



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS - PPGCN
MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS - MCN



MARDJA LUMA DA SILVA SALES

**ELEMENTOS-TRAÇO NOS SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA APODI-
MOSSORÓ: VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL**

MOSSORÓ/RN

2016

MARDJA LUMA DA SILVA SALES

**ELEMENTOS-TRAÇO NOS SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA APODI-
MOSSORÓ: VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Nível Mestrado Acadêmico, da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Orientadora: Prof.^a Dra. Janete Jane Fernandes Alves.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Suely Souza Leal de Castro

MOSSORÓ/RN

2016

Ficha catalográfica gerada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas
e Diretoria de Informatização (DINF) - UERN,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

163e Sales, Mardja Luma da Silva.
ELEMENTOS-TRAÇO NOS SEDIMENTOS DA BACIA
HIDROGRÁFICA APÓDI-MOSSORÓ: VARIABILIDADE ESPACIAL E
TEMPORAL / Mardja Luma da Silva Sales - 2016.
67 p.

Orientadora: Janete Jane Fernandes Alves.
Coorientadora: Suely Souza Leal de Castro .
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio Grande do
Norte, Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais, 2016.

4. Corpo hídrico. Metais pesados. Qualidade da água. Degradação
ambiental.. I. Alves, Janete Jane Fernandes, orient. II. Castro , Suely
Souza Leal de, co-orient. III. Título.

MARDJA LUMA DA SILVA SALES

**ELEMENTOS-TRAÇO NOS SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA
APODI-MOSSORÓ: VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL**

Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Ciências Naturais, Nível Mestrado Acadêmico, da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Aprovado em: 02/09/2016

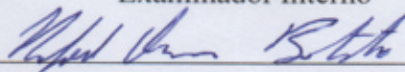
BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Janete Jane Fernandes Alves (UERN)

Orientador

Profa. Dra. Danielle Peretti (UERN)

Examinador Interno



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista (UFERSA)

Examinador Externo

MOSSORÓ/RN

2016

“A Terra provê o suficiente para as necessidades de todos os homens, mas não para a voracidade de todos”.

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que nos deu a vida e a sabedoria para seguirmos adiante - sem Ele nada seria possível - por ser tão presente em minha vida, me ensinado o caminho correto e me concedendo benção mesmo sem eu merecer. Agradeço por ter me feito chegar até aqui, concluir mais essa conquista e me guiar nas próximas;

Aos meu pais, Geruza Oliveira e Francisco Cirilo pelo grande apoio, por acreditarem nos meus sonhos, e não só por isso, mas principalmente por sonharem junto comigo. Vocês são os melhores pais do mundo, verdadeiras benções em minha vida. Aos meus pais biológicos, Maria Elzimi e Marcos Antônio, por terem me gerado dando-me a oportunidade de viver;

Aos meus irmãos Girley, Giêdson, Chiquito, Marquinhos, Mardrige, Mardrine e Mardria pelo apoio e incentivo; vocês são essenciais em minha vida;

À minha orientadora, prof. ^a Dr. ^a Janete Jane Fernandes Alves, pela paciência, motivação, competência e auxílio na elaboração deste trabalho, deixo meu significativo respeito, obrigada por tudo, principalmente pela confiança depositada;

À minha Coorientadora, prof. ^a Dr. ^a Suely Souza Leal de Castro, que quando deveria ser simplesmente professora, foi mestre, transmitindo seus conhecimentos e experiências; foi amiga e em sua amizade me compreendeu, colaborou e incentivou a seguir meu caminho;

A professor Luiz Di Souza pelas suas contribuições e apoio;

Ao Dr. Thiago Mielle pelas sugestões dadas e esclarecimentos no dia-a-dia, e sempre se fez prestativo;

À Crislânia Carla Morais por ser essa pessoa magnífica, sempre pronta a ajudar e incentivar para que eu nunca desistisse. Admiro demais a sua sabedoria, persistência e determinação nas coisas da vida;

Ao técnico de química da UERN, Rodrigo, pelo auxílio no desenvolvimento das minhas coletas e incentivo diários durante conversas;

Aos companheiros de laboratório, Jeferson, Mateus, Anderson, Patrícia, Crislânia e Ruiliane que acompanharam e contribuíram para realização das análises;

Aos amigos mestrandos, Adriana, Clara, Yáscara, Ciro, Israel, Géssica e Adriano, pois dividimos vários momentos de alegria durante o curso, e pela força de todos os momentos;

Aos amigos que fiz durante a minha vida e sempre estão presentes; Ruan, Jéssyca, Jessica, Aline; Andreza, Jessyka, Jaine, Claudinho, Mario, João André, Albinha, Angélica, Nadsara, Karlinha, Rafaela, Joelma, Daniely e Naiely;

Ás pessoas que direta ou indiretamente participaram da realização desse sonho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Na bacia do rio Apodi-Mossoró ocorrem impactos ambientais negativos. Estudos científicos nos últimos anos mostraram a presença de um amplo espectro de poluentes nas águas e sedimentos, resultados das ações antrópicas na região: lançamento de efluentes, resíduos domésticos, atividades agroindustriais, salineiras e petrolíferas, dentre outras, o que resultou no desequilíbrio da fauna e flora, bem como uma fonte potencial de risco à saúde pública e degradação do meio ambiente. Neste sentido este trabalho visa realizar um diagnóstico ambiental ao longo do Rio Apodi-Mossoró, com ênfase na concentração de metais e sua distribuição em sedimentos, com vistas a avaliar a qualidade atual deste recurso hídrico, bem como comparar com realidade já analisada no ano 2005. Foram realizadas análises de granulometria, de matéria orgânica e inorgânica e de metais nos sedimentos deste rio, utilizando-se ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente). Foram realizadas coletas, em oitos pontos distribuídos ao longo do corpo hídrico. Os pontos encontravam-se sob diferentes influências antrópicas e foram monitorados no mês de julho/2015. Como resultado, as análises granulométricas revelaram a predominância da fração areia em quase todos os pontos, exceto no ponto (P19) localizado em passagem de pedra que apresentou um maior teor de argila seguido dos pontos (P20, P22) ponte do rio do Carmo e porto de Areia Branca respectivamente. Matéria inorgânica foi predominante na maioria dos pontos exceto no ponto (P22) localizado no porto de Areia Branca, que apresentou um teor de matéria orgânica superior ao de matéria inorgânica. Quando se compara estes resultados com os obtidos por em 2005. observa-se que houve variação expressiva, tanto espacial quanto temporal, principalmente quando se considera as concentrações de Cd, Cr e Cu, que apresentaram um aumento significativo após o período de 11 anos; mostrando o aumento significativo de concentrações dos metais Cd, Cu e Cr em vários locais do rio, ao longo dos últimos anos especialmente os pontos localizados em regiões com a influência de áreas agrícolas, urbanas, salinas e carcinicultura que pode acabar contaminando o homem, prejudicando sua saúde e os seres vivos.

Palavras-Chave: Corpo hídrico. Metais pesados. Qualidade da água. Degradação ambiental.

ABSTRACT

In the Apodi-Mossoró river basin negative environmental impacts occur. Scientific studies in recent years have shown the presence of a wide spectrum of pollutants in the waters and sediments, results of anthropogenic actions in the region: releases of effluents, household waste, agroindustrial activities, salt and oil, among others, resulting in imbalance of fauna E Flora, as well as a potential source of risk to public health and environmental degradation. In this sense, this work aims to carry out an environmental diagnosis along the Apodi-Mossoró River, with emphasis on the concentration of metals and their distribution in sediments, in order to evaluate the current quality of this water resource, as well as to compare with The reality already Was analyzed in 2005 E in the sediments of this river using ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry). The collections were collected in eight points distributed to the water body logo. The points were under different anthropic influences and were monitored in the month of July / 2015. As a result, particle size analysis revealed the predominance of the sand fraction at almost all points, except for the point (P19) located in a passage of which presented a higher clay content followed by the (P20, P22) Port of Areia Branca, respectively. Inorganic matter predominated at most points, except at point (P22) located in the port of Areia Branca, which had an organic matter content higher than that of inorganic matter. When comparing these results with those obtained in 2005. it is observed that there was significant variation, both spatial and temporal, especially when considering the concentrations of Cd, Cr and Cu, which showed a significant increase after the period of 11 years; Showing the significant increase in concentrations of Cd, Cu, and Cr metals in several places in the river in recent years, especially points located in regions influenced by agricultural, urban, saline and shrimp areas that could end up contaminating man, Damaging his health and living beings.

Keywords: Water body. Heavy metals. Water quality. Ambiental degradation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Diferentes vias de exposição dos metais pesados ao homem, indicando as principais fontes de adição no meio ambiente.	29
Figura 2. Combinação de processos que podem afetar o destino e o comportamento dos metais.....	30
Figura 3. Mapa esquemático da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró.	37
Figura 4. Mapa esquemático dos pontos estudados na Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró ..	39
Figura 5. Estações de coleta na bacia hidrográfica Apodi - Mossoró no mês de julho/2015, onde: A) P6 Lagoa de Apodi; B) P7 Barragem de Santa Cruz; C) P8 Entrada de governador Dix Sept Rosado; D) P10 Barragem Genésio; E) P19 Passagem de Pedras; F) P20 Ponte do Rio do Carmo; G) P22 Porto de Areia Branca; H) P23 Porto de Grossos.	40
Figura 6. Valores de temperatura e pH da água.	43
Figura 7. Frações granulométricas das partículas das amostras de sedimentos de diferentes estações de amostragem na bacia do rio Apodi-Mossoró.....	45
Figura 8. Percentagem de matéria orgânica e inorgânica presentes nas amostras de sedimentos da bacia do rio Apodi-Mossoró.	46
Figura 9. Concentrações de zinco nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.....	49
Figura 10. Concentração de cobre nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.	50
Figura 11. Concentração de níquel nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.....	51
Figura 12. Concentração de Cádmio em sedimentos ao longo do Rio Apodi-Mossoró.	52
Figura 13. Concentração de Cromo em sedimentos ao longo do Rio Apodi- Mossoró/RN. ...	53
Figura 14. Concentração de chumbo nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.	54
Figura 15. Concentração de mercúrio nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.	55
Figura 16. Concentração de bário nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil e na Europa.	18
Tabela 2. Coordenadas de localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem de sedimentos no rio Apodi- Mossoró	38
Tabela 3. Parâmetros para o grau de poluição dos sedimentos, segundo a concentração de metais totais, em (mg.kg ⁻¹). Adaptado de Almeida (2007).	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional das Águas

APHA – Associação Americana de Saúde Pública

BHRAM – Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró

Cd – Cádmio

Cr – Cromo

Cu – Cobre

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ICP-OES – Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente

ICP-MS – Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente

LEQA – Laboratório de Eletroquímica e química analítica

Ni – Níquel

Pb – Chumbo

PEL – Provável Efeito Nível

SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte

TEL – Threshold Effect Nível

USEPA – Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos

UHE – Usina hidrelétrica

WWF – Fundo Mundial para a Natureza

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 VISÃO GERAL SOBRE A SITUAÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA	16
2.2 MEIO AMBIENTE E METAIS.....	19
2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS METAIS PESADOS EM ESTUDO	20
2.3.1 Bário.....	21
2.3.2 Cádmio	21
2.3.3 Chumbo	22
2.3.4 Cobre.....	23
2.3.5 Cromo.....	24
2.3.6 Zinco.....	24
2.3.7 Níquel.....	25
2.3.8 Mercúrio	26
2.4 O SEDIMENTO COMO INDICADOR DO NÍVEL DE POLUIÇÃO	27
2.5 LEGISLAÇÃO.....	32
2.6 ESTADO DA ARTE.....	33
3. OBJETIVOS.....	36
3.1 GERAL.....	36
3.2 ESPECÍFICOS	36
4. METODOLOGIA.....	37
4.1 ÁREA DE COLETA DAS AMOSTRAS	37
4.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE AMOSTRAS	41
4.3 PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO E ANÁLISE DE AMOSTRAS.....	41
4.4 REAGENTES E SOLUÇÕES	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS	42
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS.....	44
5.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E INORGÂNICA NOS SEDIMENTOS.....	46
6. CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Desde a origem da vida no planeta terra e da história da espécie humana, a água é sem dúvida um elemento essencial e garante a manutenção da vida no planeta; portanto, qualquer forma de vida depende da água para sobreviver e se desenvolver. Ela tem um grande valor econômico, ambiental e social, sendo considerada como um bem comum a toda humanidade.

Com o crescimento populacional, que conseqüentemente contribui para um aumento significativo da poluição e da degradação dos corpos de água existentes, as quantidades disponíveis de água doce para o ser humano vêm diminuindo de maneira drástica (TUNDISI, 2003). De acordo com essa situação, surge uma preocupação de cientistas de diversas áreas do mundo, que estima uma grande crise da água prevista para 2020. Os indícios desse caos hídrico já é realidade e podem ser percebidos facilmente nos dias atuais, representando, dentre outros, sério problema de saúde pública (MORAES; JORDÃO, 2002).

A utilização dos recursos hídricos pelo homem, de maneira desordenada, na busca de suprir suas necessidades, tem afetado consideravelmente às condições naturais do planeta, comprometendo a qualidade ambiental e de vida (PEREIRA JR, 2004). No estado do Rio Grande do Norte, a degradação dos recursos hídricos já é realidade, pois os recursos existentes não são conservados, embora sejam considerados de muita importância para a sobrevivência das pessoas, bem como para a geração de empregos e realização de inúmeras atividades de caráter econômico, que acontecem ao entorno desses recursos. Esse problema é intensificado devido ao clima seco predominante na região. Um grande exemplo de degradação de recursos hídricos no Rio Grande do Norte é o Rio Apodi-Mossoró (MARTINS, 2008).

Este rio está inserido na Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró, a segunda maior do estado (14.276 Km²) com 210 km de extensão, que nasce na serra de Imbé no município de Luiz Gomes, atravessa a chapada do Apodi, passa pelo município de Mossoró e estende-se até os municípios de Grossos e Areia Branca, compreendendo 63 cidades do estado (MORAIS *et al.*, 2009). Apesar da grande relevância ecológica e importância para o desenvolvimento sócio econômico da região, o Rio Apodi-Mossoró tem sido alvo dos impactos negativos das ações humanas (ROCHA; SALES; SALES, 2011). As atividades desenvolvidas que acontecem ao

longo do seu percurso são: aquicultura, salineira, petrolífera e agrícola, como o cultivo do melão, além da existência de algumas cidades e povoados (ARAÚJO, PINTO FILHO; 2010).

Estudos atuais advertem que a água deste rio encontra-se em um intenso estado de eutrofização e de degradação, originado das mais diversas fontes de poluição pontuais e não pontuais, como: esgotos domésticos e comerciais, constituídos de gorduras, detergentes, fezes, urinas e restos de alimentos, que são lançados diariamente em seu leito, mostrando a obrigação da realização de estudos mais criteriosos de forma a auxiliar no manejo apropriado desse recurso (OLIVEIRA; SOUZA; CASTRO, 2009).

Frente a essa situação, se faz necessário realizar uma avaliação desse ecossistema para que se possa conhecer a sua real situação de degradação, com base na legislação brasileira vigente (MORAIS *et al*, 2009). Os métodos para avaliar a qualidade ambiental estão muitas vezes baseados em análises físicas e químicas, bem como de componentes biológicos do ecossistema, que fornecem resultados das alterações existentes. Dentre os principais contaminantes ambientais, destaca-se os metais (BRAGA, 2005; MAFFAZZIOLI, 2011).

Os metais são elementos não degradáveis e seus níveis no meio ambiente estão aumentando nas últimas décadas. Uma vez no corpo d'água, eles podem se depositar nos sedimentos e sofrerem complexos processos de adsorção. Além de fornecer habitat para muitos organismos aquáticos, os sedimentos de fundo atuam como reservatórios de partículas inorgânicas, matéria orgânica e constituintes adsorvidos e dissolvidos. No entanto, os sedimentos podem agir como possíveis fontes de poluição, pois não sendo permanentemente fixados por eles, os metais podem ser liberados para a água em decorrência de alterações nas condições ambientais e físico-químicas, sendo biodisponibilizados para os organismos aquáticos, com posterior transferência na cadeia trófica (JESUS *et al.*, 2004).

