

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS-TRAÇO E SUAS  
INTERAÇÕES NOS SEDIMENTOS E BIOTA DO PARQUE DOS  
MANGUEZAIS, REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR),  
PERNAMBUCO, BRASIL.**

**HÉLIDA KARLA PHILIPPINI DA SILVA**

**RECIFE  
2010**

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS-TRAÇO E SUAS  
INTERAÇÕES NOS SEDIMENTOS E BIOTA DO PARQUE DOS  
MANGUEZAIS, REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR),  
PERNAMBUCO, BRASIL.**

**HÉLIDA KARLA PHILIPPINI DA SILVA**

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutora em Ciências, na área de Oceanografia, na sub-área de Oceanografia Química.

**ORIENTADOR: PROF<sup>o</sup>.Dr. SÍLVIO JOSÉ DE MACÊDO  
CO-ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. FÁTIMA MARIA MIRANDA BRAYNER**

**RECIFE-PE**

**2010**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Raquel Cortizo, CRB-4 / 664

S581a Silva, Héliida Karla Philippini da .  
Avaliação das concentrações de metais-traço e suas interações nos sedimentos e biota do parque dos manguezais, região metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil. / Héliida Karla Philippini da Silva. - Recife: O Autor, 2010. xvii, 132 folhas, il., gráfs., tabs. Figs.

Orientador: Prof. Dr: Silvio José de Macedo.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia , 2010.  
Inclui Referências Bibliográficas e Apêndices.

1. Oceanografia. 2. Metais-traço. 3. Sedimentos. 4. Moluscos  
5. Manguezal. I Macedo, Silvio José de (orientador) II. Título.

551.46 CDD (22. ed.) UFPE  
BCTG/2011- 021

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

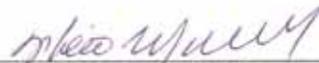
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS-TRAÇO E SUAS  
INTERAÇÕES NOS SEDIMENTOS E BIOTA DO PARQUE DOS MANGUEZAIS,  
REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR), PERNAMBUCO, BRASIL.

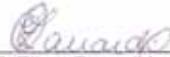
POR:

HÉLIDA KARLA PHILIPPINI DA SILVA

Comissão Examinadora:



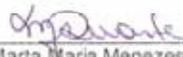
Prof. Dr. Silvio José de Macêdo



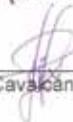
Prof. Dr. Eliete Zanardi Lamardo



Prof. Dr. Maria Fernanda Pimentel de Avelar



Prof. Dr. Marta Maria Menezes Bezerra Duarte



Prof. Dr. Éden Cavalcanti Albuquerque Júnior

Data da aprovação: 30/09/2010

RECIFE  
2010

A minha co-orientadora, Fátima Brayner que ajudou a tornar tudo isso possível. Por acreditar e enxergar em mim o que eu poderia me tornar.

Ao meu orientador Sílvio Macedo que como um pai guiou-me nesta jornada, com paciência, amizade e tolerância nestes anos de convívio.

A minha grande amiga, Sílvia Ramos Pereira por sua paciência, amizade, incentivo e amor.

**O RIO**

Ouve o barulho do rio, meu filho  
Deixa esse som te embalar.  
As folhas que caem no, meu filho  
Terminam nas águas do mar.  
Quando amanhã por acaso faltar  
Uma alegria no seu coração  
Lembra do som dessas águas de lá  
Faz desse rio a sua oração.  
Lembra, meu filho, passou, passará  
Essa certeza, a ciência nos dá  
Que vai chover quando o sol se cansar  
Para que flores não falem  
Para que flores não falem  
Para que flores não falem jamais...

Seu Jorge/Carlinhos Brown/Arnaldo Antunes/Marisa Monte

... "I decided long ago never to walk in anyone's shadow. If I failed, if I succeed, at least I lived as I believed. No matter what they take from me they can't take away my dignity"...

Whitney Houston

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo privilégio da vida, saúde e coragem para seguir sempre em frente.

Aos meus pais (Nivaldo e Graça) e minhas irmãs (Elisangela e Karina) por seu amor e participação na formação de meu caráter.

A Sílvia Ramos Pereira por trazer-me de volta a vida e ensinar um novo caminho, repleto de paz, amor, felicidade e paciência. Obrigada pelo incentivo, confiança e por não me deixar desistir, especialmente nos momentos mais difíceis, quando quis jogar tudo para alto.

Ao Prof.<sup>o</sup> Dr., orientador, amigo e em alguns momentos pai, Sílvio José de Macêdo, do Departamento de Oceanografia da UFPE, por toda grande ajuda, apoio logístico, emocional, paciência, confiança e amizade, que enriqueceram meu conhecimento profissional e pessoal, nestes valiosos anos de convívio. Conhecimentos estes que foram de grande valia para o desenvolvimento e qualidade desta tese.

A Engenheira Química Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. , orientadora e amiga, Fátima Maria Miranda Brayner, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UPE, por acreditar em mim, ajudando-me a ser uma pesquisadora. Por toda confiança, amizade e paciência nestes anos de convivência (e como foi necessário!). Por sempre enxergar o que eu nunca fui capaz de ver... Que era possível chegar até aqui! Por suas valiosas contribuições, que desempenharam um papel vital na construção e qualidade deste trabalho de tese.

A Hermes de Paula (o véio), da UFPE e Carlos Alberto da Silva, do LQA/UFQB/ITEP que participaram de todas as coletas deste trabalho, guiarem o carro, o barco e que com sua experiência foram de grande valia para que todos os procedimentos corretos e necessários fossem realizados para uma coleta adequada, seguindo as normas especificadas.

A minha amiga, orientadora, grande colaboradora e Engenheira Química, Ana Maria de Freitas Barbosa, por sua amizade, infinita paciência, incentivo incansável e socorro. Por sua valiosa ajuda no desenvolvimento desta tese, sem a qual não poderiam ser realizados os experimentos, tratamentos de dados, dentre outras coisas, não há números que possam medir tal ajuda! O MUITO OBRIGADO. Obrigada.... Obrigada....Obrigada.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A minha querida Bolsista PIBIC, Deloar Duda de Oliveira, por sua vitalidade, empolgação, apoio logístico, administrativo, fotográfico, leitura dos metais-traço no ICP-OES, preparando diluições e padrões. O MUITO OBRIGADO.

A minha eterna bolsista e amiga (já que durante a tese não era mais), Áurea Martins, que hoje não faz mais parte da equipe do LQA/ITEP, por trabalhar em alguns momentos direto e em todos os momentos indiretamente no desenvolvimento desta tese.

A José Vieira de Oliveira, Ex-bolsista do Projeto QUALITEP, do Laboratório de Qualidade de Água – LQA/UFQB – ITEP/OS, que junto com Vanessa, Bolsista PIBIC tiveram uma participação e coragem efetiva para filtrar todas as amostras do material sedimentado nas armadilhas coletadas no Parque dos Manguezais. Foi preciso muito estômago... pois a armadilha coletou de tudo. Como também, a preparação de água estuarina para leitura no ICP – OES.

Ao comandante da embarcação Aldir Ferreira da Silva e aos seus filhos, pescadores e cientistas em potencial Aldir Ferreira da Silva Júnior e Anderson Ferreira da Silva, que contribuíram para o sucesso desta pesquisa, participando ativamente das coletas e pense... Como foram duras! E também a Kleber Matias da Silva que participou de algumas coletas.

A Irani Gomes e Érika Cristina Ferreira da Silva (grande amiga), que hoje não fazem mais parte da equipe do LQA/UFQB/ITEP, mas que também contribuíram no desenvolvimento desta tese, auxiliando-me na leitura dos metais-traço no ICP-OES.

A Michele Belo, Ex-colaboradora do Laboratório de Qualidade de Água – LQA – ITEP/OS, que contribuiu no início deste trabalho ensinando a metodologia CHELEX aos meus bolsistas, auxiliando-me na leitura dos metais pesados no ICP-OES.

A Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marta Maria Menezes Bezerra Duarte, do Departamento de Engenharia Química da UFPE, pela paciência e valiosa amizade, por me ajudar na validação da metodologia para análise de sedimentos.

A Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sigrid Neuman Leitão, do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, pela contribuição no tratamento dos dados estatísticos.

A Myrna Lins, secretária da pós-graduação do curso de Oceanografia da UFPE, por sua total disponibilidade e ajuda nas questões burocráticas no decorrer do curso.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A Técnica em Química Gabriela de Brito Albuquerque, do LQA/UFQB/ITEP, pela ajuda e boa vontade na impressão deste manuscrito. Foi preciso muita paciência...

A química Ângela Maria Medeiros de Oliveira, gerente da UFQB, pela ajuda, incentivo, amizade e compreensão de minhas ausências durante o período da tese.

A Unidade de Geoprocessamento - UNIGEO – ITEP/OS, nas pessoas de Ivan Dornelas, Ana Mônica e Felipe, pela confecção dos mapas utilizados neste trabalho.

Ao LAMEPE – ITEP/OS, na pessoa Francis Lacerda, pela informação dos dados pluviométricos.

A Maria José Lira por ajudar na logística da comemoração após a defesa da tese.

A equipe do LQA/UFQB por sua amizade, ajuda e compreensão, nos momentos mais difíceis da elaboração deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Oceanografia - DOCEAN da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, por contribuírem para minha formação profissional e conhecimentos adquiridos.

A Associação Instituto Tecnológico de Pernambuco – ITEP/OS, pelo uso e liberação de suas instalações para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio logístico, concessão de bolsistas para o desenvolvimento deste trabalho.

A todas as amizades feitas durante o curso de Oceanografia.

A todos que contribuíram de forma significativa ou não para a construção desta tese.

A todos estes que me ensinaram que em ciência e na vida ninguém faz NADA SOZINHO.

## RESUMO

Os despejos industriais e urbanos lançados nos ecossistemas aquáticos têm sido objetos de discussão em todo mundo, pois provocam modificações ambientais, aumentando também a pressão sobre as áreas costeiras. Como a maioria das cidades localizadas ao longo da costa brasileira, a cidade do Recife tem seu processo de urbanização determinado pela presença dos rios. A ocupação e a expansão urbana da planície do Recife vêm ocorrendo através de aterros, principalmente das áreas alagadas, que eram os espaços naturais das águas. O Parque dos Manguezais está localizado na cidade do Recife-Pernambuco, Brasil, entre os bairros do Pina e Boa Viagem, possuindo uma área total de 316 ha, sendo 225,82 ha (71,26%) de cobertura vegetal (mangue). O objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações de metais-traço (Cromo, Manganês, Ferro, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinco, Cádmio, Chumbo) no compartimento sedimento, nos moluscos bivalves e árvores de mangue da área, determinando suas variações sazonais, interações com os compartimentos estudados, de modo a fornecer subsídios para estabelecer um sistema de monitoramento ambiental da área. As amostras superficiais de sedimento foram coletadas durante os períodos seco e chuvoso de 2006 a 2008 em 12 pontos ao longo dos rios que cortam a área, em suas margens direita e esquerda, em profundidades compreendidas entre 0-10 cm, durante as baixa-mares. Para a coleta do material sedimentado nas 24 horas, foram utilizadas 08 armadilhas, distribuídas entre 04 estações. Após transcorridas 24 horas, as amostras foram recolhidas (na baixa-mar) e levadas para posterior filtração em laboratório. Os parâmetros oxigênio dissolvido, pH, salinidade, temperatura, transparência da água e taxa de saturação de oxigênio foram determinados "in situ" segundo métodos reconhecidos internacionalmente. As amostras de moluscos *Mytella charruana* e *Anomalocardia brasiliiana* foram coletas em um banco natural, localizado entre as estações 01 e 02 e as raízes de árvores de mangue, coletadas próximas às estações destinadas às análises dos sedimentos. Para quantificação da concentração de metais traço nas amostras foi utilizado um Espectrômetro de Emissão Ótica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Os resultados obtidos indicaram que os sedimentos apresentaram níveis de metais acima dos valores obtidos do "background", indicando uma contaminação da área por cromo, manganês e zinco. Quanto aos moluscos bivalves, os resultados apresentaram-se dentro dos valores máximos permissíveis para legislação brasileira, exceto para os elementos ferro e manganês que se encontraram acima dos valores máximos de consumo recomendados pela literatura internacional. Para as raízes de árvores de mangue, as concentrações situaram-se dentro da normalidade. Os resultados obtidos nos diferentes compartimentos demonstraram que o ecossistema em pauta, é capaz de atuar como uma barreira geoquímica, acumulando metais, contribuindo desta maneira para um perfeito gerenciamento ambiental dos ecossistemas de manguezais na região nordeste do Brasil.

**Palavras-chaves:** Metais-traço, sedimentos, moluscos, manguezal.

## ABSTRACT

The industrial and domestic effluents released in aquatic ecosystems, have been the subject of discussion around the world, for causing environmental changes, also increasing the pressure on coastal areas. Like most cities located along the Brazilian coast, Recife has its urbanization process determined by the presence of rivers. The occupation and urban sprawl of the plain of Recife have occurred through landfills, particularly in the flooded areas, which were the natural areas of water. The Mangrove Park is located in Recife, Pernambuco, Brazil, between the districts of Boa Viagem and Pina, having a total area of 316 hectares with 225.82 hectares (71.26%) of vegetation (mangroves). The aim of this study was to evaluate the concentrations of trace metals (chromium, manganese, iron, cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead) in different compartments (sediment, bivalve mollusks and mangrove trees), determining the seasonal variations and interactions with the compartments, in order to provide subsidies to establish an environmental monitoring system in the area. The surface sediment samples were collected during the rainy and dry seasons from 2006 to 2008 in 12 points along the rivers that cross the area in its left and right edges, at depths between 0-10 cm, during the low tide. For the collection of sediments in 24 hours, eight traps were used, distributed between four collecting stations. The parameters dissolved oxygen, pH, salinity, temperature, water transparency and oxygen saturation rate were determined "in situ" by methods recognized internationally. Samples of mollusks *Mytella charruana* and *Anomalocardia brasiliiana* were collected in natural sand banks, located between the stations number one and two. The roots of mangrove trees were collected near the sediment sampling stations. The metals were quantification using Inductively Coupled Plasma - Optic Emission Spectrometer (ICP-OES). The results obtained showed that the sediments presented levels of metals above the values of "background", indicating an area of contamination by chromium, manganese and zinc. In relation to mollusks, the results were within the maximum allowable to Brazilian law, except for the elements iron and manganese that were found above the maximum recommended by the international literature. For the roots of mangrove trees, the concentrations were within the normal standards required by Brazilian legislation. The results for the roots of mangrove trees were found to be within normality. The results obtained in the different compartments, showed that the ecosystem in question, is capable of acting as a geochemical barrier, accumulating metals, contributing to a perfect environmental management of mangrove ecosystems in the northeastern region of Brazil.

**Keywords:** trace metals, sediment, mollusk, mangrove.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Vista aquática do Parque dos Manguezais.....	33
<b>Figura 02</b> – Pressão urbana nas imediações do Parque dos Manguezais. A) Edificações próximas a área estudada. B) Lançamento de Efluentes nos rios entorno do Parque.....	35
<b>Figura 03</b> – Ocupações subnormais no Parque dos Manguezais.....	36
<b>Figura 04</b> – Pesca de subsistência nas proximidades do Parque dos Manguezais.....	38
<b>Figura 05</b> – Mapa com a localização das estações de coleta.....	43
<b>Figura 06</b> – Desenho esquemático para confecção de armadilhas para captura de material sedimentado nas 24h.....	44
<b>Figura 07</b> – Armadilha para captura do material sedimentado nas 24h.....	45
<b>Figura 08</b> – Fluxograma do procedimento para digestão e quantificação de metais-traço no sedimento.....	49
<b>Figura 09</b> – Fluxograma do procedimento para digestão e quantificação de metais-traço em raiz de mangue.....	50
<b>Figura 10</b> – Fluxograma do procedimento para digestão e quantificação de metais-traço em moluscos bivalves.....	51
<b>Figura 11</b> – Gráfico dos escores da análise por componentes principais utilizando os dados dos parâmetros hidrológicos e sedimentos superficiais.....	59
<b>Figura 12</b> – Gráfico dos escores da análise por componentes principais utilizando os dados dos parâmetros hidrológicos e sedimentos superficiais.....	60
<b>Figura 13</b> – Gráfico da Variação de Transparência da Água durante o período estudado.....	61
<b>Figura 14</b> – Gráfico da Variação de Temperatura durante o período estudado.....	62
<b>Figura 15</b> – Gráfico da variação de salinidade durante o período estudado.....	63
<b>Figura 16</b> – Gráfico da variação de oxigênio dissolvido durante o período estudado.....	64

<b>Figura 17</b> – Gráfico da variação da taxa de saturação do oxigênio durante o período estudado.....	65
<b>Figura 18</b> – Gráfico da variação de pH durante o período estudado.....	66
<b>Figura 19</b> – Gráfico da matéria orgânica no sedimento superficial durante o período estudado.....	67
<b>Figura 20</b> – Concentrações médias de cromo no sedimento superficial durante o período estudado.....	68
<b>Figura 21</b> – Concentrações médias de cromo no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.....	69
<b>Figura 22</b> – Concentrações médias de cromo no perfil do sedimento durante o período estudado.....	70
<b>Figura 23</b> – Concentrações médias de manganês no sedimento superficial durante o período estudado.....	71
<b>Figura 24</b> – Concentrações médias de manganês no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.....	72
<b>Figura 25</b> – Concentrações médias de manganês no perfil do sedimento durante o período estudado.....	73
<b>Figura 26</b> – Concentrações médias de zinco no sedimento superficial nas estações durante o período estudado.....	74
<b>Figura 27</b> – Concentrações médias de zinco no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.....	75
<b>Figura 28</b> – Concentrações médias de zinco no perfil do sedimento durante o período estudado.....	76
<b>Figura 29</b> – Concentrações médias de ferro no sedimento superficial nas estações durante o período estudado.....	77
<b>Figura 30</b> – Concentrações médias de ferro no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.....	78
<b>Figura 31</b> – Concentrações médias de ferro no perfil do sedimento durante o período estudado.....	79

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

<b>Figura 32</b> – Concentrações médias de zinco, manganês, cobre, ferro e alumínio na <i>Anomalocardia brasiliiana</i> (Gmelin, 1791) no período seco e chuvoso em 2007.....	80
<b>Figura 33</b> – Concentrações médias de zinco, manganês, cobre, ferro e alumínio na <i>Mytella charruana</i> (Orbigny, 1842) no período seco e chuvoso em 2007.....	81
<b>Figura 34</b> – Concentrações médias de cobre na raiz de mangue durante o período estudado.....	82
<b>Figura 35</b> – Concentrações médias de cromo na raiz de mangue durante o período estudado.....	83
<b>Figura 36</b> – Concentrações médias de ferro na raiz de mangue durante o período estudado.....	84
<b>Figura 37</b> – Concentrações médias de manganês na raiz de mangue durante o período estudado.....	85
<b>Figura 38</b> – Concentrações médias de zinco na raiz de mangue durante o período estudado.....	86

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 01</b> – Classificação dos elementos de acordo com sua toxicidade.....	04
<b>Tabela 02</b> – Tipologia industrial e matéria-prima das indústrias localizadas na área do entorno do Parque dos Manguezais.....	39
<b>Tabela 03</b> – Distribuição das estações de coleta.....	42
<b>Tabela 04</b> – Valores Máximos Permitidos (VMP) para Contaminantes Inorgânicos em alimentos na Legislação Brasileira e Recomendações de Valores Diários de Consumo na Literatura Internacional.....	52
<b>Tabela 05</b> - Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) da metodologia para metais nas amostras de sedimento.....	54
<b>Tabela 06</b> – Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) da metodologia para metais nas amostras de moluscos bivalves e raiz de árvore de mangue.....	54
<b>Tabela 07</b> – Concentrações médias das áreas usadas como “background” e valores guias para as concentrações de metais traço em sedimentos.....	55
<b>Tabela 08</b> – Dados da validação dos elementos certificados.....	57
<b>Tabela 09</b> – Dados da validação de alguns elementos não certificados.....	58

## SUMÁRIO

EPÍGRAFE.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
<b>1.0 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2.0 – OBJETIVOS.....</b>	<b>09</b>
2.1 – Objetivo Geral.....	09
2.2 – Objetivos Específicos.....	09
<b>3.0 – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
3.1 – Metais-Traço em Sedimentos.....	10
3.2 – Metais-Traço em Moluscos Bivalves.....	23
3.3 – Metais em Árvores de Mangue.....	31
<b>4.0 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
<b>5.0 – METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1 – Amostragens.....</b>	<b>41</b>
5.1.1 - Coleta de sedimentos superficiais.....	41
5.1.2 – Coleta de material sedimentado nas 24h.....	44
5.1.3 – Coleta dos sedimentos para perfil vertical.....	45
5.1.4 – Coleta de raiz de mangue.....	46
5.1.5 – Coleta de moluscos bivalves.....	46
5.1.6 – Coleta de parâmetros hidrológicos.....	46
Transparência da água.....	47
Temperatura.....	47
Salinidade.....	47
Oxigênio Dissolvido.....	47
Potencial Hidrogeniônico (pH).....	47
Taxa de Saturação de Oxigênio Dissolvido.....	47
<b>5.2 – Equipamentos.....</b>	<b>47</b>

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

<b>5.3 – Reagentes</b> .....	48
<b>5.4 – Preparação e digestão das amostras de sedimentos para quantificação de metais</b> .....	48
<b>5.5 – Preparação e digestão das amostras de raiz mangue para quantificação de metais</b> .....	50
<b>5.6 – Preparação e digestão das amostras de moluscos bivalves para quantificação de metais</b> .....	51
<b>5.7 – Determinação do teor de matéria orgânica nos sedimentos superficiais</b> .....	52
<b>5.8 - Tratamento estatístico: validação do método para análise de sedimentos</b> .....	53
5.8.1 – Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ).....	53
<b>5.9 – Análise estatística dos dados</b> .....	54
<b>5.10 – Concentrações base ou “background”</b> .....	54
<b>6.0 – RESULTADOS</b> .....	56
<b>6.1 – Validação do método para análise de metais em sedimentos estuarinos</b> .....	56
<b>6.2 – Resultados da Análise de Componentes Principais</b> .....	59
<b>6.3 – Resultados Hidrológicos</b> .....	61
6.2.1 – Transparência da água.....	61
6.2.2 – Temperatura.....	62
6.2.3 – Salinidade.....	63
6.2.4 – Oxigênio Dissolvido .....	64
6.2.5 – Taxa de Saturação de Oxigênio Dissolvido.....	65
6.2.8 – Potencial Hidrogeniônico (pH).....	66
<b>6.4 – Resultados do Teor de Matéria Orgânica</b> .....	67
6.3.1 – Teor de Matéria Orgânica nos Sedimentos Superficiais.....	67
6.3.2 – Teor de Matéria Orgânica no material sedimentado nas 24h.....	67
<b>6.5 – Resultados de Metais nos Sedimentos</b> .....	68
6.5.1 – Cromo.....	68
6.5.2 – Manganês.....	71
6.5.3 – Zinco.....	74

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

6.5.4 – Ferro.....	77
<b>6.6 – Resultados de Metais nos Molusco Bivalves.....</b>	<b>80</b>
<b>6.7- Resultados de Metais em Árvores de Manguê (Raízes).....</b>	<b>82</b>
<b>7.0 DISCUSSÃO.....</b>	<b>87</b>
<b>8.0 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>102</b>
<b>9.0 – RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>10.0 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>104</b>
<b>11.0 – APÊNDICES.....</b>	<b>117</b>

## 1.0 – INTRODUÇÃO

O processo de industrialização e a ocupação desordenada das grandes cidades têm sido motivo de grande preocupação, quanto ao uso dos recursos naturais. Muitos destes recursos estão intimamente ligados a nossa sobrevivência, como por exemplo, a água. A poluição dos recursos hídricos nos últimos anos tem levado ao estudo dos ecossistemas aquáticos, que são importantes para preservação e o equilíbrio da vida. Os despejos industriais e urbanos lançados nestes ecossistemas têm sido objeto de discussão em todo mundo, pois provocam modificações ambientais, aumentando também a pressão sobre as áreas costeiras. Destes ecossistemas costeiros destacam-se os estuários que vêm sendo objeto do interesse científico, tendo em vista sua importância para o meio ambiente necessitando de monitoramento constante, pois provocam modificações ambientais em larga escala, principalmente sobre a distribuição da fauna e da flora.

Na literatura encontram-se duas definições para estuário que são complementares. Na definição clássica de Pritchard (1967) estuário “é um corpo de água costeiro e semifechado, que tem livre conexão com o mar aberto, dentro do qual a água do mar é diluída gradativamente pela água doce, proveniente da drenagem terrestre”. A definição de Day et al. (1989) complementa o conceito de Pritchard, afirmando que os “ambientes estuarinos e lagunares são corpos de água semifechado, de volume variável de acordo com o clima local e condições hidrológicas, possuindo por um lado conexão com o mar, por outro, recebendo influência de aportes fluviais. Eles apresentam temperatura e salinidade variáveis, solos lamosos, alta turbidez e topografia irregular. A fauna e a flora têm um alto nível de adaptação evolutiva a condições de estresse, sendo originárias dos ambientes marinhos, fluvial e terrestre”. Dessa maneira pode-se afirmar que um estuário é uma área de transição entre o rio e o mar, sofrendo influência destes ecossistemas.

Na costa brasileira na região entre marés, nos estuários e deltas dos rios, encontra-se uma estreita faixa de florestas, o manguezal que é um ecossistema costeiro, característico de regiões tropicais e subtropicais que desempenham um importante papel na ciclagem de energia e nutrientes. Além disso, podem atuar como barreiras

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

biogeoquímicas no transporte de metais-traço, acumulando-os, imobilizando-os no sedimento, diminuindo assim o efeito de alguns metais, como por exemplo, ferro, zinco e chumbo no ambiente estuarino (DEFEW et al., 2005; SALOMONS et al., 1998).

O manguezal é constituído por espécies vegetais lenhosas, denominados árvores de mangues, as quais estão associadas a uma flora algal característica, gerando condições favoráveis para alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies animais. Por suas características, o manguezal representa áreas de grande interesse para a população humana, em virtude de sua importância sócio-econômica, reconhecida principalmente pelos seguintes aspectos: a) exclusividade de sua flora; b) beleza estética e potencial como atrativo turístico; c) produção pesqueira; d) potencial como fonte de madeira e combustível; e) estabilizador das formações litorâneas (SILVA, 1995).

O Estado de Pernambuco apresenta uma das menores faixas litorâneas da costa brasileira, resultante de sua localização geográfica, tendo como conseqüência, áreas estuarinas reduzidas. No ano de 2001 possuía uma área de mangue de 161,38 km<sup>2</sup>, com predominância nos municípios de Goiana, Itapissuma e Igarassu, localizada no litoral norte (ATLAS DOS MANGUEZAIS DO NORDESTE DO BRASIL, 2004).

Nas proximidades da Bacia do Pina, encontra-se um manguezal bastante degradado, constituído por uma vegetação escassa e de pequeno porte. Contudo, nas proximidades do rio Jordão, região com grande influência das marés, ocorre uma vegetação de mangue bem desenvolvida com espécies de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* e *Avicenia sp.*, presentes no litoral pernambucano (AGUIAR, 2006).

No ecossistema manguezal, os metais estão distribuídos em quatro reservatórios abióticos: o material suspenso, o sedimento, as águas superficiais e as águas intersticiais (SALOMONS e FÖRSTNER, 1984). Estes reservatórios interagem entre si através de inúmeros processos, tais como: adsorção/desorção e

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

precipitação/coprecipitação entre material suspenso e metal em solução; sedimentação e erosão entre material suspenso e sedimento e, difusão, consolidação e bioturvação após a deposição do material, podendo influenciar a concentração de metais nas águas superficiais (BRAYNER, 1998).

Dentre os elementos químicos conhecidos, os metais são os que constituem os maiores grupos na tabela periódica. Em geral são bons condutores de eletricidade, e sua condutividade elétrica decresce com a temperatura. Desta forma diferenciam-se dos não metais, que não são bons condutores elétricos, e dos metalóides (Boro, Silício, Germânio, Arsênio, Telúrio), cuja condutividade elétrica é baixa e aumenta com a temperatura. Muitos metais traço (Chumbo, Cádmio, Cromo, Mercúrio) são de grande interesse para o meio ambiente por causa de sua toxicidade (BISHOP, 2000).

Embora a poluição por metais esteja associada à ação antrópica, a presença deles na crosta terrestre ocorre naturalmente, tanto em altas concentrações quanto no nível de traços. Salomons e Förstner (1984) estabelece cinco fontes de contaminação de metais: a) geológica; b) efluentes de mineração; c) efluentes industriais; d) lixiviação de metais de depósitos de resíduos sólidos; e) excreção animal ou humana.

Podem-se dividir as fontes de metais em duas partes distintas: a) fontes naturais, que são de origem geoquímica; da atmosfera e hidrosfera; b) fontes antrópicas, proveniente da mineração; agricultura; combustão de combustível fóssil; indústria metalúrgica; eletrônica; indústria química; pigmentos e tintas e disposição de resíduos.

De acordo com sua atividade biológica, os metais podem ser divididos em três grupos: metais essenciais, aqueles com funções biológicas conhecidas e específicas; metais tóxicos; e metais eventualmente presentes nas células, sem funções biológicas definidas (BEVERIDGE et al., 1997 apud ANDRADE et al. 1999).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Embora a idéia de metais esteja associada à ação tóxica, nem todos os metais representam risco para o meio ambiente. Alguns são essenciais para a vida e são caracterizados segundo sua função biológica; outros embora tóxicos sejam escassos ou seus compostos são insolúveis. Assim, somente alguns são considerados poluentes (TABELA 01).

Tabela 01 - Classificação dos elementos de acordo com sua toxicidade.

<b>TOXICIDADE</b>	
<b>Não críticos</b>	Na, K, Mg, Ca, H, O, N, C, P, Fe, S, Cl, Br, F, Li, Rb, Sr, Al, Si.
<b>Muito tóxico e relativamente acessíveis</b>	Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, S, Te, Pb, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tc, Pd, Sb, Bi.
<b>Tóxico, mas muito insolúveis ou raros</b>	Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, Ba.

Fonte: Wood, 1974

O lançamento de resíduos contendo metais traço, tais como zinco, cromo, cádmio, chumbo, entre outros, têm aumentado sua quantidade no meio aquático, terrestre e atmosférico, gerando concentrações potencialmente tóxicas, às quais a população pode ser exposta, causando acumulação nos organismos. Esta acumulação provoca reações adversas nos organismos causando efeitos mutagênicos, teratogênicos, carcinogênicos, dentre outros (AZEVEDO e CHASIN, 2003; PASCALICCHIO, 2002).

O sedimento pode atuar como um reservatório e mudanças nas condições ambientais podem provocar a remobilização do metal acumulado (BALACHANDRAN et al., 2005). Existem diferentes trabalhos discutindo mecanismos de transferência do metal seu comportamento e a sua disponibilidade (CALMANO et al., 1993; FÖRSTER et al., 1990).

Como o sedimento pode ser um reservatório dos contaminantes metálicos lançados no ambiente aquático sua análise passou a ser importante indicador do grau de contaminação causado pela poluição (SILVA, 2001).

Esta contaminação pode ser incrementada pelo curso dos rios que são um importante caminho para o transporte de material do continente para os oceanos. Os

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

metais são introduzidos na água do mar pelas descargas fluviais, ventos, fontes hidrotérmicas, intemperismo das rochas e atividades antrópicas.

As águas transportadas pelos rios representam a maior fonte de metais particulados e dissolvidos, ambos sendo mobilizados durante o intemperismo de rochas graníticas e balsâmicas. Alguns dos metais-traço estão presentes como cátions adsorvidos às superfícies das argilas. Quando a água do rio encontra com a do mar, ocorre um aumento da força iônica, que leva a desorção de alguns metais. Por outro lado, o aumento da força iônica e do pH também causa a ressolubilização dos metais, os quais podem precipitar na forma de oxihidróxidos. Os metais introduzidos pelas atividades antrópicas, muitas vezes, excedem os aportes naturais, representando um perigo efetivo em termos de contaminação (SALOMONS, 1998; ANDRADE et al., 1999).

Os organismos vivos requerem a presença de metais traço em quantidades suficientes para suprir suas funções nutricionais, mas não em quantidade tão elevada que se tornem tóxicas. Alguns desses organismos por estarem presentes em ambientes aquáticos podem ser usados como biomonitores do grau de contaminação existente numa área.

Dentre essas espécies biomonitoras estão os organismos marinhos que são capazes de assimilar e acumular em seus tecidos concentrações de metais superiores aos níveis permissíveis estabelecidos na legislação brasileira (MARTINCIC et al., 1984 apud ROCHA, 2000), o que poderá causar risco à saúde do ecossistema, tornando assim o estudo de suas concentrações de grande importância para a manutenção da qualidade de vida.

Moluscos bivalves são bastante utilizados em programas de monitoramento ambiental, por apresentarem características essenciais a um monitor biológico, tais como: hábito sedentário, vasta distribuição, resistência às parâmetros físicos e químicos do ambiente, presença ao longo de todo ano, resposta às variações dos níveis de contaminação do ambiente (PHILLIPS, 1990 apud ROCHA, 2000).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Entre as diversas espécies de moluscos utilizados em programas de monitoramento, o mexilhão *Mytillus edulis* é um dos mais estudados, porém, alguns estudos têm apontado as ostras como bioindicadores mais efetivos (MARTINCIC et al., 1984 apud ROCHA, 2000). Como exemplo, Connor e Lauenstein (2005) estudaram por alguns anos os efeitos do cobre presente em ostras e moluscos, constatando que ocorre acumulação deste metal nestas espécies e que esse metal é bioacumulado pela população costeira através da alimentação.

A Bacia do Pina situada em plena área urbana do Recife-Pernambuco (PE), representa um enorme potencial biológico, o qual é aproveitado pelos ribeirinhos. Essa área tem um papel sócio-econômico de fundamental importância, principalmente para os que possuem baixa renda, pois dela muitos retiram seu sustento diário, coletando moluscos, crustáceos e peixes, que servem como fonte de subsistência para uma população carente de proteínas e de baixo poder aquisitivo (FEITOSA, 1988).

O Parque dos Manguezais, considerado a maior área de mangue urbano do mundo é um dos últimos resquícios de mangue bem preservado da cidade do Recife, que cresceu, desde os seus primórdios, sobre o aterramento destas áreas mangue. Este processo continua até os dias atuais, remanescendo apenas estreitas áreas deste ecossistema, as quais, na maioria das vezes, sofrem ameaça de deterioração, tanto pelo depósito do lixo como pela favelização. Deve-se ainda destacar a pressão exercida pelo mercado imobiliário da cidade (CARVALHO, 2000). Mais recentemente a proposta de construção de uma rodovia para desafogar o trânsito entre as zonas sul e norte da cidade tem sido a “grande vilã” deste processo: A via mangue, que deverá remover famílias que residem em torno da área a ser construída (PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2005). O projeto tem sido motivo de grande discussão, por se tratar de uma área de manguezal, sendo um berçário para diferentes espécies biológicas e no âmbito social, por influenciar diretamente na situação econômica das populações ribeirinhas, que retiram desta área seu sustento.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A importância do mangue não se dá apenas por sua escassez relativa, mas, sobretudo pelas funções que exerce na vida do homem, como por exemplo, o controle das marés que evita as enchentes em épocas de chuvas fortes. Apesar de não ser exatamente muito rico em biodiversidade, por ser considerado um berçário para diferentes espécies (MEIRELES, 2005).

Dada a importância do assunto, tanto no que se refere à questão da toxicidade dos metais, quanto a área em questão para a cidade do Recife, justifica o desenvolvimento deste trabalho. Ela pode servir como um dos componentes básicos para o entendimento da variação da concentração de metais-traço nos sedimentos e biota do Parque dos Manguezais. Esta pesquisa vem sendo realizada desde 2006 pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP/OS, em parceria com o Departamento de Oceanografia – DOCEAN, Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

No capítulo 01 foi realizada uma introdução sobre os principais assuntos que foram tratados nesta tese.

O capítulo 02 deste trabalho apresenta os objetivos gerais e específicos para o desenvolvimento desta tese.

No capítulo 03 foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os temas principais abordados neste trabalho.

O capítulo 04 caracteriza a área de estudo e sua importância para cidade do Recife.

No capítulo 05 descreve-se a metodologia usada para coleta, localização das estações de coleta, análises de laboratório das amostras de sedimentos, biota e tratamento dos dados.

No capítulo 06 encontram-se os resultados hidrológicos, teores de matéria orgânica nos sedimentos e material sedimentado, bem como os resultados da concentração

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

de metais-traço nos sedimentos, material sedimentado nas 24h, perfil do sedimento e da biota.

As discussões dos resultados são apresentadas no capítulo 07.

No capítulo 08 encontram-se as conclusões a partir dos resultados obtidos e, finalmente, no capítulo 09 são apresentadas recomendações para futuros trabalhos.

## **2.0 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

Avaliar as concentrações de metais-traço no compartimento sedimento, nos moluscos bivalves e árvores de mangue do Parque dos Manguezais determinando suas variações sazonais, interações com os compartimentos estudados e o grau do impacto do ecossistema de modo a fornecer subsídios para estabelecer um sistema de monitoramento ambiental na área.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar as concentrações totais de metais traço (Cádmio, Cobalto, Cobre, Chumbo, Cromo, Níquel, Manganês, Ferro e Zinco), no sedimento, nos moluscos bivalves (*Mytella charruana* e *Anomalocardia brasiliiana*) e na árvore de mangue (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F.) do Parque dos Manguezais, nas estações chuvosa e seca;
- Avaliar a existência de correlação entre sedimento superficial, material sedimentado nas 24h e biota na área;
- Fornecer subsídios para a criação de um banco de dados, a fim de prover informações técnicas, para futuros estudos e intervenções a serem realizados.

