UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

EDVALDO OLIVEIRA RIBEIRO SANTOS

TEORES DE ELEMENTOS TRAÇO EM SISTEMAS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO E PERNAMBUCO, BRASIL

Salvador
2016

EDVALDO OLIVEIRA RIBEIRO SANTOS

TEORES DE ELEMENTOS TRAÇO EM SISTEMAS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO E PERNAMBUCO, BRASIL

Trabalho final de graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof. Dra. Vanessa Hatje

Salvador
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

EDVALDO OLIVEIRA RIBEIRO SANTOS

TEORES DE ELEMENTOS TRAÇO EM SISTEMAS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO E PERNAMBUCO, BRASIL

Trabalho final de graduação apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

_____

Vanessa Hatje
Doutora em Oceanografia Química pela Universidade de Sydney
Universidade Federal da Bahia

_____

Wagna Piler Carvalho dos Santos
Doutora em Química pela Universidade Federal da Bahia
Instituto Federal da Bahia

_____

Rodrigo Mateus Aguiar Pedreira
Mestre em Química pela Universidade Federal da Bahia

Salvador, 25 de outubro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar discernimento e tranquilidade ao longo desta caminhada.

Agradeço aos meus pais, Edvaldo e Renilza, pelo amor, cuidado e educação que me foram dados, essenciais para a formação do homem.

À minha esposa Charilma (More) pelo companheirismo, pelas palavras de incentivo e pela compreensão.

À minha pequena Larinha, pela sua existência.

À Universidade Federal da Bahia, tenho grande orgulho de ter passado por ela.

À minha orientadora Vanessa Hatje pela oportunidade de estagiar no LOQ e realizar este trabalho, pelas orientações e pela paciência.

Aos meus parceiros do LOQ, Rodrigo, Raíza, Gabriel, Taiana, Dani, Nete, Gilmara, Deninha, Cris e Léo pela força, apoio e orientações. Este trabalho tem a participação de todos vocês.

A todas as amizades feitas durante o curso, especialmente a Luana Sena, Jéssica Verâne, Jessyca Beatriz, Adriele Leite, Rafael (Johnny), Viviane, Amana, Danilo e Talisson.

À Ritinha, melhor secretária do mundo.

Aos parceiros da Cristal, Nadson, Ivana, Marão e Peixinho, pelo incentivo, Lu e Jai pelas trocas de turno, especialmente Jai pela parceria.

Ao Caio, pela confecção dos mapas e pela disponibilidade.

Aos membros da banca examinadora, Rodrigo e Wagna por aceitar o convite.

Ao projeto Baía de Todos os Santos e pelo INCT de Ambientes Marinhos Tropicais pelo financiamento deste estudo.

SANTOS, Edvaldo Oliveira Ribeiro. **Teores de elementos traço em Sistemas Costeiros do Espírito Santo e Pernambuco, Brasil**. 42 f. il. 2016. Monografia – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

RESUMO

O presente trabalho avaliou o nível de contaminação por elementos traço em sedimentos de diferentes estuários da costa leste do Brasil: i. Estuário do rio Piraquê-Açu, ES; Baía de Vitória, ES; ii. Estuário do rio Capibaribe, PE; e Canal de Santa Cruz, PE. Os sedimentos foram liofilizados e pulverizados em moinho de bolas, sendo posteriormente extraídos com HCl 1 mol L^{-1}. Os elementos traço e maiores foram então determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Concentrações de carbono orgânico e nitrogênio foram determinados por analisador elementar, enquanto a granulometria dos sedimentos foi determinada por método de peneiragem e difração a laser. Os resultados mostraram que existe grande variação na concentração dos elementos avaliados, indicando que existe uma ampla heterogeneidade nas características químicas dos ecossistemas avaliados. Dentre estes, dois estuários merecem destaque em função dos teores observados nos sedimentos. O estuário do rio Capibaribe pode ser descrito como um sistema impactado, o qual apresenta concentrações elevadas de cobre (Cu), zinco (Zn) e chumbo (Pb), de acordo com os valores de referência da NOAA SQuiRTs. A degradação deste sistema está associada ao contínuo aporte de efluentes domésticos e industriais. A contaminação desta região potencialmente prejudica a população local que possui a pesca como uma atividade importante de subsistência. O Rio Piraquê-Açu, por sua vez, apresenta uma forte contribuição geológica como fonte dos metais, podendo ser descrito como um sistema bem preservado.

Palavras-chave: Biodisponibilidade, metais, estuários.

SANTOS, Edvaldo Oliveira Ribeiro. **Trace elements in Coastal Systems of states of Espírito Santo and Pernambuco, Brazil**. 42 f. il. 2016. Monography – Geosciences Institute, Federal University of Bahia, Salvador, 2016.