Estes fenômenos de acúmulo e redistribuição de espécies qualificam os sedimentos como imprescindível em estudos de diagnóstico ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos da contaminação (BELO; QUINÁIA; PLETSCHE, 2010). Mediante o exposto, o estudo do sedimento de um rio é de extrema importância para se entender os impactos a que o sistema ficou submetido, já que este compartimento atua como registro histórico das atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica (CUNHA; CALIJURI, 2008).

Estudos realizados para determinar os limites existentes de poluentes apresentam valores e limites que representariam risco à saúde humana e à biota aquática. Dessa maneira, para que se permita avaliar as concentrações de poluentes encontrados em determinada área, e assim classificá-las como elevadas ou não, pode ser utilizados valores de referência (POLETO, 2005), como os estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Existe também a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency - USEPA), que é uma agência federal do governo dos Estados Unidos da América, encarregada de proteger a saúde humana e o meio ambiente: ar, água e solo, desenvolvendo valores de referência para uma série de poluentes.

Por esta razão, é de grande relevância realizar o diagnóstico ambiental deste recurso natural em termos de teores de metais nos sedimentos e caracterizar este compartimento com relação à sua granulometria e quantidade de matéria orgânica e inorgânica, de forma a compreender melhor a influência dos processos naturais e antropogênicos que podem ter ocorrido no período de 11 anos, bem como fornecer subsídios para a realização de medidas mitigadoras, minimizando os impactos ambientais que vem ocorrendo nesse corpo aquático.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VISÃO GERAL SOBRE A SITUAÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA

A maior parte da superfície terrestre está coberta de água, por isso é denominada de “Planeta água”; mas toda essa água não está em condição de qualidade para abastecimento humano. No planeta, cerca de 97,5% da água é salgada, estando presente nos oceanos, e 2,5% é doce, mas são encontrados em geleiras e no subterrâneo e é apenas 0,007% é doce e esta disponível nos rios lagos e na atmosfera sendo possível seu consumo (BRAGA, 2005).

A água está em constante mudança de estado físico e circula, permanentemente, entre rios, lagos, mares, solos, atmosfera e seres vivos. Isso ocorre porque os elementos químicos essenciais à vida realizam constante trajetória no meio ambiente, denominado de ciclos biogeoquímicos. Os elementos são absorvidos e reciclados por componentes bióticos (seres vivos) e abióticos (ar, água, solo), podendo ser renovados constantemente. A quantidade de água doce do planeta, reciclada através dos ciclos biogeoquímicos, é cerca de 40.000 km³ anuais, correspondendo à diferença entre as precipitações atmosféricas e a evaporação de água sobre a superfície dos continentes. Porém, somente uma parcela dessa quantidade pode ser aproveitada para as atividades humanas (PEREIRA JR, 2004).

O meio ambiente está sendo degradado pelas atividades antrópicas. Suas ações para favorecer interesses pessoais e econômicos ocasionam extrações excessivas de recursos naturais, entre outros problemas socioeconômicos. Uma das consequências que mais se destaca e pode ser facilmente percebidas, atualmente, está atrelado principalmente a distribuição desigual desse recurso (TELLES; COSTA, 2010).

Embora o Brasil seja privilegiado em recursos hídricos, contando com 13,7% da água doce disponível do planeta, ocupando assim um dos primeiros lugares entre os países mais ricos em água doce, essa quantidade ainda não é suficiente para satisfazer as necessidades de todos os brasileiros, devido à poluição e uso inadequado desse recurso tão importante (WWF Brasil, 2006).

Do ponto de vista global, pode se compreender que a água não é distribuída uniformemente, proporcionando escassez em alguns lugares e abundância em outros. No Brasil a realidade não difere muito, pois grande parte da água do país encontra-se em regiões

de difícil acesso, fazendo com que um número considerado de brasileiros fique prejudicado por estar distante dessa fonte tão valiosa (SETTI *et al.*, 2001).

Pode-se perceber, por meio dos dados apresentados na Tabela 1, a situação dos recursos hídricos nas unidades federativas brasileiras, bem como fazer um comparativo com países europeus, apontando casos de abundância em um extremo e, em outro, situação crítica de escassez.

No que diz respeito a distribuição da água doce própria para consumo entre as diversas localidades, pode-se comprovar como essa distribuição é naturalmente desproporcional. As Américas, juntas, reúnem 41% de todos os recursos hídricos disponíveis, seguidas pela Ásia maior e mais habitado continente com 30%, pela África com 10%, depois a Europa com 7%, a Oceania e Antártida com 5%. Já no que se refere ao Brasil pode-se notar que região Norte, que possui uma densidade de apenas 4,12 habitantes para cada quilômetro quadrado concentra quase 70% de todos os recursos hídricos disponíveis no Brasil. Por outro lado, a região nordestina, conta com uma densidade de 34,15 pessoas para cada quilômetro quadrado, ao passo em que detém apenas 3,3% de todos os recursos hídricos do país, o que seria mais do que suficiente se houvesse políticas públicas de combate à seca nessa área (ANA, 2016)

De acordo com a Agência Nacional das Águas (2014), no Brasil existe uma situação de risco em relação à oferta de água, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. Os fatores que contribuem para essa vulnerabilidade são típicos de cada região. Por exemplo, no Nordeste, especificamente na região semiárida, esses conflitos são agravados devido principalmente à reduzida pluviosidade anual e às altas taxas de evapotranspiração, que favorecem uma menor disponibilidade hídrica nos rios.

Tabela 1. Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil e na Europa.

SITUAÇÃO (m ³ /hab/ano)	PAÍS	DISPONIBILIDADE (m ³ /hab/ano)	UNIDADE FEDERATIVA	DISPONIBILIDADE (m ³ /hab/ano)	
Abundância > 20.000			Roraima	1.747.010	
			Amazonas	878.929	
			Amapá	678.929	
			Acre	369.305	
			Mato Grosso	258.242	
			Pará	217.058	
			Tocantins	137.666	
			Rondônia	132.818	
			Goiás	39.185	
		Finlândia	22.600	Mato Grosso do Sul	39.185
	Suécia	21.800	Rio Grande do Sul	20.798	
Muito rica > 10.000		Irlanda	14.000	Maranhã	17.184
				Santa Catarina	13.662
		Luxemburgo	12.500	Paraná	13.431
		Áustria	12.000	Minas Gerais	12.325
Rica > 5.000		Países Baixos	6.100	Piauí	9.608
		Portugal	6.100	Espírito Santo	7.235
		Grécia	5.900		
Equilíbrio > 2.500		França	3.600	Bahia	3.028
		Itália	3.300	São Paulo	2.913
		Espanha	2.900		
Pobre < 2.500		Reino Unido	2.220	Ceará	2.436
		Alemanha	2.000	Rio de Janeiro	2.315
		Bélgica	1.900	Rio Grande do Norte	1.781
				Distrito Federal	1.752
				Alagoas	1.751
				Sergipe	1.743
				Paraíba	1.437
Situação crítica < 1.500			Pernambuco	1.320	

Fonte: Gomes e Babieri (2004)

2.2 MEIO AMBIENTE E METAIS

A terminologia metal pesado, amplamente utilizada, está associada a uma substância tóxica, sobre tudo sua definição ainda é um assunto em evolução, ou seja, não existe uma definição definitiva para esses metais em especial. De uma forma geral, considera-se metal pesado todo aquele metal que apresenta: um elevado número atômico (≥ 20); e elevada massa específica (densidade), em torno de 3,5 a 7,0g/cm³ (TSUTIYA, 1999; MOREIRA; MOREIRA, 2004; LIMA; MERÇON, 2011).

Qualquer atividade de transformação de matéria-prima, com o objetivo de conseguir um produto final, gera impacto para o meio ambiente, pois envolve extração de recursos da natureza bem como a geração de efluentes (ANDRADE *et al.*, 2014). Porém, os que contem metais pesados estão entre os mais preocupantes para a sociedade, pois estes elementos são considerados contaminantes que apresentam diversos efeitos nocivos aos ecossistemas, gerando a queda de sua qualidade e a mortandade da flora e fauna, causando alterações físico-químicas na água e prejudicando a saúde humana. A intensificação das atividades industriais contribui para o problema da poluição do meio ambiente e para a deterioração dos ecossistemas pelo acúmulo de metais pesados. Felizmente, a questão ambiental está cada vez mais presente no dia a dia das pessoas, de forma que a população mundial tem se tornado consciente e preocupada com as atividades potencialmente agressivas ao meio ambiente (PINO, 2005).

O mais alarmante na contaminação por metais é sua capacidade de bioacumulação, que é o aumento da concentração da substância nos tecidos ou órgãos dos organismos num nível trófico. Embora alguns metais sejam essenciais para o organismo, permitindo o funcionamento natural de algumas rotas metabólicas, a maioria dos metais pesados, se ingeridos em concentrações excessivas, são acumulativos. Além disso, mesmo em concentrações reduzidas, os metais pesados, uma vez lançados num corpo receptor, sofrem o efeito denominado de amplificação biológica (biomagnificação), que é a passagem do contaminante de um organismo para o outro, e à medida que isto vai ocorrendo, sua quantidade vai se elevando de um nível trófico para outro ao longo da cadeia alimentar. Este efeito ocorre em virtude desses compostos não integrarem no ciclo metabólico dos

organismos vivos, sendo neles armazenados e agregando-se a cadeia alimentar do ecossistema (AGUIAR; NOVAIS, 2002).

Diante do desequilíbrio ecológico que pode ser causado pela presença excessiva dos metais pesados no ambiente e do fato que estes elementos não são eliminados naturalmente, o seu monitoramento em corpos aquáticos assume grande importância (JESUS; SANTOS; RODRIGUES, 2011).

2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS METAIS PESADOS EM ESTUDO

De acordo com Muniz e Oliveira Filho (2006), os metais pesados se fazem presentes naturalmente no meio ambiente, independente da presença de ações antrópicas. Contudo, o ser humano é responsável por promover o aumento das concentrações destes em sua grande maioria; porém, ressalva-se que este fenômeno pode ocorrer por processos naturais.

Segundo Nriagu e Pacyna (1988), os seres humanos, em meio a suas ações, são responsáveis por acréscimos de até 1,16 milhões de toneladas de metais dispostos por ano em ecossistemas terrestres e aquáticos no planeta.

Rocha (2009) faz menção a dois tipos de metais pesados, os essenciais e não essenciais. Os essenciais são de fundamental importância para o desenvolvimento dos seres vivos, já os não essenciais traduzem-se em agentes tóxicos, podendo acarretar sérios danos à saúde, podendo assim levar o indivíduo a óbito.

Pesquisando sobre a temática dos metais pesados e os riscos para o meio ambiente, é possível identificar os elementos que merece maior preocupação devido a possibilidade de contaminação: Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Ba e Hg. Sendo considerado também as atividades mais impactantes e as empresas situadas na área da pesquisa são consideradas potencialmente poluidoras, uma vez que lançam quantidades enormes desses elementos no solo e não possuem qualquer tipo de práticas ambientais que minimizem os seus impactos ambientais significativos. Por esse motivo, esses elementos receberam destaque nesse estudo.

2.3.1 Bário

O bário é considerado um elemento tóxico, possui alto ponto de fusão e não é encontrado livre na natureza, devido a sua elevada reatividade. À temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido (ALMEIDA, 2007).

Este elemento encontra-se no solo, em castanhas, peixes, algas marinhas e em algumas plantas. É utilizado em pigmentos, fogos de artifício, vidros, borracha, entre outros, e é liberado para a atmosfera durante os processos de extração e refino de minérios, processo este que ocorre durante a produção de compostos de bário e a combustão de carvão e petróleo (CASTRO, 2006). Quando dissolvidos em água são extremamente venenosos (ALMEIDA, 2007).

A entrada de bário no corpo humano é feita por meio do ar, da água e do solo, tendo em vista que os alimentos praticamente não contêm bário. A sua ingestão pode causar sérios efeitos tóxicos sobre o coração, vasos sanguíneos e nervos. Em doses pequenas ou moderadas, produz aumento transitório da pressão sanguínea. A dose fatal para o homem é considerada entre 0,8 e 0,9 g como cloreto de bário (550 a 660 mg de bário) (OLIVEIRA, 2005).

2.3.2 Cádmio

O cádmio foi descoberto em 1817 e rapidamente passou a ser um metal importantíssimo em nível industrial, nomeadamente na produção de baterias, tintas e plásticos. O cádmio aparece na natureza quase sempre associado ao zinco, cobre e chumbo em proporções que variam de 1:100 a 1:1000. É um metal que pode ser dissolvido por soluções ácidas e pelo nitrato de amônio. Quando queimado ou aquecido, produz o óxido de cádmio sob a forma de pó branco e amorfo ou então forma cristais de cor vermelha. No entanto, este elemento e seu óxido são insolúveis em água (ROCHA, 2009).

O cádmio é considerado o metal pesado muito perigoso devido suas implicações com a saúde humana, ou seja, este metal é caracterizado por afetar o córtex renal levando à falência renal, como também, hipertensão, arteriosclerose, doenças crônicas em idosos e câncer (TSUTIYA, 1999; CASTRO, 2006; ROCHA, 2009).

O ser humano quando exposto ao cádmio pode apresentar vários danos à saúde. A exposição pode ser por processo de ingestão de alimentos industrialmente processados, água,

inalação de fumaça de cigarro, ingestão acidental do solo ou poeira contaminada (GONÇALVES; GONÇALVES; FORNÉS, 2010). Os autores ainda ressaltam que a contaminação dos alimentos ocorre por meio do contato com o solo que, por sua vez, pode ser contaminado por água de irrigação, deposição originária da poluição atmosférica e adubação com fertilizante fosfatado ou de origem de esgoto. Os alimentos de origem vegetal, como leguminosas e cereais, contribuem com a maior proporção na ingestão de cádmio, visto que a sua concentração aumenta durante o desenvolvimento da planta.

Rocha (2009) faz menção a outras fontes de contaminação através do cádmio que são: a inalatória e a digestiva. A via inalatória ocorre essencialmente em ambiente industrial. A segunda ocorre essencialmente por meio dos alimentos, em particular as ostras, mariscos e plantas podendo atingir valores entre 100 e 1000 µg/kg; as carnes, os peixes e os frutos podem conter entre 1 a 50 µg/kg, enquanto as sementes entre 10 a 150 µg/kg de cádmio.

Vale salientar que este elemento possui uma considerável mobilidade em ambientes aquáticos; além de ser bioacumulativo, é persistente no ambiente (CASTRO, 2006).

2.3.3 Chumbo

O chumbo tem coloração cinza-azulado, sem odor, maleável e sensível ao ar. É um elemento de ocorrência natural, encontrado com relativa abundância na crosta terrestre e as principais fontes naturais são emissões vulcânicas e intemperismo geoquímico. O seu teor no solo é fortemente influenciado por atividades antropogênicas e pelo transporte do metal através do ar, oriundo de várias fontes (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

É um metal altamente danoso à saúde, afetando todos os órgãos e sistemas do organismo, acumulando-se nos ossos (cerca de 90%) e no sangue, podendo atravessar a barreira placentária. É acumulativa e sua intoxicação crônica pode levar ao saturnismo; os sintomas advindos da intoxicação pelo chumbo são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros (MOREIRA; MOREIRA, 2004; CASTRO, 2006).

Os órgãos mais afetados pela intoxicação por chumbo são: cérebro, sistema hematopoiético, rins, e sistema nervoso periférico. Contudo, o órgão alvo crítico é o cérebro, o qual promove sinais e sintomas de encefalopatia mais ou menos acentuada, tais como, perda da concentração e atenção em tarefas corriqueiras, alterações de humor, com irritabilidade,

depressão, insônia ou sonolência, convulsões e coma, dependendo da dose e duração da exposição (CAPITANI, 2009).