### **3.0 – REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 – Metais-Traço em Sedimentos**

Como os sedimentos atuam como uma barreira biogeoquímica para retenção de metais traço e dada sua importância para o ecossistema manguezal encontram-se na literatura internacional trabalhos que justificam a importância da análise de metais traço em sedimentos costeiros, marinhos e continentais.

Leonard et al. (1996) determinaram as concentrações de metais (Cd, Cu, Zn, Ni e Pb) em sedimentos superficiais estuarinos e marinhos e na água do lago de Michigan e da Virgínia nos Estados Unidos, objetivando a obtenção de Critérios de Qualidade de Sedimentos (CQS). Os metais foram analisados por Espectrometria de Absorção Atômica (EAA) e por Espectrometria Emissão Ótica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Os autores constataram que 91% das amostras de sedimentos marinhos superficiais e 50% das amostras de sedimentos de água doce continham Sulfeto Voláteis Ácidos (SVA) detectável. Em 96% dos sedimentos marinhos as concentrações de SAV foram maiores do que a Soma Molar dos Metais (SMM), indicando uma pequena probabilidade de biodisponibilidade. O inverso aconteceu com os sedimentos da água doce, já que 91% continham concentrações de SMM total maior do que SAV. Entretanto, as concentrações dos cinco metais analisados nas amostras de sedimento de água doce foram uniformemente mais baixas e não excederam unidades tóxicas. Esta previsão de biodisponibilidade mínima de metal nas amostras do Programa de Avaliação de Monitoramento Ambiental dos Estados Unidos (EMPA) foi consistente tanto com a ausência geral de toxicidade em análise de laboratório com sedimento, quanto com o fato de que eles foram coletados predominantemente em locais não contaminados.

No estudo do estuário de Huelva, na costa do Atlântico, que se encontra em um meio fortemente poluído por ácidos e efluentes industriais, Caliani et al. (1997) relataram que a distribuição de metais pesados no baixo estuário está relacionada

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

com os processos fluviais e marítimos e que o meio estava estressado por impactos antrópicos.

Palanques et al. (1998) realizaram estudos em sedimentos superficiais do mar Mediterrâneo na costa Norte de Barcelona, Espanha. Esta região recebe grande carga de poluição de esgotos, provenientes da população próxima ao rio Besòs. Concluíram os autores que ao avaliar os teores de metais (chumbo, zinco, cromo e cobre) os sedimentos no século XVIII e XIX foram afetados por uma moderada contaminação de metais pesados e que ao longo das décadas que se seguiram essa contaminação aumentou drasticamente, em decorrência do aumento da industrialização, população e consumo de energia no ecossistema estudado.

Na caracterização e distribuição de metais em sedimentos superficiais no sudeste de Taiwan, Lee et al. (1998), estudando a concentração de cobre, chumbo, zinco, ferro, níquel, cromo e cádmio em sedimento superficial de origem estuarina, costeira e oceânica, constataram que todas as estações de estudo estavam poluídas por cobre e zinco, em comparação com a concentração de "background" utilizado. Os resultados demonstraram ainda que a normalização de técnicas relacionadas com o tamanho do grão e a concentração de ferro pode caracterizar a poluição em sedimentos marinhos.

Utilizando a técnica de Espectrometria de Emissão em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), Fukue et al. (1999) estudaram as concentrações de vários elementos, tais como ferro, alumínio, manganês, titânio, cobre, zinco, vanádio e fósforo em amostras de sedimentos, obtidas de diferentes localidades em várias baías do Japão. Os resultados mostraram que os sedimentos estavam poluídos com vários elementos; a camada poluída de sedimento marinho variava aproximadamente de 10-70cm; que em alguns casos o grau de poluição para Cu era maior que sete (7) em relação ao grau de contaminação em relação os valores usados como referência. Os resultados mostraram que a poluição devido a atividades humanas teve início em torno de 1975.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Turner (2000) estudou a contaminação de metais (ferro e manganês) em sedimentos originados de estuários do Reino Unido, com relação à influência da contribuição de hidróxido de ferro e óxido de manganês na acumulação destes metais, que por ações antrópicas podem ser disponibilizados para o meio ambiente.

Jiménez e Osuma (2001) estudaram a concentração de metais pesados, carbonatos, carbono orgânico e aspectos granulométricos em sedimentos de 60 pontos dentro do Porto de Mazatlán e áreas adjacentes, a sudoeste do Golfo Califórnia. Observaram que as concentrações mais altas para a maioria dos metais ocorreram nos sedimentos finos do estuário, da área superior da lagoa e da zona industrial, contrastando com os baixos níveis encontrados em sedimentos arenosos existentes no canal de navegação, na entrada do porto e em uma área associada com a saída do esgoto.

Um estudo preliminar dos níveis de contaminação pelos metais manganês, cobre, zinco, níquel, chumbo, ferro, cromo e cádmio nos sedimentos e folhas de *Laguncularia recemosa* da baía de Punta Mala, situada na costa pacífica da República do Panamá, que sofre intensa atividade antrópica foi realizado por Defew et al. (2005). Concluíram os autores que as concentrações do ferro, zinco e chumbo apresentaram um nível elevado de contaminação, tornando-se assim uma séria ameaça ao ecossistema manguezal. Quanto aos valores encontrados para o elemento cobre, observou-se uma moderada contaminação e as concentrações encontradas para os elementos níquel, cromo e cádmio não apresentaram perigo ao ambiente, pois suas concentrações estiveram próximas aos valores considerados para áreas com níveis naturais.

Cave et al. (2005) determinaram a contaminação por metais-traço (arsênio, cobre, chumbo e zinco) em sedimentos da bacia e estuário de Humber, no Reino Unido (Inglaterra), e as implicações para o futuro da qualidade da água estuarina. Neste trabalho observaram que os quatro elementos têm um grande componente antrópico na bacia devido ao histórico de mineração, atividade industrial e urbanização, além de que, para o chumbo e o zinco existem altos níveis naturais no local devido as

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

condições geológicas. Os autores concluíram que o referido estuário encontrava-se numa fase pós-industrial com níveis de metais oriundos das indústrias em declínio desde a década de 1970.

Cuong et al. (2005) determinaram a contaminação por metais pesados em habitats de mangue em Singapura nos compartimentos água, sedimentos e biota. Níveis de arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) foram mensurados em todas as amostras (com exceção do arsênio no sedimento e do cromo na biota). Os resultados mostraram que as concentrações de metais decrescem na ordem de  $Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd$ . Concluíram os autores que os níveis destes contaminantes estiveram mais elevados quando comparados aos valores relatados em manguezais na Austrália (1992) e México (2001), e mais baixos em relação aos encontrados em Hong Kong (1999) e no Brasil (2003).

A distribuição dos metais cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), chumbo (Pb), manganês (Mn) e zinco (Zn) em sedimentos de três estuários (Igbede, Ojo e Ojora) na Nigéria foram estudados por Adekoya et. al. (2006). Os níveis de metais traços foram determinados em um espectrômetro de absorção atômica. As análises estatísticas mostraram que as concentrações de metais no ambiente aquático seguiram a seguinte distribuição  $Fe > Zn > Mn > Pb > Cu > Cr > Cd$ ,  $Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cr > Cd$  e  $Fe > Zn > Mn > Cu > Cr > Pb > Cd$  no rio Igbedem Ojo e Ojora respectivamente. Concluíram os autores que as concentrações de metais encontrados nestes diferentes rios estiveram dentro dos limites tolerados pela World Health Organization (WHO).

Mostafa et al. (2009) estudaram a concentração dos metais níquel, cobalto, manganês, cádmio, ferro, cobre, zinco, cromo e chumbo em sedimentos superficiais e moluscos bivalves na região costeira de Hadhramount no Golfo de Aden na Republica do Yemen, área sujeita à contaminação de poluentes orgânicos e metais em concentrações desconhecidas, provenientes de efluentes domésticos, industriais e agrícolas. Os resultados mostraram que no sedimento e nos moluscos as concentrações dos metais estudados estiveram abaixo dos níveis mundiais usados

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

como referência. Concluíram os autores que os sedimentos da área de estudo são menos contaminados quando comparados com sedimentos de outras regiões no mundo; que a concentração de metais nos sedimentos não estava associada a efeitos biológicos e que até o momento os metais estudados não estão disponibilizados para biota.

Na literatura nacional, dentre os trabalhos realizados nesta área de estudo pode-se citar que Santos et al. (1997) estudaram a distribuição de metais (chumbo, cádmio, zinco, cromo e cobre) em sedimentos nos manguezais do estuário do rio Joanes - Bahia, Brasil, objetivando determinar os níveis naturais desses metais para atualização como dados de controle. Os resultados, obtidos quando comparado com os da região de Maragogipe, Santo Amaro, Senegal, Indonésia, Guiana e com material certificado, mostraram que os valores dos metais pesados registrados, não havia, até aquela data, apresentado um risco de impacto ambiental.

Brayner (1998) determinou taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de cultivo de peixes, localizado no estuário do rio Capibaribe na Região Metropolitana do Recife, em uma área que sofreu modificações antrópicas. A autora concluiu que a água do viveiro apresentou contaminação ocasionada pelo lançamento contínuo de esgoto bruto; o sedimento apresentou níveis de metais muito acima dos valores obtidos nas amostras de "background" coletadas na parte interna da antiga estação de rádio da marinha localizada no bairro de Boa Viagem/PE, particularmente para o zinco e cromo, demonstrando uma contaminação da área por estes metais; e os fatores de concentração, para peixes, não indicavam a ocorrência da bioacumulação para os metais estudados.

Andrade et al. (2000) estudaram a especiação de metais-traço em sedimentos de florestas de manguezais com *Avicennia* e *Rhizophora* na costa norte do Amapá, numa região sem impactação, onde há predomínio dos processos biogeoquímicos naturais. Concluíram que as concentrações dos metais-traço ferro, cobalto, níquel e cobre sugerem que a especiação destes metais na fração reativa e pirita é diferenciada no sedimento recoberto pelas espécies *Avicennia* e *Rhizophora*. A

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

maior concentração dos metais associada à fração reativa no solo com *Avicennia* sugere que, em função de sua rizosfera possuir alto potencial oxidante, este ambiente propiciaria uma maior biodisponibilidade de metais-traço que aquele recoberto com *Rhizophora*. A associação de metais-traço a compostos de enxofre parece ser diretamente influenciada no sedimento recoberto pela espécie *Avicennia*.

Ao estudar Complexo Estuarino de Itamaracá/PE, Rocha (2000) determinou os níveis de metais-traço (chumbo, cádmio, cobalto, cobre, níquel, zinco e manganês), macroelementos (alumínio, ferro, cálcio, magnésio) e teores de matéria orgânica nos sedimentos, a biodisponibilidade de chumbo, cádmio, cobalto, cobre, níquel e zinco para a ostra do mangue, *Crassostrea rhizophorae*, bem como os padrões de distribuição espacial e sazonal desses elementos e suas correlações. A autora conclui que as concentrações de metais nos sedimentos e ostras do mangue encontravam-se dentro da faixa para áreas consideradas não contaminadas por metal e que as variações sazonais nos níveis de metais nos sedimentos e ostras foram pequenas, não apresentando nenhum padrão consistente. Estes resultados indicaram que a principal fonte de metais para área é o continente, através da drenagem dos rios.

Faria et al. (2001) estudaram a geoquímica e mineralogia de sedimentos recentes na seção nordeste da baía da Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil. Os autores concluíram que as análises geoquímicas dos metais pesados no sedimento da baía detectaram níveis de zinco e cobre superiores aos níveis encontrados nos sedimentos fluviais. Os perfis de concentração dos rios estudados exibiram um decréscimo na concentração dos metais ao longo de seus cursos, ao contrário da baía que apresentou maiores variações. De modo geral, as regiões de foz dos rios destacaram-se pelas concentrações mínimas dos metais, e as áreas anômalas de concentrações máximas situavam-se ao norte e a leste da ilha de Paquetá. Apesar dos fatores de enriquecimento dos metais pesados serem mais elevados na baía do que fatores encontrados nos rios, os índices de acumulação de cobre, chumbo e zinco ainda classificaram a área de estudo como não poluída tanto dos rios como o setor NE da baía.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Brayner et al. (2001) realizaram a especiação de metais pesados em sedimentos estuarinos provenientes de um viveiro de peixes no rio Capibaribe, utilizando quatro passos de extração seqüencial para determinar a associação química de metais pesados (zinco, cromo, manganês e ferro) com as diferentes fases (troca, redução e oxidação). De uma maneira geral, as autoras observaram que os metais analisados ficam preferencialmente fixados na fração residual, indicando que o sedimento do viveiro atua como um reservatório.

Machado et al. (2002) estudaram a acumulação de mercúrio, zinco, cobre em sedimentos numa região de mangue na baía da Guanabara, sudeste do Brasil e constataram que o ecossistema manguezal funciona como uma barreira física e biogeoquímica para contaminação e mobilização destes metais no sedimento, podendo prevenir a movimentação dos metais para os corpos d'água.

Chagas (2003) estudou o nível de hidrocarbonetos e metais pesados (zinco, manganês, cromo, cobalto, chumbo, níquel e cobre) em sedimentos superficiais estuarinos na área de intervenção do Complexo Industrial Portuário de Suape - PE, Brasil, para identificação da presença destes compostos e para caracterizar suas variações espaciais. Os estudos revelaram que a área não estava poluída em relação aos hidrocarbonetos; que as concentrações de metais pesados não apresentaram variações entre as estações de coleta, exceto para chumbo e níquel e as concentrações dos metais foram inferiores aos limites indicados para a caracterização de solos contaminados, com exceção para o cromo e chumbo em algumas estações.

Brayner e Matvienko (2003) estudaram o manganês e ferro como carreador de oxigênio para sedimentos anóxicos, em um viveiro de peixes na região estuarina, do rio Capibaribe, Recife-Pernambuco. Os autores concluíram que tanto o manganês quanto o ferro na forma divalente são mais solúveis que em sua forma trivalente e podem ser liberados do sedimento para coluna d'água, realizando o transporte de oxigênio dissolvido para os ambientes anóxicos, devido as constantes trocas com a coluna d'água.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Brayner et al. (2003) estudaram o comportamento dos metais pesados (cádmio, cobalto, cromo, cobre, manganês, níquel, chumbo e zinco) no estuário do rio Capibaribe, Recife-Pernambuco, coletando 16 amostras de sedimento ao longo do estuário nas margens esquerda e direita. Os resultados indicaram que a concentração dos metais totais ao longo do estuário do rio Capibaribe foi influenciada pela a composição granulométrica do sedimento e que as maiores concentrações de metais estão nos sedimentos com maiores percentuais de argila. Entretanto, alguns sedimentos com alta composição de areia têm também altas concentrações de metais pesados, que podem ser explicados por outros fatores, tais como a quantidade de substâncias húmicas, fontes pontuais de poluição, regime predominante da hidrodinâmica da argila mineral, entre outros.

Um estudo sobre a distribuição das concentrações dos metais pesados cromo, mercúrio, níquel, ferro, zinco, cobre e manganês nos sedimentos da planície de maré e de floresta de mangue, nas regiões dos manguezais de Coroa Grande e Enseada das Garças, na Baía de Sepetiba – RJ, foi realizado por Coimbra (2003). Os resultados indicaram que a região da Coroa Grande apresenta maior índice de contaminação por se encontrar próxima às fontes poluidoras, sendo ela a localidade que apresenta maior risco potencial para transferência de metais.

Os níveis dos metais traços (prata, cádmio, cromo, cobre, manganês, níquel, chumbo, titânio, vanádio e zinco) em solos do Complexo Industrial e Portuário de Suape-PE e sedimentos de correntes dos rios Massangana, Tatuoca e Ipojuca, foi analisado por Téodulo (2004), uma vez que estudos prévios á instalação do complexo industrial não tinham sido realizados. A análise indicou quantidades de chumbo, manganês, cromo, titânio e vanádio detectados na fração residual. Não havia, entretanto, comprometimento dos ecossistemas locais, visto que a maior parte destes elementos estava na estrutura de minerais, e não estavam biodisponíveis para os processos bioquímicos. Detectou-se concentração elevada apenas para o cádmio, segundo referência para solo. O autor constatou que todas as amostras da área do Complexo, tratadas para a extração da fração biodisponível, apresentaram valores muito abaixo do valor de referência para áreas industriais.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Calado (2004) estudou os teores de alguns metais em macroalgas e sedimentos marinhos e suas interações com as características da água do mar, visando diagnosticar a situação atual e sugerir um eficiente monitoramento costeiro para o estado de Pernambuco. Observou que, nas algas, as mais elevadas concentrações de metais foram registradas no litoral sul, devido a ações antrópicas, sendo a *Hypnea musciformis* a que apresentou maior capacidade de retenção. Nos sedimentos os maiores teores encontrados foram também registrados no litoral Sul. Concluiu também que os sedimentos retêm maiores teores de metais em relação às algas estudadas sendo, portanto, o compartimento mais indicado para o monitoramento costeiro destes metais no estado de Pernambuco.

Silva (2004) estudou a concentração dos metais cádmio, cobalto, cobre, chumbo, cromo, ferro, níquel, manganês e zinco em sedimentos superficiais e no material sedimentado em um período de 24 horas nas estações chuvosa e seca no estuário do Rio Capibaribe na cidade do Recife-Pernambuco. Concluiu a autora que os teores de cádmio, cobre, cromo, ferro, zinco e manganês nos sedimentos e no material sedimentado nas 24h apresentaram níveis de concentração muito acima dos valores obtidos de “background”, indicando uma elevada contaminação da área de estudo. A estação 06, próxima à foz do estuário, foi a mais impactada durante todo o período estudado e que o chumbo, cobalto e níquel não foram detectados durante o presente estudo, visto que as concentrações estiveram abaixo do limite de quantificação e detecção do método.

Jesus et al. (2004) estudaram a distribuição dos metais cobre, chumbo, manganês, níquel, zinco, alumínio, ferro, cádmio e cobalto em sedimentos superficiais da região estuarina da Ilha de Vitória – ES, com o objetivo de avaliar o impacto que as ações antrópicas causam na região estudada. Concluíram os autores que as elevadas concentrações de cobre, zinco e manganês indicam que as ações humanas na região trazem alto risco toxicidade para o ambiente estudado e que a concentração dos demais metais estudados trazem apenas risco médio de toxicidade para região.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Uma avaliação dos teores dos metais alumínio, manganês, ferro, cobre, zinco, níquel, cádmio, chumbo, cromo e vanádio em sedimentos do ecossistema manguezal foi realizada por Garcia et al (2005) nos municípios de São Francisco do Conde e Madre de Deus, no norte da Baía de Todos os Santos, na Bahia. As concentrações quantificadas para os metais estudados foram comparadas com valores de agências ambientais internacionais, sedimentos de manguezais no Brasil e Hong Kong. Os resultados indicaram que os teores dos metais estão dentro das concentrações recomendadas pelas agências internacionais e também inferiores aos níveis encontrados nos manguezais brasileiros e de Hong Kong. Concluíram os autores que os elementos estudados nas amostras de sedimento não contêm teores de riscos potenciais para o meio ambiente.

Luiz-Silva et al. (2006) realizaram estudos sobre a variação espacial e sazonal das concentrações multi-elementares de prata, alumínio, arsênio, bário, bismuto, cálcio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, gálio, mercúrio, potássio, lítio, magnésio, níquel, chumbo, antimônio, estrôncio, tálio, telúrio, vanádio e zinco, em sedimentos do sistema estuarino de Santos-cubatão (SP). Os resultados constataram que os sedimentos apresentavam níveis de metais pesados que podem afetar o equilíbrio do ecossistema local. O mercúrio apresentou a maior dispersão nos sedimentos do estuário, principalmente no rio Cubatão. Os demais elementos estudados apresentaram maiores concentrações, bem como variabilidade geoquímica sazonal, nos sedimentos do rio Morrão. Os autores concluíram que os níveis de concentração dos multi-elementos podem afetar o equilíbrio do ecossistema estudado.

Passos (2006) estudou a concentração dos metais cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco nos sedimentos do estuário do rio Poxim em Sergipe, com o objetivo de avaliar os resultados com base nos valores de referência estabelecidos no Guia de Qualidade de Sedimentos dos Estados Unidos (GQS, 1997). Avaliando as concentrações encontradas no estudo o autor concluiu que elas apresentaram valores baixos em relação ao GQS, não acarretando assim efeitos biológicos adversos para vida aquática da região estudada.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Silva et al. (2006), estudaram a variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP). As análises químicas multi-elementares (prata, alumínio, arsênio, bário, bismuto, cálcio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, gálio, mercúrio, potássio, lítio, magnésio, níquel, chumbo, antimônio, estrôncio, tálio, telúrio, vanádio e zinco), mostraram que metais geoquimicamente anômalos (cádmio, cromo, cobre, mercúrio, manganês, chumbo e zinco) são altamente recomendáveis para investigações quanto ao risco à biota diretamente exposta ao contato com os sedimentos e os organismos bentônicos.

Um estudo sobre a distribuição dos metais ferro, cobre e chumbo em sedimentos em uma região de mangue devastado no noroeste da Baía da Guanabara no Rio de Janeiro foi realizado por Borges et al. (2007). As amostras foram coletadas em três áreas entre marés: 1 – Local proveniente da planície de lama onde a floresta de manguezal sofreu desmatamento, cerca de 20 anos atrás (Ponto MD); 2 – Área onde havia um a floresta morta a cerca de 02 anos antes da coleta (Ponto MP) e 3 – Região onde havia um remanescente de floresta de *Laguncularia racemosa* (Ponto MV). Os resultados indicaram uma tendência de aumento na concentração de todos os elementos nos locais estudados na seqüência MD > MP > MV. Os autores concluíram que a poluição nas águas da Baía de Guanabara resultaram em um elevado aporte de cobre e chumbo para área em estudo, onde a degradação da vegetação trouxe como consequência alteração na acumulação de matéria orgânica, que pode afetar significativamente a acumulação de metais nos sedimentos.

A Lagoa Olho D'Água, que faz ligação com o estuário do rio Jaboatão, foi estudada por Souza em 2007. Analisou-se o potencial de remoção dos metais-traço do pacote sedimentar, a partir de sua distribuição nas diversas fases químicas, como uma ferramenta para avaliação ambiental da área. Os metais analisados foram ferro, manganês, níquel, cobre, cobalto e urânio. Os metais ferro e manganês apresentaram maiores concentrações que os outros metais analisados, mas, suas concentrações estão próximas àquelas observadas em ambientes não impactados. Para os metais manganês e urânio, os resultados indicaram que suas origens são

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

litológicas, não podendo sua presença ser atribuída a atividades antrópica. O níquel e cobalto estão indisponíveis para animais e plantas, pois, estão associados principalmente à fase residual. O estudo mostrou que a maior fração dos metais presentes não estava biodisponível.

Hortellani et al. (2008) avaliaram a contaminação de 41 elementos metálicos nos sedimentos do estuário Santos em São Vicente/SP, utilizando no sistema estuarino três tipos de abordagem: normalização com Al, análise estatística e as diretrizes de qualidade de sedimentos (SQGs). Os resultados mostraram aumentos nas concentrações de Zn, Ni, Pb, Cd, Cr e Hg, que parece estar associada a atividades humanas. Os níveis encontrados para os elementos Al, Co e Fe foram associados a composição dos sedimentos ou processos naturais de intemperismo. Cerca de 45% das amostras apresentaram concentrações superiores a TEL-ERL, associados a efeitos biológicos adversos. Quatro dessas amostras apresentaram concentrações acima de PEL-ERM, freqüentemente associadas as mesmas adversidades biológicas.

Lira (2008) estudou a concentração de metais pesados (cromo, ferro, manganês e zinco) nos sedimentos de fundo da Lagoa do Araçá em Recife – PE e constatou que os teores de manganês, ferro, zinco e cromo apresentaram níveis de concentração muito acima dos valores de referência adotados (CETESB, CCME, USEPA) no estudo, indicando contaminação dos sedimentos da lagoa por estes metais.

Noronha (2008) determinou as concentrações dos metais traços zinco, manganês, cromo, cobre, níquel, cádmio e ferro em sedimentos superficiais do estuário do rio Timbó- PE, relacionando essas concentrações com os parâmetros hidrológicos e com o teor de matéria orgânica encontrados, a fim de identificar o grau impactação da área estudada. O estudo identificou que a água do rio Timbó estava comprometida em relação aos valores de oxigênio dissolvido e à taxa de saturação de oxigênio dissolvido. Para os metais, os sedimentos superficiais do estuário do rio Timbó, apresentaram níveis de zinco, manganês, cromo e ferro superiores aos valores de referência, indicando a contaminação da área. As concentrações de zinco

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

e cromo, também ultrapassaram os valores-guias do Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (TEL e PEL), acima dos quais se torna provável os efeitos adversos à biota. Verificou-se, porém, que estes metais, estão pouco disponíveis à biota, devido aos valores de pH (condições redutoras) e a carga orgânica obtidos na análise, que tendem a imobilizar os metais no sedimento por mecanismos de adsorção e precipitação.

O estudo da qualidade dos sedimentos do rio Tatuoca em locais de influência antrópica e ambientes isolados foi realizado por Moraes (2009). A pesquisa teve o objetivo de caracterizar o estado atual dos sedimentos e verificar a possibilidade de passivo ambiental dos corpos aquáticos ligados ao Complexo Industrial Portuário de Suape. Realizou-se a análise de testemunhos coletados em quatro pontos ao longo do rio Tatuoca, nos quais foram determinadas as concentrações de 16 elementos químicos: alumínio, cromo, níquel, ferro, vanádio, bário, potássio, lítio, magnésio, cálcio, sódio, zinco, estrôncio, chumbo, além do teor de matéria orgânica e frações granulométricas. Através da análise dessas espécies químicas no sedimento, foi diagnosticado o comportamento temporal utilizando ferramentas como a geoestatística e o fator de enriquecimento. Os metais tiveram seus teores de toxicidade comparados com os limiares da USEPA, apresentando-se abaixo do valor mínimo para referência. Comparando-se os valores dos topos de cada testemunho, observou-se que os teores de chumbo se apresentaram dentro do mesmo intervalo de concentração e os teores de cromo, níquel e zinco, apresentaram um aumento em relação a trabalhos realizados anteriormente na área, sugerindo que estas espécies químicas são indicadores fundamentais no monitoramento da qualidade dos sedimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape. O autor concluiu que apesar de ser evidente o impacto ambiental causado pela infra-estrutura, a qualidade dos sedimentos do rio Tatuoca encontra-se alterada, mas, não pode ser considerada poluída.

### 3.2 – Metais-Traço em Moluscos Bivalves

O filo Mollusca é formado por uma grande variedade de invertebrados como: mexilhões, ostras, mariscos, caracóis, lesmas, lulas, polvos, sépias e outros. Distribuindo-se em agrupamentos relacionados com a profundidade, o tipo de substrato, a salinidade da água e com os produtos primários, esse filo apresenta duas classes: Gastropoda e Bivalvia (BRUSCA, 2003).

A classe Bivalvia também conhecida como mariscos ou bivalves apresenta oito mil espécies de moluscos marinhos e dulcícolas onde se incluem os mexilhões, sururus e ostras. Como característica distintiva dos outros moluscos tem-se uma concha bivalvar e cabeça reduzida que representam adaptações para os espécimes se enterrem em substratos macios. Os bivalves se alimentam por filtração, sendo que essa condição evolutiva os levou a uma melhor adaptação ao seu habitat (VILLE, et al., 1985).

Na classe Bivalvia, têm-se a ordem Mytiloidea, que é formada por organismos presos ao bento por cordões bissais, dobradiças geralmente sem dentes, músculo adutor anterior reduzido. Inclui a família *Mytilidae* *Mytilus*, *Brachidontes*, *Modiolus*, *Gerkensia* e *Lithophaga* (RUPPERT, 1996).

A literatura apresenta vários trabalhos sobre contaminação por metais traço em diversos tipos de sedimentos e na biomassa dos ecossistemas. No que se trata de moluscos os mesmos são bons indicadores para metais, sendo estudados mundialmente.

Na Costa Algavia (Sul de Portugal), Machado et al. (1999), determinaram ao longo de 14 estações de amostragem, as concentrações de cádmio, cobre e zinco em mexilhões *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck,1819) e *Lapas patella* sp. por Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (AAS), registrando valor de Cd de 1,3 mg.kg<sup>-1</sup> em *Lapas patella* sp., enquanto em *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck,1819) observaram valores para o zinco de 380 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo que as

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

concentrações de cobre ( $189 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) se encontraram em mesma concentração para ambas as espécies. Os autores constataram que em estações sob influência antrópica os teores dos metais estudados apresentaram valores elevados cádmio ( $1,3 - 3,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), cobre ( $4,8 - 7,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e zinco ( $189-398 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), sendo superiores aos recomendados para moluscos pelo "Food Standards Committee" o que sugere existência de fontes de contaminação por metal pesado nas proximidades.

Ruelas e Ossuna (2000) avaliaram a biodisponibilidade de cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em ostras *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951), mexilhão *Mytella strigata* (Hgnley, 1843) e craca *Fistulobalanus dentivarians* (Henry, 1973), nas águas litorâneas da enseada de Mazatlán, extremo sudeste do Golfo da Califórnia, durante um ano. Foram evidenciadas variações periódicas e específicas em algumas concentrações de metais especialmente para Cd, Ni, Pb e Zn. Em contraste com Fe, Pb e Zn, as concentrações de Cd variaram em ambas as espécies. Mexilhões concentraram maiores níveis de Ni que outros organismos, enquanto as cracas tiveram maior concentração de Cd, Pb e Zn. A comparação entre as concentrações de Cd, Fe, e Zn nos tecidos macios dos dois bivalves é útil em estudos monitorados quando somente uma espécie prevalece.

Szefer et al., (2004) avaliaram as concentrações de cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), estanho (Sn), titânio (Ti) e zinco (Zn) por Espectrômetria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado em tecidos moles e bisso de *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) encontrados na Baía de Masan e Baía de Ulsan, Coréia. As variações de Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, Co, Mn eram elevadas. Introduzidos em outras áreas geográficas, verificou-se que houve variações de concentração de metais nos tecidos moles e bisso, sendo atribuídas a diferentes fontes de oligoelementos, localizados próximo à amostragem. O nível de concentração de alguns metais (Cd, Cu, Pb, e Zn) em *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) sugere que o bivalve pode ser usado como um bioindicador para as disponibilidades de oligoelementos nas águas costeiras da Coréia.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Castillo et al. (2005) quantificaram por meio de AAS as concentrações dos metais pesados cobre, cromo, ferro, chumbo, zinco, cádmio, níquel e manganês em gônadas e músculo adutor do bivalve *Perna perna* (Linnaeus, 1758), em um setor de cultivo na Enseada de Turpialito (Golfo de Cariaco, Venezuela). Este trabalho teve a finalidade de determinar a capacidade de acumulação metálica nos tecidos do molusco e verificar se os mesmos são úteis para o consumo humano, encontrando níveis de acumulação metálica bem maiores que os propostos pela legislação local tanto no sistema gonadal como no muscular. Citam os autores que essa condição pode ser devida aos efeitos contaminantes do setor industrial e populacional encontrado ao longo do golfo de Cariaco.

No golfo de Paria, fronteira da Venezuela e Trinidad, Astudillo (2005) determinou as concentrações de cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) e zinco (Zn) em sedimentos, ostras *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) e *Crassostrea virginica* (Cheng, 1967), e no mexilhão *Perna viridis* (Linnaeus, 1758). Os metais nas amostras dos moluscos foram quantificados por EAA. Foi constatado que as ostras do golfo de Paria apresentavam valores de Cd, Cu Ni e Zn mais elevados que os obtidos na costa norte da Venezuela, sendo que no mexilhão os teores cobre e zinco ultrapassaram os níveis máximos (Cu 20 mg.kg<sup>-1</sup> e Zn 50 mg.kg<sup>-1</sup>) propostos pelo Canadian Council of Ministers of the Environment para alimentação humana. Esses resultados indicam que moluscos podem ser bons bioindicadores para poluição por metais pesados refletindo a concentração que pode disponibilizada a partir de sedimentos.

Sasikumar et al., (2006) monitoraram cádmio, cromo, ferro, manganês, níquel, zinco e chumbo no molusco *Perna Viridis* (Linnaeus, 1758). Em águas costeiras da Ásia que é usado em programas de observação de mexilhões para monitorar contaminações no meio ambiente das regiões. Espécimes do molusco de tamanhos e habitats diferentes foram amostrados no seu leito natural em 28 localidades na costa de Karnataka (sudeste da Índia). Concentrações de cromo, cobre, ferro, e chumbo foram significativamente altas em tecidos de mexilhões menores que no grupo de maior tamanho. Variações espaciais nas concentrações de todos os metais em tecidos foram observadas, exceto para o zinco. Em geral, os níveis de traços de

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

metais como chumbo, cádmio, níquel, e cromo em todo o tecido de *Perna Viridis* (Linnaeus, 1758) estavam dentro dos limites de segurança em toda a costa de Karnataka. Contudo, concentrações relativamente altas de cádmio, cromo, e chumbo foram observadas no tecido de moluscos coletados de áreas industriais, os quais podem ser derivados de uma variedade de atividade antrópica.

A literatura nacional enfoca metais encontrados nos manguezais e sua distribuição desde a fonte de matéria orgânica sedimentar até as cadeias alimentares, tanto do manguezal quanto das áreas estuarinas ou costeiras. Silva et al. (2002) destacam que metais pesados provenientes das descargas de efluentes domésticos e industriais liberados nos estuários são incorporados à biota e podem ser transferidos para populações humanas que usam organismos estuarinos como fonte alimentar.

Carvalho et al. (2000) estudaram as concentrações de cobre, zinco, chumbo e cádmio em *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) encontrada no estuário do rio Bacanga, São Luis, Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil para avaliar uma possível influência do lançamento de esgotos domésticos “*in natura*” no setor estuarino. As concentrações de cobre apresentaram variações entre 5,2 e 13,1 mg.kg<sup>-1</sup>, e a de zinco situaram-se entre 49,1 e 76,3 mg.kg<sup>-1</sup>. No tocante ao chumbo e ao cádmio, os valores encontrados foram inferiores a 2,0 mg.kg<sup>-1</sup> compatíveis com os máximos permitidos pela legislação Brasileira (Portaria MS N<sup>o</sup> 685 de 27 de agosto de 1998, para produtos de pesca), para o zinco, observou-se valores ligeiramente mais elevados que o máximo recomendável pelo Decreto do MS N<sup>o</sup> 55.871 de 26 de março de 1965. Os valores de cobre, entretanto, apresentaram-se abaixo deste limite.

Wallner et al. (2000) estudaram as concentrações de cobre, zinco, cádmio e chumbo em ostras *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) que foram reciprocamente transplantadas para dois locais diferentes: um contaminado no canal de Cotegipe na baía Aratu e um não contaminado Cacha-Prego, dentro e fora da Baía de Todos os Santos (Brasil). Os metais foram medidos após 0, 15, 30 e 60 dias de exposição no local contaminado. Ostras transplantadas do local não contaminado para o

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

contaminado, em 60 dias tinham acumulado cádmio e chumbo em concentrações semelhantes, como o encontrado nas ostras nativas do local contaminado. Também acumularam cobre e zinco, mas em níveis inferiores quando comparados com espécimes nativas. Ostras transplantadas do local contaminado, ao serem novamente introduzidas no local original, apresentaram fortes diminuições de cobre e chumbo. Os diferentes resultados de experimentos de eliminação no local não contaminado sugerem diferentes graus fixação de metal traço após longo e curto prazo de acumulação metálica.

Saraiva (2002) avaliou a contaminação por cádmio, cromo, cobre, ferro, níquel, chumbo, zinco em manguezais dos rios Aribiri, Bubu e Santa Maria da Vitória, município de Grande Vitória, Espírito Santos, utilizando como bioindicadores os moluscos *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) e *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819). Verificou que as contaminações por cromo e zinco em alguns espécimes amostrados se encontravam nos limites máximos permitidos pela legislação Brasileira (Decreto N<sup>o</sup> 55.871 de 26 de março de 1965).

No estuário de Cananéia, São Paulo, Machado et al. (2002) avaliaram os níveis de contaminação por chumbo, cádmio, mercúrio, cobre e zinco no bivalve *Crassostrea brasiliiana* (Lamarck, 1819), no período compreendido entre dezembro de 1996 a setembro de 1997, em lotes destinados à comercialização. O chumbo e cádmio foram quantificados por AAS, cobre e zinco por ICP-OES e mercúrio determinado por espectrometria de absorção atômica com gerador de vapor frio. Através do estudo, os autores chegaram à conclusão que as concentrações de metais pesados no bivalve encontram-se abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação brasileira (Decreto do MS N<sup>o</sup> 55871/1965), constando-se que o consumo do produto em questão não apresenta riscos aparentes à saúde, no tocante a este parâmetro específico de qualidade.

Em 12 bancos naturais da região litorânea da baixada Santista foram coletas por Pereira et al. (2002) amostras de moluscos bivalves *Crassostrea brasiliiana*, *Perna perna* e *Mytella falcata* para determinar os teores de mercúrio, chumbo, cádmio,

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

cobre e zinco. Para quantificação dos metais estudados foram utilizadas as técnicas espectrométricas de Absorção Atômica de vapor frio para mercúrio e ICP-OES para os demais metais estudados. Os autores concluíram que no período estudado (set/1996 a fev/1997) os bivalves provenientes dos bancos naturais estudados encontravam-se em condições adequadas para o consumo humano no que diz respeito às análises realizadas.