ABSTRACT

This study evaluated contamination level of trace elements in sediment of two estuaries in East Coast of Brazil: i. Piraquê-Açu Estuary, ES; Vitória Bay, ES; ii. Capibaribe Estuary, PE; and Santa Cruz's Channel, PE. The sediment's samples were lyophilized and pulverized using a ball mills, and then, extracted using a solution of hydrochlorid acid 1 mol L^{-1}. Trace elements and big elements and other elements were estimated by Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP – OES). Concentration levels of organic carbon and nitrogen were determinated by elemental analyzer, while sediment granulometry was estimated by sieving and laser diffraction. The results showed that there is high variation in concentration levels of trace elements analysed, and the results indicate that there is a great heterogeneity in the chemicals characteristics of evaluated ecosystems. Among the evaluated ecosystems, deserve special attention the Capibaribe estuary and Piraquê – Açu estuary, due trace elements concentration levels in sediment, The Capibaribe estuary can be described as an impacted system, with high concentration of copper (Cu), zinc (Zn) and lead (Pb), according to reference values of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). Degradation of this system is associated with continuous input of waste from domestic and industries activities. The potential contamination of this environment can damage the local community, with an important activity is the subsistence fishery. The Piraquê – Açu estuary presented a Strong geological contribution like metals source, can be described as an ecossystem with no deterioration.

Key words: Biodisponibility, metals, estuaries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo I: Sistema Estuarino da Ilha de Vitória, Espírito Santo, Brasil 16
Figura 2 - Localização da área de estudo II: Estuário do Rio Piraquê, Espírito Santo, Brasil 17
Figura 3 - Localização da área de estudo III: Estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco, Brasil 18
Figura 4 - Localização da área de estudo IV: Canal de Santa Cruz, Pernambuco, Brasil 19
Figura 5 - Granulometria dos sedimentos da Baía de Vitória, ES 24
Figura 6 - Granulometria dos sedimentos do Rio Piraquê-Açu, ES..... 25
Figura 7 - Granulometria dos sedimentos do estuário do Canal de Santa Cruz, ES 25
Figura 8 - Granulometria dos sedimentos do rio Capibaribe, PE..... 26
Figura 9 - Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina dos sedimentos no sistema estuarino da Ilha de Vitória, ES 27
Figura 10 - Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos no sistema estuarino da Ilha de Vitória, ES.....28
Figura 11- Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina dos sedimentos ao longo do estuário do rio Piraquê-Açu, ES..... 32
Figura 12 - Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos do estuário do Rio Piraquê-Açu, ES.....33
Figura 13 - Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina dos sedimentos ao longo do estuário do rio Capibaribe, ES 36
Figura 14 - Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos do estuário do Rio Capibaribe, PE.....37
Figura 15 - Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina dos sedimentos ao longo do Canal de Santa Cruz, PE 39
Figura 16 - Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos do estuário do Canal de Santa Cruz, PE.....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recuperação do Material de Referência Certificado Solo 21
Tabela 2 - Condições de operação do ICP OES 22
Tabela 3 - Recuperação do material de referência certificado de sedimento (PACS – 2) por meio de extração parcial de HCl 1 mol L^{-1} 22
Tabela 4 - Teores de Corg, N e razões C/N para a Baía de Vitória, ES 29
Tabela 5 - Correlação de Person para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos da Baía de Vitória 30
Tabela 6 - Correlação de Person para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do Rio Piraquê-Açu 31
Tabela 7- Distribuição da matéria orgânica no Estuário do Rio Piraquê-Açu 31
Tabela 8 - Distribuição da matéria orgânica no Estuário do Rio Capibaribe, PE..... 35
Tabela 9 - Correlação de Pearson para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do Rio Capibaribe, PE 38
Tabela 10 - Correlação de Pearson para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do Canal de Santa Cruz (os valores em negrito representam correlações significativas) 41
Tabela 11 - Mínimo e Máximo de Concentração (mg.kg-1) de metais em estuários da costa leste brasileira..... 42
Tabela 12 - Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória, ES.....49
Tabela 13 - Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do estuário do Rio Piraquê-Açu, ES. 50
Tabela 14 Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do estuário do Rio Capibaribe, PE. 51
Tabela 15 Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do estuário do Canal de Santa Cruz, PE 52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10
2. OBJETIVOS 14
2.1 OBJETIVO GERAL 14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
3. METODOLOGIA 15
3.1 ÁREAS DE ESTUDO 15
3.2 AMOSTRAGEM 20
3.3 EXPERIMENTAL 20
3. 3. 1 Pré-tratamento das amostras 20
3.3.2 Extração parcial de metais 20
3.3.3 Determinação de carbono orgânico (C_{org}) e nitrogênio 21
3.3.4 Determinação de elementos traço 21
3.3.5 Análise Granulométrica 22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 24
4.1 GRANULOMETRIA 24
4.2 GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS 26
5. CONCLUSÃO 44
6. REFERÊNCIAS 45
7. ANEXOS 49

1. INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade do meio ambiente, em decorrência das inúmeras atividades antrópicas, é uma preocupação global. Em virtude das condições mais propícias para a sua ocupação, beleza cênica, facilidade de transporte, lazer, entre outros, a zona costeira é uma das regiões mais densamente povoadas e impactadas negativamente.

