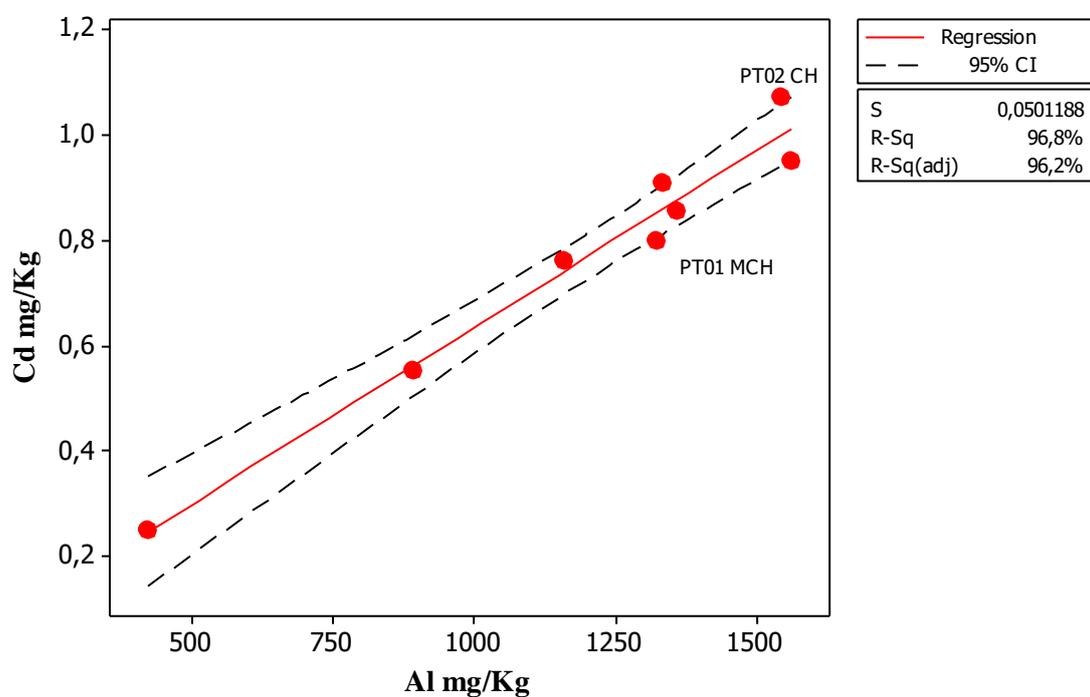


Figura 3 - Relação entre a concentração do Cr versus o teor de Al.

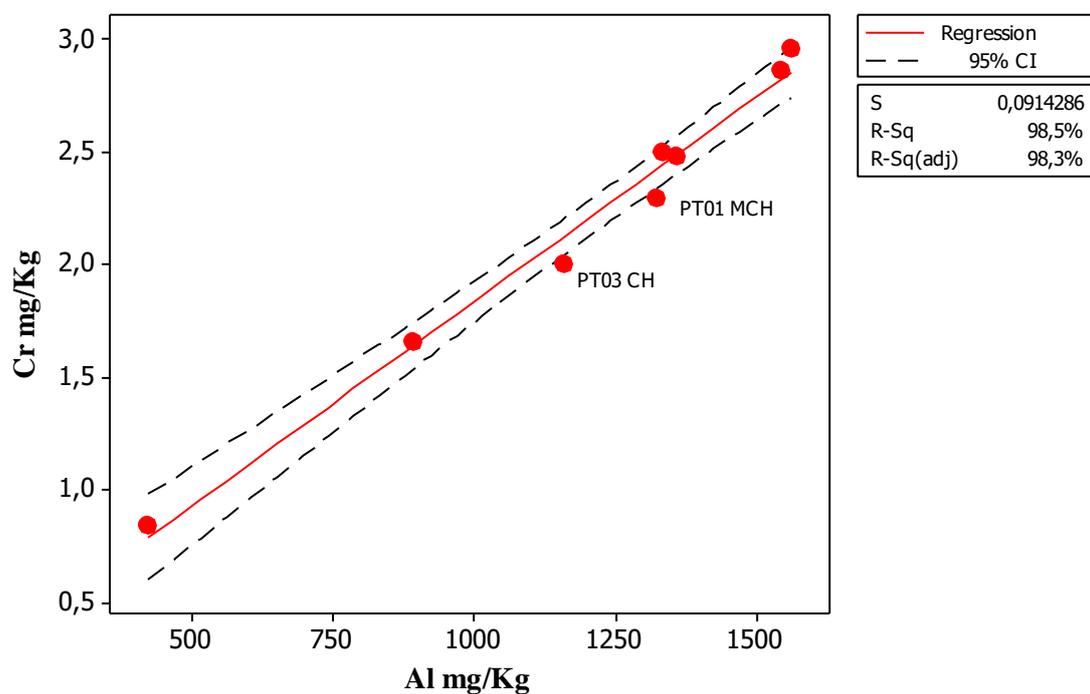


Figura 4 - Relação entre a concentração do Cu versus o teor de Al.

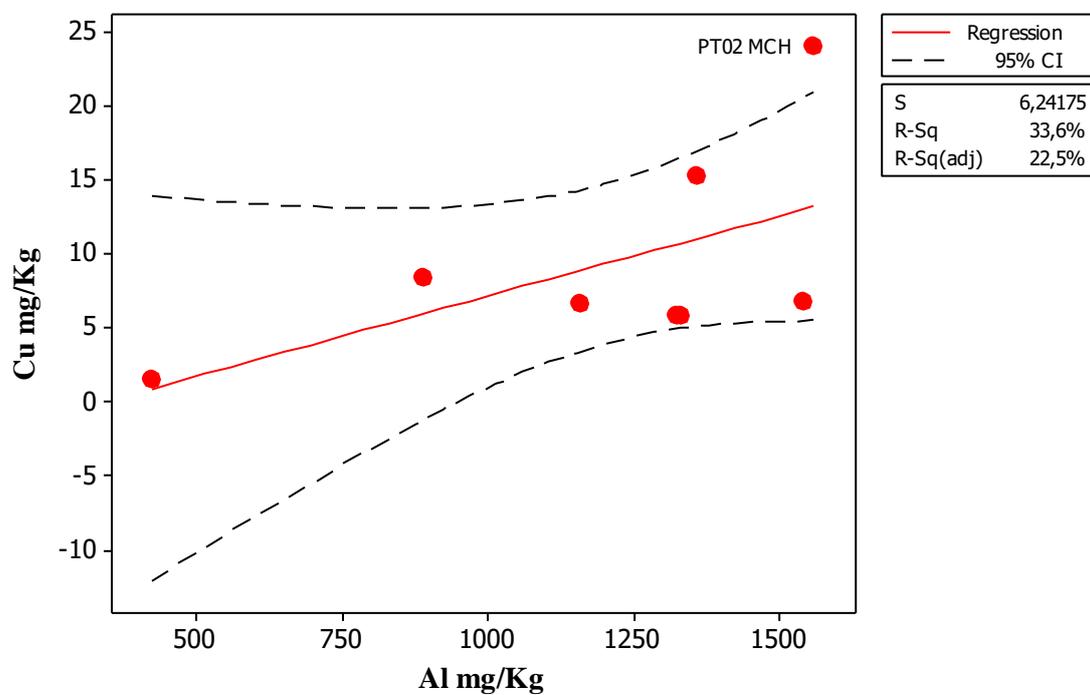
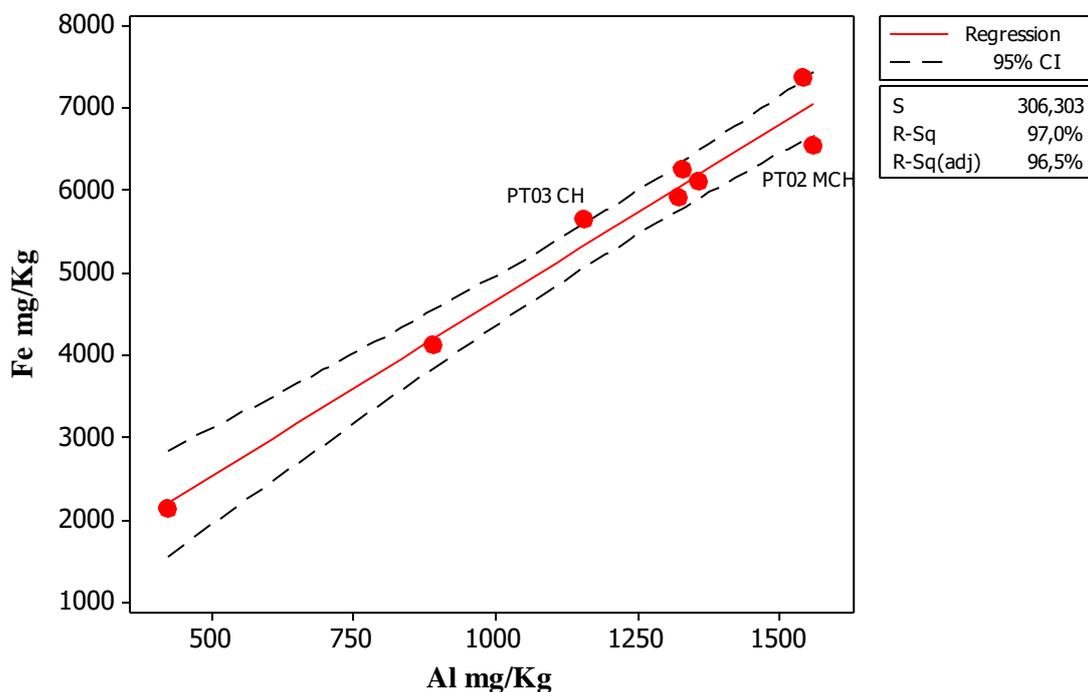


Figura 5 - Relação entre a concentração do Fe versus o teor de Al.



3.2.3.6 Fator de contaminação (FC)

Para uma avaliação geral da qualidade do sedimento, foi utilizado o fator de contaminação (FC) proposto por Hakanson (1980) (equação 01). Esse fator é obtido através da seguinte equação:

$$FC = \frac{C_n}{CB_n}$$

Equação 01

Em que:

FC= Fator de Contaminação;

C_n= Concentração do metal “n” no sedimento;

CB_n= Concentração do metal “n” do background.

Segundo Hakanson (1980), os resultados obtidos através do FC são classificados através da seguinte forma:

FC < 1 = Baixa contaminação;

FC = 1 a 3 = Moderada contaminação;

FC = 3 a 6 = Considerável contaminação;

FC > 6 = Alta contaminação.

3.2.3.7 Índice de Geoacumulação (I_{geo}).

O I_{geo} é realizado com o objetivo de saber a intensidade da contaminação, o mesmo é calculado através da seguinte equação de Müller (1979) (equação 02):

$$I_{geo} = \log_2 [(C_n / 1,5 \times C_{Bn})]$$

Equação 02

Em que:

C_n = Concentração do metal “n” na fração fina do sedimento;

C_{Bn} = Concentração média do metal “n” no background;

1,5 = Fator de correção para prováveis variações do “background”.

De acordo com os valores que são obtidos por via do I_{geo} , os fatores relacionados ao grau de poluição são distribuídos em 7 classes, conforme é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do grau de poluição através do I_{geo} .

Classificação	Classe do I_{geo}	I_{geo} Média “Background”
Extremamente Poluído	6	>5
Fortemente à extremamente Poluído	5	>4 a 5
Fortemente Poluído	4	>3 a 4
Moderadamente à Fortemente Poluído	3	>2 a 3
Moderadamente Poluído	2	> 1 a 2
Não Poluído a Moderadamente poluído	1	>0 a 1
Praticamente não Poluído	0	<0

Fonte: Müller (1979).

3.2.3.8 Fator de Enriquecimento (FE)

O FE definido por Gresens (1967) é utilizado para avaliar o grau de impacto que o ambiente está sofrendo, e designar a origem desse impacto, que pode ser de fonte natural ou antropogênica.

O FE é obtido através do seguinte cálculo utilizado por Yongming et al., 2006 (equação 03):

$$FE = \frac{(C_m/C_{vrl})_{amostra}}{(B_m/B_{vrl})_{VRL}} \quad \text{Equação 03}$$

Em que:

C_m = Concentração de determinado elemento no local de interesse;

C_{vrl} = Concentração do elemento de referência;

B_m = Valor de referência local do elemento em estudo;

B_{vrl} = Valor de referência local do elemento de referência.

A contaminação do ambiente calculada através do FE é classificada da seguinte forma:

$FE < 2$ = Deficiência de enriquecimento

$FE = 2 - 5$ = Enriquecimento moderado

$FE = 5 - 20$ = Enriquecimento significativo

$FE = 20 - 40$ = Enriquecimento muito alto

$FE > 40$ = Enriquecimento extremamente alto

Quando o valor do $FE \leq 2$ aponta para contribuição natural, porém quando o mesmo apresentar $FE > 2$ é devido a contribuição de fonte antropogênica (ARAÚJO; SOUZA, 2012).

3.3 Resultados e discussão

Os resultados da análise dos metais no sedimento total e lixiviado, foram comparados com os valores do controle de qualidade estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n°454 de 01 Novembro de 2012 (BRASIL, 2012) e pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente, através do TEL (*Threshold Effect Level*), que se refere ao nível de efeito limiar abaixo do qual não ocorre efeito prejudicial à comunidade biológica; e PEL (*Probable Effect Level*), com referência ao nível de efeito provável à ocorrência de efeitos antagônicos à biota (CCME, 1995). Dentre os metais analisados, não há valores de referência para o Fe nessas resoluções.

As figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam, respectivamente, as concentrações dos metais Cd, Cr, Cu e Fe no sedimento total, conforme os pontos e os períodos chuvoso (CH) e menos chuvoso (MCH) do ano de 2015.

Figura 6 - Concentração do Cd no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.