Andréa (2003) determinou as concentrações dos metais mercúrio, cobre, zinco, cromo, ferro, níquel e manganês em sedimentos e nos bivalves das espécies *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819), encontrados em dois setores de manguezal (Coroa Grande e Enseada das Graças) da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil, comparando as concentrações de metais do sedimento com as encontradas em cada espécie de molusco estudado. Os resultados demonstraram que as concentrações metálicas foram mais altas no sedimento de Coroa Grande, provavelmente devido à proximidade de fontes de contaminação industrial. O autor comprova que essas duas espécies podem ser usadas em programas de monitoramento ambiental.

Amostras de ostras comercializadas na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil foram estudadas quanto à contaminação por elementos traço (mercúrio, zinco, ferro, cobre e manganês) por Cavalcanti (2003). A determinação das concentrações dos metais foi realizada por espectrometria de absorção atômica. O autor concluiu que o mercúrio foi o principal contaminante encontrado nas ostras e que este elemento é o que apresenta maior risco à saúde pública. As concentrações encontradas sugerem que a ingestão desses espécimes deve ser feita com restrições, principalmente pela população que vive de sua coleta como forma de subsistência, por crianças e mulheres grávidas.

Melo (2004) determinou as concentrações dos metais ferro, cobre, cromo, chumbo e zinco em sedimentos e em moluscos bivalves *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) encontrados no manguezal do rio Potengi – Natal – RN. Os teores dos metais para sedimentos foram quantificados por ICP-OES, sendo os bivalves por AAS. Os resultados mostraram que não existiu variação significativa entre

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

concentrações dos metais entre o período seco e chuvoso nos exemplares de ostras, mas observaram-se variações nas diferentes estações de coleta, exceto para o cobre que se apresentou constante. Também comprova o autor que o zinco apresentou valores acima dos permitidos ( $50,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) pelo Decreto MS N<sup>o</sup> 55.871/1965.

Amaral (2005) estudou a acumulação e depuração de metais zinco e cádmio em ostras *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) e mexilhões *Perna perna* (Linnaeus, 1758), da baía de Sambaqui, SC, considerada isenta de contaminação transplantando amostras dos moluscos para a baía de Sepetiba, RJ impactada por zinco e cádmio. Após três meses de exposição, ostras transplantadas para o local de poluição quadruplicaram a acumulação de zinco ( $0,307\text{-}1,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) sem atingir o nível dos espécimes nativos ( $9,77 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Observou-se uma ligeira diminuição no caso do cádmio ( $0,001 - 0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Ostras contaminadas transplantadas para o local não poluído mostraram o triplo de depuração de zinco ( $0,006 - 0,002 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), sendo que o cádmio não apresentou variação significativa ( $0,0009 - 0,145 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Os resultados demonstram que moluscos transplantados podem ser usados como bioindicadores para acumulação ou depuração de metais.

Ferreira (2005) determinou os teores de mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu) e zinco (Zn) em moluscos *Crassostrea brasiliiana* (Lamarck, 1819), *Perna perna* (Linnaeus, 1758), e *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) encontrados em bancos naturais do litoral da baixada Santista, Santos, São Paulo, Brasil, usando determinações analíticas dos tecidos moles dos bivalves por espectrometria de absorção atômica com gerador de vapor frio para Hg e para a determinação de Pb, Cd, Zn e Cu foi utilizado ICP-OES. Todas as amostras de bivalves analisadas apresentaram teores de (Pb, Cd, Hg, e Cu) em níveis máximos permitidos pela Portaria do MS N<sup>o</sup> 685/98. No caso do Zn, todas as amostras de *Crassostrea brasiliiana* (Lamarck, 1819), e *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) analisadas apresentaram teores abaixo do permitidos pela legislação brasileira, que é de  $50,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

No Rio Ceará e Rio Cocó, Ceará, Gonçalves (2007) investigou as concentrações de cádmio, zinco, cobre e cromo em bivalves da espécie *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828). Os teores dos metais para bivalves foram quantificados por ICP-OES após digestão das amostras. Foram encontrados valores acima dos limites máximos permitidos pela Portaria do MS nº 685/1988 e do Decreto do MS N.º 55.871/1965 que apresentam risco para o consumo humano como o cromo com valores superiores a  $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zinco a  $50,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  e cádmio com  $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Os resultados obtidos indicam que o molusco pode ser usado como bioindicador para poluição por metal pesado.

Rojas (2007) avaliou métodos de decomposição química de material biológico de ostra *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) e sururu *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) para a determinação de chumbo, cádmio, cobre e zinco utilizando um AAS com procedimentos técnicos relacionados com três métodos diferentes de digestão química nas amostras dos moluscos que foram coletados na região estuarina da Barragem do Bacanga na cidade de São Luis do Maranhão-MA. Foram observadas a influência de fatores bióticos e antrópicos nos níveis de concentração dos metais nos moluscos, bem como a força dos digestores. Foi comprovada que as taxas de contaminação por metais pesados para os moluscos estudados se encontravam nos limites máximos permitidos pela legislação Brasileira, Decreto do Ministério da Saúde (MS) N.º 55.871 de 26 de março de 1965 do que dispõe sobre normas regulamentadoras do emprego de aditivos para alimentos (os limites máximos permitidos para os contaminantes inorgânicos encontram-se no apêndice do decreto).

### 3.3 – Metais em Árvores de Mangue

Os trabalhos relacionados especificamente à presença de metais em árvores de mangue são escassos e quando estes são encontrados estão, em sua maioria, ligados à composição nutricional das plantas, tamanho, replantio e outros. Foram encontrados apenas três trabalhos que tratam desde assunto relativo às espécies de mangue existentes na costa brasileira.

Oliveira et al. (2000) estudaram a composição química das folhas da *rhizophora mangle* L. e do sedimento de manguezais não impactados e impactados por resíduos industriais nos estuários dos rios Jacuípe e Capivara Pequeno em Camaçari no estado da Bahia, que sofria influência industrial e no Canal de Itaparica na Baía de Todos os Santos, área considerada não poluída. Com o objetivo de avaliar a distribuição de macro e micronutrientes, sob a ação de resíduos industriais. Foram quantificados nas folhas e sedimentos os elementos químicos, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, carbono, nitrogênio, ferro, zinco, cobre e manganês. Os autores constataram que o manguezal do rio Capivara Pequeno apresentou teores bastantes elevados de cálcio, magnésio, fósforo, nitrogênio e, sobretudo, de ferro e zinco, que atingiram valores em torno de 6.772,7 mg.L<sup>-1</sup> e 109,3 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Entretanto, o sedimento do estuário do rio Jacuípe, apresentou teores menores para esses mesmos elementos. Quanto aos teores de elementos químicos nos tecidos foliares, verificaram-se diferenças significativas para cálcio, nitrogênio, ferro, zinco e cobre, entre os manguezais estudados.

As concentrações de nutrientes das folhas e do sedimento e a capacidade de acumulação de elementos químicos dos tecidos foliares das espécies *Avicennia germinans* (L.) Stearn., *Avicennia schaueriana* Staff & Leehm., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. e *Rhizophora mangle* L., foram analisados no manguezal do estuário do rio São Mateus, no estado do Espírito Santo, por Bernini et al. 2006. Os resultados nos sedimentos, de maneira geral, seguiram a seguinte ordem Mg > Ca > Fe > K > Mn > P > Zn > Cu. No tecido foliar, as espécies de *Avicennia* apresentaram maiores teores de N, K e Mg e menores concentrações de Ca. *Rhizophora mangle* apresentou maior concentração de Mn e *Laguncularia*

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

*racemosa*, maior teor de Fe em relação às demais espécies. Os autores concluíram que os resultados demonstraram que a concentração de nutrientes do sedimento refletiu a influência da granulometria neste compartimento. O acúmulo de nutrientes nas folhas variou de acordo com a espécie e estações de estudo, mas não refletiu nas concentrações do sedimento. Os dados confirmam o papel do manguezal como barreira biogeoquímica ao trânsito de metais pesados.

Ramos e Geraldo (2007) estudaram o nível de contaminação por cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn), nos ambientes de mangues próximos ao rio Cubatão, utilizando como bioindicador as espécies de plantas *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. Os resultados obtidos indicaram uma contaminação por Cd e Cr em diversas amostras analisadas no trabalho. De maneira geral, as três espécies de plantas apresentaram resultados muito similares tanto no teor como na ordem em que bioacumulam os metais estudados: Zn > Pb > Cr > Cu > Cd. Os autores concluíram que em princípio qualquer uma destas plantas pode ser utilizada como bioindicadoras de poluição ambiental por metais pesados naquela região.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

#### 4.0 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Parque dos Manguezais está localizado na porção sul da cidade do Recife, entre os bairros de Boa Viagem e do Pina, numa área conhecida como antiga “Estação Rádio Pina” da Marinha do Brasil, compreendida entre as coordenadas geográficas de  $8^{\circ} 05'$  e  $8^{\circ} 06'S$ , e  $34^{\circ} 54'$  e  $34^{\circ} 53'W$ . Possui uma área total de 316 hectares (ha), sendo 225,82/ha (71,26%) de cobertura vegetal (mangue) e tem seu acesso principal feito pela Avenida Domingos Ferreira (PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2004). Esta área constitui uma Zona Especial de Proteção Ambiental (ZEPA), de acordo com a Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo do Recife, nº 1676/96.

O Parque possui aspecto essencialmente aquático (FIGURA 01), com manguezais e ilhas envolvidas por braços dos rios Jordão e Pina, mas com influência de outros dois rios, Tejiipió (formador do Jiquiá) e Capibaribe e é composto pelas ilhas das Cabras, São Simão e de Deus.



Figura 01 – Vista aquática do Parque dos Manguezais  
Fonte: Foto da autora, 2007.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A Ilha das Cabras é constituída por manguezais e uma porção de terra firme. Nesta área funcionou uma unidade da Marinha do Brasil, construída durante a 2ª Guerra Mundial. Já a Ilha de São Simão é coberta por manguezais e viveiros de peixes e camarões. A Ilha de Deus é ocupada, há cerca de cinco décadas, por mais de 370 famílias, sendo a maioria, de pescadores (AGUIAR, 2006).

Segundo a Prefeitura do Recife (PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2004): “o espaço urbano do Parque dos Manguezais encontra-se ainda bem conservado e pode ser considerado um verdadeiro santuário ecológico tão especialmente característico do panorama da cidade do Recife”.

O Parque está inserido numa área bastante edificada, próxima à beira mar com localização bem valorizada da cidade. Esta situação que faz aumentar a pressão sobre o parque, principalmente pelo setor imobiliário, lançamento de efluente industrial e doméstico, assim como supressão de mangue (FIGURA 02 A e B).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A



B



Figura 02 – Pressão urbana nas imediações do Parque dos Manguezais. A) Edificações próximas a área estudada. B) Lançamento de Efluentes nos rios entorno do Parque.

Fonte: Foto da autora, 2007.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A área do Parque dos Manguezais encontra-se intacta devido ao fato de ter sido, na década de 1940 durante a II Guerra Mundial, o local escolhido pelos americanos para implantar uma Estação Rádio, que posteriormente passou ao controle da Marinha do Brasil. A partir de então, a Marinha manteve a Estação Rádio Pina (ERP) com a finalidade de executar e dirigir serviços especiais de comunicações para a Armada brasileira até os anos 1990, quando então desativou a Organização Militar. Entretanto, até hoje a Marinha continua protegendo o local de potenciais invasões e ocupações irregulares.

O Parque dos Manguezais tinha em seu entorno dez comunidades (Bacardi, Ilha de Deus, Beira Rio, Bode, Valdir Pessoa Ilha do Destino, Deus nos Acuda, Pantanal, Paraíso e Xuxa) de ocupação subnormal que foram removidas devido aos empreendimentos imobiliários e viários (FIGURA 03).



Figura 03 – Ocupações subnormais no Parque dos Manguezais.  
Fonte: Foto da autora, 2008.

Em média, 10,4% das pessoas que vivem nessas comunidades não têm qualquer rendimento. Além disso, 58% do pessoal remunerado recebem até dois salários mínimos por mês, média incompatível com a Região Político-Administrativo (RPA), em que estão enquadradas, principalmente quando comparadas ao bairro de Boa Viagem, o principal bairro a ser beneficiado com a construção da rodovia conhecida como via-mangue (PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2005). A média de

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

famílias que ganha acima de cinco salários mínimos era de 36,46% em 2000, sob forte influência do bairro de Boa Viagem, com 74,54%, respectivamente.

A Prefeitura da Cidade do Recife estima em 10 mil a quantidade de pessoas que ocupa o entorno do Parque, número que cresce em detrimento do mangue que está sendo aterrado para dar lugar aos novos barracos, comprometendo os limites do ecossistema (FAVELAS, 2004).

A região é explorada por moradores da comunidade de Ilha de Deus para a prática da carcinicultura marinha, cujos diques dos viveiros são construídos com o material disponível no próprio mangue, sem qualquer separação dos resíduos sólidos e demais dejetos. De um modo geral, a qualidade da água dos viveiros não é muito boa, do ponto de vista bacteriológico, e a condição sanitária compromete a qualidade do produto, apesar de obtidas altas produtividades.

Numa parceria entre a prefeitura do Recife e o governo do Estado de Pernambuco, a comunidade da Ilha de Deus vive nos dias atuais, um dos momentos mais marcantes de sua história com a construção de uma nova ponte de concreto que liga a Ilha ao continente e a retirada das palafitas. Em seu lugar estão sendo construídas casas de alvenaria, com abastecimento de água e efluente sanitário. Além da realização de obras de drenagem e pavimentação da Ilha, que aterra o manguezal e draga os sedimentos.

O Parque dos Manguezais é caracterizado pela bela paisagem, sendo uma das maiores áreas de mangues de regiões urbanas do Brasil. Atualmente é o maior e o mais importante ecossistema aquático, servindo como controlador do sistema natural de drenagem da cidade. Caracteriza-se também pela grande quantidade de peixes, crustáceos e moluscos sendo utilizada pela população para pesca de subsistência (FIGURA 04). A área apresenta os manguezais aparentemente preservados, apesar dos despejos de efluentes e resíduos sólidos em algumas de suas áreas.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...



Figura 04 – Pesca de subsistência nas proximidades do Parque dos Manguezais. Fonte: Foto da autora, 2007.

Existe um projeto, em andamento, de intervenção urbana e de preservação ecológica que é a Via Mangue. Tal projeto visa solucionar o trânsito da Zona Sul do Recife (VASCONCELOS, 2000; PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2005).

Com relação à tipologia industrial e matéria-prima na região a TABELA 02 descreve os principais empreendimentos da área.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Tabela 02 - Tipologia industrial e matéria-prima das indústrias localizadas na área do entorno do Parque dos Manguezais.

<b>Tipologia Industrial</b>	<b>Matéria-Prima</b>
Restaurantes	Carne, Feijão, Macarrão e outros.
Química	Soda Caustica, Polietileno e outros.
Posto de gasolina	Álcool, Diesel, Gasolina, Óleo, Lubrificantes, Gás Natural.
Panificadora	Farinha de Trigo, Ovos, Açúcar, Sal, Fermento, Gordura Vegetal.
Depósito de Gás	Botijões de GLP 13 kg
Gráficas	Papel, Tintas e outros.
Papel e Papelão	Bobinas, Pacotes e Fardos de Papel.
Perfumes, Sabão e Velas.	Álcool, Parafina, Soda Caustica, Essências e outros.
Transportadora	Cargas (Sucata, Containeres, Resíduo Industrial e outros).
Produtos Alimentares	Frutos do Mar, Grãos, Farelos, Rações, Vitaminas, Aminoácidos.
Hospitais/ Laboratório	Produtos Odontológicos
Comerciais e Serviço	Acrílico, Cola e outros.

Fonte: Agencia Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2008.

Quanto ao hidrodinamismo da região no Parque dos Manguezais, Araújo e Pires (1998) realizaram na Bacia do Pina uma simulação exploratória dos efeitos das marés (sizígia e quadratura) na circulação e transporte hidrodinâmicos. Constatou-se que a forma geométrica e a batimetria da referida área têm um efeito significativo, no seu padrão de circulação, e que tais características são úteis na eliminação de poluentes, como, por exemplo, o estreitamento e a brusca mudança de batimetria na região da garganta (Bacia Portuária) geram um efeito de jato que contribui para a promoção de circulação e para seu transporte. E ainda, durante a maré de sizígia, a

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

força de dispersão é maior do que a de quadratura e as maiores velocidades ocorrem durante as marés de enchente e vazante. No que diz respeito a sua granulometria, os sedimentos do parque apresentaram maior percentual da fração silte/argila (67%), e variando de areia fina a média (33%).

## **5.0 – METODOLOGIA**

### **5.1 – AMOSTRAGENS**

#### **5.1.1 – Coleta de sedimentos superficiais**

As amostras superficiais do sedimento foram coletadas às margens dos rios que cortam o Parque dos Manguezais. As estações de coleta foram distribuídas em 12 pontos eqüidistantes, da foz para a nascente, ao longo do Parque, em sua margem direita e esquerda. As amostras foram coletadas em uma profundidade entre 0-10 cm, sempre na baixa-mar e posicionadas com o uso de um GPS (Global Position System) modelo Etrex Summit Garmin (Tabela 03 e Figura 05). Durante a realização da coleta, foi usada espátula de aço inox e as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, para posterior tratamento e encaminhados aos laboratórios da Associação de Tecnologia de Pernambuco ITEP-OS e Departamento de Oceanografia da UFPE para as análises químicas. As amostragens foram realizadas durante a estação seca (janeiro e fevereiro de 2007 e 2008) e chuvosa (agosto de 2006 e julho e agosto de 2007).

As amostras de sedimentos usadas como concentrações base ou “background” foram coletas na região interna do Parque dos Manguezais na antiga estação de Rádio Pina da Marinha do Brasil e foram coletadas como descrito acima, no mês de novembro de 2006.

Tabela 03 - Distribuição das estações de coleta.

ESTAÇÕES	NOMES	LOCALIZAÇÃO GPS
01	Confluência dos rios Pina, Capibaribe, Jordão e Jiquiá - Margem direita	S 8°05'34" W 34°53'55,64"
02	Confluência dos rios Pina, Capibaribe, Jordão e Jiquiá - Margem esquerda	S 8°04'53,62" W 34°53'57,60"
03	Rio Pina, na curvatura deste rio em direção ao antigo aeroclube de Pernambuco - Margem direita	S 8°05'23,23" W 34°53'55,81"
04	Rio Pina, na curvatura deste rio em direção ao antigo aeroclube de Pernambuco – Margem esquerda	S 8°05'25,68" W 34°53'55,59"
05	Rio Pina, próxima a antiga Estação de Rádio da Marinha – Margem direita	S 8°05'57,33" W 34°54'1,39"
06	Rio Pina, próxima a antiga Estação de Rádio da Marinha - Margem esquerda	S 8°05'56,21" W 34°53'59,94"
07	Próximo aos canais que correm no rio Pina – Margem direita	S 8°06'14,83" W 34°53'50,58"
08	Próximo aos canais que correm no rio Pina – Margem esquerda	S 8°06'13,38" W 34°53'49,02"
09	Rio Jordão próximo à primeira cobertura de manguezal - Margem direita	S 8°06'2,39" W 34°54'17,10"
10	Rio Jordão próximo à primeira cobertura de manguezal – Margem esquerda	S 8°06'3,35" W 34°54'18,88"
11	Rio Jordão próximo ao Canal de Setúbal - Margem direita	S 8°06'22,85" W 34°54'7,07"
12	Rio Jordão próximo ao Canal de Setúbal – Margem esquerda	S 8°06'24,30" W 34°54'8,96"

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

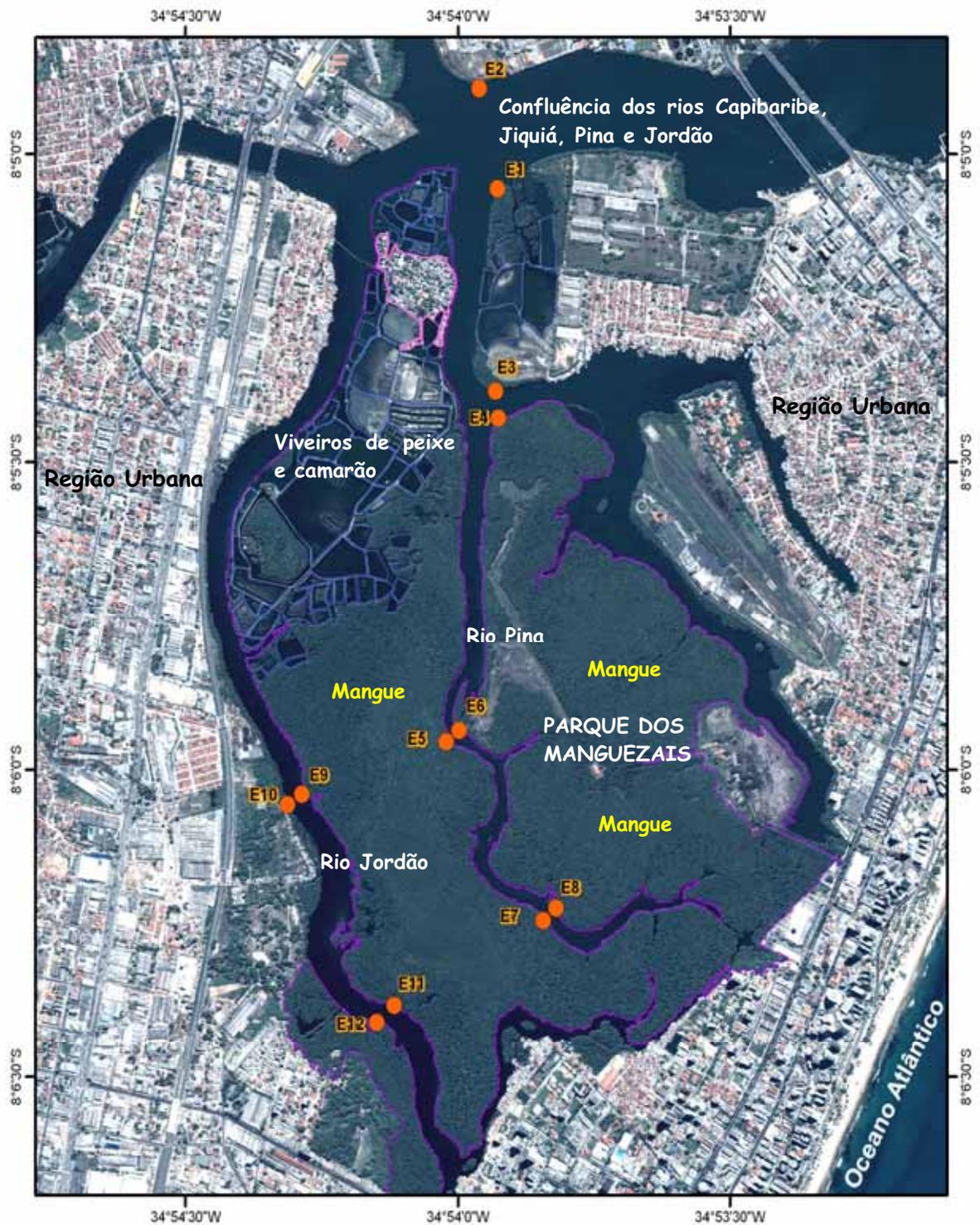


Figura 05 - Mapa com a localização das estações de coleta.

Fonte: Imagem cedida pela Unidade de Geoinformação do ITEP/OS, 2009.

### 5.1.2 – Coleta de material sedimentado nas 24h

Para a coleta do material sedimentado nas 24 horas foram utilizadas 08 (oito) armadilhas (duas nas estações 01, 04, 05 e 09) selecionadas previamente de acordo com a curvatura do rio e estudo preliminar das concentrações de metais totais no sedimento superficial. As armadilhas foram confeccionadas de maneira artesanal, utilizando-se garrafas do tipo PET com diâmetro de 10 centímetros e volume de 01 litro, presas a varas de bambu de 01 metro de comprimento (FIGURA 06). Foram fixadas, na baixa-mar, durante o período chuvoso em julho e agosto de 2007 e no período seco em janeiro e fevereiro de 2008. As garrafas foram cheias com água ultra pura, a extremidade inferior foi mantida fechada e durante a coleta foram colocadas na posição vertical por 24 horas (FIGURA 07). Quando transcorridas as 24 horas, as amostras foram recolhidas (na baixa-mar) e com o auxílio de funil, o material sedimentado foi transferido para recipientes de 2 litros de polietileno e levadas para posterior filtração, preparação e análise em laboratório.

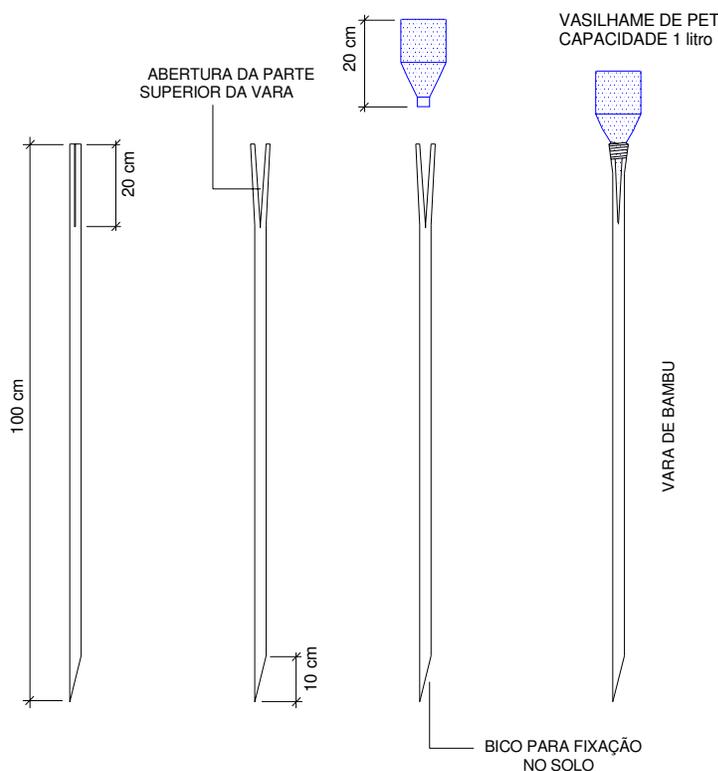


Figura 06 – Desenho esquemático para confecção de armadilhas para captura de material sedimentado nas 24h.



Figura 07- Armadilha para captura do material sedimentado nas 24h.

### 5.1.3 – Coleta dos sedimentos para perfil vertical

A coleta dos sedimentos para realização do perfil foi realizada com auxílio de um testemunho de acrílico com altura de 50 cm, nas estações 05 e 09. O testemunho foi introduzido no sedimento, no momento da coleta, na posição vertical e pressionado até seu total preenchimento. Após a coleta, o testemunho foi acondicionado em sacos plásticos sob refrigeração para posterior separação. No laboratório, o sedimento coletado foi dividido em frações de 20, 30 e 40 cm de profundidade, com o objetivo realizar preparação para futura análise química. Estas estações foram escolhidas após avaliação prévia, uma vez que estes pontos, no início dos estudos apresentaram maiores concentrações dos metais estudados. Por se tratar de um estudo de sedimento de fundo e com o objetivo de se obter uma réplica ambiental, as coletas foram realizadas nos meses de julho e agosto de 2007.

#### **5.1.4 – Coleta de raiz de mangue**

A coleta da raiz de mangue foi realizada utilizando um cutelo de aço inox e as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, para posterior tratamento e encaminhados ao Laboratório de Qualidade de Água (LQA) da Associação de Tecnologia de Pernambuco ITEP-OS para as análises químicas. O mesmo critério utilizado para escolha das estações de coleta do material sedimentado ocorreu para coleta das raízes. As amostragens foram realizadas nos mesmos períodos e estações citados anteriormente (período chuvoso em julho e agosto de 2007 e no período seco em janeiro e fevereiro de 2008, nas estações 01, 04, 05 e 09).

#### **5.1.5 – Coleta de moluscos bivalves**

As coletas dos moluscos bivalves encontrados nas proximidades do Parque dos Manguezais foram realizadas em banco natural, localizado nas imediações das estações 1 e 2, utilizado comercialmente por pescadores locais. As amostras foram adquiridas de catadores de moluscos da região, durante o período chuvoso e seco, nos meses de janeiro e julho de 2007.

Os espécimes foram lavados no local com a própria água do estuário, sendo acondicionados em sacos plásticos etiquetados, selados com fita adesiva, armazenados em caixa de isopor contendo gelo e encaminhados ao Laboratório de Qualidade de Água (LQA) da Associação de Tecnologia de Pernambuco ITEP-OS para as análises químicas.

#### **5.1.6 – Coleta de parâmetros hidrológicos**

Os parâmetros hidrológicos foram analisados “*in situ*” conforme recomendação do Standard Methods for Determinations of Water and Wastewater (APHA, 2005) na área de maior circulação estuarina, entre as estações de coleta de sedimentos, durante as baixas-marés.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### **Transparência da água**

A transparência da água foi medida, utilizando Disco de Secchi com 30cm de diâmetro.

### **Temperatura e salinidade**

Os dois parâmetros foram medidos utilizando o equipamento Condutivímetro, marca WTW, modelo LF 330.

### **Potencial Hidrogeniônico – pH**

O pH foi determinado com o auxílio de um Potenciômetro, marca WTW, modelo LF 330.

### **Oxigênio Dissolvido e Taxa de Saturação de Oxigênio**

A medição de oxigênio dissolvido na água foi realizada utilizando um oxímetro, marca WTW, modelo LF 300 e as taxas de saturação de oxigênio foram calculadas correlacionando-se os dados de oxigênio dissolvido com a temperatura e salinidade através da Internacional Oceanographic Tables (UNESCO, 1973).

## **5.2 – EQUIPAMENTOS**

Para determinação dos metais Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) em todas as matrizes estudadas foi utilizado o Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado da SPECTRO modelo Spectroflame.

O equipamento operou com 1kW de potência; vazão do argônio para resfriamento 12 L/min; vazão do argônio do plasma 0,5 L.min<sup>-1</sup>; vazão do argônio para transporte da amostra 1 L.min<sup>-1</sup>; nebulizador tipo J.E. Meinhard tubo de vidro concêntrico e vazão da amostra 2,3 L.min<sup>-1</sup>.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A digestão ácida dos sedimentos foi realizada em um digestor de amostras por Microondas DGT 100 Plus da Provecto Analítica.

### **5.3 – REAGENTES**

Todos os reagentes utilizados foram de elevado grau analítico. Padrões das soluções de trabalho para os diferentes elementos foram preparados do correspondente padrão de 1000 mg. L<sup>-1</sup> da SPECSOL. Todos os padrões e soluções de reagentes foram armazenados em frascos de polietileno.

### **5.4 – PREPARAÇÃO E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE METAIS**

As amostras de sedimento foram secas em temperatura ambiente; destorroadas e peneiradas com malha de 0,062 mm para separação da fração fina.

A metodologia utilizada para abertura ácida dos metais foi adaptada da proposta da Environmental Protection Agency of United States método N° 3050B (U. S. EPA, 2001). Este método consiste na adição dos ácidos nítrico (HNO<sub>3</sub>) p.a., Perclórico (HClO<sub>4</sub>) p.a e Fluorídrico (HF) p.a., conforme descrito no fluxograma abaixo (FIGURA 08).

Para interpretação dos resultados foram utilizados valores de referência de sedimentos (background) obtidos na própria área de estudo numa região onde o manguezal se encontra preservado. Utilizou-se também, a classificação de valores guias do Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (CCME, 1999) e na ausência de valores de referência para o ferro (Fe), tomou-se como referência o limite estabelecido pela Environmental Protection Agency – EPA (THOMAS, 1987): Fe = 17000 mg.kg<sup>-1</sup>.

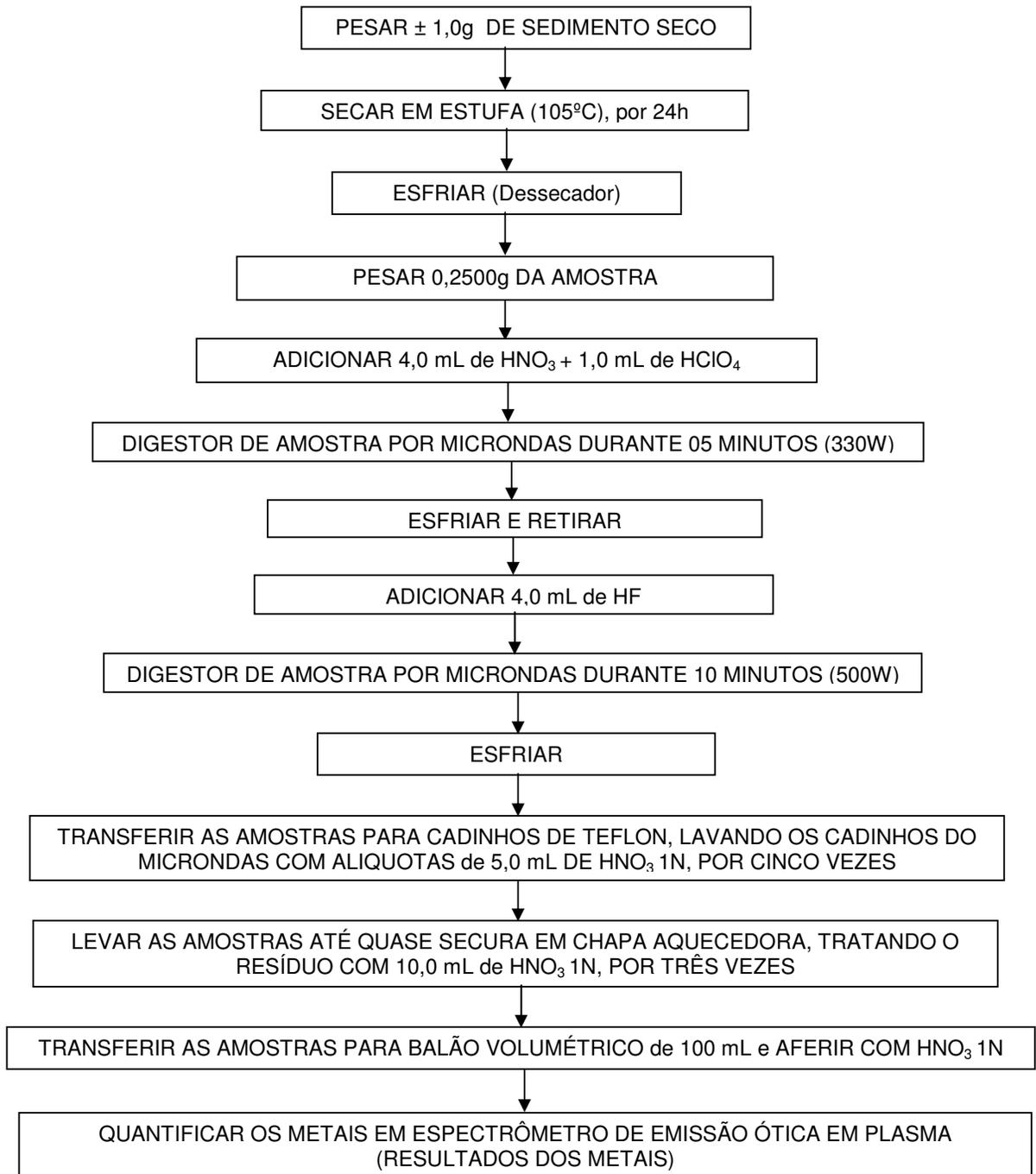


Figura 08 - Fluxograma do procedimento para digestão e quantificação de metais-traço no sedimento.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## 5.5 – PREPARAÇÃO E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS DE RAIZ DE MANGUE PARA QUANTIFICAÇÃO DE METAIS

A metodologia utilizada para abertura das amostras foi adaptada a partir do método recomendado pela Association of Official Agricultural Chemists – AOAC, 2000 (FIGURA 09).