Dentre os ambientes costeiros, os estuários estão entre os mais suscetíveis aos impactos devido às atividades antrópicas que se desenvolvem em suas bacias de drenagem.

PERILLO (1996) definiu estuários como ambientes de transição entre os ambientes fluviais e marinhos, onde um ou mais rios encontram o mar, e as forçantes de ambos ambientes atuam controlando a dinâmica e a distribuição das propriedades químicas, biológicas e sedimentares. A zona estuarina é uma das áreas mais produtivas do planeta, a qual funciona como zona de alimentação, de rota migratória e berçário para muitas espécies (CHAPMAN e WANG, 2001).

Poucos estuários em regiões tropicais e subtropicais existem em condições próximas ao seu estado natural. A Baía de Camamu, com seus estuários, é uma exceção, e representa um dos poucos sistemas costeiros tropicais ainda bem preservados *(*HATJE *et al*., 2008; PEDREIRA *et al*., 2016).

Os impactos negativos, frequentemente observados em estuários, são causados principalmente pelo rápido crescimento populacional e pelo desenvolvimento desordenado na maioria das regiões costeiras (KENNISH, 2002). Estes impactos podem ocorrer de forma física, biológica ou química. Esta última promove o aumento da concentração de substancias de origem natural e antrópicas.

A contaminação é uma das principais consequências dos impactos antrópicos nos ambientes costeiros e, potencialmente, um fator de risco para a saúde pública (HATJE e ANDRADE, 2009). A contaminação química, quando em níveis elevados, pode comprometer a estrutura de comunidades bentônicas e comprometer os serviços ecológicos que são prestados pelo ecossistema afetado (HATJE *et al*., 2006; RIBEIRO *et al*., 2016). Dentre as classes de contaminantes que afetam a zona costeira, bem como os estuários, destacam-se os metais.

Os metais correspondem a praticamente dois terços dos elementos existentes na tabela periódica, e podem ser subdivididos em Metais Representativos, Semi-Metais e Metais de Transição. As propriedades físicas como brilho, dureza e elevada condutividade térmica e elétrica, características dos metais de transição, têm sido bastante exploradas pela sociedade. Processos de mineração, queima de combustíveis fósseis, atividades

industriais e esgotos domésticos são fontes antrópicas importantes para os sistemas costeiros.

No contexto ambiental e biológico, os metais também podem ser classificados como essenciais e/ou tóxicos ou metais pesados. Entretanto, o termo metal pesado é impreciso, uma vez que a densidade dos elementos contribui pouco para a previsão dos efeitos biológicos de metais. O grau de toxicidade de metais varia de metal para metal e de organismo para organismo (DIOP *et al.*, 2015).

A toxicidade, como a essencialidade, deve ser definida com referência a uma curva de dose-resposta para as espécies em questão (IUPAC, 2002). Estas curvas indicam o quão o metabolismo de um determinado organismo suporta a presença de um determinado elemento, dito contaminante, sem que o mesmo sofra algum tipo de prejuízo.

Outra designação utilizada para definir esta classe de metais é o termo de metal traço, que se refere aos metais encontrados em baixas concentrações, em frações mássicas da ordem de partes por milhão (ppm) ou inferiores. O incremento da concentração destes elementos no ambiente é de grande preocupação em todo o mundo devido à sua característica de toxicidade, persistência e bioacumulação (LUOMA, 1983).

Os metais são componentes naturais da crosta continental e oceânica, e estão presentes nas rochas e nos sedimentos, neste último como resultado da erosão e do intemperismo continental. Após processos de erosão e lixiviação, os metais podem ser mobilizados e disponibilizados para corpos d'água tanto na forma dissolvida, como associados com o material particulado (LUOMA & RAINBOW, 2008).

Por sua vez, as fontes de elementos traço de origem antrópicas são também fontes extremamente importantes e muitas vezes preponderantes em muitos sistemas estuarinos. Dentre as fontes antrópicas, cabe destacar a disposição de efluentes domésticos e industriais, construção de barragens, as atividades portuárias, queima de combustível fóssil, pesca predatória com bomba, mineração, carcinocultura, entre outras.

Os sedimentos de sistemas aquáticos são considerados um compartimento de acumulação ou depósito de contaminantes. Ao longo do tempo, os sedimentos registram as variações nos aportes de contaminantes, permitindo uma avaliação integrada da situação do ambiente e possibilitando uma análise da cronologia de contaminação. Neste compartimento, em geral, as concentrações ocorrem em ordens de grandeza acima da fração dissolvida, o que os torna bons indicadores de contaminação ambiental, atual ou pretérita (FÖRSTNER & WITMANN, 1981), além de permitir a fácil quantificação dos contaminantes.

