



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E
RECURSOS AQUÁTICOS TROPICAIS

**AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DOS METAIS
PESADOS NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO FURO DA LAURA,
AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL.**

MAURICIO WILLIANS DE LIMA

BELÉM/PA
Fev/2014

MAURICIO WILLIANS DE LIMA

**AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DOS METAIS
PESADOS NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO FURO DA LAURA,
AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós – graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos.

BELÉM

2014

Lima, Mauricio Willians de

Avaliação da distribuição sazonal e espacial dos metais pesados nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Amazônia Oriental, Brasil. / Mauricio Willians de Lima. - Belém, 2014.

96 f.

Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2014.

1. Níquel 2. Ferro 3. Vigia – Município 4. Impactos ambientais I. Título.

CDD – 546.22



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E
RECURSOS AQUÁTICOS TROPICAIS

MAURICIO WILLIANS DE LIMA

**AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DOS METAIS
PESADOS NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO FURO DA LAURA,
AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL.**

Data: 27 / 02 / 2014

Banca Examinadora:

Orientador: Prof^a. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos.
Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos – ISARH/UFRA

Titular: Prof. Dr. Raimundo Aderson Lobão de Sousa
Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos – ISARH/UFRA

Titular: Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta
Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos – ISARH/UFRA

Titular: Prof. Dr. Maamar El Robrini
Instituto de Geociências – IG/UFPA

BELÉM
2014

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho as minhas mães
Cristiane de Assis Aquino de Lima e
Marta Lucia do Socorro Lima*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, na qual sempre recorri nos momentos de dificuldade.

Ao Programa de Pós Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais pela oportunidade e capacitação e a CAPES pelo apoio financeiro durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa.

Ao coordenador do programa Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo pela oportunidade no projeto e disponibilização do Laboratório de Ecologia Tropical (LECAT-UFRA).

A minha orientadora, Prof^a. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos pela oportunidade, excelente orientação, paciência e dedicação e todo apoio logístico no Laboratório de Química Ambiental (LQA-UFRA).

Ao Instituto Evandro Chagas do Pará (IEC-PA) e ao Laboratório de Oceanografia Química (LOQ-FPA) pela parceria e apoio nas análises, em especial ao Kelson e Igor Charles, respectivamente.

Aos meus pais, Cristiane de Assis Aquino de lima, Marta Lucia do socorro lima e Afonso Quaresma de Lima, que sempre me apoiaram e possibilitaram chegar aonde cheguei, sempre incentivando ao estudo.

Ao meu tio Aquino e ao amigo Osias Pimenta que são minha referência.

Aos irmãos Cristiana, Nelson, Pedro, André e demais familiares.

A minha namorada Danielle Moura, que me apoiou nos momentos finais deste trabalho, sempre me incentivando e me equilibrando emocionalmente.

A todos do grupo LECAT (Laboratório de Ecologia Aquática e Aquicultura tropical), em especial ao Anderson Mangas, Djair Montelo, Saymon Matos e Caio Lourenço pela significativa contribuição nas coletas e pela amizade.

Aos colegas do LQA (Laboratório de Química Ambiental) em especial a Franciane Vieira, Carol e Raquel, pelo companheirismo e troca de informações nesses dois anos.

RESUMO

Uma das grandes preocupações ecológicas da atualidade refere-se aos impactos ambientais provocados pela liberação natural e, principalmente antrópica de compostos químicos, podendo gerar inúmeras consequências tanto ao ambiente quanto para a biota. O Furo da Laura é o principal curso d'água do município de Vigia (PA), com grande extensão, fluxo diário de embarcações e acentuada urbanização na margem direita, despejando diariamente esgotos domésticos nesse estuário, podendo levar a deterioração da qualidade da água e sedimento. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição sazonal e espacial dos metais pesados nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Amazônia Oriental, qualificando e quantificando a presença ou grau de contaminação desses elementos. Para tal, foram analisados a composição granulométrica, teor de matéria orgânica e distribuição dos metais Al, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Ni, Mg na camada sedimentar. Os sedimentos foram coletados mediante o uso de uma draga Ekman-Birge em quatro pontos no Furo da Laura, nos meses de setembro e novembro de 2011 e, janeiro, março, maio e julho de 2012. A análise granulométrica foi realizada a laser mediante o uso do equipamento shimadzu, modelo SALD-2201, o teor de MO foi obtido por titulação e os metais foram determinados por espectrometria de emissão ótica com plasma induzido (ICP OES), modelo vista- MPX CCD simultâneo. O sedimento do Furo da Laura foi predominantemente arenoso. A matéria orgânica teve teores médios inferiores a 10 %, sendo classificada como do tipo mineral. Em relação aos metais pesados, os sedimentos mostraram-se impactados por Cd, Cr, Ni e Fe. A área estudada mostrou ser um ambiente dinamizado pelos efeitos da sazonalidade, hidrodinâmica e influência da Baía do Marajó, além de apresentar indícios de contribuição antrópica de metais pelo município de Vigia.

Palavras chaves: Níquel, Ferro, Vigia.

ABSTRACT

On the present days, one of the biggest ecologic worries is related with the environmental impacts provoked by the natural release and, mainly of anthropogenic chemical compounds, can engender numerous consequences for both environments as for the bodies. The Furo a Laura is the principally water curse from Vigia city (PA), with big extension, daily flow of vessels and marked urbanization on the right border, overflow daily domestic sewer on this estuary, that can deteriorate the quality of the water and sediment. On this way, the objective of the present work is to value the heavy metals of superficial sediments seasonal distribution and spatial from Furo da Laura, Oriental Amazon, qualifying and quantifying the presence or the contamination degree of these elements. For this, the particle size composition were analyzed, the organic matter content and the distribution of the metals Al, Cu, Co, Cd, Cr, Fe, Ni, Mg on the sedimentary layer. The sediments were collected through the using of Ekman-Birge dredger in four locations on Furo da Laura, between September and November of 2001 and, January, March, May and July of 2012. The particular size analyzer were realized by using the shimazu laser equipment, SALD-2201 exemplar, the MO content were obtained by titration and the metals were determined by optical emission spectrometry with induce plasma, (ICP OES), vista-MPX CCD exemplar simultaneous. The Furo da Laura's sediment was san, predominantly. The organic matter had lower average levels than 10%, being classified as a kind of mineral. Compared to the heavy metals, the sediments demonstrate impacted by Cd, Cr, Ni and Fe. The studded area demonstrate being a streamlined by the seasonal effects, hydrodynamic and Baía do Marajó influence, besides submitted evidences of anthropic contribution of metals from Vigia's city.

Keywords: Nickel, Iron, Vigia.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município de Vigia-PA	26
Figura 2- (a) Furo do Maguari adaptado de Pimentel, Oliveira e Rodrigues (2012) e (b) Furo da Laura.	28
Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de coleta	30
Figura 4- Variação sazonal do regime pluviométrico (mm), indicando média climatológica de chuvas, correspondente aos últimos 31 anos (1982-2012), e a média mensal referente ao ciclo anual de coletas (Set./2011 a Jul./2012), retiradas da Agência Nacional de Águas.....	32
Figura 5 – (a) Embarcação e (b) Draga Ekman-Birge utilizada para amostragem de sedimentos no Furo da Laura.....	32
Figura 6 - Cadinho com amostras de sedimentos na secagem em estufa.....	34
Figura 7-(a) Oxidação das amostras de sedimentos com Peróxido de Hidrogênio; (b) Centrifugação das amostras de sedimentos em Laboratório.....	35
Figura 8 – (a) Homogeneização das amostras de sedimentos em tubos e (b) no erlenmeyer.	35
Figura 9 –(a) e (b) Análise granulométrica a laser no shimadzu, modelo SALD-2201.	36
Figura 10- Peneira de aço-inox com malha de 63 µm utilizada no peneiramento das amostras de sedimentos.	37
Figura 11- (a) Pesagem das amostras de sedimentos em tubos de teflon; (b) aquecimento em micro-ondas.	38
Figura 12 - Amostras de sedimentos digeridas.	39
Figura 13 – Determinação da concentração de metais pesados por ICP-OES.	40
Figura 14 – (a) Calibração do branco Figura; (b) Plotagem dos pontos de detecção.	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- “BoxPlot” com percentagens das frações granulométricas areia, silte e argila encontrados no Furo da Laura, Vigia (PA).....	44
Gráfico 2- Granulometria nos pontos de amostragens em (a) setembro de 2011, (b) novembro de 2011, (c) janeiro de 2012, (d) março de 2012, (e) maio de 2012, (f) julho de 2012.....	46
Gráfico 3- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de matéria orgânica encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura, Vigia (PA).....	47
Gráfico 4- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de matéria orgânica encontrados no Furo da Laura, Vigia (PA).	48
Gráfico 5- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de alumínio encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	52
Gráfico 6- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de alumínio encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).	52
Gráfico 7- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cádmio encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	54
Gráfico 8- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cádmio encontrada no Furo da Laura (Vigia/PA).	55
Gráfico 9- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cobalto encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	56
Gráfico 10- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cobalto encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).	57
Gráfico 11- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cobre encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	59
Gráfico 12- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cobre encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).	60
Gráfico 13- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cromo encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	62
Gráfico 14- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cromo encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).	63
Gráfico 15- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de ferro encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	65
Gráfico 16- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de ferro encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).	66
Gráfico 17- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de níquel encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).....	68
Gráfico 18- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de níquel encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).	69
Gráfico 19- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de magnésio encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura, Vigia-PA.	71
Gráfico 20- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de magnésio encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).....	71
Gráfico 21- Análise dos componentes principais.	75

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 ESTUDO DE METAIS PESADOS NO MUNDO.....	17
3.2 ESTUDO DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS NO BRASIL.....	19
3.3 ESTUDO DE METAIS PESADOS NA REGIÃO NORTE	22
3.4 ESTUDO DE METAIS PESADOS NO FURO DA LAURA	24
5. ÁREA DE ESTUDO	25
5.1 O MUNICÍPIO DE VIGIA.....	25
5.2 LOCALIZAÇÃO.....	25
5.3 GEOLOGIA E RELEVO	26
5.4 HIDROGRAFIA	27
5.5 VEGETAÇÃO.....	28
5.6 CLIMA.....	29
6. MATERIAL E MÉTODOS	30
6.1 DESENHO AMOSTRAL.....	30
6.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS.....	32
6.3 ETAPAS DE LABORATÓRIO	33
6.3.1 Lavagem dos sedimentos	33
6.3.2 Secagem e Quarteamento	33
6.3.3 Granulometria	34
6.3.4 Carbono orgânico total	36
6.3.5 Peneiramento	37
6.3.6 Determinação dos Metais Pesados	37
6.3.6.1 Digestão das Amostras de Sedimentos	38

6.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	42
6.4.1 Análise de dados	42
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
7.1 GRANULOMETRIA	43
7.2 MATÉRIA ORGÂNICA	47
7.3 METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS FINOS	49
7.3.1 Alumínio (Al)	51
7.3.2 Cádmio (Cd)	53
7.3.3 Cobalto (Co)	56
7.3.4 Cobre (Cu)	58
7.3.5 Cromo (Cr)	61
7.3.6 Ferro (Fe)	65
7.3.7 Níquel (Ni)	68
7.3.8 Magnésio (Mg)	70
7.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	72
8. CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

Existe uma preocupação global com a preservação dos recursos naturais e os possíveis efeitos deletérios que resultam na contaminação do solo, sedimento e água (FONTES et al., 2001; CARNEIRO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002). Os processos de contaminação, iniciado concomitantemente às primeiras atividades antrópicas sobre o ambiente, teve um crescimento expressivo com o aumento da urbanização, surgimento da indústria e conseqüente aumento no consumo de energia e matéria-prima (OLIVEIRA; MARINS, 2011), ocasionando vários problemas para o meio ambiente, entre eles a contaminação dos corpos d'água por resíduos orgânicos e inorgânicos produzidos pela sociedade (MELO-JUNIOR et al., 2011).

Nesse contexto, uma atenção especial deve ser dada aos componentes químicos responsáveis por inúmeras reações e processos biológicos, tais como os macronutrientes (carbono, nitrogênio, fósforo) e os micronutrientes (metais traços), presentes no ambiente aquático, principalmente na camada sedimentar.

As áreas na zona costeira de intensa atividade de processos biogeoquímicos envolvendo o carbono e nutrientes são um dos principais focos de interesse de pesquisas (SOUZA et al., 2012), principalmente se tratando do carbono por estar relacionado à regulação térmica e equilíbrio do planeta.

O carbono é considerado um dos principais componentes da matéria orgânica, sendo que o conteúdo de carbono presente nos sedimentos depende, entre outros, da taxa de degradação microbiana, da produtividade da coluna de água e das entradas de material alóctone provenientes dos solos marginais (SIQUEIRA; APRILE, 2013).

Em relação aos metais pesados, pode-se destacar sua essencialidade, dependendo da espécie e sua toxicidade quando encontrados em altas concentrações, dessa forma, desempenhando uma dupla função na fisiologia dos organismos. Enquanto alguns são indispensáveis para a vida, outros são tóxicos, podendo afetar a atividade das espécies levando à perda de funções vitais, deformidade de órgãos e, em alguns casos, à morte (VANDECASTEELE, 1997).

Os metais Zn, Cu e Mn são considerados essenciais do ponto de vista biológico (GUILHERME et al., 2005), enquanto que, os metais Hg, Pb, Cd, Ag, Ni, e Sn, não apresentam função biológica conhecida e são tóxicos a uma grande variedade de organismos. Mesmo aqueles elementos com função biológica definida,

podem, quando em grandes concentrações, apresentar alta toxicidade aos organismos vegetais e animais (ESTEVES, 1998).

Na natureza, em condições normais, os metais ocorrem em baixas concentrações (NIENCHESKI; MILANI; MILANI, 2008). Quanto à distribuição, os metais encontram-se em diferentes frações do solo ou sedimento, alterando seu comportamento e regulando a variação do risco ambiental, onde sua periculosidade é governada pela forma como é encontrado. A entrada na cadeia alimentar através de sua absorção pelas plantas só é possível se estiverem dissolvidos ou na forma trocável, em solução, nas frações do sedimento ou do solo. Metais precipitados, oclusos, complexados ou residuais (presentes na estrutura mineral) oferecem menor risco ambiental (MONTEIRO, 2006).

Quanto à mobilidade, Pb, Cr e Cu são menos móveis e acumulam-se na superfície do solo. Os metais Zn, Mg, Ni e Cd são mais móveis apresentando maior risco de contaminação (MONTEIRO, 2006). No meio ambiente, a mobilidade e a toxicidade do metal depende do estado de oxidação e da estrutura química da espécie metálica (HUNG; NEKRASSOVA; COMPTON, 2004).

Nos ecossistemas aquáticos, os metais pesados são distribuídos nos diversos compartimentos como: solo, sedimento, plantas e animais. Especificamente no caso dos sedimentos, a literatura mostra que este compartimento funciona como um sistema de estoque de poluentes (FILGUEIRAS; LAVILLA; BENDICHO, 2004). Quando acumulados em organismos aquáticos podem ser subsequentemente transferidos para o homem, por meio da cadeia alimentar (GUHATHAKURTA; KAVIRAJ, 2000).

Por sua vez, a biota aquática é capaz de concentrar os metais pesados em várias ordens de grandeza acima das concentrações encontradas na coluna d'água, e a ciclagem biológica dos metais pesados no ambiente marinho passa, portanto, a desempenhar um papel importante na dinâmica desses poluentes (KEHRIG et al., 2001).

No entanto, a contaminação do meio aquático por metais pesados não pode ser avaliada, baseando-se exclusivamente nos teores encontrados na água. Devido à proximidade das relações entre a qualidade dos sedimentos e a qualidade da água, sedimentos contaminados podem funcionar como uma fonte de poluição ambiental difusa de longa duração, mesmo que a poluição da água seja consideravelmente reduzida (VIVES et al., 2002).

Segundo Jesus et al. (2004), os sedimentos são importantes na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, devido não só a sua capacidade em acumular elementos-traço, mas, também, por serem reconhecidos como transportadores e possíveis fontes de contaminação, já que tal compartimento ambiental pode liberar espécies contaminantes. No sedimento, quando presentes em grandes concentrações, podem ou não ocasionar efeitos sobre os organismos aquáticos, dependendo de vários fatores que afetam a sua biodisponibilidade e toxicidade (CHASIN; AZEVEDO, 2003).

Para Cotta, Rezende e Piovane (2006), níveis elevados desses íons metálicos merecem maior preocupação, principalmente por serem não degradáveis, permanecendo por longos períodos no ambiente, principalmente nos sedimentos.

Os fenômenos de acúmulo e de redistribuição de espécies nos sedimentos qualificam-nos como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação. A determinação de metais-traço em sedimentos permite quantificar o estoque mobilizável de um determinado contaminante em um local específico e, assim, detectar o grau de contaminação a que a água e os organismos bentônicos estão sujeitos ao longo do tempo (SEILER, 1988; COTTA; REZENDE; PIOVANE, 2006).

Como os sedimentos são levados pelos rios para outro curso de água ou para o mar, as análises dos sedimentos em vários pontos de uma região de interesse servem para rastrear fontes de contaminação ou monitorar esses contaminantes (Pereira et al., 1998). Nos últimos anos, têm aumentado os estudos sobre metais pesados presentes em sedimentos, não mais como um reservatório ou ambiente de deposição de espécies químicas, mas como um compartimento aquático ativo que desempenha um papel fundamental na redistribuição dessas espécies à biota aquática (COTTA; REZENDE; PIOVANE, 2006).

Desta forma, presente trabalho objetivou: 1) avaliar a distribuição sazonal e espacial dos metais pesados Al, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Ni, Mg nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, qualificando e quantificando a presença ou grau de contaminação, com base nos índices de referência para qualidade de sedimentos; 2) caracterizar as frações granulométricas e teores de matéria orgânica dos sedimentos superficiais.

O Furo da Laura é um estuário situado na microrregião do salgado, nordeste do Pará, configurado por inúmeras micro bacias na parte leste (Vigia) e

oeste (Colares), com macro marés do tipo semidiurna sobre efeito diário da hidrodinâmica da Baía do Marajó.

Esse estuário é considerado como principal acidente hidrográfico do município de Vigia, com grande extensão, passando ainda por porto salvo, são Raimundo de Borralhos e ao sul do município de Colares. Apresenta fluxo diário de embarcações artesanais e industriais, urbanização acentuada na sua margem direita despejando diariamente os mais variados resíduos domésticos na rede de esgoto, que posteriormente são levados para esse ambiente sem qualquer tratamento prévio, portanto, refletindo a importância do presente estudo.

É válido ressaltar ainda que, na região norte do Brasil, evidencia-se a necessidade do monitoramento desses elementos, devido às poucas informações a respeito do comportamento dos mesmos, principalmente em regiões portuárias. Além disso, o estudo sobre metais pesados nos sedimentos do Furo da Laura, além de inédito na região, ainda pode vir a fornecer informações importantes a respeito do comportamento, distribuição, quantificação e qualidade dos sedimentos da área estudada.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a distribuição sazonal e espacial dos metais pesados nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Amazônia Oriental, Brasil, qualificando e quantificando a presença ou grau de contaminação desses compostos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a granulometria dos sedimentos no furo da Laura;
- Determinar o teor de matéria orgânica nos sedimentos do Furo da Laura;
- Estudar a distribuição dos metais pesados (Al, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Ni, Mg) nos sedimentos do Furo da Laura;
- Avaliar a distribuição sazonal e espacial dos metais pesados estudados e compara-los aos índices referentes à qualidade dos sedimentos;
- Avaliar estatisticamente se houve similaridade ou correlações na distribuição das variáveis na área de estudo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ESTUDO DE METAIS PESADOS NO MUNDO

No mundo, diversos trabalhos abordando a distribuição e bioacumulação de metais foram desenvolvidos nos últimos anos, principalmente se tratando dos sedimentos e sua capacidade de acumulação de metais pesados. Segundo Martins e Oliveira (2011), há uma estreita relação entre a concentração desses elementos na água e sua capacidade de retenção em solo e sedimento.

Fukushima et al. (1992), estudou a contaminação por metais pesados na Baía de Tóquio (Japão), verificaram que a destruição dos metais Cr, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd e Pb eram descarregadas a partir dos rios localizados no extremo noroeste da baía, entretanto, as concentrações mais significativas eram encontradas na desembocadura da baía.

Guyen et al. (1993), estudaram o teor de metais pesados em cinco espécies de algas (*Ulva* e *lactuca L.*, *Enteromorpha compressa L.*, *Cystoseira barbata J.*, *Agardh*, *Scytosiphon lomentaria (Lyngbye) J.*, *Agardh*, *Ceramium rubrum*, uma fanerógama (*Zostera marina L.*) presentes nos sedimentos Bosphorus (Turquia). Concluíram que a fanerógama apresentou teor de metais pesados mais elevado que as algas testadas, com teores sempre mais elevados nos sedimentos que nas fanerógamas e nas algas. Os metais pesados cujo níveis se apresentaram mais elevados nos sedimentos foram cádmio, ferro, cobre e chumbo, no local onde havia fábricas de sapatos e vidros.

Brady et al. (1994), estudaram o teor de metais pesados (cobre e zinco) nos sedimentos marinhos superficiais na região de Cairns da grande barreira de recifes (Austrália). Utilizaram a concentração de ferro como um indicador de material terrestre e o cálcio como um indicador de material calcáreo. Concluíram que a principal fonte do cobre está na região do Porto de Cairns, originado das pinturas à base de cobre e o zinco associado predominantemente com a entrada de efluentes de origem terrestre.

Amim et al. (1996), avaliou a concentração de metais pesados (mercúrio, cobre, cádmio, zinco, ferro e chumbo) em sedimentos superficiais na costa sudeste do Canal de Beagle (Terra do Fogo-Argentina), encontraram concentrações de chumbo e cobre mais elevadas na Baía de Ushuaia, entretanto, ressaltou que a

zona costeira do Canal de Beagle não é impactada por metais pesados, apesar de existir fontes antropogênicas de poluição para o sistema.

Gomez-Parra et al. (2000), estudaram a contaminação por metais pesados no estuário do Guadalquivir, sudoeste da Espanha e, encontraram altas concentrações de Zn e Cd nos compartimentos estuarinos (água, sólidos suspensos e sedimentos), sua origem foi associada ao derramamento por atividades de mineração.

Estudo dos metais pesados em sedimentos estuarinos da costa sudoeste espanhola, Ruiz (2001), revelou que tanto as descargas industriais como as atividades de mineração são as principais fontes de poluição por metais pesados nesses sistemas de transição.

Mora et al. (2004) avaliaram a contaminação por metais em sedimentos costeiros do Mar Cáspio, extremo leste da Europa e extremo oeste da Ásia, constatou que os metais As, Cr e Ni apresentaram concentrações elevadas acima dos valores de referência para diretrizes de qualidade referentes para sedimentos, com origem associada as atividades antrópicas, nomeadamente a mineração.

Em um estudo mais recente sobre o risco de toxicidade de metais pesados em vegetais irrigados com águas residuais de áreas contaminadas em Varanasi (Índia), realizado por Agrawal et al. (2010), foi verificado que as concentrações de Cd, Pb e Ni estavam acima dos limites internacionais permitidos em todos os vegetais e que as altas concentrações estavam associadas a capacidade de absorção de cada vegetal.

Sheela et al. (2012) na avaliação da contaminação por metais pesados em sedimentos de lagos costeiros associados à urbanização, na Índia, verificou que o esgoto doméstico é a principal fonte de cobre e zinco e suas origens podem estar relacionadas as partículas de borracha de pneus de veículos acumulados na superfície das ruas movimentadas.

Rahman et al. (2014), na avaliação da influência antrópica de metais pesados sobre contaminação nos componentes do ecossistema aquático: água, sedimentos e peixes, na Ásia, encontraram índice de geoacumulação para as amostras de sedimentos inferiores a zero, que fora caracterizado como ausente de contaminação, podendo ser usado como um modelo de estudo para avaliar o impacto das atividades antrópicas sobre a contaminação de metais pesados em ecossistemas aquáticos.

3.2 ESTUDO DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS NO BRASIL

O Brasil, assim como nos demais países (Japão, Turquia, Austrália, Índia, etc.), encontra-se em um estágio avançado em relação às pesquisas com elementos traços, entretanto, por apresentar um território bastante heterogêneo, são necessários constantes ações de monitoramento para melhor compreensão da sua distribuição e dinâmica.

Costa e França (1997) avaliaram absorção de metais pesados (zinco, cádmio e cobre) em *Sargassum* spp. usando um reator contínuo de leito fixo de laboratório no Nordeste do Brasil. A absorção seguiu a ordem de $Cu > Cd > Zn$. Os resultados obtidos mostraram uma dissociação máxima de 70,42 %, 73,75 %, 98,67 %, para zinco, cádmio e cobre, respectivamente.

Em um estudo similar sobre a distribuição de metais (chumbo, cádmio, zinco, cromo e cobre) em sedimentos nos manguezais do estuário do Rio Joanes-Bahia, realizado por Santos et al. (1997), avaliou níveis naturais desses metais para atualização como dados de controle e constatou que a área estudada não apresentou risco considerável de agressão ambiental por esses metais.

Brayner (1998) determinou as taxas de retenção de metais pesados (chumbo, zinco, cromo, manganês, ferro e alumínio) por sedimentos orgânicos em viveiros de piscicultura em área estuarina e urbana da cidade do Recife (Pernambuco). Foram realizadas sondagens com trado, ensaios granulométricos e análises de difração de Raios-X, o que permitiu identificar o sedimento estudado. Taxas de retenção mostram que o viveiro atua acumulando os íons metálicos. O cálculo do coeficiente de partição ressalta a tendência do chumbo, zinco e cromo de formar ligações com os ácidos húmicos. O sedimento da área estudada mostrou-se contaminado por zinco e cromo. O ferro e manganês, com mais de um estado de oxidação, apresentaram diferentes constantes de equilíbrio de complexação e liberaram íons para a coluna d'água, por serem mais solúveis na forma divalente que sua forma trivalente. O chumbo, incluindo seu isótopo ^{210}Pb , no sedimento fica na forma complexada associado a ácidos húmicos sendo concebível uma migração ou liberação, enquanto a sílica-S no sedimento anóxico (pH=6-7) está sob a forma insolúvel e não sujeita à migração. Os ácidos húmicos têm poder complexante para o manganês, cobre, chumbo, cromo, zinco e ferro.

Amado-Filho et al. (2001) avaliaram as concentrações de metais pesados em macrófitas marinhas (*Halodule wrightii*) e sedimentos superficiais em três pontos

distintos na Baía de Todos os Santos (Bahia), verificou que o cádmio e cobre são considerados elementos críticos na Baía para as macrófitas.

Nassar et al. (2002) analisaram o efeito das partículas de minério de ferro sobre a concentração de metais pesados (Al, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) da macroalga marrom (*Padina gymnospora*) coletada na baía de Espírito Santo, Brasil. Essas concentrações de metais pesados foram determinadas também em área não contaminada por minério de ferro (Baía do Frade) para comparação com os resultados obtidos no local contaminado. Concluíram que os depósitos de minérios de ferro na alga em estudo pode ser eficientemente removido por raspagem na superfície da planta na presença de uma solução de água do mar e etanol, alcançando uma eficiência de redução para ferro e alumínio de 78 e 50 %, respectivamente. Somente os teores do ferro, alumínio e cobre na *Padina*, depois do tratamento de raspagem e lavagem, foram mais elevados significativamente no local contaminado.

Silva et al. (2005) estudaram os metais pesados ao longo da bacia do rio Mogi Guaçu e constataram nas amostras coletadas em São Paulo altas concentrações de Cu, que podem ser atribuídas aos efluentes provenientes de fábricas de açúcar, couro e papel, além dos pesticidas aplicados na cana-de-açúcar e, em Minas Gerais altas concentrações de Cd e Pb, sendo atribuído ao uso indiscriminado de pesticidas e fertilizantes nas plantações de batata e morango na região de Minas Gerais.