O chumbo (Pb) é um dos contaminantes mais comuns do ambiente, considerado como um elemento que possui efeitos tóxicos sobre os homens e animais, e sem nenhuma função fisiológica no organismo. Os seus efeitos nocivos são conhecidos desde os tempos antigos, já que este afeta praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano. Apesar do osso conter aproximadamente 95% do conteúdo corpóreo total do metal em adultos, os primeiros efeitos adversos são vistos no sistema nervoso central e, ocasionalmente, na medula óssea, que são os órgãos críticos para esta meta (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

2.3.4 Cobre

O cobre é um metal marrom avermelhado. Dentre as suas propriedades destacam-se a elevada condutividade térmica e elétrica e resistência a corrosão. As suas principais fontes naturais são vulcões, incêndios florestais e névoas aquáticas, sendo amplamente utilizado para a produção de materiais condutores de eletricidade (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Este metal encontra-se disponível para a biota, ou seja, é encontrado em sistemas aquáticos em pequenas concentrações. É um micronutriente de fundamental importância para o metabolismo vegetal (SILVA, 2008), sendo um elemento essencial para as plantas e animais. Atua na síntese de proteínas e de hemoglobina, além de outras proteínas que contêm ferro. Ele é empregado em diversos setores, com as mais variadas finalidades, como por exemplo: na construção civil é utilizado em coberturas, calhas, fechaduras etc.; na indústria elétrica e eletrônica para transmissão de energia, aparelho doméstico, aparelho para indústrias químicas e petroquímicas, entre outros (FORTUNATO, 2009).

Embora seja um elemento solúvel, é potencialmente móvel e disponível para as plantas; a forma em que ocorre no solo é de grande importância na prática agrônômica. A contaminação de solos por cobre é resultante da utilização de materiais que contêm este elemento, tais como fertilizantes, resíduos municipais ou industriais e por emissões industriais (MELO; MELO; MELO, 2015).

Castro (2006) relata que doses excessivas deste elemento podem provocar irritação e corrosão de mucosas, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão.

2.3.5 Cromo

O cromo é um metal que se apresenta com coloração cinza-aço, não tem odor, é muito resistente à corrosão e é o sétimo metal mais abundante na terra, não sendo encontrado livre na natureza. Está presente naturalmente em rochas, plantas, solos poeiras e névoa vulcânicas (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

A sua importância no organismo humano está ligada ao controle da glicemia e de lipídeos, e tem como principal função a potencialização dos efeitos da insulina, e por meio desta, o metabolismo da glicose, dos aminoácidos e dos lipídeos, reduzindo os níveis de gordura corpórea e normalizando os lipídeos sanguíneos. Apesar de ser considerado um elemento essencial, a sua presença em altas concentrações nas águas, solos e ar é prejudicial ao meio ambiente e a saúde dos seres vivos, pois em excesso ele pode causar inúmeras doenças, como o câncer. A toxicidade deste elemento está ligada à sua forma química. O Cr^{6+} tem um maior grau de toxicidade, de mutagenicidade e de natureza carcinogênica, que afeta o sistema imunológico dos seres humanos (CURCHO, 2009).

2.3.6 Zinco

Desde os tempos mais remotos, o zinco foi utilizado sob a forma de óxido de zinco para curar feridas e queimaduras. O zinco elementar é um metal branco-azulado brilhante. É um elemento que pode ser encontrado no ar, no solo, na água e está naturalmente nos alimentos; a sua distribuição no ar, solo e água é resultado de processos naturais e atividades humanas (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

O Zinco é um metal pesado, mas essencial para plantas, microrganismos e animais, fazendo parte integrante de enzimas como a anidrase carbônica. Já em relação ao homem, apenas pequena fração do Zn ingerido é absorvida, sendo as demais eliminada pelas fezes. Seu consumo ideal para homens adultos é de 15-20 mg dia⁻¹, sendo o máximo tolerável de 1

$\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Este elemento é considerado não tóxico para aves e mamíferos, que apresentam tolerância a altas doses do metal em suas dietas. A concentração de Zn nas plantas varia grandemente, sendo que plantas como milho, sorgo, pêssego, maçã, uva e cacau são muito sensíveis à deficiência de Zn. As concentrações consideradas normais situam-se na faixa de 25-150 mg kg^{-1} , sendo que concentrações acima de 400 mg kg^{-1} são consideradas tóxicas (MELO; MELO; MELO, 2015).

De acordo com Shugair (2002), o zinco está presente em vários minerais, sendo o mais importante a esfarelita (ZnS), mas também tem sua importância na forma de hidrossilicato, denominada de calamina. Este metal, ao ser extraído, decresce à medida que aumenta a profundidade do solo, podendo ser mais bem distribuído pelo perfil do solo.

De acordo com Castro (2006), o zinco em excesso pode causar dores de estômago, irritações de pele, vômitos, náusea, anemia, entre outros. Ele pode também aumentar a acidez das águas e se acumular em peixes, tendo como consequência bioacumulação e biomagnificação na teia alimentar. Além disso, é importante salientar que as plantas frequentemente absorvem teores de zinco maiores do que são capazes de lidar; assim, poucas espécies sobrevivem em solos contaminados por zinco, afetando as atividades de microrganismos e de minhocas.

2.3.7 Níquel

O níquel é um metal prateado que ocorre naturalmente na crosta terrestre (AZEVEDO; CHASIN, 2003). É um elemento químico tóxico biocumulativo, que apresenta riscos em casos de alta exposição, podendo ser encontrado em plantas, animais e até mesmo no solo. O níquel se inclui na regra que diz que o excesso faz mal e pode apresentar efeitos carcinogênicos (COTTA, 2003).

Por suas características, tais como ser um metal de transição forte, maleável, resistente à corrosão e que se mistura bem com outros metais, é muito utilizado na criação dos mais variados objetos. Os resíduos de níquel possuem alto poder de contaminação e, com facilidade, atingem os lençóis freáticos ou mesmo reservatórios e rios, que são as fontes de abastecimento de água das cidades. O contato com a pele pode causar dermatite alérgica e, mais raramente, provocar ulcerações na pele formando cicatrizes, perfurações do septo nasal,

câncer, distúrbios afetivos, irritação neuromuscular, cefaléia, náuseas e desmaios. Há também suspeitas de que possam afetar o sistema imunológico de seres humanos (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004)

2.3.8 Mercúrio

O mercúrio é um metal pesado encontrado sob três formas: mercúrio elementar, mercúrio inorgânico e mercúrio orgânico, sendo todas prejudiciais à saúde. Estes componentes são encontrados em minérios, combustíveis fósseis e erupções vulcânicas. Este elemento é caracterizado por afetar o sistema nervoso central e os sistemas renal e pulmonar, conduzindo assim, ao aparecimento de inúmeras patologias. Entretanto, sua substância tóxica não tem função conhecida na fisiologia e na bioquímica de humanos, não ocorrendo naturalmente em organismos vivos (ROCHA, 2009; BUENO *et al.*, 2011; RUPPENTHAL, 2013).

Segundo Zavariz e Glina (1993), o mercúrio quando levado dos pulmões pelo sangue, distribui-se no organismo, acumulando-se nos rins, sistema nervoso central, fígado, medula óssea, vias aéreas superiores, pele, parede intestinal, glândulas salivares, coração, músculos e placenta; e quanto à forma de eliminação de mercúrio no organismo, esta é feita principalmente através dos rins.

O mercúrio elementar é solúvel em gorduras, o que lhe permite atravessar membranas. A principal via de absorção são os pulmões, por meio da inalação de vapores metálicos; cerca de 80% dos vapores inalados são absorvidos nos alvéolos pulmonares, em consequência da alta difusibilidade da substância. O mesmo também é absorvido através da pele, por contato com a forma líquida ou vapor, e através do aparelho digestivo, na proporção de 2 a 10% da quantidade ingerida. Após ser absorvido no organismo, o mercúrio apresenta-se na forma metálica, o que permite atravessar a barreira hematoencefálica, atingindo o cérebro (RUPPENTHAL, 2013).

Portanto, é extremamente necessária uma maior conscientização por parte dos geradores de resíduos que contém este e outros metais pesados, para com o correto tratamento do mesmo, com o intuito de minimizar os impactos ambientais negativos causados pelos mesmos (NUNES; OLIVEIRA; BENINI, 2012).

2.4 O SEDIMENTO COMO INDICADOR DO NÍVEL DE POLUIÇÃO

Alguns termos têm sido utilizados de forma inexata em relação à sua definição científica; poluente e contaminante são alguns desses termos. Poluente são elementos ou compostos que ocorrem em concentrações mais elevadas do que os naturais e que prejudique, direta ou indiretamente, nossa vida ou nosso bem-estar, com danos aos recursos naturais como a água e o solo e impedimentos às atividades econômicas como a pesca e a agricultura. Enquanto que contaminante são elementos ou compostos cuja a concentração encontrada é suficiente para provocar danos aos componentes bióticos provocando doenças (NASS, 2002).

Os sedimentos são sólidos depositados ou em suspensão atuando como componente de uma matriz, que foi ou é susceptível ao transporte pelas águas. São partes essencial, integral e dinâmica das bacias hidrográficas, incluindo estuários e zonas costeiras. Sua origem está relacionada ao intemperismo e erosão das rochas. E é um componente importante para o estudo da integridade dos ambientes aquáticos (MOREIRA; BOAVENTURA, 2003).

Uma grande parte das atividades humanas se desenvolvem próximo de cursos d'água, por esse motivo, este recurso natural é considerado o principal fator no desenvolvimento da população humana. Porém, ao mesmo tempo que mantém a vida dos organismos e o pleno funcionamento das indústrias, também é o destino final de lixo tóxico e esgotos. Dentre os contaminantes advindos desta realidade pode-se destacar os metais, especialmente os metais pesados, que em altas concentrações, têm sido motivo de preocupação, principalmente por não serem biodegradáveis e apresentarem, geralmente, mais de um estado de oxidação. Estes diferentes estados determinam sua mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade. (COTA, RESENDE, PIOVANI; 2006).

Em ambientes aquáticos, os íons metálicos e os metaloides podem estar distribuídos entre as fases solúveis em água, coloidal, material em suspensão e uma grande proporção das espécies é incorporada aos sedimentos de fundo. Os sedimentos têm uma alta capacidade de reter espécies químicas orgânicas e inorgânicas; das substâncias que atingem um sistema aquático 1% são dissolvidas em água e 99% são estocadas no sedimento (FORSTNER, 1995).

Os sedimentos funcionam como um sumidouro temporário de poluentes, os quais, sob determinadas condições ambientais, podem ser liberados para a coluna de água, e outros sistemas ambientais, levando à bioacumulação e transferência na cadeia trófica, podendo

afetar direta ou indiretamente os organismos ali presentes (CAMPOS, 2011). A disponibilidade dos metais nos sedimentos está diretamente relacionada as formas geoquímicas de retenção, que por sua vez são controladas por reações químicas e processos físicos que dependem do pH, capacidade de troca catiônica e constituição mineralógica do solo. Dependendo destas condições os metais podem ser remobilizados e lixiviados, podendo atingir águas superficiais em razão de sedimentação das partículas, natureza e tamanho das partículas e a presença e ausência de matéria orgânica e espécies complexantes. Por exemplo em solos ricos em matéria orgânica e que apresenta pH maior que sete, a lixiviação do solo, e a entrada de metais na água é reduzida, porém em ambientes ácidos, pode ocorrer uma maior mobilidade do metal e pH acima de seis favorece o processo de retenção (OLIVEIRA; MARINS, 2011). O intemperismo influencia os minerais de origem geológicas sob determinadas condições ambientais, por exemplo, solos mais jovens, em geral apresentam teores mais elevados de metais-traço que solos submetidos ao intenso intemperismo tropical e a um longo período de desenvolvimento, com ciclos de erosão e redeposição. Efeitos diretos de remoção pelas plantas, lixiviação, escoamento superficial e erosão são os possíveis caminhos da redistribuição de metais no ambiente (REZENDE, 2007).

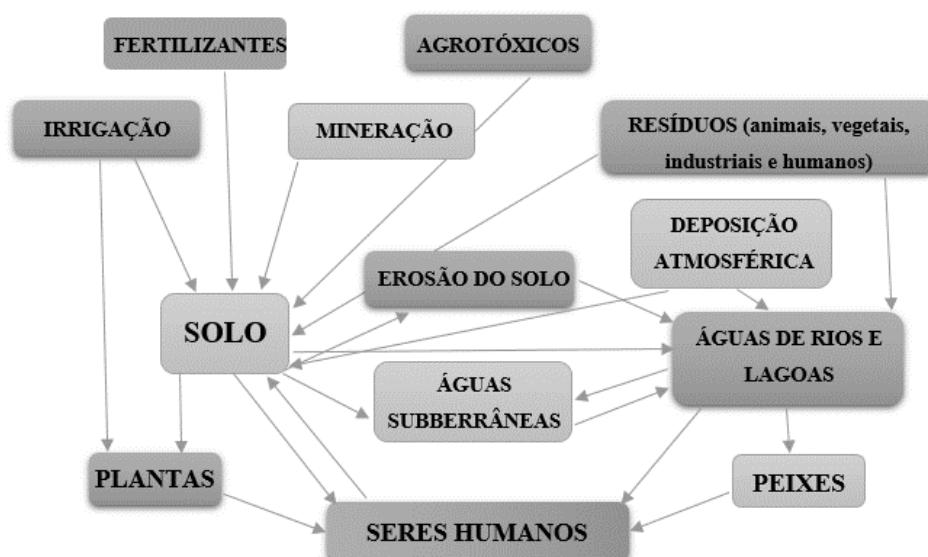
Assim, os teores naturais de metais-traço no solo estão relacionados à sua matriz mineralógica. Em rochas ígneas, em geral, os metais são incorporados na rede cristalina por substituição isomórfica que é favorecida quando os raios atômicos dos metais envolvidos são similares. A ocorrência de metais-traço em rochas sedimentares, devido a processos de enriquecimento em superfície é controlada principalmente pela adsorção, transporte e precipitação nos sedimentos. Conseqüentemente, rochas sedimentares de textura mais fina apresentam maiores teores que as de textura mais grosseira (ALLOWAY, 1995).

O sedimento é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos, do ponto de vista de ciclagem de matéria e fluxo de energia. Nele ocorrem processos biológicos, físicos e/ou químicos que influenciam todo o sistema. Dentre os processos pode-se destacar a adsorção que significa o acúmulo de um determinado elemento ou substância na interface entre a superfície sólida e a solução. O material, cuja superfície ocorre à adsorção, é denominado adsorvente e a substância adsorvida, de adsorvato (COELHO, 2006). Já no que se refere ao processo de dessorção pode ser definida como a liberação de uma substância ou

material de uma interface entre uma superfície sólida e uma solução (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001).

A concentração, transporte, transformação e disposição final de um contaminante introduzido no ambiente aquático dependem, principalmente, das propriedades do ambiente e das características do contaminante. As vias de exposição dos metais ao homem são as mais diversas, podendo percorrer caminhos diferenciados, sendo, contudo, os solos, as plantas e as águas as principais vias diretas de exposição humana (Figura 1) (TALLINI, 2010).

Figura 1. Diferentes vias de exposição dos metais pesados ao homem, indicando as principais fontes de adição no meio ambiente.



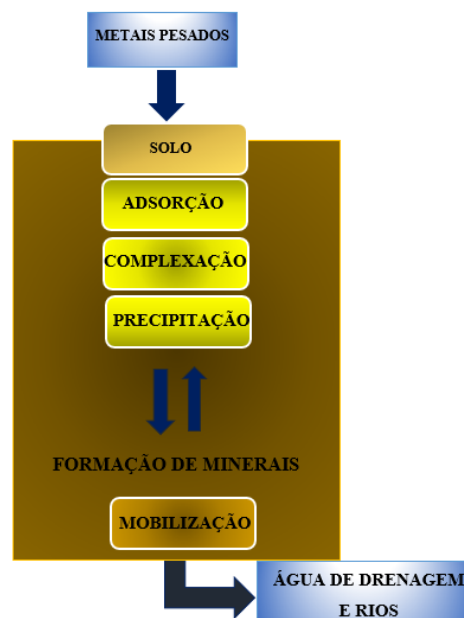
Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2010).