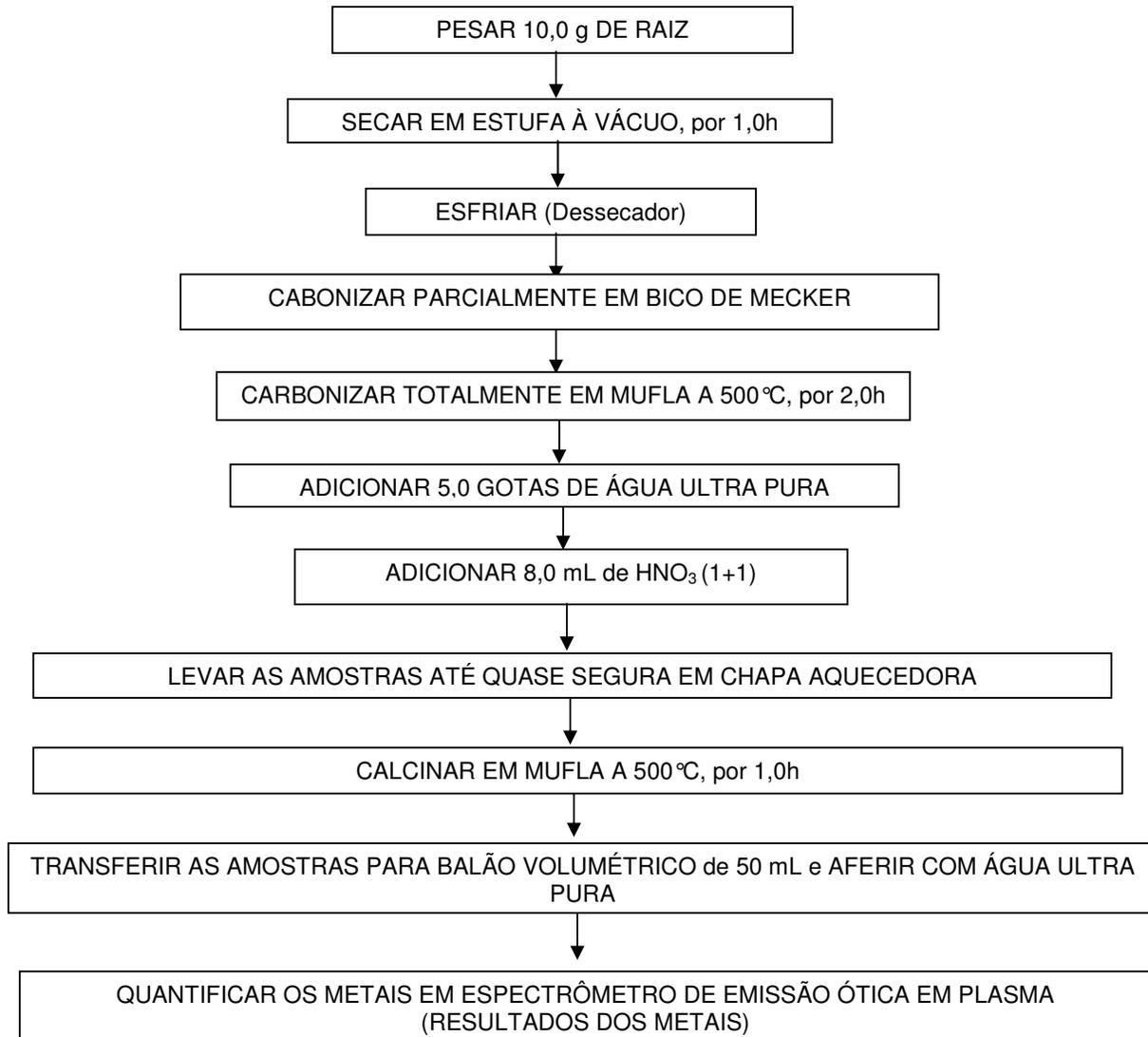


Figura 09 - Fluxograma do procedimento para digestão e quantificação de metais-traço em raiz de mangue.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## 5.6 – PREPARAÇÃO E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS DE MOLUSCOS BIVALVES PARA QUANTIFICAÇÃO DE METAIS

No laboratório os moluscos bivalves foram lavados com água corrente, sendo abertos com auxílio de uma faca de aço inox. Retirando-se as partes moles com o auxílio de uma espátula de polietileno/poliuretano. A metodologia utilizada para abertura das amostras foi a recomendada pela Association of Official Agricultural Chemists – AOAC, 2000. A seqüência da marcha analítica é descrita no fluxograma abaixo (FIGURA 10).

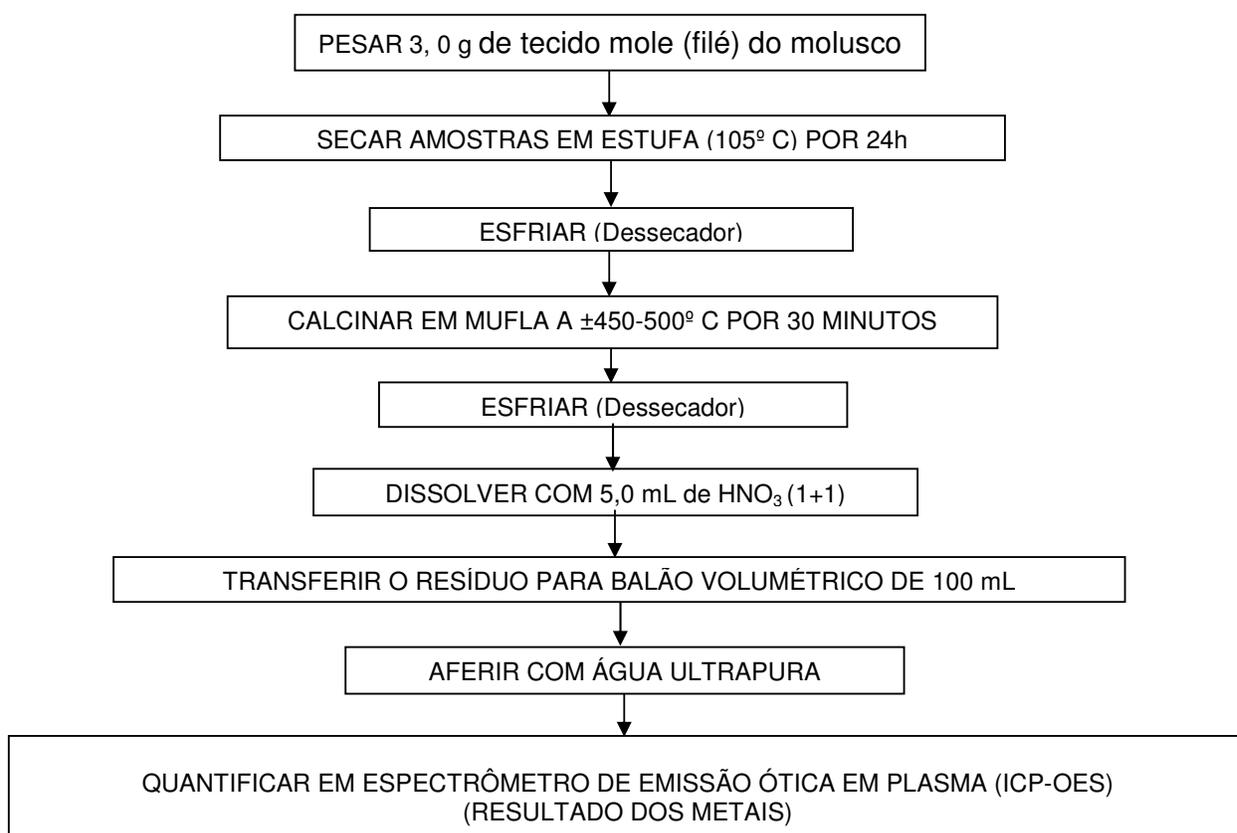


Figura 10 – Fluxograma do procedimento para digestão e quantificação de metais-traço em moluscos bivalves.

Para fins de interpretação dos resultados dos metais foram utilizados os valores estabelecidos pela legislação Brasileira Portaria do MS nº 685/1998 para o cádmio e Decreto do MS 55.871/1965 para o zinco e cobre; valores de referência para o manganês recomendados pela *Environmental Protection Agency* (EPA) que adota o

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

critério de 0,1 mg/L em organismos marinhos destinados ao consumo humano e o da *World Health Organization* (WHO) para o ferro que adota um valor diário tolerável de 0,8 mg.kg<sup>-1</sup> (TABELA 04). Para o alumínio não foi encontrado valores de referência em organismos marinho.

Tabela 04 – Valores Máximos Permitidos (VMP) para Contaminantes Inorgânicos em alimentos na Legislação Brasileira e Recomendações de Valores Diários de Consumo na Literatura Internacional.

Legislação/Recomendações	Contaminantes Inorgânicos (Metais Traço em mg.kg <sup>-1</sup> )				
	Zn	Mn	Cu	Fe	Cd
Brasil, Portaria Nº 685 de 27 de agosto de 1998.	-	-	-	-	1,0
Brasil, Decreto Nº 55.871 de 26 de março de 1965.	1666,7**	-	1000,0**	-	-
Environmental Protection Agency (EPA)	-	3,33*	-	-	-
World Health Organization (WHO)	-	-	-	0,8***	-

\* Valor diário de consumo, tomando como referência os pesos (3,0g) e volumes (100 mL) das amostras utilizados para análise química neste estudo em relação com os valores recomendados pela literatura internacional.

\*\* Valor em mg.kg<sup>-1</sup>, tomando como referência os pesos (3,0g) e volumes (100 mL) das amostras utilizados para análise química neste estudo em relação com os valores máximos permitidos pela legislação nacional.

\*\*\* Valor diário de consumo.

## 5.7 – DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS

Todas as amostras foram secas em estufa a  $\pm 105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, pesadas e depois levadas à mufla em cadinhos de porcelana, calcinadas a  $\pm 550^{\circ}\text{C}$  e pesadas até peso constante. A diferença de peso entre o peso inicial (com amostra) e o final multiplicado por 100 é igual ao percentual de matéria orgânica na amostra de sedimento.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## **5.8 - TRATAMENTO ESTATÍSTICO: VALIDAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE DE SEDIMENTOS.**

Considerando-se os métodos e os interferentes existentes, foi necessário realizar um estudo estatístico para avaliar a precisão e exatidão do método. Por este motivo, para validação da metodologia foi utilizado um padrão certificado internacional da Community Bureau of Reference (BCR n° 625, identificado como CRM 277 – Estuarine sediment).

### **5.8.1 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO: LIMITES DE DETECÇÃO (LD) E QUANTIFICAÇÃO (LQ)**

A metodologia empregada para determinar os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) utilizados nesta pesquisa está descrita abaixo:

#### **Limite de Detecção (LD)**

1. Preparar, no mínimo, 10 brancos do método;
2. Obter os valores para cada branco preparado;
3. Calcular a média e o desvio padrão dos brancos e
4. Calcular o Limite de Detecção;

$$LD = X + 3s,$$

LD – Limite de detecção;  
 X – Média das leituras do branco;  
 s – Desvio padrão dos brancos.

#### **Limite de Quantificação (LQ)**

Idem ao limite de detecção em relação aos itens 1., 2. e 3.

4. Calcular o Limite de Quantificação;

$$LQ = X + 10s,$$

LQ – Limite de quantificação;  
 X – Média das leituras do branco;  
 s – Desvio padrão dos brancos.

Os limites de detecção e quantificação obtidos estão descritos na Tabela 05 e 06.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Tabela 05 - Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) da metodologia para metais nas amostras de sedimento.

<b>LIMITES DE DETECÇÃO (LD) E QUANTIFICAÇÃO- LQ (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>									
<b>METAIS</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co*</b>	<b>Ni*</b>	<b>Cu*</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd*</b>	<b>Pb*</b>
<b>LD</b>	<10	<10	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<250
<b>LQ</b>	<25	<20	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<500

\*Concentrações de Metais abaixo do LD e LQ do método analítico por ICP-OES.

Tabela 06 - Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) da metodologia para metais nas amostras de moluscos bivalves e raiz de árvore de mangue.

<b>LIMITES DE DETECÇÃO (LD) E QUANTIFICAÇÃO- LQ (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>									
<b>METAIS</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
<b>LD</b>	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	<0,03	< 0,008	< 0,008	< 0,008	<0,05
<b>LQ</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1

## 5.9 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Com o objetivo de avaliar a correlação dos dados obtidos uma análise exploratória por componentes principais foi realizada utilizando o programa THE UNSCRAMBLER, versão 7.01(CAMO,1998).

## 5.10 – CONCENTRAÇÕES BASE OU “BACKGROUND”

Para avaliar o grau de contaminação ou o aumento do aporte de metais no ambiente, Carral et al. (1995) relataram que é essencial determinar os níveis de metais naturais (concentrações de “background” ou concentrações de base) no ambiente de estudo, para que se possa avaliar o nível de impacto que as ações antrópicas causam nesta área. De acordo com Chester e Voutsinou (1981) e Salomons e Fostner (1984) é necessário estabelecer alguns critérios para

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

interpretação de metais pesados no sedimento e uso do “background”, sugerindo a necessidade de se avaliar as variações espaciais dos elementos em uma determinada área; comparar os valores de sedimentos considerados poluídos com aqueles não poluídos; mesma distribuição dos tamanhos dos grãos composição semelhante e origem.

Com base nestas sugestões o presente trabalho usou como “background” os resultados obtidos na própria área de estudo, próximos a estação 04 e 05 na parte interna da antiga Estação de Rádio da Marinha (08° 05' 58,4" S/34° 53' 35,01" W) e a classificação de valores guias do Conselho Canadense do Ministério de Meio Ambiente - CCME, 1999 (TABELA 07).

Tabela 07 – Concentrações médias das áreas usadas como “background” e valores guias para as concentrações de metais traço em sedimentos.

ÁREAS	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
Rádio Pina (interna) (2006)	25,0	160,0	41,0
*TEL (CCME, 1999)	37,3	-	123,0
**PEL (CCME, 1999)	90,0	-	315,0

\*TEL (Threshold Effects Level) = Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara.

\*\*PEL (Probable Effects Level) = Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável.

## 6.0 – RESULTADOS

### 6.1 - VALIDAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE DE METAIS EM SEDIMENTOS ESTUARINOS

A validação dos métodos analíticos foi realizada, segundo Kane (1992 apud BRAYNER, 1998), baseadas nas diretrizes estabelecidas pela International for Standardization Organization (ISO) em 1989, baseadas nos trabalhos de Sutarno e Steger (1985 apud BRAYNER, 1998). Os autores consideram as diferenças quantitativas entre as concentrações recomendadas e certificadas, para Materiais Certificados de Referência (MCR), visando determinar a precisão e exatidão do método em estudo.

Para os metais cujas as concentrações apresentaram valores certificados no MCR da Community Bureau of Reference (BCR n° 625, identificado como CRM 277 – Estuarine sediment), foram consideradas as seguintes definições:

$$\text{Média} = \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

$$S_w = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

$S_w$  – desvio padrão;

$X_i$  - i-ésima medição;

$n$  – número total de medições.

O método é considerado válido com relação à exatidão quando:

$$|\bar{X} - V_R| \leq 2S_{LC}$$

$\bar{X}$  - média de replicatas analisadas no MCR pelo método que está sendo validado;

$V_R$  – concentração certificada e

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

$S_{LC}$  - desvio padrão “entre laboratórios”, quando cada laboratório usa um método de sua escolha.

Para a validação com relação à precisão calcula-se a relação:

$$F = \frac{S_w^2}{S_{rc}^2}$$

$S_{rc}$  – desvio padrão conjunto “intralaboratório”, quando cada laboratório usa um método de sua escolha;

$S_w$  – desvio padrão (intralaboratório) das medidas pelo método que está sendo validado e

$F_c$  – valor crítico da distribuição F.

Se  $F \leq F_c$ , o método analítico é suficientemente preciso;

Se  $F > F_c$ , o método analítico não é tão preciso quanto aquele usado para certificação do material.

O resultado de todos os metais certificados está apresentado na Tabela 08.

Tabela 08 – Dados da validação dos elementos certificados.

<b>Metal</b>	<b>Exatidão</b>	<b>Precisão</b>
Cromo	42 > 19,74	1,05 ≤ 2,00
	Não Validado	Validado
Cobre	36,0 > 5,54	0,28 ≤ 1,92
	Não validado	Validado
Zinco	67,0 > 43,46	4,37 > 1,92
	Não validado	Não validado

A validação da Exatidão não foi eficiente, porém não é crítica para a avaliação dos resultados obtidos nesta pesquisa, pois os erros associados às análises reduziram o sinal esperado para os metais.

Para os metais cujas concentrações na amostra de referência não têm seus valores certificados, apenas valores recomendados, a validação para a exatidão pode ser realizada calculando-se:

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

$$| \bar{X} - V | \leq 4 S_w$$

na qual

**V** é a concentração recomendada;

$\bar{X}$  - média de replicatas analisadas pelo método que está sendo validado e

$S_w$  – desvio padrão (intralaboratório) das medidas pelo método que está sendo validado.

Segundo Sutarno e Steger (1985 apud Brayner, 1998), a precisão do método pode ser verificada calculando-se a relação abaixo e comparando-se com o valor tabelado da distribuição F com os graus de liberdade correspondente.

$$F = \frac{S_w^2}{S_{rc}^2}$$

A vantagem da equação acima é que, para ser aceito, um método com alta precisão deve também ter grande exatidão. A Tabela 07 mostra o resultado dos elementos.

Tabela 09 – Dados da validação de alguns elementos não certificados.

<b>Metal</b>	<b>Exatidão</b>	<b>Precisão</b>
Manganês	184 > 161,69 Não validado	1,07 ≤ 5,81 Validado
Ferro	9699,0 > 3065,6 Não validado	0,51 ≤ 3,28 Validado

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## 6.2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Com os resultados obtidos para os parâmetros hidrológicos e metais em sedimentos (constantes no Apêndice AA) uma análise de componentes principais foi realizada, a fim de avaliar possíveis correlações e agrupamentos. A primeira componente principal (PC1) explica 36% da variabilidade total dos dados e é composta principalmente pelas variáveis salinidade, pH, oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio e temperatura como pode ser observado no gráfico dos loadings (FIGURA 11). A PC1 representa principalmente as variáveis que caracterizam período chuvoso e seco. A segunda componente principal (PC2) que representa 18% da variância é composta principalmente pelos teores de ferro, cromo e zinco (em menor proporção) no sedimento. As duas primeiras componentes representaram 54% da variação total das medidas e demonstraram que os parâmetros hidrológicos e os metais no sedimento não estão correlacionados.

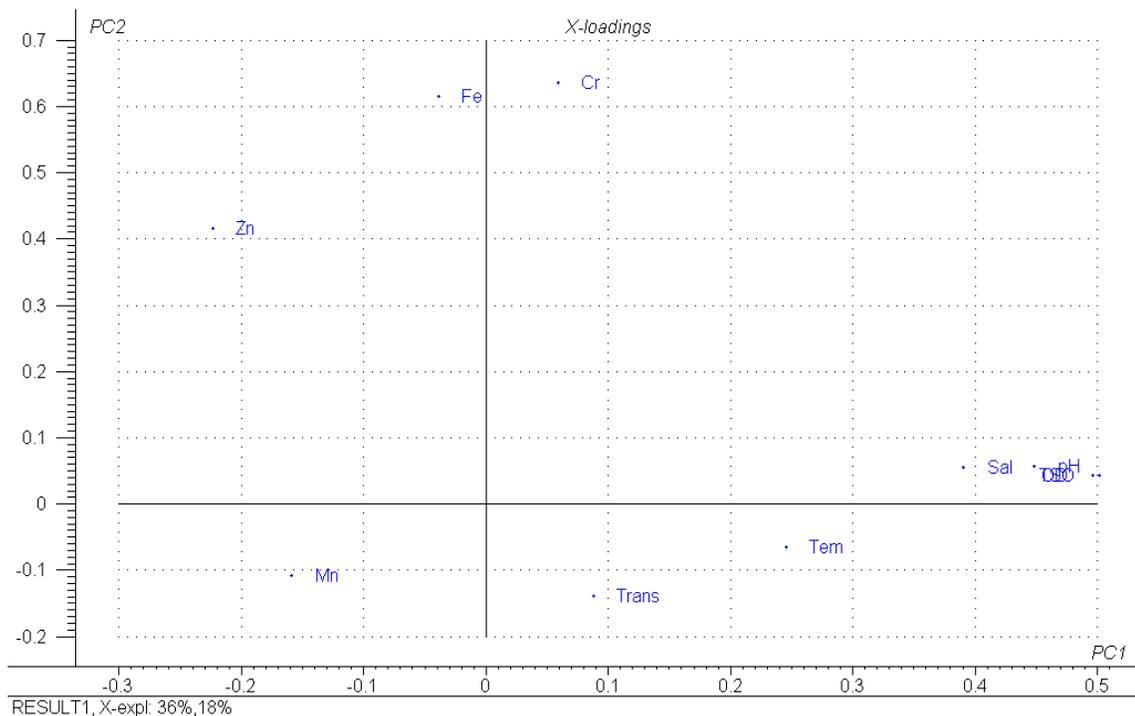


Figura 11 – Gráfico dos escores da análise por componentes principais utilizando os dados dos parâmetros hidrológicos e sedimentos superficiais.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A terceira componente principal (PC3) que representa 13% da variância é composta principalmente pelos parâmetros temperatura, transparência da água, salinidade e manganês (FIGURA 12). Os parâmetros hidrológicos correlacionados interferem nas propriedades geoquímicas do sedimento retendo o manganês. O fato das três componentes representarem apenas 67% da variação total dos dados demonstrou que as variáveis avaliadas são pouco correlacionadas.

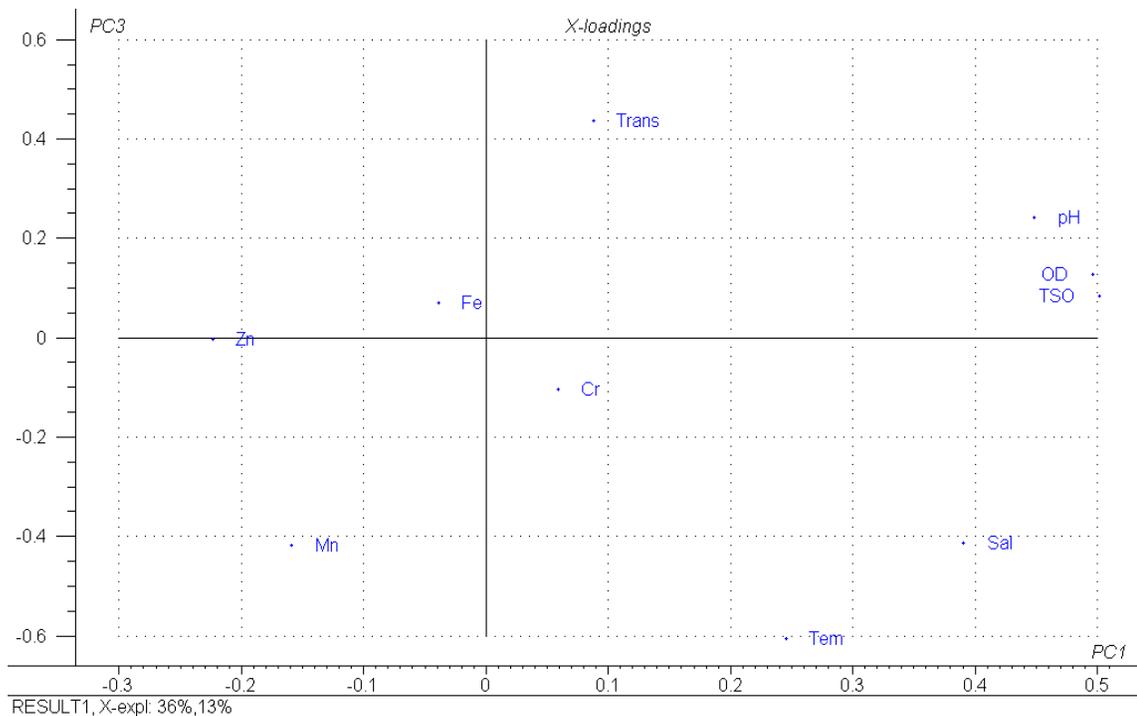


Figura 12 – Gráfico dos escores da análise por componentes principais utilizando os dados dos parâmetros hidrológicos e sedimentos superficiais.

## 6.3 – RESULTADOS HIDROLÓGICOS

### 6.3.1 Transparência da Água

A transparência da água no Parque dos Manguezais durante os meses de estudo, apresentou valores médios de 37 cm (APÊNDICE A). O índice mínimo registrado foi de 20 cm entre as estações E9-E10 e E11-E12 no mês de agosto/2007; entre as estações E7-E8 no mês de fevereiro/2007 e entre as estações E3-E4 e E7-E8 no mês de fevereiro/2008; e máximo de 80 cm entre as estações E3-E4 e E5-E6, no mês de julho/2007 (FIGURA 13).

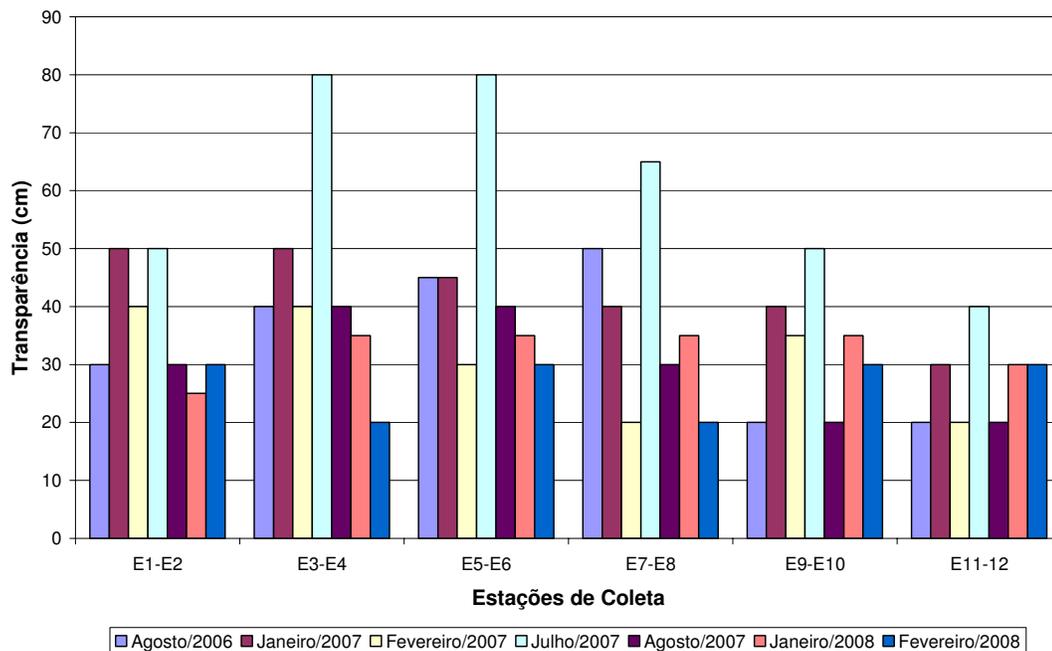


Figura 13 - Gráfico da Variação de Transparência da Água durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.3.2 - Temperatura

A temperatura da água na área de estudo, durante o período de coletas, apresentou um valor médio de 30,1<sup>o</sup>C (APÊNDICE B). A temperatura mínima registrada foi de 25<sup>o</sup>C entre as estações E1-E2 no mês de agosto/2007 e a temperatura máxima de 35<sup>o</sup>C entre as estações E7-E8 no mês de janeiro/2008 (FIGURA 14).

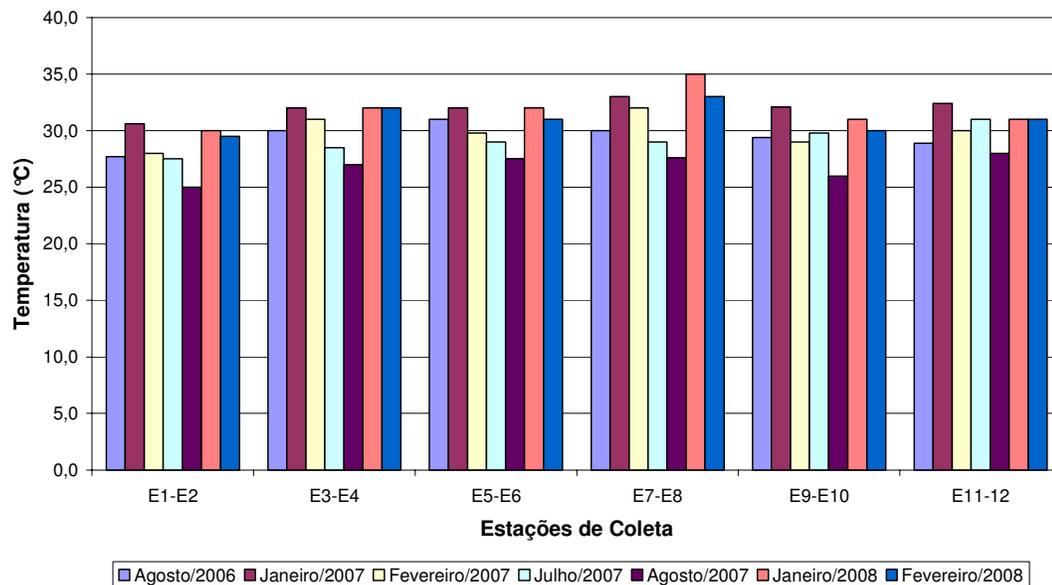


Figura 14 - Gráfico da Variação de Temperatura durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.3.3 – Salinidade

Durante os meses de estudo, a salinidade da água apresentou um valor máximo de 26,5 entre as estações E3-E4 no mês de fevereiro/2008 e valor mínimo de 1,2 entre as estações E3-E4 no mês de agosto/2007 (Figura 15), com um valor médio para todo período de 11,01 (APÊNDICE C).

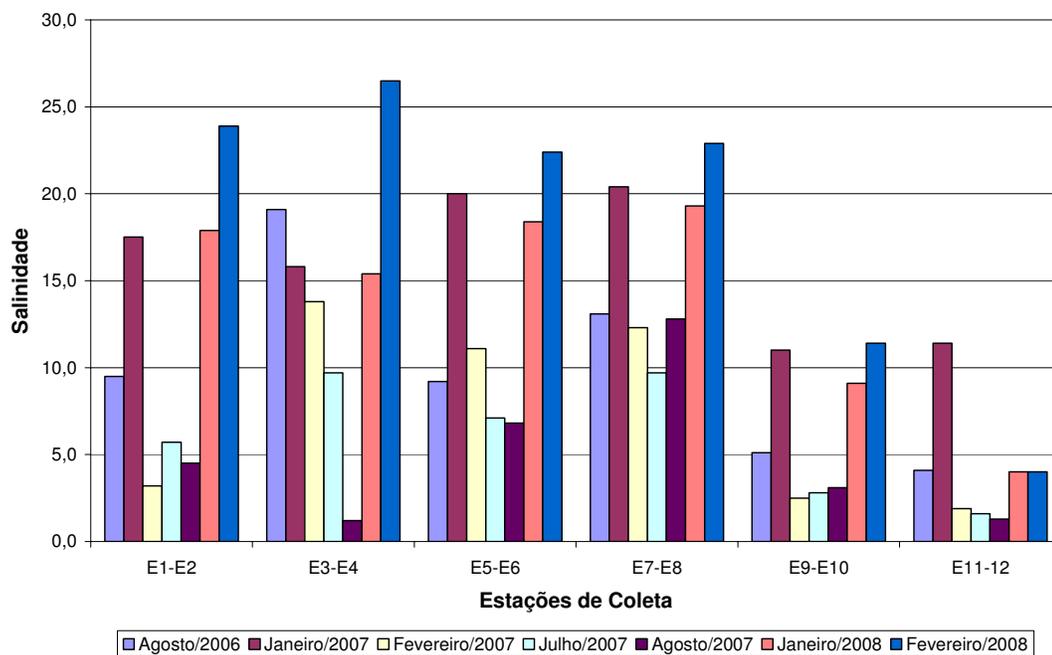


Figura 15 - Gráfico da variação de salinidade durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.3.4 - Oxigênio Dissolvido

Durante o período estudado, o oxigênio dissolvido na água do estuário apresentou grandes variações, desde valores mínimos não detectáveis registrados entre as estações E9-E10 e E11-E12 nos meses de fevereiro e julho/2007 e fevereiro/2008 e máximo de 13,83 mL.L<sup>-1</sup> ocorrido no mês de agosto/2007 entre as estações E7-E8 (FIGURA 16). O valor médio durante os meses de coleta foi de 2,89 mL.L<sup>-1</sup> (APÊNDICE D).

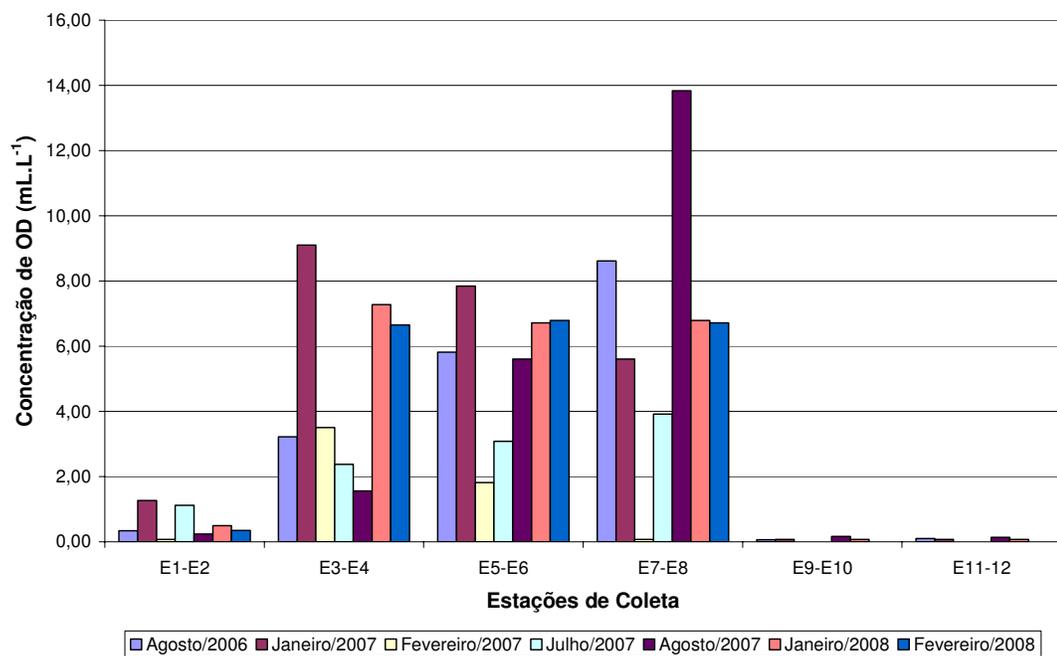


Figura 16 - Gráfico da variação de oxigênio dissolvido durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.3.5 – Taxa de Saturação do Oxigênio Dissolvido

O percentual da taxa de saturação do oxigênio dissolvido durante os meses de estudo mostrou-se muito variável com valores oscilando desde a taxa mínima não detectável entre as estações E9-E10 e E11-E12 nos meses de fevereiro e julho/2007 e fevereiro/2008 e máximo de 270,1% ocorrido no mês de agosto/2007 entre as estações E7-E8 (FIGURA 17 e APÊNDICE E). O valor médio durante todos os meses de coleta foi de 60,6%.

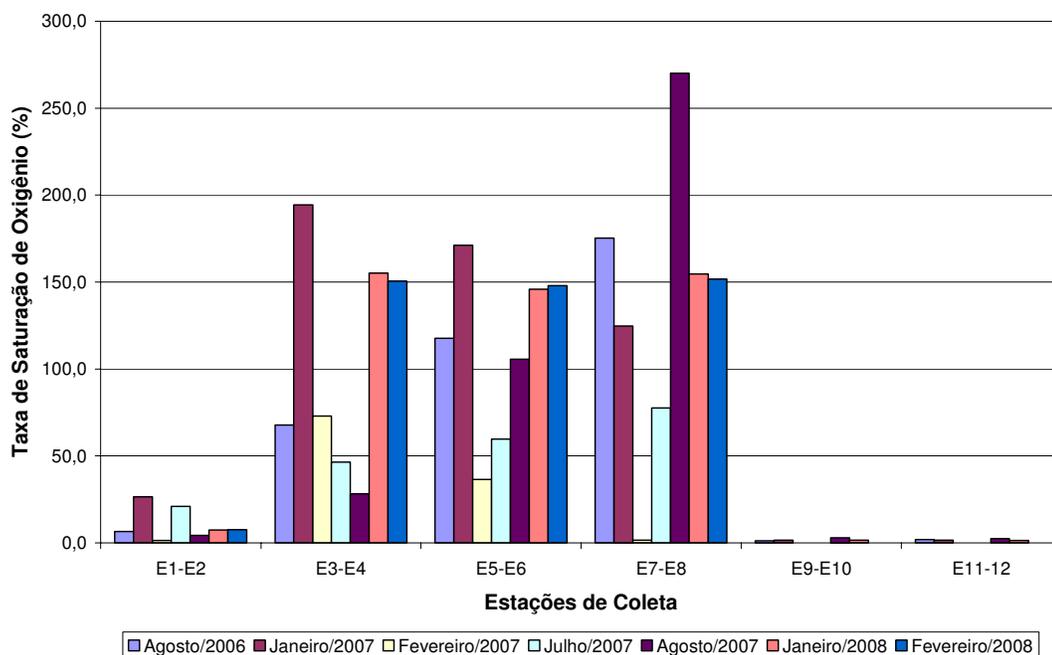


Figura 17 - Gráfico da variação da taxa de saturação do oxigênio durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.3.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

Durante o período de coleta, o pH teve como valor médio de 7,3. O valor mínimo obtido foi de 6,8 entre as estações E7-E8 no mês de fevereiro/2007 e o máximo registrado foi de 8,3 nas mesmas estações, no mês de agosto/2007 (FIGURA 18 e APÊNDICE F).

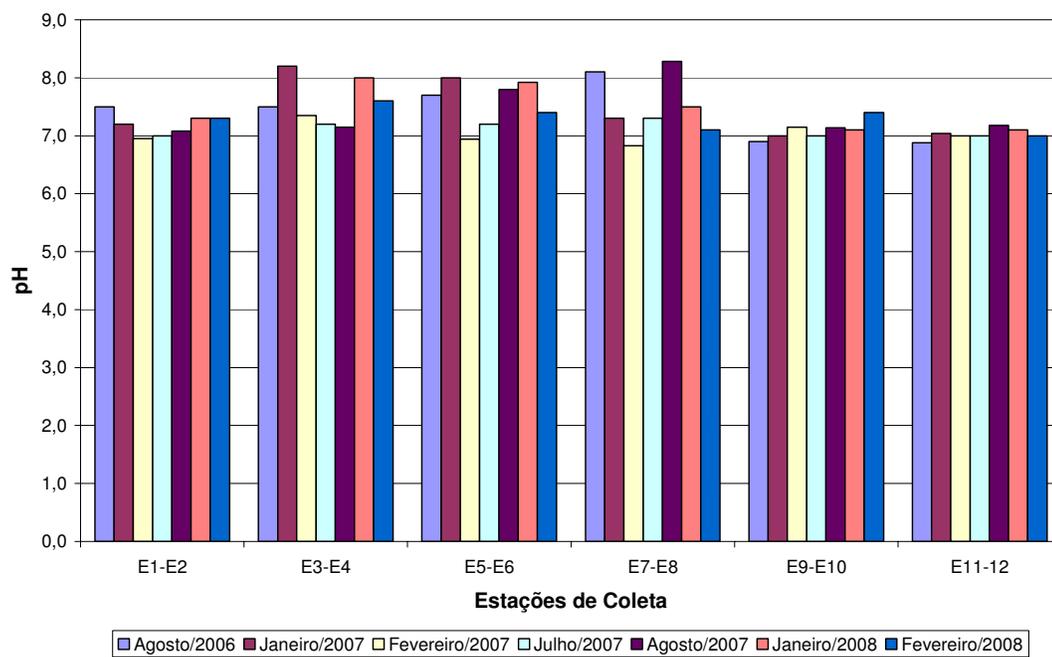


Figura 18 - Gráfico da variação de pH durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## 6.4 - RESULTADOS DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

### 6.4.1 - Teor de Matéria Orgânica nos Sedimentos Superficiais

Os teores de matéria orgânica variaram de 4,0% no mês de janeiro/2007, na estação E4 a 23,0% na estação E12 no mês de fevereiro/2007 (Figura 19 e Apêndice G), apresentando um valor médio de 15,0% durante o período estudado.