Em uma área industrial em São Paulo, Costa et al. (2008) verificaram que o sedimento fluvial estava contaminado por Cu, Zn, Pb e Cd e a água contaminada por Cu e Cd, o que caracterizou uma contaminação generalizada da área estudada.

Almeida e Souza (2008) estudaram a distribuição espacial de mercúrio total e elementar e suas interações com carbono orgânico, área superficial e distribuição granulométrica em sedimentos superficiais da bacia inferior do rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro), encontraram maiores concentrações de Hg total nas áreas inundáveis do estuário.

Berredo et al. (2008) analisaram sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim (Pará) verificando que os sedimentos são compostos por expressiva fração mineral com baixos teores em metais-traço refletem unicamente a composição mineralógica e química dos sedimentos e solos lateríticos da Formação Barreiras.

Na avaliação de risco ambiental nos sedimento dos lagos do riacho Cambé, em Londrina, Ishikawa et al. (2009), verificaram que os metais pesados com origem antrópica são mais disponíveis que aqueles de ocorrência natural.

Em estudo similar, Silva et al. (2009) estudaram a extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê (São Paulo), encontraram nos sedimentos complexação de polissulfetos e solubilização dos metais pesados, podendo ser considerados preocupantes, visto que, um ambiente rico em sulfetos não representa necessariamente um sumidouro de metais pesados, mas um ambiente potencialmente reativo dessas espécies tóxicas e sujeitas à remobilização.

Gomes et al. (2009) em estudo sobre a contaminação causada por mercúrio nos sedimentos do estuário de Santos (São Paulo), verificaram que esse metal era influenciado pelos efluentes locais e pela circulação de água no sistema, com graves consequências á biota aquática e as comunidades adjacentes.

Belo, Quináia e Pletsch (2010) avaliaram a contaminação de metais pesados em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu, Foz do Iguaçu, constatou moderada contaminação nos sedimentos por alguns metais, podendo afetar o equilíbrio do ecossistema.

Garcia et al. (2010), no estudo de marcadores metálicos como avaliação do impacto crônico de emissões petroquímicas em zona urbana, verificaram que os elementos metálicos Ni e V mostraram ser marcadores muito eficientes do impacto crônico de emissões atmosféricas oriundas de atividades de refino de petróleo. Os usos desses elementos como ferramenta de diagnóstico ambiental mostraram-se bastante eficaz, tanto devido aos custos reduzidos, quanto na reprodutibilidade da dispersão das emissões.

Araújo e Pinto-Filho (2010) em estudo sobre fontes poluidoras de metais pesados nos solos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (RN), verificaram que no perímetro urbano da cidade de Mossoró (RN), possivelmente era contaminado por diversas fontes de poluição de metais pesados (efluentes domésticos e industriais), o que compromete as características naturais e causa diversos danos aos seres vivos.

Em avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do córrego do Ajudante, Salto (São Paulo), Ezaki et al. (2011) constataram que os recursos hídricos superficiais e subterrâneo encontram-se em

processo de deterioração em função de um aterro sanitário localizado nas imediações do córrego do Ajudante e do lançamento de efluentes domésticos.

Cesar et al. (2011) analisaram a distribuição de mercúrio, cobre, chumbo, zinco e níquel em sedimentos de corrente da bacia do rio Piabanha (Rio de Janeiro) e, verificaram que a área sob influência do perímetro urbano de Petrópolis apresentava-se como a mais crítica de contaminação por esses metais pesados.

Pompêo et al. (2013) no estudo sobre biodisponibilidade de metais pesados nos sedimentos de um reservatório tropical urbano de São Paulo, constatou diversos fatores que atuam na disposição, dinâmica, biodisponibilidade e toxicidade dos metais no sedimento da represa Guarapiranga, como: complexação com sulfetos, matéria orgânica, frações granulométricas finas, concentrações de oxigênio dissolvido e valores de EH e pH. Esses fatores sugerem que os metais encontrados não estão biodisponíveis na maior parte da represa Guarapiranga, porém há indícios de contaminação antrópica na região.

Hortellani et al. (2013) avaliaram a concentração de metais nos sedimentos Billings (São Paulo) e concluíram com base nos índices de referências canadenses, que os sedimentos apresentavam indícios de poluição moderada a altamente por metais pesados (Hg, Cu, Ni e Zn), demonstrando que essa poluição pode ser um problema para o reservatório

3.3 ESTUDO DE METAIS PESADOS NA REGIÃO NORTE

Na região norte do Brasil, estudos de metais pesados na água e principalmente na camada sedimentar vêm sendo abordadas em diversos estudos nos últimos anos.

Nascimento (1995) estudou a distribuição dos poluentes metálicos e orgânicos nos sedimentos de fundo dos canais de drenagem de Belém e verificou que esses canais possuíam altas concentrações de metais pesados com tendência em acumular também nas frações mais grossas de sedimentos.

Nascimento e Fenzl (1997) estudaram a geoquímica dos metais pesados em sedimentos do rio Guamá e nos principais canais de drenagem de Belém (Pará), encontrando uma associação dos metais pesados às fases redutíveis e residuais nos canais e, no rio Guamá, ocorriam também a preferência dos metais pesados sobre a fase residual, refletindo sobre uma possível contribuição geoquímica proveniente principalmente do intemperismo das rochas e dos solos.

Ferreira et al. (1998) analisaram os solos de várzea do rio Guamá e constataram um aumento nos teores de fósforo, ferro e manganês solúvel, e decréscimos no teor de alumínio trocável e potencial redox com, sendo associado a influência direta da inundação das águas do rio Guamá e rio Pará.

Na avaliação da influência mineralógica na composição química de metais pesados nos sedimentos pelíticos da Plataforma Continental do Amazonas, Lima et al. (2005) verificaram que os processos geoquímicos atuantes na sedimentação sofrem influência de fatores dominantes de natureza física (hidrodinâmicos, fluviais e oceânicos), físico-química (notadamente, variações de salinidade, pH, Eh, solubilidade, floculação e precipitação) e química (troca iônicas e diagênese, por exemplo), levando o material depositado a apresentar-se complexo, reunindo um conjunto de características autóctones e alóctones. Os resultados obtidos para os metais pesados selecionados (Fe, Mn, Ti, Cr, Co, Ni, Zn), aparentemente, leva a inferir sobre associação predominante às fases geoquímicas menos reativas, seja de origens autóctone (autígena, orgânica, residual) quanto alóctone (reliquiariares e detríticas).

Santana e Barroncas (2007), estudaram os metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM), encontraram através das análises químicas das amostras de água e sedimentos mostraram altos teores de metais pesados (Zn, Co, Ni, Cu, Fe, e Pb), conforme o que é estabelecido pelo CONAMA (resolução 357/2005) e algumas agências internacionais de proteção ambiental de alguns países.

Holanda (2010) estudou os sedimentos de fundo da Baía do Guajará e Baía do Marajó e verificou que na primeira os metais Ba, V, Cr, Zn, Ni, Pb e Cu foram elevados isoladamente, enquanto que na segunda, ocorreram as maiores médias desses elementos. Nos dois estuários os metais tiveram uma leve tendência de se concentrar onde há maior teor de matéria orgânica.

Santos et al. (2012) analisaram a distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém - Pará), verificaram que a distribuição das concentrações de Pb nos sedimentos de fundo do Rio Guamá indicavam um comportamento globalmente homogêneo, sendo que, A matéria orgânica foi preponderante na complexação do Pb apenas para os sedimentos da margem direita.

Oliveira (2012) avaliou a ocorrência de metais pesados nos sedimento da Zona Portuária de Vila do Conde, Barcarena (Pará) e verificou que a área de estudo é impactada por poluentes orgânicos e metálicos, sobretudo nos pontos que correspondem aos piers da zona portuária, sendo associado a grande influencia antrópica, podendo causar impactos adversos no ecossistema aquático local.

Siqueira e Aprile (2013) estudaram o risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém, concluíram que principalmente os íons metálicos Al, Cr, Fe e Ni estão sob influencia da pluma de chorume do lixão do Aura, existente na cabeceira dessa bacia.

3.4 ESTUDO DE METAIS PESADOS NO FURO DA LAURA

Na área de estudo, foram desenvolvidas diversas pesquisas nos últimos anos por Santos (2007); Ramos (2007); Mourão et al. (2007); Silva et al. (2008); Santos e Bastos (2008); Almeida et al. (2008); Cardoso (2009); Sousa-junior (2010); Barros et al. (2011); Silva et al. (2012); Araujo (2013); Guimarães et al. (2013, entretanto, nenhum com enfoque ou abordagens relacionadas aos metais pesados nos sedimentos, dessa forma, o presente trabalho está sendo considerado pioneiro em explorar esse tema no município de Vigia.

5. ÁREA DE ESTUDO

5.1 O MUNICÍPIO DE VIGIA

O município de Vigia de Nazaré é considerado um dos mais antigos do estado do Pará. As origens do município de Vigia remontam à ocupação do território pelos índios Tupinambás que no local fizeram uma aldeia denominada Uruitá. Entretanto, a colonização do território, foi realizada entre os anos de 1645 e 1654. O Governo Colonial percebeu a necessidade de criar um posto fiscal para proteger as embarcações que vinham de Belém. Essa utilidade foi responsável por origem do nome do município de Vigia. Atualmente, o município é constituído pelos distritos de Vigia (sede) e Porto Salvo (IDESP, 2011), com população estimada em 50.055 habitantes ocupando uma área de 539,10 km² (IDESP, 2013).

A economia do município é voltada para os setores da agricultura, pesca, agropecuária e comércio (MOURÃO, PINHEIRO, LUCENA, 2007). Na agricultura, a plantação de banana, café (em grão), côco da Bahia, dendê, laranja, mamão, maracujá e pimenta do reino são de grande importância para economia local (IDESP, 2013).

Em relação à atividade pesqueira, Vigia de Nazaré apresentou uma trajetória crescente da produção para o período de 1995 a 2004 ininterruptamente atingindo, em 2004, a quantidade de 22.223,50t de pescado o que correspondeu a 24,98 % da produção estadual (SANTOS; BASTOS, 2008). O pescado que abastece o município vem, principalmente, da pesca industrial/artesanal local e de alto-mar conservado nas geleiras (IDESP, 2011).

5.2 LOCALIZAÇÃO

O acesso à cidade de Vigia dá-se pela rodovia Br-316 até Santa Izabel do Pará e depois pela PA-140. O Município encontra-se situado entre as coordenadas geográficas 00° 51' S e 48° 08'W, nordeste paraense (BRITO et al., 2002). O município localiza-se a 96 km de Belém.

Vigia é estratégica e privilegiadamente localizado, às proximidades do Oceano Atlântico (figura 01). Está situado na Mesorregião Nordeste Paraense e na Microrregião do Salgado limitando-se com os municípios de São Caetano de Odivelas, Castanhal, Santo Antônio do Tauá e Colares (SANTOS; BASTOS, 2008).

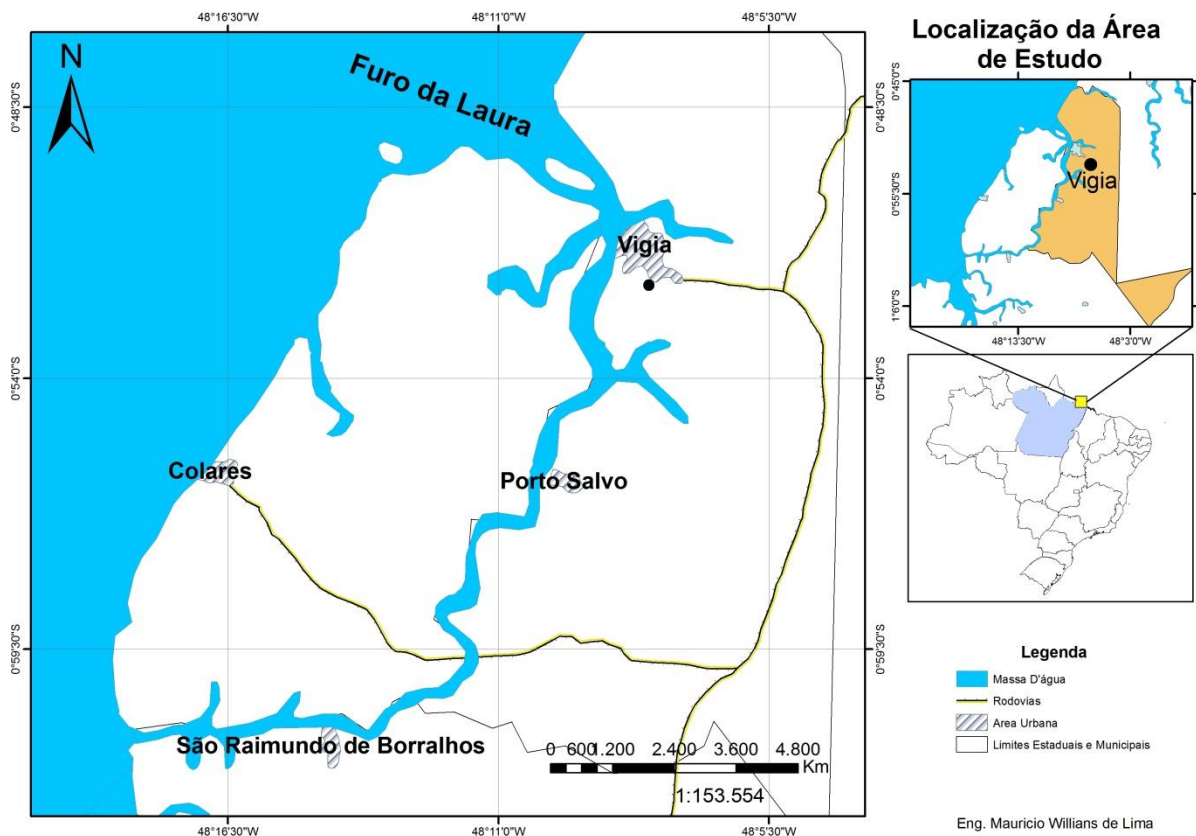


Figura 1 - Mapa de localização do município de Vigia-PA

5.3 GEOLOGIA E RELEVO

No município de Vigia o relevo é suave a suavemente ondulado com 12-14 m da superfície da bacia hidrográfica que banha a localidade (Baía do Marajó e seus afluentes). Neste município estão presentes manchas de latossolo Amarelo distrófico, textura media, e gley pouco úmido distrófico, textura argilosa. Também, há presença do podzol hidromórfico e do latossolo amarelo distrófico, textura média (IDESP, 2011).

No município de Vigia ocorrem sedimentos do Terciário (Formação Barreiras), e do Quaternário. Este último é mais incidente na parte leste da Baía do Marajó (baixadas semi-litorâneas) e, nos terraços e várzeas dos cursos d'água existentes (IDESP, 2011).

A compartimentação do relevo é apenas uma decorrência do modelo da estrutura geológica, constituída pelos tabuleiros ou baixos platôs pediplanados e rebaixados, localizados nas áreas da Formação Barreiras e pelos terraços e várzeas, que constituem os níveis mais baixos, inseridos na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia (do Baixo Amazonas) (IDESP, 2011).

5.4 HIDROGRAFIA

O Furo da Laura é um acidente hidrográfico situado no nordeste do Pará com comprimento aproximado de 43.686 m, na qual, às margens está situada à cidade de Vigia. Segundo Guimarães et al. (2013), esse estuário é fortemente influenciado pelas variações das marés, possuindo águas classificadas como do tipo brancas com altas concentrações de materiais particulados em suspensão.

Para esse furo convergem vários rios e igarapés do Município, tais como o rio Bituba ou Patauateua, que serve de limite com o Município de Santo Antônio do Tauá; o rio Baiacu, ao sul; o rio Guarimã e seus afluentes, entre os quais o Santa Maria (margem esquerda) e o Curuçazinho (margem direita); e o rio Açaí. desaguardo no Atlântico há o rio Barreta, que serve de limite nordeste com o Município de São Caetano de Odivelas. Há, também, um pequeno trecho do rio Braço Esquerdo Marapanim, a sudeste, sem muita expressão hídrica, que serve de limite com o Município de Castanhal (ALMEIDA; BORGES; FIGUEIREDO, 2008; IDESP, 2013).

Além das micro bacias, a área estudada também é banhado pelas águas da Baía do Marajó, tanto na parte norte como a oeste. Segundo DHN (2001), a Baía de Marajó é uma região estuarina dominada por um regime de meso a macromarés, cuja variação das marés de sizígia alcança valores máximos de 3,6 a 4,7 m, entre as Ilhas de Mosqueiro e dos Guarás. Os principais fatores que controlam esse processo são as correntes de marés e as correntes fluviais, com efeitos de ondas e diferenças de densidade entre água doce e salgada (CORRÊA, 2005). Seus sedimentos são predominantemente arenosos, com velocidade de correntes podendo atingir de 1,24 m/s (MARTINS; MENDES, 2011) a 250 cm/s. (CORRÊA, 2005).

O Furo da Laura é comumente chamado de rio Guajará mirim, entretanto, segundo Coelho (1988), rios são correntes de água que circulam pelos continentes, podendo se originar de fontes ou nascentes, águas da chuva, fusão da neve, etc. Apresenta ainda outras características físicas como: *i)* cabeceira: local onde o rio nasce; *ii)* curso superior: é a parte do rio próximo a nascente; *iii)* curso médio: é a parte intermediária do rio *vi)* curso inferior: é a parte do rio, próximo a foz, etc.

Portanto, a partir dessas características relacionadas aos aspectos físicos, pode-se verificar que a área estudada não se enquadra na condição de rio por não apresentar tais características.

Dessa forma, apesar de ser um termo regional, a área estudada é considerada como furo. O furo é um acidente hidrográfico que permite a ligação entre as águas da área estudada e a Baía do Marajó. Pimentel, Oliveira e Rodrigues (2012), também realizaram mesma denominação para um corpo hídrico (figura 2a) com geomorfologia parecido com o Furo da Laura (figura 2b).

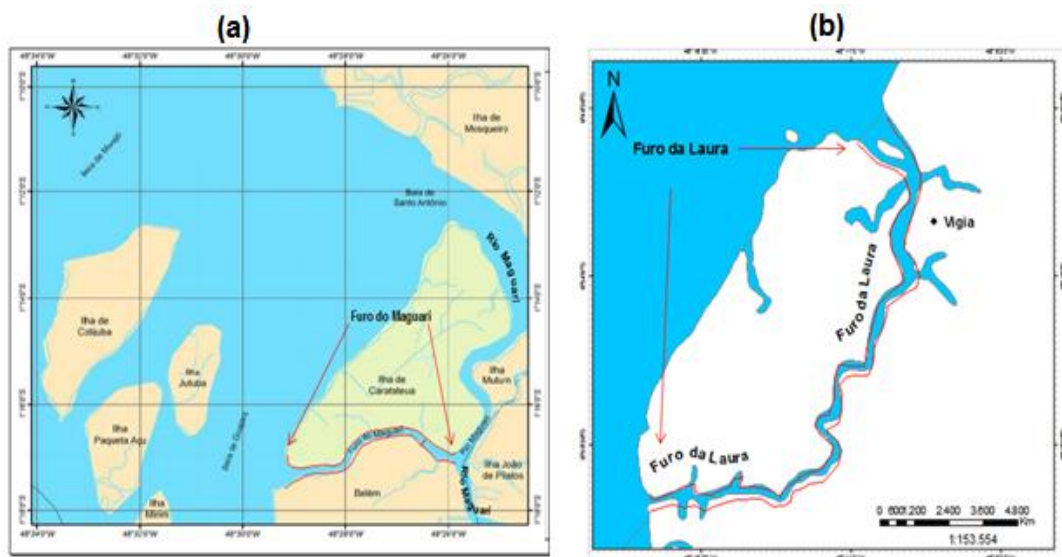


Figura 2- (a) Furo do Maguari adaptado de Pimentel, Oliveira e Rodrigues (2012) e (b) Furo da Laura.

5.5 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal original de Vigia, na área de terra firme, era composta pelo subtipo floresta tropical densa dos baixos platôs, porém em decorrência do processo de ocupação e pela ação dos desmatamentos esta vegetação foi substituída pela floresta secundária. Nas planícies aluviais (sujeitas a inundações), onde não existe a influência salina do mar ocorrem florestas de várzea e matas ciliares. Nas proximidades da foz dos rios e no litoral predominam os manguezais (IDESP, 2011).

Atualmente, o predominante da cobertura vegetal do município é de Florestas Secundárias, consequência dos desmatamentos ocorridos com grande intensidade e extensão, cujo objetivo foi o cultivo de espécies agrícolas de ciclo curto. Com isso, praticamente, pouco restou da floresta primitiva que é do subtipo Floresta Densa dos baixos platôs (RAMOS, 2007).

A cobertura vegetal das margens do Furo da Laura é predominantemente de mangue. LIRA et al. (1989), descreve a vegetação da área como um misto de bosques de mangue (formadas por *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans* juntamente com vegetação típica de terra firme.

5.6 CLIMA

O município de Vigia é influenciado por um clima equatorial super úmido, com temperaturas entre 26 e 39 °C (BRITO et al., 2002), com precipitação pluviométrica de aproximadamente 2.770 mm por ano, situado praticamente ao nível do mar. A sede municipal apresenta cotas altimétricas próximas a 6 m, havendo pequenas elevações na margem mais ao Sul. A temperatura média anual é de 26 °C e as precipitações pluviométricas são maiores entre janeiro a junho, diminuindo entre julho e dezembro (RAYOL, 2002).

Quanto à disponibilidade de água no solo, o excedente está entre os meses de fevereiro e março, sendo que os de maior deficiência são os meses de setembro e outubro (IDESP, 2011).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 DESENHO AMOSTRAL

As coletas foram feitas nas marés de quadratura, em quatro pontos do Furo da Laura (figura 3), durante os períodos de setembro, novembro de 2011 e janeiro, março, maio e julho de 2012, sendo coletadas quatro amostras em cada mês, totalizando vinte e quatro amostras. Os pontos foram georeferenciados mediante o uso de um posicionador do tipo Global Positioning system (GPS) da marca Magellan (NAV 5000 PROTM).

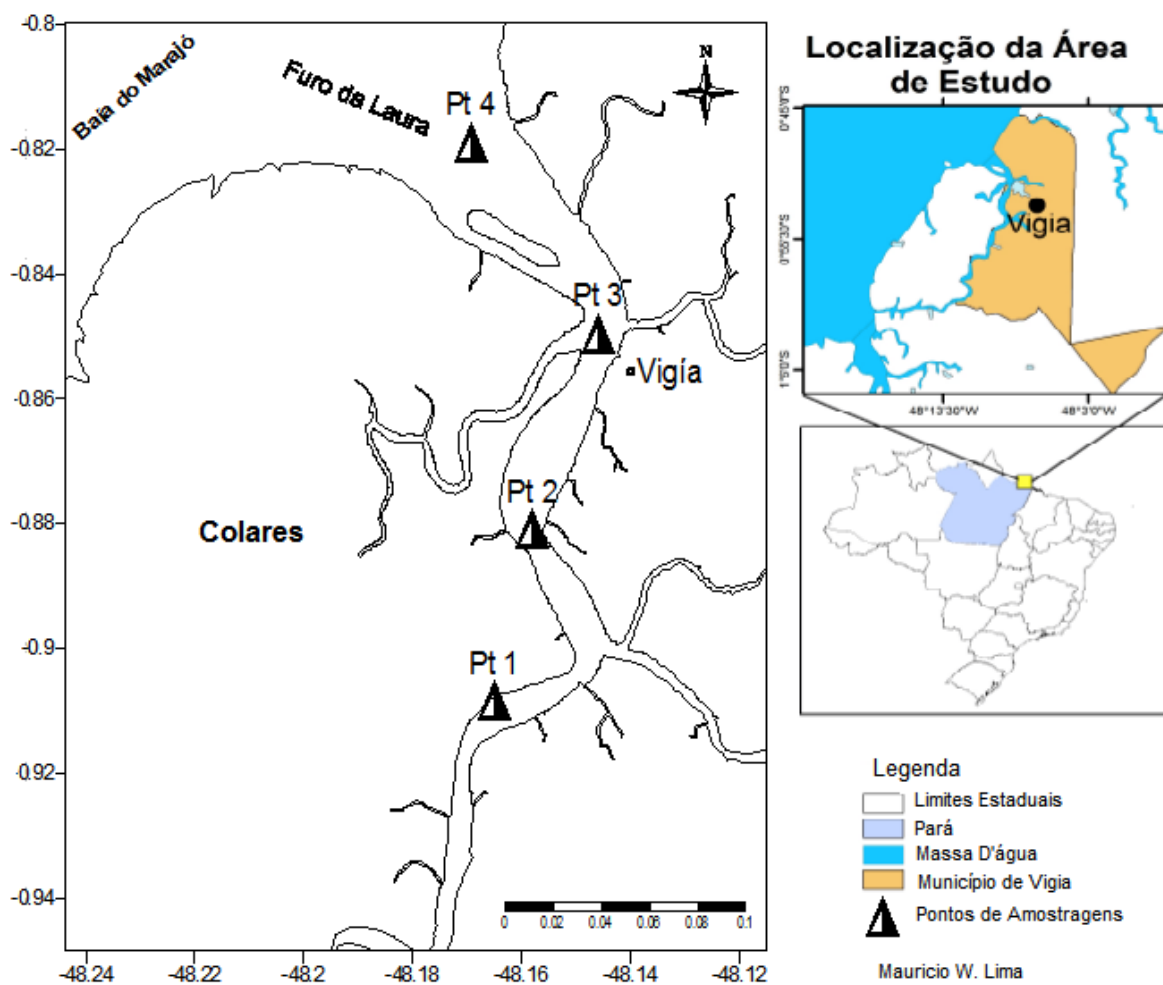


Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de coleta.

A amostragem foi realizada com o objetivo de obter respostas sazonais e espaciais nos pontos com diferentes características, sendo formuladas as hipóteses: I- Ponto de possíveis trocas de materiais sedimentares entre o Furo da Laura e a Baía do Marajó (ponto 4); II- Ponto a montante do município de Vigia, próximo ao

porto, com grande circulação de embarcações e possíveis influências antrópicas. III- Ponto intermediário, com menor circulação de embarcações (ponto 2), a jusante do município de Vigia. IV- Ponto com menor influência antrópica (ponto 1)(tabela 1).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta no Furo da Laura (Vigia - PA).

Pontos	Referência	Profundidade Média (m)	Latitude	Longitude
Ponto 1	Aproximadamente 175 m margem esquerda	5,2	00°54'30.1" S	048°09'53.3" W
Ponto 2	No meio do Furo da Laura	6	00°52'51,4" S	048°09'28,3" W
Ponto 3	Aproximadamente 216 m da margem direita	4,5	00°50'58,5" S	048°08'44,7" W
Ponto 4	No meio do Furo da Laura	2	00°49'07,7" S	048°10'09,2" W

Segundo Araújo (2013), os índices pluviométricos médios mensais entre os anos 1982 a 2012 registraram mínimo de 37,27 mm (novembro) e máximo de 443,29 mm (março), com ampla variação dos valores de precipitação ao longo do ciclo anual para região estudada. Os resultados da amplitude pluviométrica referente ao ano de estudo (set/2011 - jul/2012) variaram de 21,30 mm em novembro, a 469 mm em março, com precipitação total anual de 2310,10 mm.

Com base no regime pluviométrico dos últimos 31 anos foi possível diferenciar dois períodos sazonais característicos (figura 4), os quais correspondem aos períodos de maior e menor precipitação pluviométrica (ARAUJO, 2013).

As amostras coletadas foram separadas e agrupadas por períodos sazonais. Ressalta-se que o mês de janeiro apresenta características pluviométricas de períodos de transição da estação menos chuvosa para chuvosa, enquanto que julho apresenta características de transição da estação chuvosa para menos chuvosa. Entretanto, por janeiro ser período transitório posterior à estação menos chuvosa, neste trabalho ele foi agrupado aos meses da estação menos chuvosa para efeito de comparação. Mesmo critério foi atribuído para o mês de julho.