Além da contribuição da matriz mineral, os metais nos sedimentos são derivados, também, de atividades antrópicas. As principais atividades que contribuem para a contaminação são: a queima de carvão mineral e petróleo utilizados como fonte de energia para as indústrias, que promovem a liberação de diversos metais (Hg, Pb, Cr, Zn, Tl, Ni, V, Cd); o descarte de resíduos industriais e urbanos; e mineração. É sabido que atividades de agricultura e pastagem também são responsáveis por liberar metais como Zn e Cu para o solo, e a disposição inadequada de esgotos domésticos libera certas quantidades de Cu e Zn, além Pb, Cd e outros, que podem ser retidos nos solos durante seu percurso em direção ao rio. Nas comunidades rurais, insumos agrícolas como pesticidas, calcários, fertilizantes minerais e

orgânicos aparecem como as principais fontes de entrada de metais no solo (LACERDA *et al.*, 2006, SANTI; SEVÁ FILHO, 2004, MILANEZ, 2007, SILVA, 2008)

Uma vez no ambiente, os contaminantes podem estar sujeitos a uma combinação de processos que podem afetar o seu destino e comportamento (Figura 2). As substâncias potencialmente tóxicas podem ser degradadas por processos abióticos e bióticos que ocorrem na natureza (TALLINI, 2010).

Figura 2. Combinação de processos que podem afetar o destino e o comportamento dos metais.



Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2010).

É possível observar que quando o metal-traço entra no sistema aquático, está sujeito a inúmeros processos de associação de maneira que este elemento se distribui em duas fases que são dissolvidas e particuladas. Na fase particulada, o metal associado às partículas sólidas em suspensão através de processos de adsorção, floculação e sedimentação pode depositar no sedimento, sendo este geralmente o seu destino final. Entretanto, com a ressuspensão dos sedimentos o metal pode ser remobilizado para a coluna d'água devido às mudanças das variáveis hidrogequímicas que estão fortemente ligadas às variações no ambiente. Os metais

podem ainda adsorver-se na superfície tanto dos coloides orgânicos como inorgânicos (CHURCH; SCUDLARH, 1998).

De acordo com Vestena (2008), o sedimento que foi considerado até pouco tempo um compartimento apenas acumulador de nutrientes e de uma variedade de contaminantes, passa a ser analisada nesta nova abordagem, dada a sua importância nas relações de interação com a coluna d'água e com a biota residente. Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados nos sedimentos podem ser orgânicos, como inseticidas e herbicidas ou inorgânicos como os elementos-traço. Estes podem formar elementos muito estáveis que, dificilmente, são liberados para a coluna d'água, acumulando-se no sedimento. Bevilacqua (1996) destaca que as distribuições de espécies nos sedimentos registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação.

A avaliação do sedimento como indicador do nível de contaminação torna-se ainda mais relevante quando se considera que as indústrias geralmente lançam seus despejos nos ambientes aquáticos nos finais de semana, quando o controle é reduzido (LARIZZATTI, 2001). Além disso, os sedimentos agem como carreadores e possíveis fontes de poluição, pois os contaminantes, especialmente os metais pesados, não são permanentemente fixados por eles e podem ser ressolubilizados para a água por mudanças nas condições ambientais (BEVILACQUA, 1996)

A matéria orgânica apresenta grande afinidade por metais pesados presentes no solo. Esse comportamento é capaz de gerar sítios de adsorção. O comportamento da matéria orgânica do solo em relação aos metais pesados depende de características de tamanho molecular, massa molar, estrutura e características de solubilidade (WALKER *et al.*, 2004). A matéria orgânica também depende das condições de pH, podendo solubilizar ou imobilizar metais pesados; sua eficiência depende principalmente de sua forma coloidal (DENAIX *et al.*, 2001). A natureza do colóide, os grupos funcionais em suas superfícies, determinam uma maior ou menor adsorção do metal (CALA *et al.*, 2005). Para limitar a transferência de parte dos metais pesados para a cadeia alimentar é necessário controlar as quantidades máximas que podem ser aplicadas ao solo e manter o pH em níveis relativamente elevados (6 a 6,5).

2.5 LEGISLAÇÃO

Os estudos de corpos d'água e sedimentos contaminados ganharam destaque por sua relevância como pesquisas ambientais, aliados aos órgãos governamentais legisladores, tendo em vista a importância de se conhecer e controlar os valores limites permitidos dessas substâncias nos ecossistemas, como garantia de qualidade de vida (BRITO, 2014).

Em relação à contaminação de sedimentos, devido à inexistência de legislação específica pode-se tomar como base a Resolução CONAMA nº 454/2012, publicada em 08 de novembro de 2012; data que entrou em vigor e revogou expressamente a Resolução nº 344/2004, que se referia à contaminação de sedimento e estabelecia diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, bem como a Resolução CONAMA nº 421/2010 que revisou e atualizou esta última. A Resolução nº 454/2012 criou a necessidade de caracterização ambiental prévia do material a ser dragado, estabelecendo procedimentos referenciais para a caracterização e a sua disposição (CONAMA, 2016).

Os padrões de qualidade estabelecidos na Resolução nº 454/2012 são os mesmos da Resolução nº 344/2004 e, na ausência de um instrumento legal específico que estabeleça a qualidade aceitável dos sedimentos, eles podem ser apropriados.

Outra resolução CONAMA importante é a 429/2009 alterada PARA Nº460/2013 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas considerando que áreas contaminadas podem configurar sério risco a saúde pública e ao meio ambiente (CONAMA, 2016).

Além disso, pode-se utilizar valores orientadores descritos em publicações internacionais referentes à qualidade dos sedimentos (FROHLICH; NASPOLINI; VOLSCHAN JR, 2015).

2.6 ESTADO DA ARTE

Vários trabalhos têm sido realizados visando a determinação de metais em sedimentos aquáticos, em virtude desse compartimento ter um papel fundamental no armazenamento e disponibilização de contaminantes para a água e, conseqüentemente, para os organismos que dela dependem. Neste trabalho são apresentados alguns artigos científicos pertinentes, devido a relevância para o presente estudo.

Almeida (2007) concentrou esforços em estudar a qualidade dos sedimentos da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró com ênfase na análise de metais, considerando a importância do sedimento na avaliação da qualidade das águas. Foram realizadas análises de granulometria, matéria orgânica e inorgânica e de metais nos sedimentos. Como resultado, as análises granulométricas revelaram uma predominância da fração de areia em praticamente todos os pontos, com aumento significativo dos teores de silte e argila na região do estuário. Os teores de matéria orgânica e inorgânica mostraram uma predominância de matéria inorgânica na maioria dos pontos. Em relação às análises de metais, o tratamento estatístico revelou que cinco pontos (P7 e quatro pontos localizados no estuário) apresentaram um padrão de similaridade distinto dos demais, que se comportaram de forma homogênea, em função do teor de elementos traço.

Dantas (2009) investigou a qualidade dos sedimentos do estuário Potengi, com ênfase na análise de metais. Para o estudo foram definidos quatro pontos de amostragem, onde cada um deles foram coletados sedimentos na calha do rio e nas margens esquerdas e direita. Foram realizadas medidas de pH, oxigênio dissolvido, salinidade, condutividade da água, porcentagem de matéria orgânica e inorgânica, análise granulométrica e análises quantitativas dos elementos Al, Fe, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn nas amostras de sedimentos. Os resultados mostraram que as concentrações dos elementos analisados estavam abaixo do padrão tomado como média mundial descritos por Turekian e Wedephl (1961).

Souza (2013) analisou a distribuição dos metais Al, Pb, Cu, Mn, Fe, Zn e Hg, nos sedimentos superficiais do Reservatório Juturnaíba. Os mapas de distribuição das concentrações totais dos metais indicaram que os maiores valores de Pb, Zn, Mn e Hg estavam associados com o rio Bacaxá. Os outros metais Al, Fe e Cu tiveram maiores concentrações associadas com o aporte do Rio São João, próximo ao vertedouro da barragem.

O autor destacou também que as maiores concentrações de Pb, Zn, Mn e Hg ocorreram em uma área de significativa produção de macrófitas, onde o processo de metilação pode ser mais significativo, o que constitui ameaça à saúde humana e ao meio ambiente.

Silva Júnior (2014) realizou uma avaliação da biodisponibilidade dos metais tóxicos cádmio, cobre, zinco, chumbo e níquel em amostras de sedimentos, empregando a técnica de "sulfetos voláteis por acidificação e metais extraídos simultaneamente". As amostras de sedimentos foram coletadas em dez estações ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Subaé, Bahia, Brasil, em dois períodos (outubro e dezembro de 2013). Para o período seco (dezembro de 2013) os resultados demonstraram um estado crítico de toxicidade dos sedimentos em sete das dez estações amostradas. Além disso, os valores individuais das concentrações de todos os elementos foram comparados com os parâmetros PEL (nível efeitos provável) e TEL (nível de efeitos de limiar), que foram estabelecidos pela EPA para a caracterização de risco ecológico. Essa avaliação demonstrou que Pb, Cd, Ni tinha concentrações inferiores à PEL e apenas Zn e Cu tinha teores mais elevados do que o PEL para algumas estações. A avaliação da biodisponibilidade e as concentrações encontradas para os cinco elementos nas amostras de sedimentos analisados demonstrou que o ecossistema estudado apresenta risco ambiental.

Campos *et al.* (2015) investigaram a biodisponibilidade de elementos potencialmente tóxicos, utilizando o método de sulfetos volatilizáveis por acidificação após ataque a frio (AVS) e extração simultânea de metais (SEM), aplicando os critérios propostos por Di Toro (1992), Hansen (1996) e USEPA (2000), nos rios Jundiaí e Capivari localizados no estado de São Paulo, Brasil. Dentre os critérios utilizados, o SEM-AVS, normalizado pela matéria orgânica mostrou-se o mais adequado para a avaliação de biodisponibilidade, evidenciando não biodisponibilidade de metais nos sedimentos de fundo em perfil de profundidade coletados nos pontos próximos à nascente e à foz, e nos pontos intermediários das bacias de drenagem estudadas.

Oliveira *et al.* (2015) avaliaram a margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó. O estudo foi realizado para contribuir no monitoramento da degradação ambiental gradativa do sistema estuarino da região de Belém, Pará, provocada pelo lançamento de resíduos domésticos e industriais da cidade de Belém. Os sedimentos apresentaram homogeneidade mineralógica. A composição textural variou de areia a areia síltica e refletiu condições hidrodinâmicas muito altas. Os teores de metais traço na fração fina dos sedimentos indicaram

que ainda não há contribuição antropogênica expressiva nas concentrações de Cu, Cr, Ni e Zn para esses setores do sistema hidrográfico de Belém, porém sugerem um processo incipiente de ação antrópica no caso do Pb. As concentrações de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn abaixo do valor de referência TEL indicaram que os metais não causam efeitos danosos a biota. O estudo indicou que os sedimentos de fundo do rio Carnapijó são adequados para serem utilizados como background do sistema estuarino de Belém em estudos futuros de avaliação geoquímica

Esse levantamento bibliográfico mostrou que os estudos elencados, em sua maioria, assemelham-se bastante com o que foi proposto nesta dissertação e que os estudos sobre a contaminação por metais pesados em sedimento de fundo têm sido uma preocupação em muitas regiões brasileiras. Porém, vale salientar que até o momento foram poucas as avaliações para a determinação da concentração de metais, levando em consideração a matriz sedimento no rio Apodi-Mossoró, mesmo este sendo considerado como fonte de renda e de alimentação para a população ribeirinha que vive da atividade de pesca.

Diante desta realidade, este trabalho surge como um estudo importante na região, com o intuito de investigar as concentrações de metais pesados e sua distribuição nos sedimentos, com vistas a avaliar a qualidade atual deste recurso hídrico, bem como comparar com os resultados obtidos em 2004.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

Realizar o diagnóstico ambiental de trechos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, com ênfase na concentração de metais e sua distribuição nos sedimentos em diferentes épocas (2004 e 2015), com vistas a avaliar a qualidade deste recurso hídrico e fornecer subsídios para a sua conservação e/ou recuperação.

3.2 ESPECÍFICOS

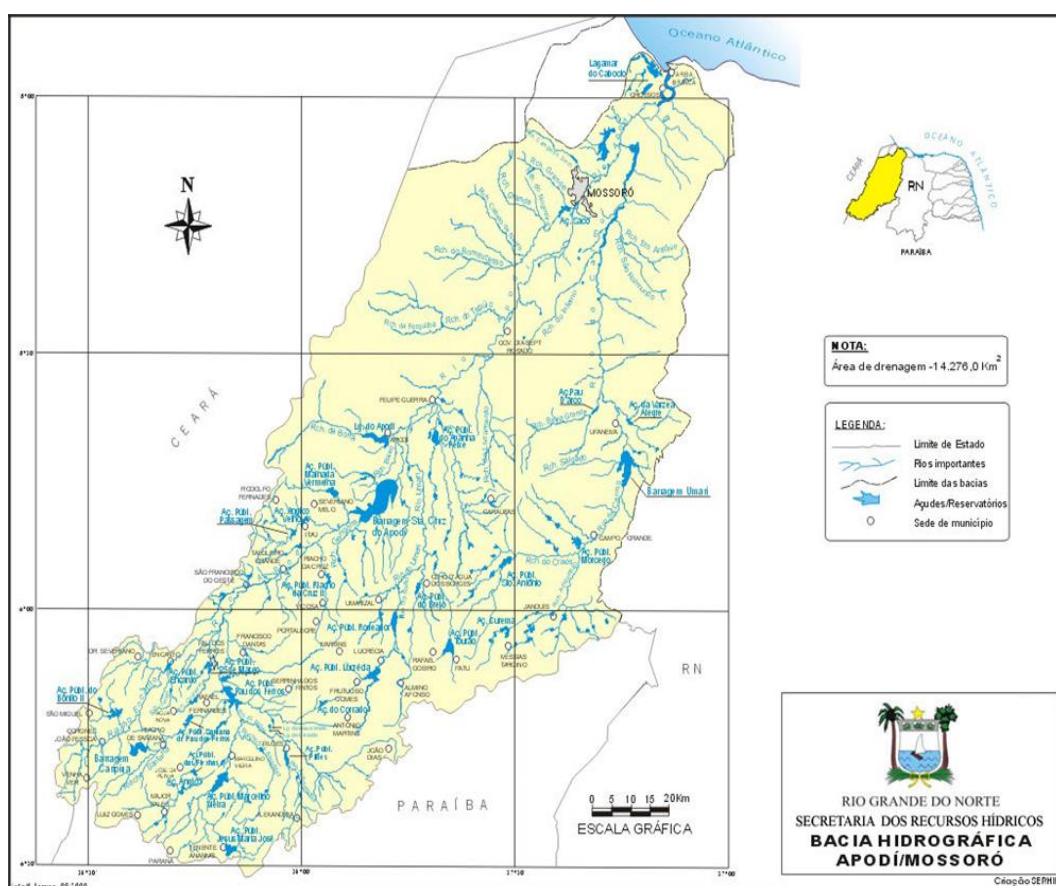
- Realizar medidas de pH e temperatura
- Caracterizar os sedimentos quanto ao perfil granulométrico;
- Caracterizar os sedimentos em termos de quantidade de matéria orgânica e inorgânica;
- Determinar os teores de metais nas amostras de sedimento desta bacia;
- Relacionar a presença de metais no sedimentos, com a sua granulometria, e fração de matéria orgânica e inorgânica;
- Relacionar os teores de metais presentes nos diferentes pontos, com as possíveis fontes de poluição;
- Comparar os resultados de concentração com valores de referência estabelecidos pela legislação brasileira e por órgãos internacionais;
- Comparar os resultados atuais com aqueles determinados em 2004, avaliando o grau de contaminação nos diferentes momentos.

4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE COLETA DAS AMOSTRAS

O trabalho foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró (BHRAM), no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 3), região semiárida brasileira, onde a temperatura média anual é de 28,5 °C e a precipitação média anual é de 400 mm, concentrada principalmente no período de fevereiro a junho (SEMARH, 2009)

Figura 3. Mapa esquemático da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró.



Fonte: SEMARH (2009).

A seleção dos pontos de coleta teve como base as diferentes influências antrópicas. Foram coletadas amostras em oito pontos distintos, distribuídos ao longo do trecho perene e referenciados por GPS (Tabela 2).