Os sedimentos possuem diferentes tamanhos de grãos (*i.e.,* cascalho, areia, silte e argila) e são classificados em função do tamanho do grão, independente da origem e composição (BATISTA NETO *et al*., 2004).

O tamanho da partícula desempenha funções importantes, controla as concentrações de metais adsorvidos ao sedimento, influenciando a retirada da fração dissolvida (GUVEN & AKINCI, 2013). A fração fina dos sedimentos, em função da alta relação superfície/área, promove a efetiva retenção de contaminantes. Uma outra característica importante dos sedimentos, a qual contribui para a retenção dos contaminantes, é a presença de matéria orgânica (ZHANG *et al.*, 2014).

O carbono orgânico em sedimentos é adsorvido nas argilas, na maioria das vezes, de modo que o teor de Carbono Orgânico Total (TOC) aumenta com a diminuição do tamanho do grão, levando ao aumento da concentração de metais (JIANG *et al.*, 2014)

Os metais podem ficar associados aos sedimentos por diferentes mecanismos, alguns dos quais são reversíveis (DIOP *et al.*, 2015). As formas como os contaminantes se associam aos sedimentos e migram entre compartimentos incluem a adsorção e desorção, complexação, precipitação e assimilação biológica (LUOMA & RAINBOW, 2008).

A mobilidade de metais traço em sedimentos é dependente do ambiente e controlada por vários fatores que incluem a sua composição, potencial hidrogeniônico (pH), capacidade catiônica de troca, teor de carbonatos e matéria orgânica, potencial redox, granulometria, entre outros (ZHANG *et al.*, 2014). Portanto, além de medir as concentrações totais dos metais traço em sedimentos, quando se objetiva avaliar o grau de contaminação do mesmo, é importante avaliar a biodisponibilidade dos metais e o potencial de toxicidade dos mesmos (GAO & LI, 2012).

A biodisponibilidade é a chave para a avaliação do potencial de toxicidade dos elementos metálicos e seus compostos. Biodisponibilidade é a medida do potencial que uma substância apresenta para ser absorvida pelos seres vivos, estando diretamente relacionada com a especiação deste composto no ambiente. Esta medida é determinada pela fração da concentração total de metais e contaminantes orgânicos em cada reservatório abiótico que pode ser captada pelos organismos vivos (MILAZZO, 2011; BAYEN, 2012).

LUOMA (1983) descreve que apesar de alguns metais serem essenciais para a vida, todos os metais são potencialmente tóxicos; para alguns há uma janela estreita entre o que é essencial e o que é tóxico. Uma consequência da contaminação por metais traço no ambiente é a bioacumulação nos tecidos biológicos, que pode provocar modificações fisiológicas e genéticas.

Devido a tendência de metais traço se acumularem nos sedimentos, sua distribuição espacial tende a ser mais concentrada nos pontos próximos as fontes de contaminação e diminuir à medida que se distancia da mesma (LUOMA & RAINBOW, 2008). Os ambientes

onde a urbanização circunda o próprio estuário, diferentes fontes de contaminação criam um mosaico regional, como na região estuarina do rio Subaé, localizado na Baía de Todos os Santos (HATJE & BARROS, 2012) .

As atividades antrópicas provocam impactos ambientais, visto o passivo ambiental gerado por aportes de efluentes domésticos e industriais, atividades portuárias e entre outras atividades, que comprometem a qualidade dos ecossistemas estuarinos ao longo do globo. Por estes motivos, vários autores têm utilizado os sedimentos, em estudos em ambientes estuarinos visando determinar fontes, biodisponibilidade e monitorar o nível de contaminação por metais traço.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo comparar o nível de contaminação por metais traço em estuários ao longo da costa leste brasileira, os quais estão sujeitos a diversas pressões antrópicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os padrões de distribuição espacial e potencial fontes de metais traço em sedimentos estuarinos da costa leste do Brasil: i. Estuário do Rio Piraquê-Açu, ES; ii. Baía de Vitória, ES; iii. Estuário do Rio Capibaribe, PE; iv. Canal de Santa Cruz, PE;
- Avaliar a biodisponibilidade dos elementos traço;
- Determinar a origem da matéria orgânica nos sedimentos avaliados.

3. METODOLOGIA

3.1 ÁREAS DE ESTUDO

A área de estudo abrangida por este trabalho compreende quatro regiões: o sistema estuarino da Ilha de Vitória (I), o estuário do rio Piraquê-Açu (II), o estuário do rio Capibaribe (área III) e o canal de Santa Curz (área IV).

Os sistemas estuarinos da Ilha de Vitória (Figura 1) e do Rio Piraquê (Figura 2), localizados no Estado do Espírito Santo e do rio Capibaribe (Figura 3) e Canal de Santa Cruz (Figura 4), localizados no Estado de Pernambuco estão compreendidos na Costa Leste brasileira, situada inteiramente no Atlântico Sul, e apresentam sistema atmosférico dominado pelos ventos alísios (DOMINGUEZ *et al*., 1992).