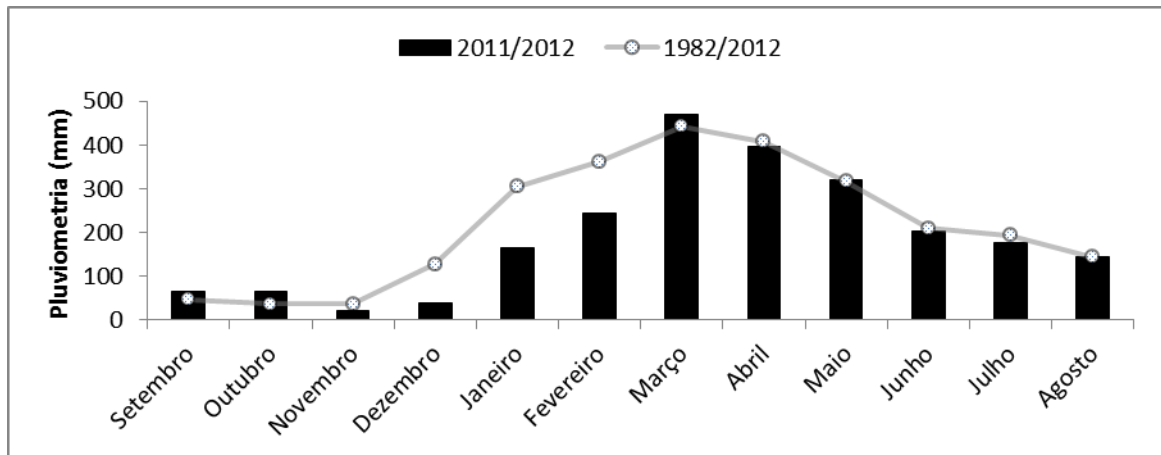


Figura 4- Variação sazonal do regime pluviométrico (mm), indicando média climatológica de chuvas, correspondente aos últimos 31 anos (1982-2012), e a média mensal referente ao ciclo anual de coletas (Set./2011 a Jul./2012), retiradas da Agência Nacional de Águas.

Fonte: Araújo (2013).

6.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas a bordo de uma embarcação motorizada de pequeno calado (figura 5a), mediante o uso de um amostrador pontual do tipo Ekman-Birge (figura 5b). Este equipamento é constituído por duas conchas articuladas por uma dobradiça através de duas barras cruzadas, presas ao cabo de aço, que exige uma descida cuidadosa e a baixa velocidade para não desarmar antes de tocar o fundo. Seu sistema consiste de uma trava que mantém as conchas abertas, e que são liberadas quando se arremessa o emissário pelo cabo condutor, que destrava o equipamento no fundo, realizando a amostragem superficial do sedimento.

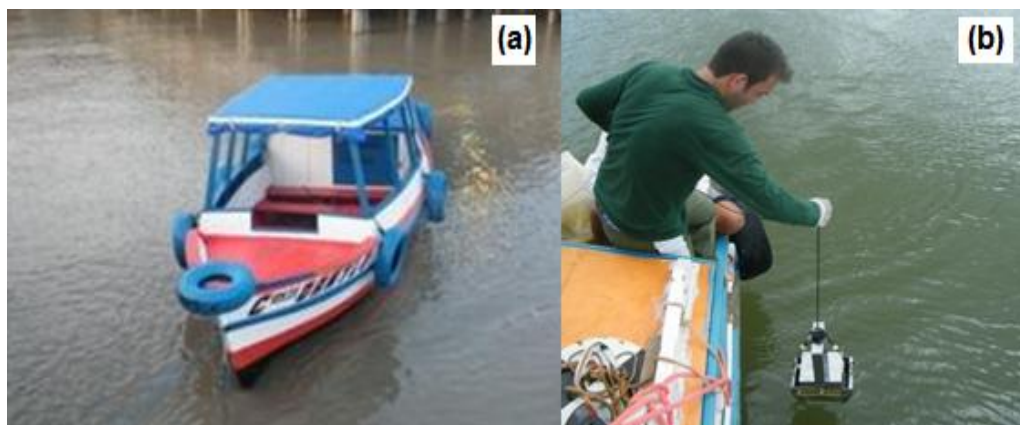


Figura 5 – (a) Embarcação e (b) Draga Ekman-Birge utilizada para amostragem de sedimentos no Furo da Laura.

Após sua emersão, a draga foi aberta em uma basqueta, tomando-se o cuidado para não perturbar o sedimento. Em seguida, fez-se uma breve descrição deste material, e com o auxílio de uma “pazinha” de plástico recolheu-se a camada mais superficial do sedimento (± 10 cm) que equivale à fração sedimentar oxidada que é identificada por sua cor mais clara em relação aos sedimentos mais profundos.

As amostras foram imediatamente acondicionadas em sacos plásticos limpos e livre de contaminação. Em seguida, foram bem vedadas e colocadas etiquetas de identificação com caneta permanente.

Os dados de identificação foram: número da amostra, data, ponto de amostragem, profundidade, coordenadas e observações relevantes que pudessem de alguma forma influenciar a coleta ou posterior resultado das análises. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo e, transportadas para Laboratório.

6.3 ETAPAS DE LABORATÓRIO

Os trabalhos preliminares de laboratório foram desenvolvidos no Laboratório de Química Ambiental e no Laboratório de Ecologia Aquática Tropical, da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém (PA).

6.3.1 Lavagem dos sedimentos

A lavagem dos sedimentos foi baseada na metodologia descrita por Delfino (2006). Os sedimentos foram colocados em béqueres e, em seguida foram lavadas com água destilada com a finalidade de retirar o excesso de sal presente nos sedimentos. As amostras de sedimentos foram agitadas para dissolver grande parte dos sais e, colocadas em repouso para decantar. Após a decantação, retira-se a água com os sais dissolvidos com auxílio de pipetas até que sobre somente a amostra de sedimento. A retirada da água com auxílio de pipetas deve ser realizada com muito cuidado para evitar a perda do sedimento mais fino.

6.3.2 Secagem e Quarteamento

Após a remoção dos sais, as amostras de sedimentos foram secas em estufa a uma temperatura de 50°C (figura 6), segundo a metodologia de Delfino (2006), pois esta temperatura evita o endurecimento excessivo do sedimento. Na etapa

seguinte, o sedimento foi transferido para um almofariz de porcelana. Com o auxílio de um pistilo de ponta revestida de borracha foi realizada pequenas batidas na amostra sem modificar as estrutura dos grãos e, em seguida, fez-se o quarteamento das mesmas.



Figura 6 - Cadinho com amostras de sedimentos na secagem em estufa.

6.3.3 Granulometria

A análise granulométrica das amostras de sedimentos foram realizadas na Universidade Federal do Pará, no Laboratório de Oceanografia Química, baseado no método de Silva et al. (2011) por granulometria a laser.

O objetivo principal do pré-tratamento das amostras para análise granulométrica a laser é a eliminação total da matéria orgânica, que age em suspensão como a fração silte/argila, deslocando a distribuição granulométrica para estas frações (BOROTTI-FILHO, 2013).

Após a secagem e quarteamento das amostras, foram retiradas 0,10 g e transferido para um erlenmeyer de 50 mL (figura 7a), posteriormente foram adicionados 1 mL de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) para remoção de resíduos orgânicos (carbonáticos) durante 24 horas. Em seguida, as amostras foram transferidas para tubos de 15 mL, onde foram aferidas com água deionizada e levadas para centrífuga QUIMIS (figura 7b), a 3.000 rpm durante cinco minutos para separação e retirada do reagente e subprodutos da reação. Após a centrifugação é feito o descarte do material sobrenadante. Este procedimento foi realizado duas vezes.

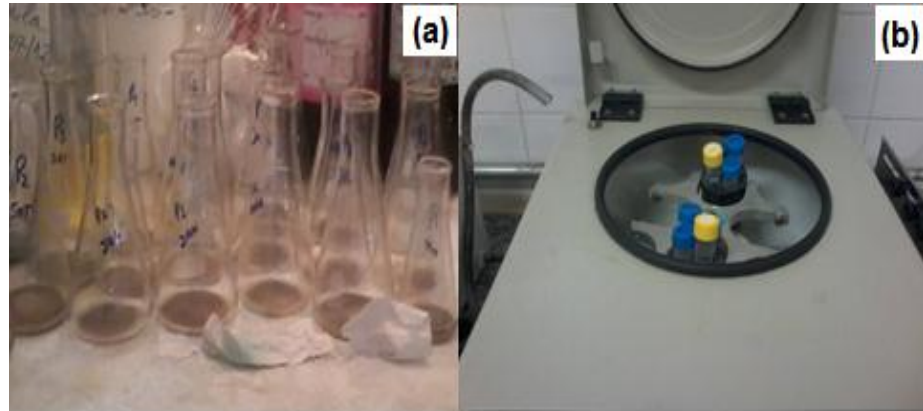


Figura 7-(a) Oxidação das amostras de sedimentos com Peróxido de Hidrogênio; (b) Centrifugação das amostras de sedimentos em Laboratório.

Em seguida, foram adicionados novamente água deionizada nos tubos e levadas ao agitador para homogeneização da amostra (figura 8a). Após a homogeneização, as amostras foram transferidas para erlenmeyer de 50 mL e levados novamente ao agitador por 10 segundos, conforme a figura 8b.

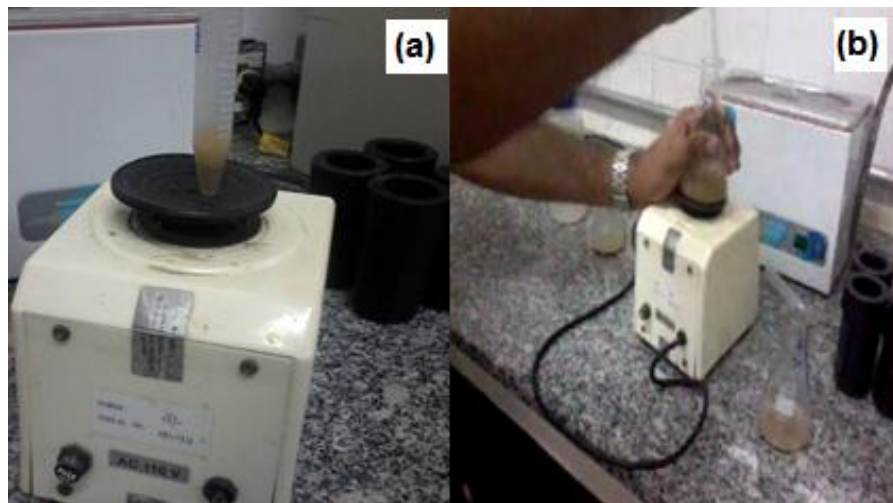


Figura 8 – (a) Homogeneização das amostras de sedimentos em tubos e (b) no erlenmeyer.

Realizadas todas as etapas de pré-tratamento das amostras, foi retirado 1 mL com pipeta da amostra e submetida a análise granulométrica a laser no equipamento shimadzu, modelo SALD-2201 (figura 9a e 9b).

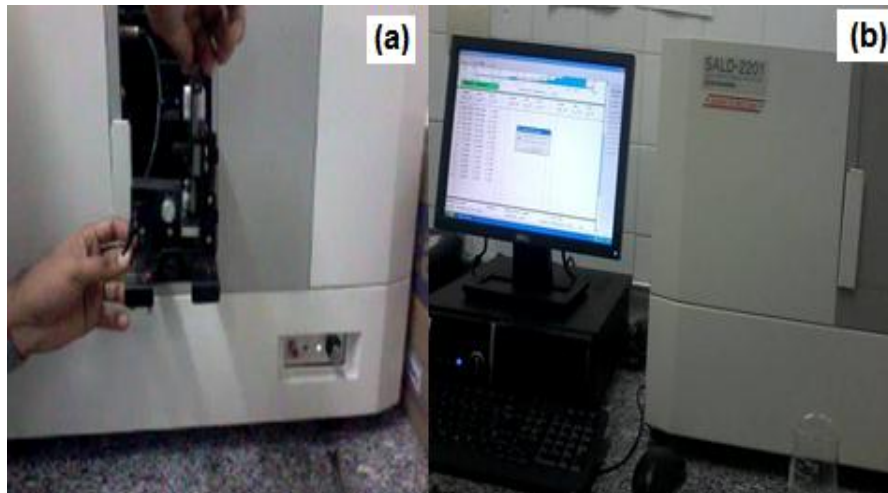


Figura 9 –(a) e (b) Análise granulométrica a laser no shimadzu, modelo SALD-2201.

6.3.4 Carbono orgânico total

A determinação do carbono orgânico total foi realizado através da relação entre carbono orgânico dissolvido e particulado, segundo o método proposto por Loring e Rantala (1992):

$$\text{MO (\%)} = \text{CO (\%)} \times 1,724 \text{ (EMBRAPA, 1997).}$$

O princípio baseia-se na oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio em meio ácido (H_2SO_4 concentrado + K_2CrO_7). O excesso de dicromato (mistura oxidante) após oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato amoniacal. Essa metodologia é descrita abaixo:

Uma massa de 0,5 g da fração fina (silte-argila) do sedimento seco, foi colocada em um Erlenmeyer de 500 mL, onde foram adicionados 10 mL de solução 1N de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (com bureta) e 20 mL de H_2SO_4 com Ag_2SO_4 e misturados rotacionando o frasco por aproximadamente 1 min. Após 30 minutos, adicionou-se 200 mL de água destilada e 10 mL de H_3PO_4 (85 %) e 0,2 g de NaF. Em seguida adicionou-se 15 gotas (0,5 mL) do indicador difenilamina. Em seguida titulou-se a amostra com a solução de sulfato ferroso amoniacal a uma gota do ponto final (até a cor verde brilhante). O cálculo do carbono orgânico foi realizado através da seguinte fórmula:

$\% CO = 10(1 - T/S)$. F onde,

S = Padronização do Branco (volume de solução ferrosa);

T = Titulação da amostra (volume de solução ferrosa);

F = Fator derivado como segue:

$F = (1.0 N) \times (12 / 4000) \times 1,72 \times (100/\text{peso da amostra}) = 1.03$ quando o peso da amostra é exatamente 0.5 g. Onde $12 / 4000 = \text{meq de peso de carbono}$ e $1,72 = \text{fator para a MO do carbono}$.

6.3.5 Peneiramento

O peneiramento das amostras de sedimentos foi realizado segundo o método de Hernando e Adolf (2008). Após a secagem e quarteamento do sedimento, foram retiradas 20 g de cada amostra para realização do peneiramento em meio úmido com água deionizada, utilizando uma peneira de aço-inox com malha de 63 μm

O peneiramento consiste na separação das frações areia da fina. O material retido na peneira é a fração de areia e o material que passa pela malha da peneira é a fração silte e argila (figura 10). Em seguida, esta fração (silte+argila) foi levada novamente à estufa para secagem a 80 °C e, posterior maceração.



Figura 10- Peneira de aço-inox com malha de 63 μm utilizada no peneiramento das amostras de sedimentos.

6.3.6 Determinação dos Metais Pesados

Os procedimentos de determinação da concentração dos metais pesados foram realizados por Espectrofotometria de Absorção Atômica, no Instituto Evandro Chagas do Pará (IEC), metodologia similar a utilizada por Oliveira et al. (2009).

A concentração dos metais foi feita da fração silte+argila, devido à afinidade dos metais para a fração mais fina do sedimento (SANTOS et al., 2012).

Para este procedimento, foi utilizada a extração química através de ataque ácido concentrado à quente, em tubo de teflon suficiente para promover a destruição completa de todos os componentes dos sedimentos. Essa metodologia foi similar aos procedimentos de Silva et al. (2012), que serão descrito a seguir.

6.3.6.1 Digestão das Amostras de Sedimentos

A digestão foi efetuada em sistema fechado, por radiação de microondas (MARSXpres, CEM Corp. Matthews, NC, USA).

Primeiramente foi pesado 0,1 g de amostra de sedimento certificada, em seguida, pesou-se 0,2 g em um tubo de Teflon de cada amostra seca e pulverizada (figura 11a). Foi adicionada 3 mL de HNO_3 e 1 mL de HCl em todas as amostras de sedimentos e, em seguida fechadas. Após 30 min, retira-se o excesso de gases e adiciona 1 mL de HF, deixando fechado. Após 2 horas, retira-se novamente o excesso de gases e as amostras de sedimentos são levadas para o micro-ondas (figura 11b), passando por 4 etapas de aquecimento (tabela 2).

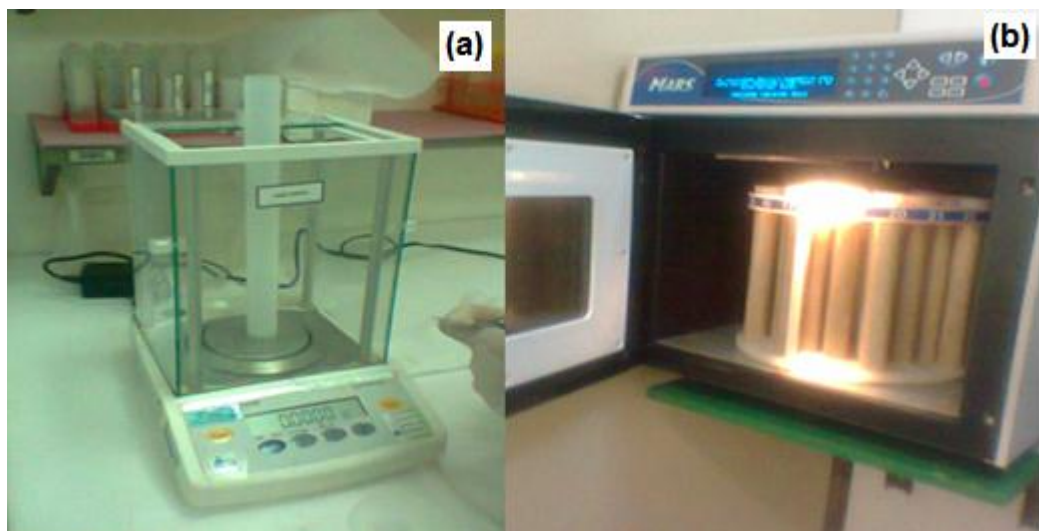


Figura 11- (a) Pesagem das amostras de sedimentos em tubos de teflon; (b) aquecimento em micro-ondas.

Tabela 2 - Etapas do aquecimento no micro-ondas

Etapa	Potência máxima. (400w)	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)	Estabilização (minutos)
1	65%	100	8	-
2	80%	120	5	-
3	100%	200	5	5
4	80%	150	3	10

Completadas as 4 etapas no micro-ondas, retira-se novamente o excesso de gases. Em seguida, são adicionados 2 mL de ácido bórico e deixar em repouso. Após 30 min, as amostras são levadas novamente para o micro-ondas (tabela 3).

Tabela 3 - Segunda etapa no micro-ondas

Etapa	Potência máxima (800w)	Tempo (minutos)	Estabilização (minutos)
1	75%	3	-

Ao final da digestão, as amostras de sedimentos foram transferidas para um tubo cônico de 50 mL e aferir ao volume final de 50 mL com água deionizada (figura 12) para a determinação posterior dos metais pesados através de Espectrofotômetro de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES).



Figura 12 - Amostras de sedimentos digeridas.

6.3.6.2 Determinação dos Metais Pesados

Os metais pesados foram analisados através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Induzido (ICP OES) (figura 13), no equipamento ICP-OES Modelo Vista- MPX CCD simultâneo, axial da VARIAN com um sistema de amostragem automático (SPS- 5). Para validação dos resultados, foi utilizada a amostra certificada para metais pesados no solo (SRM 2710, NIST, USA). O controle das condições operacionais do ICP-OES foi realizada com o software ICPExpert Vista



Figura 13 – Determinação da concentração de metais pesados por ICP-OES.

A eficiência do método de extração foi determinada pela análise de quatro repetições do material de referência certificado (CRM) e selecionado os pontos de calibração (figura 14a e 14b). Estudos na literatura indicam que a eficácia do método é satisfatório, devido à natureza complexa da matriz de sedimento (SILVA et al., 2012).

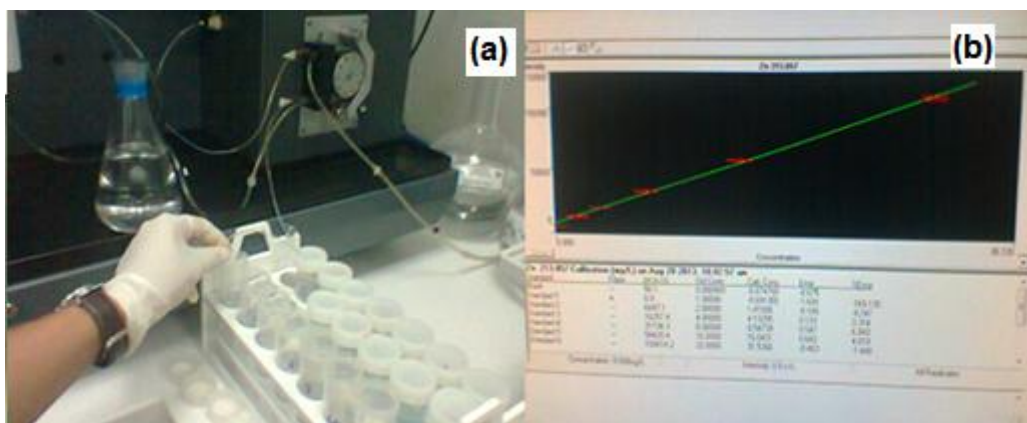


Figura 14 – (a) Calibração do branco Figura; (b) Plotagem dos pontos de detecção.

Quanto aos resultados, devido à falta de informações em nível de base natural (NBN ou background) para os parâmetros determinados nos sedimentos da região estudada, foi realizada comparação com a Resolução CONAMA 344/2004 que estabelece diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação de material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras para amostras de sedimento e aproximação sobre as consequências dos teores de metais pesados nos sedimentos, baseado no Protocolo Canadense PEL (*Probable Effect Level*), ou seja, concentrações acima dos valores adotados por esse protocolo são frequentemente associadas a efeitos adversos a biota.

Para efeito de comparação, também foram utilizados índices de referência da Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana-EPA (1977) que estabelece diretriz para classificação de poluição para sedimentos das enseadas dos grandes lagos (EUA) (tabela 4).

Tabela 4. Concentrações de metais pesados estabelecidos pelos padrões de referência da Resolução CONAMA 344/04 (mg.Kg^{-1}) e diretrizes para classificação de poluição de sedimentos, segundo EPA (1977) (mg.Kg^{-1}).

Metais	CONAMA 344/2004 (PEL*)	Grandes lagos EUA		
		Não poluídos (NP)	Moderadamente poluído (MD)	Muito poluído (MP)
Alumínio	-	-	-	-
Cádmio	3,5	-	-	6
Cobalto	-	-	-	-
Cromo	90	25	25-75	75
Cobre	197	25	25-50	50
Ferro	-	17000	17000-25000	25000
Níquel	36	20	20-50	50
Magnésio	-	-	-	-

- Metais pesados não referenciados; * PEL "Probable Effect Level", concentração acima da qual frequentemente é esperado efeito para a biota (toxicidade aguda).

Portanto, devido à falta de estudos e diretrizes relacionadas à contaminação e poluição dos sedimentos no Furo da Laura, será realizada comparação dos resultados com os índices de referência para sedimentos de diferentes sistemas com o objetivo de avaliar a qualidade.

Apesar dos lagos serem sistemas com característica e dinâmica diferente da área estudada, foram tidos como referência devido a capacidade de acumulação de poluentes e de resposta dos processos que ocorrem no percurso dos rios. Segundo Licht (1998) e Rodrigues (2001), os sedimento de rios, lagos e lagoas representam a integração de todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático à montante e têm sido investigadas para elucidar a poluição ambiental atribuída aos elementos-traço e/ou substâncias tóxicas orgânicas.

6.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

6.4.1 Análise de dados

Foi utilizado o teste Shapiro-Wilk, para testar a normalidade dos dados e todas as variáveis atenderam aos pressupostos de normalidade. Foi realizada análise de variância (one way ANOVA) e as médias foram comparadas pelos testes “t” e Duncan, com um nível de significância de 5 % ($p=0,05$) para observação de diferenças sazonais e espaciais. Para verificar as possíveis correlações entre as variáveis foi utilizada a análise de correlação de Spearman. Ambas as análises foram realizadas utilizando o programa estatístico PAST 4.15.

Os dados foram padronizados para as análises multivariadas, utilizando-se a transformação Z ($x = (\text{variável} - \text{média da variável}) / \text{desvio padrão}$). Para avaliar o grau de similaridade entre as variáveis estudadas foi realizada uma análise de agrupamento (Cluster analysis), utilizando-se o método Ward's como algoritmo. As análises de agrupamento foram consideradas significativas com índice cofenético superior a 0,7. Também foi utilizada a análise de componentes principais (ACP), a fim de compreender melhor a estrutura dos dados, buscando-se através do conjunto de variáveis identificar as que mais contribuem para a variação dos dados. Para tal, foi utilizado o programa estatístico CANOCO 4.0.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 GRANULOMETRIA

Nos sedimentos superficiais do Furo da Laura ocorreram pequenas variações em relação às frações granulométricas nos pontos de amostragens, podendo ser observado uma tendência inversamente proporcional entre as frações areia e a silte+argila. A proporção da fração silte, argila e areia dos sedimentos superficiais são mostradas na tabela 5. A média para todo período investigado foi de 71,04 % para areia, 25,62 % silte e 3,32 % argila.

Tabela 5- Frações de Areia (%), Silte (%) e Argila (%) dos sítios de amostragens do Furo da Laura entre setembro de 2011 a julho de 2012.

	Pontos	ESTAÇÃO MENOS CHUVOSA			ESTAÇÃO CHUVOSA			
		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	
Setembro	P1	67,37	28,45	4,18	Março	81,01	18,24	0,76
	P2	64,84	29,42	5,74		86,42	13,48	0,10
	P3	64,90	32,08	3,02		94,34	5,55	0,11
	P4	66,90	30,89	2,21		87,24	12,42	0,34
Novembro	P1	65,32	32,20	2,48	Maio	64,05	29,81	6,14
	P2	61,25	36,81	1,93		74,14	24,50	1,36
	P3	69,71	26,75	3,54		66,38	31,02	2,59
	P4	76,13	23,39	0,48		66,23	22,82	10,95
Janeiro	P1	63,08	32,84	4,08	Julho	77,12	17,38	5,50
	P2	69,76	25,68	4,56		67,04	27,36	5,60
	P3	69,79	28,42	1,79		65,76	30,73	3,50
	P4	66,00	28,95	5,04		70,30	25,80	3,89
	Min ¹	61,25	23,39	0,48		64,05	5,55	0,10
	Max ²	76,13	36,81	5,74		94,34	31,02	10,95
	Méd ³	67,09	29,66	3,26		75,00	21,59	3,40
	D.P. ⁴	3,90	3,60	1,54		10,17	8,19	3,26

1-Mínimo; 2-Máximo; 3-Média; 4-Desvio Padrão.

A distribuição granulométrica na estação menos chuvosa seguiu a proporção areia > silte > argila, com médias de 67,09 %, 29,66 %, 3,26 %, respectivamente. Na estação chuvosa, a distribuição granulométrica seguiu a mesma proporção, com médias de 75 %, 21,59 %, 3,40 %, respectivamente.

A variação da distribuição temporal das frações nos sedimentos foram representativas durante o período estudado, claramente notado em março de 2012,

com aumento considerável na porcentagem de areia e diminuição na quantidade de silte+argila.

A areia teve uma tendência crescente nos valores médios de setembro a março, sendo que, em março foram observados os maiores valores de areia. Nos meses seguintes, houve a diminuição da areia.

A fração silte oscilou em menores proporções durante o período estudado, ocorrendo sua diminuição gradativamente até março de 2012, onde foram verificadas as menores porcentagens desta fração. Nos meses de maio a julho de 2012 ocorre o aumento voltando aos padrões dos meses anteriores. Para a argila, foi encontrada uma tendência inversa em relação fração de areia, constatando-se os menores valores em janeiro e março de 2012. No gráfico 1 e 2 são demonstrados as variações granulométricas sazonais e temporais verificadas no Furo da Laura.