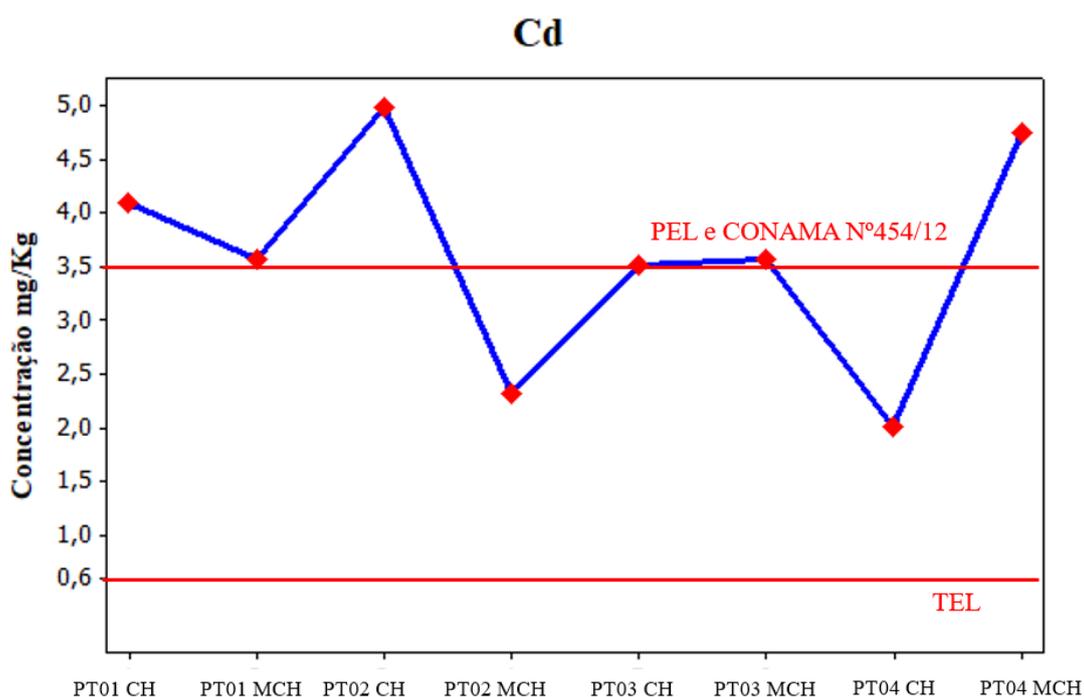


Figura 7 - Concentração do Cr no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.

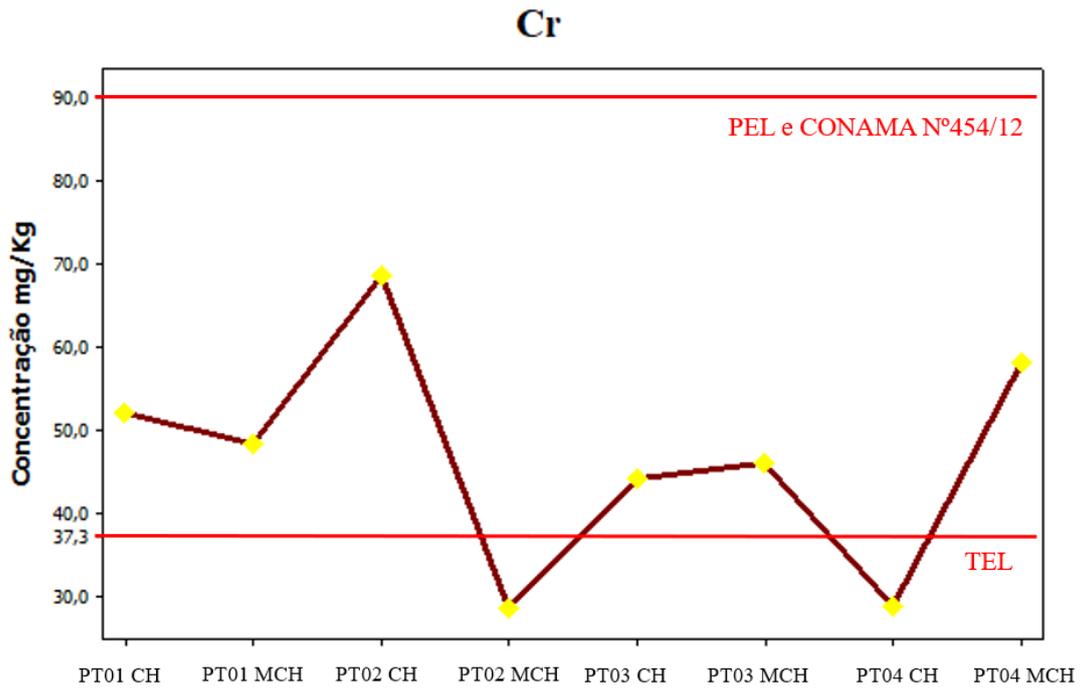


Figura 8 - Concentração do Cu no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.

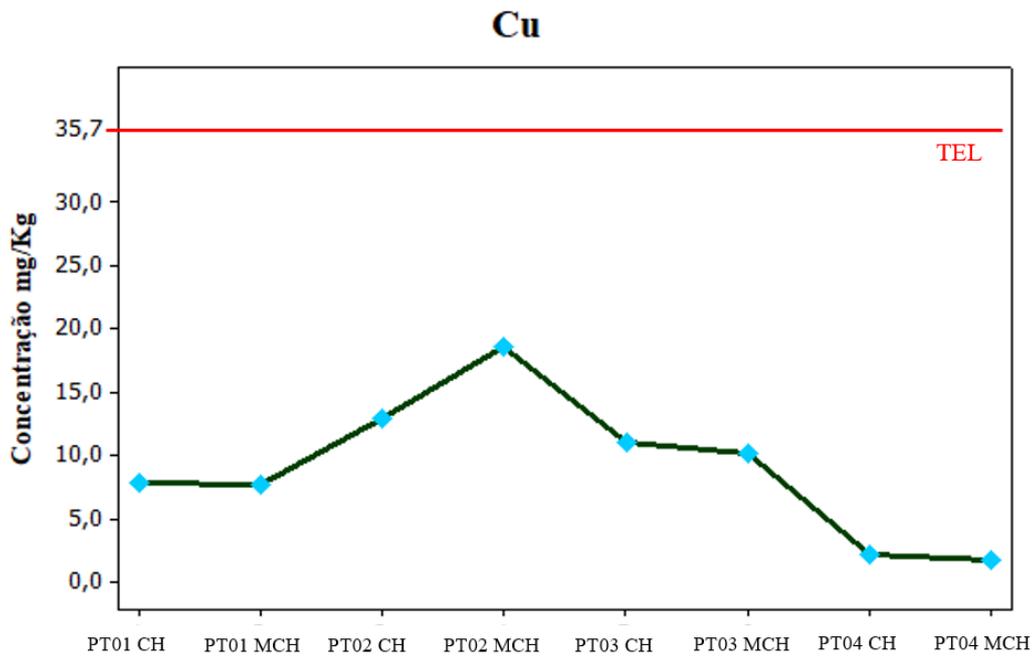
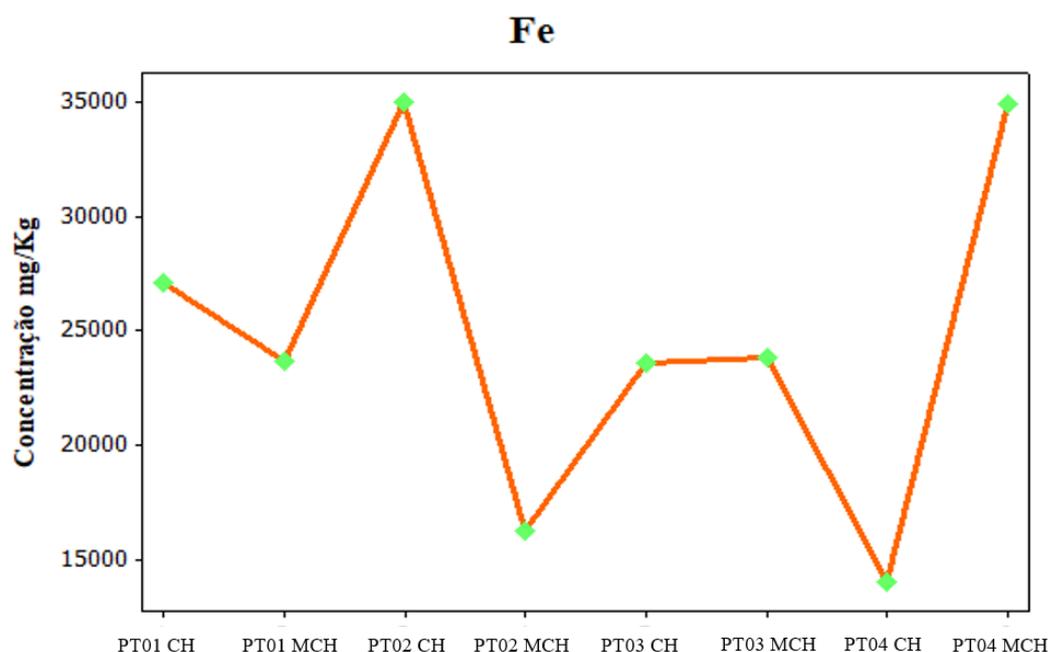


Figura 9 - Concentração do Fe no sedimento em mg/Kg, na baía do Guajará.



Ao analisar as concentrações dos metais no estudo, a concentração máxima e mínima, do Cd foi de $5,00 \pm 0,41$ e $2,02 \pm 2,84$ mg/Kg, respectivamente. Com exceção dos pontos PT02 MCH, PT03 CH e PT04 CH, em todos os pontos apresentaram concentrações que ficaram acima do permitido pela resolução CONAMA nº454/2012 e PEL. Com isso, chama-se atenção para a investigação desse metal, pois o mesmo pode estar acarretando prejuízos ambientais que compromete a qualidade da água e da biota aquática, já que os organismos aquáticos apresentam dois tipos de comportamento em relação aos metais pesados: eles podem ser sensíveis à ação tóxica de um determinado metal, ou então eles podem não ser sensíveis, porém bioacumulando o metal, incrementando seu efeito nocivo através dos níveis tróficos das cadeias alimentares, colocando em risco os indivíduos situados nos topos destas cadeias (MALDONADO; WENDLING, 2009).

Dessa forma, é de suma importância uma vigilância minuciosa nos pontos em estudos, já que as amostras de sedimentos analisadas estão em concentração de Cd elevada. Os demais metais encontrados no sedimento total, estão dentro do permitido pela CONAMA nº454/2012, TEL e PEL.

Apesar do CONAMA e CCME não dispor valores de referência para concentração do Fe no sedimento, é importante a análise desse metal, devido sua alta concentração

encontrada na região em estudo. E concentrações elevadas podem prejudicar a qualidade da água e do ecossistema aquáticos.

Para saber a biodisponibilidade dos metais no sedimento, foi realizado o lixiviamento das amostras, apresentando os resultados na tabela 4.

Tabela 4. Teor de metais nos sedimentos lixiviado na baía do Guajará.

Metais mg.Kg ⁻¹	PT01		PT02		PT03		PT04		TEL	PEL e CONAMA nº 454/12
	CH	MCH	CH	MCH	CH	MCH	CH	MCH		
Cd	0,91 ± 0,08	0,80 ± 0,06	1,07 ± 0,18	0,95 ± 0,67	0,76 ± 0,37	0,87 ± 0,16	0,25 ± 0,35	0,11 ± 0,09	0,6	3,5
Cr	2,50 ± 0,01	2,30 ± 0,21	2,86 ± 0,22	2,96 ± 2,08	2,00 ± 0,94	2,39 ± 0,37	0,84 ± 1,18	1,11 ± 0,28	37,3	90,0
Cu	5,92 ± 0,03	5,81 ± 0,65	6,77 ± 0,13	24,06 ± 17,01	6,67 ± 2,88	7,69 ± 0,67	1,58 ± 2,23	1,34 ± 0,92	35,7	197
Fe	6250,83± 259,54	5910,16± 126,28	7357,92± 855,91	6547,96± 4630,10	5650,97± 2005,98	6559,86± 771,04	2146,07± 3034,98	1095,26± 835,15	-	-

Ao analisar a biodisponibilidade do sedimento através da sua lixiviação, podemos observar que todos os metais estão dentro do permitido por TEL, PEL e CONAMA nº454/12. Dessa forma, comparando os resultados do Cd no sedimento lixiviado e da análise do sedimento total, podemos perceber que esse metal está se concentrando em maiores quantidades no sedimento total e não está sendo biodisponibilizado para o meio.

Segundo Maldonado; Wendling (2009), a entrada de metais pesados é facilitada pela dispersão de materiais particulados no ambiente, pois tais elementos traço entram em contato com o solo ou o ar e são espontaneamente carregados para os corpos hídricos, no qual os mesmos podem ficar disponíveis ou armazenados no sedimento. Tal ocorrência está acontecendo nos pontos em estudos, pois nota-se que o Cd está se concentrado no sedimento, mas não está sendo disponibilizado para o meio.

Um dos papéis importante que o sedimento exerce sobre o monitoramento ambiental, é que o mesmo tem a capacidade de concentrar metais por mais tempo e em maiores concentrações que a coluna d'água, devido a água passar por um processo de escoamento. No sedimento, uma vez que o metal se deposita, com o passar do tempo ele

tende a aumentar essa concentração, tornando novamente disponível em solução. Dessa forma, através do sedimento, poderemos ter respostas da contaminação em longo prazo e saber as fontes e o grau de contaminação que o ambiente estudo está passando (POMPÊO, 2013).

Para obter tais respostas sobre as fontes e grau de contaminação, foi realizado os cálculos do Fator de Correção (FC), Índice de Geoacumulação (I_{geo}) e Fator de enriquecimento (FE). Utilizou-se o AI para fazer a normalização por regressão (figuras 2, 3, 4 e 5), a fim de obter os valores de background para cada metal em estudo.

Na Figura 10 e 11, é apresentado os valores do FC para os metais analisados. Esse fator é utilizado para quantificar o grau de contaminação que o ambiente estar sofrendo.

Figura 10 - Valores dos FC do Cd e Cr, calculados para os pontos de coletas na baía do Guajará. Em que $FC < 1$ = Baixa contaminação; $FC = 1$ a 3 = Moderada contaminação.