A Baía de Vitória e Espírito Santo (Figura 1) possui um conjunto de tributários de médio porte (rio Santa Maria da Vitória) e de pequeno porte (rios Bubu, Itanguá, Marinho e Aribiri). Ao longo de várias décadas tem sofrido uma forte degradação ambiental, devido a ocupação populacional de seu entorno, aterros sanitários, implantação de indústrias, atividades portuárias e, principalmente, devido ao lançamento de esgotos, a maioria deles (em torno de 70%) *in natura* (JESUS *et al*., 2004).

A Bacia dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Açu Mirim tem uma área de 448 km^2, em forma de Y, onde os rios se encontram (Figura 2). A região é influenciada fortemente pela agricultura, incluindo silvicultura do eucalipto, cultivo de café, milho, cana de açúcar e pecuária extensiva (BARROSO, 2004).

A Bacia hidrográfica do Rio Capibaribe (Figura 3) possui uma área de drenagem de 7.557 km^2 e está totalmente inserida no Estado de Pernambuco (BIONE *et al*., 2009). O estuário do Rio Capibaribe fica localizado inteiramente na zona urbana de Recife e possui aproximadamente 15 km de extensão (TRAVASSOS, 1991; TRAVASSOS; MACEDO; KOENING, 1991; NETO, 2008). O Rio Capibaribe nasce na serra do Jacarará, na divisão dos municípios de Jataúba e Poção, percorrendo cerca de 250 km até sua foz, passando por 43 cidades, sendo que apenas 7 possuem esgoto sanitário (NÓBREGA, 2011).

O Canal de Santa Cruz (Figura 4) é definido como um braço de mar localizado entre o Município de Itapissuma e a Ilha de Itamaracá que sofre influência de águas dulcícolas e oceânicas (KEMPF, 1970).

Figura 1 - Localização da área de estudo I: Sistema Estuarino da Ilha de Vitória, Espírito Santo, Brasil

Figura 2 - Localização da área de estudo II: Estuário do Rio Piraquê, Espírito Santo, Brasil