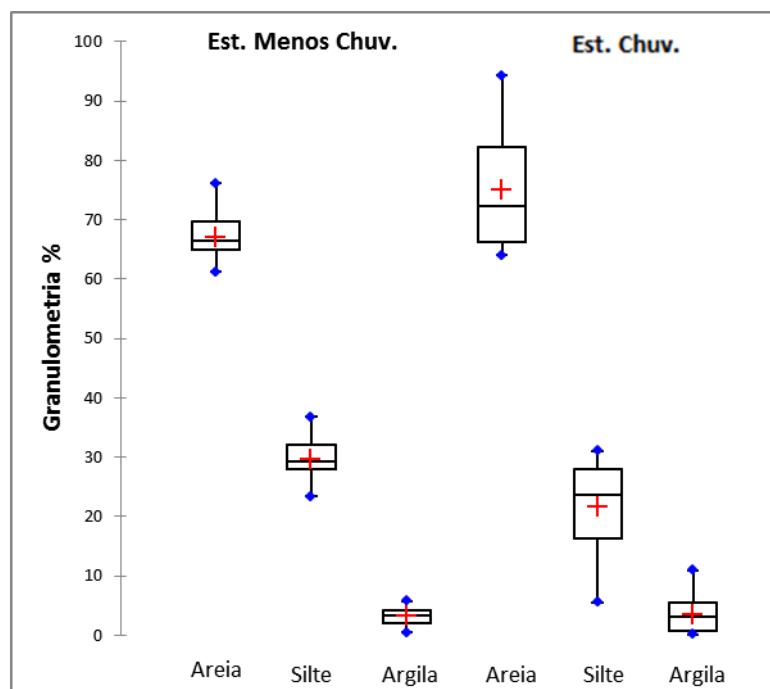


Gráfico 1- "BoxPlot" com porcentagens das frações granulométricas areia, silte e argila encontrados no Furo da Laura, Vigia (PA).

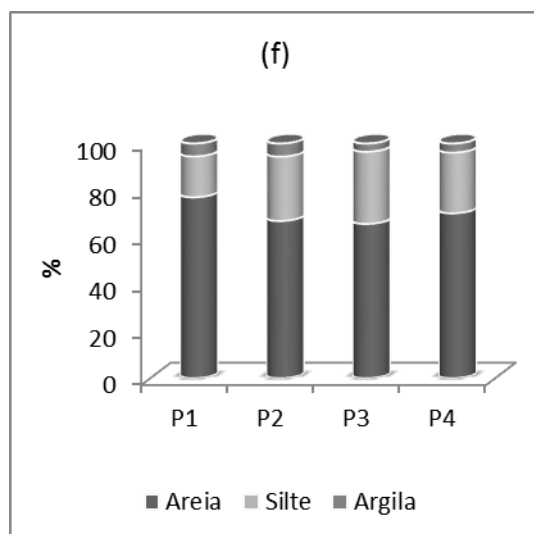
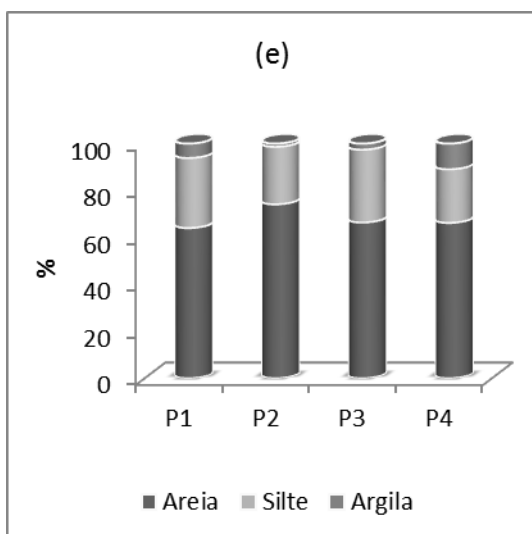
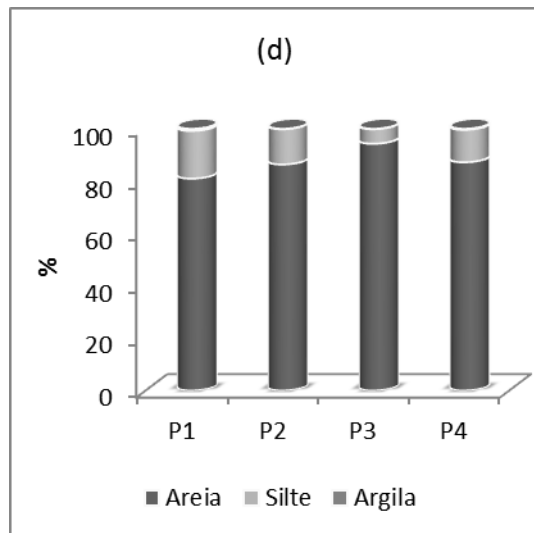
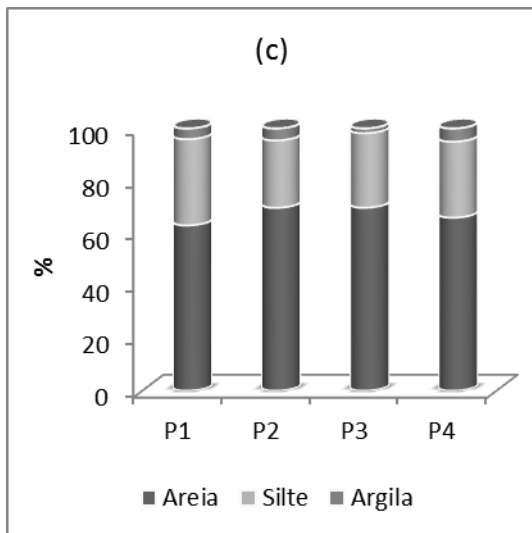
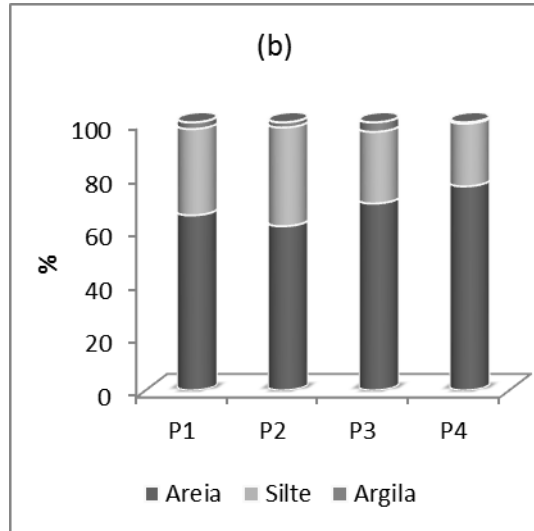
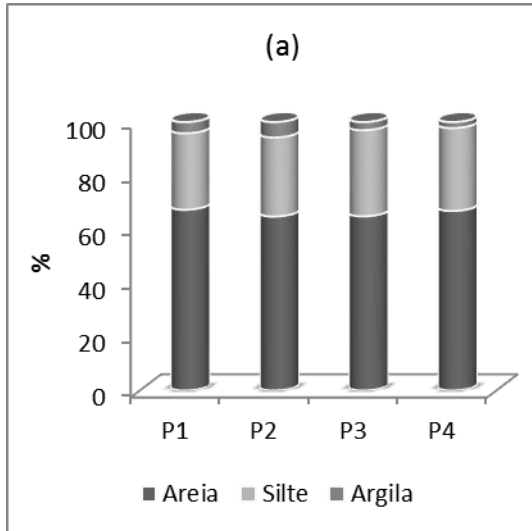


Gráfico 2- Granulometria nos pontos de amostragens em (a) setembro de 2011, (b) novembro de 2011, (c) janeiro de 2012, (d) março de 2012, (e) maio de 2012, (f) julho de 2012.

Em relação à distribuição espacial dos gradientes de textura, foi observado que nos pontos P3 e P4, mais próximos a Baía do Marajó (desembocadura do furo), ocorreram os maiores valores para as frações de areia nos pontos de amostragens. Nos pontos coletados na parte mais interna do Furo da Laura (P1 e P2) foi observado também a prevalência de areia, entretanto, em menores quantidades. Nesses dois pontos foram verificados os maiores valores para as frações silte e argila.

Na Baía do Marajó prevalece o regime hidrodinâmico de maior energia (CORRÊA, 2005), com dominância da fração de areia (MARTINS; MENDES, 2011) devido à presença morfológica de bancos e barras arenosas (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2006).

A granulometria dos sedimentos superficiais do Furo da Laura demonstra que esse estuário caracteriza-se como altamente energético devido à predominância da fração de areia. Essa prevalência pode ser reflexo de processos hidrodinâmicos (velocidade e a intensidade das correntes de maré) que ocorrem tanto na Baía do Marajó como no Furo da Laura, visto que, a área estudada também sofre influência dos efeitos da maré. Martins (2008) revela que nos ambientes aquáticos, fatores físicos como intensidade e velocidade das correntes juntamente com a profundidade da coluna d'água são determinantes para a composição granulométrica do sedimento.

Segundo Amorim (2009) o estudo granulométrico mostra igualmente relação entre a proximidade das florestas de terra firme e o aumento do teor de areia. Estudo de Barros, Torres e Frédouet (2011) descreve que a região mais interna do estuário de vigia é caracterizada por possuir ambientes florestados sujeita às oscilações de salinidade e exposição maior às correntes, levando a uma maior variação do tipo de substrato.

Em um estudo sobre solo, cobertura vegetal e usos da terra em Colares, realizado por Silva et al. (1999), em amostras de sedimentos coletados a 6,2 km de Colares, em direção ao Furo da Laura-Balsa, foram encontrados a prevalência da fração de areia, com as proporções de 62 % para areia, 32 % silte e 6 % para argila.

Portanto, possíveis processos erosivos no solo e nas micro bacias do Furo da Laura, tanto na parte direita (Vigia) como na parte esquerda (Colares) também podem influenciar na composição granulométrica da região mais interna, enquanto que, a região mais externa é influenciada pela Baía do Marajó.

7.2 MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica (MO) teve valores médios menores que 10 % tanto para estação menos chuvosa como para estação chuvosa. Na estação chuvosa obtiveram-se valores mais elevados, entretanto, na estação menos chuvosa foram observadas maiores médias.

Na estação menos chuvosa foi encontrado valor mínimo de 5,91 % e valor máximo de 10,24 %, enquanto que, na estação chuvosa o valor mínimo foi de 4,21 % e máximo de 10,71 % (gráfico 3a). Foi verificado que de setembro a novembro de 2011 a MO apresentou um aumento no teor médio, diminuindo de janeiro a março e voltando a aumentar em maio de 2012 (gráfico 3b).

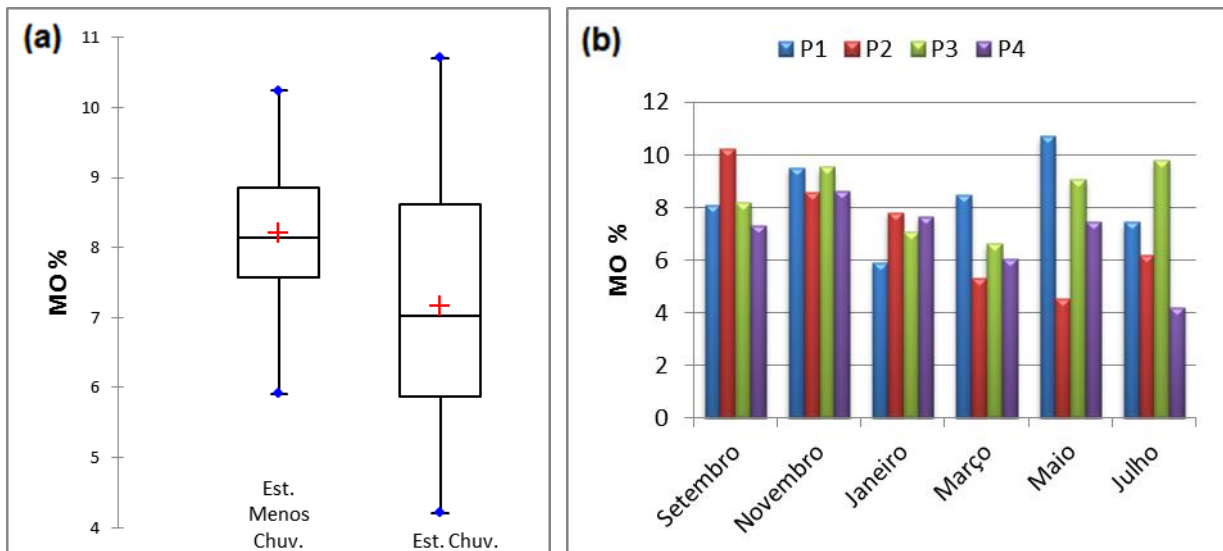


Gráfico 3- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de matéria orgânica encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura, Vigia (PA).

Em relação a distribuição espacial do teor de MO nos pontos de coleta do furo da Laura, foi observado que não houve uma uniformidade nos resultados encontrados nos referidos pontos amostragens. O ponto 2 apresentou uma tendência decrescente em relação ao teor de MO, ocorrendo sua diminuição de setembro de 2011 a maio de 2012.

No ponto P1 o teor de MO foi mais elevado com 10,71 % (maio/12), enquanto que no ponto P4 houve a menor concentração (julho/12). Contudo, as maiores médias foram ocorreram no ponto P3 (8,38 %), localizado a jusante do município de vigia e a menor média para o ponto P4 (6,88 %) ponto mais afastado de Vigia (gráfico 4a e 4b).

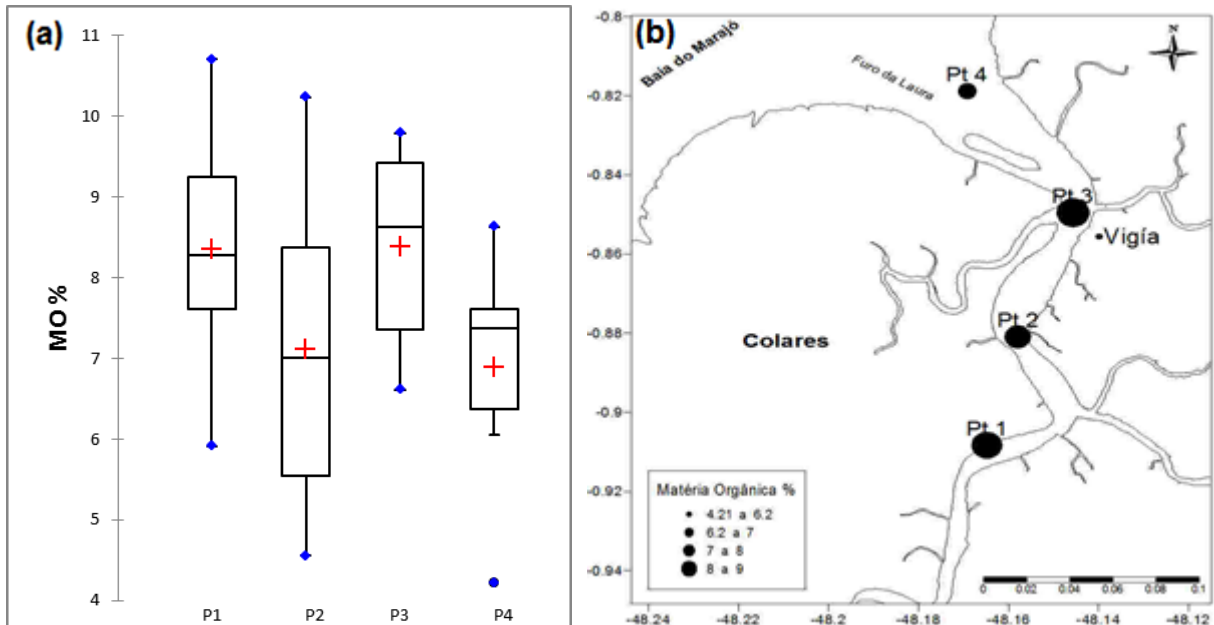


Gráfico 4- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de matéria orgânica encontrados no Furo da Laura, Vigia (PA).

Foram constatadas variações sazonais e espaciais em relação ao teor de MO nos pontos amostrados. Como mencionados anteriormente, os valores médios encontrados foram menor que 10 %, o que permite classificar o sedimento como sendo do tipo mineral, conforme a classificação de Esteves (1998).

Segundo Oliveira (2012), os baixos teores de MO podem ser atribuídos à ação direta das marés dificultando sua retenção e a assimilação nos sedimentos. Portanto, ser um ambiente altamente energético, os baixos valores de MO encontrados no Furo da Laura podem estar sendo influenciados pelos efeitos hidrodinâmicos (intensidade, velocidade das correntes e oscilação das marés) do próprio estuário e da Baía do Marajó, com isso, dificultando o acúmulo de MO na camada sedimentar desse estuário.

Siqueira e Aprile, (2013) relataram que uma menor influência de fatores hidrodinâmicos ocasiona o acúmulo de grande quantidade de MO e partículas finas no ambiente sedimentar. Os teores de MO em ambientes de baixa energia, com

predominância a sedimentos finos, são comuns, uma vez que esses são locais típicos de sedimentação.

Trabalho realizado por Santos, Lafon e Corrêa (2012), nos sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da Baía do Guajará, encontram valores próximos aos detectados no presente estudo com teores de MO variando de entre 9,3 % (margem direita) e 8,2 % (margem esquerda). Teores inferiores (0,6 a 6,6 %) foram verificados por Calijuri e Cunha (2008), em estudo de comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados nos sedimentos de dois sistemas do Vale do Ribeira de Iguapé – SP, classificando os sedimentos dos sistemas estudados como do tipo mineral por apresentar teores de matéria orgânica inferiores a 10 %.

7.3 METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS FINOS

As concentrações verificadas tanto na estação menos chuvosa como na estação chuvosa para todos os metais pesados investigados no presente estudo apresentaram consideráveis variações durante os meses estudados. Foi verificado que houve tanto uma variação sazonal, temporal como espacial. Constatou-se ainda que as maiores concentrações médias foram verificadas na estação menos chuvosa. As tabelas de 6 a 9 apresentam as concentrações dos metais pesados encontradas nos pontos de amostragens do Furo da Laura no período investigado e comparação com outros estuários do Brasil e do Mundo.

Tabela 6 - Concentrações de metais pesados encontrados na estação menos chuvosa de 2011/2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

Pontos/Mês	Al (mg.Kg ⁻¹)	Cd (mg.Kg ⁻¹)	Co (mg.Kg ⁻¹)	Cr (mg.Kg ⁻¹)	Cu (mg.Kg ⁻¹)	Fe (mg.Kg ⁻¹)	Mg (%)	Ni (mg.Kg ⁻¹)
P1 Set 2011	12402	4,15	9,83	62,84	15,09	32966	18,54	21,86
P2 Set 2011	10170	3,85	11,72	59,74	14,59	30127	15,67	21,90
P3 Set 2011	14226	4,45	12,74	63,05	14,95	32450	20,76	22,95
P4 Set 2011	9800	3,53	10,02	56,56	13,23	29089	14,62	20,74
P1 Nov 2011	11324	3,04	10,36	53,14	11,71	27435	16,88	21,27
P2 Nov 2011	17753	4,92	13,04	71,37	16,36	35833	25,87	22,74
P3 Nov 2011	14308	3,66	10,47	57,02	12,44	28759	21,53	20,30
P4 Nov 2011	11130	3,63	10,49	55,43	12,73	27888	18,35	20,43
P1 Jan 2012	9403	3,32	9,69	53,59	11,84	27035	11,38	19,96
P2 Jan 2012	12089	3,61	9,99	53,39	12,21	26935	20,96	17,82
P3 Jan 2012	13501	3,44	10,89	56,16	13,36	28264	20,45	19,14

P4 Jan 2012	16807	3,88	11,30	60,45	13,51	30251	23,20	20,87
Min ¹	9403	3,04	9,69	53,14	11,71	26935	11,38	17,82
Max ²	17753	4,92	13,04	71,37	16,36	35833	25,87	22,95
Méd. ³	12742,80	3,79	10,88	58,56	13,50	29752,70	19,02	20,83
D. P. ⁴	2670,30	0,51	1,11	5,31	1,46	2743,21	3,97	1,47

1-Mínimo; 2-Máximo; 3-Média; 4-Desvio Padrão.

Tabela 7- Concentrações de metais pesados encontrados na estação chuvosa de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

Pontos/Mês	Al (mg.Kg ⁻¹)	Cd (mg.Kg ⁻¹)	Co (mg.Kg ⁻¹)	Cr (mg.Kg ⁻¹)	Cu (mg.Kg ⁻¹)	Fe (mg.Kg ⁻¹)	Mg (%)	Ni (mg.Kg ⁻¹)
P1 Mar 2012	9198	3,81	9,11	56,28	13,32	28659	14,68	19,01
P2 Mar 2012	12973	4,76	13,37	68,72	14,91	34162	22,94	24,29
P3 Mar 2012	13074	4,22	12,02	63,22	14,50	32434	17,08	20,82
P4 Mar 2012	12168	3,03	8,56	47,26	10,57	26334	19,16	16,01
P1 Mai 2012	14957	5,16	13,00	61,90	14,90	37607	18,55	21,67
P2 Mai 2012	13816	3,45	10,89	51,41	11,01	28490	17,21	17,13
P3 Mai 2012	14477	3,89	11,88	55,88	13,57	30254	20,35	20,43
P4 Mai 2012	7466	2,79	8,89	46,32	11,34	25117	12,62	16,21
P1 Jul 2012	11772	3,24	9,25	55,47	12,94	28378	19,38	19,14
P2 Jul 2012	10000	2,72	8,26	42,30	9,42	23675	13,40	12,86
P3 Jul 2012	9660	3,68	11,53	55,99	13,71	28273	17,97	21,16
P4 Jul 2012	11631	3,09	8,91	48,30	10,00	25998	20,72	15,88
Min ¹	7466	2,72	8,26	42,3	9,42	23675	12,62	12,86
Max ²	14957	5,16	13,37	68,72	14,91	37607	22,94	24,29
Méd. ³	11766,00	3,65	10,47	54,42	12,52	29115,10	17,84	18,72
D.P. ⁴	2290,71	0,76	1,84	7,73	1,96	3986,08	3,06	3,19

1-Mínimo; 2-Máximo; 3-Média; 4-Desvio Padrão.

Tabela 8- Concentrações médias dos elementos metálicos presentes nos pontos de amostragem no Furo da Laura (Vigia/PA).

Pontos		Al (mg.Kg ⁻¹)	Cd (mg.Kg ⁻¹)	Co (mg.Kg ⁻¹)	Cr (mg.Kg ⁻¹)	Cu (mg.Kg ⁻¹)	Fe (mg.Kg ⁻¹)	Mg (%)	Ni (mg.Kg ⁻¹)
P1	Méd. ¹	11509,30	3,79	10,21	57,20	13,30	30346,70	16,56	20,49
	D.P. ²	2124,41	0,79	1,44	4,18	1,45	4141,07	3,04	1,28
P2	Méd. ¹	12800,20	3,89	11,21	57,82	13,08	29870,30	19,34	19,46
	D.P. ²	2858,56	0,83	1,93	11,02	2,64	4537,43	4,72	4,28
P3	Méd. ¹	13207,70	3,89	11,59	58,55	13,76	30072,30	19,69	20,80
	D.P. ²	1819,27	0,38	0,82	3,57	0,88	1974,65	1,75	1,26
P4	Méd. ¹	11500,30	3,33	9,70	52,39	11,90	27446,20	18,11	18,36
	D.P. ²	3096,05	0,42	1,08	5,86	1,47	1975,87	3,90	2,55

1-Média; 2-Desvio Padrão.

Tabela 9 - Concentrações dos metais pesados detectados nos sedimentos do Furo da Laura (fração granulométrica <63µm) e sedimentos de outros estuários do Brasil e do Mundo, expressos em mg kg⁻¹.

Área	Al mg.kg ⁻¹	Cd mg.kg ⁻¹	Co mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Cr mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Ni mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹
¹ Furo da Laura*	12254,40	3,72	10,68	13,01	56,49	29433,80	18,43	1977
² Rio Guamá (PA)*	7,11	-	-	2,65	-	783,40	-	60,48
³ Plataforma do Amazonas (PA)*	-	-	44,31	-	54,93	44713,75	57,31	-
⁴ Zona Portuária Vila do Conde(PA)*	-	1,68	3,08	8,13	109,37	-	11,24	-
⁵ Estuário Lagunar do Roteiro (AL)	216-325	0,03-0,15	1,05-2,30	2,7-9,0	-	53-99	5,1-6,6	-
⁶ Estuário Rio Corumbataí (SP)	2989,28	0,41	-	1,38	4,66	6817,71	0,86	-
⁷ Estuário Rio Formoso (PE)	7-23	0,04-0,11	0,5-1,5	1,15-3,71	2,7-7,4	36-218	1,1-3,2	3,56-12,42
⁸ Estuário do Rio Curimataú (RN)	0,5-30	-	-	0,19-8,90	0,15-3,50	1,4-66	0,19-5,0	-
⁹ Estuário Mersey (Reino Unido)	-	0,14	0,036	-	0,55	10.600	0,99	-
¹⁰ Estuário do Rio Minho (Portugal)	-	0,05	-	5,29	13,89	14818,57	10,23	-

1- Presente estudo; 2- (FERREIRA et al., 1998); 3- (LIMA, et al., 2005); 4- (OLIVEIRA, 2012); 5- (SILVA, 2008); 6- (ZAMBETTA, 2006); 7- (SILVA, et al., 2009); 8- (GARLIPP, 2006); 9- (MARTINO, 2002); 10- (PASSOS; LYRA, 2007); * Valores médios.

7.3.1 Alumínio (Al)

As concentrações de alumínio (Al) presentes nos sedimentos de fundo na estação menos chuvosa apresentaram valor mínimo de 9403 mg.kg⁻¹ (janeiro/2012) e máximo de 17753 mg.kg⁻¹ (novembro/2011). Na estação chuvosa, as concentrações de alumínio oscilaram de 7466 mg.kg⁻¹ a 14957 mg.kg⁻¹(gráfico 5a). Nos meses de setembro a novembro de 2011 houve um aumento na concentração de alumínio em praticamente todos os pontos amostrados, entretanto, em janeiro ocorreu uma diminuição (exceção P4). Em março, maio (exceção P4) e julho foram verificados as menores variações (gráfico 5b).