Tabela 2. Coordenadas de localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem de sedimentos no rio Apodi- Mossoró

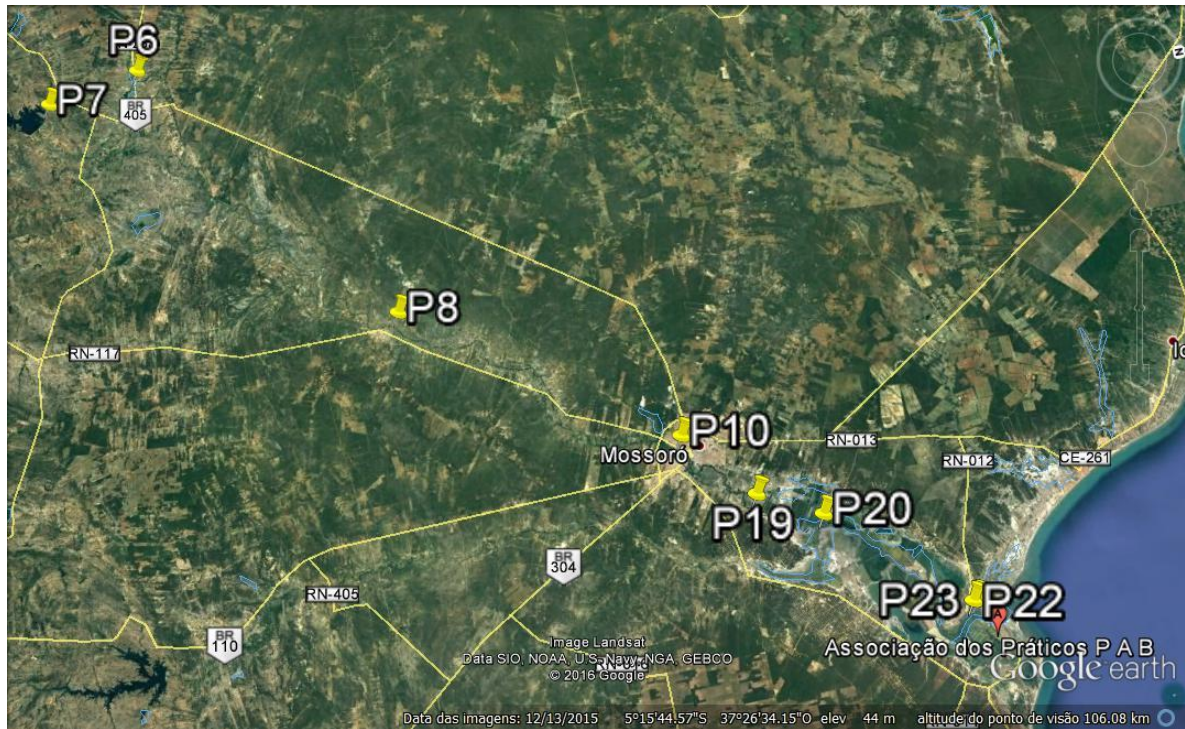
Pontos	Sul	Oeste	Descrição dos pontos
P6	05° 40' 10,6''	37° 48' 21,2''	Lagoa de Apodi
P7	05° 45' 40,9''	37° 48' 06,9''	Barragem de Santa Cruz
P8	05° 27' 39,9''	37° 31' 23 ,6''	Entrada de Governador Dix Sept Rosado
P10	05° 13' 08,4''	37° 21' 44 ,4''	Barragem do Genésio
P19	05° 09' 20 ,1''	37° 17' 06 ,6''	Passagem de pedras
P20	05° 10' 05,2''	37° 08' 11 ,4''	Ponte do Rio do Carmo (afluente)
P22	04° 57' 19,2''	37° 08' 11,3''	Porto de Areia Branca
P23	04° 58' 44,1''	37° 14' 19,5''	Porto de Grossos

Durante as coletas foram observadas e registradas as características relevantes para o estudo de diagnóstico e que podiam contribuir para a degradação deste ecossistema, como o uso e a ocupação do solo, vegetação, atividades econômicas ao entorno do rio, entre outros fatores (Figura 4 e 5).

O Ponto P6 está localizado na Lagoa de Apodi, que trata-se de um corpo aquático muito importante para o município e as principais atividades percebidas foram atividades agrícolas e de descartes de esgotos *in natura* em decorrência da urbanização desordenada. No que se refere ao ponto P7, está localizado a montante da barragem de Santa Cruz, que constitui-se em uma barreira retentora de sedimentos, e tem predominância de solo arenoso. O P8, na Entrada de Governador Dix Sept Rosado, é fortemente influenciado por plantas aquáticas, balneários, extrativismo (influência da retirada de areia) e atividades agrícolas. Predominância de solo arenoso e rochas calcárias.

No P10, ponto localizado na barragem do Genésio, é influenciado por atividades de lavagem de carros, abastecimento de caminhões, dessedentação de animais e apresenta característica de solo arenoso e pedregoso.

Figura 4. Mapa esquemático dos pontos estudados na Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró



Fonte: Google Earth (2016).

Já em relação ao ponto P19, Passagem de Pedras, foi observado a presença de caprinos, suínos, plantas aquáticas, pescadores, lixo, esgoto doméstico e industrial e solo com predominância arenosa e pedregoso. O P20, localizado na ponte do Rio do Carmo, as atividades antrópicas encontradas foram presença de fezes de animais, influenciado diretamente por atividades de extração de petróleo e altamente salinizado.

No ponto P22, localizado no Porto de Areia Branca, constatou-se a presença de atividades de navegação e acúmulo de lixo. Foi observado óleo na superfície da água, atividades urbanas e a captação de água para salinas e viveiros. Solo pedregoso e com características argilosas. E o ponto P23, localizado no Porto de Grossos, apresenta as mesmas condições ambientais do Porto de Areia Branca.

Figura 5. Estações de coleta na bacia hidrográfica Apodi - Mossoró no mês de julho/2015, onde: A) P6 Lagoa de Apodi; B) P7 Barragem de Santa Cruz; C) P8 Entrada de governador Dix Sept Rosado; D) P10 Barragem Genésio; E) P19 Passagem de Pedras; F) P20 Ponte do Rio do Carmo; G) P22 Porto de Areia Branca; H) P23 Porto de Grossos.



4.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE AMOSTRAS

As análises de pH e temperatura, foram realizadas *in situ* utilizando um medidor multiparamétrico. As amostras de sedimentos foram coletadas no mês de julho de 2015 em 08 pontos da BHRAM. A coleta foi realizada utilizando uma draga tipo Van Veen; as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno devidamente identificados e em seguida refrigeradas para posterior análise no Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA). Foram coletadas amostras de sedimentos superficiais (cerca de 5 cm de profundidade) e em cada ponto foram coletadas três parcelas de aproximadamente 300 g cada, as quais foram recompostas em uma única amostra.

4.3 PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO E ANÁLISE DE AMOSTRAS

Os sedimentos foram secos à temperatura ambiente, limpos para a retirada de materiais grosseiros (pedras, gravetos, etc.), homogeneizados e guardados em frascos de polietileno.

Para a análise granulométrica foi utilizado o método da pipeta, conforme metodologia descrita no Manual de Métodos de Análises de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da matéria orgânica e inorgânica foi utilizado o procedimento padrão de incineração (APHA, 2005), sendo os resultados expressos em percentagens, utilizando as seguintes equações:

$$\% M. O. = \frac{(p_1 - p_2)}{P_s} 100 \quad (1)$$

$$\% M. I. = \frac{(P_2 - P_0)}{p_s} 100 \quad (2)$$

Onde:

P_s = peso do sedimento em gramas ($P_1 - P_0$);

P_0 = peso do cadinho vazio;

P_1 = peso do cadinho com sedimento (40 °C); e

P_2 = peso do cadinho com sedimento (600 °C).

Para a determinação do teor dos metais Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Ba e Hg, primeiro foi realizada a digestão das amostras em meio ácido, por radiação micro-ondas (Micro-ondas Analítico, modelo Ethos One, Milestone). Posteriormente, as concentrações dos elementos metálicos foram determinadas utilizando-se um Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado, modelo Optima 8000, PerkinElmer.

Foram determinados oito elementos metálicos potencialmente tóxicos e todas as análises foram realizadas em duplicata.

4.4 REAGENTES E SOLUÇÕES

Os reagentes usados foram de grau de pureza analítica, todas as soluções foram preparadas com água deionizada. As soluções padrão foram preparadas por diluição das soluções estoque de 1000mg/L do metal em HNO₃.

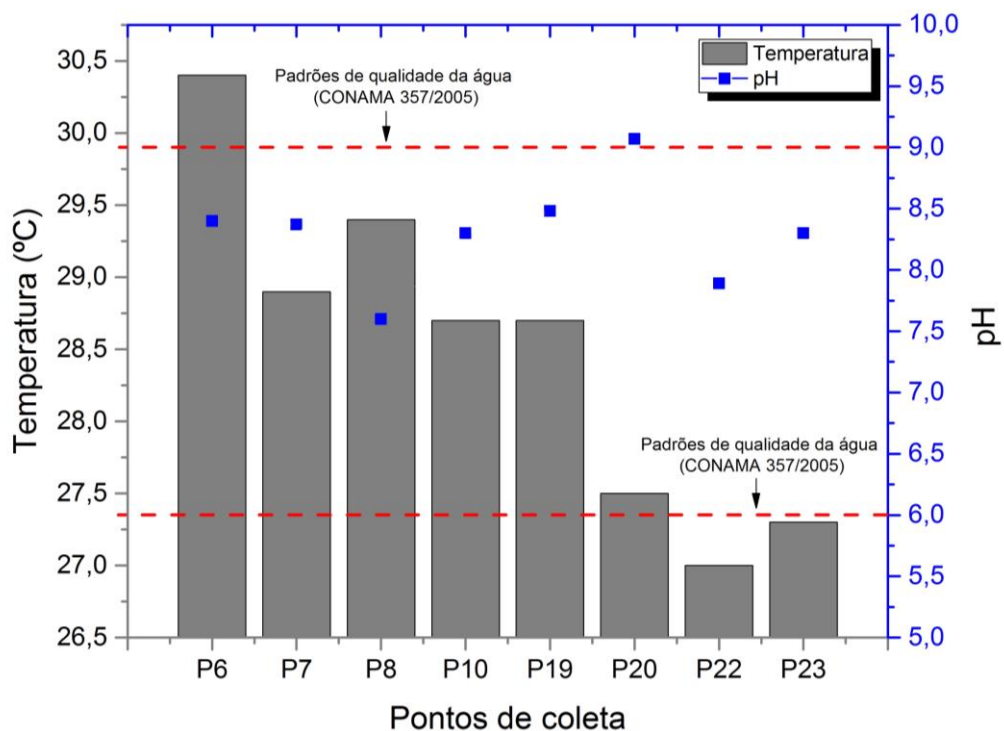
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Na Figura 6 pode-se observar os valores obtidos das determinações de pH e temperatura, os quais, aliados aos demais parâmetros, promovem uma melhor avaliação das condições ambientais da área de estudo. O pH é uma das características físico químicas que pode apresentar variação sazonal e apresentar forte correlação com a temperatura e pluviosidade.

Os valores de pH variaram entre 9,07 (valor máximo no ponto P20) e 7,60,(mínimo no ponto P8). A disponibilidade dos metais nos sedimentos está diretamente relacionada as formas geoquímicas de retenção, que por sua vez são controladas por reações químicas e processos físicos que dependem do pH. Por exemplo em solos ricos em matéria orgânica e que apresenta pH maior que sete, a lixiviação do solo, e portanto a entrada de metais na água é reduzida, favorecendo o processo de retenção (OLIVEIRA; MARTINS, 2011).

Figura 6. Valores de temperatura e pH da água.



O pH da água é afetado diretamente pela temperatura. Por exemplo, a água pura tem um pH de 7 unicamente a uma temperatura de 25 graus Celsius. Quando há um aumento na temperatura, o pH diminui, da mesma forma, uma diminuição na temperatura implica em um aumento no pH. Por isso, quando se mede o pH, registra-se os valores de temperatura. Em processos de adsorção, o efeito da temperatura sobre o sistema afeta principalmente a constante de velocidade de adsorção. Um aumento na temperatura pode ocasionar aumento de energia cinética e mobilidade das moléculas do adsorvato e ainda provocar um aumento na taxa de difusão intra-partícula do adsorvato. O aumento na temperatura pode afetar a solubilidade e o potencial químico do adsorvato. Desta forma, a alteração na temperatura de um processo conduz a uma mudança na capacidade de adsorção. No que se refere a temperatura, os valores variaram entre valor mínimo de 27 °C registrado no ponto P20 e temperatura máxima de 30,4 °C registrado no ponto P6.

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS

O conhecimento sobre a granulometria do sedimento é essencial para se avaliar as propriedades de adsorção deste compartimento, porque elas podem influenciar as condições ambientais. Em relação à contaminação sedimentar por produtos químicos, as frações de tamanho mais importantes são a argila e o silte, por apresentarem maior potencial de adsorção de contaminantes; em outras palavras, os metais estão principalmente associados a estas frações finas de sedimentos (MOZETO *et al.*, 2003; SILVERIO *et al.*, 2005).

Os sedimentos de textura mais argilosa são constituídos de matéria mais antiga, apresentado, assim, um histórico da poluição nestes ambientes. Já os sedimentos de granulometria mais arenosa apresentam informações recentes da poluição destes ambientes. De acordo com a literatura, quanto mais fina a textura do sedimento, maior a concentração de metais nele encontrado. Estudos realizados por diversos autores mostraram que frações com diâmetros de até 0,062 mm tem a maior tendência de adsorver metais, devido a maior razão área superficial ou tamanho do grão.

A Figura 7 mostra os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimentos da bacia do rio Apodi-Mossoró. O estudo revelou que a fração de areia prevaleceu em todas as estações de coleta, exceto para o ponto 19 (estuário), que apresentou predominância de argila. No entanto, observa-se que nos pontos P7 e P8 a somatória das frações finas foi maior que a fração de areia, podendo considerar que este processo pode estar relacionado com a extração de areia existente na região.

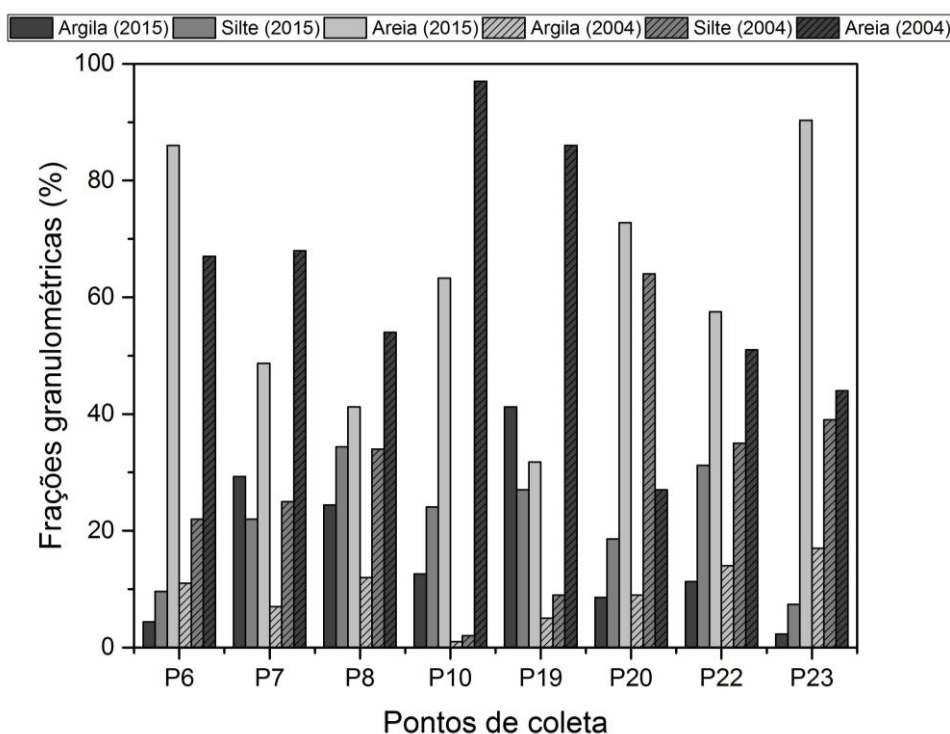
Comparando esses resultados com aqueles obtidos por Almeida (2005), aproximadamente 11 anos atrás, em 2005, pode-se perceber que existe uma equidade em relação a predominância de areia na maioria dos pontos; porém, na região de estuário o comportamento apresentado atualmente foi diferente daquele obtido em 2005; as frações de partículas finas (silte e argila) diminuíram significativamente com o passar dos anos, permitindo identificar uma variação temporal quanto ao perfil granulométrico.