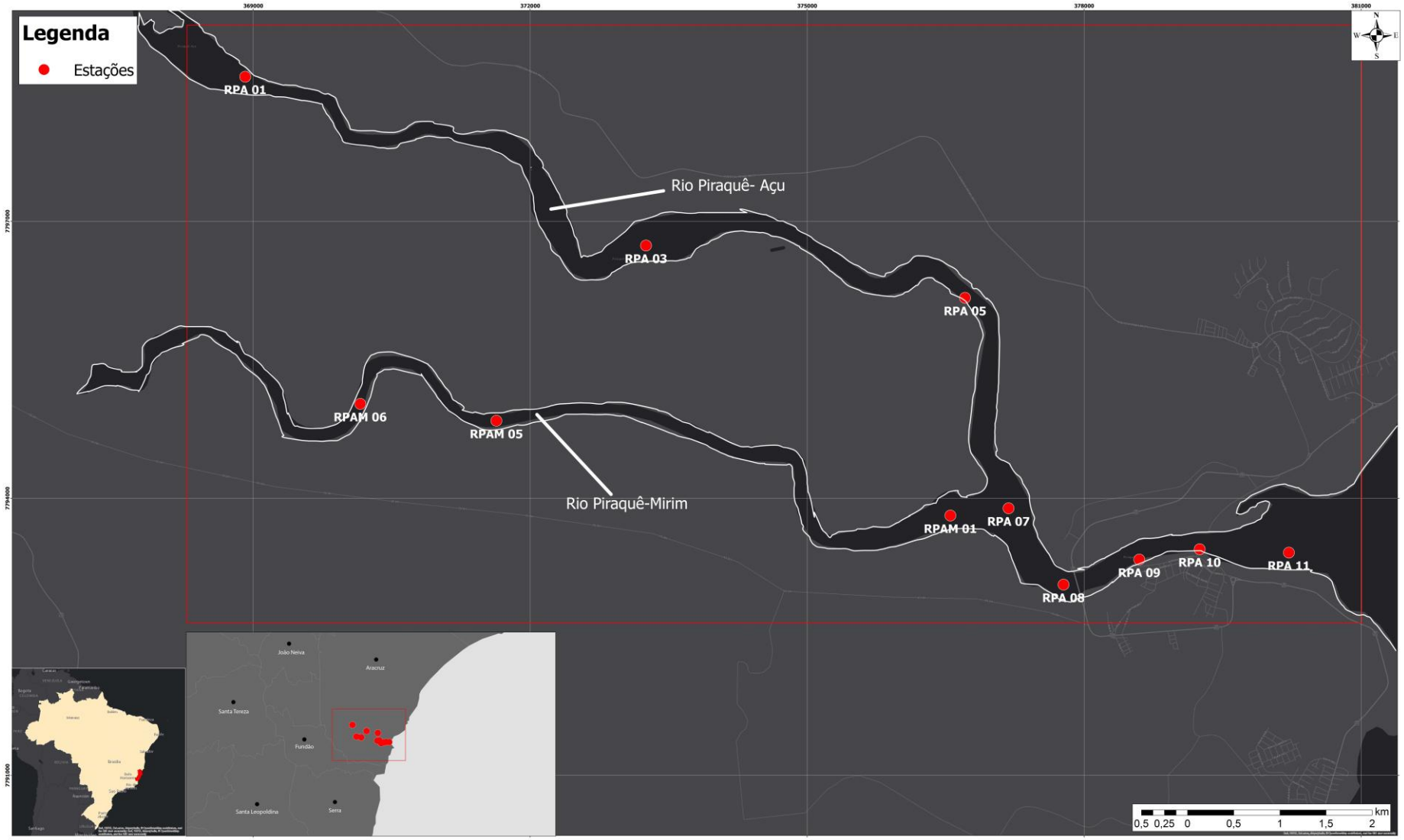
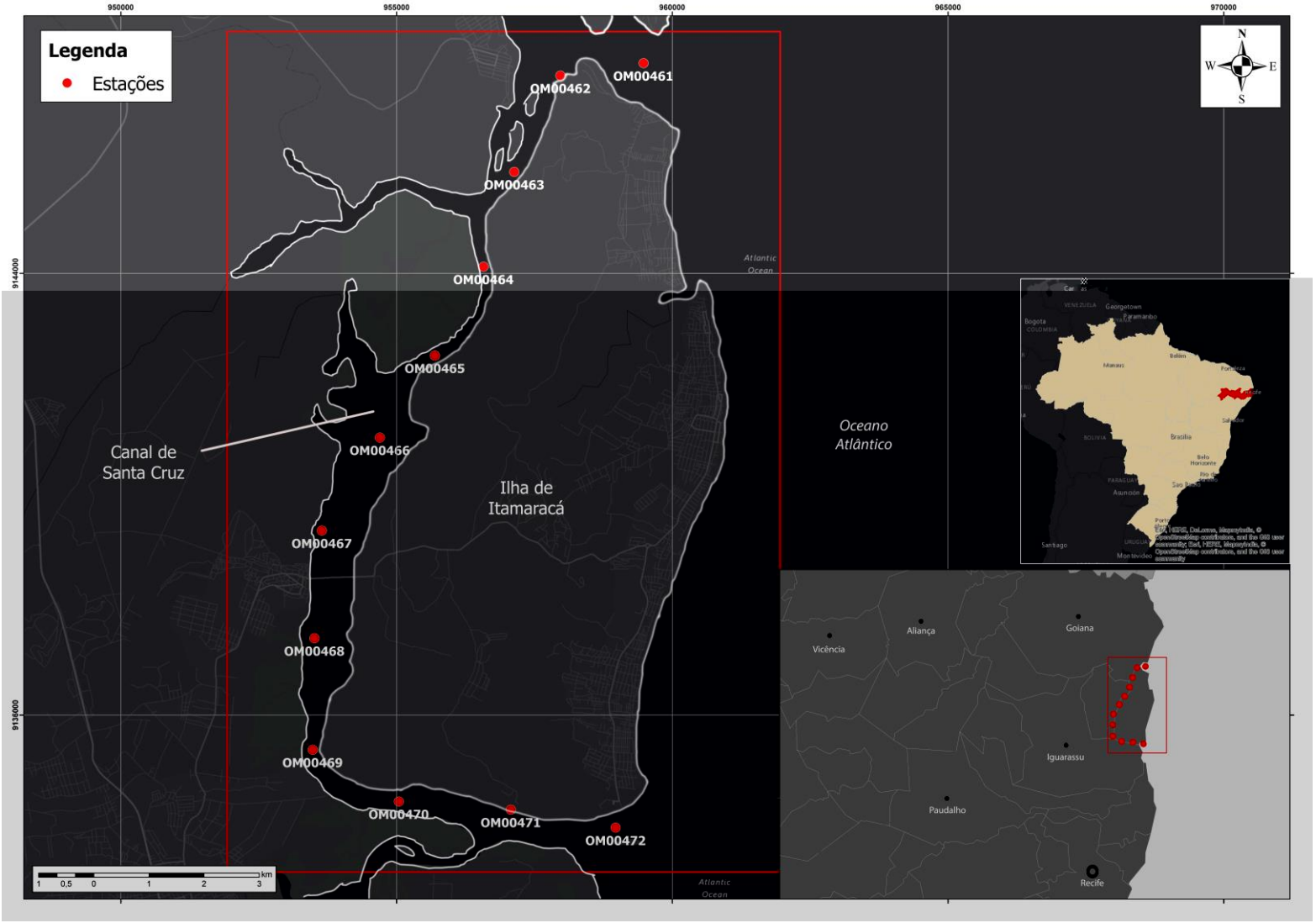


Figura 3 - Localização da área de estudo III: Estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco, Brasil

Figura 4 - Localização da área de estudo IV: Canal de Santa Cruz, Pernambuco, Brasil



3.2 AMOSTRAGEM

As estações de coleta foram defenidas de um modo a cobrir, de forma representativa, os diferentes ambientes estudados. A coleta das amostras de sedimento superficiais ocorreu a bordo de uma pequena embarcação, utilizando um pegador de fundo *Day Grab* nos estuários do Espírito Santo e pegador de fundo tipo *van Veen* para as amostragem realizadas em Pernambuco.