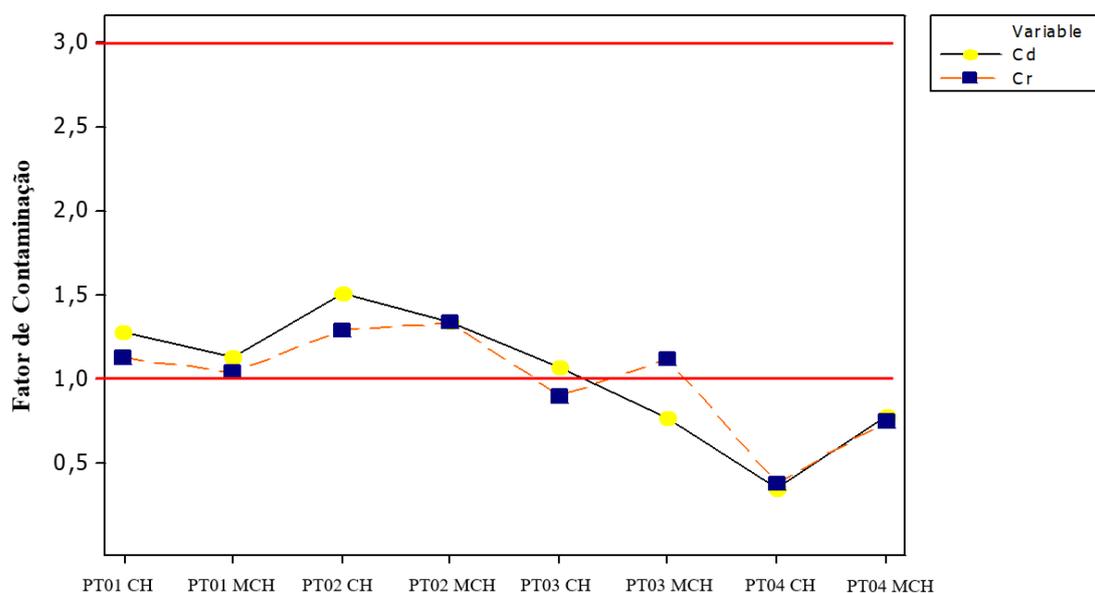
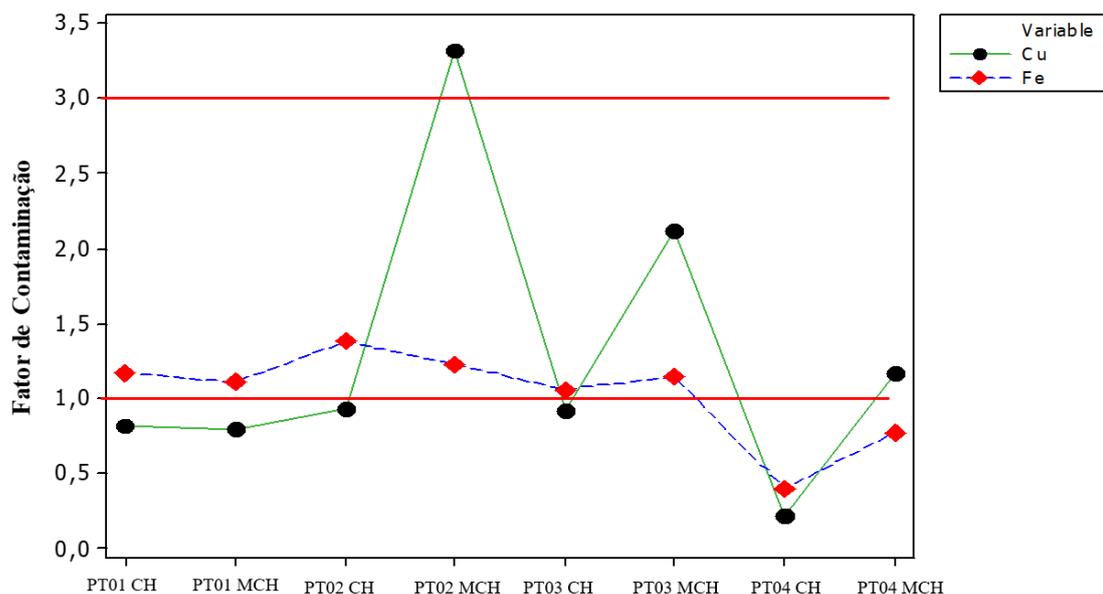


Figura 11 - Valores dos FC do Fe e Cu, calculados para os pontos de coletas na baía do Guajará. Em que $FC < 1$ = Baixa contaminação; $FC = 1$ a 3 = Moderada contaminação.



Ao analisar o Cd e Cr (figura 10), observa-se que para o Cd os pontos PT03 MCH, PT04 CH e PT04 MCH e para o Cr os pontos PT03 CH e PT04 MCH, apresentaram valores menor que 1, representando baixa contaminação na área em estudo, os demais pontos apresentaram valores que ficaram na faixa de 1 à 3, representando indício de moderada contaminação por esses metais.

Na figura 11, os resultados do FC para o Fe apresentam a possibilidade de baixa contaminação para os pontos PT04 dos períodos CH e MCH, os demais pontos estão apresentando evidências de moderada contaminação. Já para o Cu os pontos PT03 MCH e PT04 MCH estão apresentando indícios de moderada contaminação, e o ponto PT02 MCH está apontado para considerável contaminação, os demais pontos para esses metais apresentaram a possibilidade de moderada contaminação.

Oliveira et. al (2015) em seu estudo na baía do Guajará, também encontraram o FC apresentando baixa à moderada contaminação, ao qual concluiu que a concentração dos metais no sedimento desse corpo hídrico, não está afetando a biota aquática.

Apesar do presente estudo diagnosticar o ambiente com indícios de baixa e moderada contaminação, é importante realizar uma análise contínua, haja vista que o sedimento tem capacidade de acumular metais por longo tempo e isso pode aumentar o nível de contaminação da baía do Guajará.

Na tabela 5 são apresentados os resultados obtidos através do cálculo do I_{geo} . Esse índice designa o grau de poluição que o ambiente está sofrendo (tabela 3).

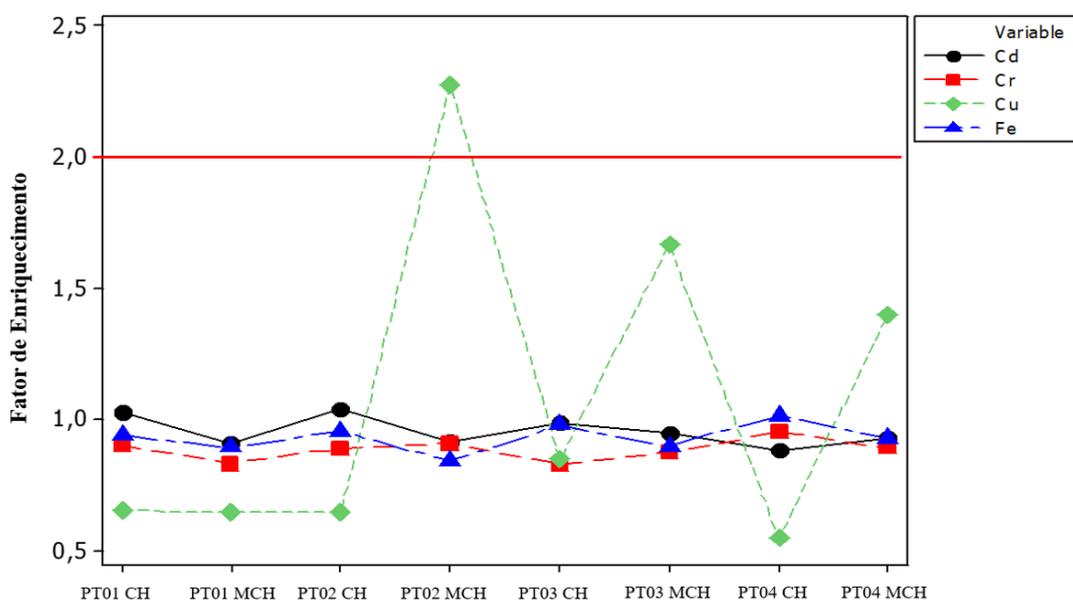
Tabela 5. Valores do I_{geo} encontrados na baía do Guajará.

Pontos	Cd	Cr	Fe	Cu
PT01 CH	0,26	0,23	0,16	0,24
PT01 MCH	0,23	0,21	0,16	0,22
PT02 CH	0,30	0,26	0,19	0,28
PT02 MCH	0,27	0,27	0,67	0,25
PT03 CH	0,21	0,18	0,19	0,21
PT03 MCH	0,24	0,22	0,43	0,23
PT04 CH	0,07	0,08	0,04	0,08
PT04 MCH	0,16	0,15	0,24	0,16

Todos os pontos apresentaram classe 1, que corresponde a classificação de ambiente não poluído à moderadamente poluído (Tabela 3). Resultado correspondente ao que foi encontrado por Zhao et al. (2017) em seus estudos em um estuário na China.

O FC e o I_{geo} quantificam, respectivamente, o grau e a classificação da poluição que o ambiente está sofrendo. Entretanto, é necessário saber a origem dessa poluição, para tal informação realizou-se o cálculo do Fator de Enriquecimento (FE), em que designa se a poluição dos pontos em estudo é gerada através da atividade natural ou antropogênica. Os resultados do FE são apresentados na figura 12.

Figura 12 - Valores de FE para o Cd, Cr, Fe e Cu, encontrado na baía do Guajará. Em que valores do $FE < 2$, caracteriza o ambiente como deficiente de enriquecimento e $FE = 2 - 5 =$ Enriquecimento moderado.



A Figura 12 constata que a fonte de enriquecimento que está atingindo os pontos em estudo é predominantemente de origem natural, devido sua deficiência de enriquecimento apresentada. Resultado similar ao que Oliveira et al. (2015) encontrou na baía do Guajará.

A concentração dos metais por contribuição natural, é devido aos processos físicos e químicos, como o intemperismo e carreamento do solo e rochas (SIQUEIRA et al., 2006).

Apenas o ponto PT02 MCH apresentou valor maior que 2, algo que caracteriza a poluição do ambiente por contribuição antropogênica (ARAÚJO; SOUZA, 2012). Isso pode estar associado à intensa atividade portuária que há nesse ponto, já que o mesmo corresponde ao Armazém 03 do Porto Belém.

3.4 Conclusão

Características como a redistribuição e o acúmulo de poluentes, classificam o sedimento como uma matriz de forte importância nos estudos de impactos ambientais, já que através dele, é possível obter a resposta da poluição, por um período maior, da área de estudo. Tornando-se uma ferramenta positiva para a área de análise apresentada nessa pesquisa.

Os resultados encontrados através dos cálculos do FC, I_{geo} e FE, apontam para contribuição das concentrações dos metais analisados, por origem natural. Porém, é necessário uma análise minuciosa desses elementos, em especial o Cd, já que o mesmo apresentou teores fora do permitido pelo CONAMA Nº 454/12 e PEL. E tendo em vista que o Cd é um metal pesado, sua elevada concentração no ambiente coloca em risco o ecossistema aquático e a saúde da população humana, considerando que o processo de contaminação pode começar no sedimento, e alcançar os níveis mais altos da cadeia alimentar.

3.5 Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- PPGCA, ao Instituto Evandro Chagas- IEC e ao Conselho Nacional Científico e Tecnológicos- CNPq.

CAPÍTULO 4 OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA BAÍA DO GUAJARÁ EM BELÉM-PA.

Resumo

Devido às alterações ambientais nos corpos hídricos provocadas por atividades antrópicas e/ou naturais, apresenta-se a necessidade de realizar um monitoramento ambiental, a fim de saber os prejuízos que os recursos hídricos estão sofrendo. Atualmente vem sendo utilizado o biomonitoramento para o diagnóstico desses recursos, dentre os métodos de análise, os macroinvertebrados bentônicos vem se sobressaindo, devido a sua sensibilidade às variações físicas e químicas que ocorrem em seu habitat, suas características morfofisiológicas, ciclo de vida suficientemente longo e fácil identificação. Desse modo, destaca-se nessa pesquisa a utilização dos organismos bentônicos como ferramenta para a avaliação ambiental. O estudo foi realizado na baía do Guajará em Belém-PA em 4 pontos (PT01, PT02, PT03 e PT04). As coletas ocorreram no ano de 2015, no período chuvoso e menos chuvoso da região amazônica. As amostras foram coletadas com o auxílio de dragas do tipo Van Veen. Foi realizada a análise do comportamento dos indivíduos bentônicos, através dos descritores ecológicos como riqueza (S), abundância (N), equitabilidade (J') e diversidade (H'), realizando também a análise dos metais cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) e ferro (Fe) nos organismos bentônicos e no sedimento de fundo do rio, a fim de obter o fator de bioacumulação (FAB). O filo mais representativo encontrado foi o Annelida, com a maior parte das espécies referentes à classe Polychaeta e a subclasse Oligochaeta (classe Clitellata). Os Oligochaetas pertencente à família Tubificidae foi o que mais se destacaram. Tal família é caracterizada como tolerantes e oportunistas a situações de hipóxia, conseguindo habitar em ambientes com água eutrofizada. Os resultados dos descritores ecológicos mostraram que a maior riqueza, abundância, diversidade e melhor equitabilidade, foram encontradas no período menos chuvoso, devido a diminuição da correnteza que esse período provoca, o que ocasiona menos perturbações na comunidade bentônica. Os resultados dos metais nos indivíduos bentônicos mostram que o Cd obteve maior concentração no PT02 MCH com $10,37 \pm 14,66$ mg/Kg, já para o Cr, Cu e Fe a concentração mais elevada foi apresentada no PT03 MCH com concentrações de $534,81 \pm 482,36$ mg/Kg; $302,61 \pm 239,10$ mg/Kg; $28430,19 \pm 18357,20$ mg/Kg, respectivamente. As maiores concentrações

do Cd, Cr e Fe, foram encontradas no PT02 CH com concentrações $5,00 \pm 0,41$ mg/Kg; $68,87 \pm 7,64$ mg/Kg; $35034,39 \pm 2746,47$ mg/Kg, respectivamente. Já o valor máximo do Cu foi encontrado no PT02 MCH com $18,70 \pm 26,43$ mg/Kg. Através dos resultados dos metais no sedimento e nos bentos, obteve-se o FAB, em que foi constatado que para todos metais em estudo, está ocorrendo o processo de bioacumulação. Dessa forma, podemos observar que os pontos em estudos estão sofrendo impactos que pode ser devido a intensa atividade portuária e lançamento de esgoto in natura no corpo hídrico em estudo. Com isso, é importante o biomonitoramento contínuo da região em estudo, pois os bentos desempenham um papel significativo nos ecossistemas aquáticos, já que formam um elo entre os produtores primários. E a bioacumulação pode gerar danos tanto para o ecossistema aquático quanto para população.

Palavras-chave: Avaliação ambiental. Biomonitoramento. Macroinvertebrados bentônicos. Bioacumulação.