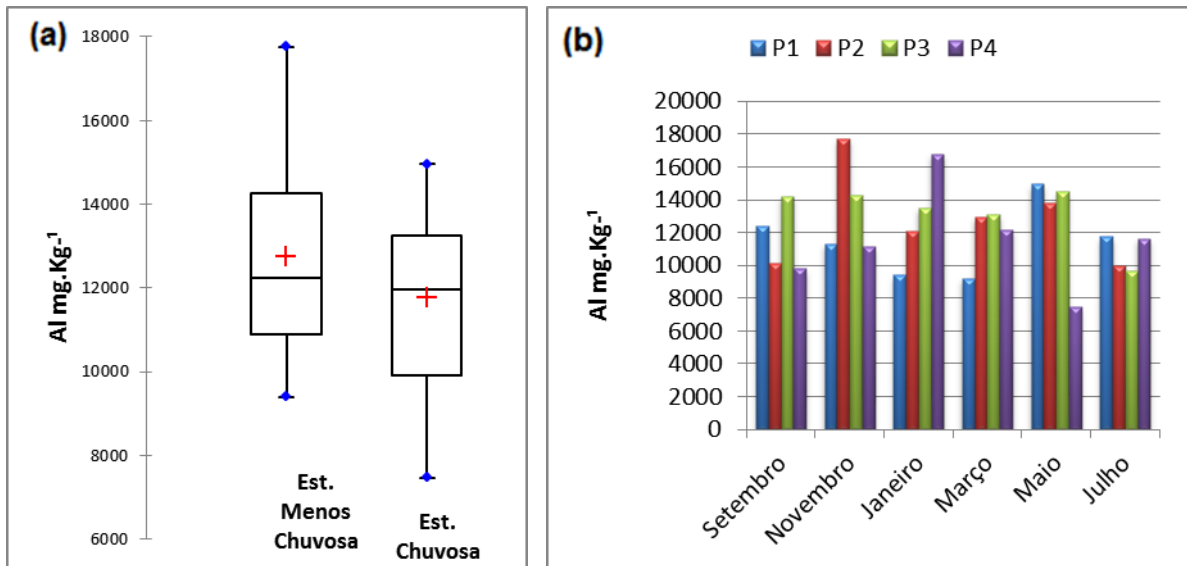


Gráfico 5- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de alumínio encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

Em relação à variação espacial, houve uma tendência crescente em janeiro (2012) na seguinte proporção: $P1 < P2 < P3 < P4$. Mesma tendência foi observada em março de 2012 ($P1 < P2 < P3$), com exceção do P4. Nos demais meses não ocorreram tendências de distribuição. O alumínio apresentou concentrações mais elevadas no ponto P2 e ponto P4, com 17753 mg.kg^{-1} e 16807 mg.kg^{-1} , respectivamente. No entanto, foi observado maior média para o ponto P3, com valor de $13207,74 \text{ mg.kg}^{-1}$ e, menor média para o ponto P4 com $11500,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ (gráfico 6a e 6b).

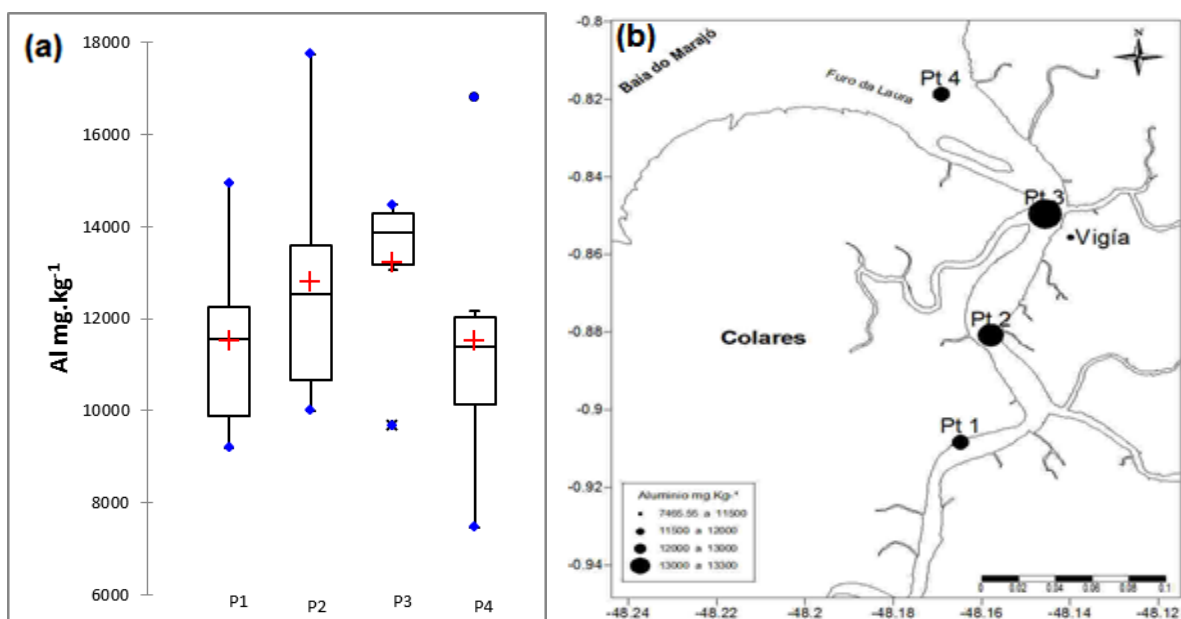


Gráfico 6- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de alumínio encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

Os pontos próximos ao município de Vigia (P2 e P3) apresentaram em todo o período estudado as maiores concentrações de alumínio, assim como verificados para as médias da estação menos chuvosa.

Em ambientes estuarinos o aumento da salinidade das águas no final da época de estiagem favorece a precipitação de hidróxidos de ferro e de alumínio (NASCIMENTO, 1995), como no caso do Furo da Laura, com isso, justificando as concentrações mais elevadas na estação menos chuvosa.

Pereira et al. (2007) no estudo de metais nas águas do rio Murucupi (afluente do rio Pará) e em solos de várzea do rio Guamá (FERREIRA et al., 1998), encontraram teores (Alumínio) de $0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $50,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente, sendo atribuído a forte influência das águas do rio Pará e rio Guamá.

A área estudada é banhada pelas águas da Baía do Marajó, que é formada pela mistura das águas do rio Pará, Guamá e Baía do Guajará. Nessas águas foram constatadas baixas concentrações de alumínio, entretanto, é válido salientar que na camada sedimentar a tendência em acumular metais pesados é maior que na coluna d'água.

Ressalta-se ainda que o alumínio é um metal pouco móvel em ecossistemas aquáticos (YUN et al., 2000; SELVARAJ et al., 2004) e, enriquecido em sedimentos lixiviados (SIQUEIRA; APRILE, 2013).

Silva et al. (1999), detectaram valor de alumínio de 1600 mg.kg^{-1} e Silva et al. (2008), valor de 1400 mg.kg^{-1} , em sedimentos coletados a 6,2 km de Colares, em direção ao Furo da Laura-Balsa e área de várzea de Vigia, respectivamente, o que demonstra que os valores encontrados no Furo da Laura podem estar relacionados a geoquímica do local.

Segundo Siqueira e Aprile (2013) não há padrão definido para o Al no que se refere à abundância em águas e sedimentos de fundo continentais, sendo que sua concentração está associada a fatores físicos e químicos: pH do meio, potencial redox, concentração de O_2 dissolvido, presença de elementos carbonatos e matéria orgânica, entre outros.

7.3.2 Cádmio (Cd)

Para o cádmio foi verificada uma concentração mínima de $3,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Novembro/2011) e máximo de $4,92 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Novembro/2011), enquanto que, na estação chuvosa de $2,72 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Julho/2012) e $5,16 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Maio/2012) (gráfico 7a). Com exceção do mês de janeiro/12, o cádmio apresentou uma distribuição temporal bastante heterogênea durante o período estudado, ocorrendo alguns picos na sua concentração em novembro/11, março/12 e maio/12, contudo, foram observadas as menores concentrações para o mês de julho/12 (gráfico 7b).

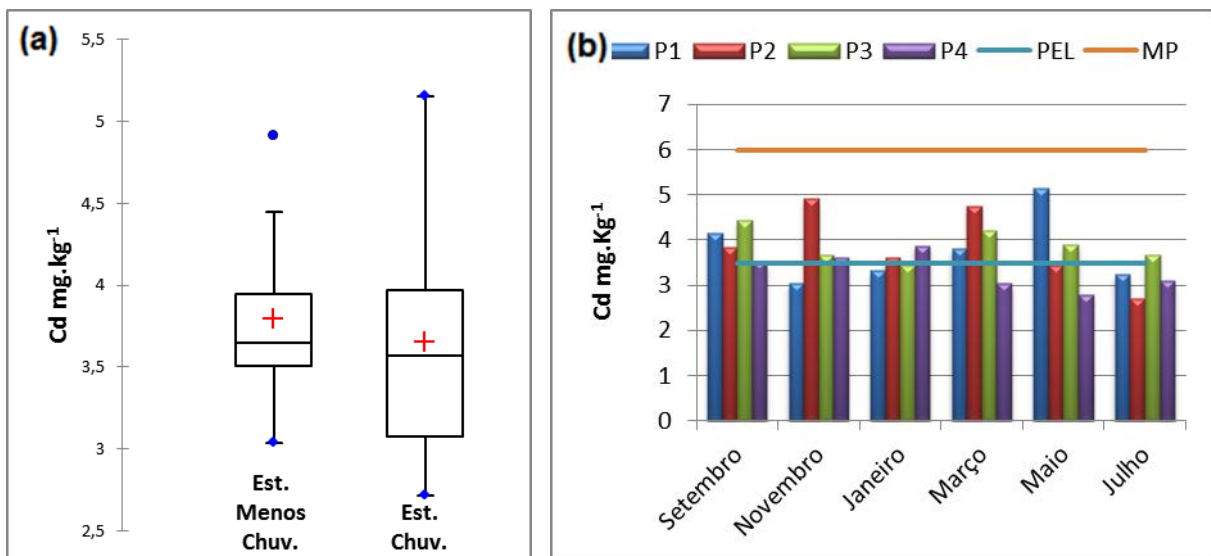


Gráfico 7- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cádmio encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

As concentrações de cádmio nos sedimentos Furo da Laura encontram-se acima dos limites de referência PEL ($>3,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), tais concentrações são frequentemente associadas a efeitos biológicos adversos. Contudo, os valores encontrados ficaram abaixo do índice para sedimentos (6 mg.kg^{-1}) das enseadas dos grandes lagos (EUA), não se enquadrando como muito poluídos.

Em relação à distribuição espacial, o cádmio (Cd) apresentou maiores concentrações no ponto P1 e P2, com valores de $5,16 \text{ mg.kg}^{-1}$ (maio) e $4,92 \text{ mg.kg}^{-1}$ (novembro) respectivamente. Foi observado que o ponto P4 apresentou menor variação nos meses monitorados, enquanto que, nos demais pontos as concentrações de cádmio oscilaram frequentemente. Apesar do ponto P1 apresentar maior concentração, foi observado que o ponto P3 apresentava maior média ($3,89 \text{ mg.kg}^{-1}$) e o ponto P4 a menor média ($3,32 \text{ mg.kg}^{-1}$) (gráfico 8a e 8b).

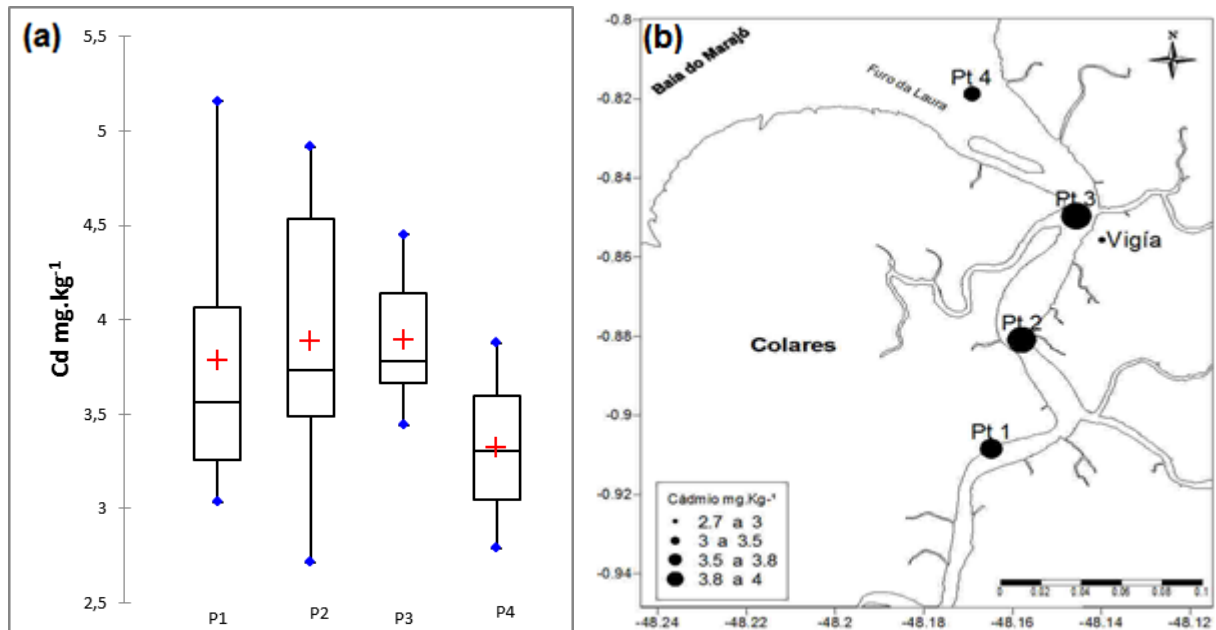


Gráfico 8- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cádmio encontrada no Furo da Laura (Vigia/PA).

Assim como observado para o alumínio, o cádmio apresentou as maiores concentrações nos pontos próximos ao município de Vigia e maiores médias na estação menos chuvosa. Os valores encontrados ficaram acima dos índices de referência PEL ($3,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), caracterizando-se como de péssima qualidade, podendo afetar a biota aquática.

Os metais pesados tendem a precipitar para o sedimento quando as condições físicas, químicas e físico-químicas se alteram na coluna de água (SIQUEIRA; APRILE, 2013). No Furo da Laura os parâmetros físico-químicos sofrem uma variação ao longo do ciclo de maré, com comportamento semelhante para temperatura, salinidade e transparência e diferente para material particulado em suspensão, condutividade elétrica e pH, sendo que, alguns parâmetros são influenciados pela sazonalidade (GUIMARÃES et al., 2013).

A variação sazonal desse metal pesado verificada no presente estudo pode ter relação com a dinâmica dos parâmetros físico-químicos nesse estuário, com isso, influenciando sua sedimentação ou redistribuição.

Quanto à origem dos teores de Cd nos sedimentos pode ser atribuída a ocorrência natural, visto que, as altas concentrações foram verificadas em todos os meses ou pode estar havendo uma contribuição antrópica para área estudada, principalmente nos pontos P2 e P3.

O cádmio é um metal pesado com origem associada a atividades antrópicas (SILVA, 2005). Os fosfatos naturais e solúveis são indicados como as principais fontes de introdução de Cd pelas atividades antrópicas no ambiente aquático (SOTO-JIMÉNEZ, 2003; FADIGAS et al., 2002).

Valores próximos aos do presente estudo foram encontrados por Silva et al. (2005), na bacia do rio Mogi Guaçu (São Paulo), que verificaram valores médios de $3,22 \text{ mg.kg}^{-1}$, e por Hortellani et al. (2013), nos sedimentos do Reservatório Billings (São Paulo), descreveram valores médios de $3,13 \pm 0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$.

7.3.3 Cobalto (Co)

O Cobalto também teve variações, sendo que, as concentrações não seguiram um padrão de distribuição temporal no Furo da Laura. Na estação menos chuvosa, o cobalto (Co), apresentou concentração mínima de $9,69 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Janeiro/2012) e máximo de $13,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Novembro/2011) e, na estação chuvosa mínimo de $8,26 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Julho/2012) e máximo de $13,37 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Março/2012) (gráfico 9a). Nos meses de setembro/2011, novembro/2011 março/2012 e maio/2012, foram verificados os valores mais elevados de Co, enquanto que, em julho/2012 (exceção P3) as menores concentrações (gráfico 9b).

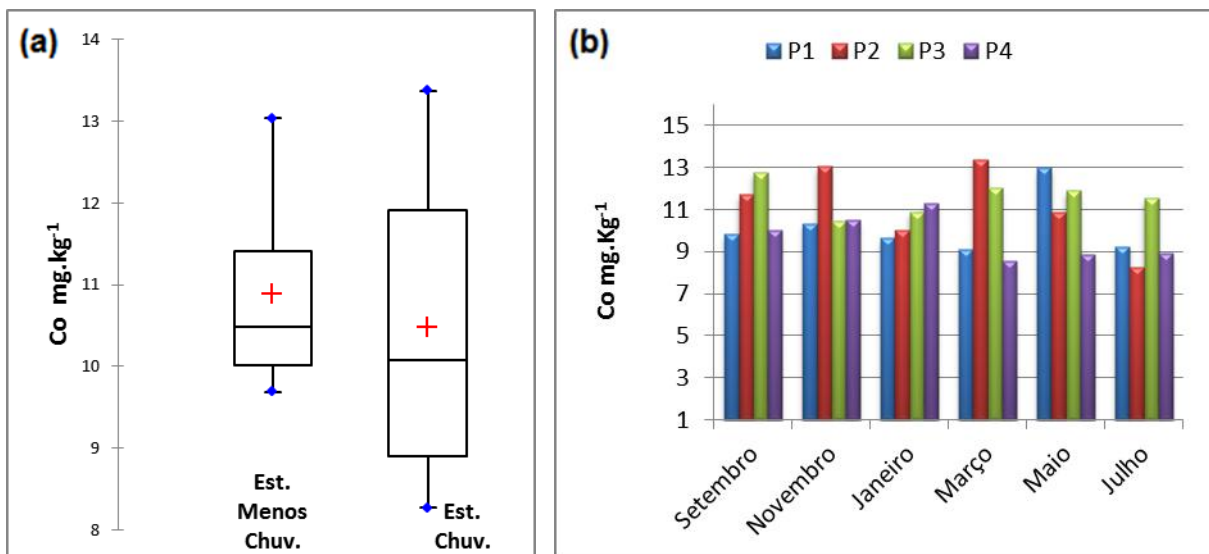


Gráfico 9- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cobalto encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

Em relação à distribuição espacial de cobalto no Furo da Laura, assim como já verificados para os metais Al, Cd, também foram mais elevados nos pontos mais próximos do município de Vigia (P2 e P3), enquanto que, as menores concentrações desse metal pesado constatadas nos pontos mais distantes (exceção maio/12 no P1). Ocorreu um aumento na concentração de cobalto da parte interna do Furo da Laura para porção externa (P1<P2<P3<P4), em Janeiro/2012 e setembro/11 (P1<P2<P3).

No ponto P2, localizado a jusante do município de Vigia foi encontrado a concentração mais elevada de cobalto ($13,37 \text{ mg.kg}^{-1}$). Foi observado também alta concentração desse metal pesado no ponto P1 ($13,00 \text{ mg.kg}^{-1}$), entretanto, o alto teor nesse ponto se restringiu apenas ao mês de janeiro de 2012. Quanto aos teores médios verificados nos pontos amostrados no Furo da Laura, assim como verificados para o alumínio e cádmio, a maior média de cobalto foi para o ponto P3 com $11,59 \text{ mg.kg}^{-1}$. As menores concentrações foram verificados para o ponto localizado próxima a área de desembocadura do furo (P4), sendo observada também a menor média ($9,69 \text{ mg.kg}^{-1}$) de cobalto em relação aos demais pontos (gráfico 10a e 10b).

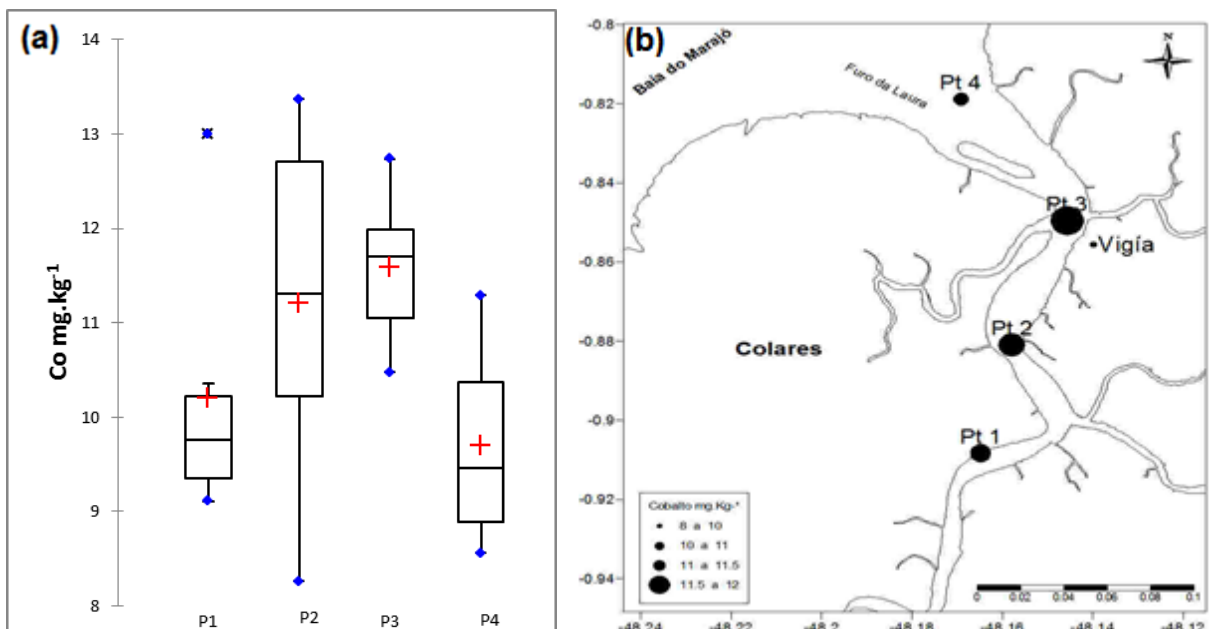


Gráfico 10- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cobalto encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

Como já verificados para os demais metais pesados, os pontos amostrados mais próximos do município de Vigia foram encontrados os teores mais elevados de cobalto (P2) e a maior média (P3). A maior média constatada no ponto P3 é reflexo de uma menor variabilidade na concentração de cobalto nesse ponto, ou seja, esses teores elevados são constantes para todo período estudado.

As maiores concentrações encontradas na estação menos chuvosa e nesses pontos podem estar relacionadas a geoquímica do local ou até mesmo contribuições antrópicas, visto que, nos pontos mais afastados do município de Vigia apresentaram concentrações um pouco mais baixas.

Nascimento e Fenzl (1997) verificaram nos sedimentos do rio Guamá média 48 mg.kg^{-1} e nos seus canais $62,7 \text{ mg.kg}^{-1}$. Siqueira et al. (2006), estudaram elementos-traço nos sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas e encontraram teores totais de cobalto oscilando entre $14,29$ e $48,76 \text{ mg.kg}^{-1}$, com média de $39,72 \text{ mg.kg}^{-1}$, caracterizando-se como de caráter natural do ecossistema.

Devido a falta de estudos referentes à concentração natural de cobalto no Furo da Laura, para efeito de comparação, o estudo de Siqueira et al. (2011), mesmo apresentando características singulares, os resultados são inferiores aos encontrados por esse autor, instigando sobre uma provável origem geoquímica.

Luiz-Silva et al. (2006), estudaram a variação espacial e sazonal de cobalto em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP), encontraram médias de $10,3 \pm 1,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ para Rio Cubatão, $10 \pm 1,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ para o Rio Capivari e $13 \pm 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ para o Rio Morrão. Berrêdo et al. (2008), estudaram a mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim (Pará) encontraram média 8 mg.kg^{-1} , que fora relacionado ao intemperismo sobre rochas ígneas félsicas da crosta continental. Costa et al. (2004), encontraram média de $12,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ em sedimentos de mangue provenientes do nordeste do Estado do Pará.

7.3.4 Cobre (Cu)

O cobre apresentou concentrações entre $11,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Novembro/2011) e $16,36 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Novembro/2011) na estação menos chuvosa e, $9,42 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Julho/2012) e $14,91 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Março/2012) na chuvosa (gráfico 11a). Nos meses investigados constatou-se que não houve grandes variações nas concentrações de

cobre, ficando restrito apenas ao mês de novembro o pico com maior valor e, em julho a menor concentração de Cu (gráfico 11b).

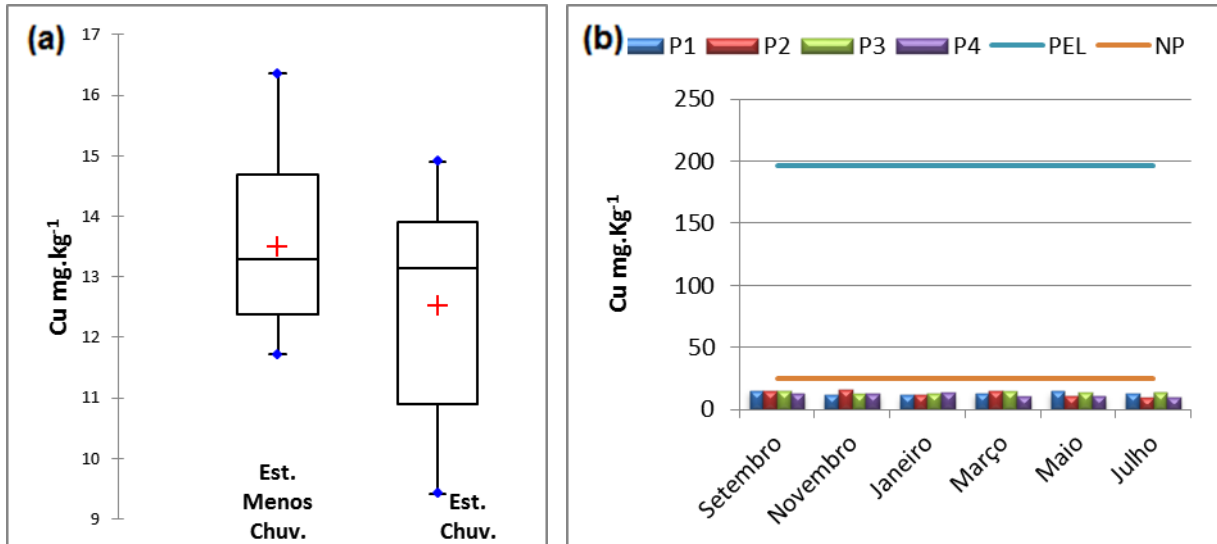


Gráfico 11- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cobre encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

As concentrações verificadas tanto para a estação menos chuvosa quanto para estação chuvosa encontram-se abaixo do índice de referência PEL (197 mg.kg⁻¹). Quanto ao índice de caracterização para sedimentos das enseadas dos grandes lagos (EUA), foi verificado também menores valores (< 25 mg.kg⁻¹), dessa forma, classificando os sedimentos do Furo da Laura como não poluídos.

Em relação às concentrações detectadas nos pontos de amostragem foi observada uma variação na distribuição no Furo da Laura. No ponto P1 foi encontrada a maior concentração em setembro/11 e maio/12, enquanto que, no P2 para os meses de novembro/11 e março/12, no P3 julho/12 e no P4 em janeiro/12.

No ponto P2, próximo ao município de Vigia, foi detectado a maior concentração (164,36 mg.kg⁻¹), entretanto, a maior média no ponto P3 (13,76 mg.kg⁻¹) e a menor média para o ponto P4 (11,90 mg.kg⁻¹) (gráfico 12a e 12b).

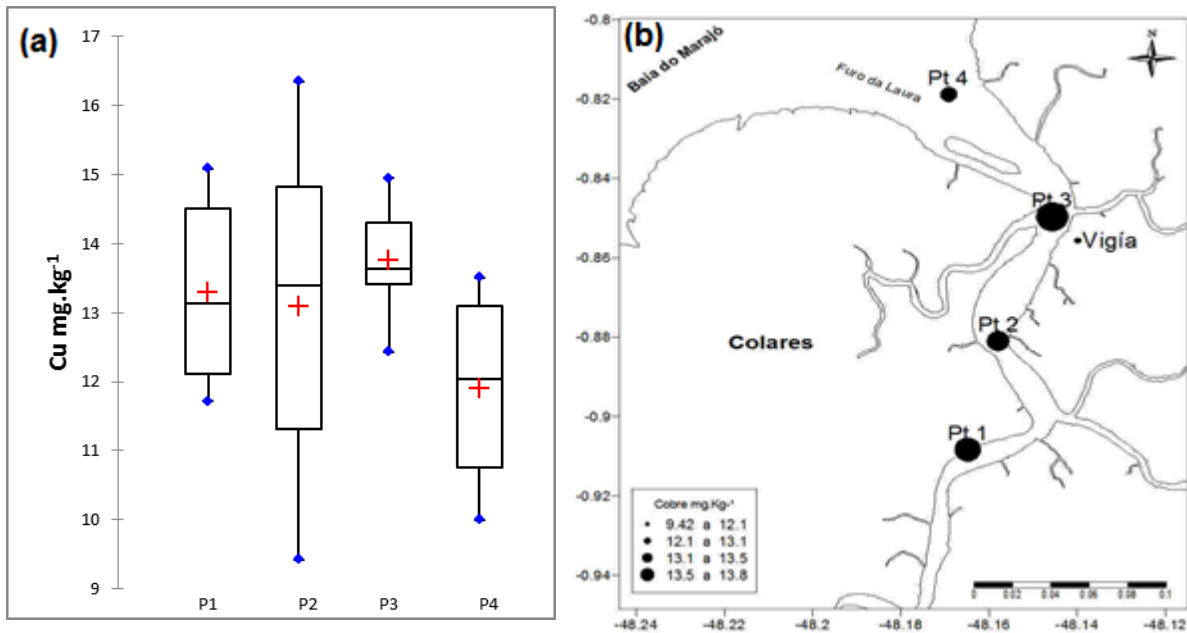


Gráfico 12- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cobre encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

O cobre teve as maiores concentrações nos pontos situados próximos ao município de Vigia (P2 e P3). No entanto, esses teores averiguados (9,42 a 14,91 mg.kg⁻¹) são considerados baixos quando comparados aos valores de referência utilizados no presente estudo, mostrando não haver poluição no Furo da Laura ou contaminação relacionada ao cobre, enquadrando-se como ambiente não impactado por esse metal.