Os sedimentos coletados foram armazenados em sacos plásticos identificados, e mantidos sob refrigeração em gelo, em uma caixa térmica, e depois foram transportados para o laboratório, onde foram congelados. Uma alíquota da amostra de sedimento foi separada para as análises granulométricas.

3.3 EXPERIMENTAL

3. 3. 1 Pré-tratamento das amostras

Os sedimentos congelados foram liofilizados. Posteriormente, as amostras de sedimentos secos foram pulverizadas, em moinho de bolas utilizando *vials* e bolas de carbeto de tungstênio (modelo Mixer/Mill 8000 D, marca SPEX Sample Prep, EUA), visando aumentar a superfície de contato e garantir a homogeneidade das amostras. Após a moagem, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos previamente descontaminados.

3.3.2 Extração parcial de metais

Para a extração dos metais foi empregado ácido clorídrico HCl 1,0 mol L^{-1}, sob temperatura ambiente (HATJE *et al.*, 2006). Esta extração lixivia as amostras de sedimento visando a determinação da fração biodisponível de metais (LUOMA & RAINBOW, 2008).

Para as extrações, foram pesados 300 mg do sedimento em tubo de centrífuga e foram adicionados 10 mL de HCl 1,0 mol L^{-1}. As extrações foram realizadas em temperatura ambiente e agitação constante a 200 rpm por 12 horas. Posteriormente, as suspensões foram centrifugadas à 2000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi separado e mantido refrigerado até o momento da determinação analítica. Todas as amostras foram extraídas

em triplicatas, juntamente com brancos e o material de referência certificado PACS-2 (NRC-CNR, Ontário, Canadá).

Todo material utilizado foi previamente descontaminado em banho de detergente neutro, por pelo menos 24 horas, seguido por imersão em banho de ácido nítrico (HNO_3) 10% por aproximadamente 48 horas.

3.3.3 Determinação de carbono orgânico (C_{org}) e nitrogênio

Com o intuito de remover a fração inorgânica de carbono, na forma de carbonato $(CO_3)^{2-}$, o sedimento foi tratado com HCl 1,0 mol $L^{-1.}$ Foram pesados, em balança analítica, cerca de 2 g de sedimento moído e adicionados 10,0 mL de HCl 1,0 mol L^{-1}. A solução foi aquecida a aproximadamente 80 ºC, até total evaporação do ácido.

Posteriormente, foram adicionados 10,0 mL de água ultrapura MilliQ e novamente a solução foi levada à evaporação. A adição de água foi repetida mais duas vezes para garantir a remoção de todo ácido. Após secagem as amostras foram colocadas dentro de potes plásticos e mantidos em dessecador. Os teores de C_{org} e N foram determinados em Analisador Elementar (TruSpec CNS, EUA).

Para a validação da metodologia de análise foi utilizada uma amostra padrão Solo (Thermo®, Italy e LECO®, USA). As recuperações obtidas para N e C_{org} (Tabela 1) foram de 99,8% e 101 %, respectivamente.

Tabela 1 - Recuperação do Material de Referência Certificado Solo

	Valor mensurado	**RSD**	**Valor MRC**	**% Recuperação**
% N	0,18 ± 0,01	5,69	0,185 ± 0,015	99,80
% C	2,36 ± 0,03	1,10	2,34 ± 0,05	101,04

3.3.4 Determinação de elementos traço

Os elementos traço e maiores (cobalto -Co, cobre - Cu, cromo - Cr, zinco - Zn, chumbo - Pb, vanádio - V, ferro - Fe e alumínio - Al) foram determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) (Optima 7300 DV, Perkin Elmer), cujas condições de operação são apresentadas abaixo na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições de operação do ICP OES

Potência	1300 W
Vazão do gás no plasma	15 L min^{-1}
Vazão do gás auxiliar	0,2 L min^{-1}
Vazão do Argônio de nebulização	0,8 L min^{-1}
Vazão da amostra	1,5 mL min^{-1}
Câmera de nebulização	Ciclônica

Os limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) para as extrações com HCl 1,0 mol L^{-1} são apresentados nas Tabela 3. O LD foi calculado através da equação LD = 3 sb/a e o limite de quantificação (LQ) foi definido através da equação LQ = 10 sb/a (SKOOG, 2006), onde “sb” é o desvio padrão das intensidades dos brancos, e “a” é coeficiente angular da curva de calibração (sensibilidade do método). Como esperado, as recuperações dos metais no MRC PACS-2 foram baixas, variaram entre 7,6 e 76,1% para os elementos alumínio (Al) e chumbo (Pb) em relação aos valores certificados, os quais se referem a digestão total do sedimento.