THE BENTHIC MACROINVERTEBRATES AS AN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT TOOL IN THE BAY OF GUAJARA IN BELÉM-PA

Abstract

Due to the environmental changes in the water bodies caused by anthropic and / or natural activities, it is necessary to carry out an environmental monitoring in order to know the damages that the water resources are suffering. Biomonitoring is currently being used for the diagnosis of these resources. Among the methods of analysis, benthic macroinvertebrates have been outstanding, due to their sensitivity to the physical and chemical variations that occur in their habitat, their morphological characteristics, a long enough life cycle and easy identification. Thus, the use of benthic organisms as a tool for environmental assessment is highlighted in this research. The study was carried out in Guajará bay in Belém-PA in 4 points (PT01, PT02, PT03 and PT04). The collections occurred in the year 2015, during the rainy and less rainy period of the Amazon region. The samples were collected with the aid of dredges of the Van Veen type. The analysis of the behavior of the benthic individuals, through the ecological descriptors such as wealth (S), abundance (N), equitability (J') and diversity (H'), Cr, copper (Cu) and iron (Fe) in the benthic organisms and the bottom sediment of the river, in order to obtain the bioaccumulation factor (FAB). The most representative phylum found was the Annelida, with most of the species referring to the class Polychaeta and the subclass Oligochaeta (class Clitellata). The Oligochaetas belonging to the Tubificidae family was the most prominent. Such family is characterized as tolerant and opportunistic to situations of hypoxia, being able to inhabit in environments with eutrofizada water. The results of the ecological descriptors showed that the greatest richness, abundance, diversity and better equitability were found in the less rainy period, due to the decrease of the current that this period causes, which causes less disturbances in the benthic community. The results of the metals in the benthic individuals showed that the Cd obtained a higher concentration in the PT02 MCH with 10.37 ± 14.66 mg / Kg, whereas for the Cr, Cu and Fe the highest concentration was presented in PT03 MCH with concentrations of $534, 81 \pm 482.36$ mg / kg; 302.61 ± 239.10 mg / kg; 28430.19 ± 18357.20 mg / kg, respectively. The highest concentrations of Cd, Cr and Fe were found in PT02 CH with concentrations of 5.00 ± 0.41 mg / kg; 68.87 ± 7.64 mg / kg; 35034.39 ± 2746.47 mg / kg, respectively. The

maximum value of Cu was found in PT02 MCH with 18.70 ± 26.43 mg / kg. Through the results of the metals in the sediment and in the benthos, the FAB was obtained, in which it was observed that for all metals under study, the bioaccumulation process is taking place. In this way, we can observe that the points in studies are suffering impacts that may be due to intense port activity and the release of fresh sewage in the water body under study. Thus, continuous biomonitoring of the study region is important, as benthos play a significant role in aquatic ecosystems, since they form a link between primary producers. And bioaccumulation can cause damage to both the aquatic ecosystem and the population.

Keywords: Environmental assessment. Biomonitoring. Benthic macroinvertebrates. Bioaccumulation.

4.1 Introdução

Os recursos hídricos vêm sofrendo grandes alterações, que podem ser de origem natural ou antrópica, tais alterações provocam perturbações aos ecossistemas aquáticos e acarretam prejuízos tanto para eles quanto para a sociedade, já que a mesma precisa desse recurso para sua subsistência (Sterz et al., 2011; SILVA JUNIOR, 2006).

Para saber possíveis impactos que o ecossistema aquático está sofrendo, é necessário que seja realizado o monitoramento ambiental. Entre os métodos de monitoramento, o biomonitoramento vem se destacando, o mesmo é uma ferramenta de avaliação das comunidades biológicas, no qual é analisado o comportamento das mesmas e as perturbações nas condições ambientais a que pertencem. Dessa forma, podemos obter através dessa comunidade, respostas das modificações que seu habitat está sofrendo (GOULART et al., 2003).

Entre as ferramentas de biomonitoramento, os macroinvertebrados bentônicos vem se sobressaindo. Esses organismos habitam no fundo do rio, agrupando-se aos mais diversos tipos de substratos, que podem ser orgânicos, como folhiço e macrófitas aquáticas, e inorgânicos, como cascalho, areia e rochas. Além disso, os indivíduos bentônicos são muito sensíveis às variações físicas e químicas que ocorrem nos corpos hídricos. Suas características morfofisiológicas, abundância e riqueza, natureza sedentária, ciclo de vida suficientemente longo e fácil visualização e identificação, atribuem a estes organismos uma grande capacidade de bioindicação da qualidade ambiental (GOULART et al., 2003; HEPP et al., 2007).

Para monitorar um corpo hídrico utilizando os macroinvertebrados bentônicos é necessário que se faça um diagnóstico de seu comportamento, pois é dessa forma que teremos a resposta sobre as perturbações ambientais que estão ocorrendo nesse meio. A análise do comportamento das espécies bentônicas é realizada através dos descritores ecológicos (COPATTI et al., 2010).

Os descritores ecológicos são índices de abundância (N), riqueza (S), diversidade (H') e equitabilidade (J'), que são avaliados através do modo que as espécies se comportam no ambiente. Através da análise desses descritores podemos verificar quando um ambiente está sofrendo perturbações, no qual podem ser de origem natural ou antropogênica (GOMES et al., 2004).

Pode-se também avaliar um ambiente limpo ou poluído pela especificidade das espécies bentônicas que surge na área em estudo, pois há determinadas espécies que são típicas de ambientes limpo, como as ninfas de Plecoptera e larvas de Trichoptera - Insecta, e existem outras que são adaptáveis em ambientes mais contaminados, por serem mais tolerante como Amphipoda – Crustacea e alguns Heteroptera e Odonata – Insecta, há ainda aqueles que são resistentes às perturbações ambientais como alguns Chironomidae – Diptera, Insecta e Oligochaeta – Annelida. A maior parte dos ambientes poluídos possuem baixa diversidade de espécies e alta densidade de indivíduos bentônicos mais tolerantes, como os *Chironomus* e *Polypedilum* – Diptera, Chironomidae e Tubificidae – Oligochaeta (CALLISTO et al., 2001).

Além do comportamento dos macroinvertebrados bentônicos, pode-se fazer uma avaliação ambiental por via de seus tecidos, através da análise de metais presente nesses organismos. Sabe-se que existem metais, como o ferro (Fe), alumínio (Al) e zinco (Zn), que são caracterizados como essenciais, e os que podem apresentar elevada taxas de toxicidade para os organismos vivos, como o cromo (Cr), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e o níquel (Ni). No entanto, até mesmo os metais que são considerados essenciais podem vir a serem tóxicos em alta concentração (CHIBA et al., 2011).

Os indivíduos bentônicos possuem também outra característica importante, que é a de acumular metais em seu organismo, processo denominado como bioacumulação. Os organismos bioacumuladores (“organismos-sentinela”) são uma ótima ferramenta para medir em longo prazo a concentração de poluentes (Sterz et al., 2011).

Chama-se a atenção para a avaliação de metais nesses indivíduos, pois os mesmos exercem importante papel nos ecossistemas aquáticos, já que conectam os produtores primários aos representantes superiores da cadeia alimentar, podendo criar problemas em relação ao alimento para seres humano, já que esses pertencem à classe dos consumidores finais da cadeia alimentar (SILVA et al., 2008; REPULA et al., 2012).

Desta forma, esta pesquisa analisou as condições ambientais da qualidade da água no entorno da baía do Guajará, na cidade de Belém no Estado do Pará, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade ambiental, avaliando seu comportamento e os metais presente nos organismos desses indivíduos e no sedimento de fundo do rio, a fim verificar se está ocorrendo o processo de bioacumulação

de metais nos mesmos. E assim obter um diagnóstico da qualidade ambiental do local de estudo.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na baía do Guajará a oeste de Belém, posicionada na margem direita do Rio Pará (Amazônia), com cerca de 30 km de extensão e 4 km de largura, e recebe a contribuição hídrica e sedimentar de dois sistemas fluviais: rio Guamá e rio Acará (GREGÓRIO; MENDES, 2009; MIRANDA; MENDES, 2007). Os pontos em estudos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Pontos da área estudo e suas respectivas referências.

Pontos	Latitude	Longitude	Localização
Ponto 01	01°28'41.8'' S	048°29'19.1'' W	Porto Bom Jesus
Ponto 02	01°26'58.0'' S	048°30'05.6'' W	Porto Belém- Belém - Armazém três Companhia Docas do Pará
Ponto 03	01°24'49.1'' S	048°29'41.0'' W	Canal São Joaquim
Ponto 04	01°16'16.3'' S	048°28'59.9'' W	Outeiro

A geologia da área de análise é constituída por sedimentos da Formação Barreiras, composta por arenitos, siltitos, argilitos e alguns conglomerados. Há ocorrência de depósitos sedimentares arenoso, na região noroeste da baía, em que se localiza o ponto de Outeiro, e lamosos, na região leste-sudeste, em que se encontram os demais pontos do estudo. A predominância de sedimento é de caráter lamoso (72%), de origem fluvial (GREGÓRIO; MENDES, 2009; GREGÓRIO, 2008).

Na região central da baía, ocorre bifurcação das correntes, em que uma componente acompanha o fluxo da enchente e a outra o fluxo da vazante. Com isso, ocorre a dissipação de energia quando essas duas correntes se chocam, e os sedimentos lamosos e arenosos que estavam sendo levados em suspensão pelos rios Guamá e Acará são depositados no percurso da margem direita da baía do Guajará e assim ocasionando

a formação dos bancos lamosos e areno-lamoso com pequeno grau de seleção (GREGÓRIO, 2008).

4.2.2 Coleta

As coletas ocorreram durante o ano de 2015, nos seguintes meses: MARÇO, JUNHO, SETEMBRO e DEZEMBRO, correspondente aos períodos chuvoso (CH) e menos chuvoso (MCH) da região amazônica.

Foram retiradas, por ponto, quatro amostras de sedimento de fundo, sendo três destinados para caracterização biológica e quantificação de elementos traços na macrofauna bentônica e uma para análise de metais no sedimento. O sedimento de fundo foi coletado com o auxílio de draga do tipo Van Veen (20x20x20 cm) de acordo com o procedimento de coletas proposto por Eleftheriou e McIntyre. (2005).

Após coletadas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, mantidas sob refrigeração e levadas aos laboratórios de Biologia Ambiental e de Toxicologia, da seção de Meio Ambiente no Instituto Evandro Chagas (SAMAM/IEC).

4.2.3 Análise laboratorial

4.2.3.1 Macrofauna bentônica

No laboratório as amostras passaram por malhas de 0,3 mm de abertura e lavadas com água corrente para triagem das amostras biológicas e retirada do excesso de sedimento (Figura 1A e B). O material retido na malha é colocado em recipientes com álcool etílico a 70% (v.v⁻¹) e corados com rosa bengala. Após isso as amostras são triadas, e os organismos identificados sob microscópio estereoscópico e microscópio óptico ao menor nível taxonômico possível, e por fim, contados (Figura 1C). Após esta etapa, o material foi conservado em álcool etílico a 70% (v.v⁻¹).

Figura 1 - Coleta do sedimento de fundo. Em: (A) e (B) lavagem do sedimento e (C) triagem e identificação dos macroinvertebrados bentônicos.

**A****B****C**

Fonte: Autora.

4.2.3.2 Descritores Ecológicos

Para descrever as variações espaço-temporais da estrutura das comunidades macrobentônicas, foram calculados para cada amostra e pontos de coleta (média das três amostras coletadas) os descritores biológicos: abundância (ind. m^{-2}), riqueza (pela simples contagem do número de táxons e índice de Margalef), diversidade (índice Shannon-Weaver) e equitabilidade (índice J de Pielou). Os dados de abundância bruta foram utilizados para cálculos de participação relativa por táxons (CLARKE et al., 2001). Esses procedimentos foram realizados com o auxílio do software PRIMER.

4.2.3.3 Sedimento de fundo

As amostras passaram pelo processo de secagem em temperatura ambiente, retirando-se após esse período, a fração bruta e sendo realizado o processo de maceramento e peneiração em uma malha de 53mm e assim tirado a fração de 270 mesh.

4.2.3.4 Digestão dos organismos bentônicos

Para o processo de digestão das amostras de bentos, as mesmas foram congeladas em um freezer $-70^{\circ}C$ por 24h (Figura 2A) e liofilizadas por mais 24h (Figura 2B). Após esse período foram pesadas e digeridas por radiação de microondas (MarsXpress - CEM)

(Figura 2C) adicionando 3,0 ml HNO₃ (ácido nítrico) e 1,0 ml H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) (VINAS et al., 2000).

Foi utilizado para etapa de digestão das amostras o programa com rampa de potência e temperatura detalhadas na tabela 2, em seguida as amostras foram retiradas do forno e aferidas com água deionizada para um volume final de 25 ml.

Tabela 2 - Programação da rampa de temperatura do forno de micro-ondas para a metodologia dos macroinvertebrados bentônico.

Rampa	Potência (W)	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Estabilização (minutos)
1	800	5	120	5
2	800	5	170	5
3	1600	5	220	5
4	800	5	170	5
5	800	5	120	5
6	0	10	Resfriamento	0

Figura 2. Procedimento de digestão das amostras de bentos. Em: (A) Congelamento das amostras bentônicas; (B) Processo de liofilização e (C) Digestão das amostras.



A



B



C

Fonte: Autora.

4.2.3.5 Digestão das amostras de sedimento

Na digestão das amostras de sedimento foi utilizada uma massa aproximada de 0,2g. As amostras foram acidificadas com 3 ml de HNO₃ (ácido nítrico, 65% v.v⁻¹), 1 ml HCl (ácido clorídrico 38% v.v⁻¹), 1ml de HF (ácido fluorídrico 40% v.v⁻¹) e 2ml de H₃BO₃ (ácido bórico 99,59% v.v⁻¹). Após esse procedimento as amostras foram

expostas à radiação por microondas (MarsXpress - CEM) para digestão total dos elementos.

Utilizando-se o programa com rampa de potência e temperatura detalhadas na tabela 3, em seguida as amostras foram retiradas do forno e aferidas com água deionizada para um volume final de 50 ml.

Tabela 3 - Programação da rampa de temperatura do forno de microondas para a metodologia

Rampa	Potência (W)	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Estabilização (minutos)
1	400	2	110	1
2	800	4	150	1
3	800	30	200	1
4	800	10	Resfriamento	0

4.2.3.6 Determinação dos metais nas amostras de bentos e sedimento.

Os metais foram quantificados pela técnica de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Induzido (ICP OES), modelo Vista- MPX CCD simultâneo (Varian, Mulgrave, Austrália), configuração axial e equipado com um sistema de amostragem automático (SPS-5). O controle das condições operacionais do ICP OES foi realizada com o software ICPExpert Vista.