A sazonalidade são as principais responsáveis pela modificação nas características do solo. Mas o desmatamento tem sido visto como um grande vilão, pois colabora para que ocorra processos erosivos no solo deixando-o desprotegido e a erosão consiste no processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, constituindo-se na principal causa da

degradação dos solos trazendo, como consequência, prejuízos ao setor agrícola e ao meio ambiente, com reflexos tanto econômicos quanto sociais.

A erosão resultante da ação do impacto da gota de chuva e da enxurrada sobre o solo, chamada de erosão hídrica é a principal forma de degradação dos solos no Brasil, além da retirada das partículas de solo, transporta os nutrientes, a matéria orgânica e os defensivos agrícolas, causando prejuízos na atividade agrícola. O uso inadequado do solo na agricultura e o desmatamento é uma das principais causas da degradação do solo.

Figura 7. Frações granulométricas das partículas das amostras de sedimentos de diferentes estações de amostragem na bacia do rio Apodi-Mossoró.

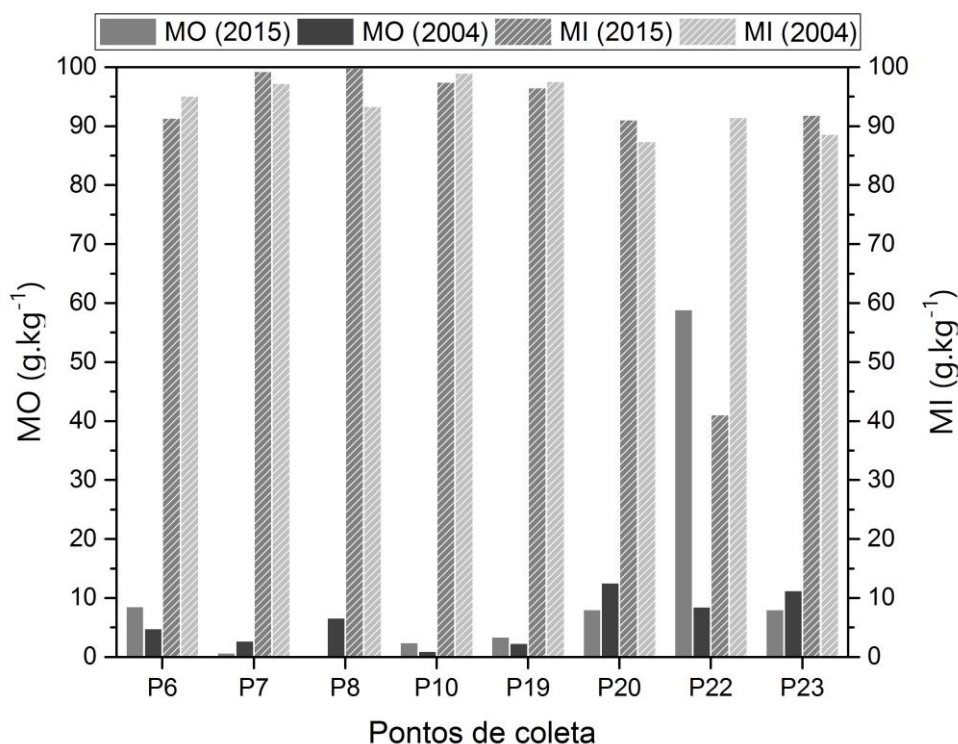


De acordo com Levinton (1995), a movimentação das águas, que acontece de maneira intensa com a incidência de correntes fortes, contribui para uma maior presença de areia; já em águas mais calmas geralmente predomina partículas mais finas. Porém, deve-se levar em consideração que a carga sedimentar transportada pelos rios possui diversas granulometrias e que as formas de transporte são variadas, dependendo das condições locais e do escoamento.

5.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E INORGÂNICA NOS SEDIMENTOS

Em relação aos níveis de matéria orgânica e inorgânica nas amostras de sedimentos da bacia do rio Apodi-Mossoró, em geral, as porcentagens de matéria inorgânica foram maiores na maioria dos pontos analisados, exceto no ponto 22, que apresentou um teor de matéria orgânica superior ao da matéria inorgânica (Figura 8). O Teor de matéria orgânica no corpo aquático depende da produtividade da água, da degradação microbológica e de fontes difusas terrestres (SILVA *et al.*, 2015).

Figura 8. Percentagem de matéria orgânica e inorgânica presentes nas amostras de sedimentos da bacia do rio Apodi-Mossoró.



No sentido da foz do rio, os pontos de coleta P20 e P23 apresentaram um valor de aproximadamente 10% de matéria orgânica, assim como no ponto P6, o que pode ser explicado pelo fato dos primeiros estarem localizados em região de estuário e o P6 ser uma lagoa com plantações agrícolas no seu entorno. Segundo Jesus *et al.* (2003), em áreas de

estuários existe uma grande quantidade de biomassa provenientes de manguezais, contribuindo para uma maior concentração de matéria orgânica nos sedimentos.

De acordo com Botero (2014), a presença e o acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos exercem papel fundamental na retenção de espécies potencialmente tóxicas. Em rios, agem principalmente como complexantes, dificultando a biodisponibilidade dessas espécies para as águas. A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, já que a adsorção é um fenômeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é maior e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção.

O conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente nos sedimentos foi similar aos descritos no trabalho de Almeida (2005), em que predomina o teor de matéria inorgânica em todos os pontos e uma concentração de aproximadamente 10% de matéria orgânica na região do estuário.

5.3 DETERMINAÇÃO DE METAIS

O sedimento possui uma grande capacidade de retenção de metais pesados. Sempre irá existir alguns íons de metais; porém, as concentrações vão variar devido as atividades antrópicas e a geologia do local, mas se essa capacidade for ultrapassada os metais disponibilizados podem entrar na cadeia alimentar dos organismos vivos, podendo resultar em efeitos catastróficos para a biota. Por outro lado, existem peixes que tem a sua base alimentar nos sedimentos, de forma que sedimentos poluídos com metais também podem levar à contaminação da biota e, como consequência para o ser humano.

Os depósitos aluvionares cobrem praticamente toda a área de estudo, de influência direta dos processos geológico-geomorfológicos do rio Apodi-Mossoró, seguido de formações Barreiras e Jandaíra. Esta associação de rochas e sedimentos, principalmente os depósitos aluvionares e os arenitos da Formação Barreiras são altamente porosos e permeáveis, susceptíveis a processos erosivos e de assoreamento dos cursos d'água, de contaminação dos corpos d'água superficiais e subterrâneos. Os calcários da formação Jandaíra são mais susceptíveis à dissolução química pelo intemperismo das águas pluviais e fluviais (PETTA, MELO, NASCIMENTO; 2010). No Nordeste predomina os solos jovens, sendo pouco

intemperizados devido à falta de chuva e a chuva é um dos fatores que influencia bastante, mas existem outros fatores como o tempo, vegetação e microrganismos.

No que diz respeito a geologia do local, os solos mais jovens, em geral apresentam teores mais elevados de metais-traço que são aqueles metais com número atômicos de médio e altos, e que são tóxicos em concentrações relativamente baixas. Persistem no ambiente e podem se acumular em níveis que interrompem o crescimento das plantas e interferem na vida animal. Conseqüentemente, rochas sedimentares de textura mais finas frequentemente apresentam maiores teores do que os de texturas mais grosseiras (ALLAWAY,1995).

Neste trabalho foram analisados os seguintes metais: Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Ba e Hg, e para avaliar o grau de degradação da bacia do rio Apodi-Mossoró com base na análise desses metais nos sedimentos foram utilizados i) a Resolução CONAMA 454/2012, que estabelece valores orientadores segundo a probabilidade de efeitos deletérios à biota, classificando-os em dois níveis (nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota, e nível 2 - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota), os quais também variam em relação à classificação da água (doce e salobra/salina); e ii) os padrões estabelecidos por Thomas (1987), o que permite classificar os sedimentos como não poluído, moderadamente ou altamente poluído (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros para o grau de poluição dos sedimentos, segundo a concentração de metais totais, em (mg.kg⁻¹). Adaptado de Almeida (2007).

METAL	NÃO POLUÍDO	MODERADAMENTE POLUÍDO	ALTAMENTE POLUÍDO
Cd	—	—	> 6
Cr	< 25	25-70	> 70
Cu	< 25	25-50	> 50
Ni	< 20	20-50	> 50
Pb	< 90	90-200	> 200
Zn	< 90	90-200	> 200

Fonte: Thomas (1987).

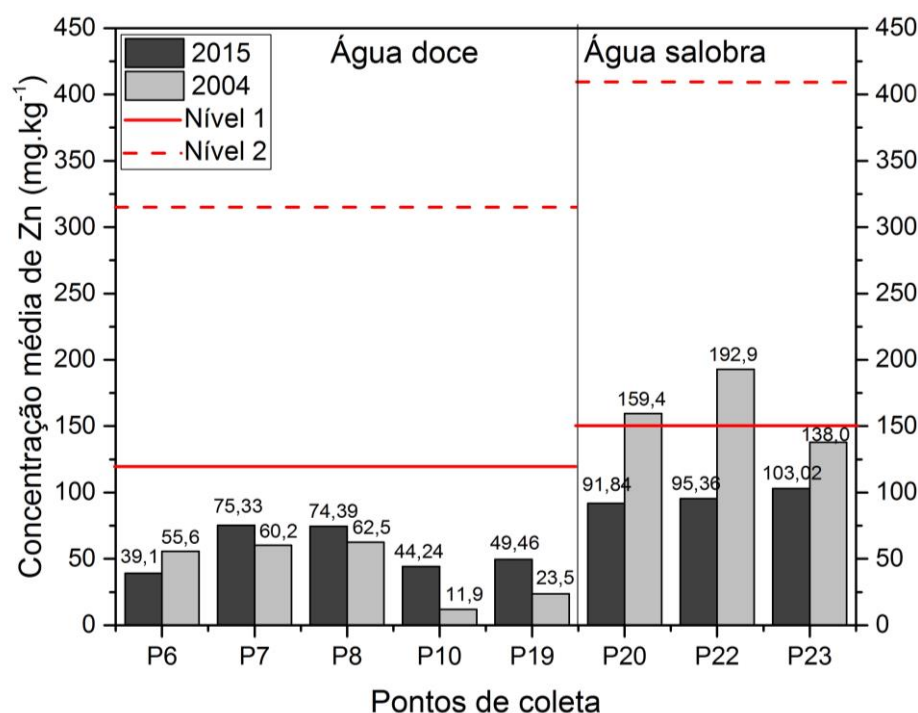
ZINCO

A Figura 9 apresenta os valores das concentrações de zinco nos sedimentos nos diferentes pontos de amostragem. Observa-se que as maiores concentrações de zinco foram obtidas na área do estuário (P20, P22, P23), porém em nenhum dos pontos as concentrações alcançaram valores que atingissem o nível 1 da Resolução 454/2012, indicando que a presença deste elemento não é tão significativa ao ponto de causar efeitos nocivos no ambiente e biota.

Porém, segundo os critérios propostos por Thomas (1987), Tabela 3, os sedimentos dos pontos P20, P22, P23 encontravam-se moderadamente poluídos por zinco durante o processo de coleta.

Assim, a presença desse elemento, que pode ocorrer naturalmente pela geologia do solo, mas também pode estar relacionada a inseticidas, tintas e cosméticos presentes em efluentes domésticos e industriais, pode se tornar bem preocupante em um futuro próximo, pois a área que apresentou as concentrações mais elevadas se destacam no desenvolvimento de atividades de agricultura e/ou processos industriais, além dos descartes de efluentes domésticos.

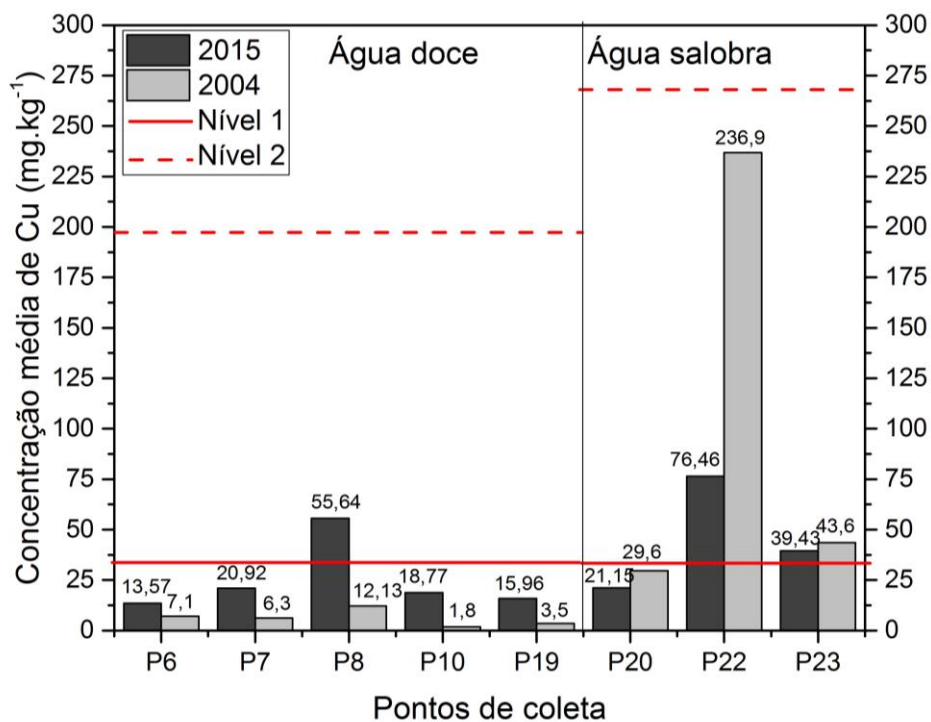
Figura 9. Concentrações de zinco nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.



COBRE

Concentrações elevadas de cobre, ultrapassando os limites do nível 1 da legislação brasileira, foram identificadas nos pontos P8, P22 e P23 (Figura 10). Quando comparado aos valores estabelecidos por Thomas (1987), dois pontos apresentaram-se altamente poluídos (P8 e P22) e um ponto moderadamente poluído (P23).

Figura 10. Concentração de cobre nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.



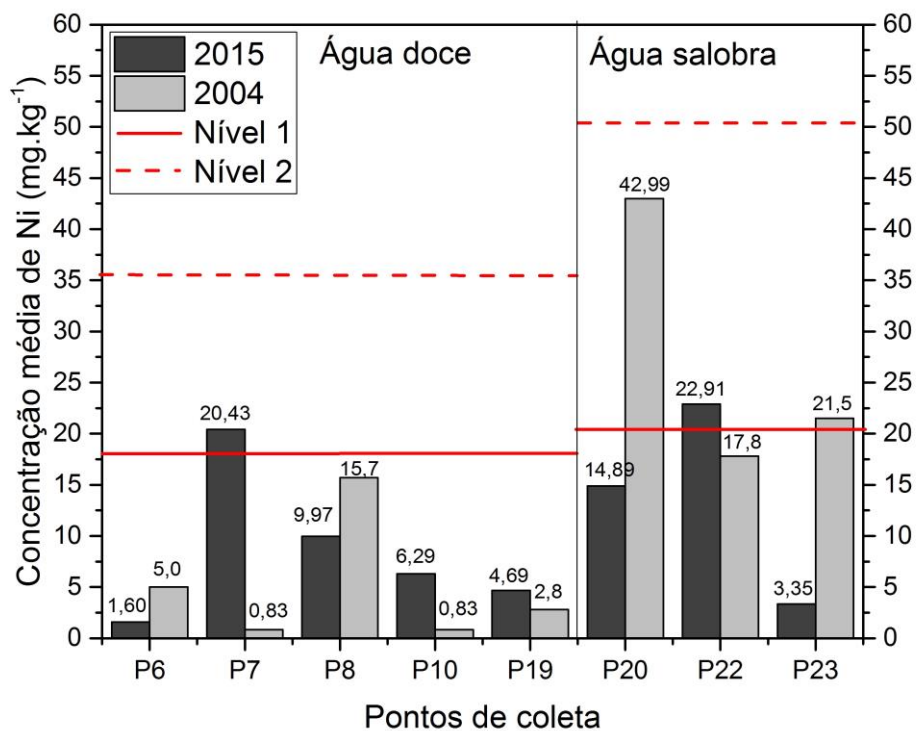
Esses resultados obtidos podem estar relacionados as atividades realizadas a jusante da barragem de Santa Cruz como: Plantações, criadouros de peixes e extração de areia contribuindo para a presença de fertilizantes provenientes do uso agrícola e de bactericidas na aquicultura, ao descarte de material elétrico e eletrônico, ao descarte de efluentes domésticos e industriais. Além disso, vários navios circulam pelos portos, sendo que alguns já deteriorados encontravam-se atracados, o que acaba lançando o elemento cobre para o ambiente.