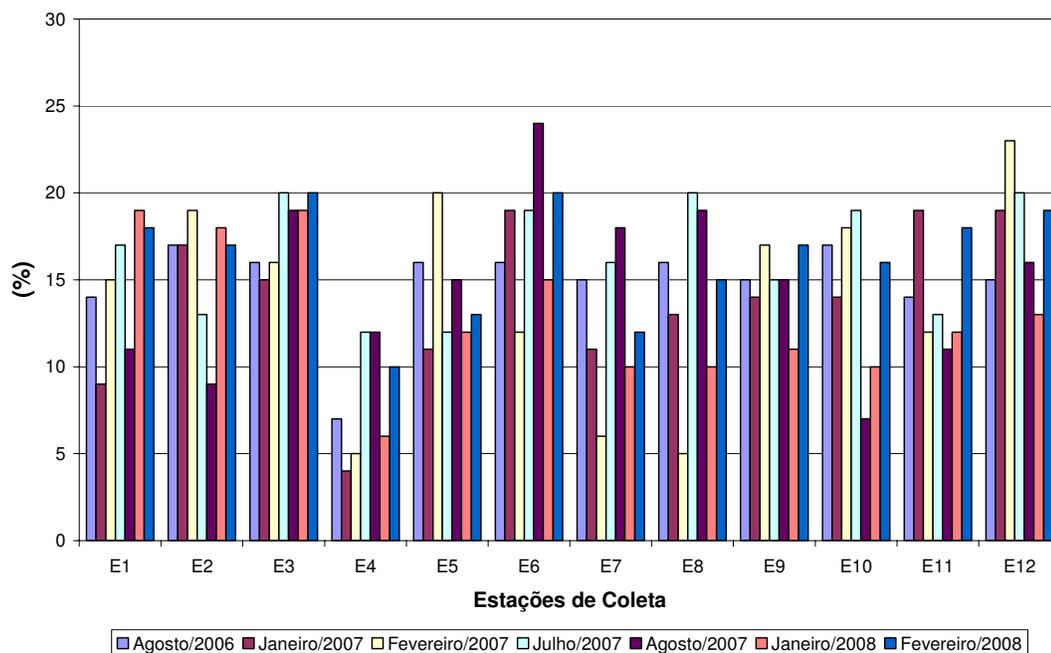


Figura 19. Gráfico da matéria orgânica no sedimento superficial durante o período estudado.

### 6.4.2 - Teor de Matéria Orgânica no Material Sedimentado nas 24h (Armadilhas)

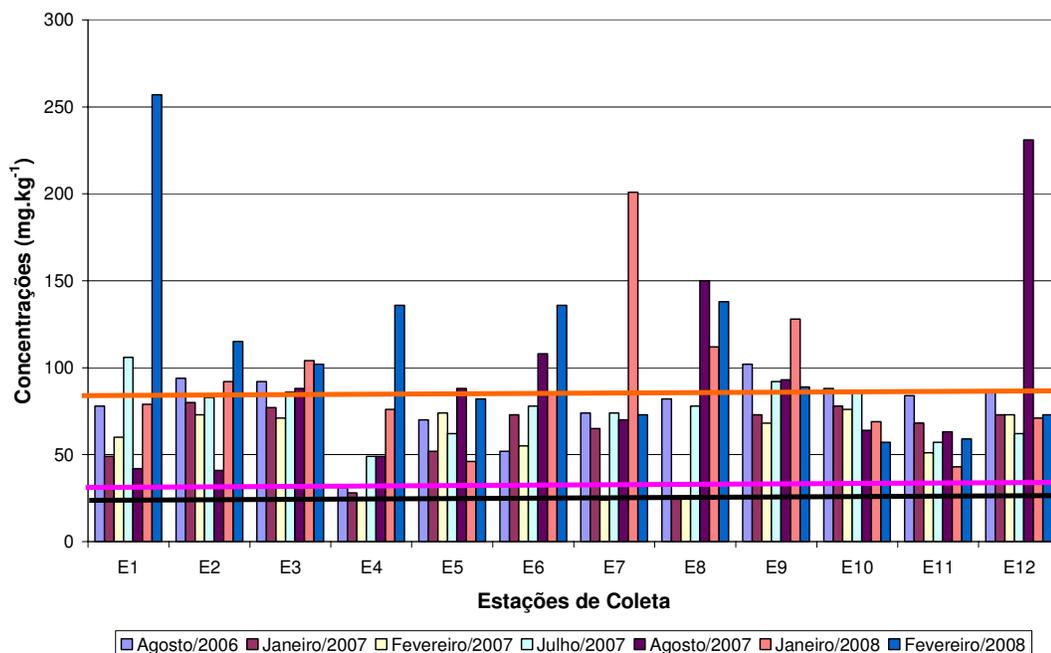
Não foi possível determinar os teores de matéria orgânica no material sedimentado nas 24h devido à insuficiência de sedimento coletado nas armadilhas.

## 6.5 – RESULTADOS DE METAIS NOS SEDIMENTOS

### 6.5.1 – CROMO

As concentrações médias de cromo, no sedimento superficial da área em estudo, oscilaram entre 25 mg.kg<sup>-1</sup> em fevereiro/2007 nas estações E4 e E8, no período seco e 231 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 12 no mês de agosto/2007, no período chuvoso (Apêndice H), apresentando um valor médio de 82 ±21 mg.kg<sup>-1</sup> e de 80 ±16 mg.kg<sup>-1</sup> durante o período chuvoso e seco, respectivamente.

Os resultados para o cromo (Figura 20) em todo período estudado estiveram acima do valor de “background”, com exceção apenas das estações E4, E7 e E8 no período seco. Estes resultados indicam contaminação por este metal na região estudada, principalmente no último ano de monitoramento (agosto/2007 e janeiro e fevereiro/2008).



— “Background” = 25,0 mg.kg<sup>-1</sup>

— \*TEL (Threshold Effects Level) = 37, 3 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração abaixo da qual a freqüência de efeitos biológicos adversos é rara).

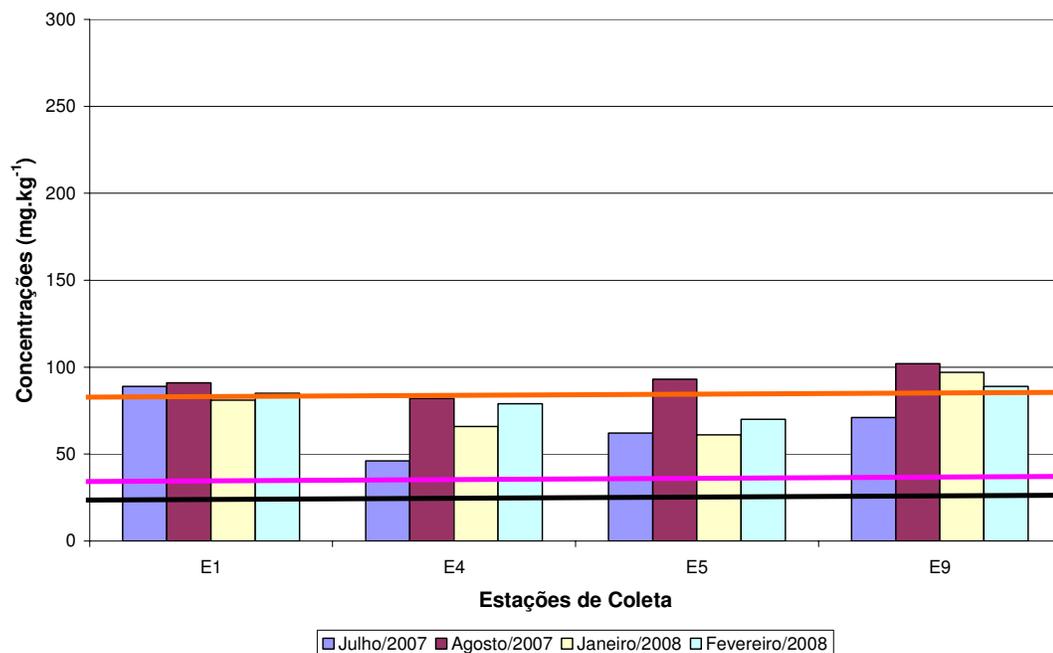
— \*\*PEL (Probable Effects Level) = 90,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração acima da qual a freqüência de efeitos biológicos adversos é provável).

Figura 20. Concentrações médias de cromo no sedimento superficial durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

No material sedimento nas 24h, as concentrações de cromo variaram de 46 mg.kg<sup>-1</sup> em julho/2007 na estação 04 para 102 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 09 no mês de agosto/2007 (Apêndice L e Figura 21), com valores médios de 80 ±12 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 79 ±12 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco.

Os resultados para o cromo em todo período estudado estiveram acima do valor de “background”. Estes resultados indicam contaminação por este metal na região estudada e que as estações estudadas recebem incremento deste metal a cada mudança de maré.



— “Background” = 25,0 mg.kg<sup>-1</sup>

— \*TEL (Threshold Effects Level) = 37, 3 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara).

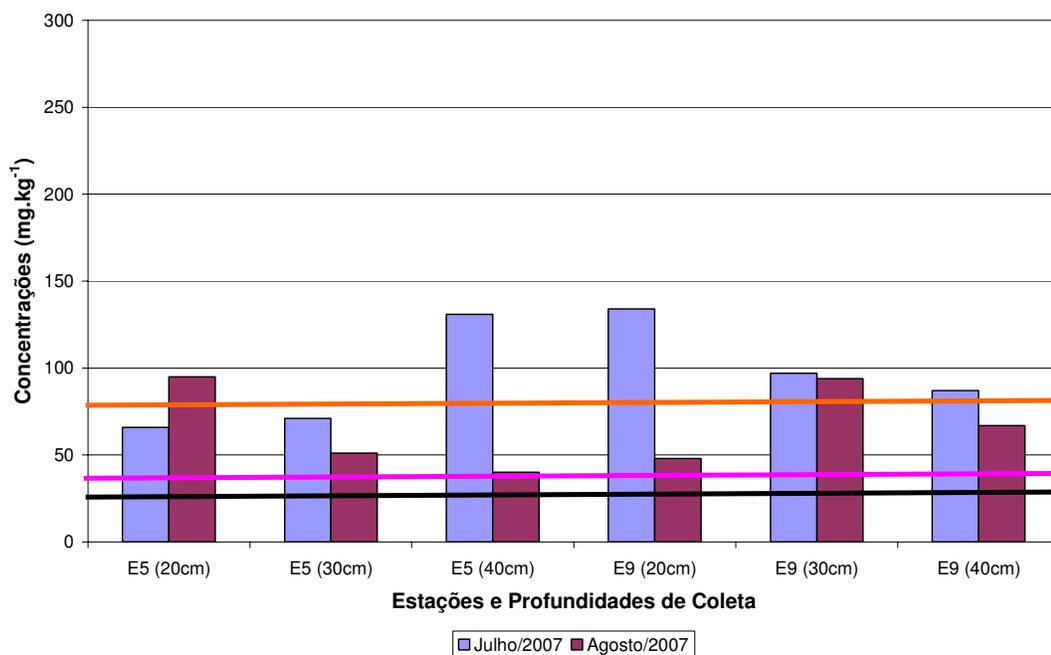
— \*\*PEL (Probable Effects Level) = 90,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável).

Figura 21. Concentrações médias de cromo no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

No perfil dos sedimentos, as concentrações de cromo variaram de  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$  em agosto/2007 na estação 05 com 40 cm profundidade para  $97 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 09 com 30 cm de profundidade no mês de julho/2007 (APÊNDICE P e FIGURA 22).

Os resultados para o cromo no período estudado estiveram acima do valor de “background”. Estes resultados indicam contaminação por este metal na região estudada e que sua acumulação, como também a diminuição, vem ocorrendo com o passar dos anos.



— “Background” =  $25,0 \text{ mg.kg}^{-1}$

— \*TEL (Threshold Effects Level) =  $37,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara).

— \*\*PEL (Probable Effects Level) =  $90,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável).

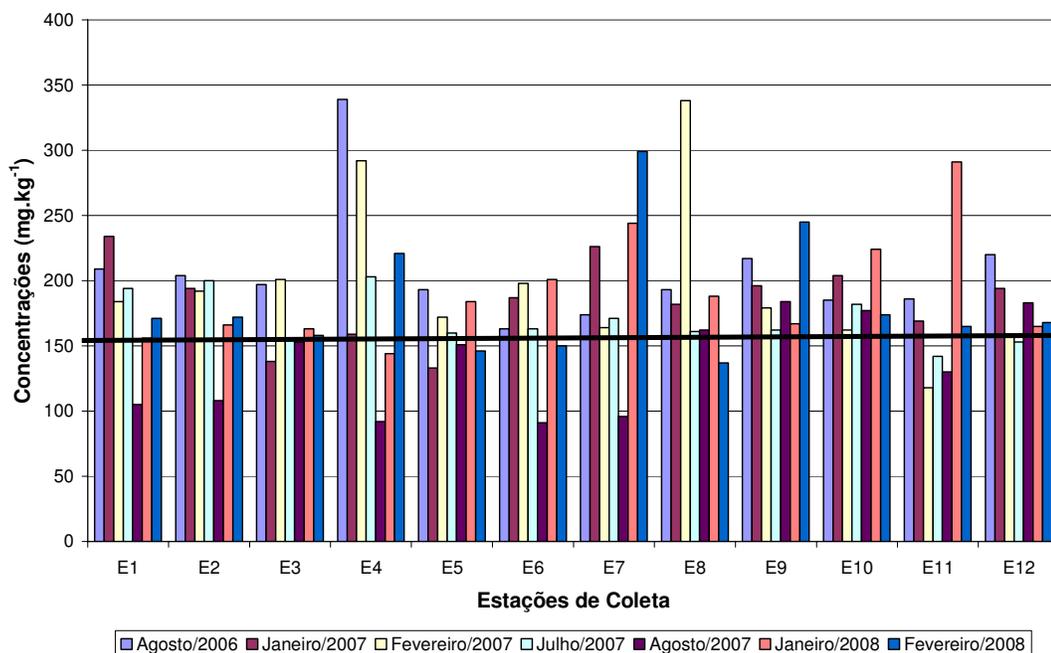
Figura 22. Concentrações médias de cromo no perfil do sedimento durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.5.2 – MANGANÊS

As concentrações médias de manganês, no sedimento superficial, oscilaram entre 91 mg.kg<sup>-1</sup> em agosto/2007 na estação 06, no período chuvoso e 338 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 08 no mês de fevereiro/2007 (Apêndice I e Figura 23), no período seco, com valor médio de 171 ±19 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 189 ±21 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco.

Os resultados para o manganês no período estudado, na sua maioria, estiveram com valores acima do “background”.



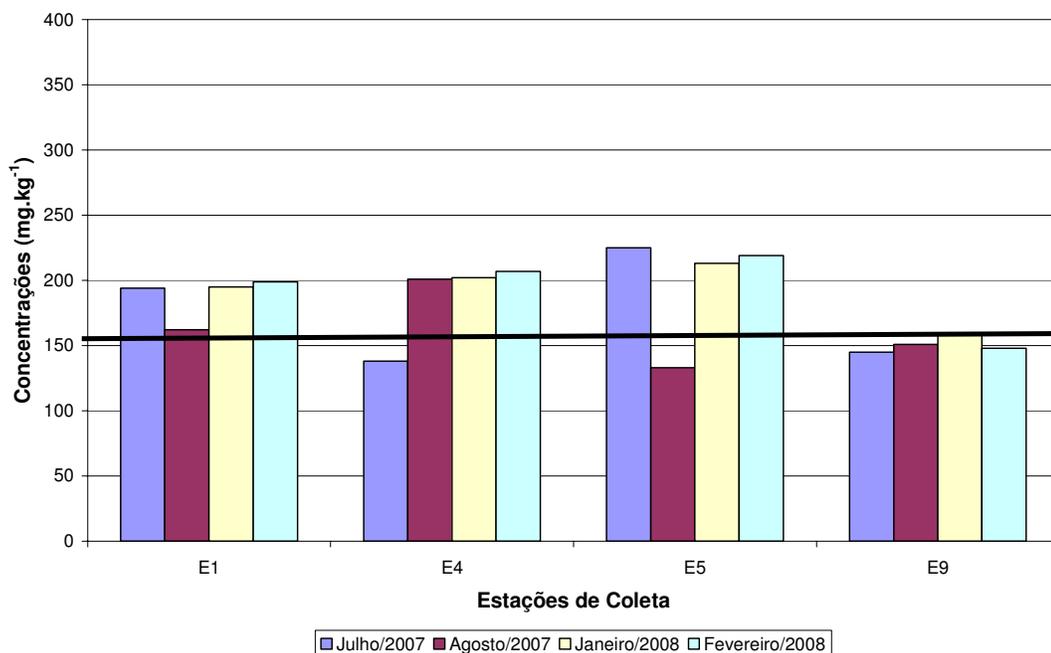
— “Background” = 160,0 mg.kg<sup>-1</sup>

Figura 23. Concentrações médias de manganês no sedimento superficial durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

As concentrações médias de manganês, no material sedimentado nas 24h, oscilaram entre  $133 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $225 \text{ mg.kg}^{-1}$  em julho e agosto/2007 na estação 05, no período chuvoso e  $219 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 05,  $148 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 09, no mês de fevereiro/2008, no período seco (Apêndice M), com valor médio de  $169 \pm 14 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso e de  $193 \pm 27 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período seco.

Como descrito na Figura 24 os resultados para o manganês no período estudado, na sua maioria, estiveram com valores acima do “background”.



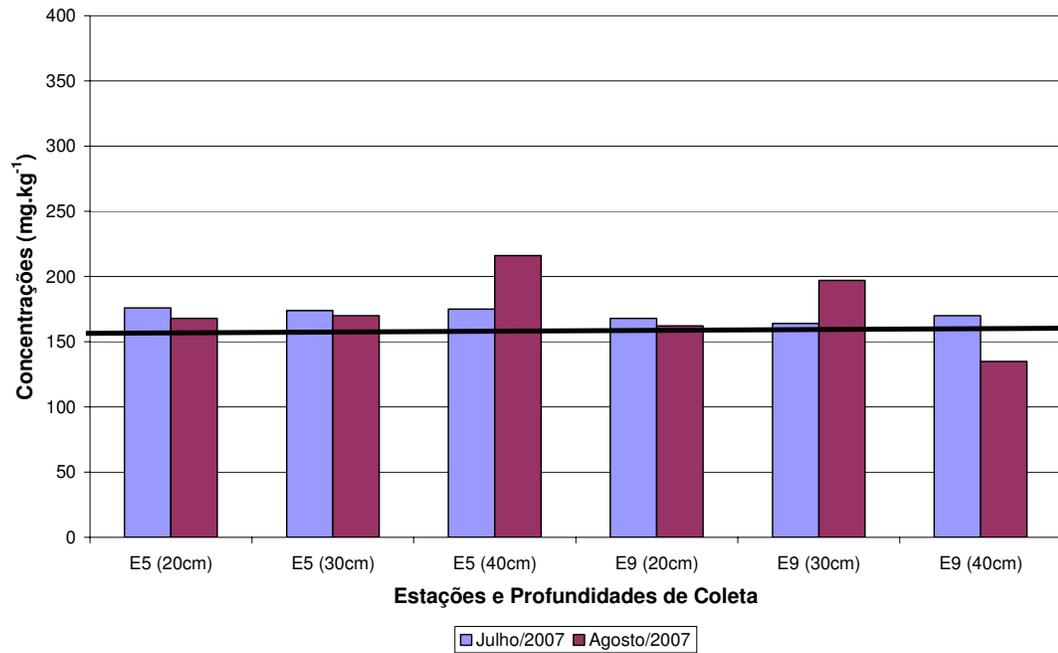
— “Background” =  $160,0 \text{ mg.kg}^{-1}$

Figura 24. Concentrações médias de manganês no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.

No perfil dos sedimentos, as concentrações de manganês variaram de  $135 \text{ mg.kg}^{-1}$  em agosto/2007 na estação 09 com 40 cm profundidade para  $216 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 05 com 40 cm de profundidade no mês de julho/2007 (APÊNDICE Q).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados para o manganês no período estudado estiveram acima do valor de “background”, exceto na estação 09 com 40 cm de profundidade (FIGURA 25).



— “Background” = 160,0 mg.kg<sup>-1</sup>

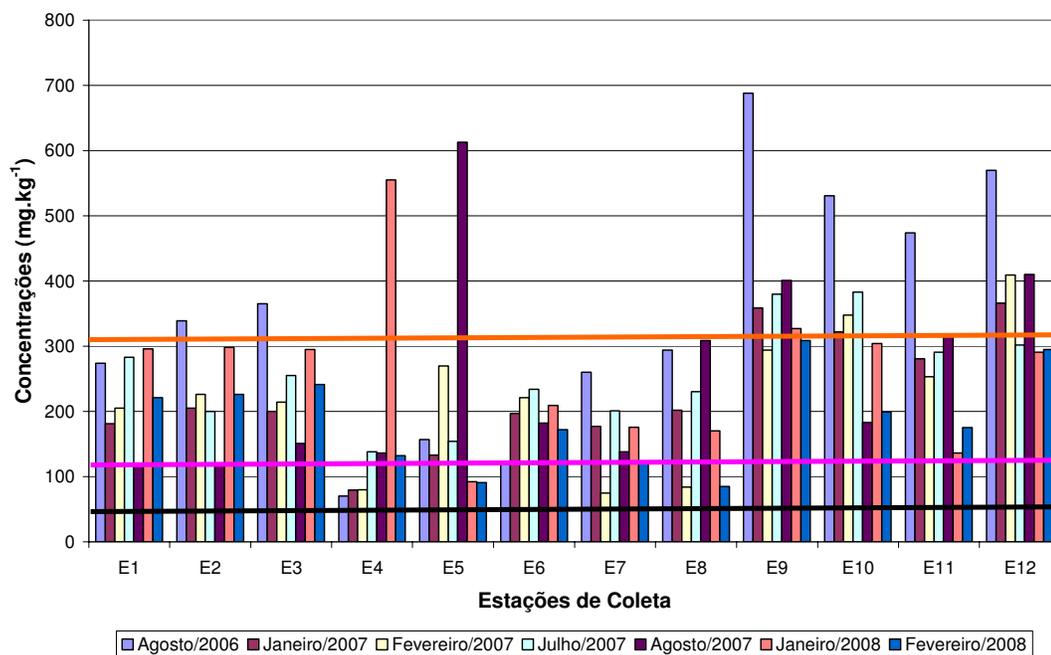
Figura 25. Concentrações médias de manganês no perfil do sedimento durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

### 6.5.3 – ZINCO

As concentrações médias de zinco no sedimento superficial oscilaram entre 75 mg.kg<sup>-1</sup> em fevereiro/2007 na estação 07, no período seco e 613 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 05 no mês de agosto/2007, período chuvoso (Apêndice J), com valores médios de 285 ±109 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 225 ±68 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco.

A figura 26 apresenta os resultados para o zinco em todo período estudado estiveram acima do valor de “background”, com uma maior concentração deste metal no período chuvoso em quase todas as estações estudadas. Os valores obtidos indicaram em média uma maior contaminação nas estações 05 e 04 que apresentaram valores superiores a 500 mg.kg<sup>-1</sup> em agosto/2007 e janeiro/2008, respectivamente.



— “Background” = 41,0 mg.kg<sup>-1</sup>

— \*TEL (Threshold Effects Level) = 123,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara).

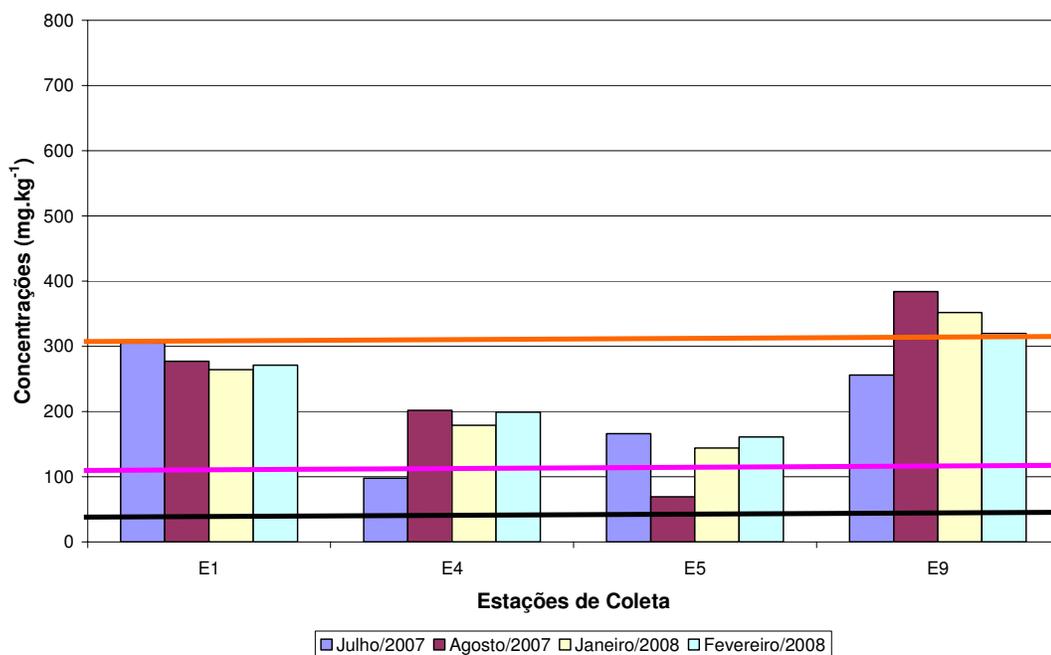
— \*\*PEL (Probable Effects Level) = 315,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável).

Figura 26. Concentrações médias de zinco no sedimento superficial nas estações durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

No material sedimento nas 24h, as concentrações de zinco variaram de 69 mg.kg<sup>-1</sup> em agosto/2007 na estação 05 para 384 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 09 no mês de agosto/2007 (Apêndice N), com valores médios de 220 ±101 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 236 ±82 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco.

Os resultados para o zinco (Figura 27) em todo período estudado estiveram acima do valor de “background”. Esses resultados indicam contaminação por este metal na região estudada e que as estações estudadas recebem incremento deste metal durante o ciclo de marés.



— “Background” = 41,0 mg.kg<sup>-1</sup>

— \*TEL (Threshold Effects Level) = 123,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara).

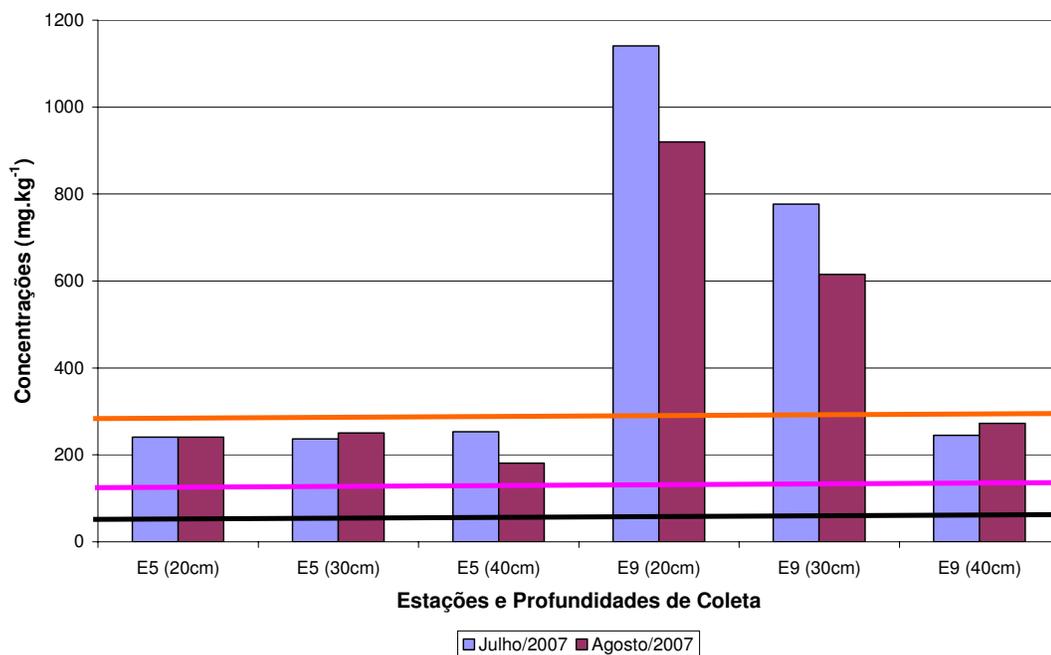
— \*\*PEL (Probable Effects Level) = 315,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável).

Figura 27. Concentrações médias de zinco no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados de zinco para o perfil estudado apresentaram valores que variaram 181 mg.kg<sup>-1</sup> em agosto/2007 na estação 05 com 40 cm profundidade para 1.141 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 09 com 20 cm de profundidade no mês de julho/2007 (APÊNDICE R).

Os resultados para o zinco no período estudado estiveram acima do valor de “background”. Estes resultados indicam contaminação por este metal na região estudada e que esta acumulação vem ocorrendo ao longo dos anos. (FIGURA 28).



— “Background” = 41,0 mg.kg<sup>-1</sup>

— \*TEL (Threshold Effects Level) = 123,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara).

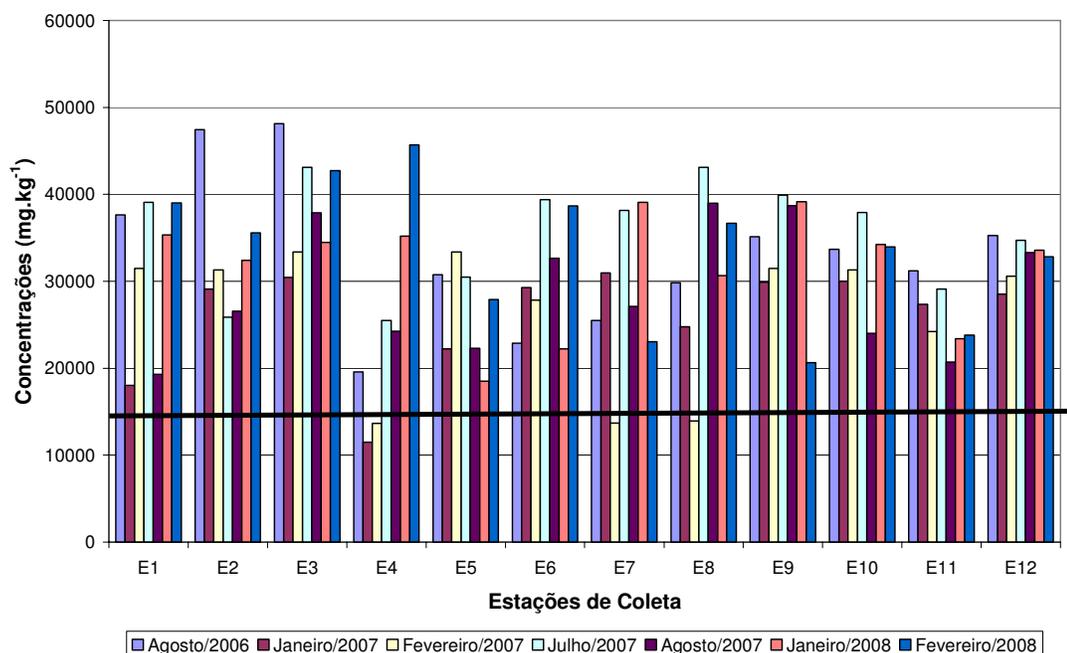
— \*\*PEL (Probable Effects Level) = 315,0 mg.kg<sup>-1</sup> (Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável).

Figura 28. Concentrações médias de zinco no perfil do sedimento durante o período estudado.

### 6.5.4 – FERRO

As concentrações médias de ferro, no sedimento superficial, oscilaram entre 11.500  $\text{mg.kg}^{-1}$  em janeiro/2007 na estação 04, no período seco e 43.120  $\text{mg.kg}^{-1}$  na estação 03 no mês de julho/2007, no período chuvoso (APÊNDICE K), com valores médios de  $32.174 \pm 5.345 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso e de  $26.139 \pm 3.291 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período seco.

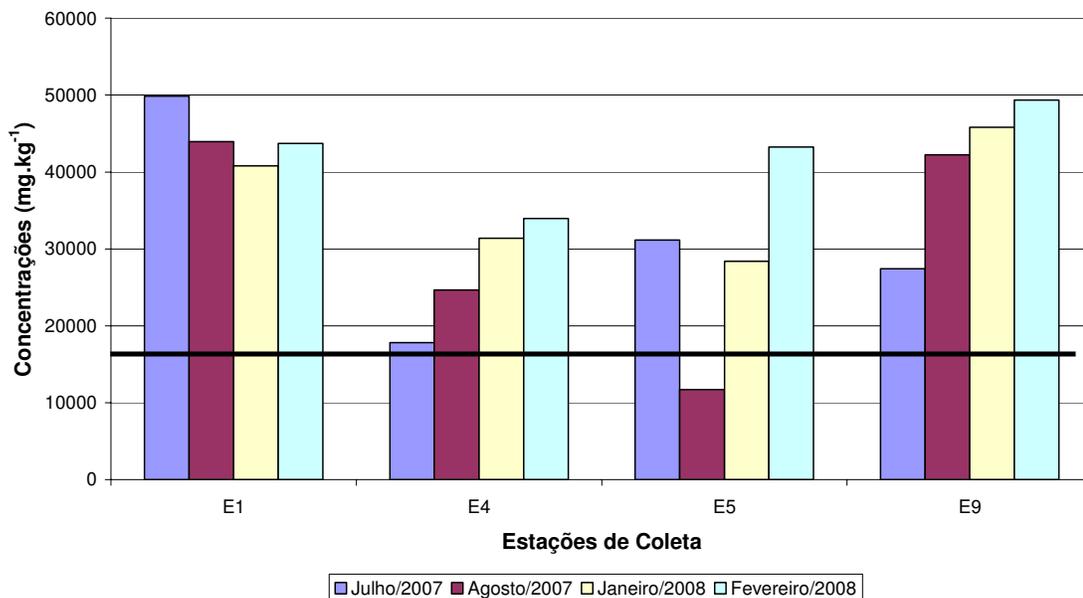
Como pode ser observado na Figura 29 o resultado para o ferro durante o período estudado apresentaram maiores concentrações no período chuvoso, em especial nas estações 01 em julho de 2007; 02 e 03 no mês de agosto de 2006. Em relação ao período seco em fevereiro de 2008, as maiores concentrações ocorreram nas estações 01, 03 e 04. Pôde-se constatar também que há um aumento da concentração deste metal na estação 04, no período seco durante os dois anos estudados, uma vez que, em janeiro e fevereiro de 2007 os resultados apresentaram um valor médio de  $12.580 \text{ mg.kg}^{-1}$  e nos mesmos meses em 2008, resultado médio de  $40.440 \text{ mg.kg}^{-1}$ .



— EPA =  $17.000 \text{ mg.kg}^{-1}$

Figura 29. Concentrações médias de ferro no sedimento superficial nas estações durante o período estudado.

As concentrações médias de ferro (Figura 30), nos materiais sedimentados nas 24h, oscilaram entre  $17.814 \text{ mg.kg}^{-1}$  em julho/2007 na estação 04, no período chuvoso e  $49.860 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 01 no mês de julho/2007, no período chuvoso (Apêndice O), com valores médios de  $31.098 \pm 12.308 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso e de  $39.589 \pm 6.655 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período seco.