As baixas concentrações de cobre detectadas podem estar relacionadas com os baixos teores de matéria orgânica nos ponto de amostragens (MO ≤ 10 %), visto que existe uma grande afinidade do cobre com a matéria orgânica. A quantidade de matéria orgânica possui grande influência na forma como o cobre se encontra no sedimento. Quando o sedimento contém baixas concentrações de matéria orgânica, a maior parte do cobre que ele contém encontra-se na fração residual associada à rede silicática das argilas (CHESTER et al., 1988).

Em sedimentos contendo altas concentrações de matéria orgânica, o cobre se associa principalmente aos sulfetos e à matéria orgânica (NAVFAC, 2000). O restante do cobre em sedimentos oxidados encontra-se associado com óxidos de ferro e manganês (PROHIC; KNIEWALD, 1987).

Na Baía do Marajó e Baía do Guajará, onde prevalecem sedimentos com a formação do tipo barreiras constataram-se médias de 21 mg.kg⁻¹ e 17 mg.kg⁻¹, respectivamente (HOLANDA, 2010). Devido a forte influência exercida pela Baía do

Guajará e Baía do Marajó sobre o Furo da Laura, estes podem ser considerados prováveis fontes desse metal pesado para área de estudo.

Outros estudos realizados no nordeste do Pará abordando a distribuição do cobre nos sedimentos também obtiveram resultados abaixo dos índices de referência do presente estudo, como a pesquisa de Berrêdo et al. (2008), nos sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim (Pará), encontrou média de 10,7 mg.kg⁻¹. Siqueira e Aprile (2013), avaliando o risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá (Região Metropolitana de Belém), verificou teores que variando entre 10,50 mg kg⁻¹ e 28,80 mg.kg⁻¹, com média de 19,57 ± 4,52 mg.kg⁻¹. Pela classificação do grau de poluição do sedimento pelo Cu da EPA, os sedimentos alguns pontos seriam enquadrados como moderadamente poluídos, por estarem dentro do intervalo de 25 a 50 mg.kg⁻¹.

Ressalta-se ainda que as concentrações de cobre obtidas ficaram abaixo dos valores encontrados em sedimentos nas regiões impactadas por cobre. Silva et al. (2011), em estudo sobre sedimentos superficiais do rio Uberabinha (Uberlândia), detectaram valores acima dos índices de referência para sedimentos das enseadas dos grandes lagos, com valor médio de 64,85 ± 0,85 mg.kg⁻¹, enquadrando-se na classificação como muito poluídos. Hortellani et al. (2013), nos sedimentos do Reservatório Billings (São Paulo), encontrou valores 95,2± 5,1 mg.kg⁻¹, sendo considerado também como muito poluído, segundo EPA (1977).

7.3.5 Cromo (Cr)

Em relação a variação sazonal do metal pesado cromo, houve uma maior média na estação menos chuvosa (58, 56 mg.kg⁻¹) quando comparadas com a estação chuvosa (54, 42 mg.L⁻¹). Os teores de Cr variaram de 53,14 mg.kg⁻¹ (Novembro/2011) a 71,37 mg.kg⁻¹ (Novembro/2011) na estação menos chuvosa, enquanto que, na chuvosa teores de 42,3 mg.kg⁻¹ (Julho/2012) a 68,72 mg.kg⁻¹ (Março/2012) (gráfico 13a). Foram encontrados valores mais altos em novembro/11 e março/12 no ponto localizado próximo ao município de Vigia (P2), assim como já verificados para os metais Al, Co e Cu nesse mesmo ponto (Gráfico 13b).

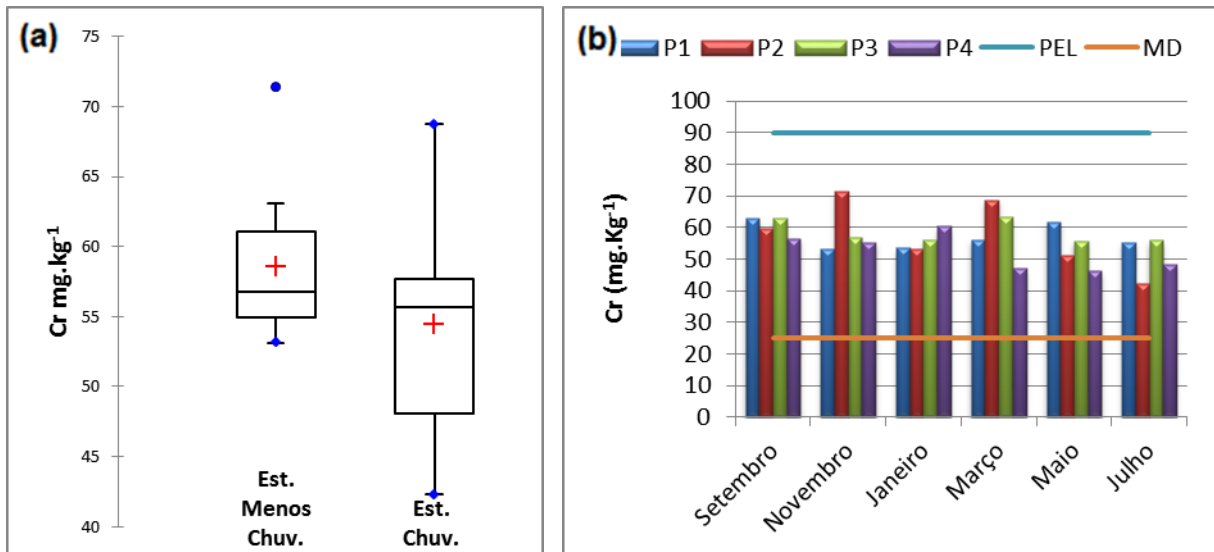


Gráfico 13- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de cromo encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

As concentrações encontradas no presente estudo estão abaixo do índice PEL (90 mg.kg^{-1}), entretanto, superiores ao índice de referência (50 mg.kg^{-1}) para sedimentos das enseadas dos grandes lagos (EUA), sendo caracterizado como moderadamente poluído por cromo.

Quanto a distribuição espacial de cromo nos pontos de amostragens no Furo da Laura, o ponto (P2) situado a jusante do município de Vigia teve a maior concentração durante o período estudado ($71,37 \text{ mg.kg}^{-1}$). Nesse ponto (P2) também se constatou a menor concentração em julho/2012 ($42,30 \text{ mg.kg}^{-1}$).

No ponto P3 ocorreram as menores variações de cromo nos meses investigados, enquanto que o ponto P2 as maiores oscilações. Em relação à média, no ponto P3 foi constatada a maior média com $58,56 \text{ mg.kg}^{-1}$, enquanto que o ponto P4 a menor média com $52,38 \text{ mg.kg}^{-1}$, (gráfico 14a e 14b).

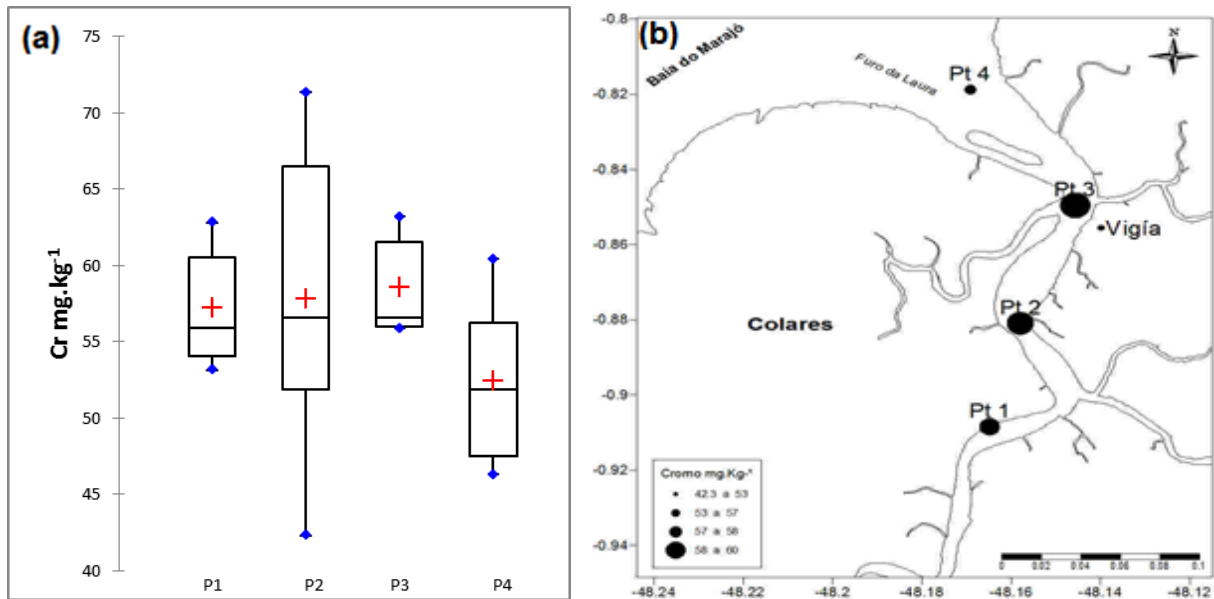


Gráfico 14- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de cromo encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

O Cr é um elemento caracteristicamente terrígenos (AGUIAR; MARINS; ALMEIDA, 2007) e sua fonte é associada ao intemperismo da formação Barreiras (ZOTTO, 2012), característico dos solos do município de Vigia (IDESP, 2013), instigando sobre possíveis fontes geoquímicas da área investigada.

Na Baía do Marajó também são encontrados sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2006) com elevados níveis de Cr (102 mg/Kg) e tendência de se concentrar onde há maior teor de matéria orgânica (HOLANDA, 2010).

Portanto, as altas concentrações de Cr no Furo da Laura podem ser reflexos de processos hidrodinâmicos ocorridos na Baía do Marajó, sendo considerados como prováveis fontes para área estudada, visto que, são compostos por sedimentos com altos teores de Cr.

Em todos os pontos investigados foram constatadas concentrações moderadamente elevadas, com destaque para o ponto P2, situado à jusante do município por apresentar os maiores teores de cobre. Ressalta-se ainda que, apesar do ponto P2 ter as maiores concentrações nos meses de novembro e março, foi observado que em julho esse mesmo ponto (P2) possuía a menor concentração. Essa dinâmica de distribuição (maior e menor concentração para mesmo ponto) instigam sobre uma origem relacionada à geoquímica local ou aporte antrópica, sem

descartar a influências de fatores físico-químicos atuando na liberação desse metal para a coluna d'água, com isso diminuindo a concentração de um mês para outro.

Embora existam muitos estados de oxidação do Cr na natureza, apenas as formas trivalente (III) e hexavalente (VI) são consideradas de importância biológica. Em ambientes aquáticos, o Cr (VI) está presente predominantemente na forma solúvel, que pode ser estável o suficiente para sofrer o transporte. No entanto, o Cr (VI) eventualmente será convertido em Cr (III), por meio de espécies redutoras como substâncias orgânicas, sulfeto de hidrogênio, dióxido de enxofre, sulfato ferroso, metabissulfito de sódio, amônio e nitrito, sendo que a maior efetividade na redução é atingida em $\text{pH} \leq 3,0$ (YABE; OLIVEIRA 1998; KIMBROUGH et al., 1999). Segundo Richard e Bourg (1991), mudanças nas propriedades físico-químicas (pH, Eh, O_2 dissolvido) de um ambiente aquático podem resultar em mudanças no equilíbrio Cr (III) - Cr (VI).

As concentrações de cromo verificadas no Furo da Laura, mesmo apresentando-se mais elevadas próximo a Vigia, não ultrapassaram o limite de referência (PEL: 90 mg.kg^{-1}), podendo ter relação com os baixos teores de matéria orgânica. Geralmente o Cr^{+3} é mais abundante do que Cr^{+6} em sedimentos. O Cr^{+6} é um forte agente oxidante, e é reduzido rapidamente pela MO e alguns metais pesados nos sedimentos. As pequenas quantidades de Cr^{+6} em sedimentos estão firmemente ligadas à MO e ao óxido de ferro que cobre as partículas de argila (GARLIPP, 2006). A maior parte do cromo em sedimentos encontra-se associada às argilas, conforme indicado pela alta correlação entre as concentrações de alumínio e cromo em sedimentos estuarinos na Flórida (SCHROPP et al., 1990).

Os teores de cromo dos sedimentos do Furo da Laura estão dentro da faixa encontrada em outras regiões do Brasil. Silva et al. (2011) detectou média de cromo de $64,33 \pm 1,46 \text{ mg.kg}^{-1}$ nos sedimentos superficiais do rio Uberabinha (Uberlândia). Silva et al. (2005), na Bacia do rio Mogi Guaçu, médias de $63,75 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $61,57 \text{ mg.kg}^{-1}$, em São Paulo e Minas Gerais, respectivamente. Siqueira e Aprile (2013), na Bacia do rio Aurá (PA), teores de cromo nos sedimentos variando entre $22,60 \text{ mg kg}^{-1}$ e $63,20 \text{ mg kg}^{-1}$, com média de $45,39 \pm 9,39 \text{ mg kg}^{-1}$, classificando-os como moderadamente poluído.

As concentrações de cromo verificadas no Furo da Laura são inferiores aos constatados por alguns estudos em sedimentos de mangue da região nordeste do Pará. Berrêdo et al. (2008), encontrou no rio Marapanim (Pará) média cromo de 82

mg.kg⁻¹ e Costa et al. (2004), média de 78 mg.kg⁻¹ nos sedimentos de mangue no nordeste Pará, indicando um leve enriquecimento nas zonas superiores dos sedimentos dos manguezais, diminuindo seus teores em com a profundidade. Lima et al. (2005) nos sedimentos de fundo da foz do rio Pará (PA) e o cabo Orange (AP) média de 54,93 mg.kg⁻¹, portanto, indicando que as concentrações detectadas no presente estudo não foge dos padrões encontrados para estuários da mesma região.

7.3.6 Ferro (Fe)

Para o Ferro, foi verificado que na estação menos chuvosa houve uma maior média (29752,7 mg.kg⁻¹), quando comparada com a chuvosa (29115,1 mg.kg⁻¹). Na estação menos chuvosa o Fe obteve concentração mínima de 26935 mg.kg⁻¹ (Janeiro/2012) e máximo de 35833 mg.kg⁻¹ (Novembro/2011) e, na estação chuvosa variou de 23675 mg.kg⁻¹ (Julho/2012) a 37607 mg.kg⁻¹ (Maio/2012) (gráfico 15a). Nos meses de novembro/2011, março/2012 e maio/2012 ocorreram os maiores teores de ferro, enquanto que, em julho foi observado o valor mais baixo (gráfico 15b).

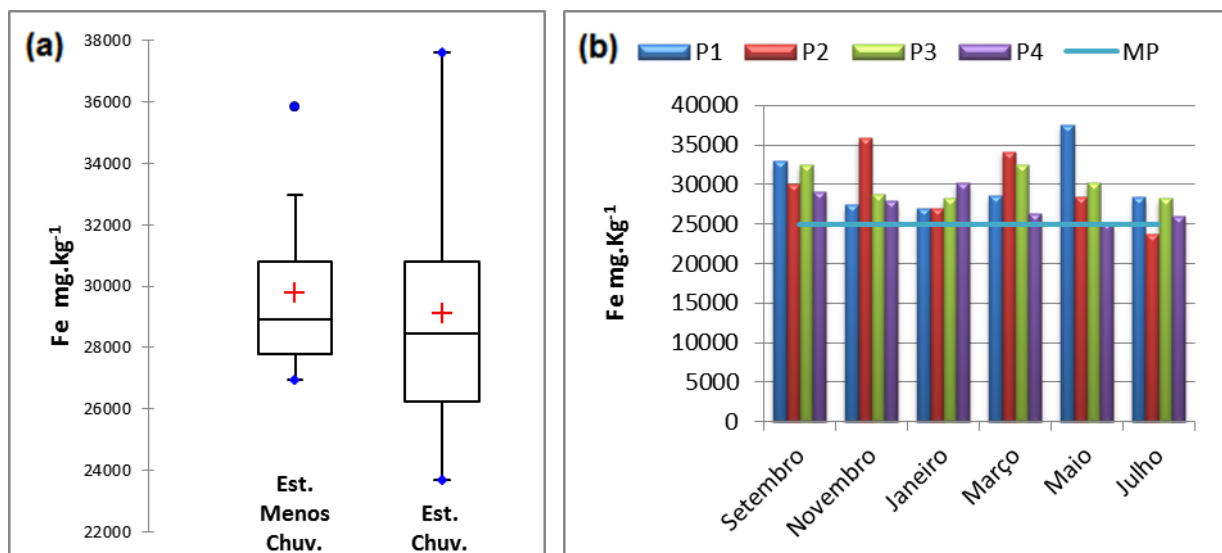


Gráfico 15- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de ferro encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

Em relação ao índice de referência para sedimentos das enseadas dos grandes lagos (EUA), os valores são superiores a 25000 mg.kg⁻¹, caracterizando os sedimentos da região estudada como muito poluídos.

Quanto à distribuição espacial do ferro, a maior concentração detectada foi no ponto P1, entretanto, também foram constatadas concentrações pouco elevadas nos pontos próximos a Vigia (P2 e P3). O ponto P1 situa-se na parte mais interna do furo, é um dos pontos amostrados mais distantes de Vigia e pelas características do local não se esperava encontrar altos teores de ferro nesse ponto.

No ponto P4 foram encontradas as menores variações nos meses investigados, mantendo padrões mais conservados de ferro em relação aos outros pontos. Em janeiro foi observada uma tendência crescente de ferro da porção interna para externa (P1<P2<P3<P4) do Furo da Laura. Nos demais meses não ocorreram tendências de concentração nos pontos de amostragens. Em relação à concentração média nos pontos de amostragens, foi verificado que o ponto P1 teve maior média (30346,63 mg.kg⁻¹) enquanto que o ponto P4 a menor média (27446,20 mg.kg⁻¹) (gráfico 16a e 16b).

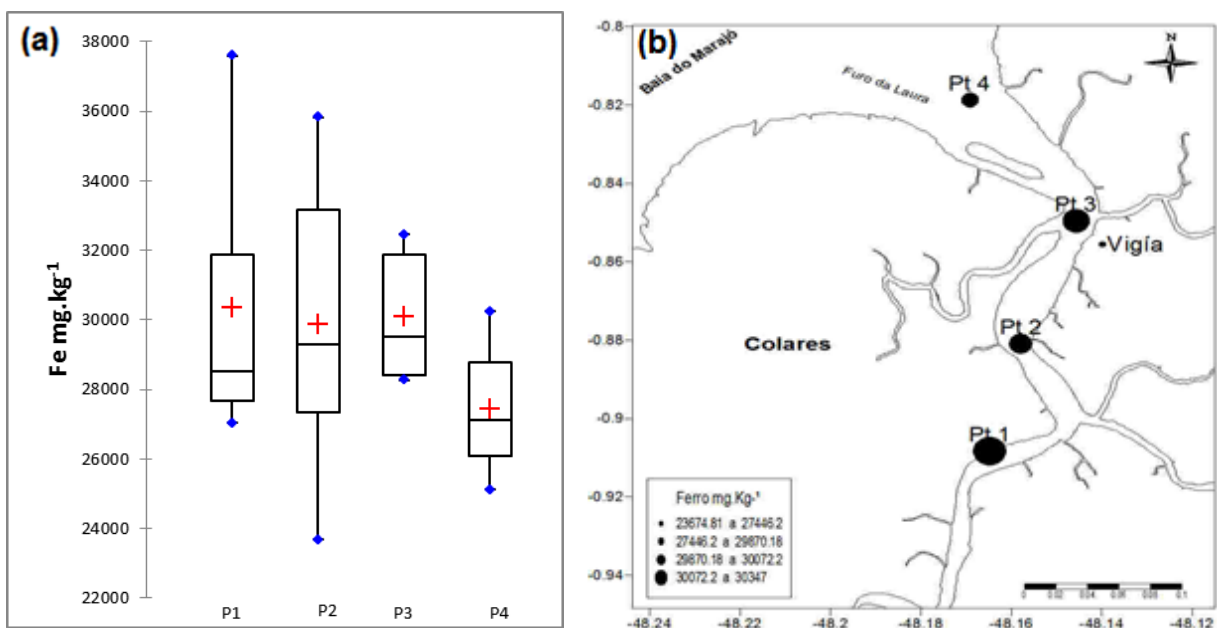


Gráfico 16- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de ferro encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

O ferro é um elemento caracteristicamente terrígenos (AGUIAR; MARINS; ALMEIDA, 2007), com fonte associada ao intemperismo da formação Barreiras (ZOTTO, 2012) e comumente predominante em águas brancas ou barrentas, o que facilitaria sua precipitação (SIQUEIRA, 2013).

O município de Vigia possui sedimentos de formação barreiras (IDESP, 2013), sendo banhado por águas do tipo brancas com altas concentrações de materiais particulados em suspensão (GUIMARÃES et al., 2013).

A formação barreiras e as águas do tipo branca do Furo da Laura podem estar associadas com os níveis de ferro encontrados nos sedimentos superficiais desse estuário. Ressalta-se ainda que os sedimentos da Baía do Marajó também são da formação barreira, dessa forma, não sendo descartado como possíveis fontes de ferro para a área estudada, visto que, os sedimentos e material em suspensão podem ser carregados de um estuário para outro através das correntes.

No ambiente estuarino o comportamento do Fe é considerado característico e um dos mais estáveis do mundo (CHESTER, 2002), funcionando como filtro deste elemento (SHARP et al., 1984). Quando precipita como óxido de ferro, se torna um sítio para a coprecipitação ou adsorção para os outros metais, assim é esperado que o Fe seja bem correlacionado com outros elementos (ZOTTO, 2012).

As concentrações de Fe no Furo da Laura não foram estáveis, ultrapassando limite de referência ($<25000 \text{ mg.kg}^{-1}$) para grandes lagos (EUA), constatados principalmente em setembro, maio e julho para o ponto P1. No ponto P2 (frente de Vigia) também ocorreram valores elevados de setembro a maio, não sendo descartadas possíveis contribuições antrópicas nesse ponto.

Lima et al. (2005) estudou os sedimentos da foz do rio Pará (PA) com o cabo Orange (AP), constatando valores elevados de ferro (média $44713,75 \text{ mg.kg}^{-1}$). Sampaio (2003), nos sedimentos da bacia do alto Paraguai, encontrou teores que se enquadram em níveis com efeito severo (diretriz de efeitos de toxicidade nos sedimentos do Canadá) no rio Paraguai, em Bela Vista do Norte com 4926 mg.kg^{-1} .

Segundo Villa (2011), na avaliação de metais pesados em sedimentos na bacia hidrográfica do município de Umuarama (PR), detectou teores de ferro variando entre $91,3$ e $416,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ no inverno, $655,4$ e 2390 mg.kg^{-1} na primavera, 785 e 3783 mg.kg^{-1} no verão, $0,477$ e $1,758 \text{ mg.kg}^{-1}$ no outono, encontrando-se abaixo do nível de referência (PEL), contudo, medidas de monitoramento ambiental são necessárias para programas de prevenção a contaminação na bacia do córrego Pinhalzinho II.

7.3.7 Níquel (Ni)

Em relação ao Ni, foi verificado que a estação menos chuvosa ocorreu a maior média ($20,83 \text{ mg.kg}^{-1}$) e que na estação chuvosa a menor média ($18,72 \text{ mg.kg}^{-1}$). Na estação menos chuvosa, o valor mínimo foi de $17,82 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Janeiro/2012) e o máximo de $22,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Setembro/2011). Para a chuvosa, o mínimo foi de $12,86 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Julho/2012) e o máximo de $24,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Março/2012) (gráfico 17a). No mês de setembro foram encontrados teores elevados em todas as amostras, no entanto, em março foi verificado maior pico de concentração (gráfico 17b).

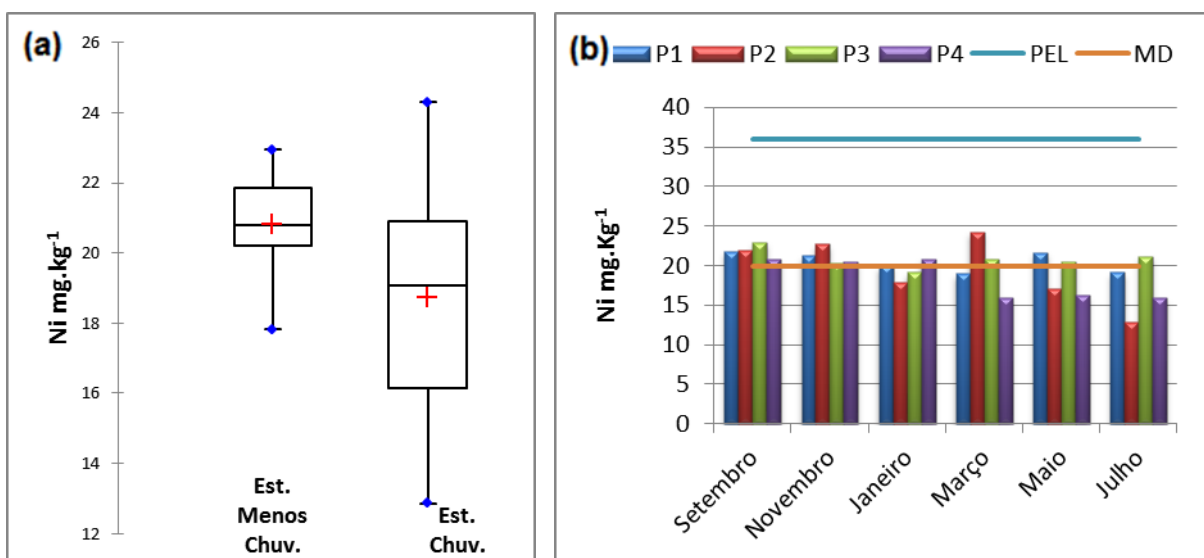


Gráfico 17- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de níquel encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura (Vigia/PA).

Quanto ao índice de referência, tanto os resultados obtidos na estação menos chuvosa quanto na estação chuvosa estão abaixo do índice PEL (36 mg.kg^{-1}). Em relação ao índice de referência ($<20 \text{ mg.kg}^{-1}$) para sedimentos das enseadas dos grandes lagos (EUA), os resultados ficaram pouco acima dos limites em alguns meses investigados, caracterizando os sedimentos do Furo da Laura como poluídos moderadamente por níquel.

Para o níquel foram encontrados teores mais elevados nos pontos P2 e P3, localizados a jusante e a montante do município de Vigia, com valores de $24,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $22,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ respectivamente, enquanto que, o ponto P4 obteve concentrações mais baixas durante os meses analisados (gráfico 22). Quanto a média, foi constatado que no ponto P3 ocorreu a maior média de níquel ($20,80$

mg.kg⁻¹) e a menor foi verificada para o ponto P4 (12,86 mg.kg⁻¹), (gráfico 18a e 18b).