4.2.3.7 Fator de Bioacumulação (FAB).

Para identificar a capacidade de macroinvertebrados bentônicos em acumular metais, foi realizado o cálculo do fator de bioacumulação (FBA) (equação 01). Valores de $FBA \geq 01$ representa a bioacumulação do metal no organismo avaliado (CHIBA et al., 2011).

$$FBA = \frac{\text{Concentração do metal no organismo}}{\text{Concentração do metal no sedimento}}$$

equação 01

4.3 Resultados e discussão

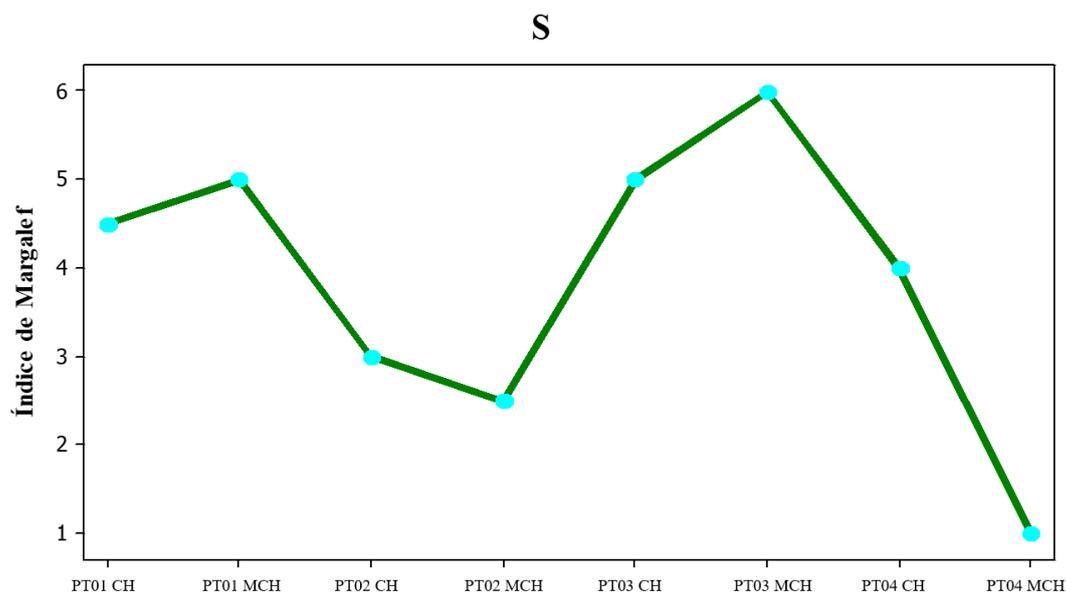
Foi coletado o total de 875 indivíduos bentônicos, pertencente à oito unidades taxonômicas. Os filos encontrados no estudo foram o Annelida e Arthropoda. No qual o mais representativo foi o Annelida, com 99% das espécies encontradas, pertencente a maior parte a classe Polychaeta e a subclasse Oligochaeta (classe Clitellata).

Nas amostras referentes ao PT02, coletadas no mês de junho, não foi identificado indivíduos bentônicos, impossibilitando a realização da análise nessas amostras.

4.3.1 Descritores Ecológicos

Quando avaliados os descritores ecológicos, como riqueza (S), abundância (N), equitabilidade (J') e diversidade (H') por período de amostragem. Foi observado que a maior S (figura 3) foi identificada no PT03 MCH e a menor foi no ponto PT04 MCH. A baixa S está relacionada ao processo de degradação ambiental, que ocasiona a diminuição da taxa de oxigênio dissolvido, algo que prejudica o ecossistema aquático e o que gera a diminuição da S no ambiente que está sendo impactado (Taniwaki; Smith, 2011).

Figura 3 - Variação do descritor ecológico riqueza (S) por período de amostragem da baía do Guajará.

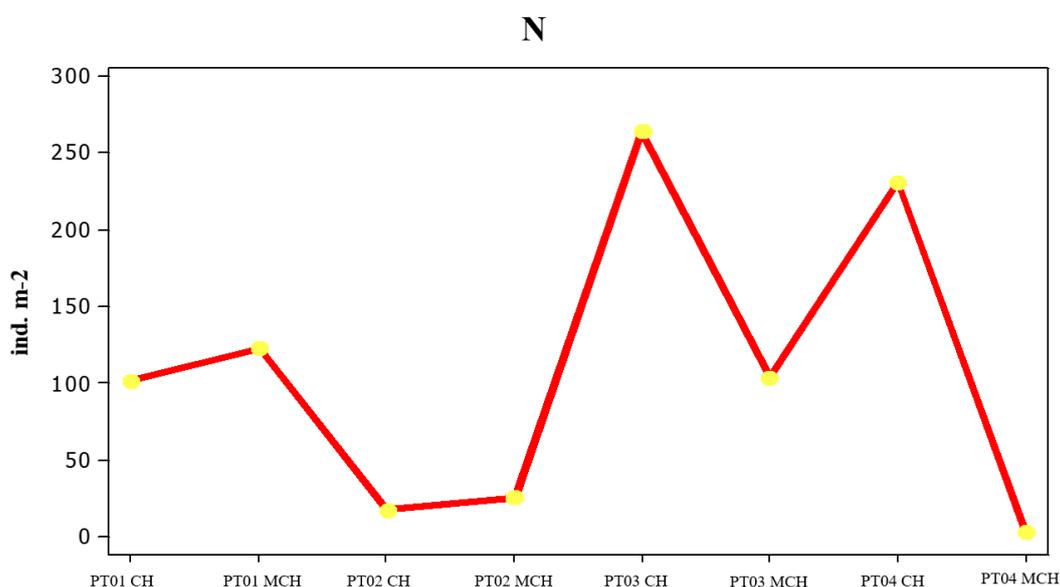


Dessa forma, chama-se atenção para o PT04, pois o mesmo é referente ao Outeiro. Esse ponto está localizado próximo praia da Brasília, ambiente no qual recebe

frequentemente os banhistas e que a população usa o recurso hídrico desse ponto para sua subsistência (BRASIL, 2017).

A maior N foi apresentada no PT03 CH (figura 4). Vale a pena ressaltar que o cálculo de abundância foi realizado através da contagem dos indivíduos bentônicos. Em todos os pontos do estudo, a maior parte das espécies encontradas pertencem à família Tubificidae da subclasse Oligochaeta, segundo Chiba et al. (2011) a alta presença dessa família no ambiente é indicativo de ecossistema deteriorado.

Figura 4. Variação do descritor ecológico abundância (N) por período de amostragem da baía do Guajará.



Os Oligochaetas destacam-se no biomonitoramento devido eles serem classificados como tolerantes e oportunistas a situações extremas como hipóxia, com alta abundância registrada em locais com restrições de habitat, como os que possuem água eutrofizadas. Além disso, essa subclasse participa do processo de bioturbação do sedimento, em que transporta substâncias profundas para a superfícies, tornando tais substâncias disponíveis à biota aquática (NASCIMENTO, 2009). Dessa forma, chama-se atenção para o PT03, que obteve maior abundância das espécies pertencente a essa subclasse (ROSENBERG et al., 1993; GOULART et al., 2003).

É importante salientar que o PT03 é referente ao canal São Joaquim, esse canal faz parte da bacia do Una. O canal do Una é um igarapé que recebe 40% do esgoto urbano de Belém que é lançado sem pré-tratamento e, além disso, fica próximo ao terminal de Miramar, local em que há intensa movimentação de combustíveis líquidos e gasosos

(BRASIL, 2017). No período chuvoso ocorre um maior arraste de matéria orgânica e carregamento de nutrientes, do solo para o corpo hídrico, o que provoca um aumento de contaminantes durante esse período (GUTJAHR et al., 2014).

A J' está relacionada com a distribuição das espécies no ambiente em estudo, quanto mais próximo de 1 mais uniforme está a distribuição das espécies, ou seja, o ambiente não está sofrendo perturbações o que ocasiona uma boa distribuição das espécies. Na figura 5, podemos observar que a melhor equitabilidade foi apresentada no ponto PT01 MCH.

A precipitação influi na equitabilidade dos indivíduos bentônico, devido o período chuvoso ocorrer intensa lixiviação do sedimento por via do intemperismo nas margens do estuário, o que provoca perturbação na comunidade e conseqüentemente sua distribuição fica menos balanceada (MONTEIRO et al., 2015). Ao avaliar a diversidade (H') dos organismos (gráfico 6), o ponto que obteve destaque foi o PT03 e o menos diverso foi o PT04 ambos no período menos chuvoso.

Figura 5 - Variação do descritor ecológico equitabilidade (J') por período de amostragem da baía do Guajará.

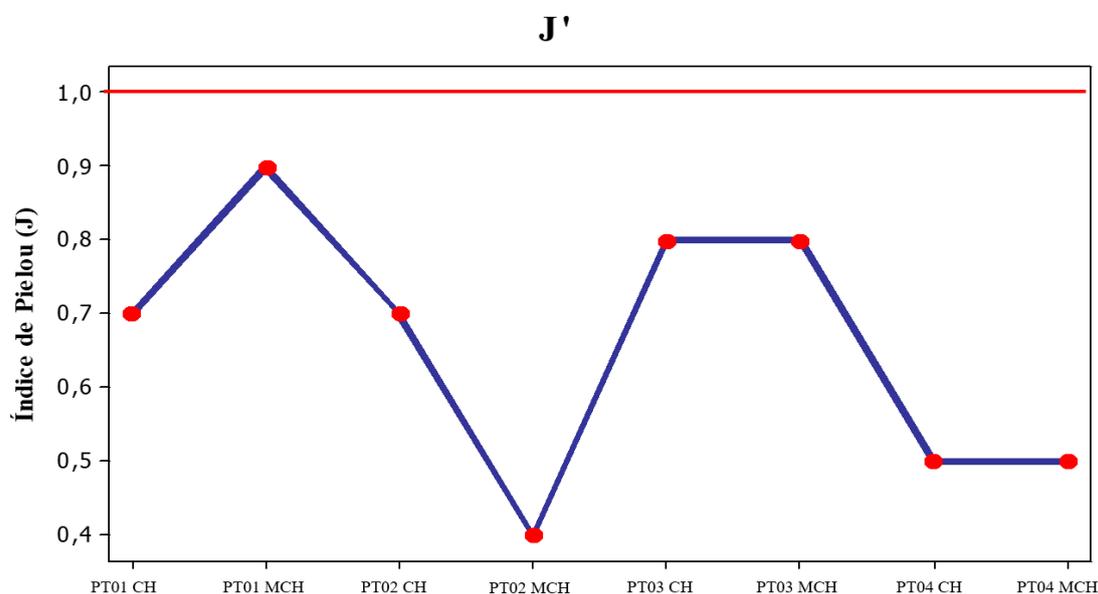
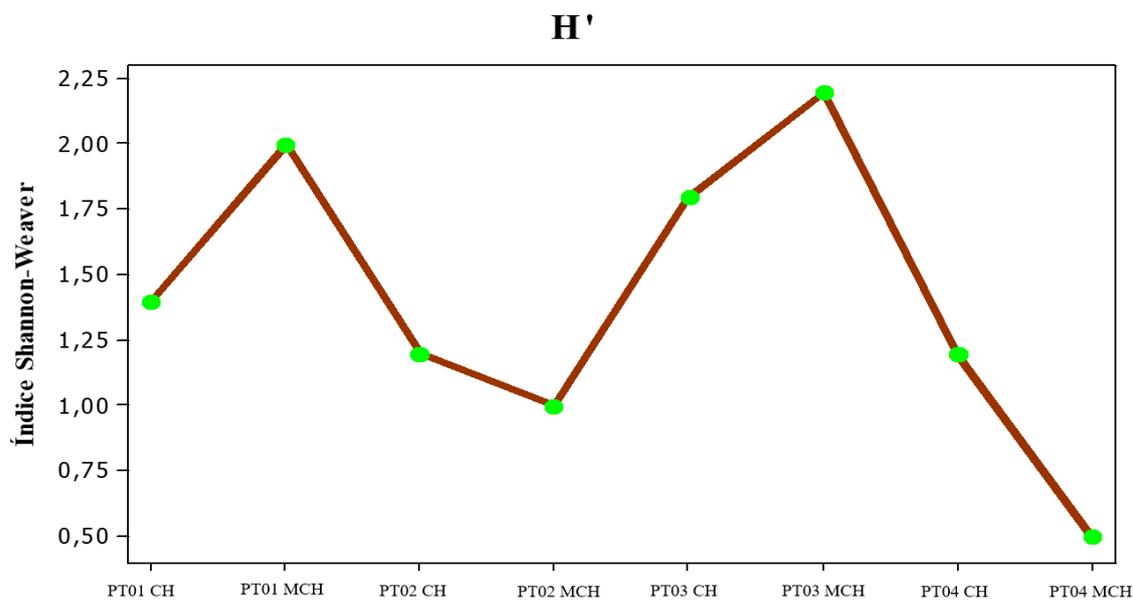


Figura 6 - Variação do descritor ecológico diversidade (H') por período de amostragem da baía do Guajará.



Observando os descritores ecológicos em relação ao período chuvoso e menos chuvoso, nota-se que a maior riqueza, diversidade e a melhor equitabilidade, foram encontradas no período menos chuvoso. Segundo Chagas et al. (2017), quando esses índices se apresentam com valores elevados, geralmente é indício de ambiente em bom estado. Tal resultado no período menos chuvoso, pode estar associado à diminuição da correnteza que esse período provoca, o que ocasiona menos perturbações na comunidade bentônica por conta de uma maior estabilidade do substrato sedimentar e isso contribui para distribuição das espécies de forma igualitária e indivíduos mais ricos e diversos (SILVA, 2007).

4.3.2 Análise de Metais nos Macroinvertebrados Bentônicos e no Sedimento

Para análise de metais nos indivíduos bentônicos, foi calculado a média por ponto dos períodos de amostragem, no qual obtivemos os seguintes valores descritos na tabela 4.

Tabela 4 - Média e Desvio Padrão da concentração do Cd, Cr, Cu e Fe em mg/Kg, nas amostras dos macroinvertebrados bentônicos.