NÍQUEL

As maiores concentrações de níquel nos sedimentos do rio Apodi-Mossoró foram identificadas dos pontos P7 e P22, ultrapassando o limite do nível 1 (Figura 11). Segundo os parâmetros de Thomas (1987), estes pontos encontram-se moderadamente poluídos.

A presença deste elemento no ambiente pode ser atribuída à queima de combustíveis fósseis e à presença de ligas metálicas, inclusive às atividades de extração de petróleo, muito intensivas na região (P22).

Figura 11. Concentração de níquel nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.



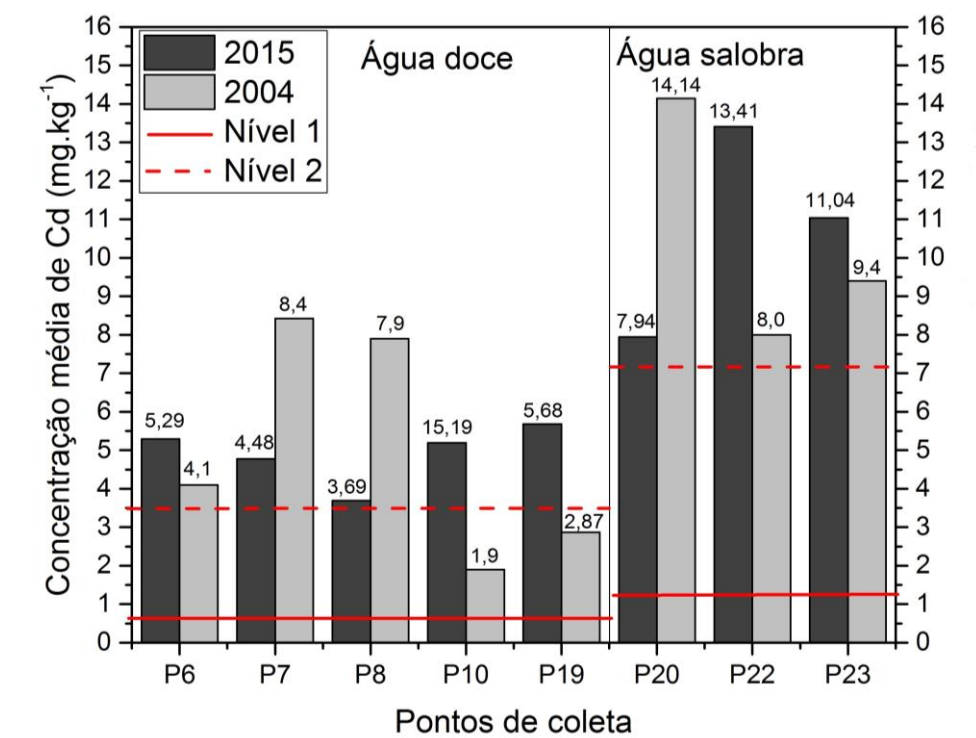
CÁDMIO

A Figura 12 mostra as concentrações de Cd nas amostras de sedimento. O Cd obteve concentrações elevadas em todos os pontos (P6, P7, P8, P10, P19, P20, P22, P23), ultrapassando os níveis 1 e 2 da resolução brasileira. Em relação aos critérios estabelecidos

por Thomas (1987), os valores observados configuram os pontos P20, P22 e P23 como altamente poluído.

Várias atividades antropogênicas são responsáveis pela presença do cádmio no ambiente, porém pode-se destacar o uso de fertilizantes em terras agricultáveis, lançamento de resíduos sólidos, incineração de materiais que utilizam este material como pigmento e despejo de efluentes urbanos.

Figura 12. Concentração de Cádmio em sedimentos ao longo do Rio Apodi-Mossoró.

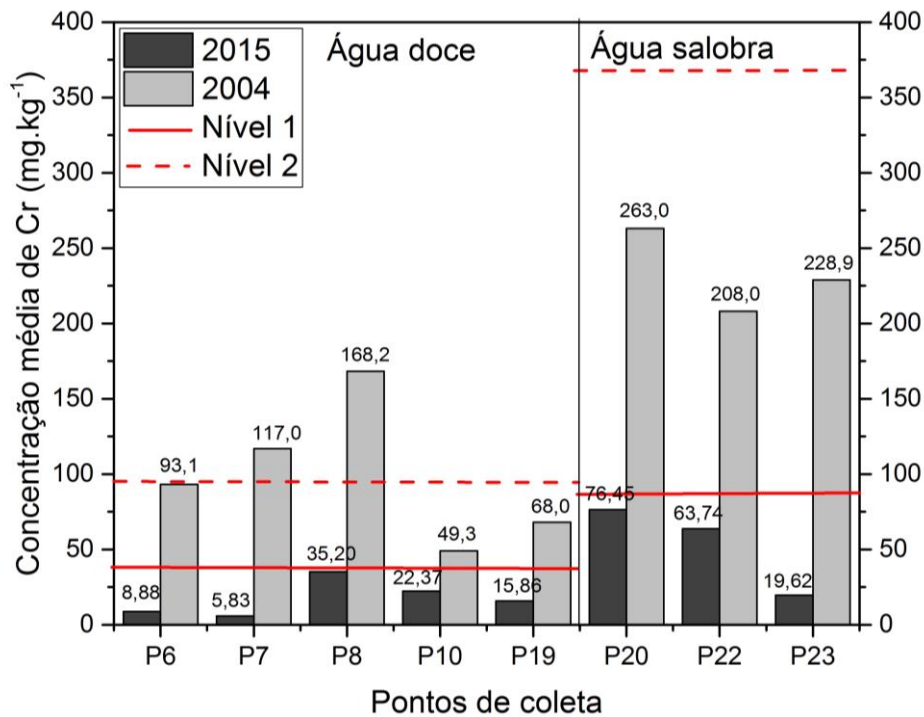


CROMO

Pela Figura 13, observa-se que a maior concentração de Cr foi obtida nos pontos P20 e P22, apesar de nenhum destes terem ultrapassado o nível 1 da Resolução 454/2012. De acordo com os critérios de Thomas (1987), encontram-se moderadamente poluídos os pontos P8 e P22, e altamente poluído o ponto P20.

A presença de cromo pode estar associada às atividades de curtume que existiam na região e às impurezas presentes nos fertilizantes utilizados nas áreas agrícolas (ALMEIDA, 2004)

Figura 13. Concentração de Cromo em sedimentos ao longo do Rio Apodi- Mossoró/RN.



CHUMBO

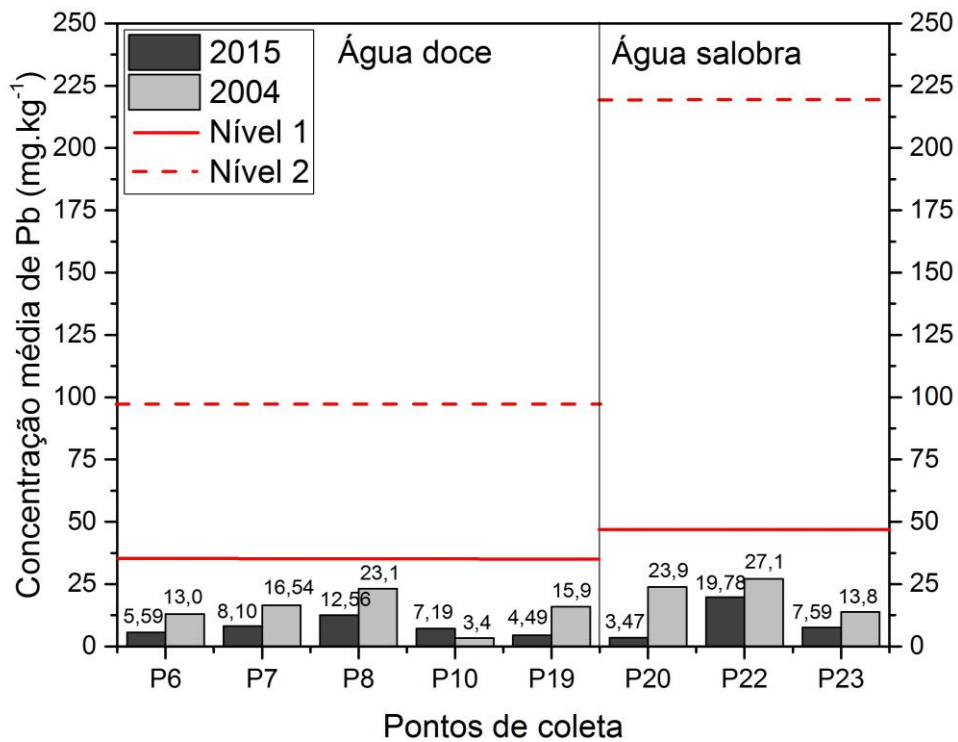
Na Figura 14 estão apresentados valores de chumbo nos sedimentos dos pontos amostrados. As maiores concentrações encontradas (P8 e P22) não excederam o nível 1 da legislação. Em relação aos parâmetros de Thomas (1987), o chumbo não apresentou concentrações significativas no ambiente.

A presença deste elemento no meio pode estar associada a pinturas dos barcos ou ao desgaste da mesma ao longo do tempo que os barcos ficam atracados no porto.

MERCÚRIO

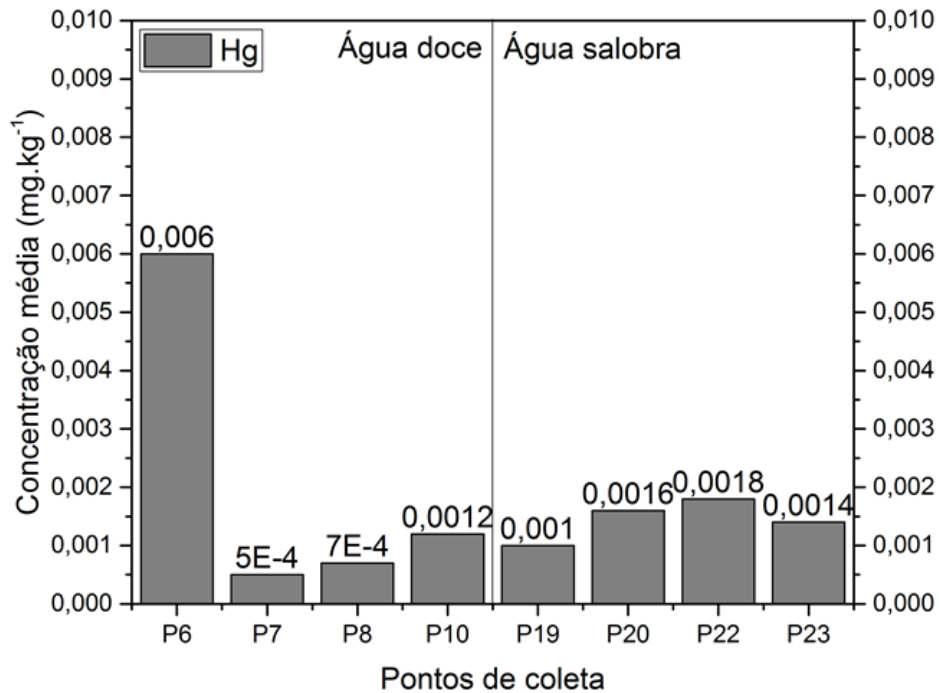
Em relação a este elemento, o ponto P6 foi o que apresentou a concentração mais elevada; porém, em nenhum dos pontos avaliados a concentração de mercúrio superou o nível 1 da legislação (Figura 14). Como as concentrações de mercúrio nas amostras foram muito baixas, a escala não permitiu identificar os níveis 1 e 2 para as águas doces e salina/salobra. Quanto aos critérios de Thomas (1987), não existe valor de referência para o mercúrio.

Figura 14. Concentração de chumbo nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.



A presença deste elemento no meio pode estar associada a queima de carvão, petróleo e madeira, fabricação de produtos e descarte de produtos que utilizam o mercúrio como matéria-prima, como termômetros e lâmpadas fluorescentes.

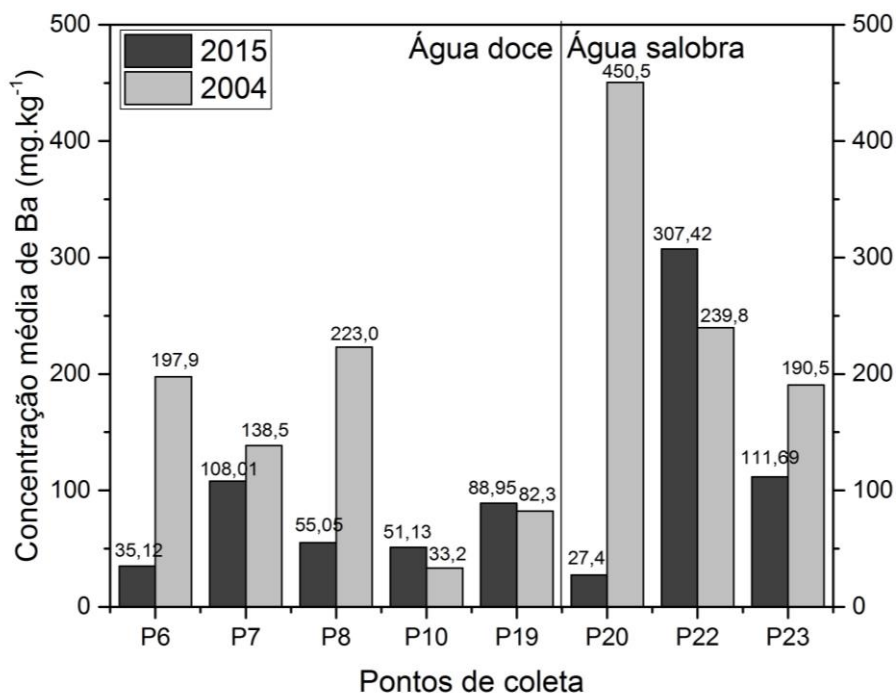
Figura 15. Concentração de mercúrio nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.



BÁRIO

A Figura 16 mostra os valores de bário encontrados nos sedimentos dos pontos amostrados. A maior concentração foi obtida no ponto P22, o que pode estar associado às atividades de extração de petróleo, que é muito intensiva na região de estuário. Para o elemento bário não existem dados quanto a sua toxicidade em sedimentos. Porém existem valores estabelecidos para a presença deste elemento no solo que é a Resolução 420/2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente advertindo que ultrapassando o valor de 150 mg.kg⁻¹ já indica riscos sendo indicado o valor de 300 mg.kg⁻¹ para área agrícola, 500 mg.kg⁻¹ para área residencial e 750 mg.kg⁻¹ para área industrial, embora sejam estabelecidos esses valores o valor de 700 mg.kg⁻¹ de Bário no solo representa um alto risco à saúde.

Figura 16. Concentração de bário nos sedimentos do rio Apodi- Mossoró/RN.



Neste estudo, os pontos que mais se destacaram por apresentar concentrações mais elevadas de metais foram P7, P8, P20, P22 e P23, os quais são fortemente influenciados por atividades antrópicas.

Vale esclarecer que o ponto P6 representa a Lagoa do Apodi, que tem muita atividade agrícola em seu entorno; o ponto P7 está localizado à montante de uma grande barragem, que por sua própria característica constitui-se em barreira para os sedimentos, com consequente aumento do teor de metal, além de apresentar influência de atividades agrícolas no seu entorno; o ponto P8 sofre influência tanto das atividades agrícolas quanto das atividades de descarte de esgotos domésticos; o ponto P10 está em um trecho urbano; o ponto P19 está localizado dentro da cidade de Mossoró (maior centro urbano da região), que tem muita influência de esgotos domésticos.