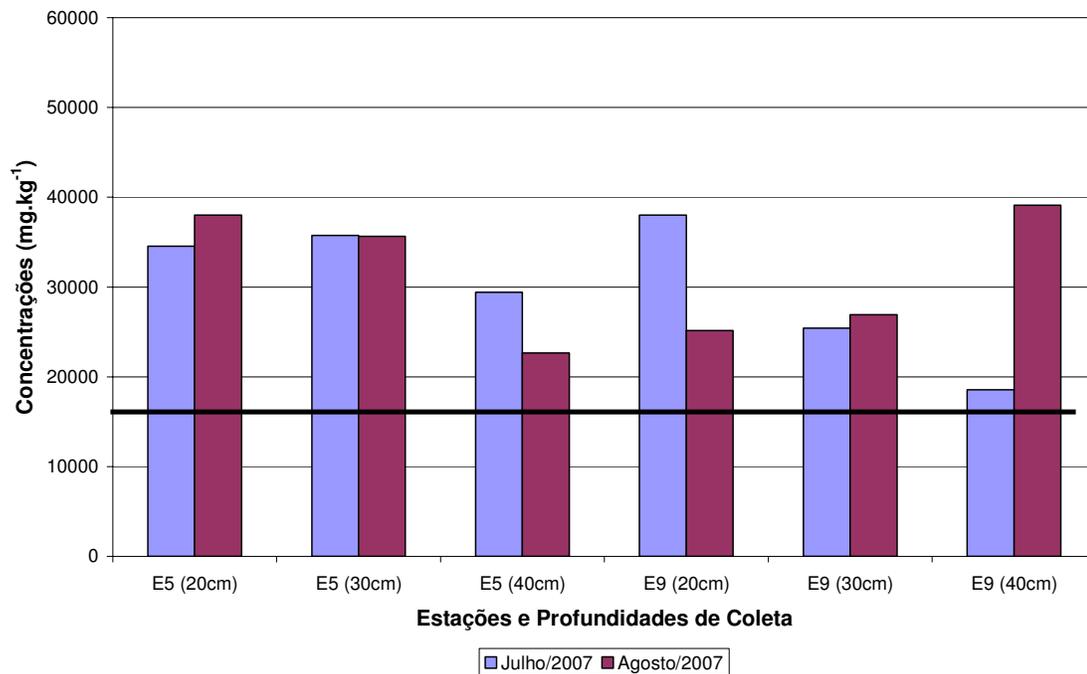
— EPA =  $17.000 \text{ mg.kg}^{-1}$

Figura 30. Concentrações médias de ferro no material sedimentado nas 24h durante o período estudado.

Os resultados de ferro para o perfil estudado apresentaram valores que variaram  $25.140 \text{ mg.kg}^{-1}$  em agosto/2007 na estação 09 com 20 cm profundidade para  $39.100 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 09 com 40 cm de profundidade no mês de agosto/2007 (APÊNDICE S).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados para o ferro no período estudado estiveram acima do valor recomendado pela EPA (FIGURA 31).



— EPA = 17.000 mg.kg<sup>-1</sup>

Figura 31. Concentrações médias de ferro no perfil do sedimento durante o período estudado.

## 6.6 – RESULTADOS DE METAIS NOS MOLUSCO BIVALVES

Os resultados de *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) para zinco variaram de 10,1 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco para 6,8 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso. Para manganês os resultados variaram entre 15,6 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco e 3,1 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso. Os valores encontrados para cobre oscilaram entre não detectáveis na estação seca e 2,6 mg.kg<sup>-1</sup> na estação chuvosa (APÊNDICE T).

As concentrações de ferro encontradas variaram de 28,5 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco para 23 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de alumínio oscilaram entre 14,2 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco para 35 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso (FIGURA 32).

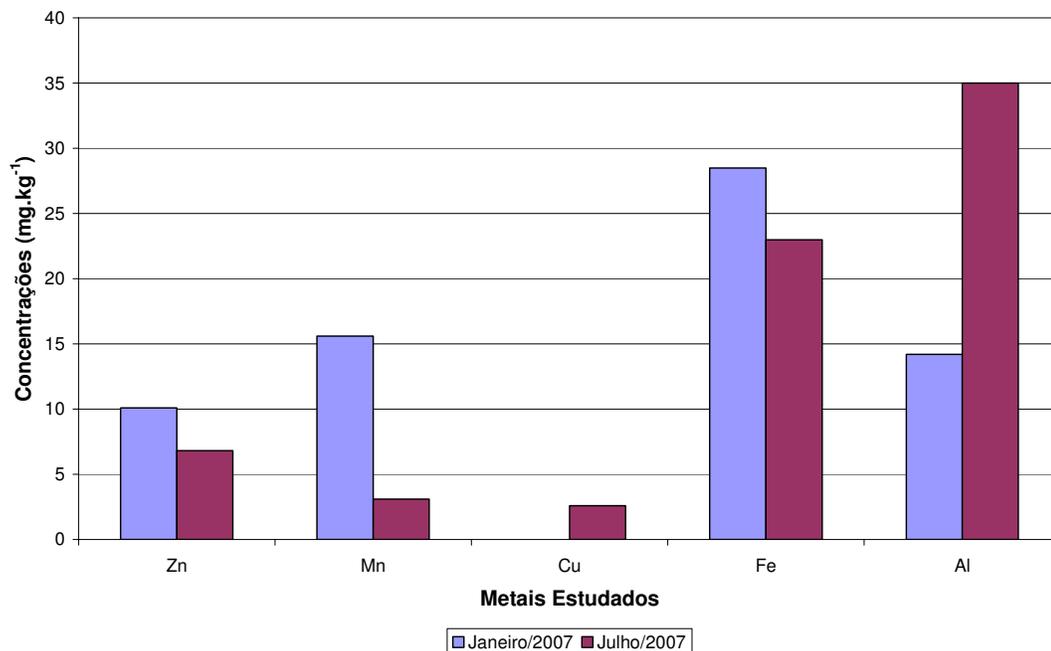


Figura 32. Concentrações médias de zinco, manganês, cobre, ferro e alumínio na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) no período seco e chuvoso em 2007.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados de *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) para zinco variaram de 10,4 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco para 7,7 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso. Para manganês os resultados variaram entre 5,2 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco e 3,3 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso. Os valores encontrados para cobre oscilaram entre 4,3 mg.kg<sup>-1</sup> na estação seca e 2,1 mg.kg<sup>-1</sup> na estação chuvosa (APÊNDICE U).

As concentrações de ferro encontradas variaram de 54,1 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco para 81 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de alumínio oscilaram entre 56,8 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco para 207 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso (FIGURA 33).

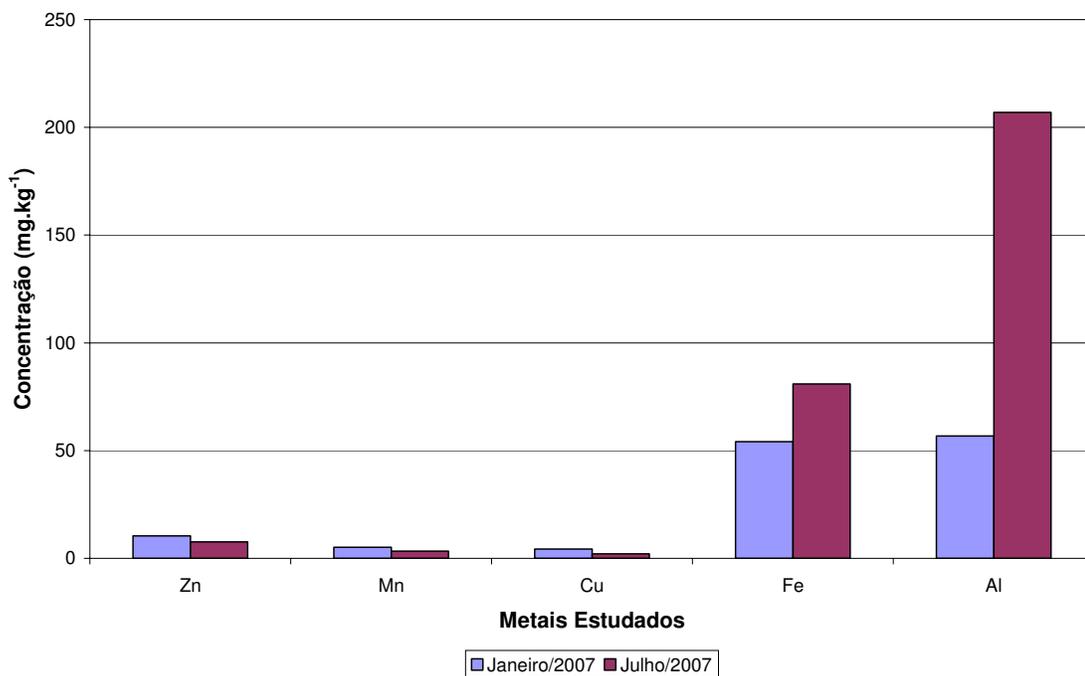


Figura 33. Concentrações médias de zinco, manganês, cobre, ferro e alumínio na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) no período seco e chuvoso em 2007.

## 6.7- RESULTADOS DE METAIS EM ÁRVORES DE MANGUE (RAÍZES)

Os resultados médios de cobre (Apêndice V), na raiz de mangue, variaram entre  $2,00 \text{ mg.kg}^{-1}$  em julho/2007 na estação 05, no período chuvoso e  $5,70 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 09 mesmo período, com valores médios de  $3,47 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso e de  $4,28 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período seco (FIGURA 34).

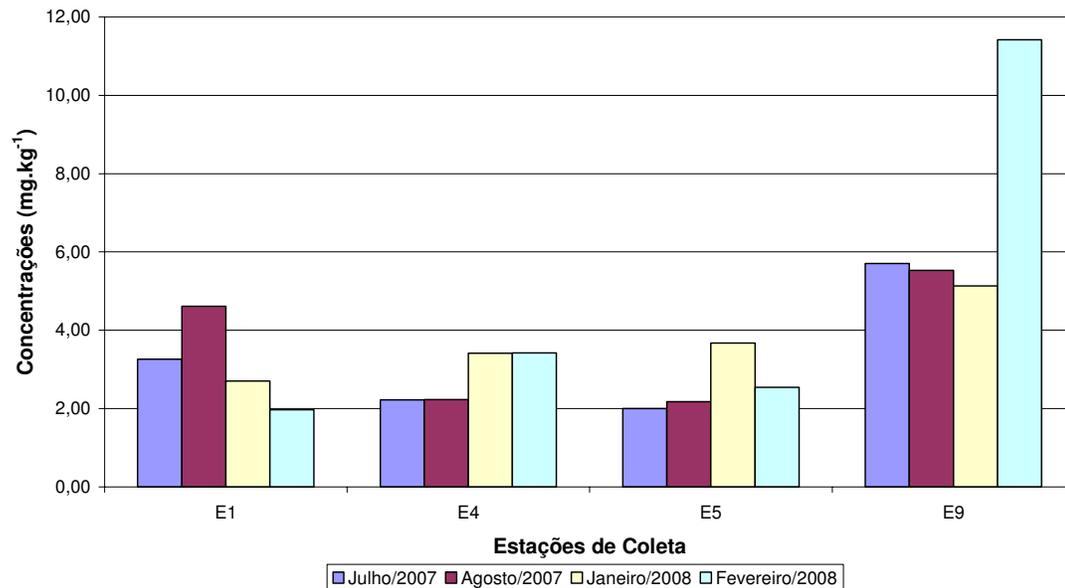


Figura 34. Concentrações médias de cobre na raiz de mangue durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

As concentrações médias de cromo (Apêndice W), na raiz de mangue, apresentaram valores não detectáveis no mês de julho/2007 na estação 01 e na estação 05 em agosto/2007, no período chuvoso e resultado de 1,51 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 01 no mês de fevereiro/2008, no período seco (Figura 35), com valores médios de 0,74 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 0,89 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco.

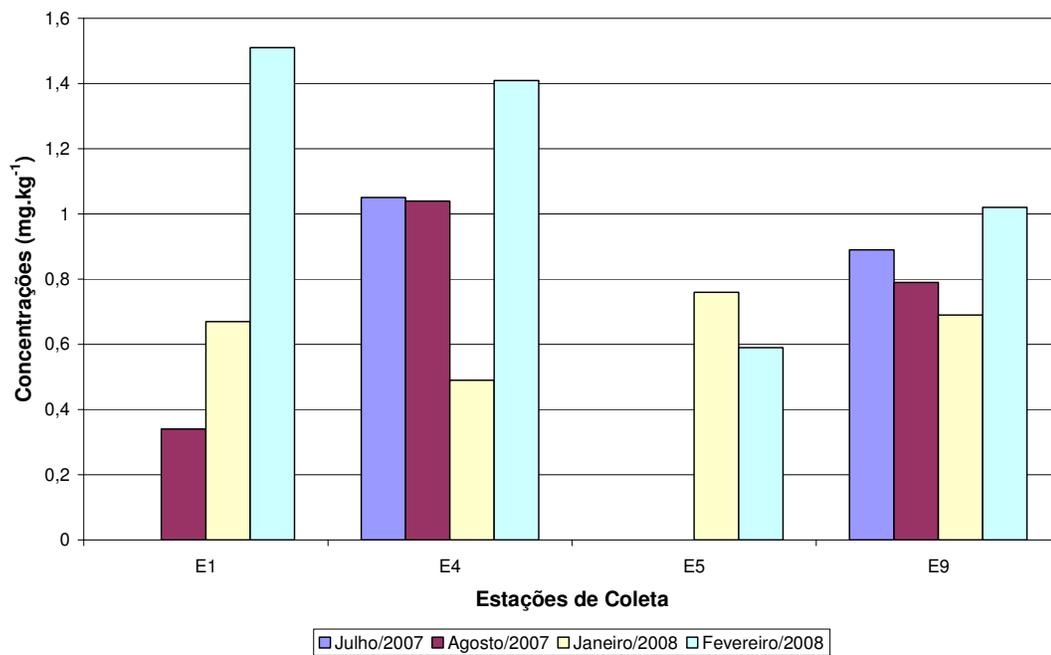


Figura 35. Concentrações médias de cromo na raiz de mangue durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

As concentrações médias de ferro (Apêndice X), na raiz de mangue, oscilaram entre 41 mg.kg<sup>-1</sup> em julho/2007 na estação 01, no período chuvoso e 541 mg.kg<sup>-1</sup> na estação 01 no mês de fevereiro/2008, no período seco (Figura 36), com valores médios de 74,5 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 287,4 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco.

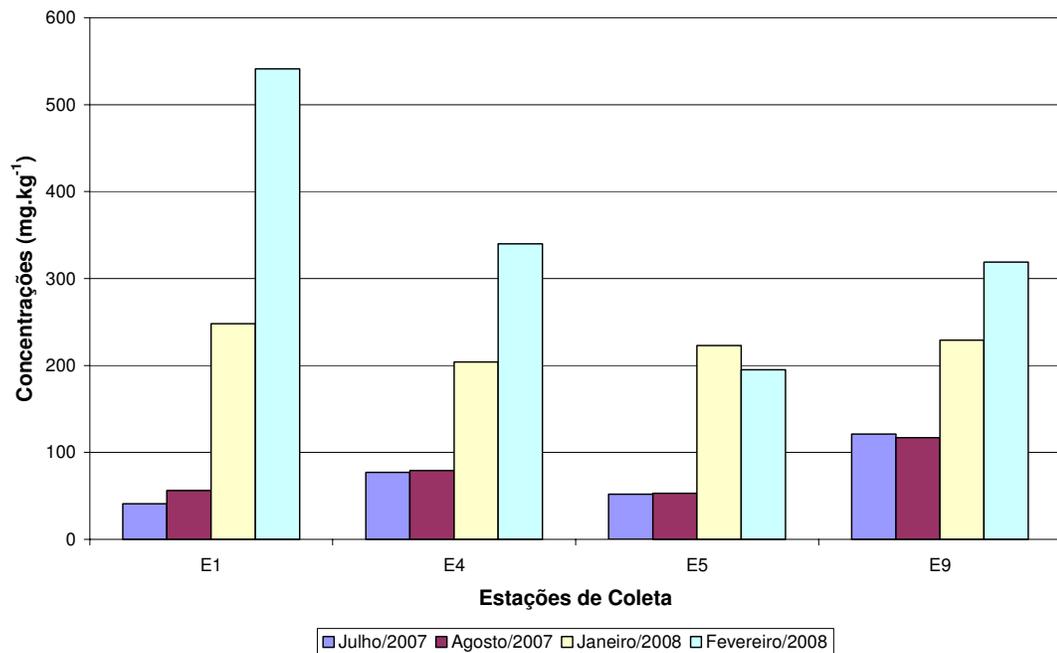


Figura 36. Concentrações médias de ferro na raiz de mangue durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados médios de manganês (Apêndice Y), na raiz de mangue, variaram entre  $1,94 \text{ mg.kg}^{-1}$  em janeiro/2008 na estação 09, no período seco e  $7,11 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação 01 mesmo período (Figura 37), em fevereiro/2008, com valores médios de  $4,04 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso e de  $3,82 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período seco.

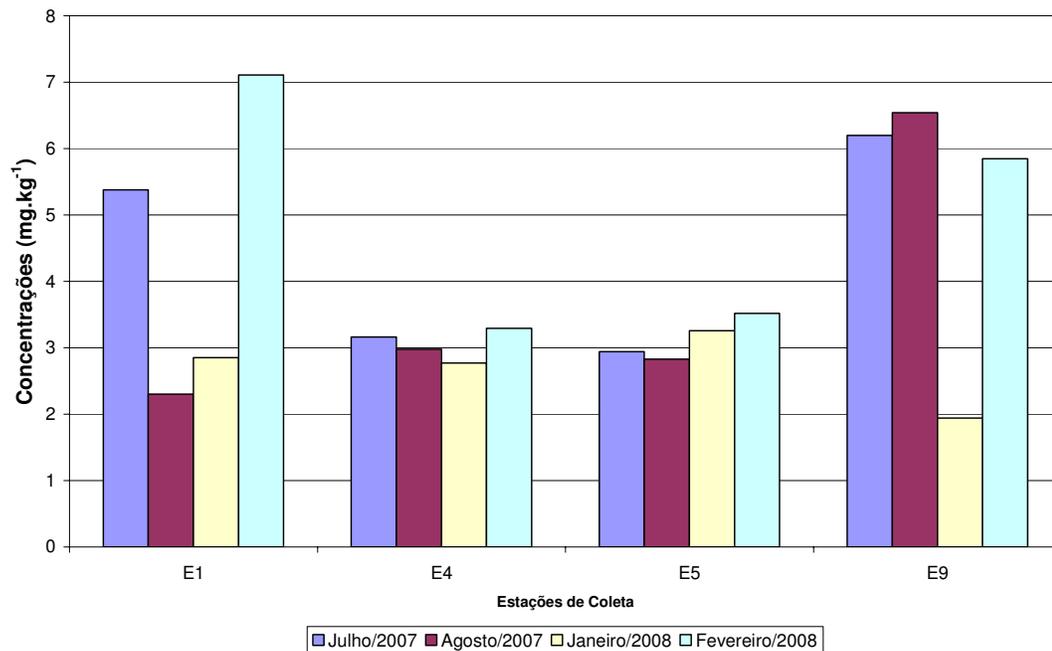


Figura 37. Concentrações médias de manganês na raiz de mangue durante o período estudado.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados médios de zinco (Apêndice Z), na raiz de mangue, variaram entre 2,78  $\text{mg.kg}^{-1}$  em fevereiro/2008 na estação 05, no período seco e 23,13  $\text{mg.kg}^{-1}$  na estação 04 no período chuvoso, com valores médios de 11,42  $\text{mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso e de 4,4  $\text{mg.kg}^{-1}$  no período seco (FIGURA 38).

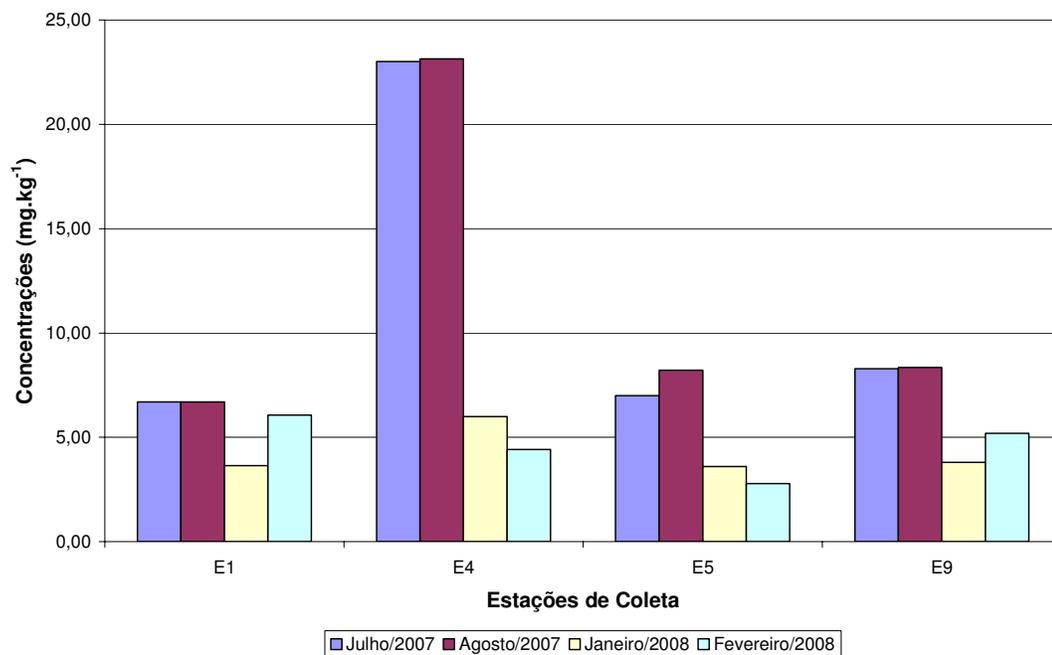


Figura 38. Concentrações médias de zinco na raiz de mangue durante o período estudado.

## 7.0 – DISCUSSÃO

A magnitude das variações sazonais dos parâmetros, em águas estuarinas é, em sua grande maioria, bastante diferente quando comparadas com a região oceânica costeira. A quantidade de água doce que penetra nos estuários é muito importante, pois além de enriquecer o estuário pela introdução de substâncias nutrientes, carrega uma grande quantidade de poluentes, oriundos de efluentes industriais e/ou domésticos (MACÊDO, 1977). Por esta razão o estudo de parâmetros hidrológicos associados aos estudos da concentração de metais-traço em sedimentos, por exemplo, são importantes nestas regiões de manguezal a fim de definir o grau de impacto que a ação antrópica causa nestas áreas, assim como fornecer subsídios para avaliar a saúde do ecossistema.

A circulação dentro de um estuário é dirigida pelo movimento das marés, correntes residuais, distribuição internas de intensidades e forças sinópticas do vento, sendo a primeira a mais importante uma vez que conduz o transporte e troca de materiais entre os ambientes fluviais, estuarinos e marinhos (FLORES-MONTES, 1996).

Em estuários de pequena profundidade, as correntes de marés, condicionam o aparecimento de condições satisfatórias para uma rápida reciclagem dos recursos químicos e biológicos. Assim, um estuário é um sistema dinâmico onde as características ambientais são por demais variáveis. O estudo sobre a variação dos principais componentes tem sido, há muito tempo, a base de todo campo de pesquisa (MACÊDO, loc. cit).

Em ecossistemas estuarinos um conjunto de fatores, incluindo a radiação incidente, a turbulência, a profundidade e material transportado se tornam bastante importante na determinação da transparência da água. Nestes ecossistemas a penetração da radiação luminosa é bastante reduzida, devido à grande quantidade de material sólido em suspensão, detritos orgânicos e substâncias dissolvidas. A precipitação pluviométrica pode também exercer uma importante influência na distribuição da transparência visto que um maior volume de água transportado carrega também uma

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

maior quantidade de material em suspensão, fato que limita a profundidade da zona fótica (MACÊDO et. al, 1990; TRAVASSOS, 1991).

Na zona estuarina do Parque dos Manguezais a transparência das águas foi baixa, apresentando pequenas oscilações nas estações de coleta e durante o período seco e chuvoso. Este fato foi também observado para regiões estuarinas situadas na região tropical por Macedo, 1973; Feitosa, 1998; Travassos, 1991; Flores-Montes, 1996; Silva, 2004; Noronha, 2008, dentre outros.

A variação sazonal da temperatura tornou-se visivelmente caracterizada por um gradativo acréscimo durante o período seco. O índice de variação térmica ( $6,4^{\circ}\text{C}$ ) registrado foi baixo, característico de regiões estuarinas tropicais, bastante próximos dos valores registrados por Flores-Montes, 1996; Travassos, loc. cit; Calado, 2004; Silva, 2004 e Noronha, 2008.

As regiões estuarinas exibem consideráveis flutuações de salinidade devido à mistura de água doce e salgada, sendo usualmente menor que o mar adjacente. Estas variações estão estritamente relacionadas com o fluxo e refluxo das marés, as estações do ano e a descarga fluvial para os estuários. Vários autores relataram que as condições locais de chuva, evaporação, drenagem terrestre e o grau de mistura com as águas costeiras, influenciam fortemente a média anual, a amplitude de variação e o gradiente salino do estuário (SMAYDA, 1983).

A área estudada apresentou consideráveis flutuações de salinidade, variando desde valores oligoalino (salinidade de 1,2) até valores polialino (máximo de 26,5) durante as baixa-mares. Os mais altos valores de salinidade foram registrados nas estações 01, 02, 03 e 04 (próximo à foz do estuário), influenciados diretamente por águas oceânicas costeiras, com o gradiente horizontal decrescendo gradativamente da foz até o interior do estuário. A variação sazonal foi bastante evidente, visto que os mais elevados valores, de uma forma geral, foram registrados na estação seca e os mais baixos na estação chuvosa.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os regulares suprimentos de água doce e salgada condicionam um amplo suprimento de oxigênio dissolvido em um estuário, estando sua concentração precisa dependente da temperatura e da salinidade. Entretanto com a recente expansão das atividades industriais e urbanas, os estuários, rios e zonas costeiras, estão diretamente afetados por efluentes de natureza diversa. Estes efluentes carregam para a zona estuarina uma grande diversidade de poluentes condicionando ecossistemas altamente impactados, principalmente àqueles localizado em regiões urbanas como é o caso do Parque dos Manguezais.

Os valores de oxigênio dissolvido registrado no presente estudo se constituíram como elementos básicos para a determinação da qualidade da água. Os resultados obtidos delimitaram áreas poluídas e/ou semipoluídas, com taxas de saturação de oxigênio atingindo valores não detectáveis ou próximos deste valor. Deve-se ressaltar que estes baixos valores comprometem não só a fauna e a flora aquáticas, mas também certos mecanismos físicos e/ou químicos de vários íons presentes no ambiente aquático.

O pH é um importante fator de equilíbrio dos sistemas químicos e biológicos das águas naturais (CARMOUZE, 1994). A toxicidade de vários poluentes comuns é afetada pela mudança de pH dentro do ecossistema aquático, e o aumento da acidez ou da alcalinidade pode tornar estes poluentes mais tóxicos (BAUMGARTEN e POZZA, 2001).

Na água salgada, a presença de íons de sódio, cloreto e sulfato, em profusão, controla o balanço de cargas positivas e negativas e faz reduzir o efeito dos íons relacionados aos carbonatos. Da presença de sais dissolvidos no meio marinho resulta uma reduzida variabilidade nos valores de pH, que giram em torno de 8,0 (RILEY e CHESTER, 1971). Este mecanismo que controla a variabilidade do pH é conhecido como efeito tampão da água do mar. O efeito tampão também é observado na água intersticial do ambiente marinho, contudo a presença de ácidos orgânicos em grande quantidade, principalmente em sedimentos costeiros, pode fazer cair o pH da água intersticial para menos de 7,0.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os valores de pH obtidos, neste estudo, foram na sua grande maioria alcalinos, o que demonstra regular mecanismo ácido/básico das águas, condicionados principalmente pelas correntes de marés que provoca uma rápida reciclagem no ecossistema dos recursos químicos e biológicos.

Ambientes costeiros são locais protegidos caracterizados pela acumulação de matéria orgânica, uma vez que apresentam as mais significativas taxas de produção primária. A matéria orgânica é um importante carreador geoquímico de metais em vários tipos de ambientes, devido à sua capacidade de dispor de sítios de troca superficiais. Assim em ambientes com elevada concentração de matéria orgânica, existe uma maior tendência à imobilização do metal pesado (KERDORFF e SCHMITZER, 1980).

As associações entre metais e matéria orgânica podem ser classificadas de maneira muito simplificada em dois tipos, as interações de superfície, relacionadas aos processos de quelação, e as associações à rede molecular não superficial. O primeiro tipo de associação é importante em função de sua dinâmica, da mesma forma que a matéria orgânica esta incorporando metais através de reações de superfície, sua liberação, em função da modificação das condições físico-químicas externas, também podem ocorrer (SAMADFAM et al., 1996; WALLSCHLÄGER et al., 1996).

Os resultados de matéria orgânica, nos sedimentos superficiais, obtidos neste trabalho corroboram as considerações feitas acima, pois as quantidades encontradas contribuem para acumulação de metais no sedimento, como discutido a seguir.

A proposta inicial deste trabalho foi a determinação de nove metais (cromo, manganês, ferro, cobalto, níquel, cobre, zinco, cádmio, chumbo), entretanto, o cobalto, níquel, cobre, cádmio e chumbo não foram detectados e quantificados pela metodologia empregada, devido suas baixas concentrações no ecossistema, visto

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

que os resultados obtidos estiveram sempre abaixo dos limites de detecção e quantificação.

Os resultados obtidos de cromo, manganês e zinco foram analisados e comparados com o “background” proposto e o valor guia de TEL do Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente, observou-se que os valores das concentrações destes metais nos sedimentos obtidos para o Parque dos Manguezais, em sua maioria, estiveram acima dos que foram encontrados na área interna da estação de Rádio Pina. Este fato indica contaminação em todas as estações, oriunda de diferentes fontes antrópicas, como galvânicas, mini estaleiros, efluentes domésticos, dragagem e outros.

Contaminantes que penetram no ambiente aquático podem se associar ao sedimento de fundo, onde permanecem, a não ser que os sedimentos sofram perturbações, o que ocorre normalmente em processos de dragagem, onde os contaminantes voltam para os corpos de água e tornam-se biologicamente ativos (AVELAR et al., 1997).

Cerca de 40% do cromo estão disponíveis na forma de cromo VI, como cromato ou dicromato. A maior parte do cromo liberado na água deposita-se nos sedimentos. Uma pequena porcentagem pode estar presente na água nas formas solúvel e insolúvel. As formas solúveis encontram-se como cromo VI e complexos de cromo. Em fase aquosa, o cromo III ocorre como partícula sólida adsorvida a materiais argilosos, orgânicos ou a óxido de ferro (ATSDR, 2000).

Grandes quantidades de matéria orgânica presentes na água podem reduzir o cromo VI a cromo III. O cromo trivalente pode, então, ser adsorvido ao material particulado ou formar complexos polinucleares de baixa solubilidade, permanecendo em suspensão na forma coloidal e sendo transportado para o oceano ou precipitando-se e tornando-se parte dos sedimentos dos lagos e rios (WHO,1988; ATSDR, 2000).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Segundo Lee (1980) o cromo é largamente empregado em processos de cromação, no curtimento de couros, na anodização do alumínio e como agente oxidante. Os resultados obtidos para cromo nos sedimentos no Parque dos Manguezais indicaram que estes se encontram contaminados e que devido à geomorfologia da região, ações antrópicas como construção de viveiros para o cultivo de camarão, galvânicas e remoção dos sedimentos na área. Pode-se observar também que na estação 12 no período chuvoso de agosto/2007 e na estação 01 no período seco em fevereiro de 2008 ocorre elevação da concentração de cromo devido à devastação do mangue e retirada de sedimentos no local. Segundo Silva. C. (1998), grandes quantidades de matéria orgânica (característico de regiões estuarinas) presente no ecossistema podem reduzir o cromo IV a cromo III. Assim, o cromo III pode formar complexos polinucleares de baixa solubilidade e tornar-se parte dos sedimentos dos lagos e rios. Essa redução também depende do potencial redox aliada às condições aeróbicas e anaeróbicas da água e do pH. Em condições de pH alcalino predomina o hidróxido de cromo III.

Os resultados de cromo para no material sedimentado nas 24h quando comparados com os sedimentos superficiais estiveram muito próximos, sem alterações significativas, apresentando uma diferença de  $\pm 10 \text{ mg.kg}^{-1}$  entre as estações estudadas.

O manganês é o metal de transição mais abundante após o ferro e o titânio, e os compostos mais comuns são formados nos estados de oxidação  $2^+$ ,  $3^+$  e  $7^+$ . O estado de oxidação do manganês em solos e sedimentos pode ser alterado pela atividade microbiana. Os microorganismos podem aumentar a mobilidade deste metal (WHO, 1981; ATSDR, 2000).

Existe um equilíbrio dinâmico entre as formas de manganês. A forma divalente é transformada, através da oxidação biológica, na forma trivalente que, posteriormente é reduzida a  $\text{Mn}^{2+}$  em solos muito ácidos. A oxidação bacteriana é considerada baixa, por outro lado em solos alcalinos, e a forma divalente praticamente desaparece. A velocidade de conversão nas diferentes formas sofre influência sazonal, provavelmente por depender da ação microbiológica, pois o potencial de

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

oxidação e de redução está diretamente relacionado com a atividade dos microrganismos que podem alterar o pH (LEE, 1980; WHO 1981 e 1999).

Como citado o manganês possui propriedades químicas onde pequenas mudanças na variação de pH, potencial redox, variações de oxigênio dissolvido e salinidade, contribuem de forma efetiva no aumento de sua disponibilidade para o ambiente. As variações características dos estuários permitem que este metal ocorra nos seus diferentes números de oxidação, contribuindo para a formação de óxidos (LACERDA et al, 1993; CALMANO et al., 1993; SWADDLE, 1997; BRAYNER e MATVIENKO, 2003). O Parque dos Manguezais oferece condições para que essas propriedades químicas do manganês ocorram e estas podem ser observadas nos resultados obtidos onde se tem uma maior concentração deste metal no período seco, indicando a importância do estudo sazonal para este elemento.

Os resultados de manganês no material sedimentado nas 24h quando comparados com os sedimentos superficiais apresentaram diferenças significativas entre as estações E04 e E09, indicando que o ciclo de marés, a oxigenação e outros têm influência na disponibilidade deste metal para a coluna da água, desta para os sedimentos e deste para o material sedimentado nas 24h e vice-versa.

O zinco ocorre no ambiente principalmente no estado de oxidação  $2^+$ . Pode ser combinado com outros elementos, como cloro, oxigênio e enxofre, para formar compostos de zinco. Estes compostos podem ser encontrados em sítios de descarte, como cloretos, óxidos, sulfatos e sulfetos de zinco. Grande parte do zinco encontrado na natureza como sulfeto de zinco (LEE, 1980; ATSDR, 1994).

Na água o zinco é distribuído para sedimentos por adsorção do ferro e óxidos de manganês, argila mineral e materiais orgânicos. A eficiência destes materiais em remover o zinco de soluções varia de acordo com suas concentrações no meio, pH, potencial redox, salinidade, natureza e concentração dos complexos ligantes, capacidade de troca de cátions, e a concentração de zinco. Precipitação de compostos solúveis de zinco é significativa somente em condições redutoras em águas muito poluídas. Geralmente em valores baixos de pH, o zinco permanece

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

como íon livre. Este íon tende a ser adsorvido e transportado por sólidos suspensos em águas não contaminadas. Em águas contaminadas onde a concentração de zinco é alta, a remoção do zinco por precipitação do hidróxido é possível, particularmente quando o pH é maior que 8,0. Em ambiente anaeróbico, como no caso do Parque dos Manguezais, e na presença de íons sulfetos, a precipitação de sulfeto de zinco limita a mobilidade do metal (LEE,1999; ATSDR, 1994).

O zinco metálico tem muitas aplicações na indústria. A mais comum é a de revestimento de ferro e outros metais para prevenir a corrosão. É utilizado também misturado com outros metais para formar ligas, como por exemplo, latão e bronze, e em processos de galvanização, muito comuns na região estudada neste trabalho (LEE,1980; ATSDR, 1994).

O zinco possui, ainda, características específicas de seu grupo, como por exemplo, ligações fracas, que o disponibilizam facilmente para o ambiente (Lee,1980), fato este comprovado por Brayner et al. (2001) que realizou a especiação de metais pesados em sedimentos numa área estuarina do rio Capibaribe e constatou que nas primeiras etapas da especiação o zinco esteve disponível em concentrações bastante próximas às encontradas neste trabalho, onde todas as estações durante o período estudado apresentaram valores superiores ao “background” indicando contaminação por zinco nos sedimentos do Parque dos Manguezais, especialmente nas estações 04, 05, 09, 10 e 12 que apresentaram pelo menos um período de coleta concentração superior a  $500 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Esse aumento se deu devido à devastação do mangue e remoção dos sedimentos para construção de viveiros de camarão.

Os resultados de zinco para no material sedimentado nas 24h quando comparados com os sedimentos superficiais apresentaram diferenças significativas entre as estações E05 e E09, indicando que o ciclo de marés e as propriedades químicas deste, como descrito acima, têm influência na disponibilidade deste metal na região estudada.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Deve-se ressaltar que os resultados obtidos para o cromo, manganês e zinco nos sedimentos do Parque dos Manguezais ratificam os trabalhos desenvolvidos, no estado de Pernambuco, em sedimentos de viveiros de cultivo de peixes por Brayner (1998), Brayner et al. (2001); em sedimentos estuarinos no rio Capibaribe, por Silva (2004), Lira (2008) ao estudá-los na Lagoa do Araçá e Noronha (2008) no estuário do rio Timbó.

Resultados estes que também corroboram com estudos realizados por Cave et al. (2005) no estuário do rio Humber no Reino Unido e Defew et al. (2005) na região estuarina da Baía de Punta Mala, no Panamá, onde as concentrações de zinco estiveram acima dos valores usados como referência e trabalhos realizados por Belzunce et al. (2001) em que as concentrações de cromo estiveram acima dos valores naturais tomados como “background” no estuário do rio Nervión no norte da Espanha.

Com base nos resultados, pode-se afirmar que os sedimentos do Parque dos Manguezais apresentaram contaminação por estes metais; que na maioria das estações estudadas os valores para sedimentos superficiais apresentaram-se acima dos valores de PEL (Probable Effects Level) onde os efeitos biológicos adversos são prováveis, indicando desta maneira que o acúmulo destes metais ao longo dos anos pode passar interferir na biota; que a sazonalidade interfere nos resultados obtidos para os parâmetros hidrológicos e que a ação antrópica interfere diretamente na disponibilidade destes elementos para o ambiente estudado. O que leva a constatação da necessidade de ações de monitoramento no Parque dos Manguezais para que a saúde deste ecossistema manguezal seja preservada.