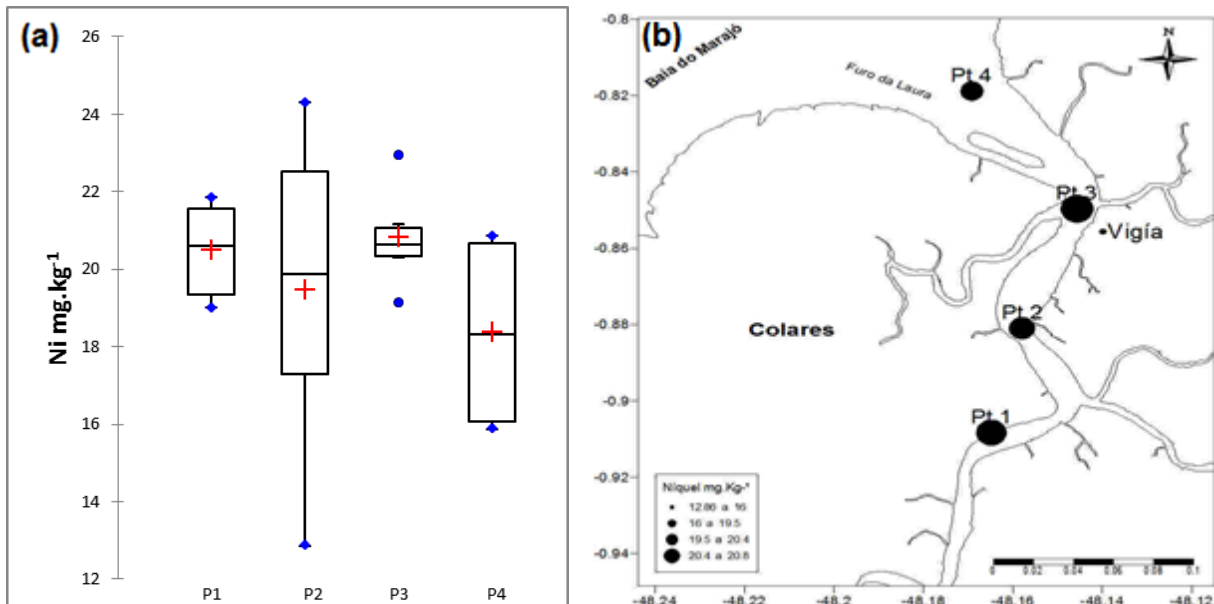


Gráfico 18- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de níquel encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

Segundo Araújo e Pinto-Filho (2010), a distribuição dos teores nos solos superficiais demonstra uma forte relação entre a atividade industrial e o padrão de ventos, mesmo sobre condições de densa construção urbana. Como já ocorrido para os metais Al, Co, Cu, e Cr, houve também concentração mais elevada de Ni no ponto P2 (março/12) e maior média na estação menos chuvosa, o que evidencia que a sazonalidade pode estar influenciando a ocorrência desse metal.

Nos sedimentos do rio Guamá e nos seus canais foram detectados teores médios de 38, 35 mg.kg⁻¹ e 36, 54 mg.kg⁻¹, respectivamente (NASCIMENTO; FENZL, 1997). Nos sedimentos da Baía do Guajará a média encontrada foi de 32 mg.kg⁻¹ e na Baía do Marajó 40 mg.kg⁻¹, com tendência a se concentrar onde há maior teor de matéria orgânica (HOLANDA, 2010).

Apesar de terem sido encontrados baixos teores de MO, os valores de Ni presentes nos sedimentos do Furo da Laura corroboram com os teores dos sedimentos do rio Guamá, Baía do Guajará e Baía do Marajó, reforçando que a área estudada esta sobre influencia da hidrodinâmica desses estuários.

Foi constatado também, que nesse ponto (P2-julho/12) ocorreu a concentração mais baixa de níquel em relação aos demais pontos amostrados. Esse

padrão de distribuição foi observado para o cromo também nesse mesmo ponto e período (julho). O alto teor de níquel em março e o baixo verificado para julho no mesmo ponto instigam sobre uma eventual ocorrência natural ou mesmo antrópica, enquanto que, o mês de menor concentração sugere estar havendo uma eventual liberação desse metal pesado para coluna d'água.

Entretanto, é válido ressaltar que apesar da eventual ocorrência mencionada anteriormente, os teores de níquel encontrados nos sedimentos apresentaram-se abaixo do índice PEL (36 mg.kg^{-1}). No entanto, as concentrações estão acima do índice de referência ($<20 \text{ mg.kg}^{-1}$) para sedimentos das enseadas dos grandes lagos (EUA), classificando-se como sedimentos moderadamente poluídos.

Os resultados do presente estudo estão abaixo dos verificados em outros ambientes da região norte. Siqueira et al. (2006), nos sedimentos da Plataforma Continental Amazônica encontrou média de $40,40 \text{ mg.kg}^{-1}$. Berrêdo et al. (2008), em sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim (Pará) verificou média de 22 mg.kg^{-1} . Siqueira e Aprile (2013), na Bacia do rio Aurá, encontrou médias de $31,55 \pm 7,66 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As concentrações de níquel obtidas no Furo da Laura estão também abaixo dos teores detectados em outras regiões do Brasil. Silva et al. (2005), na bacia do rio Mogi Guaçu (São Paulo), encontraram valores médios de níquel de $27,12 \text{ mg.kg}^{-1}$ em São Paulo e $32,11 \text{ mg.kg}^{-1}$ Minas Gerais. Silva et al. (2012), valores de níquel entre 2,4 e $37,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ nos sedimentos superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe. Hortellani et al. (2013), valores de níquel de $46 \pm 0,39 \text{ mg.kg}^{-1}$ nos sedimentos do Reservatório Billings (São Paulo), indicativo que os sedimentos são de moderadamente a altamente poluídos pelo metal Ni, mostrando que a poluição por metais pesados ainda é um problema para o ecossistema do reservatório de Billings.

7.3.8 Magnésio (Mg)

Para o Magnésio foi observado que a estação menos chuvosa apresentou média de 19,02 % e a estação chuvosa 17,84 %. Constataram-se valores entre 11,37 % (Janeiro/2012) e 25,87 % (Novembro/2011) na estação menos chuvosa e para estação chuvosa, valores entre 12,61 % (Maio/2012) e 22,94 % (Março/2012) (gráfico 19a). As concentrações mais elevadas ocorreram em novembro, janeiro e março, enquanto que, em janeiro a menor concentração de Magnésio (gráfico 19b).

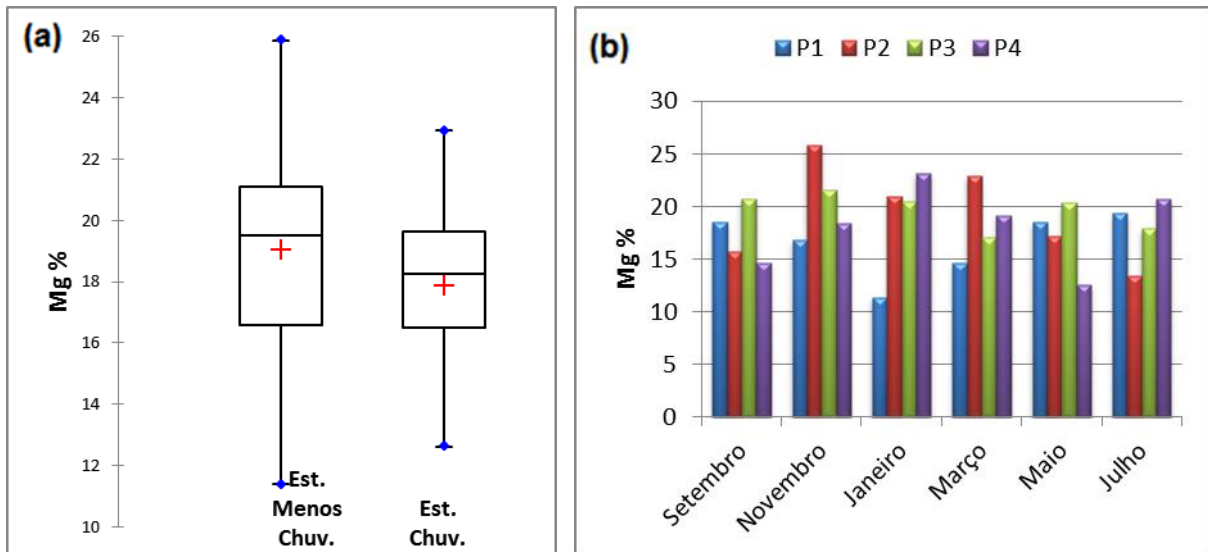


Gráfico 19- (a) BoxPlot com variação sazonal e (b) temporal (Barras) de magnésio encontrados entre setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura, Vigia-PA.

Em relação à distribuição espacial do magnésio, foi observado altos teores de magnésio nos pontos P2, P3 e P4, principalmente nos pontos situados as proximidades de Vigia, entretanto, no ponto P4, o magnésio foi o único metal pesado no presente estudo que teve concentração elevada na maioria dos meses investigados. No ponto P1 obtiveram-se as menores concentrações, enquanto que, o ponto P2 a maior concentração de magnésio, com valor de 25,87 %. No ponto P3 foram observados também teores pouco elevados de magnésio em todos os meses avaliados. A maior média de magnésio foi verificada para o ponto P3 (19,69 %) e, a menor para o ponto P1 (16,57 %) (gráfico 20a e 21b).

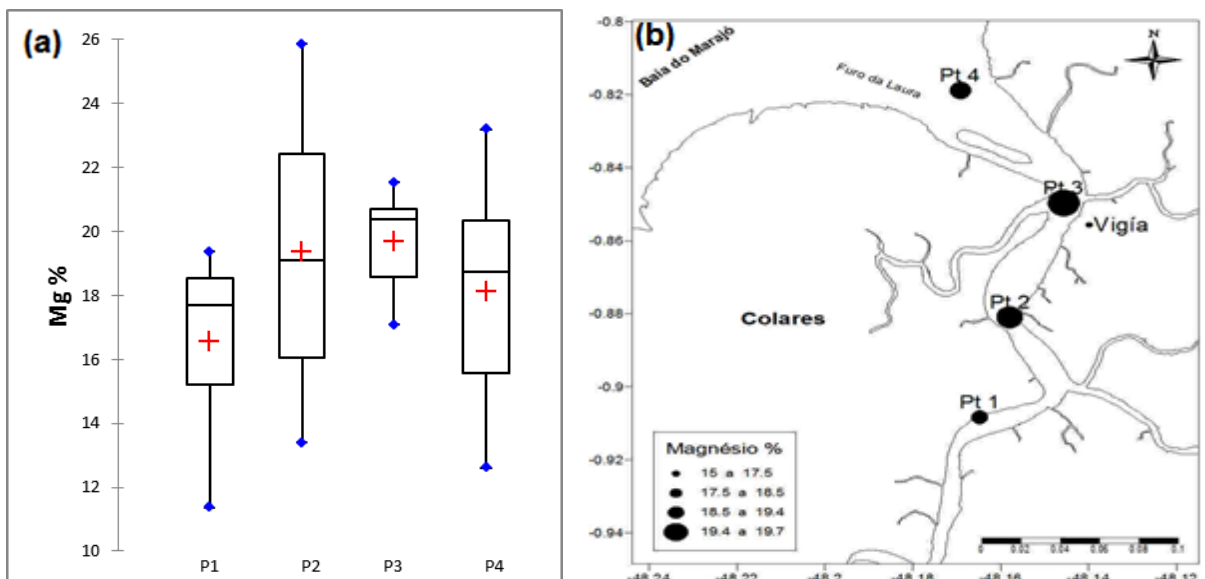


Gráfico 20- (a) BoxPlot com variação espacial e (b) representações de classes com valores médios de magnésio encontrados no Furo da Laura (Vigia/PA).

Segundo Sampaio e Almeida (2008), o cal ou óxido de cálcio (CaO) é um produto derivado da calcinação do calcário ou do dolomito. A cal é produzida com base em calcário com elevado teor de cálcio ou de magnésio. O cal é comumente utilizado na pintura de residências. Portanto, não pode ser descartada também a hipótese de origem antrópica, visto que, as maiores médias foram encontradas nos pontos próximos de vigia.

Foi observado também que a sazonalidade possivelmente influenciou a distribuição de Mg nos sedimentos. Na estação menos chuvosa obtiveram-se as maiores médias, ou seja, as características físico-químicas nesse período podem ter contribuído e influenciado a dinâmica de distribuição do Mg na área estudada.

Nos solos de várzea do rio Guamá foi constatado um aumento no teor Mg de 0,5 % (50,5 mg.kg⁻¹) para 0,6 % (60,4 mg.kg⁻¹) após a inundação das águas do rio Guamá e Baía do Guajará, mostrando que as águas desses estuários influenciavam na concentração de magnésio (FERREIRA et al., 1998).

As concentrações de Mg no Furo da Laura podem ter sido influenciadas pelas águas da Baía do Guajará e principalmente da Baía do Marajó, podendo justificar os altos teores encontrados no P4, (ponto mais próximo da Baía do Marajó).

Os resultados encontrados no presente trabalho para o magnésio estão muito acima dos teores verificados por Luiz-Silva et al. (2006), nos sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP), encontraram média de 0,7±0,1 % para rio Cubatão, 0,9±0,1%, para o Rio Capivari e, 0,8±0,1% para o Rio Morrão. Santos, Lafon e Corrêa (2012), nos sedimentos de fundo da foz do rio Guamá (2,53 %) e da Baía do Guajará (média 2,47), sendo observada uma correlação entre o Al e o Mg (0,97), indicando uma possível adsorção nas estruturas dos argilominerais, já que o Mg é comum em minerais do grupo das esmectitas, um dos argilominerais presentes nas amostras analisadas.

7.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram considerados os coeficientes de correlação significativos estatisticamente $p=0,05$ (cor rosa) e, em negrito os significativos com forte correlação (tabela 10).

Tabela 10- Análise de correlação Spearman dos dados obtidos de setembro de 2011 e julho de 2012, no Furo da Laura, Vigia-PA.

	Areia	Silte	Argila	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Mg	MO
Areia		0,00	0,00	0,73	0,35	0,18	0,44	0,18	0,36	0,03	0,71	0,01
Silte	-0,89		0,19	0,48	0,31	0,13	0,34	0,16	0,25	0,02	0,98	0,03
Argila	-0,54	0,27		0,52	0,43	0,23	0,34	0,65	0,44	0,63	0,48	0,20
Al	-0,07	0,15	-0,13		0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,09	0,54
Cd	-0,19	0,21	-0,16	0,58		0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,03
Co	-0,28	0,31	-0,25	0,62	0,83		0,09	0,06	0,02	0,01	0,02	0,06
Cr	-0,16	0,20	-0,20	0,51	0,90	0,77		0,00	0,00	0,00	0,03	0,11
Cu	-0,27	0,29	-0,09	0,44	0,90	0,78	0,92		0,00	0,00	0,07	0,02
Fe	-0,19	0,24	-0,16	0,63	0,93	0,80	0,92	0,89		0,00	0,05	0,07
Ni	-0,43	0,46	-0,10	0,37	0,79	0,80	0,84	0,87	0,81		0,16	0,01
Mg	0,07	0,00	-0,15	0,77	0,45	0,45	0,43	0,36	0,40	0,29		0,72
MO	-0,49	0,42	0,27	0,13	0,42	0,37	0,33	0,45	0,36	0,49	0,07	

Em evidência as correlações significativas; Em negrito as que possuíam forte correlação.

As frações granulométricas apresentaram correlações negativas moderadas entre a fração de areia e argila (-0,54) e forte com a fração silte (-0,89). Foram verificadas também correlações negativas entre o Ni (-0,43), MO (-0,49) e a fração de areia.

As correlações negativas entre o silte, argila, MO e a areia são comprovados pelos resultados obtidos para essas frações no presente estudo, podendo ser explicado pela proporção das frações granulométricas (prevalência de areia) com o ambiente de alta energia, como fora caracterizado. Esses fatores comprovam os altos teores de areia e baixos de MO, silte e argila encontrados no Furo da Laura.

Os resultados corroboram com Valladares (2009), na qual verificou uma correlação negativa entre a areia e os teores de silte ($r=-0,32$) e argila ($r=-0,73$). Fadigas et al.(2002) também constataram forte correlação inversa com coeficiente -0,94 entre areia e argila. Em relação aos metais pesados, as frações granulométricas silte e argila são uma fase ligante dos metais por possuírem maior superfície de adsorção (NASCIMENTO, 2003; LUOMA; RAINBOW, 2008).

Foram verificadas que a maioria dos metais apresentaram correlações entre si. Ocorreu uma forte correlação do metal pesado Cd com os metais Co (0,83), Cr (0,90), Cu (0,90), Fe (0,93). O Co e o Fe (0,80), Ni (0,80), cromo e Cu (0,92), Fe (0,92), Ni (0,84), O cobre e os metais Fe (0,89), Ni (0,87) e o Fe com Ni (0,81).

Borrego et al. (2004) aponta que quando os metais não se correlacionaram significativamente com a granulometria e com a matéria orgânica pode indicar que as condições dinâmicas do ambiente não são determinantes no controle da concentração dos metais, outras variáveis como pH, Eh ou a salinidade podem estar dominando os processos de acumulação dos metais. (ZOTTO, 2012).

As associações com o Fe têm sido descrita por outros autores para várias regiões marinhas que situam os óxidos-hidróxidos de Fe, Al e Mn como importantes suportes geoquímicos para estas regiões de interface entre o continente e o oceano, onde várias transformações ocorrem, como exemplo a formação de minerais autigênicos (ex. pirita), assim como alterações diárias nas condições físico-químicas do ambiente (ex. força iônica e potencial redox) (CARVALHO; LACERDA, 1992; JESUS et al., 2004).

A forte correlação do Fe com os metais é atribuída a co-precipitação destes metais com óxidos-hidróxidos de Fe, apresentando este elemento como importante suporte geoquímico dos metais supracitados (MARQUES et al., 2011). A relação encontrada entre o Fe e o teor total de metais como Ni e Cr corroboram com as observações de Maiz et al. (2000).

As demais correlações evidenciadas na tabela, apesar de serem significativa, são coeficientes de correlação moderados.

- *ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS*

Na análise de componentes principais são calculados os fatores que se referem a informações de todas as amostras coletadas, no caso dos sedimentos avaliados, tais como sua composição por metais pesados, matéria orgânica e granulometria, definido pelas 24 amostras, que passará a ser definido por novo fatores o que possibilita sua localização como um ponto em um gráfico bidimensional. Quanto mais próximos forem os pontos maiores tenderão a ser suas semelhanças (gráfico 21).

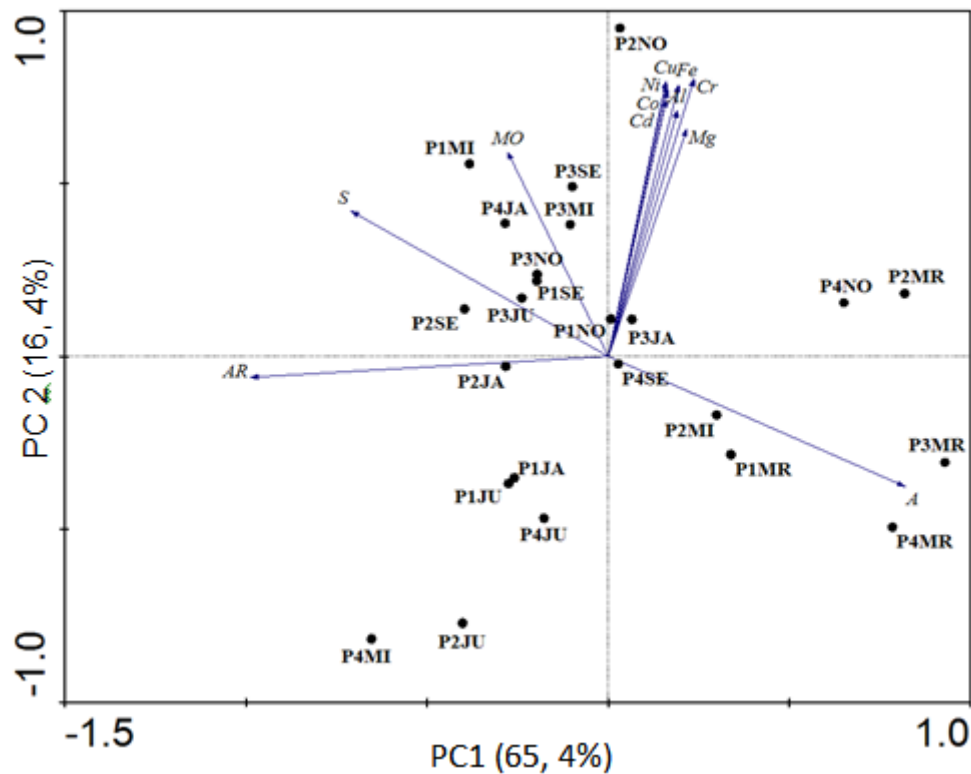


Gráfico 21- Análise dos componentes principais.

A análise de componentes principais (Gráfico 25) explicou 81,8 % da variância original. O primeiro eixo (PC1) explicou 65,4 % e o segundo eixo 16,4 % (PC2).

No primeiro eixo (PC1) ocorreu um agrupamento relacionado a granulometria das amostras, mostrando que a silte e MO ocorrem juntas. A fração de areia apresentou similaridade com os pontos P3 e P4, sendo que no ponto P3 foi constatado os maiores valores de areia. Foi verificado ainda que a areia possuía uma disposição inversa em relação a fração de silte e MO. Esse padrão pode ser comprovado pelos resultados obtidos para estas frações e pelos coeficientes de correlação negativos entre eles.

A fração granulométrica menor que 63 μm , é fração a que mais se relaciona com a concentração de metais (MARCHAND et al., 2011), tais como silte e argila, entretanto, não foi observada uma similaridade dessas frações com os metais investigados no presente estudo.

No segundo eixo (PC2) observou-se um agrupamento dos metais pesados com ocorrência semelhante próximo ao ponto P2. Essa similaridade pode ser

explicada pelas altas concentrações para grande parte dos metais (Al, Co, Cr, Cu, Ni e Mg) nesse ponto em novembro. Conforme já mencionado no presente trabalho, nesse ponto pode estar ocorrendo uma contribuição antrópica de metais pesados. Foi constatado que o ponto P4 teve um distanciamento em relação ao grupo dos metais formados. Essa disposição pode ser atribuída por esse ponto apresentar as menores concentrações para quase todos os metais.

Notou-se ainda que os metais pesados estão ocorrendo nessa componente mais próxima a MO, instigando sobre uma possível associação dos metais ao material particulado por este ser considerado como sequestrador de metais pesados da coluna d'água.

8. CONCLUSÃO

O estuário do Furo da Laura mostrou ser um ambiente dinamizado pela ação da sazonalidade com influência direta na composição granulométrica e nos teores de MO e metais pesados nos sedimentos. Com relação à variação espacial, constatou-se que próximo ao município de Vigia pode estar havendo uma contribuição antrópica de metais pesados.

Na área de estudo a granulometria é predominantemente arenosa, caracterizando-se como um ambiente de alta energia. A composição granulométrica da área estudada pode ser relacionada à influência da Baía do Marajó e a fatores hidrodinâmicos juntamente com os processos geoquímicos nas áreas marginais de Colares, Vigia e no próprio Furo da Laura.

Os teores de MO foram classificados como de origem mineral e seus baixos valores atribuídos aos efeitos da maré, intensidade e velocidade das correntes (hidrodinâmica), com isso diminuindo a capacidade de retenção da MO na camada sedimentar.

Com base nos índices de referência, o Furo da Laura mostrou-se moderadamente poluída por cromo e níquel e, muito poluída pelo ferro. Foi constatado ainda que, os sedimentos da área estudada são impactados pelo cádmio, podendo oferecer risco a biota aquática.

O desague dos esgotos domésticos do município e principalmente da região portuária no Furo da Laura, juntamente com a influência da Baía do Marajó podem suas prováveis fontes. A correlação positiva verificada na PC2 entre os metais pesados e os pontos P2 e P3 (próximos a Vigia) reforçam a hipótese de contribuição antrópica na área estudada. Desta forma, o presente trabalho pode ser considerado o ponto de partida para novas investigações a cerca da origem dos metais pesados nos sedimentos do Furo da Laura.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. E.; MARINS, R. V.; ALMEIDA, M. D. Comparação de metodologias de digestão de sedimentos marinhos para caracterização da geoquímica de metais-traço na plataforma continental nordeste oriental brasileira. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 3, p. 304 - 323, 2007.

AGRAWAL, M.; SINGH, A.; SHARMA, R. K.; MARSHALL, F. M. A avaliação de risco de toxicidade de metais pesados através de vegetais contaminados de águas residuais área irrigada de Varanasi, na Índia. **Ecologia Tropical**, v. 51, n. 2, p. 375-387, 2010.

ALMEIDA, M.G.; SOUZA, C.M.M. Distribuição espacial de mercúrio total e elementar e suas interações com carbono orgânico, área superficial e distribuição granulométrica em sedimentos superficiais da Bacia Inferior do rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, V. 22, N. 3, 140-158, 2008.

ALMEIDA, T.; BORGES, L.; FIGUEIREDO, S. L.; Turismo Cultural e Comunidades: Ação e Relação em uma Comunidade Amazônica. **Revista Eletrônica de Turismo Cultural**. Ilhéus, BA. v. 2, n. 1, p. 1-22, 2008.

AMADO FILHO, G. M.; ANDRADE, L. R.; REZENDE, C. E.; PFEIFFER, W. C. Concentração de metais pesados em populações da macrófita marinha *Halodule wrightii* Aschers, provenientes da Baía de Todos os Santos - BA. (ORG) MORAES, R.; CRAPEZ, M.; PFEIFFER, W. C.; FARINA, M.; BAINY, A. C. D.; TEIXEIRA, V. Ed. **Efeitos de Poluentes sobre Organismos Marinhos**. São Paulo: Arte & Ciência Villipres; 141-150, 2001.

AMORIM, M. A.; MOREIRA-TURCQ, P. F.; TURCQ, B. J.; CORDEIRO, R. C.; Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 39, n. 1, p.165 – 172, 2009.

ARAÚJO, 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**, v.5, n.2, p. 80 – 94. 2010.

ARAÚJO, R. F. **Variação espaço-temporal do fitoplâncton em um estuário amazônico**. 104f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Belém-PA, 2013.

BARROS, D. F.; TORRES, M. F.; FRÉDOU, F. L. Ictiofauna do estuário de São Caetano de Odivelas e Vigia (Pará, Estuário Amazônico). **Biota Neotropical**, v. 11, n. 2, 2011.

BELO, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCHE, A. L. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu. **Química Nova**, v. 33, n. 3, pp. 613-617, 2010.

BERREDO, J. F.; COSTA, M. L.; VILHENA, M. P. S. P.; SANTOS, J. T. Mineralogia e Geoquímica de Sedimentos de manguezais da costa amazônica: o Exemplo do Estuário do rio Marapanim (Pará). **Revista brasileira de geociências**, v. 38, n.1, pp 24-35. 2008.

BORREGO, J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, N.; CARRO, B. Assinatura geoquímica como marcadores paleoambientais em sedimentos do Holoceno do Rio Tinto estuário (Sudoeste Espanha). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v 61, n. 4, p. 631-641, 2004.

BOROTTI-FILHO, M. A. **Evolução dos manguezais do norte da ilha do Cardoso (Cananéia-SP)**. 137f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura), Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

BRADY, B.A.; JOHNS, R.B.; SMITH, J. D. Vestígios metálicos geoquímica Associação em sedimentos da região de Cairns da Grande Barreira de Corais, na Austrália. **Boletim Poluição Marinha**, Vitória, v. 28, n. 4, p. 230-234, 1994.