Os pontos P20, P22 e P23 correspondem à região de estuário do rio Apodi-Mossoró, que são locais de intrusão de água salgada e com forte influência industrial (atividades de carcinicultura, salineira e de extração de petróleo); além de utilizada intensamente para navegação, outro fator contribuinte foi os incrementos na salinidade e temperatura promoveram maior solubilidade de metais, diminuindo sua concentração nos sedimentos,

influenciando outros fatores na fixação ou mobilização de metais em sedimentos costeiros, como as condições redox e de acidez, que determinarão a estabilidade dos compostos envolvidos na retenção dos contaminantes.

Dentre os metais analisados, o que apresentou concentrações elevadas no maior número de pontos foi o cádmio, seguido de cobre, cromo e níquel. Além disso, os estudos demonstraram a existência de uma diferenciação dos pontos P20, P22 e P23 quando comparados aos demais, tanto em relação aos maiores teores de metais quanto às maiores frações de matéria orgânica e de partículas finas (silte e argila), corroborando com o fato de que os sedimentos que tem mais potencial para adsorção de contaminantes são aqueles formados por partículas finas e com grande concentração de matéria orgânica. Nos outros pontos, no que diz respeito ao teor de metais, embora as concentrações não sejam tão elevadas quando as da região do estuário, estão presentes metais altamente tóxicos.

Quando se compara estes resultados com aqueles obtidos por Almeida (2007), observa-se que houve variação expressiva, tanto espacial quanto temporal, principalmente quando se considera as concentrações de Cd, Cr e Cu, que tiveram um aumento significativo após o período de 11 anos. Estes fatores podem ser significativamente influenciados por variações sazonais na temperatura e na pluviosidade levando em consideração que as coletas foram feitas em sazonalidades diferentes. Não obstante, as oscilações temporais no aporte antrópico de elementos-traço também podem contribuir para a variabilidade sazonal das concentrações destes contaminantes nos sedimentos e também pode estar relacionado a expansão das atividades petrolíferas, principalmente a disposição de material descartado de perfurações.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível diagnosticar a qualidade dos sedimentos da bacia do rio Apodi-Mossoró, como pode ser resumido a seguir:

- Quanto ao perfil granulométrico, a maioria dos pontos apresentaram predominância de areia, exceto o ponto P19, que apresentou maior teor de argila, seguido dos pontos P20 e P22;
- As percentagens de matéria inorgânica foram superiores em quase todos os pontos, exceto no ponto P22, que apresentou um teor de matéria orgânica superior ao de matéria inorgânica; e os pontos P6, P20, e P23 apresentaram um teor de aproximadamente 10% de matéria orgânica;
- As maiores concentrações de metais, em geral, foram obtidas nos pontos onde os sedimentos apresentaram granulometria mais fina e maior concentração de matéria orgânica;
- As concentrações elevadas de metais foram obtidas em regiões de elevado desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais;
- Em relação à determinação de metais, quando comparado com a Resolução CONAMA 454/2012, observou-se que somente o cádmio foi considerado acima dos limites máximos permitidos em todos os pontos avaliados; mas quando comparado com os valores internacionais, verificou-se que o ambiente está altamente poluído por cádmio, cromo e cobre;
- Quando comparado aos valores encontrados há 11 anos atrás, verificou-se que houve redução na concentração de cobre, mas aumento principalmente dos metais cádmio e cromo.
- Estes fatores de variações podem estar relacionados a sazonalidade na temperatura e na pluviosidade levando em consideração que as coletas foram feitas em sazonalidades diferentes.
- Enfim, a pesquisa apresentou resultados preocupantes visto que a concentração de metais tóxicos aumentou com o passar dos anos, indicando má qualidade do

ecossistema aquático da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, enfatizando o risco de biomagnificação dos contaminantes ao longo da cadeia trófica.

- Investigações mais detalhadas e monitoramento periódico das águas devem ser conduzidos, assim como a fiscalização e o desenvolvimento de políticas públicas devem ser implementados imediatamente para a sustentabilidade desse recurso natural.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. Removal of heavy metals from wastewaters by aluminosilicate. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 6, p.1145-1154, 15 maio 2002.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: Wiley Sons, 1995.
- ALMEIDA, R. S. **Distribuição de metais em sedimentos do Rio Apodi-Mossoró/RN - Brasil**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Desenvolvimento em Meio Ambiente, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2007.
- AMBIENTE BRASIL. Água no Brasil. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/recursos_hidricos/agua_no_brasil.html. Acesso em: 14 de maio de 2015.
- ANA – AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014**. Brasília: ANA, 2014. 110 p.
- ANDRADE, S. O. *et al.* Patentes relacionadas a manutenção e/ou recuperação da qualidade de água. **Informativo Técnico do Semiárido**, Pombal, v. 8, n. 2, p.04-07, dez. 2014.
- APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the examination of water and waste-water**. 25. ed. New York: McGraw-HILL, 1995. 720p.
- ARAUJO, J. B. S.; PINTO FILHO, J. L. O. Identificação de fontes poluidoras de metais pesados nos solos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN, na área urbana de Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 2, p.80-94, jun. 2010.
- AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. M. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Atheneu, 2003. 554 p.
- BELO, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu. **Química Nova**, Guarapuava, v. 33, n. 3, p.613-617, mar. 2010.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução a Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- BRITO, C. F. **Avaliação dos efeitos da construção do rodoanel na qualidade da água e sedimento da represa do Parque Pedroso, Santo André-SP. Estudo geoquímico de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), metais e elementos traço com vistas ao abastecimento público**. 2014. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência, Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2014.
- BUENO, P. C.; RODRIGUES, J. C. LEMOS, A. F.; MALASPINA, F. G.; MATSUI, C. T.; ROHLFS, D. B. Exposição humana a mercúrio: subsídios para o fortalecimento das ações de vigilância em saúde. **Revista Cad. Saúde Colet.** v. 19, n. 4, p. 443-7, 2011.
- CALA, V.; CASES, M. A.; WALTER, I. Biomass production and heavy metal content of *Rosmarinus officinalis* grown on organic waste-amended soil. **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 62, n. 3, p.401-412, ago. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.007>.

- CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 3, p.547-565, dez. 2011.
- CAPITANI, E. M. Diagnóstico e tratamento da intoxicação por chumbo em crianças e adultos. **Revista Medicina**, Ribeirão Preto, v. 42, n 3, p.319-29, 2009.
- CASTRO, S. V. **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do Alto Rio das Velhas-MG**. 2006. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- CHURCH, T. M.; SCUDLARK, J. R. **Trace metals in estuaries**. Ann Arbor: Ann Arbor Press, 1998.
- COELHO, T. L. **Estudos de adsorção de Cobre (II) em microesferas de quitosana reticuladas com epiclorigrina e impregnadas com heparina**. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 420/2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 28 de dez 2016.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 454/2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 28 de jul 2016.
- COTTA, J. A. O. **Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência, Química Analítica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - PETAR, São Paulo, Brasil. **Revista Química Nova**, v.29, p.40-45, 2006.
- CRUCHO, M. R. S. M. **Avaliação de micro e macro elementos, elementos Tóxicos (Cd, Hg e Pb) e ácidos graxos, em peixes disponíveis comercialmente para consumo em Cananéia e Cubatão, Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência, Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2009.
- CUNHA, D. G.F.; CALIJURI, M.C. 2008. Comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados no sedimento de dois sistemas lóticos do Vale do Ribeira de Iguape, SP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 24-40, Ago. 2008.
- DENAIX, L; SEMLALI, R.m; DOUAY, F. Dissolved and colloidal transport of Cd, Pb, and Zn in a silt loam soil affected by atmospheric industrial deposition. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 114, n. 1, p.29-38, ago. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0269-7491\(00\)00204-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00204-9).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- FÖRSTNER, U. **Biogedynamics of Pollutants in Soils and Sediments**. Berlim: Springer, 1995.

- FORTUNATO, J. M. **Comportamento dos íons chumbo, cobre, níquel e zinco em áreas de manguezal associado a antigo lixão do Município de Santos-SP.** 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo Instituto de Geociência, São Paulo, 2009.
- FROHLICH, M. F.; NASPOLINI, B. F.; VOLSCHAN JR., I. A evolução do processo de avaliação e gerenciamento de material relacionado às atividades de dragagem no Brasil: Uma análise comparativa entre as Resoluções CONAMA n° 344/04 e n° 454/12. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.131-140, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000123410>.
- GOMES, J. L.; BARBIERI, J.C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAPE.BR**, São Paulo, v. 2, n. 3, p.1-21, Dez. 2003.
- GONÇALVES, R. M.; GONÇALVES, J. R.; FORNÉS, N. S. Cádmio no leite materno: concentração e relação com o estilo de vida da puérpera. **Revista Brasileira Ginecol Obstet.** v. 32, n. 7, p. 340-5, 2010.
- JESUS, H. C. *et al.* Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, Espírito Santo, v. 27, n. 3, p.378-386, fev. 2004.
- JESUS, J.; SANTOS, S.; RODRIGUES, A. L. Metais pesados na água. **Revista Lusófona de Ciência e Medicina Veterinária**, Campo Grande, v. 3, n. 27, p.378-386, abr. 2011.
- JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita–influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004.
- LACERDA, L. D. **Projeto INCT-TMCOCEAN**, 2010. Disponível em: <http://www.incttmcocean.com.br/zonacosteira.html>. Acesso em: 5 mai. 2016.
- LACERDA, L. D.; VAISMAN, A. G.; MAIA, L. P. Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast. **Aquaculture**, [s.l.], v. 253, n. 1-4, p.433-446, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.09.005>.
- LEINZ, V.; AMARAL, E. **Geologia Geral**. 13ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1998. 400 p.
- LEVINTON J. S. **Marine Biology: function, biodiversity, ecology**. Oxford: Oxford University Press, 1995. 576 p.
- LIMA, V. F.; MERÇONVOL, F. Metais Pesados no Ensino de Química. **Rev. Química nova na escola**, v. 33, n. 4, p. 99-105, 2011.
- MAFFAZZIOLI, T. F. **Eficiência de ensaios ecotoxicológicos na detecção de toxicidade em efluentes de refinaria de petróleo.** 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia, Departamento de Centro de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011.
- MARTINS, C. A. S. *et al.* A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 3-4, p.383-391, 24 nov. 2010.

- MARTINS, C. *et al.* A importância do consumo sustentável da água. **Revista Eletrônica Acadêmica da Faceca**, v. 1, n. 13, 2015.
- MARTINS, D. F. F. *et al.* Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi /Mossoró: I - Variabilidade espacial. In: Congresso Norte Nordeste de Química, 1., 2007, Natal. **Anais**. Natal: CNNQ, 2007.
- MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MELO, W. J. **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em Solo Agrícola**. Jaboticabal: FCA, 2015. 98 p
- MILANEZ, B. Co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 9., 2007, Curitiba. **Anais**. Curitiba: ENGEMA, 2007. 17 p.
- MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Rev. Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p.370-374. Jun. 2002
- MORAIS, L. A. *et al.* Monitoramento espaço temporal da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN. In: Congresso Norte Nordeste de Química, 3., 2009, São Luís. **Anais**. São Luís: CNNQ, 2009.
- MOREIRA, F.R; MOREIRA, J.C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rer. Panam Salud Publica**, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004.
- MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá - DF. **Química Nova**, [s.l.], v. 26, n. 6, p.812-820, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422003000600006>.
- MOZETO, A. A. *et al.* Weakly-bound metal and total nutrient concentrations of bulk sediments from some water reservoirs in São Paulo, SE Brazil. In: MUNAWAR, M. (ed.). *Sediment Quality Assessment and Management: Insight and Progress*. Ecovision Monograph Series, 2003. p. 221-239.
- MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 2, p. 83-100, 2006.
- NASS, D. P. O Conceito de Poluição. **Revista Eletrônica de Ciências**. v. 1, n. 13, Nov. 2002. Disponível em: http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html. Acesso em: 23 Abr. 2016.
- NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, [s.l.], v. 392, n. 6676, p.559-559, 9 abr. 1998. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/333308>.
- NRIAGU, Jerome O.; PACYNA, Jozef M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. **Nature**, [s.l.], v. 333, n. 6169, p.134-139, 12 maio 1988. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/333134a0>.
- NUNES, Rachel de Moura; OLIVEIRA, Rafael Montanhini Soares de; BENINI, Sandra Medina. Avaliação do risco do cromo presente no lodo de indústrias de curtume. 8. ed. Alta Paulista: Enap, 2012. 222 – 233 p. 12 v.

- OLIVEIRA, Dirce Martins. Avaliação da qualidade das águas utilizando índices ambientais e um estudo de metais em águas, sedimentos e macrófitas no Lago do Amor. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2005
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.807-812, 2001.
- OLIVEIRA, Thiago Mielle Brito Ferreira; SOUZA, Luiz di; CASTRO, Suely Souza Leal de. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró/RN - Brasil. **Eclética Química**, São Paulo, v. 34, n. 3, p.17-26, 2009
- PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p.465-473, 13 jan. 2000.
- PEREIRA JUNIOR, J. S. **Recursos Hídricos-Conceituação, Disponibilidade e Usos**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2004. 25 p.
- PETTA, R. A. *et al.* Análise da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró no contexto de alterações ambientais e socioeconômicas ligadas a exploração do petróleo. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 4., 2007, Campinas. **Anais**. Campinas: PDPETRO, 2007.
- PINO, G. A. H. **Biossorção de Metais Pesados Utilizando Pó da Casca de Coco Verde (Cocos nucifera)**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da Puc-Rio., Rio de Janeiro, 2005.
- POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. Porto Alegre. 2005. 137f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.
- RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do rio são francisco no segmento entre três marias e Pirapora – MG: metais pesados e atividades antropogênicas**. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.
- ROCHA, A F. **Cádmio, Chumbo, Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública?** 2009. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Nutrição, Faculdade de Ciência da Nutrição e Alimentos, Porto, 2009.
- ROCHA, A. B.; SALES, V. C. C.; SALES, M. C. L. Geoambientes, Uso e Ocupação do Espaço no Estuário do Rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Nordeste Brasil. **Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p.60-75, nov. 2011
- RUPPENTHAL, J. E. **Toxicologia**. Santa Maria: UFSM, Rede e-Tec Brasil, 2013. 128 p.
- SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2., 2004, Campinas. **Anais**. Campinas: Anppas, 2004. v. 1, 18 p.

SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **Programa Água Azul, 1.º Relatório Trimestral: TOMO I - Monitoramento da qualidade das águas superficiais no período de julho a agosto de 2014.** Natal: SEMARH, 2015.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos hídricos.** 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica / Agência Nacional de Águas, 2001.

SHUGAIR, M. S. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no Estado do Paraná.** 2002. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2002.

SILVA, L. B. C. **Avaliação espaço-temporal de metais pesados no rio Paraíba do Sul e Rio Iimbé por meio de plantas de eichhornia crassipes (mart.) solms (aguapé), séston e sedimento.** 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos do Goytacazes, 2008.

SILVA, M.L.S.; VITTI, G.C. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p.1385-1391, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000600021>.

SILVÉRIO, P. F. *et al.* Release, bioavailability and toxicity of metals in lacustrine sediments: A case study of reservoirs and lakes in SE Brazil. **Aquat Ecosyst Health Manag**, v.8, n.3, p. 313-322, 2005.

TALLINI, K. **Metodologia de avaliação de risco ecológico em ambiente aquático a partir de evidências químicas, biológicas e ecotoxicológicas.** 2010. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 2010.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas.** 2º Ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p.

THOMAS, R. L. A. Protocol for the selection of process-oriented remedial options to control in situ sediment contaminants. Ecological effects of in situ contaminants. **Hydrobiol**, v.149, p.247-258, 1987.

TSUTIYA, M. T. Metais pesados: O principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: CBESA, 1999. p. 753 - 761.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez.** São Carlos: Ed. Rima, 2003. 255 p.

WALKER, David J; CLEMENTE, Rafael; BERNAL, M.pilar. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. **Chemosphere**, [s.l.], v. 57, n. 3, p.215-224, out. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.05.020>.

WWF – WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Cadernos de Educação Ambiental Água para Vida, Água para Todos: Livro das Águas.** Brasília: WWF, 2006. 72 p.

ZAVARIZ, C.; GLINA, D. M. R. Efeitos da exposição ocupacional ao mercúrio em trabalhadores de uma indústria de lâmpadas elétricas localizada em Santo Amaro, São Paulo, Brasil. **Revista Cad. Saúde Públ.** v. 9, n. 2, p. 117-129, 1993.