Pontos	Cd	Cr	Cu	Fe
PT01 CH	6,20 ± 8,77	61,45 ± 50,80	149,14 ± 45,63	4576,98 ± 1082,98
PT01 MCH	7,91 ± 11,19	148,84 ± 164,39	214,70 ± 166,36	13697,30 ± 8476,92
PT02 CH	0,002 ± 0,0	118,31 ± 126,77	157,89 ± 12,78	13362,73 ± 13683,72
PT02 MCH	10,37±14,66	143,38 ± 202,75	210,01 ± 297,00	4876,72 ± 6896,65
PT03 CH	1,04 ± 1,46	151,04 ± 131,03	268,62 ± 140,65	6469,59 ± 1403,09
PT03 MCH	0,89± 1,25	534,81 ± 482,36	302,61 ± 239,10	28430,19 ± 18357,20
PT04 CH	0,41 ± 0,58	495,69 ± 663,79	205,25 ± 192,40	10605,63 ± 926,13
PT04 MCH	7,91 ± 11,19	85,14 ± 120,39	149,15 ± 210,93	2644,83 ± 3740,29

Os resultados dos metais nos indivíduos bentônicos mostram que o Cd obteve maior concentração no PT02 MCH com 10,37±14,66 mg/Kg, já para o Cr, Cu e Fe a concentração mais elevada foi apresentada no PT03 MCH com concentrações de 534,81 ± 482,36 mg/Kg; 302,61 ± 239,10 mg/Kg; 28430,19 ± 18357,20 mg/Kg, respectivamente. Para avaliar se essas concentrações podem provocar algum prejuízo ambiental, é necessário realizar o cálculo do Fator de Bioacumulação (FAB). E para obter o mesmo é necessário o valor das concentrações dos metais no sedimento. Dessa forma, os resultados do sedimento são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Concentração do Cd, Cr, Cu e Fe em mg/Kg nas amostras de sedimento.

Pontos	Cd	Cr	Cu	Fe
PT01 CH	4,11 ± 0,18	52,26 ± 1,92	7,94 ± 0,24	27133,74 ± 208,03
PT01 MCH	3,57 ± 0,2	48,54 ± 1,82	7,70 ± 0,94	23724,84 ± 1038,88
PT02 CH	5,00 ± 0,41	68,87 ± 7,64	12,90 ± 1,37	35034,39 ± 2746,47
PT02 MCH	4,65 ± 3,28	57,41 ± 40,59	18,70 ± 26,43	32555,64 ± 23020,3
PT03 CH	3,52 ± 0,78	44,35 ± 13,63	11,04 ± 6,11	23596,04 ± 6754,00
PT03 MCH	3,57 ± 0,14	46,10 ± 1,85	10,20 ± 1,1	23847,54 ± 1372,07
PT04 CH	4,03 ± 2,84	57,84 ± 40,89	4,51 ± 3,18	28033,94 ± 19822,98
PT04 MCH	4,76 ± 2,91	58,27 ± 38,73	1,73 ± 2,43	34956,64 ± 17531,44

As maiores concentrações do Cd, Cr e Fe, foram encontradas no PT02 CH com concentrações $5,00 \pm 0,41$ mg/Kg; $68,87 \pm 7,64$ mg/Kg; $35034,39 \pm 2746,47$ mg/Kg, respectivamente. Já o valor máximo do Cu foi encontrado no PT02 MCH com $18,70 \pm 26,43$ mg/Kg. Tal ponto pode ter apresentado níveis maiores de metais do que os demais locais de estudo, devido a intensa atividade portuária que ocorre nesse local. Em que serviços de dragagem, geração de resíduos sólidos e efluentes provocado por essa atividade, ocasionam perturbações para o meio ambiente. Dessa forma, as embarcações de diversas regiões, que são ancoradas nesse ponto, podem está trazendo poluentes para esse local, através da emissão de gases e partículas sólidas, algo que provoca alteração na qualidade da água, prejudicando também o ecossistema aquático existente nesse ambiente (SILVA et al., 2012).

4.3.3 Fator de Bioacumulação (FAB)

Tendo em vista que algumas espécies da comunidade bentônica se alimentam de material particulado (sedimento), é necessário quantificar se tais concentrações de metais estão acumulando no tecido desses organismos, com isso, realizou-se o FAB.

Através do cálculo do FAB (equação 01) para os metais Cd, Cr, Cu e Fe, obteve-se os seguintes resultados apresentados na figura 7, 8, 9 e 10, respectivamente.

Figura 7 - Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Cd.

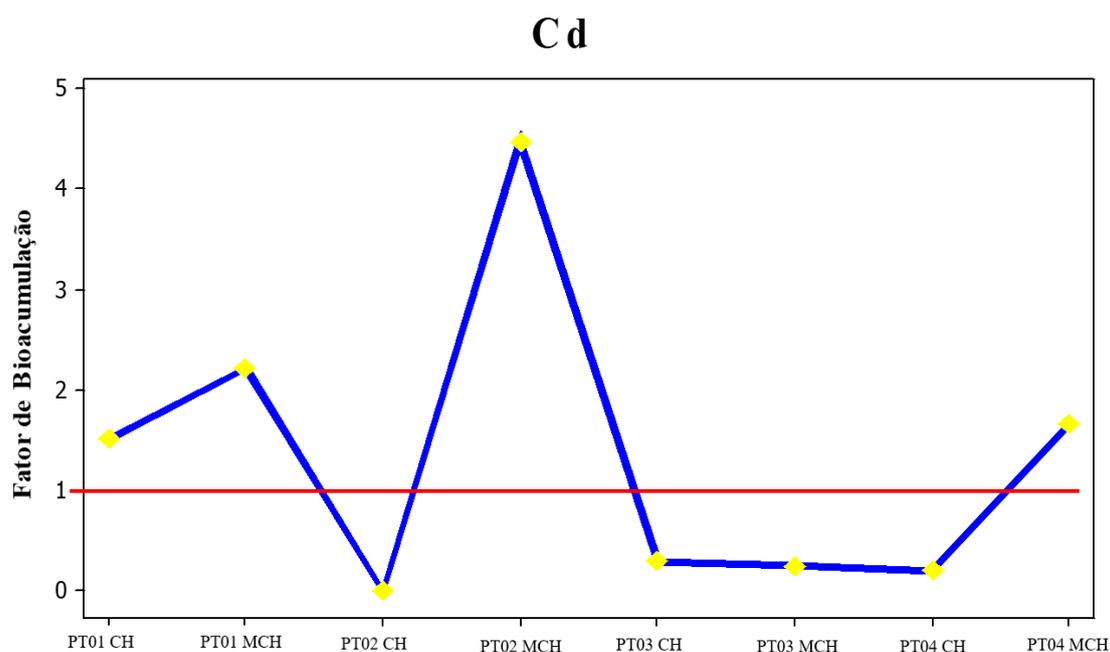


Figura 8 - Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Cr.

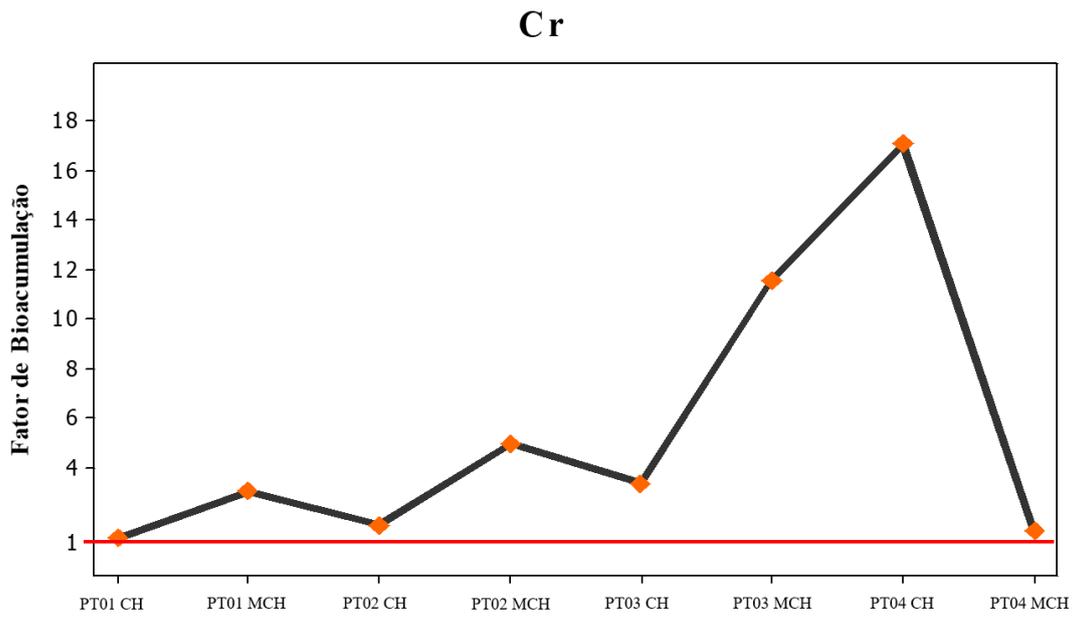


Figura 9 - Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Cu.

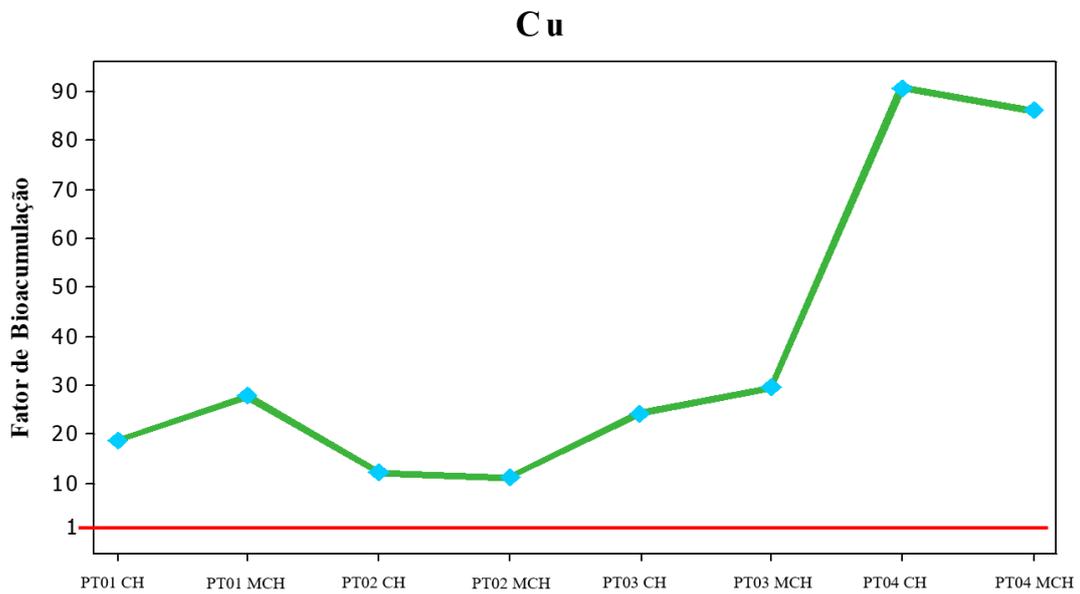
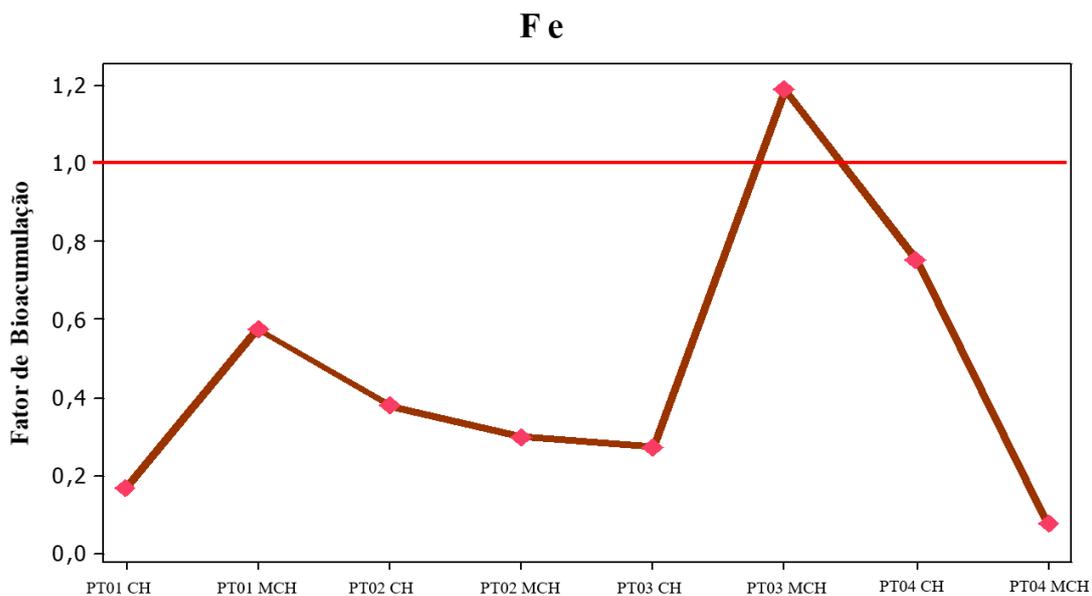


Figura 10 - Valor do Fator bioacumulação (FAB) para o Fe.



Ao analisar o fator de bioacumulação para o Cd, Cr, Cu e Fe nos pontos em estudo, o Cd (figura 7) apresentou evidência de bioacumulação nos pontos PT01 CH, PT01 MCH, PT02 MCH e PT04 MCH. Para o Fe (figura 10) houve indício de bioacumulação apenas no ponto PT03 MCH. Entretanto, para os metais Cr e Cu (figura 8 e 9, respectivamente), a tendência para bioacumulação está ocorrendo em todos os pontos e períodos estudados. Dessa forma, é importante o biomonitoramento da área de estudo, já que o Cd, Cr e Cu são considerados metais pesados e podem trazer danos tanto para o meio ambiente quanto para a população.

Chiba et al. (2011), em seus estudos na sub-bacia hidrográfica de São Carlos, no sudeste do Brasil, também encontrou indícios de bioacumulação de metais pesados nos organismos bentônicos. Justificando tais resultados ao descarte de efluente na região analisada.

Dessa forma, ressalta-se a importância a análise contínua dos metais em macroinvertebrados bentônicos, devido esses indivíduos não possuírem caráter de biodegradação, de maneira que podem acumular-se nos componentes ambientais onde manifestam sua toxicidade (VOIGT et al., 2016).