BRAYNER, F.M.M. **Determinação de Taxas de Retenção de Metais-Traço por Sedimentos Orgânicos em um Viveiro de Piscicultura em Área Estuarina e Urbana. São Carlos.** 102f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

BRITO, C. S. F.; JÚNIOR, I. F.; TAVARES, M. C. S; SILVA, Z. C. Estatística da Pesca Marítima e Estuarina do Estado do Pará - 1997 a 2002. **Centro de Pesquisa e Gestão e Recursos Pesqueiros do Norte do Brasil (CEPNOR).** Belém, 56p, 2002.

CALIJURI M. C; CUNHA D. G. F.; Comparação entre Teores de Matéria Orgânica e as Concentrações de Nutrientes e Metais Pesados no Sedimento de dois Sistemas Lóticos do Vale Ribeira de Iguapé, SP. **Revista de Engenharia Ambiental.** v. 5, n. 2, p.24-040, 2008.

CARDOSO, F. F. **Dinâmica da comunidade microfitoplanctônica relacionada Com os parâmetros físico-químicos do estuário do rio Guajará-mirim (Vigia-PA)** 76f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca), Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-PA, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Revista Pesquisa Agropecuária brasileira.** Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, 2002.

CARVALHO, C. E. V.; LACERDA, L. D. Metais pesados na Baía de Guanabara biota: Por que concentrações tão baixas?. **Ciência e Cultura.** v. 44. p. 148-186. 1992.

CESAR, R.; COLONESE, J.; SILVA, M.; SILVIA, E.; BIDONE, E.; CASTILHOS, Z.; , POLIVANOV, H. Distribuição de mercúrio, cobre, chumbo, zinco e níquel em sedimentos de corrente da bacia do rio Piabanha, Estado do Rio de Janeiro. **Geochimica Brasiliensis,** v. 25, n. 1, p. 35 – 45, 2011.

CHASIN, A. A. M.; AZEVEDO, F. A. Intoxicação e Avaliação da Toxicidade. p.127-165. In: Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M. (Coord.). 2003. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Carlos. Rima. 2003. 322 p.

CHESTER, R. **Marine Geochemistry**. 2. ed. Oxford: Blackwell, 2002. p. 506.

CHESTER, R.; THOMAS. A.; LIN. F.J.; BASAHAM. A.S.; JACINTO, G. A especiação de estado sólido de cobre em partículas de água e sedimentos surfasse oceânicas. **Química marinha**, v. 24, p. 261-292, 1988.

COELHO, H. N. M. A. Geografia Geral, 2º ed. **Revisão Ampliada**. Org. MONTEIRO, E. F.; MEDDA, J. R.; SANCHES, O. D.; SOPRAN, O.; MOURA, S.; CASTELLO, W. Editora Moderna Latda. São Paulo, Brasil, 1988. p.269.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2004.

CORRÊA, I. C. S.; Aplicação do Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó-PA. **Pesquisas em Geociências**, v. 32, n. 2. p.109 – 118. 2005.

COSTA, A. C. A.; FRANÇA, F.P. Cádmio Captação por Biosorventes Algas: Isotérmicas de adsorção e algumas condições de processo. **Ciência e Tecnologia de Separação**, v. 31, n. 17, p. 2373-2393, 1996.

COSTA, M. C. R.; DAMILANO, C. R.; VASCONCELLOS, A.; COSTA, R. C.; Diagnóstico ambiental de área industrial contaminada por metais pesados. *Revista Biociências*, Unitau. V. 14, n. 1, 2008.

COSTA, M. L.; BEHLING, H.; BERRÊDO, J. F.; SIQUEIRA, N. V. M. Mineralógica, geoquímicos e palinológicos Estudos do Holoceno Tardio mangue sedimentos provenientes do nordeste do Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, pp.479-488. 2004.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira: PETAR, São Paulo, Brasil. **Química Nova**. São Paulo. v. 29. n.1, p. 40-45, 2006.

DELFINO, I. B. **Geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Maracanã, NE do Pará**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Federal do Pará, Belém, 2006.

Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN. (2012) Tábua das Marés. Marinha do Brasil. Disponível em: <http://www.mar.mil>. Acesso em: 20 set. 2011; 20 nov. 2011; 16 jun. 2012; 17 mar. 2012; 12 mai. 2012; 23 jul. 2012.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 th ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos; 1997.

Environmental Protection Agency – EPA. National Recommended Water Quality Criteria, EPA-822-R-02-047, 1977.

ESTEVEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MOSCHINI, F.A.; Avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do córrego do ajudante, salto (SP). **Revista de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 415-430, 2011.

FADIGAS, F. S.; SOBRINO, N. M. B. A.; MAZUR, N.; DOS ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Estimativa de valores de referência para cádmio, cobalto, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco em solos brasileiros. **Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas**. v. 37, n. 7, p.945-959. 2002.

FERREIRA, W. A.; MODESTO JÚNIOR, M. S.; BOTEIHO, S. M.; MASCARENHAS, R. E. B. Efeito da inundação sobre as propriedades de um glei pouco húmico de várzea do rio Guamá. nos municípios de Belém e Santa Isabel, PA. Belém: **Embrapa-CPATU, Boletim de Pesquisa**, 1998. 29p.

FILGUEIRAS, A.V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Avaliação da distribuição, mobilidade e comportamento de ligação de metais pesados nos sedimentos superficiais de Louro Rio, Galiza, Espanha, usando a análise quimiométrica: um estudo de caso. **Ciência do Total Ambiente**. Barcelona, Espanha. v. 330, n. 1, p.115-129. Sep. 2004.

FONTES, M. P. F.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; COSTA, . Mobilidade de metais pesados como o relacionado com as características químicas do solo e mineralógicas dos solos brasileiros. **Poluição Ambiental**. Massachusetts, USA. v. 111, n. 3, p. 429-435, 2001.

FRANÇA, C. F.; SOUZA FILHO, P. W. M.; Compartimentação morfológica da margem leste da Ilha de Marajó: Zona Costeira dos municípios de Soure e salva terra – Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - Ano 7, n. 1 p.33-43. 2006.

FUKUSHIMA, K.; SAINO T.; KODAMA, Y. Contaminação por metais Traços na Baía de Tóquio, Japão. **Ciência do Ambiente total**, v. 125, p. 373-389, 1992.

GARCIA, F. A. P.; MIRLEAN, N.; BAISCH, P. R. Marcadores metálicos como avaliação do impacto crônico de emissões petroquímicas em zona urbana. **Química Nova**, Vol. 33, No. 3, 716-720, 2010.

GARLIPP, A. B. **Variação espacial e sazonal de elementos maiores e traços no estuário do rio Curimataú (RN), através de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto.** 110f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2006.

GOMES, V. P.; AMARAL, C.; JÚNIOR, L. C. G. N.; CÉSAR, A.; ABESSA, D. M. S. Avaliação da contaminação por mercúrio nos sedimentos do estuário de Santos-SP, Brasil. **Revista Ceciliana**, v. 1, n. 2, pp- 29-33, 2009.

GOMEZ-PARRA, A.; FORJA, J. M.; DELVALLS, T. A.; SAENZ, I.; RIBA, I. A contaminação precoce por metais pesados do Guadalquivir Estuário Após a Mineração Spill Aznalcollar (SW Espanha). **Boletim Poluição Marinha**, Vol. 40, No. 12, pp. 1115-1123, 2000.

GUHATHAKURTA, H.; KAVIRAJ, A. Concentração de metais pesados na água, sedimentos, camarão (*Penaeus monodon*) e tainha (*Liza parsia*) em algumas lagoas de água salobra de Sunderban. **Boletim Poluição Marinha**. Oxford, Inglaterra. v. 40, n.11, p. 914-20. 2000.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v. 4, p.345-390, 2005.

GUIMARÃES, R. H. E.; CAMPOS, R. C. B.; EL-ROBRINI, M.; BAIA, I. P.; Comportamento físico-químico das águas dos Furos da Laura e do rio Guajará-mirim durante o período chuvoso, Baía do Marajó – Pará. **Resumo Expandido**. Anais do 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, p.30-32, 2013.

GÜVEN, K. C.; SAYGI, N.; ÖZTÜRK, B. Levantamento de metais Índice de Bósforo Algas, *Zostera Marina* e Sedimentos. **Botânica Marinha**, Istambul, v. 36, p. 175-178, 1993.

HERNANDO, B.; ADOLF, H. H. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em Sedimento de corrente no rio do formoso, Município de Buritizeiro – MG. **Geonomos** v. 16, n. 2. p. 91 - 98, 2008.

HOLANDA, N. S.; **Comportamento de metais pesados e nutrientes nos sedimentos de fundo da Baía do Guajará e Baía do Marajó**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-PA, 2010.

HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; MENEZES, L. C. B.; BAZANTE-YAMAGUISHI, R.; PEREIRA, A. S. A.; GARCIA, P. F. G.; MARUYAMA, L. S.; CASTRO, P. M. G. Avaliação da concentração de metais nos sedimentos Billings, Estado de São Paulo, Sudeste do Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**. São Paulo. vol.24 n.1, 2013.

HUNG, D. Q.; NEKRASSOVA, O.; COMPTON, R. G. Métodos analíticos para arsênico inorgânico na água: uma revisão. **Talanta** , Oxford, Inglaterra. v. 64, p. 269-277. 2004.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ-IDESP. **Estatística Municipal: Vigia. Belém-PA**. 49p. 2011. Disponível em: < <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/vigia.pdf>>. Acesso em: 22 Dezembro. 2012.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ-IDESP. **Estatística Municipal: Vigia. Belém-PA**. 49p. 2011. Disponível em: < <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/vigia.pdf>>. Acesso em: 13 março. 2013.

ISHIKAWA, D. N.; NOALE, R. Z.; KOBE OHE, T. H.; SOUZA, E. B. R.; SCARMÍNIO, I. S.; BARRETO, W. J.; BARRETO, S. R. G. Avaliação do risco ambiental em sedimento dos lagos do riacho Cambé, em Londrina, pela distribuição de metais. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1744-1749, 2009.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONCA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**. São Paulo. v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.

KEHRIG, H. A.; MOREIRA I.; MALM O.; PFEIFFER W. C. Especiação e acumulação de mercúrio pela biota da Baía da Guanabara-RJ. (Org.): Moraes, CRAPEZ M, PFEIFFER W. C, FARINA M, BAINY A. C. D, Teixeira V, Ed.. **Efeitos de Poluentes sobre Organismos Marinhos**. São Paulo: Arte & Ciência Villipres; 2001. 288p.

KIMBROUGH, D. E.; COHEN, Y.; WINER, A. M.; CREELMAN, L.; MABUNI, C. A. Avaliação crítica de cromo no meio ambiente. **Comentários críticos em Ciência e Tecnologia Ambiental**, v. 29, n. 1pp. 1-46. 1999.

LACERDA, L. D.; PAULA, F. C. F.; MARINS, R. V.; AGUIAR, J. E.; OVALLE, A. R. C.; FALCÃO FILHO, C. A. T. Emissões naturais e antrópicas de metais e nutrientes para a bacia inferior do rio de contas, Bahia. **Química Nova**, v. 33, n.1, pp. 70-75. 2010.

LICHT, O. A. B.; Princípios de Prospecção Geoquímica , **Técnicas e Métodos**, CPRM: Rio de Janeiro, 1998.

LIMA, E.A.R. **Avaliação geoquímica da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos pelíticos da Plataforma Continental do Amazonas no trecho entre a foz do rio Pará e ao cabo Orange**. 112f Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2003.

LIMA, E.A.R.; LIMA, W.N.; SIQUEIRA, G.W.; SIQUEIRA, N.V.M. Influência da mineralogia na composição química de metais pesados nos sedimentos pelíticos superficiais da plataforma continental do amazonas. **Geochimica Brasiliensis**, v. 19, n. 2, p.103-117, 2005.

LIRA, S. R. B.; RIBEIRO, I. S.; BRANCO, J. L. M.; MARQUES, J. A. A.; TORRES, M. A. S. F.; PIEDADE, S. C. M. A pesca no Pará: a sócio-economia da fauna acompanhante do camarão na Costa Norte do Brasil e a comercialização da pesca

artesanal em Belém, Vigia e Bragança. Belém: In: **INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ - IDESP**, 1989. 116 p.

LORING, D. H.; RANTALA, R. T. T. manual para analisa a geoquímica de sedimentos marinhos e suspenso partículas. **Comentários-Ciência da Terra**, v. 32 pp. 235-283. 1992.

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

LUOMA S. N.; RAINBOW P. S. Contaminação por metais em ambientes aquáticos: **Ciência e gestão de lateral**, Nova York, Cambridge, 573 p. 2008.

MAIZ, I.; ARAMBARRI, I.; GARCIA, R. et al. Avaliação de availability metais pesados em solos contaminados por dois procedimentos de extração seqüencial, utilizando análise fatorial. **Poluição Ambiental**, Barking, v.110, p.3-9, 2000.

MARCHAND, C.; ALLENBACH, M.; LALLIER-VERGES, E. As relações entre a distribuição de metais pesados e matéria orgânica nos sedimentos de manguezais (Conception Bay, Nova Caledônia). **Geoderma**, v 160, n. 3-4, p. 444-456, 2011.

MARQUES, J. S. J.; RANGEL, T. P.; BRITO, F. P.; ALMEIDA, M. G.; SALOMÃO, M. S. M. B.; GOBO, A. A. R.; SOUZA-SANTOS, L. P.; ARAÚJO-CASTRO, C. M. V.; COSTA, M. F.; REZENDE, C. E. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**. vol. 11 n. 4, P379-387. 2011.

MARTINO, M.; TURNER, A.; NIMMO, M., MILLWARD, G.E. Ressuspensão, reatividade e reciclagem de metais traços no estuário do Mersey, Reino Unido. **Química Marinha**. v.77, p.171-186. 2002.

MARTINS, R. F. **Avaliação da presença de metais e de biomarcadores fecais em Sedimentos do rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba – PR.** 84f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Pará. Belém-PA, 2008.

MARTINS, S. E. M.; MENDES, A. C.; Caracterização de depósitos sedimentares recentes da porção superior da Baía de Marajó (margem leste do estuário do Rio Pará, Amazônia). **Pesquisas em Geociências**, v. 38, n. 2. p.168-180. 2011.

MELO-JÚNIOR, A. S.; MOREIRA, S.; ROSTON, D. M.; PATERNIANNI, J. E.; FERREIRA, P. J. G.; FRUGOLI, A. Avaliação da Remoção de Metais Pesados em Esgoto Doméstico com Uso de Leito Cultivado. International Workshop Advances in Cleaner Production. n.3, São Paulo. **Resumos.** IN CLEANER PRODUCTION. São Paulo. 2011.

MONTEIRO, M. T. **Emprego da Fitorremediação em Sedimento Contaminado com Metais Pesados e Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs) Provenientes do Canal do Fundão na Baía de Guanabara – RJ,** Exame de Qualificação ao Doutorado, PEC – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

MOORE, J.W.; RAMAMOORTHY, S. **Metais pesados em águas naturais.** Springer-Verlag, Berlin. 1984, 268 pp.

MORA, S.; SHEIKHOESLAMI, M. R.; WYSE, E.; AZEMARD, S.; CASSI, R. Uma avaliação da contaminação por metais em sedimentos costeiros do Mar Cáspio. **Boletim Poluição Marinha**, v. 48, pp. 61-77, 2004

MOURÃO, K. R. M.; PINHEIRO, L. A.; LUCENA, F. Organização social e aspectos técnicos da atividade pesqueira no município de Vigia – PA. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 20, pp. 39-52. 2007.

NASCIMENTO R. L. D. **Proposição de valores de referência para concentração de metais e metaloides em sedimentos límnicos e fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, SP.** 142 f. Tese Doutorado. Instituto de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

NASCIMENTO, F. S.; **Dinâmica da distribuição dos poluentes metálicos e orgânicos nos sedimentos de fundo dos canais de drenagem de Belém, PA.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-PA,1995.

NASCIMENTO, F.; FENZL, N. Geoquímica de metais pesados em sedimentos do rio Guamá e dos principais canais de drenagem de Belém, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 27, n. 4, p. 257-268. 1997.

NASSAR, C.A.G.; SALGADO, L.T.; VALENTIN, Y.Y.; AMADO FILHO, G.M. O efeito das partículas de minério de ferro no teor de metais dos gymnospora Brown Alga Padina (Espírito Santo Baía, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, pp. 459-468, 2002.

NAVFAC. Guia para incorporar ajustes de biodisponibilidade para a saúde humana e as avaliações de risco ecológico em U S. Navy e Mares Instalações corps - Parte 1: **Resumo dos metais biodisponíveis.** Naval Facilities Service Center Engenharia. Guia do Usuário UG-2014-ENV. Washington. D. C. 2000.

NIENCHESKI, L. F. H.; MILANI, I. C. B.; MILANI, M. R. **Poluição Marinha;** (ORGS): NETO, J. A. B.; WALLNER- KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. Interciência: Rio de Janeiro, 2008.

OLIVEIRA, E. S.; **Associação de hidrocarbonetos alifáticos e metais pesados na Zona Portuária de Vila do Conde, Barcarena-Pará: concentração, composição e riscos associados ao ecossistema aquático.** 96f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais). Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Belém-PA,2012.

OLIVEIRA, O. M. C.; CRUZ, M. J. M.; QUEIROZ, A. F. S. Comportamento geoquímico de metais em sedimentos de manguezal da baía de Camamu-Bahia. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Aquático**, v. 13, n. 2, p.1-8. 2009.

OLIVEIRA, R. C. B. **Investigação do Comportamento Geoquímico de Metais-Traços em Solos e Sedimentos da Bacia inferior do Rio Jaguaribe, Nordeste do Brasil**. 145f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE, 2012.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente Aquático: Revisão. **Revista Virtual Química**. Rio de Janeiro. v. 3, n. 2, p. 88-102, 2011.

PASSOS, F. J.; LYRA, C. F. **Caracterização da Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos do Estuário do Rio Minho – Sua Relação com a Distribuição de Poluentes no Sedimento**. 109f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ecologia Aplicada). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 2007.

PEREIRA, S. F.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 62-82, 2007.

PIMENTEL, M. A. S.; OLIVEIRA, I. S.; RODRIGUES, J. C. M. Dinâmica da paisagem e risco ambiental na ilha de Caratateua, Distrito de Belém-PA. **Revista Geonorte**, v.1, N.4, p.624 – 633, 2012.

POMPÊO, M.; PADIAL, P. R.; MARIANI, C. F.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SILVA, D. C. V. R.; PAIVA, T. C. B.; BRANDIMARTE, A. L. Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial? **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n.2, p. 104-119, 2013.

PROHIC E.; KNIEWALD G. Distribuição de metais pesados em sedimentos recentes do rio Kaká estuário-NA. exemplo de análise de extração seqüencial. **Química marinha**, v. 22, pp. 279-297, 1987.

RAHMAN, M. S.; SAHA, N.; MOLLA, A. H.; AL-REZA, S. M. Avaliação da influência antrópica sobre Metais Pesados Contaminação nos componentes do ecossistema aquático: água, sedimentos e peixes. **Jornal Internacional contaminação de solos e sedimentos**, v. 23 , n. 4, p. 353-373, 2014.

RAMOS, C. A. R.; **Qualidade Ambiental, Distribuição e Densidade do Mesozooplâncton do Estuário de Guajará-Miri, Vigia de Nazaré, NE do Estado do Pará**. 126f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Pará (UFPA)/Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural. Belém-PA, 2007.

RAYOL, A. C. D. **Estudo geoeconômico e ambiental dos recursos minerais dos municípios da Vigia, São Caetano de Odivelas e Colares**. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

RICHARD, F. C.; BOURG, A. C. M. Pesquisa da Água: uma revisão. **Geoquímica aquosa de cromo**, v. 25, n. 7, pp. 807-816. 1991.

RODRIGUES, M. L. K. Em PNMA II DI. Subcomponente Monitoramento da Qualidade da Água; **Ministério do Meio Ambiente**: Brasília, 2001.

RUIZ, F. Traços de metais em sedimentos estuarinos da costa espanhola do sudoeste. **Boletim Poluição Marinha**, v. 42, n. 6, pp.482-490, 2001.

SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da Bacia do alto Paraguai**. 76f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Tecnologias Ambientais) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande-MT. 2003.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de Metais Pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). **Acta Amazônica**, vol.37, n.1, pp 111-118, 2007.

SANTOS, A. L. F.; QUEIROZ, A. F. S.; MASCARENHAS, L. S. Metais Pesados em Sedimentos de Manguezais do Estuário do Rio Joanes- BA, Subsídios para Estudos de Monitoramento em Regiões do Litoral Norte do Estado da Bahia. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 17, p. 197-204, 1997.

SANTOS, J. N. A. **Industrialização e inovação no setor pesqueiro vigiense: análise sobre as possíveis contribuições para o desenvolvimento local (1998 – 2006)**. 149f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido), Universidade Federal do Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém-PA, 2007.

SANTOS, J. N. A.; BASTOS, A. P. V. Inovação, mudanças institucionais e desenvolvimento do setor pesqueiro do município de Vigia de Nazaré, Estado do Pará. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 3, n. 6. 2008.

SANTOS, J. S.; SANTOS, M. J. S.; SANTOS, M. L. P.; Influência do regime de chuvas na mobilidade de Zn, Cd, Ni, Cu, Fe e Mn nos sedimentos superficiais do Rio de Contas localizado na região do semi-árido brasileiro. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 23, n.4, pp. 718-726, 2012.

SANTOS, S. N.; LAFON, J. M.; CORRÊA, J. A. M.; Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém - Pará). **Química Nova**, São Paulo. v. 35, n. 2, p. 249-256, 2012.)

SEILER, H. G, H.; A. **Manual Sobre a Toxicidade de Compostos Inorgânicos** Editores,In; SIGEL SIGEL, NY Marcel Dekker. New York,. . 1988. p.619-624.

SELVARAJ, K.; RAM MOHAN, V.; SZEFER, P. Avaliação da contaminação por metais em sedimentos costeiros da Baía de Bengala, Índia: abordagens geoquímicas e estatísticas. **Boletim Poluição Marinha**, 49: 174-185. 2004.

SHARP, J. H.; PENNOCK, J. R.; IGREJA, T. M.; TRAMONTANO, J. M.; IFUENTES, L. A. A interação estuarino de nutrientes, compostos orgânicos e metais: um estudo

de caso no estuário do Delaware. In: KENNEDY, V. S. (Ed.). **O estuário como um filtro**. New York: Academic Press, 1984 p.. 241-258.

SHEELA, A. M.; LETHA, J.; JOSÉ, S.; THOMAS, J. Avaliação da contaminação por metais pesados em sedimentos de lagos costeiros associados à urbanização: Southern Kerala, na Índia. *Lagos e Reservatórios: Pesquisa e Administração*. v. 17, n. 2, p. 97-112, 2012.

SILVA, A. F.; LIMA, G. R. S.; ALVES, J. C.; SANTOS, S. H.; GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H.; ARAUJO, R. G. O.; PASSOS, E. A.; Avaliação dos níveis de metais traço em sedimentos superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe, Nordeste do Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Química*, São Paulo. v. 23 n. 9, pp. 1669-1679, 2012.

SILVA, A. P. L. **Aspectos morfodinâmicos e diagnóstico geoquímico do sistema estuarino - lagunar do Roteiro, litoral sul de alagoas**. Tese de doutorado (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). 95p. 2008.

SILVA, C. L.A.; PINTO, L. E. S. C.; LOURO, L. H. L.; LIMA, E. S.; SILVA, M. H. P. Caracterização Microestrutural do Compósito Hidroxiapatita Bovina-Biovidro. *Ciência e Tecnologia*, v. 28, pp. 8-23, 2011.

SILVA, I. S.; BEVILACQUA, J. E.; LICHTIG, J.; MASINI, J. C. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê, São Paulo. *Química Nova*, v. 32, n. 1, pp. 26-33, 2009.

SILVA, J. M. L.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A.; RÊGO, R. A.; RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L.; CARDOSO JUNIOR, E. Q.; SILVA, P. R. O. **Levantamento de solos de alta intensidade e mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra do município de Colares- Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 50p.

SILVA, J. N.; FERNANDES, A. R.; BRASIL, E. C.; NORONHA, N. C. Efeito residual da aplicação de calcário sobre a produção do arroz irrigado em solos de várzea do Rio Pará. **Revista de ciências agrárias**, Belém, n. 50, p. 117-127. 2008.

SILVA, L. A.; COELHO, L. M.; ROSOLEN, V.; COELHO, N. M. M.; Especiação do metal em sedimentos superficiais do rio Uberabinha, em Uberlândia, Estado de MG, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, São Paulo, v. 22, n.11, pp. 2094-2100. 2011.

SILVA, N. M. T. N.; SOUZA NETO, J. A.; LUIZ SILVA, W.; VALENÇA, L. M. M. Geoquímica de sedimentos de fundo de drenagem em Estuário Tropical, Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 19, n. 1, p. 139-159. 2009.

SILVA, M. R. C.; HONÓRIO, K. M.; BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L.G.; VIEIRA, E. M.; GAMBARDELLA, M. T. P.; SILVA, A. B. F.; Um estudo quimiométrico na acumulação de metais pesados ao longo da bacia do rio Mogi Guaçu (SP). **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, São Paulo. v. 16 n. 6, 2005.

SILVA, M.C.; SÃO CLEMENTE, S. C.; PICANÇO JÚNIOR, J. A.; SILVA, M. V. O.; MATOS, E. R. Calyptospora sp. em vaillantii Brachyplatystoma presos no Vigia, Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira Parasitologia Veterinária**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 176-178, 2012.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. **Acta Amazônica**, Manaus, AM. v. 43, n. 1, p. 51–62. 2013.

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

SOTO-JIMÉNEZ, M.; PÁEZ-OSUNA, F.; RUIZ-FERNANDEZ, A. C. Evidências geoquímicas da antropização da composição de vestígios metálicos dos sedimentos do Chiricahueto pântano (SE Golfo da Califórnia). **Poluição Ambiental**, v.125, n. 3. 423-432. 2003.

SOUSA JUNIOR, O. G. **Influência da cadeia produtiva do pescado no índice de desenvolvimento humano do município de Vigia de Nazaré-PA**. 90f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional), Universidade de Taubaté. Taubaté-SP, 2010.

SOUZA, M. F. L.; LONGHINI, C. M.; SILVA, A. M.; LENTINI, C. A. D. Ciclo do Carbono: Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos. Ilhéus-BA. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 5, p. 566-582, 2012.

VALLADARES, G. S. Caracterização química e granulométrica de solos do Golfão maranhense. **Acta Amazônica**, v. 39, n.4, pp. 923-933, 2009.

VANDECASTEELE, C. Block, C .B.; **Métodos modernos para Oligoelementos Determinação**, John Wiley & Sons: New York, 1997. p. 330.

VILLA, M. E. C. D. Concentração de metais em sedimentos na bacia hidrográfica do município de Umuarama (PR). **Revista Espaço Acadêmico**, n. 126, pp. 127-135, 2011.

VIVES, A. E. S.; BRIENZA, S. M. B.; NASCIMENTO FILHO, V. F.; MOREIRA, S. Emprego da fluorescência de raios X dispersiva em energia para avaliação da poluição por metais pesados em amostras de água e sedimentos de lagos, **Revista Brasileira Pesquisa e Desenvolvimento**. Brasília. v. 4, n. 3, p. 1163 - 1168, 2002.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, v. 21, n. 5, pp. 551-556. 1998.

YUN, S.T.; CHOI, B.Y.; LEE, P.K. Distribuição de metais pesados (Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As) em sedimentos de beira de estrada, cidade metropolitana de Seul, Coréia. **Tecnologia do Ambiente**, v. 21, pp. 989–1000. 2000.

ZAMBETTA, P. M. A. **Espécies químicas inorgânicas (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Sn) no sedimento e nos sólidos em suspensão do rio Corumbataí, SP.** 74f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Universidade de São Paulo- Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) . Piracicaba, 2006.

ZOTTO, C. j. **Identificação das fontes de metais traço em um perfil sedimentar dos últimos 500 anos do estuário do rio poraquê-açu (Aracruz-ES).** 87f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Oceanografia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Vitória-ES, 2012.