Quanto ao ferro, o estado de oxidação ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ ) e suas propriedades físicas e químicas determinam sua disponibilidade no meio ambiente e biota. As condições anóxicas proporcionam condições para que o ferro sofra mudanças no número de oxidação em seu contato com a coluna d'água, disponibilizando-o ou não para o ecossistema (AZEVEDO e CHASIN, 2003). Tais características podem ser constatadas na região do Parque dos Manguezais e podem ser observadas nos resultados obtidos para concentração de ferro neste estudo.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Os resultados de ferro no material sedimentado nas 24h quando comparados com os sedimentos superficiais apresentaram diferenças significativas em todas as estações estudadas, mostrando que as maiores concentrações deste metal ocorreram no sedimento superficial indicando que o ciclo de marés, a oxigenação e outros têm pouca influência na disponibilidade deste metal para a coluna da água, desta para os sedimentos e deste para o material sedimentado nas 24h e vice-versa.

Os processos sedimentares no ambiente estuarino formam um registro histórico sedimentar dos processos que ocorrem na coluna da água, na bacia de drenagem e até mesmo dos aportes atmosféricos. A amostragem de testemunhos e/ou perfil destes sedimentos de ambientes deposicionais é uma metodologia muito utilizada para se determinar a evolução temporal de ambiente que está sendo estudado. Tais estudos têm sido realizados nos últimos anos para avaliar o grau de impactação que a ação antrópica causa no ambiente, bem como os processos deposicionais naturais (WASSERMAN e WASSERMAN, 2008).

Os estudos de perfis verticais do sedimento pesquisado neste trabalho se deram de forma bastante preliminar e em apenas duas estações de coleta, E05 e E09, escolhidas previamente por apresentarem maior aporte dos metais pesquisados. Os resultados sugerem que os metais traço cromo e zinco vêm aumentando com o passar dos anos, quando comparados com os valores do sedimento superficial e do material sedimentado nas 24h, indicando que a atividade humana tem contribuído de maneira significativa para o incremento destes metais no ambiente/sedimentos.

Os resultados de ferro e manganês no período estudado, para os perfis de sedimento, indicam características naturais importantes nos sedimentos de fundo do Parque dos Manguezais.

Desta maneira pode-se afirmar que os sedimentos do estuário em pauta podem ser usados para um monitoramento específico de metais traço na área, pois as águas estuarinas são importantes transportadores de metais pesados, refletindo de uma maneira geral na qualidade do ecossistema.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

A sazonalidade pode influenciar as concentrações de metais nos invertebrados, podendo apresentar níveis mais elevados em quaisquer das estações ou, ainda, não apresentar tendência sazonal consistente (MOORE e RAMAMOORTHY, 1983). Quanto aos resultados de moluscos bivalves estudados neste trabalho a variação sazonal de metais traço ocorreu de maneira consistente.

Os resultados mostram que a sazonalidade interfere na concentração dos metais estudados e estes corroboram com outros trabalhos que estudaram as concentrações de metais em *Crassostrea corteziensis* e *Crassostrea cucullata* e estes apresentaram flutuações sazonais com valores mais elevados de metais nos meses de inverno (LOPEZ, et al., 1990; MITRA e CHOUDHURY, 1993).

O zinco é um elemento essencial no metabolismo de alguns organismos, além desse metal esta normalmente associado, nos ambientes aquáticos, a partículas em suspensão que são utilizadas pelos mexilhões em sua dieta filtradora ((LOPEZ, et al., 1990). O zinco pode se acumular em animais aquáticos e apresentar de 51 a 1.130 vezes a concentração presente na água. Estudos indicam que, em geral, o zinco não se bioacumula através da cadeia alimentar (ASTR, 1994). Algumas espécies de ostras podem acumular grande quantidade de zinco, podendo chegar a níveis de  $1.000 \mu\text{g.g}^{-1}$  de tecido (ESPERICUETA, et al., 1999).

Na área estudada as concentrações de zinco quantificadas na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) encontraram-se dentro dos limites máximos permitidos pela legislação vigente no país, não apresentando, até o momento, risco de contaminação deste metal associada ao consumo destes moluscos à saúde humana.

O cobre é um elemento essencial ao homem e animais, desempenhado, também, um papel importante no metabolismo das plantas. Distribui-se no meio ambiente pela precipitação e fluxo da águas que transportam as partículas. Dependendo deste fluxo, as partículas se depositam e formam os sedimentos. Os organismos mortos

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

são fontes importantes de cobre nos sedimentos aquáticos oceânicos (HSDB, 2000; WHO, 1998).

Os principais fatores que regulam a concentração de metais em bivalvos são a quantidade destes metais na coluna de água (dissolvido ou particulado) e alguns parâmetros biológicos como o ciclo reprodutivo e a grande variedade de estruturas intracelulares ligadas à membrana destes organismos passíveis de se ligarem a compostos eletrofílicos. Estas estruturas estão associadas aos tecidos digestivos e aos excretos destes invertebrados (ESPERICUETA, et al., 1999).

Desta maneira, a avaliação do risco humano de exposição envolve a seleção de um biomonitor que represente os hábitos alimentares da população na região pesquisada, como no caso dos espécimes estudados neste trabalho, e não o organismo animal mais suscetível ao metal.

Na área estudada as concentrações de cobre quantificadas na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) encontraram-se dentro dos limites máximos permitidos pela legislação vigente no país, não apresentando, até o momento, risco de contaminação deste metal associada ao consumo destes moluscos à saúde humana.

O manganês atua em vários processos fisiológicos, vegetais e animais. É um elemento essencial para fisiologia animal, em processos de formação dos ossos, função reprodutiva e metabolismo de carboidratos e lipídios (THORNTON, 1995). Este elemento se acumula mais em organismos de níveis tróficos inferiores do que os superiores, como por exemplo, moluscos bivalves (ATSDR, 2000).

As concentrações de manganês quantificadas na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842), no período seco, encontraram-se fora dos limites máximos recomendados pela EPA. Esta concentração foi encontrada devido aos baixos níveis de oxigênio dissolvido encontrados na área e nestas condições anóxicas, o manganês sofre mudanças no número de oxidação em seu

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

contato com a coluna d'água, podendo assim acumular-se nestes moluscos de maneira análoga ao que ocorre nos sedimentos. Porém ao contrário dos sedimentos que podem acumular este metal, em organismos vivos este metal pode se bioacumular causando danos à saúde.

Já no período chuvoso os resultados para manganês apresentaram-se dentro dos limites máximos recomendados pela EPA, não apresentando, nesta estação do ano, risco de contaminação deste metal associada ao consumo destes moluscos à saúde humana. Contudo o consumo desses espécimes no verão pode causar, em longo prazo, riscos à saúde humana.

O ferro, assim como o cobre, zinco, manganês e outros metais, é um elemento essencial para toda biota. Sua disponibilidade para biota está associada ao seu estado de oxidação.

As concentrações de ferro quantificadas na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) encontraram-se acima dos limites máximos recomendados pela WHO, durante todo período estudado (Janeiro e Julho/2007). A ingestão das espécies estudadas pode causar, em longo prazo, danos à saúde humana.

Embora a contaminação por metais traço esteja associada à ação antrópica, no caso da região pesquisada, resultados provenientes do perfil de sedimentos realizados em algumas estações de coleta indicam, ainda de maneira preliminar, que a formação geológica do estuário em questão é rica em manganês e ferro. Podendo assim contribuir para que os resultados para manganês e ferro quantificadas na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) estivessem fora dos valores máximos recomendados pela literatura internacional.

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre. Ele não é encontrado isolado no estado natural, mas na forma de vários silicatos. Sendo os mais importantes a bauxita e a criolita (WHO, 1997).

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Presente na dieta humana, o alumínio, é ingerido em concentrações variadas, seja em produtos animais com menor teor ou plantas com maior teor relativo. Considerando que altas concentrações de alumínio ( $< 100 \text{ mg. L}^{-1}$ ) só ocorrem em pH menor que 5,0 (Sorenson et al., 1974), sua ingestão em excesso provoca diminuição na absorção de cálcio e ferro, que para os moluscos, compromete a formação da concha (RIZZO e BARBUTO, 2001; ELANGOVAN et al., 2000).

Para humanos, não-exposto ocupacionalmente ao alumínio, o consumo oral representa a maior via de exposição. O total ingerido diariamente varia de 2,5 a 13 mg/dia, dependendo do país de origem, bem como idade e sexo do indivíduo. Tal variação é observada em virtude dos hábitos alimentares e dos níveis de aditivos utilizados no processamento dos alimentos (WHO, 1997). Na ausência de critérios, com base relacionada à saúde, para avaliação das concentrações de alumínio na área estudada, os resultados quantificados na *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842) servem apenas como referência de futuros valores máximos permitidos ou não, no caso de uma composição de legislação no país.

Estudos com biomonitorios na região costeira do Brasil são escassos e mostram-se necessários, devido ao aumento do desenvolvimento urbano e industrial nestas regiões.

O conhecimento e o monitoramento das fontes de contaminação de metais traço na zona costeira brasileira são necessários, para que se evite que a população seja atingida por causa do consumo de organismos provenientes de locais impactados, como alguns estudos de caso ocorridos no Brasil e em outros países (KERNACH e BIANCHINI, 2008).

Os metais traço ocorrem naturalmente nos solos e alguns deles, tais como cobre zinco e cobalto, desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como cádmio, chumbo, arsênio e selênio, exercem efeitos

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

deletérios sobre vários componentes da biosfera (ALLOWAY, 1995; KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Na maioria das vezes, esses elementos estão presentes nos solos, em concentrações ou formas que não oferecem risco para o ambiente. Todavia, nas últimas décadas, atividades antrópicas têm elevado, substancialmente, as concentrações de metais traço em diversos ecossistemas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Como descrito anteriormente trabalhos relacionados especificamente ao tema metais traço em árvores de mangue são escassos e quando estes são encontrados estão, em sua maioria, ligados à composição nutricional das plantas, tamanho, replantio e outros. Contudo para efeito de comparação com outros parâmetros ambientais a concentração de metais encontrada para os elementos bário, cobre, cromo, ferro manganês e zinco estudados nesta pesquisa corroboram com trabalhos semelhantes realizados por Oliveira et al., 2000; Bernini et al., 2006 e Ramos e Geraldo, 2007, que afirmam a importância das árvores de mangue como barreira biogeoquímica e que estas podem ser usadas como monitoramento.

Ao estudar neste trabalho os diferentes compartimentos moluscos, raiz de árvores de mangue, material sedimentado nas 24h e sedimentos superficiais, dentro de um ambiente estuarino, foi constatado que os sedimentos atuam como barreiras biogeoquímicas e acumulam os metais estudados, como citado nas diferentes referências bibliográficas nesta pesquisa.

## 8.0 – CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os sedimentos superficiais e materiais sedimentados nas 24h do Parque dos Manguezais, na grande maioria dos casos, apresentaram concentrações de metais acima dos valores obtidos de “background”, para cromo, manganês e zinco, indicando contaminação na área de estudo;
- Cobalto, níquel, cobre, cádmio e chumbo não puderam ser detectados e quantificados nos sedimentos, pela metodologia empregada, devida suas baixas concentrações no ecossistema;
- Os resultados de metais quantificados, em algumas das estações de coleta, para sedimentos superficiais apresentaram-se acima dos valores de PEL (Probable Effects Level) onde os efeitos biológicos adversos são prováveis, indicando desta maneira que o acúmulo destes metais ao longo dos anos pode passar interferir na biota;
- A estação 04 é o ponto mais impactado em toda área estudada, que concentra e retém os metais, exceto para o cromo;
- Quanto à variabilidade sazonal do sedimento se conclui que as concentrações encontradas de metais são estatisticamente indistinguíveis nos períodos chuvosos e secos;
- Os sedimentos da área podem ser usados como base para um monitoramento específico de metais traço na área, repercutindo de uma maneira geral na qualidade do ecossistema manguezal. Por outro lado os sedimentos apresentaram-se como importantes compartimentos que armazenam zinco, cromo e manganês, tendendo a imobilizá-los;
- As concentrações de zinco e cobre dos moluscos bivalves estudados no entorno do Parque dos Manguezais encontraram-se dentro dos valores máximos permitidos pela legislação vigente no país;
- Para os elementos ferro e manganês os valores registrados nos moluscos encontram-se acima dos valores máximos de consumo recomendados pela literatura internacional, indicando que em longo prazo, o consumo desses bivalves pode causar danos a saúde humana;

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

- Os espécimes estudados, *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842), podem ser usados como biomonitores, indicando a qualidade do ecossistema estudado;
- Os resultados obtidos nas raízes de árvores de mangue encontraram-se dentro da normalidade e que estes podem atuar também, assim como no caso do sedimento, como barreiras biogeoquímicas e usadas em trabalhos de monitoramento;
- O estudo dos diferentes compartimentos, moluscos, raiz de árvores de mangue, material sedimentado nas 24h e sedimentos superficiais, pesquisados neste trabalho, indicam que ecossistema manguezal deve ser preservado, pois seu conjunto é capaz de atuar como barreira biogeoquímica, acumulando os metais estudados, contribuindo para um perfeito gerenciamento da qualidade ambiental de ecossistemas estuarinos do nordeste do Brasil.

## 9.0 – RECOMENDAÇÕES

Após a conclusão deste trabalho recomenda-se que:

- Um programa de monitoramento deverá ser implantado, no Parque dos Manguezais, de modo a acompanhar a evolução do impacto ambiental decorrente das grandes modificações estruturais com as obras realizadas pelo Governo de Estado de Pernambuco, Prefeitura da Cidade do Recife e grandes empreendedores da engenharia civil, com construções tais como: A via mangue; a ponte ligando a Ilha de Deus ao continente; retirada das palafitas e alguns viveiros de camarão; pavimentação e levantamento de casa de alvenaria na Ilha de Deus dragagem dos rios Pina e Jordão e outros;
- Oficialização e criação do Parque dos Manguezais, como uma instituição dedicada à preservação, ensino e pesquisa, visando o treinamento científico, técnico e profissional, bem como a transferência de tecnologia para estudos de ecossistemas impactados e o
- Estabelecimento de pesquisas geocronológicas no sedimento visando a complementação dos estudos de perfil realizados neste trabalho.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## 10.0 – REFERÊNCIAS

ADEKOYA, J. A.; WILLIAMS, A. B.; AYEJUYO, O. O. Distribution of heavy metals in sediments of Igbede, Ojo and Ojora rivers of Lagos, Nigeria. **Environmentalist**, v. 26, n. 4, p. 277-280, 2006.

AGUIAR, Eduardo da Costa. **Avaliação Quantitativa das Áreas de Manguezais do Recife Utilizando Imagens de Satélite como Tecnologia de Apoio**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental), Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2006.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2nd ed. New York: Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.

AMARAL, Maria Clara Rebouças do. **Estudo da acumulação e depuração de metais pesados através do experimento de transplante da ostra *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828)**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21<sup>th</sup> Edition, 2005.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS). **Official Methods of Analysis** 17.th Edtion, vol 1, 2000.

ANDRADE, L.; PFEIFFER, W. C. **Metais pesados: características e interações com o meio ambiente**. Rio de Janeiro. 1999. 46 p.

ANDREA, Gracio Coimbra. **Distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e da Enseada das Garças, Baía de Sepetiba**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2003. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2003.

ARAÚJO, A.M.; PIRES, T.T. Simulação exploratória dos efeitos das marés na circulação e transportes hidrodinâmicos da Bacia do Pina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.3, p. 57-71, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-14724**: Informação e documentos : trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-10520**: Informação e documentos: - citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

\_\_\_\_\_. **NBR-6023: Informação e documentação: referências: elaboração.** Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

ASTUDILLO, Rojas; YEN, Chang. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. **Revista de Biología Tropical**, Costa Rica, v. 53 (Supl. 1), p. 41-53, May. 2005.

ATLAS DOS MANGUEZAIS DO NORDESTE DO BRASIL. **Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.** Universidade Federal do Ceará/Instituto de Ciências do Mar/Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal – ISME-BR, 2004. 54p.

ATSDR (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY). **Toxicological profile for chromium.** Syracuse: U. S. Department of Health & Human Services, 2000.

\_\_\_\_\_. **Toxicological profile for manganese.** Atlanta: ATSDR, 2000. 504p.

\_\_\_\_\_. **Profile for zinc.** Atlanta: ATSDR, 1994. 243p.

AVELAR, W. E. P.; ROMA, F e LONGO, L. L. **Poluição por metais pesados na bacia do rio Sapucaí-Mirim (Nordeste do estado de São Paulo, Brasil), pela indústria de couro.** Arq. Biol. Tech. v. 4, n.1, p. 205-212, 1997.

AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A. A. M. **Metais: gerenciamento da toxicidade.** São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554p.

BALACHANDRAN, K. K. *et al.* Heavy metal accumulation in a flow restricted, tropical estuary . **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 65, n. 1-2, p. 361-370, 2005.

BELZUNCE, M. J. *et al.* Accumulation of organic matter, heavy metals and organic compounds in surface sediments along the Nervión estuary (Northern Spain). **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 12, p. 1407-1411, 2001.

BERNINI, ELAINE.; *et al.* Composição química e de folhas das espécies do manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 29, n. 4, p. 689-699. 2006

BEVERIDGE, T.J. *et al.* Metal-microbe interactions: contemporary approaches. In: R. K. poole (ed.), *Advances in Micribial Physiology*, **Academic Press**, vol. 38, p: 178-243, 1997.

BARROS, H.M. *et al.* **Gerenciamento participativo de estuários e manguezais.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 252 p.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

BAUMGARTEN, M. G. e POZZA, S. A. **Qualidade de Águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio Grande: Editora da FURG. 166p. 2001.

BISHOP, P. L. **Pollution prevention: fundamentals and practice**. USA: McGraw – Hill, 2000. 700 p.

BORGES, A. C.; DIAS, J. C.; MACHADO, W.; PATCHINEELAM, S. R. Distribuição espacial de ferro, cobre e chumbo em sedimentos de manguezal em um gradiente de degradação na Baía da Guanabara (Estado do Rio de Janeiro). **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 66-69, 2007.

BRASIL. Decreto Nº. 55.871, de 26 de março de 1965. Dispõe sobre normas regulamentadoras do emprego de aditivos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 9 abr. 1965, Seção 1.

BRASIL. Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Portaria Nº. 685, de 27 de agosto de 1998. Fixa limites máximos de tolerância de contaminantes químicos em alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 set. 1998.

BRAYNER, F. M. M.; SILVA, H. K. P.; BARBOSA, A. M. F. **Speciation of heavy metals in estuarine sediments in the Northeast of Brazil**. Environ Sci 8 Pollut Res 8 (2001). p. 1-6. August, 2001.

BRAYNER, F. M. M. et al. **Behaviour of heavy metals in the estuarine area of the Capibaribe River in the Northeast of Brazil**. Journal de Physique IV. France 107 (2003). p. 221-225.

BRAYNER, F. M. M.; MATVIENKO, B. **Manganese and iron as oxygen carriers to anoxic estuarine sediment**. Journal de Physique IV. France 107 (2003). p. 221-225.

BRAYNER, Fátima Maria Miranda. **Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana**. São Carlos: USP/EESC, 1998. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 1998.

BRUSCA, Richard C; BRUSCA, Gary J. **Invertebrates**. 2. ed. Massachusetts: Ed. Sinauer Associates, Inc. 2003.

CALADO, Silvana Carvalho de Souza. **Níveis de concentrações de metais pesados em macro algas e em sedimentos marinhos de Pernambuco-Brasil**. Recife: UFPE, 2004. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

CALIANI, J. C. F.; MUÑOZ, F. R.; GALÁN, E. Clay mineral and heavy metal distributions in the lower estuary of Huelva and adjacent Atlantic shelf, SW Spain.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

**The Science of the Total Environment**, v. 198, p. 181-200, 1997.

CALMANO, W.; HONG, J.; FÖRSTNER, U. Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. **Water, Science and Technology**, v. 28, n. 8/9, p. 223-235, 1993.

CAMO ASA, 1998. **The Unscrambler (Versão 7, 01)**. User Manual, CAMO ASA, Oslo, Norway.

CARMOUZE, J. R. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos**: fundamentos, teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Edgar Blucher/FAPESP, 1994.

CARRAL, *et al.* Influence of watershed lithology on heavy metal levels in estuarine sediments and organisms in Galicia (North-West Spain). **Marine Pollution Bulletin**, v. 30, n. 09, p. 604-608, 1995.

CARVALHO, G. P. *et al.* Preliminary assessment of heavy metal levels in *Mytella falcata* (Bivalvia, Mytilidae) from Bacanga River estuary, São Luís, State of Maranhão, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 1, p. 11-16, fev. 2000.

CASTILLO, Isabel. *et al.* Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón, *perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. **Zootecnia Tropical**, v. 23, n. 2, p.141-154, abr. 2005

CAVALCANTI, ANDRÉ DIAS. Monitoramento da concentração por elementos traço em ostras comercializadas em Recife, Pernambuco, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 19, n. 05. Rio de Janeiro. Set/Out. 2003.

CAVE, R. R.; ANDREWS, J. E.; JICKELLS, T.; COOMBES, E. G. A review of sediment contamination by trace metals in the Humber catchment and estuary, and the implications for future estuary water quality. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 62, n. 3, p. 547-557, 2005.

CCME – **Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life – Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life**. Canadian Council of Ministers of the Environment, p. 35, 1999.

CHAGAS, Alessandra Carla Oliveira. **Níveis de metais pesados e hidrocarbonetos em sedimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape-PE, Brasil**. Recife: UFPE, 2003. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

CHESTER, R. VOUTSINO, F. G. The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 12, n.03, p.84-91, 1981.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

COELHO, P. A.; TORRES, F. A. Áreas estuarinas de Pernambuco. **Trabalhos Oceanográficos**. Universidade Federal de Pernambuco, v. 17, p. 67-80, 1982.

CONNOR, T. P.; LAUENSTEIN, G. G. Status and trends of copper concentrations in mussels and oyster in the USA. **Marine Chemistry**, v. 97, issues 1-2, p. 49-59, 2005.

CUONG, D. T.; BAYEN, S.; WURL, O.; SUBRAMANIAN, K.; WONG, K. K. S.; SIVASOTHI, N.; OBBARD, J. P. Heavy metals contamination in mangrove habitats of Singapore. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 12, p. 1732-1738, 2005.

DAY, J. W. et al. **Estuarine ecology**. New York , USA: Wiley, 1989. 558 p.

DEFEW, L. H., MAIR, J. M., GUZMAN, H. M. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 05, p. 547-552, 2005.

ELANGO VAN R; MCCROHAN C. R; BALLANCE S; POWELL J. J; WHITE K. N. **Tissue and Cell**. v.32, p.79, 2000.

ESPERICUETA, M. G. F.; LOPES, J. I. O.; SALAZAR, G. S. E LOPES, G. L. distribution of trace metals in different tissues in the rock oyster *Crassostrea iridescens*: seasonal variation. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** V.63, p. 73-79, 1999.

FARIA, M. M.; SANCHEZ, B. A. Geochemistry and mineralogy of recent sediments of Guanabara bay (WE sector) and its major rivers-Rio de Janeiro state-Brazil. **An. Acad. Bras.** v. 73, n. 1, 2001.

FAVELAS **ameaçam área do Parque dos Manguezais**. Jornal do Commercio, Recife, 13.jun.2004. Ciência e Meio Ambiente, p. 5.

FEITOSA, Fernando Antônio do Nascimento. **Produção primária do fitoplâncton correlacionada com parâmetros bióticos e abióticos na Baía do Pina**. Recife: UFPE, 1988. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 1988.

FERREIRA, A. G.; Machado, A. L. S.; ZALMON, I. R. Variação temporal e espacial da concentração de metais pesados na ostra *Ostrea equestris* na costa norte do Estado do Rio de Janeiro, **Brazilian Journal of Biology**, v. 65, n. 1, p. 67-76, fev. 2005.

FLORES-MONTES, Manuel de Jesús. **Variação nictemeral do fitoplâncton e parâmetros hidrológicos do Canal de Santa Cruz, Itamaracá – PE**. Recife: UFPE, 1996. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 1996.

FÖRSTNER, U.; SCHOER, J.; KNAUTH, H. D. **The Science of the Total Environment**. v. 97/98, p. 347-368, 1990.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

FUKUE, M.; NAKAMURA, T.; KATO, Y.; YAMASAKI, S. Degree of pollution for marine sediments. **Engineering Geology**, Osaka, v. 53, p. 131-137, 1999.

GARCIA, K.S *et al.*; Avaliação geoquímica de sedimentos de zonas do manguezal dos municípios de São Francisco do Conde e Madre de Deus – BA In: **Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul**. Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil, 2005

GONÇALVES, Rosemary; FREIRE, George; NETO, Vicente. Determinação das concentrações de cádmio, cobre, cromo e zinco, na ostra *Crassostrea rhizophorae* dos estuários dos rios Cocó e Ceará. **Revista de Geologia**, v. 20, n. 1, p. 57-63, 2007

HARRIS, Daniel C. **Análise química quantitativa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 862 p.

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

HSDB. **Hazardous Substance Data Bank. Copper**. In: Tomes CPS <sup>TM</sup> system. Toxicology. Occupational Medicine and Environmental Series. Englewood: Micromedex: 2000.

JESUS, H.C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, nº 3, p. 378-386, 2004.

JIMÉNEZ, M.F.S. e OSUNA, F. P. Distribution and normatization of heavy metal concentrations in magrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 53, n. 3, p. 259-274, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KERNDORFF, H. e SCHMITZER, M. Sorption of metals on humic acid. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 44, p. 1701-1708, 1980.

KERSANACH, M. W. e BIANCHINI, A. **Metais Traço em Organismos: Monitoramento Químico e de Efeitos Biológicos**. In: Poluição Marinha. Organizadores José Antônio Baptista Neto; Mônica Wallner-Kersanach e Soraya Maia Patchineelam. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 440p.

LACERDA, L.D. *et al.* Mercury in sediments from the Paraíba do Sul river continental shelf, S. E, Brasil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 26, n. 4, p. 220-222, 1993.

LAPORTE, L. F. **Ambientes antigos de sedimentação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998, p. 21.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

LEE, C. L.; FANG, M.D.; ASI E. H. Characterization and distribution of metals in surficial sediments in Southwestern Taiwan. **Marine Pollution Bulletin**, v. 36, n. 6, p. 464-471, 1998.

LEE, John David. **Química inorgânica**: Um novo texto conciso. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 508 p.

LEE, John David. **Química inorgânica**: Não tão concisa. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 527 p.

LEONARD, E. N.; ANKLEY, G.T.; HOKE, R. A. Evaluation of metals in marine and freshwater surficial sediments from the environmental monitoring and assessment program relative to proposed sediment quality criteria for metals. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, n. 10, p. 2221-2232, 1996.

LIRA, Josineide Braz de Miranda. **Avaliação preliminar das concentrações de metais pesados em sedimentos da Lagoa do Araçá, Recife – Pernambuco, Brasil**. Dissertação de mestrado (ITEP/OS). Recife, 2008.

LOPEZ, J.I.O; ZAZUETA-PADILLA, H.M.; RODRIGUEZ-HIGUERA, A.; PAEZ-OSUNA, F. **Marine Pollution Bulletin**. v. 21, p. 486, 1990.

LUIZ-SILVA, W.; MATOS, R. H. R.; KRISTOSCH, G. C.; MACHADO, W. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP). **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 256-263, 2006.

MACÊDO, S. J. ; LIRA, M. E. F. e SILVA, J. E. Condições hidrológicas do Canal de Santa Cruz, Itamaracá – PE. **Boletim de Recursos naturais da Sudene**. Recife, v. 11, n. 1-2, p. 55-90, 1973.

MACÊDO, S. J. **Cultivo da tainha (*Mugil curema Valenciennes, 1836*) em viveiros situados na ilha de Itamaracá – PE, relacionados com as condições hidrológicas do Canal de Santa Cruz**. São Paulo, 1977. Originalmente apresentada como tese de doutorado, na Universidade de São Paulo, 1977.

MACÊDO, S. J.; COSTA, K. M. P. Condições hidrológicas do estuário do rio Igarassu – Itamaracá – PE. **Trabalhos Oceanográficos**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, v. 21. P. 07-32, 1990.

MACHADO, Ingrid C. et al. Estudo da ocorrência dos metais pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na ostra de mangue *Crassostrea brasiliiana* do estuário de Cananéia-SP, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 13-18, 2002.

MACHADO, L. M. et al. Trace metals on the Algarve coast, II: Bioaccumulation in mussels *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). **Boletín do Instituto Español de Oceanografía**, v. 15, n. 1-4, p. 465-471, 1999.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

MAIA, Pompéia Ramona. **Composição e densidade fitoplanctônica na Bacia do Pina, Recife – PE**. Recife: UFPE, 1995. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 1995.

MEIRELES, A.J.A. **Os riscos sócio-ambientais ao longo da zona costeira**. 57<sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC e Sociedades Científicas. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza. 2005.

MELO, Ruthe Helena Marques Correia. **Estudo da concentração de metais pesados em ostra *Crassostrea rhizophorea* no sedimento e água do manguezal do rio Potegi**. Natal: UFRN, 2004. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004.

MITRA, A.; CHOUDHURY, A. **Marine Pollution Bullentin**.v.26, p. 521, 1993.

MOORE, J. W; RAMAMOORTHY, S. **Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment**, Springer Verlag: New York, 1983.

MORAES, Alex Souza. **Geoestatística aplicada a Geoquímica ambiental no estudo da qualidade dos sedimentos do rio Tatuoca, Complexo Industrial Portuário de Suape**. 2009.60f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

MOSTAFA, A. R., AL-ALIMI, A. K. A., BARAKAT, A. O. Metals in surface sediments and marine bivalves of the Hadhramount coastal area, Gulf od Aden, Yemen. **Marine Pollution Bullentin**, v. 58, n. 02, p. 308-311, 2009.

NOAA. Technical Memorandum NOSORCA 71, V. 3. 1993.

NORONHA, Tibério Jorge Melo de. **Avaliação das concentrações de metais traços em sedimentos do estuário do rio Timbó, Pernambuco-Brasil**, 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental), Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2008.

OHLWEILER, Otto Alcides. **Fundamentos de análise instrumental**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981. 486 p.

OLIVEIRA, S. S. de; BRITTO, I. C.; FREITAS, H. M. B. Composição química das folhas da *Rhizophora mangle l.* e do sedimento de manguezais não impactados e impactados por resíduos industriais. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 23, p. 35-44. 2000.

PASCALICCHIO, Áurea Ap. Eleutério. **Contaminação por metais pesados; saúde pública e medicina ortomolecular**. São Paulo: Annablume, 2002. 132 p.

PASSOS, Elisângela de Andrade, et al., Distribuição de metais pesados em sedimentos do estuário do rio Poxim/SE . **29a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. 2006.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

PEREIRA, Orlando M. et al. Determinação dos teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn em moluscos (*Crassostrea brasiliiana*, *Perna perna* e *Mytella falcata*). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 13-18, 2002.

PEVEN, C.; UHLER, A.; WEST, D. Analytical procedures followed by science applications international corporation for trace and major element analyses. In: **NOAA. Sampling and analytical methods of the national status and trends program national benthic surveillance and mussel watch projects 1984-1992.**

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE (PCR). Disponível em : <http://www.recife.pe.gov.br>. Acesso em: 19 out. 2005.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE (PCR). Via Mangue: Uma proposta de intervenção urbana e de preservação ecológica que complementa e soluciona o trânsito da Zona Sul do Recife. **Projeto de implantação.** 2005. 29p.

PRITCHARD, D. W. What is an estuary?. Physical viewpoint, 1967. In: McLUSKY, D. S. **The estuarine ecosystem.** London, Blackie, 1989.

POR, Francis Dov. **Guia ilustrado do manguezal brasileiro.** São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 1994. 82 p.

RAMOS, M. G. M. & GERALDO, L. P. Avaliação das espécies de plantas *Avicennia schauriana*, *Laguncularia racemosa* e *rhizophora mangle* como bioincadoras de poluição por metais em ambientes de mangues. **Engenharia Sanitária Ambiental.** V. 12, n. 4, p. 440-445, 2007.

RILEY, J. P. E CHESTER, R. **Introduction to Marine Chemistry.** London. Academic Press. 465p. 1971.

RIZZO L. V; BARBUTO J.A.M. **Tolerância imunológica.** 2001. In: CALICH V, VAZ C (eds) *Imunologia.* Revinter: Rio de Janeiro, 2001.

ROCHA, Márcia França. **Variação espacial e sazonal dos níveis de metais nos sedimentos superficiais e ostra de mangue (*crassostrea rhizophorae* *Guilding,1828*) do complexo estuarino de Itamaracá (PE).** Recife: UFPE, 2000. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2000.

ROJAS, Mariano, CAVALCANTE, Paulo, SOUZA, Rogério, Dourado, Elaine. Teores de zinco e cobre em ostra (*Crassostrea rhizophorae*) e sururu (*Mytella Falcata*) do estuário do rio Bacanga em São Luís (MA). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia,** Março, 2007.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

RUELAS & OSSUNA, F. Paez. **Biodisponibilidade comparativa de vestígios de metais utilizando três filtro-alimentador organismos em um ambiente costeiro subtropical (extremo sudeste do Golfo da Califórnia)**, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, MEXIQUE, 2000.

RUPPERT, Edward E; BARNERS, Robert D. **Zoologia dos invertebrados**. 6. ed. São Paulo: Ed. Roca, 1996.

SALOMONS,W.; FÖRSTNER, U. **Metals in hydrocycle**. Berlin: Spring Verlag, 1984. 349 p.

SALOMONS, W. Behavior and impact assessment of heavy metals in estuarine and coastal zones. In: SEELIGER, U.; LACERDA, L. D. ; PATCHINEELAN, S. R. **metals in Coastal Environment of Latin America**. Berlin, Sringer-Verlag, 1998.

SANTOS, A. L. F.; QUEIROZ, A. F. S.; MASCARENHAS, L. S. Concentrações de metais pesados em sedimentos de manguezais do estuário do rio Joanes-BA, subsídios para estudos de monitoramento em regiões do litoral norte do estado da Bahia. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 17, p. 197-204, 1997.

SAMADFAM, M.; NIITSU, Y; SATO,S; OHASHI, H. Complexation thermodynamics of Sr (II) and humic acid. **Radiochimica Acta**, v. 73, p. 211-216, 1996.

SARAIVA, Erika Milena de Souza. **Avaliação da contaminação por metais pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Ne, Pb, Zn) nos manguezais dos rios Aribiri, Bubu e Santa Maria da Vitória, Grande Vitória, ES, utilizando *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) e *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) como biomonitores**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Espírito Santo, 2002. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2002.

SASIKUMAR, G.; KRISHNAKUMAR, P. K.; BHAT, G. S. Monitoring trace metal contaminants in green mussel, *Perna viridis* form the coastal waters of Kamataka Índia. **Arch Environm Contam Toxicol**, v. 51, n. 2, p. 206-214, ago. 2006.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. 5. (ed). Porto Alegre: Artmed, 2002. 900 p.

SMAYDA, T.J. The phytoplankton of estuaries. In: KETCHUM, B. H. (ed.) **estuaries and enclosed seas**. Amsterdam, Elsevier, p. 65-102, 1983.

SORENSEN, J. R. J., CAMPBEEL, I. R., TEPPER, L. B. E LINGG, R. D. Aluminum in the environment and human health. **Environ. Health Perspect**. 8:3-95, 1974.

SILVA, J. D. V. **Parâmetros oceanográfica e distribuição das espécies e bosques de mangue do estuário do rio Paripe-PE**. Recife: UFRPE, 1995. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1995.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

SILVA, C. A. R. **Distribuição e ciclagem interna de metais pesados em um ecossistema de manguezal combinado com *Rhizophora mangle*, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro.** Niterói: UFF, 1998. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, 1998.

SILVA, C. A. R.; SOARES, A. M. B. Especiação e concentração de metais pesados nos sedimentos superficiais e nas ostras *Crassostrea rhizophorae* no estuário do rio Açú: Dados preliminares. In: WORKSHOP TÉCNICO-CIENTÍFICO (Projeto PETRORISCO), 3., 2004, Belém. **Anais...** Natal: Departamento de Oceanografia e limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2002.

SILVA, Héliida Karla Philippini da Silva. **Especiação de Metais: Uma ferramenta para educação ambiental.** Recife: UFRPE, 2001. Originalmente apresentada como monografia de graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2001.

SILVA, Héliida Karla Philippini da Silva. **Concentrações dos metais pesados nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe, região metropolitana do Recife (RMR) – Pernambuco, Brasil.** Recife: UFPE, 2004. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

SORENSEN, J. R. J. et al. Aluminum in the environment and human health. **Environment Health Perspective**, v.8, p. 3-95, 1974.

SOUZA, Viviane Lúcia Bormann de. **Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos da Lagoa Olho d'Água: uma ferramenta para avaliação da contaminação ambiental.** 2007.144f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

SWADDLE, T. W. **Inorganic chemistry:** an industrial and environmental perspective. Academic press, 1997. 482 p.

SZEFER, P. et al. Distribution and coassociations of trace elements in soft tissue and byssus of *Mytilus galloprovincialis* relative to the surrounding seawater and suspended matter of the southern part of the Korean Peninsula. **Environmental Pollution**, v. 129, n. 2, p. 209-228, 2004

TÉODULO, Marcos José Ramalho. **Avaliação dos níveis de metais traços em solos do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS) e sedimentos de correntes dos rios Massangana, Tatuoca e Ipojuca – PE.** 2004. Dissertação (mestrado em geologia sedimentar e ambiental), Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

THORNTON, I. **Metals in the global environment.** 1ª ed. Ottawa: Int. Council on Metal and the Environment, 1995.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

TRAVASSOS, Paulo Eurico Pires Ferreira. **Hidrologia e biomassa primária do fitoplâncton no estuário do rio Capibaribe – Recife – Pernambuco**. Recife: UFPE, 1991. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.