Tal fato pode estar acontecendo nos organismos bentônicos da baía do Guajará, devido o indício de bioacumulação identificada nos tecidos desses organismos. E isso gera riscos para a saúde humana, já que o processo de bioacumulação pode provocar a

ocorrência da biomagnificação, em que o acúmulo de metais é transmitido para os demais níveis tróficos. E além do ecossistema aquático, isso afeta a saúde da população, pois a mesma pode ingerir alimentos contaminados (como peixes e crustáceos) por metais através da cadeia alimentar (CHIBA et al., 2011).

4.4 Conclusão

Através da observação dos organismos bentônicos, constatou-se que durante o período menos chuvoso, há uma maior concentração de contaminantes, algo que aumenta a concentração de indivíduos bentônicos que são oportunistas, conseguindo sobreviver em ambientes contaminados. Além disso, foi constatado indícios de bioacumulação para todos os metais analisados. Com isso ressalta-se a importância do biomonitoramento, em especial com a utilização dos macroinvertebrados bentônicos, já que os mesmos desempenham um papel essencial para o ambiente aquático, indicando o grau da poluição desse ambiente, podendo ocasionar efeitos acumulativos sobre a fauna existente, uma vez que formam um elo entre os produtores primários e servem como alimento para vários peixes, desempenhando também uma importante função no processamento de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes .

4.5 Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- PPGCA, ao Instituto Evandro Chagas- IEC e ao Conselho Nacional Científico e Tecnológicos- CNPq.

CAPÍTULO 5 DISCUSSÃO GERAL

5.1 Resultados chaves: impactos e implicações

Na análise da água da baía do Guajará os valores de alguns parâmetros físico-químicos ficaram fora do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, em que OD apresentou-se abaixo do permitido, a DBO e coliformes termotolerantes acima do limite de referência, além de elevadas concentrações de DQO e alta CE. Tal comportamento desses parâmetros é correspondente ao aumento de matéria orgânica apresentada na região. Devido a concentração urbana que despeja efluentes, principalmente de origem doméstica sem pré tratamento na baía de Guajará (SIQUEIRA et al., 2012).

O crescimento acelerado e sem planejamento da urbanização, vem ocasionando modificações no ambiente que podem influenciar direta ou indiretamente na qualidade de vida da população e do meio ambiente. Esse crescimento provoca alterações nos ambientes, tais como: desmatamento, impermeabilização do solo, movimentos de terra, alteração da topografia, aterramentos de áreas baixas ou alagadas e a veiculação de poluentes. Em consequência, sob certas condições ambientais, as ocupações urbanas podem se tornar as principais fontes de poluição dos recursos hídricos, algo que está acontecendo com a baía do Guajará (MIRANDA et al., 2009).

Na análise do sedimento, o Cd apresentou valores acima do permitido pela Resolução CONAMA nº454/12 e valores de PEL. É importante ressaltar que a concentração desse metal no sedimento lixiviado ficou dentro do permitido por essa resolução, ou seja, com tais resultados, sabemos que esse metal pesado está se acumulando apenas no sedimento, algo que pode estar trazendo prejuízos para biota aquática que tem como seu habitat essa matriz, como os macroinvertebrados bentônicos.

Esse acúmulo de poluente no sedimento, além de provocar danos para o ecossistema aquático, pode prejudicar a saúde da população, por conta da cadeia alimentar. Além do mais, se as condições ambientais do corpo hídrico, como as variações dos parâmetros físico-químicos (como condições redox e pH) mudarem, a concentração do Cd pode se tornar novamente disponível para o corpo d'água e intensificar os danos ambientais (POMPÊO et al, 2013).

Como o sedimento não está disponibilizando metais para o meio, os macroinvertebrados bentônicos estão sofrendo com tais poluentes, haja vista que, com exceção do Fe, todos os metais analisados estão sendo bioacumulados nos indivíduos bentônicos em todos os pontos em estudo. Essa bioacumulação desencadeia o processo de biomagnificação, algo que pode comprometer a biota aquática como um todo, chegando até aos consumidores finais, que é a população, por conta das relações tróficas, no qual os níveis tróficos estão interligados entre si, e danos que a base da cadeia alimentar estar sofrendo, pode chegar até ao topo da mesma (SOUTO, 2014).

Através da análise do comportamento dos organismos bentônicos, podemos avaliar que os pontos em estudo estão recebendo grande carga de contaminantes, já que grande parte das espécies encontradas, pertencem à família Tubificidae da subclasse Oligochaeta, que são consideradas como tolerantes e oportunistas a situações extremas como hipóxia, sendo caracterizadas como indicadoras de ambientes poluídos (NASCIMENTO, 2009).

5.2 Prioridades para pesquisas futuras

Realizar uma avaliação da qualidade ambiental de um corpo hídrico, requer análises de propriedades físicas, químicas e biológicas. Dentro dessas propriedades existe várias matrizes e parâmetros que podem ser avaliados, para obter um diagnóstico mais detalhado da situação do corpo hídrico.

Na pesquisa realizada, na análise da água, além dos parâmetros físico-químicos estudado, é importante avaliar outros parâmetros como: sabor e odor, cor, sólidos em suspensão, alcalinidade, dureza, fósforo, fluoretos, matéria orgânica e compostos inorgânicos. Com esses parâmetros somados aos que foram analisados no estudo, juntamente com a análise da vazão da baía do Guajará, pode-se obter respostas de como a água está sendo afetada por poluentes e as possíveis origem dessa poluição.

Na avaliação do sedimento, poderia ser acrescentado a análise de um número maior de metais pesados, a fim de saber o comportamento desses poluentes no sedimento, se estão sendo disponibilizados para o meio ou se acumulando.

Além dos macroinvertebrados bentônicos, é importante analisar também outros bioindicadores, como os peixes, a vista de saber se estar ocorrendo na baía do Guajará o

processo de biomagnificação, e os danos que isso pode acarretar para o ecossistema aquático e sociedade.

Através da pesquisa realizada, pode-se adquirir informações preliminares de como está se comportando a baía do Guajará. Contudo, é importante que sejam realizadas pesquisas futuras, mais detalhadas, em cima das propriedades físicas, químicas e biológicas, em um longo período de amostragem e em mais pontos, para que assim possamos ter o diagnóstico minucioso da baía do Guajará.

5.3 Considerações finais

A baía do Guajará é um recurso natural essencial para a manutenção da vida, no entanto a mesma vem sofrendo grandes perturbações devido às atividades antrópicas, que são agravadas pelo período chuvoso. À vista disso, ressalta-se a importância da conservação desse recurso. Já que a água em condições de má qualidade, passa a trazer riscos tanto para a saúde da população, quanto para o ecossistema aquático.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos, apontaram que a causa da contaminação que está afetando a água da baía do Guajará, é devido ao lançamento de esgotos domésticos lançados nesse corpo hídrico sem pré tratamento. Tendo em vista que o saneamento básico e tratamento de esgoto do estado do Pará, é de péssima qualidade, logo isso reflete na qualidade ambiental desse corpo hídrico.

Características como a redistribuição e o acúmulo de poluentes, classificam o sedimento analisado, como uma matriz de forte importância nos estudos de impactos ambientais, já que através dele, podemos obter a resposta da poluição, por um período maior, da área de estudo. Tornando-se uma ferramenta positiva para a área de análise apresentada nessa pesquisa.

Outra ferramenta importante no diagnóstico da área de estudo, foram os macroinvertebrados bentônicos. Haja vista que através dos resultados encontrados nessa pesquisa, podemos observar que a baía do Guajará está sofrendo perturbações, que estão relacionadas às atividades portuárias e ao descarte de esgoto doméstico in natura lançado na área de estudo. Com isso, é de suma importância o biomonitoramento contínuo desse corpo hídrico. Pois o mesmo exerce um importante papel para integridade do ecossistema aquático

O caminho para assegurar a sustentabilidade da baía do Guajará é através do monitoramento. Para que assim, possa obter o conhecimento sobre a situação ambiental desse corpo hídrico e assim buscar soluções para possíveis danos, que esse recurso natural estar sofrendo. Haja vista que a baía do Guajará é um recurso natural indispensável aos seres vivos, além de ter uma grande importância cultural, social, econômica e histórica para a cidade de Belém.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO; J. A.; SOUZA, R. F. Aporte antropogênico de metais pesados em sedimentos de corrente de áreas de lixão, urbanizadas e agrícola, em Parelhas-RN, região semiárida do Brasil. *Geografia*, Londrina, v. 21, n. 3.p. 5-22, set/dez. 2012.
- ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Jari. *Biota Amazônia*, v. 5, n. 2, p. 119-131, 2015. ISSN: 2179-5746.
- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. do C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A. de S. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará:climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Revista Brasileira de Climatologia*, v.6, n.6, p.151-168, jun. 2010. ISSN: 1980-055X.
- ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Sci. Technol.* Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.
- ALVES, I. C. C.; EI-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação doestado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*. v. 42, n.1, p.115 – 124, 2012.
- AMARAL, A. A.; PIRES, S. C.; FERRARI, J. L. Qualidade da água e do sedimento de fundo de alguns córregos do município de Castelo, Estado do Espírito Santo. *RevistaAgro@mbienteOn-line*, v. 8, n. 2, p. 194-203, agosto. 2014. ISSN: 1982-8470. Disponível em: <file:///C:/Users/letic/Downloads/1548-8698-1-PB.pdf> Acessado em: 14.02.2018.
- ARIMORO, F. O. et al. Anthropogenic impact on water chemistry and benthic macroinvertebrate associated changes in a southern Nigeria stream. *Environmental Monitoring and Assessing*, v. 187, n. 2, p. 1-14, 2015. doi: 0.1007/s10661-014-4251-2.
- APDA- Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de água. 2013. FT-QI-14 – Nitritos. Disponível em: <http://www.apda.pt/site/ficheiros_eventos/201302261000-ft_qi_14_nitrito.pdf>. Acessado em: 11 de janeiro de 2018.
- BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v.2, n.1, jul - dez, 2012.
- BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; NECHET, D.; SÁ, T. D. de A. Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos. Belém: *Embrapa Amazônia Oriental*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 31p. fev.2002. (Documentos, 128). ISSN 1517-2201.
- BELO, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu. *Química Nova*, v. 33, n. 3, p.613-617, 2010.

BRASIL. *Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº454, de 01 de Novembro de 2012, Brasília – DF.* Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acessado em: 17 de outubro de 2017.

BRASIL, Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/amazonica>>. Acessado em 28.12.17.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Programa Nacional de Capacitação de gestores ambientais: licenciamento ambiental.* Brasília, DF: MMA, 2009. ISBN 978-85-7738-121-0. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/45F533AE/minuta_mocao_CNT.pdf>. Acessado em 02 de dezembro de 2017.

BRASIL. Companhia Docas do Pará (CDP). *Porto Belém.* Disponível em: <<https://www.cdp.com.br/porto-de-belem>>. Acessado em 26 de novembro de 2017.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Dados sobre a população, economia e território e ambiente de Belém-PA.* Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>. Acessado em 28 de outubro de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução CONAMA nº454/2012.* Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acessado em: 17 de dezembro de 2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água.* 4. ed. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde – Funasa, 2013. 150 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf>. Acessado em: 03 de dezembro 2017.

BRASIL. Portal da Qualidade das Águas. *Indicadores de qualidade - índice de qualidade das águas (IQA).* Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn2>. Acessado em: 09 de dezembro 2017.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Pesquisas mostra que El Niño será o 3º mais forte da história.* Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20151123102211Materia_Terra_EI%20Nino_17-11-15.pdf>. Acessado em: 10 de dezembro de 2017.

BRASIL. Instituto Trata Brasil e Água. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br>>. Acessado em: 14 de dezembro 2017.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M.; Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramenta para Avaliar a Saúde de Riachos. RBRH - *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 6 n.1 Jan/Mar, 71-82,2001.

CARVALHO, F.T.; VELINI, E.D.; CAVENAGHI, A.L.; NEGRISOLI, E.; CASTRO, R.M..Influência da Turbidez da Água do Rio Tietê na Ocorrência de Plantas Aquáticas. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 359-362, 2005.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). *Protocol for the derivation of Canadian Sediment quality guidelines for the protection of aquatic life*. Ottawa, 1995.

CHAGAS, F. B.; RUTKOSKI, C. F.; BIENIEK, G. B.; VARGAS, G. D. L. P.; HARTMANN, P. A.; HARTMANN, M. T. Utilização da estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade da água em rios no sul do Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. v. 12 n. 3 Taubaté – May / Jun, 2017.

CHIBA, W.; PASSERINI, MD.; TUNDISI, JG.. Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of. *Brazilian Journal of Biology*, São Paulo, v.71, n.2, p. 391-399, 2011.

CLARKE, K.R.; WARWICK, R. M.. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Ed.2, PRIMER-E. Plymouth. 2001. 144p.

COPATTI, C. E.; SHIRMER, F. G.; MACHADO, J. V.V. Diversidade de Macroinvertebrados Bentônicos na avaliação da qualidade ambiental de uma microbacia no sul do Brasil. *Perspectiva, Erechim*. v.34, n.125, p. 79-91, 2010.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil. *Química Nova*, V. 29, n. 1, p.40-45, 2006.

DORNFELD, C. B. *Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)*. Dissertação, Universidade de São Paulo, Programa de pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, 203f., 2002.

ELEFTHERIOU, A.; MCINTYRE, A. *Methods for the study of marine benthos*. Oxford UK: Blackwell Publishing Company; Ed. Blackwell Science Ltda., 2005, 442 p.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011, 826 p.

FIORUCCI, A. R.; BENEDITTI FILHO, E. Oxigênio dissolvido em sistemas aquáticos. *Química Nova na Escola*, n. 22, p.10-16, nov. 2005.

FURLAN, N. et al. Qualidade da Água e do Sedimento Avaliada a Partir da Concentração de Nutrientes Totais. *Pesquisa e Tecnologia Minerva*, v. 6, n.1, p. 91-98, 2009.

GOMES, A. B.; FERREIRA, S. P. Análises de dados Ecológicos. *Universidade Federal Fluminense*, Instituto de Biologia Centro de Estudos Gerais Departamento de Biologia Marinha. Niterói, 2004, p.30.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, v.2, n.1, p.153-164, 2003.

GREGÓRIO, A. M. S.. *Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém - Pará - Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico*. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008, 127f.

GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. Batimetria e sedimentologia da baía de Guajará, Belém, estado do Pará. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, Belém, v. 5, n. 9, p.53-72, jul./dez., 2009.

GRESENS, R. L. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology. Isotope Geoscience*. Local: Editorial Board, v.2, p.47-65, 1967.

GUTJAHR, A. L. N.; ARAÚJO, L. de J. B.; MATOS, E. daS.; BRAGA, C. E. de S. Diagnóstico e Mapeamento das Fontes de Contaminação do Rio Ipixuna, estado do Pará, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19, 2014, p.2092.

HAKANSON, L. An ecological risk index aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, v.14, p.975-1001, 1980.

HEPP, L.U.; RESTELLO, R. M. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade das águas do Alto Uruguai Gaúcho. In. ZAKRZEVISKI, S.B. *Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares*. Erechim: Edifapes, p. 75-85, 2007.

HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; ABESSA; D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos – São Vicente. *Química Nova*, v. 31, n. 1, 2008, p.10-19.

VALLE JUNIOR, R. F.; ABDALA, V. L.; GUIDOLINI, J. F.; SIQUEIRA, H. E.; CANDIDO, H. G. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade das águas superficiais do Rio Uberaba – MG. *Caminhos de Geografia* - revista on line. ISSN 1678-6343, Uberlândia v. 14, n. 45, p. 01–11, Mar/2013. Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acessado em 06 de janeiro de 2018.

SILVA JUNIOR, L. G. DA S. *Ação antrópica no entorno das nascentes e os impactos sobre a saúde humana: o caso do município de Belo Jardim-PE, Brasil*. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, 2006, 46f.

LICHT, O. A. B. *Prospecção geoquímica – princípios, técnicas e métodos*. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LIMA, T. B; FERREIRA, R. L. Recursos hídricos e sua importância jurídica. *Portal Tratamento de Água*. 2017. Disponível em < <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/recursos-hidricos-e-sua-importancia-juridica/>>. Acessado em: 28 de abril 2018.

LIMA, J. E. F. W. Recursos hídricos no Brasil e no mundo. *Embrapa Cerrados*, Platina, DF, 2001. 46f. (Documentos, 33). ISSN 1517-5111.

LIMA, A. C. G. *Monitoramento da qualidade das águas na bacia do rio Botafogo, em Pernambuco, com ênfase para a concentração de Mercúrio total em água e sedimentos*. Dissertação. 2006, 98f.

LINS, J. A. P. N.; KIRSCHNIK, P. G.; QUEIROZ, V. da S.; CIRIO, S. M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. *Revista Acadêmica, Ciência Agrária Ambiental*, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 469-484, out./dez. 2010.

MALDONADO, A. C. D.; WENDLING, B. Manejo de Ecossistemas Aquáticos Contaminados por Metais Pesados. *Agropecuária Técnica*, Paraíba, v.30, n.1, p.21–32, 2009.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>>. Acessado em 10 de janeiro de 18.

MARENGONI, N. G.; KLOSOWSKI, E. S.; OLIVEIRA, K. P.; CHAMBO, A. P. S.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. G. Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional. *Química Nova*, v. 36, n. 3, p.359-363, 2013.

MENDES, L.S; FERREIRA, I. M. Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba –MG. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, Hygeia*, ISSN: 1980-1726, v.10, n. 19, dez. 2014, p. 97 - 105.

MIGUENS A. P. Navegação: A Ciência e a Arte. In. Navegação: a ciência e a arte. In._____. *Navegação Astronômica e Derrotas*. Rio de Janeiro: DHN, 1996. Cap.16. v.2, p. 47,

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia - Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. *Ambiente & Água*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 75-92, 2009.

MIRANDA, A.G.O.; MENDES, A.C. Evolução Batimétrica da Baía de Guajará, Belém/Pa. *A Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA*. ISSN: 2318-0986, 2007.

MONTEIRO, T. R.; OLIVEIRA, L. G.; GODOY, B. S. Biomonitoramento da qualidade de água utilizando Macroinvertebrados Bentônicos: adaptação do índice biótico BMWP' à bacia do Rio Meia Ponte-GO. *Oecol. Bras*,v.12, n.3, p.553-563, 2008.

MONTEIRO, S. M.; El-Robrini, M.; Alves, I. C. C. Dinâmica Sazonal de Nutrientes em Estuário Amazônico. *Mercator*, Fortaleza, ISSN 1984-2201, n. 1, v. 14, p.151-162, jan./abr. 2015.

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista Saúde Pública*, v.36, n.3, p.370-4, 2002.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 35, n.2, p. 207 – 214, 2005.

MORALES, G. P.; SANTOS, L. F. M.; FERREIRA, Y. A.; JÚNIOR, O. C. D.; VERA, M. A. P. Análise dos parâmetros físico-químicos da água em função do comportamento da maré: um estudo de caso no Igarapé Tucunduba, Belém – PA. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; p.177, 2015.

MOREIRA, R.C.A; BOAVENTURA, G.R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF. *Química Nova*, vol.26, no.6, São Paulo, nov./dez. 2003. Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000600006>. Acessado em: 16 de janeiro de 2017.

MULLER, G. Heavy metals in the sediment of the Rhine – Changes seity. 1971. *Umsch Wiss Tech* v.79, p.778-783, 1979.

NAIME, R.; FAGUNDES, R.S. Controle da qualidade da água de Arroio Portão-RS. *Pesquisas em Geociências*, v.32, n.1, p. 27-35, 2005.

NASCIMENTO, H. L. dos S. Aspectos reprodutivos de *Limnodrilus hoffmeisteri* CLAPAREDE, 1862 e *Branchiura sowerbyi* BEDDARD, 1892 (*Oligochaeta: Tubificidae*). Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009, 58f.

OLIVEIRA, S. P.; MOURA, C. A. V.; ROSA FILHO, J. S. Avaliação de Oligochaeta (Tubificinae) e Polychaeta (*Namalycaestis abiuma*) como bioindicadores da composição isotópica de Chumbo: exemplo do estuário Guajarino, Belém (PA), Brasil. *Pesquisas em Geociências*, ISSN 1518-2398, v.40, n.2, p. 141-146, Porto Alegre, maio/ago, 2013.

OLIVEIRA, E. C.; LAFON, J. M.; CORRÊA, MARTINS, J. A.; CARVALHO, J. H. S.; DIAS, F. F.; TADDEI, M. H. T. Distribuição dos metais traços em sedimentos de fundo do sistema hidrográfico da região de Belém, PA (margem oeste da baía do Guajará e rio Carnapijó). *Geochimica Brasiliensis*, v.29, n.2, p. 139 - 153, 2015.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F; PERREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostras e análise físico-química de água. *Embrapa Florestas*, ISSN 1980-3958, agosto, 2011.

PERREIRA, R.S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos: *Revista Eletrônica de Recursos Hídricos.IPH-UFRGS*, v.1, n.1. p.20-36, 2004.

PERREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Characteristics of the atmosphere in the austral spring during the el niño 2015/2016. *Revista brasileira de meteorologia*, São Paulo, v.32, n.2, Apr./June, 2017.

PIEDRAS, S. R. N.; BAGER, A.; MORAES, P. R. R.; ISOLDI, L. A.; FERREIRA, O. G. L.; HEEMANN, C. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.2, p.494-500, mar-abr, 2006.

- PINTO, B. V.. *Características químicas e físico-químicas de águassubterrâneas do Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2006, 146f.
- PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, vol. 12 n. 3. Taubaté – May / Jun. 2017.
- POMPÊO, M.; PADIAL, P. R.; MARIANI, C. F.; SILVA, S. C.; CARLOS, V. M.; SILVA, D. C. V. R.; PAIVA, T. C. B.; BRANDIMARTE, A. L. Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial? *Geochimica Brasiliensis*, v.27, n.2, p. 104-119, 2013.
- REPULA, C. M. M.; CAMPOS, B. K.; GANZAROLLI, E. M.; LOPES, M. C.; QUINÁIA, P. Q. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. *Química Nova*, São Paulo, vol. 35, n. 5, p.905-909, 2012.
- RODRIGUES, I. O.; SILVA, M. G. *Dinâmica populacional e rede coletora de esgoto*. Atlas de saneamento 2011. IBGE. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap11.pdf>. Acessado em: 14 de janeiro de 2018.
- ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. *Chapman & Hall*, New York, p. 488 1993.
- SANTIAGO, A. V.; RIBEIRO, V. C.; COSTA J. F.; PACHECO, N. A. Variabilidade e intensidade das Chuvas em Belém-Pa. *XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES, 2011.
- SANTOS, S. N.; LAFON, J. M.; CORRÊA, J. A. M.; BABINSKI, M.; DIAS, F. F.; TADDEI, M. H. T.; Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do Rio Guamá e da baía do Guajará (Belém - Pará). *Quim. Nova*, v. 35, n. 2, 249-256, 2012.
- SANTOS, M. L. S.; HOLANDA, P.; PEREIRA, I.; RODRIGUES, S.; PEREIRA, J. A. R.; MESQUITA, K. Influência das Condições da Maré na Qualidade de Água do Rio Guamá e Baía do Guajará. *Boletim. Técnico Científico Cepnor*, v. 14, n. 1, p: 17 - 25, 2015.
- SANTOS, S. R. Q.; BRAGA C. C.; BRANDÃO T. L. O.; BRITO, J. I. B; SANTOS A. P. P. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 07, n.03, p. 615- 627, 2014.
- SANTOS, A.L.F; BORGES, L. O. S.; BOAVENTURA, G. R. Indicator of the quality of sediments Piancó river, Anápolis-Go and their environment implications. *Scientia Plena*, vol 8, n.10, 2012.
- SILVA, O. R.; GOMES, M. B. M. Impactos das atividades portuárias no sistema estuarino de Santos. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, v.2, n.2, p.1-18, 2012. ISSN: 2318-3233.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazônica*. v. 38, n.4, p. 733 – 742, 2008.

SILVA, L. C. M; BROTTTO, M. E. Nitrato em água: ocorrência e consequência, São Paulo: *Escola Superior de Química, Faculdades Oswaldo Cruz*, 2014. Disponível em: <http://www.creasp.org.br/biblioteca/teses_e_artigos/nitrato-em-agua-ocorrenciae-consequencias/>. Acessado em 07 de janeiro 2018.

SILVA, W.L. et al. Geoquímica e Índice de Geoacumulação de Mercúrio em Sedimentos de Superfície do Estuário de Santos - Cubatão (SP). *Química Nova*, v. 25, n. 5, p.753-756, 2002.

SILVA, M. S. G. M; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L; BUSS, D. F.; EGLER, M. Estudo de caso: a comunidade de macroinvertebrados aquáticos e sua utilização na avaliação da qualidade de água na bacia do rio Macaé, Estado do Rio de Janeiro. Organismos bentônicos: biomonitoramento de qualidade de água. Jaguariúna: *Embrapa, Meio Ambiente*, p.67-91, 2008.

SILVA, N.T.C. *Macroinvertebrados bentônicos em áreas com diferentes graus de preservação ambiental na bacia do ribeirão mestre D'armas*. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Brasília-DF, 2007.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F.; MIGUÉIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). *Acta Amazônica*, v. 42, n.3, p. 413 – 422, 2012.

SIQUEIRA, G. W.; PEREIRA, S. de F. P.; APRILE, F. M. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. *Acta Amazônica*. v. 36, n.3, p. 321 – 326, 2006.

SOUSA, S. S.; SILVA, W. S.; MIRANDA, J. A. L.; ROCHA, J. A. Análise físico-química e microbiológica da água do rio Grajaú, na cidade de Grajaú – MA. *Ciência e Natura*, v.38 n.3, p. 1615 – 1625, 2016.

SOUTO, R. de M. G. *O papel da contaminação por compostos organoclorados e metais na ecologia de macroinvertebrados bentônicos*. 2014. 80f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

SOUTO, M. A.M; OKADA, M. M.; OKADA, I. A.; DOVIDAUSKAS, S. A determinação de nitrato em águas por espectrofotometria UV: usos e precauções. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v.65, n.1, p.66-69, 2006.

STERZ, C.; GOMES, M. F. R.; ROSSI, E. M. Análise microbiológica e avaliação de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água do Riacho Capivara, município de Mondaí, SC. *Unoesc & Ciência – ACBS*, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 7-16, jan./jun. 2011.

TANIWAKI, R. H.; Smith, W. S. Utilização de macroinvertebrados bentônicos no biomonitoramento de atividades antrópicas na bacia de drenagem do Reservatório de Itupararanga, Votorantim – SP, Brasil. *Ciências Biológicas, J Health Sci Inst.*; v.29, n.1, p.7-10, 2011.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. v. 78, n. 12, 1997.

TRINDADE, W. M.; HORN, A. H.; RIBEIRO, E. V. *Concentrações de Metais Pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-Mg: Geoquímica e Classificação De Risco Ambiental*. Disponível em <<https://www.CPMTC-Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais>> Acessado em 05 de março de 2018.

VAROTSOS, C. A.; TZANIS, C. G.; SARLIS, N.V. On the progress of the 2015–2016 El Niño event. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v.16, p.2007–2011, 2016.

VASCONCELOS, M. E. G. Avaliação ambiental estratégica para a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., (Orgs). *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa* [online]. Campina Grande: EDUEPB, pp. 295-318, ISBN 9788578792824, 2013. Disponível em <<http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-13.pdf>>. Acessado em 03 de fevereiro de 2018.

VINAS, P.; Pardo-Martinez, M.; HERNANDEZ-CORDOBA, M. Determination of copper, cobalt, nickel, and manganese in baby food slurries using electrothermal atomic absorption spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 48, n.12, p.5789- 5794, 2000.

VOIGT, C. L.; SILVA, C. P.; CAMPOSA, S. X. Avaliação da bioacumulação de metais em *Cyprinus carpio* pela interação com sedimento e água de reservatório. *Química Nova*, São Paulo, vol. 39, n. 2, p. 180-188, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, UN-WATER. Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities. Geneva: Glass, 2014. ISBN: 9789241508087. (Un-Water). Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/glaas/2013/14063_SWA_GLAAS_Highlights.pdf>. Acesso em: 09/01/2018.

YONGMING, H. et al. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 355, p. 176-186, 2006.

ZHAO, G.; YE, S.; YUAN, H.; DING, X.; WANG, J. Surface sediment properties and heavy metal pollution assessment in the Pearl River Estuary, China. *Environ Sci Pollut Res*; v.24, p.2966–2979, 2017.