TURNER, A. Trace metal contamination in sediments from U. K. estuaries: Na empirical evaluation of the role of hydrous iron and manganese oxides. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 50, n. 3, p. 355-371, 2000.

UNESCO. **International Oceanographic Table**. Opeat Britain Wormly, 1973, v. 2, 141 p.

U. S. EPA. **Methods for collection, storage and manipulation of sediment for chemical and toxicological analyses: technical manual**. EPA 823-B-01-002.v.1. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2001.

VAALGAMAA, S.; CONLEY, D. J. Detecting environmental change in estuaries: nutrient and heavy metal distributions in sediment cores in estuaries from the Gulf of Finland, Baltic Sea. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 76, n. 1, p. 45-56, 2008.

VASCONCELOS, Ronald Fernando Albuquerque; BEZERRA, Onilda Gomes. **Atlas Ambiental do Recife**. Recife: Prefeitura Municipal / Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente, 2000. 151 p.il

VILLE, Claude A. et al. **Zoologia Geral**. Rio de Janeiro: Discos CBS, 1985.

WALNER-KERSANCH, H. et al. Accumulation and elimination of trace metals in a transplanted experiment with *Crassostrea rhizophorae*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 38, n 1, Jan. 2000.

WALLSCHLÄGER, D.; DESAI, M. V. M.; WILKEN, R. D. The role of humic substances in the aqueous mobilization of mercury from contaminated floodplain. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 90, p. 507-520, 1996.

WASSERMAN, J. C. e WASSERMAN, M. A. **Comportamento de Metais em Sedimentos**. In: Poluição Marinha. Organizadores José Antônio Baptista Neto; Mônica Wallner-Kersanach e Soraya Maia Patchineelam. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 440p.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **Manganese**. Geneva, 1981. (Environmental Health Criteria 17).

\_\_\_\_\_. **Chromium**. Geneva, 1988.

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

\_\_\_\_\_. **Guidelins for drinking-water quality recommendations.** 2<sup>nd</sup> ed. Genevre.v.1. 1993.

\_\_\_\_\_. **Copper.** Geneva: Environmental Health Criteria 200. 1998.

\_\_\_\_\_. **Aluminium.** Geneva, 1997. (Environmental Health Criteria 184).

\_\_\_\_\_. **Concise International Chemical Assessment Document nº 12, Manganese and its compounds.** Geneva, 1999.

WOOD, J. M. Biological cycles for toxic elements in the environment. **Science**, v. 183, p. 1049-1052, 1974.

# APÊNDICES

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## Apêndice A – Resultados da Transparência da Água

TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA (cm)						
MESES/ESTAÇÕES	E1-E2	E3-E4	E5-E6	E7-E8	E9-E10	E11-12
Agosto/2006	30	40	45	50	20	20
Janeiro/2007	50	50	45	40	40	30
Fevereiro/2007	40	40	30	20	35	20
Julho/2007	50	80	80	65	50	40
Agosto/2007	30	40	40	30	20	20
Janeiro/2008	25	35	35	35	35	30
Fevereiro/2008	30	20	30	20	30	30
<b>MÉDIA</b>	<b>36</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>37</b>	<b>33</b>	<b>27</b>

## Apêndice B – Resultados da Temperatura

TEMPERATURA (°C)						
MESES/ESTAÇÕES	E1-E2	E3-E4	E5-E6	E7-E8	E9-E10	E11-12
Agosto/2006	27,7	30,0	31,0	30,0	29,4	28,9
Janeiro/2007	30,6	32,0	32,0	33,0	32,1	32,4
Fevereiro/2007	28,0	31,0	29,8	32,0	29,0	30,0
Julho/2007	27,5	28,5	29,0	29,0	29,8	31,0
Agosto/2007	25,0	27,0	27,5	27,6	26,0	28,0
Janeiro/2008	30,0	32,0	32,0	35,0	31,0	31,0
Fevereiro/2008	29,5	32,0	31,0	33,0	30,0	31,0
<b>MÉDIA</b>	<b>28,3</b>	<b>30,4</b>	<b>30,3</b>	<b>31,4</b>	<b>29,6</b>	<b>30,3</b>

## Apêndice C – Resultados da Salinidade

SALINIDADE						
MESES/ESTAÇÕES	E1-E2	E3-E4	E5-E6	E7-E8	E9-E10	E11-12
Agosto/2006	9,5	19,1	9,2	13,1	5,1	4,1
Janeiro/2007	17,5	15,8	20,0	20,4	11,0	11,4
Fevereiro/2007	3,2	13,8	11,1	12,3	2,5	1,9
Julho/2007	5,7	9,7	7,1	9,7	2,8	1,6
Agosto/2007	4,5	1,2	6,8	12,8	3,1	1,3
Janeiro/2008	17,9	15,4	18,4	19,3	9,1	4,0
Fevereiro/2008	23,9	26,5	22,4	22,9	11,4	4,0
<b>MÉDIA</b>	<b>11,7</b>	<b>14,5</b>	<b>13,6</b>	<b>15,8</b>	<b>6,4</b>	<b>4,0</b>

## Apêndice D – Resultados de Oxigênio Dissolvido

OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mL.L <sup>-1</sup> )						
MESES/ESTAÇÕES	E1-E2	E3-E4	E5-E6	E7-E8	E9-E10	E11-12
Agosto/2006	0,34	3,22	5,81	8,61	0,06	0,10
Janeiro/2007	1,26	9,10	7,84	5,60	0,07	0,07
Fevereiro/2007	0,07	3,50	1,82	0,07	ND*	ND*
Julho/2007	1,12	2,38	3,08	3,92	ND*	ND*
Agosto/2007	0,24	1,56	5,60	13,83	0,16	0,13
Janeiro/2008	0,50	7,28	6,72	6,79	0,07	0,07
Fevereiro/2008	0,35	6,65	6,79	6,72	ND*	ND*
<b>MÉDIA</b>	<b>0,55</b>	<b>4,81</b>	<b>5,38</b>	<b>6,51</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>

\* ND – Não detectado

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## Apêndice E – Resultados da Taxa de Saturação de Oxigênio Dissolvido

<b>TAXA DE SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (%)</b>						
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1-E2</b>	<b>E3-E4</b>	<b>E5-E6</b>	<b>E7-E8</b>	<b>E9-E10</b>	<b>E11-12</b>
Agosto/2006	6,5	67,8	117,6	175,4	1,2	1,9
Janeiro/2007	26,5	194,4	171,2	124,7	1,5	1,4
Fevereiro/2007	1,3	72,9	36,6	1,5	ND*	ND*
Julho/2007	21,0	46,4	59,7	77,6	ND*	ND*
Agosto/2007	4,3	28,2	105,7	270,1	2,9	2,4
Janeiro/2008	7,3	155,2	145,8	154,7	1,4	1,4
Fevereiro/2008	7,5	150,5	147,9	151,7	ND*	ND*
<b>MÉDIA</b>	<b>10,6</b>	<b>102,2</b>	<b>112,1</b>	<b>136,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>

\* ND – Não detectado

## Apêndice F – Resultados do Potencial Hidrogeniônico (pH)

<b>Potencial Hidrogeniônico (pH)</b>						
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1-E2</b>	<b>E3-E4</b>	<b>E5-E6</b>	<b>E7-E8</b>	<b>E9-E10</b>	<b>E11-12</b>
Agosto/2006	7,5	7,5	7,7	8,1	6,9	6,9
Janeiro/2007	7,2	8,2	8,0	7,3	7,0	7,0
Fevereiro/2007	7,0	7,4	6,9	6,8	7,2	7,0
Julho/2007	7,0	7,2	7,2	7,3	7,0	7,0
Agosto/2007	7,1	7,2	7,8	8,3	7,1	7,2
Janeiro/2008	7,3	8,0	7,9	7,5	7,1	7,1
Fevereiro/2008	7,3	7,6	7,4	7,1	7,4	7,0
<b>MÉDIA</b>	<b>7,2</b>	<b>7,6</b>	<b>7,6</b>	<b>7,5</b>	<b>7,1</b>	<b>7,0</b>

## Apêndice G – Resultados do Teor de Matéria Orgânica nos Sedimentos Superficiais

<b>RESULTADOS DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (%)</b>												
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>	<b>E8</b>	<b>E9</b>	<b>E10</b>	<b>E11</b>	<b>E12</b>
Agosto/2006	14	17	16	7	16	16	15	16	15	17	14	15
Janeiro/2007	9	17	15	4	11	19	11	13	14	14	19	19
Fevereiro/2007	15	19	16	5	20	12	6	5	17	18	12	23
Julho/2007	17	13	20	12	12	19	16	20	15	19	13	20
Agosto/2007	11	9	19	12	15	24	18	19	15	7	11	16
Janeiro/2008	19	18	19	6	12	15	10	10	11	10	12	13
Fevereiro/2008	18	17	20	10	13	20	12	15	17	16	18	19
<b>MÉDIA</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>18</b>

## Apêndice H – Resultados da concentração de cromo no sedimento superficial

CONCENTRAÇÃO DE CROMO NO SEDIMENTO SUPERFICIAL (mg.kg <sup>-1</sup> )												
Meses/Estações	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
Agosto/2006	79	93	91	30	69	50	74	82	102	88	83	87
Agosto/2006	76	94	93	32	70	53	74	82	101	88	84	87
<b>MEDIA</b>	78	93,5	92	31	70	52	74	82	102	88	84	87
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,12	0,71	1,77	1,13	0,71	1,91	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00
Janeiro/2007	50	81	80	29	51	75	65	25	73	77	66	72
Janeiro/2007	47	79	74	27	52	71	66	25	72	79	71	73
<b>MEDIA</b>	49	80	77	28	52	73	65	25	73	78	68	73
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,12	0,99	4,24	1,56	0,42	3,04	0,64	0,15	0,55	0,65	2,55	0,15
Fevereiro/2007	60	73	73	26	72	54	24	25	67	71	50	73
Fevereiro/2007	60	72	68	22	75	55	24	24	68	80	51	72
<b>MEDIA</b>	60	73	71	24	74	55	24	25	68	76	51	73
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,00	0,71	3,54	2,83	2,12	0,71	0,00	0,50	0,50	4,50	0,50	0,50
Julho/2007	81	85	91	45	68	73	74	81	100	93	59	66
Julho/2007	83	81	81	53	55	82	74	74	83	80	55	57
<b>MEDIA</b>	82	83	86	49	62	78	74	78	92	87	57	62
<b>DESVIO PADRÃO</b>	1,41	2,83	7,07	5,66	9,19	6,36	0,00	3,50	8,50	6,50	2,00	4,50
Agosto/2007	44	41	96	49	90	93	69	129	98	64	61	230
Agosto/2007	40	40	80	48	86	91	70	133	87	63	64	231
<b>MEDIA</b>	42	41	88	49	88	92	70	131	93	64	63	231
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,83	0,71	11,31	0,71	2,83	1,41	0,71	2,00	5,50	0,50	1,50	0,50
Janeiro/2008	79	89	117	81	54	96	188	116	119	65	44	73
Janeiro/2008	78	95	115	71	40	98	190	108	136	72	41	68
<b>MEDIA</b>	79	92	116	76	47	97	189	112	128	69	43	71
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,71	4,24	1,41	7,07	9,90	1,41	1,41	4,00	8,50	3,50	1,50	2,50
Fevereiro/2008	250	109	102	133	86	137	72	146	83	54	55	72
Fevereiro/2008	263	120	102	139	78	134	74	129	94	60	60	73
<b>MEDIA</b>	257	115	102	136	82	136	73	138	89	57	58	73
<b>DESVIO PADRÃO</b>	9,19	7,78	0,00	4,24	5,66	2,12	1,41	8,50	5,50	3,00	2,50	0,50

## Apêndice I – Resultados da concentração de manganês no sedimento superficial

<b>CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NO SEDIMENTO SUPERFICIAL (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>												
<b>Meses/Estações</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>	<b>E8</b>	<b>E9</b>	<b>E10</b>	<b>E11</b>	<b>E12</b>
Agosto/2006	199	200	196	337	198	158	179	191	217	185	184	219
Agosto/2006	218	204	198	341	187	167	168	194	216	185	187	221
<b>MEDIA</b>	209	202	197	339	193	163	174	193	217	185	186	220
<b>DESVIO PADRÃO</b>	13,44	2,83	1,41	2,83	7,78	6,36	7,78	1,50	0,50	0,00	1,50	1,00
Janeiro/2007	226	195	198	311	132	185	231	198	85	211	169	194
Janeiro/2007	242	193	196	315	133	188	220	182	75	198	170	195
<b>MEDIA</b>	234	194	197	313	133	187	226	190	80	204	169	194
<b>DESVIO PADRÃO</b>	11,31	1,41	1,41	2,83	0,49	2,12	7,92	7,85	5,35	6,45	0,60	0,40
Fevereiro/2007	184	195	199	307	173	199	269	338	180	161	118	165
Fevereiro/2007	184	189	202	309	171	197	259	338	178	162	117	153
<b>MEDIA</b>	184	192	201	308	172	198	264	338	179	162	118	159
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,00	4,24	2,12	1,41	1,41	1,41	7,07	0,00	1,00	0,50	0,50	6,00
Julho/2007	192	209	158	205	162	165	171	160	163	183	148	154
Julho/2007	196	191	154	201	158	161	171	162	160	181	148	151
<b>MEDIA</b>	194	200	156	203	160	163	171	161	162	182	148	153
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,83	12,73	2,83	2,83	2,83	2,83	0,00	1,00	1,50	1,00	0,00	1,50
Agosto/2007	106	107	151	92	147	88	93	158	191	180	128	180
Agosto/2007	104	108	155	91	155	93	98	166	177	173	132	185
<b>MEDIA</b>	105	108	153	92	151	91	96	162	184	177	130	183
<b>DESVIO PADRÃO</b>	1,41	0,71	2,83	0,71	5,66	3,54	3,54	4,00	7,00	3,50	2,00	2,50
Janeiro/2008	156	165	157	148	181	190	244	184	150	224	282	165
Janeiro/2008	156	167	169	140	186	211	243	191	183	224	300	165
<b>MEDIA</b>	156	166	163	144	184	201	244	188	167	224	291	165
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,00	1,41	8,49	5,66	3,54	14,85	0,71	3,50	16,50	0,00	9,00	0,00
Fevereiro/2008	180	169	156	218	153	143	298	143	241	178	160	167
Fevereiro/2008	161	175	159	224	139	156	299	130	248	170	170	168
<b>MEDIA</b>	171	172	158	221	146	150	299	137	245	174	165	168
<b>DESVIO PADRÃO</b>	13,44	4,24	2,12	4,24	9,90	9,19	0,71	6,50	3,50	4,00	5,00	0,50

## Apêndice J – Resultados da concentração de zinco no sedimento superficial

CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NO SEDIMENTO SUPERFICIAL (mg.kg <sup>-1</sup> )												
Meses/Estações	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
Agosto/2006	275	330	363	77	159	106	254	284	674	526	472	575
Agosto/2006	272	348	366	63	155	140	265	304	701	535	476	564
<b>MEDIA</b>	274	339	365	70	157	123	260	294	688	531	474	570
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2	13	2	10	3	24	8	10	14	5	2	6
Janeiro/2007	184	200	208	84	132	198	175	202	358	306	278	389
Janeiro/2007	178	210	192	75	133	190	180	202	359	338	284	343
<b>MEDIA</b>	181	205	200	79	133	194	177	202	359	322	281	366
<b>DESVIO PADRÃO</b>	4,38	6,79	10,89	6,65	0,49	5,66	3,96	0,20	0,50	15,65	3,00	23,00
Fevereiro/2007	205	215	224	79	288	229	72	83	295	356	244	393
Fevereiro/2007	205	226	214	80	252	213	77	85	293	339	262	425
<b>MEDIA</b>	205	221	219	80	270	221	75	84	294	348	253	409
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,00	7,78	7,07	0,71	25,46	11,31	3,54	1,00	1,00	8,50	9,00	16,00
Julho/2007	287	194	253	132	152	242	200	228	394	384	290	288
Julho/2007	279	206	256	144	156	225	202	232	365	381	292	315
<b>MEDIA</b>	283	200	255	138	154	234	201	230	380	383	291	302
<b>DESVIO PADRÃO</b>	5,66	8,49	2,12	8,49	2,83	12,02	1,41	2,00	14,50	1,50	1,00	13,50
Agosto/2007	144	145	151	136	613	196	131	305	401	192	318	449
Agosto/2007	146	142	171	163	613	200	145	313	427	174	336	410
<b>MEDIA</b>	145	144	161	150	613	198	138	309	414	183	327	430
<b>DESVIO PADRÃO</b>	1,41	2,12	14,14	19,09	0,00	2,83	9,90	4,00	13,00	9,00	9,00	19,50
Janeiro/2008	293	290	278	596	100	208	176	154	310	295	141	295
Janeiro/2008	299	306	295	555	83	209	144	185	344	312	130	287
<b>MEDIA</b>	296	298	287	576	92	209	160	170	327	304	136	291
<b>DESVIO PADRÃO</b>	4,24	11,31	12,02	28,99	12,02	0,71	22,63	15,50	17,00	8,50	5,50	4,00
Fevereiro/2008	210	218	242	121	87	174	128	81	319	197	170	290
Fevereiro/2008	231	234	240	142	95	170	114	88	299	200	180	300
<b>MEDIA</b>	221	226	241	132	91	172	121	85	309	199	175	295
<b>DESVIO PADRÃO</b>	14,85	11,31	1,41	14,85	5,66	2,83	9,90	3,50	10,00	1,50	5,00	5,00

## Apêndice K – Resultados da concentração de ferro no sedimento superficial

CONCENTRAÇÃO DE FERRO NO SEDIMENTO SUPERFICIAL (mg.kg <sup>-1</sup> )												
Meses/Estações	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
Agosto/2006	37000	48120	48400	19660	31720	22440	25200	28880	34840	33400	31040	35080
Agosto/2006	38280	46760	47880	19512	29800	23320	25760	30760	35400	33960	31360	35440
<b>MEDIA</b>	37640	47440	48140	19586	30760	22880	25480	29820	35120	33680	31200	35260
<b>DESVIO PADRÃO</b>	905,10	961,67	367,70	104,65	1357,65	622,25	395,98	940,00	280,00	280,00	160,00	180,00
Janeiro/2007	18440	29060	31540	11504	22220	29000	28380	24180	28880	30100	27860	28920
Janeiro/2007	17620	29180	29340	11496	22240	29520	33560	25340	30900	29920	26840	28160
<b>MEDIA</b>	18030	29120	30440	11500	22230	29260	30970	24760	29890	30010	27350	28540
<b>DESVIO PADRÃO</b>	579,83	84,85	1555,63	5,66	14,14	367,70	3662,81	580,00	1010,00	90,00	510,00	380,00
Fevereiro/2007	35480	31310	33380	14240	33840	28040	14176	13560	33000	30848	23000	34480
Fevereiro/2007	31490	32920	35300	13080	32880	27630	13184	12280	31490	31776	25440	30570
<b>MEDIA</b>	33485	32115	34340	13660	33360	27835	13680	12920	32245	31312	24220	32525
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2821,36	1138,44	1357,65	820,24	678,82	289,91	701,45	640,00	755,00	464,00	1220,00	1955,00
Julho/2007	39040	26500	42640	24960	30680	39840	38560	44520	40880	38000	28280	35680
Julho/2007	39160	25280	43600	26000	30240	38920	37760	41680	38960	37840	29960	33760
<b>MEDIA</b>	39100	25890	43120	25480	30460	39380	38160	43100	39920	37920	29120	34720
<b>DESVIO PADRÃO</b>	84,85	862,67	678,82	735,39	311,13	650,54	565,69	1420,00	960,00	80,00	840,00	960,00
Agosto/2007	19290	26570	37870	24270	21640	35440	26580	37440	39040	24020	20710	34840
Agosto/2007	25000	34580	41160	28420	22940	32670	27680	38980	38360	26120	26560	33310
<b>MEDIA</b>	22145	30575	39515	26345	22290	34055	27130	38210	38700	25070	23635	34075
<b>DESVIO PADRÃO</b>	4037,58	5663,93	2326,38	2934,49	919,24	1958,69	777,82	770,00	340,00	1050,00	2925,00	765,00
Janeiro/2008	35300	39260	38800	35760	19140	21220	42200	33000	38620	34900	23840	34200
Janeiro/2008	35330	32410	34500	34640	17880	23200	39080	30650	39680	33580	22960	32960
<b>MEDIA</b>	35315	35835	36650	35200	18510	22210	40640	31825	39150	34240	23400	33580
<b>DESVIO PADRÃO</b>	21,21	4843,68	3040,56	791,96	890,95	1400,07	2206,17	1175,00	530,00	660,00	440,00	620,00
Fevereiro/2008	39600	35220	41940	45280	28760	39700	22780	38480	20620	33660	23400	33580
Fevereiro/2008	38480	35940	43560	46080	27020	37650	23300	34880	20660	34240	24220	32076
<b>MEDIA</b>	39040	35580	42750	45680	27890	38675	23040	36680	20640	33950	23810	32828
<b>DESVIO PADRÃO</b>	791,96	509,12	1145,51	565,69	1230,37	1449,57	367,70	1800,00	20,00	290,00	410,00	752,00

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## Apêndice L – Resultados da concentração de cromo no material sedimentado nas 24h

<b>CONCENTRAÇÃO DE CROMO NO MATERIAL SEDIMENTADO NAS 24h (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	88	51	61	58
Julho/2007	89	40	62	84
<b>MÉDIA</b>	89	45,5	62	71
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,71	7,78	0,71	18,38
Agosto/2007	86	82	110	93
Agosto/2007	95	82	75	110
<b>MÉDIA</b>	91	82	93	102
<b>DESVIO PADRÃO</b>	6,36	0,00	24,75	12,02
Janeiro/2008	77	75	57	110
Janeiro/2008	84	56	64	84
<b>MÉDIA</b>	81	66	61	97
<b>DESVIO PADRÃO</b>	4,95	13,44	4,95	18,38
Fevereiro/2008	81	75	64	84
Fevereiro/2008	89	82	75	93
<b>MÉDIA</b>	85	79	70	89
<b>DESVIO PADRÃO</b>	5,66	4,95	7,78	6,36

## Apêndice M – Resultados da concentração de manganês no material sedimentado nas 24h

<b>CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NO MATERIAL SEDIMENTADO NAS 24h (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	192	165	214	123
Julho/2007	195	110	236	166
<b>MÉDIA</b>	194	138	225	145
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,12	38,89	15,56	30,41
Agosto/2007	163	207	135	150
Agosto/2007	160	194	131	152
<b>MÉDIA</b>	162	201	133	151
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,12	9,19	2,83	1,41
Janeiro/2008	183	215	228	166
Janeiro/2008	207	188	197	152
<b>MÉDIA</b>	195	202	213	159
<b>DESVIO PADRÃO</b>	16,97	19,09	21,92	9,90
Fevereiro/2008	200	210	225	151
Fevereiro/2008	197	204	213	145
<b>MÉDIA</b>	199	207	219	148
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,12	4,24	8,49	4,24

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## Apêndice N – Resultados da concentração de zinco no material sedimentado nas 24h

<b>CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NO MATERIAL SEDIMENTADO NAS 24h (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	300	117	148	211
Julho/2007	310	79	183	300
<b>MÉDIA</b>	305	98	166	256
<b>DESVIO PADRÃO</b>	7,07	26,87	24,75	62,93
Agosto/2007	282	235	74	390
Agosto/2007	272	168	64	378
<b>MÉDIA</b>	277	202	69	384
<b>DESVIO PADRÃO</b>	7,07	47,38	7,07	8,49
Janeiro/2008	273	210	168	320
Janeiro/2008	264	179	144	384
<b>MÉDIA</b>	269	195	156	352
<b>DESVIO PADRÃO</b>	6,36	21,92	16,97	45,25
Fevereiro/2008	277	202	166	256
Fevereiro/2008	264	195	156	384
<b>MÉDIA</b>	271	199	161	320
<b>DESVIO PADRÃO</b>	9,19	4,95	7,07	90,51

## Apêndice O – Resultados da concentração de ferro no material sedimentado nas 24h

<b>CONCENTRAÇÃO DE FERRO NO MATERIAL SEDIMENTADO NAS 24h (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	49520	21920	29320	24200
Julho/2007	50200	13708	32960	30640
<b>MÉDIA</b>	49860	17814	31140	27420
<b>DESVIO PADRÃO</b>	480,83	5806,76	2573,87	4553,77
Agosto/2007	42160	46680	11816	42240
Agosto/2007	45720	24640	11644	108240
<b>MÉDIA</b>	43940	35660	11730	75240
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2517,30	15584,63	121,62	46669,05
Janeiro/2008	41260	33780	30200	42240
Janeiro/2008	40340	29020	26580	49360
<b>MÉDIA</b>	40800	31400	28390	45800
<b>DESVIO PADRÃO</b>	650,54	3365,83	2559,73	5034,60
Fevereiro/2008	43440	33480	43000	49360
Fevereiro/2008	44040	34480	43480	49360
<b>MÉDIA</b>	43740	33980	43240	49360
<b>DESVIO PADRÃO</b>	424,26	707,11	339,41	0,00

## Apêndice P – Resultados da concentração de cromo no perfil do sedimento

<b>CONCENTRAÇÃO DE CROMO NO PERFIL DO SEDIMENTO (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>						
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	E5 (20cm)	E5 (30cm)	E5 (40cm)	E9 (20cm)	E9 (30cm)	E9 (40cm)
Julho/2007	64	72	131	134	97	87
Julho/2007	68	69	131	134	97	87
<b>MÉDIA</b>	66	71	131	134	97	87
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,83	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto/2007	92	52	40	43	94	67
Agosto/2007	97	50	40	53	94	67
<b>MÉDIA</b>	95	51	40	48	94	67
<b>DESVIO PADRÃO</b>	3,54	1,41	0,00	7,07	0,00	0,00

## Apêndice Q – Resultados da concentração de manganês no perfil do sedimento

<b>CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NO PERFIL DO SEDIMENTO (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>						
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	E5 (20cm)	E5 (30cm)	E5 (40cm)	E9 (20cm)	E9 (30cm)	E9 (40cm)
Julho/2007	182	179	177	187	162	164
Julho/2007	169	169	173	191	164	176
<b>MÉDIA</b>	176	174	175	168	164	170
<b>DESVIO PADRÃO</b>	9,19	7,07	2,83	2,83	0,00	8,49
Agosto/2007	168	179	214	162	201	135
Agosto/2007	168	181	218	162	193	135
<b>MÉDIA</b>	168	180	216	162	197	135
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,00	1,41	2,83	0,00	5,66	0,00

## Apêndice R – Resultados da concentração de zinco no perfil do sedimento

<b>CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NO PERFIL DO SEDIMENTO (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>						
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	E5 (20cm)	E5 (30cm)	E5 (40cm)	E9 (20cm)	E9 (30cm)	E9 (40cm)
Julho/2007	243	249	242	1210	675	237
Julho/2007	238	224	264	1072	879	253
<b>MÉDIA</b>	241	237	253	1141	777	245
<b>DESVIO PADRÃO</b>	3,54	17,68	15,56	97,58	144,25	11,31
Agosto/2007	95	51	40	48	94	67
Agosto/2007	95	51	40	48	94	67
<b>MÉDIA</b>	80,5	61	85,5	91	95,5	77
<b>DESVIO PADRÃO</b>	20,51	14,14	64,35	60,81	2,12	14,14

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

Apêndice S – Resultados da concentração de ferro no perfil do sedimento

<b>CONCENTRAÇÃO DE FERRO NO PERFIL DO SEDIMENTO (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>						
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E5 (20cm)</b>	<b>E5 (30cm)</b>	<b>E5 (40cm)</b>	<b>E9 (20cm)</b>	<b>E9 (30cm)</b>	<b>E9 (40cm)</b>
Julho/2007	35080	34020	31160	38380	36400	21980
Julho/2007	34020	37440	27700	37640	34900	23300
<b>MÉDIA</b>	34550	35730	29430	38010	35650	22640
<b>DESVIO PADRÃO</b>	749,53	2418,31	2446,59	523,26	1060,66	933,38
Agosto/2007	34900	26520	17880	27040	28620	41140
Agosto/2007	41100	24300	19220	23240	25180	37060
<b>MÉDIA</b>	38000	25410	18550	25140	26900	39100
<b>DESVIO PADRÃO</b>	4384,06	1569,78	947,52	2687,01	2432,45	2885,00

Apêndice T – Resultados da concentração de metais na *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791)

<b>CONCENTRAÇÃO DOS METAIS NA <i>Anomalocardia brasiliana</i> (Gmelin, 1791) EM (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>					
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>
Janeiro/2007	10,0	15,57	<0,3	28,5	17,7
Janeiro/2007	11,4	16,56	<0,3	29,19	11,04
Janeiro/2007	9,0	14,74	<0,3	27,8	13,8
<b>MÉDIA</b>	10,1	15,6	-	28,5	14,2
<b>DESVIO PADRÃO</b>	1,21	0,91	-	0,70	3,35
Julho/2007	5,9	2,54	2,5	19	33
Julho/2007	6,8	3,5	2,6	25	35
Julho/2007	7,7	3,2	2,7	24	36
<b>MÉDIA</b>	6,8	3,1	2,6	23	35
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,90	0,49	0,10	3,21	1,53

Apêndice U – Resultados da concentração de metais na *Mytella charruana* (Orbigny, 1842)

<b>CONCENTRAÇÃO DOS METAIS NA <i>Mytella charruana</i> (Orbigny, 1842) EM (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>					
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>
Janeiro/2007	10,4	5,2	4,0	53,6	56,8
Janeiro/2007	11,1	5,2	4,3	54	57,9
Janeiro/2007	9,8	5,3	4,6	54,7	55,6
<b>MÉDIA</b>	10,4	5,2	4,3	54,1	56,8
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,65	0,06	0,30	0,56	1,15
Julho/2007	7,8	3,3	2,2	78	200
Julho/2007	8,5	3,4	2,1	82	216
Julho/2007	6,7	3,1	1,9	82	206
<b>MÉDIA</b>	7,7	3,3	2,1	81	207
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,91	0,15	0,15	2,31	8,08

## Apêndice V – Resultados da concentração de cobre na raiz de mangue

<b>CONCENTRAÇÃO DE COBRE NA RAIZ DE MANGUE (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	3,0	2,02	1,96	5,22
Julho/2007	3,22	2,34	1,92	5,24
Julho/2007	3,56	2,3	2,15	6,77
<b>MÉDIA</b>	3,26	2,22	2,0	5,74
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,28	0,17	0,12	0,89
Agosto/2007	4,81	2,0	1,89	5,36
Agosto/2007	4,42	2,5	2,0	5,54
Agosto/2007	4,59	2,2	2,65	5,7
<b>MÉDIA</b>	4,61	2,23	2,18	5,53
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,20	0,25	0,41	0,17
Janeiro/2008	2,64	3,37	3,37	2,39
Janeiro/2008	2,76	3,2	3,77	5,48
Janeiro/2008	2,69	3,67	3,87	7,53
<b>MÉDIA</b>	2,70	3,41	3,67	5,13
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,06	0,24	0,26	2,59
Fevereiro/2008	2,07	3,34	2,33	11,36
Fevereiro/2008	2,11	3,36	2,71	11,67
Fevereiro/2008	1,73	3,56	2,58	11,24
<b>MÉDIA</b>	1,97	3,42	2,54	11,42
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,21	0,12	0,19	0,22

## Apêndice W – Resultados da concentração de cromo na raiz de mangue

<b>CONCENTRAÇÃO DE CROMO NA RAIZ DE MANGUE (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	<0,3	1,07	<0,3	0,66
Julho/2007	<0,3	1,01	<0,3	0,65
Julho/2007	<0,3	1,07	<0,3	1,35
<b>MÉDIA</b>	-	1,05	-	0,89
<b>DESVIO PADRÃO</b>	-	0,03	-	0,40
Agosto/2007	0,34	0,99	<0,3	0,89
Agosto/2007	0,30	1,03	<0,3	0,69
Agosto/2007	0,37	1,1	<0,3	0,78
<b>MÉDIA</b>	0,34	1,04	-	0,79
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,04	0,06	-	0,10
Janeiro/2008	0,6	0,5	0,93	0,58
Janeiro/2008	0,69	0,3	0,6	0,72
Janeiro/2008	0,72	0,67	0,75	0,76
<b>MÉDIA</b>	0,67	0,49	0,76	0,69
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,06	0,19	0,17	0,09
Fevereiro/2008	1,55	1,22	0,58	0,96
Fevereiro/2008	1,53	1,55	0,69	1,07
Fevereiro/2008	1,45	1,45	0,5	1,03
<b>MÉDIA</b>	1,51	1,41	0,59	1,02
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,05	0,17	0,10	0,06

## Apêndice X – Resultados da concentração de ferro na raiz de mangue

<b>CONCENTRAÇÃO DE FERRO NA RAIZ DE MANGUE (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	41	80	57	60,4
Julho/2007	42	83	52	121
Julho/2007	40	67	47,8	121
<b>MÉDIA</b>	41	77	52	121
<b>DESVIO PADRÃO</b>	1,00	8,50	4,61	0,00
Agosto/2007	58	77	58	118
Agosto/2007	53	82	52	115
Agosto/2007	57	79	48	117
<b>MÉDIA</b>	56	79	53	117
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2,65	2,52	5,03	1,53
Janeiro/2008	258	189,66	195	179
Janeiro/2008	242	210,3	215	206
Janeiro/2008	245	213,3	258	302
<b>MÉDIA</b>	248	204	223	229
<b>DESVIO PADRÃO</b>	8,50	12,87	32,19	64,65
Fevereiro/2008	524	340	179	317
Fevereiro/2008	547	355	208	316
Fevereiro/2008	551	325	199	324
<b>MÉDIA</b>	541	340	195	319
<b>DESVIO PADRÃO</b>	14,57	15,00	14,84	4,36

## Apêndice Y – Resultados da concentração de manganês na raiz de mangue

<b>CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NA RAIZ DE MANGUE (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	5,41	3,14	2,99	5,42
Julho/2007	5,61	3,44	3,09	6,15
Julho/2007	5,12	2,89	2,73	7,02
<b>MÉDIA</b>	5,38	3,16	2,94	6,20
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,25	0,28	0,19	0,65
Agosto/2007	2,33	3,1	2,65	5,65
Agosto/2007	2,29	2,68	2,89	6,65
Agosto/2007	2,28	3,16	2,94	7,32
<b>MÉDIA</b>	2,30	2,98	2,83	6,54
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,03	0,26	0,16	0,69
Janeiro/2008	2,75	2,47	3,37	2,82
Janeiro/2008	2,82	2,9	3,4	1,33
Janeiro/2008	2,98	2,93	3	1,66
<b>MÉDIA</b>	2,85	2,77	3,26	1,94
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,12	0,26	0,22	0,64
Fevereiro/2008	7,51	3,26	3,54	5,85
Fevereiro/2008	7,19	3,35	3,58	5,98
Fevereiro/2008	6,62	3,26	3,45	5,73
<b>MÉDIA</b>	7,11	3,29	3,52	5,85
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,45	0,05	0,07	0,13

SILVA, H.K.P. Concentrações de metais-traço e suas interações...

## Apêndice Z – Resultados da concentração de zinco na raiz de mangue

<b>CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NA RAIZ DE MANGUE (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
<b>MESES/ESTAÇÕES</b>	<b>E1</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E9</b>
Julho/2007	6,37	22,5	6,76	7,55
Julho/2007	6,77	23,9	9,47	8,15
Julho/2007	7,1	24	4,73	9,13
<b>MÉDIA</b>	6,7	23	7,0	8,28
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,37	0,84	2,38	0,65
Agosto/2007	6,73	21,8	8,65	8,36
Agosto/2007	6,78	22,6	9,23	7,36
Agosto/2007	6,58	25	6,75	9,3
<b>MÉDIA</b>	6,70	23,13	8,21	8,34
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,10	1,67	1,30	0,79
Janeiro/2008	3,67	5,87	2,27	2,68
Janeiro/2008	2,86	4,67	3,7	5,06
Janeiro/2008	4,43	7,43	4,9	3,63
<b>MÉDIA</b>	3,65	5,99	3,6	3,79
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,79	1,38	1,32	0,98
Fevereiro/2008	6,68	4,49	2,64	5,53
Fevereiro/2008	6,72	4,21	2,95	5,3
Fevereiro/2008	4,81	4,56	2,75	4,73
<b>MÉDIA</b>	6,07	4,42	2,78	5,19
<b>DESVIO PADRÃO</b>	1,09	0,19	0,16	0,34

## Apêndice AA – Resultados dos loadings para análise de Componentes Principais.

<b>LOADINGS</b>			
<b>DADOS</b>	<b>PC 01</b>	<b>PC 02</b>	<b>PC 03</b>
SedZinco	-0,224	0,415	-3,93E-03
SedManganês	-0,159	-0,108	-0,419
SedCromo	5,87E-02	0,636	-0,103
SedFerro	-3,88E-02	0,615	7,10E-02
pH	0,449	5,70E-02	0,242
OD	0,496	4,35E-02	0,127
TSO	0,502	4,27E-02	8,35E-02
Sal	0,391	5,56E-02	-0,412
Trans	8,79E-02	-0,139	0,436
Tem	0,246	-6,46E-02	-0,607

Sed = Sedimento Superficial; pH = Potencial Hidrogeniônico; OD = Oxigênio Dissolvido; TSO = Taxa de Saturação do Oxigênio; Sal = Salinidade; Trans = Transparência da água; Tem = Temperatura.