Tabela 3 - Recuperação do material de referência certificado de sedimento (PACS – 2) por meio de extração parcial de HCl 1,0 mol L^{-1}

Elemento	Valor mensurado (mg kg^{-1})	Valor PACS2 (mg kg^{-1})	Recuperação (%)	RSD	LD	LQ
Co	2,93 ± 0,33	11,5 ± 0,3	25,5	11,21	$6,05 .10^{-8}$	$2,02 .10^{-7}$
Cu	197 ± 5,16	310 ± 12	63,8	2,61	$5,64 .10^{-8}$	$1,88 .10^{-7}$
Cr	12,8 ± 0,77	90,7 ± 4,6	14,1	6,04	$3,02 .10^{-8}$	$1,01 .10^{-7}$
Zn	261,97 ± 18,8	364 ± 23	72,0	7,19	$6,04 .10^{-7}$	$2,01 .10^{-6}$
Pb	139,3 ± 9,87	183 ± 8	76,1	7,08	$5,42 .10^{-6}$	$1,81 .10^{-5}$
Al	5009,2 ± 89,46	66200 ± 3200	7,6	1,79	$4,59 .10^{-7}$	$1,53 .10^{-6}$
Fe	8859,7 ± 516,06	40900 ± 600	21,7	5,82	$2,44 .10^{-6}$	$8,02 .10^{-6}$
V	34,2 ± 0,97	133 ± 5	25,7	2,84	$1,94 .10^{-6}$	$6,47 .10^{-6}$

LD (mg kg^{-1}) e LQ (mg kg^{-1})

3.3.5 Análise Granulométrica

A análise granulométrica consistiu de procedimentos de peneiramento por via úmida em malha granulométrica de *nylon* de 63 µm para a separação das frações grossa e fina. A fração grossa foi seca a 60°C em estufa por 48 h. A fração fina foi obtida por decantação da água de lavagem e posterior secagem em estufa à 60ºC. Para a fração fina foi utilizado o

granulômetro a Laser Malver Mastersizer 2000 e os dados calibrados de acordo com a escala de Wentworth.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

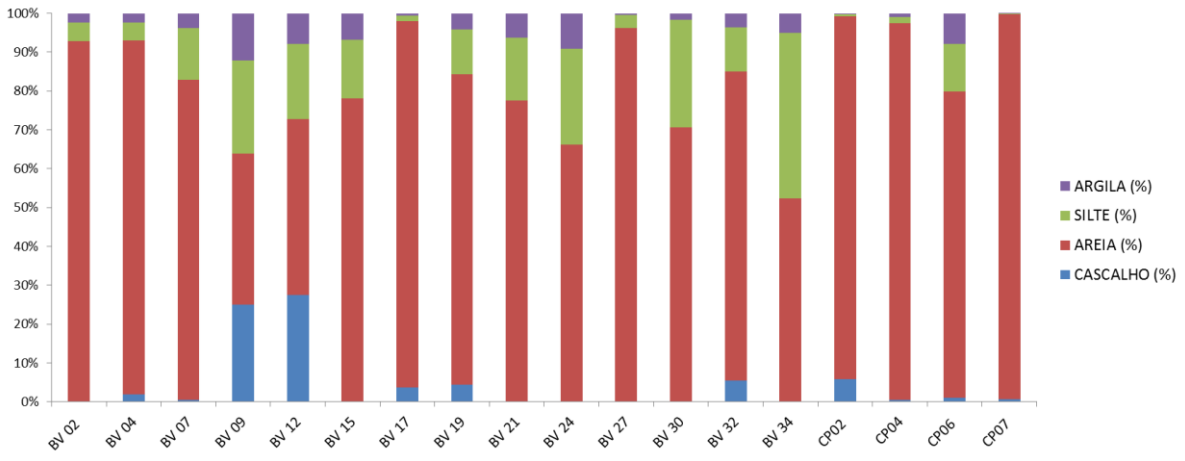
4.1GRANULOMETRIA

De acordo com FORSTNER & WITTMANN (1979), o tamanho das partículas é uma das características mais importantes do sedimento, a qual controla a distribuição e acumulação dos elementos traço.

Em regiões estuarinas, a distribuição dos sedimentos é influenciada por processos marinhos e fluviais. Para as regiões com alta energia, prevalecem sedimentos de granulometria grossa, em zonas intermediária, ou com baixo nível de energia predominam os sedimentos de granulometria mais fina (MIRANDA, 2002).

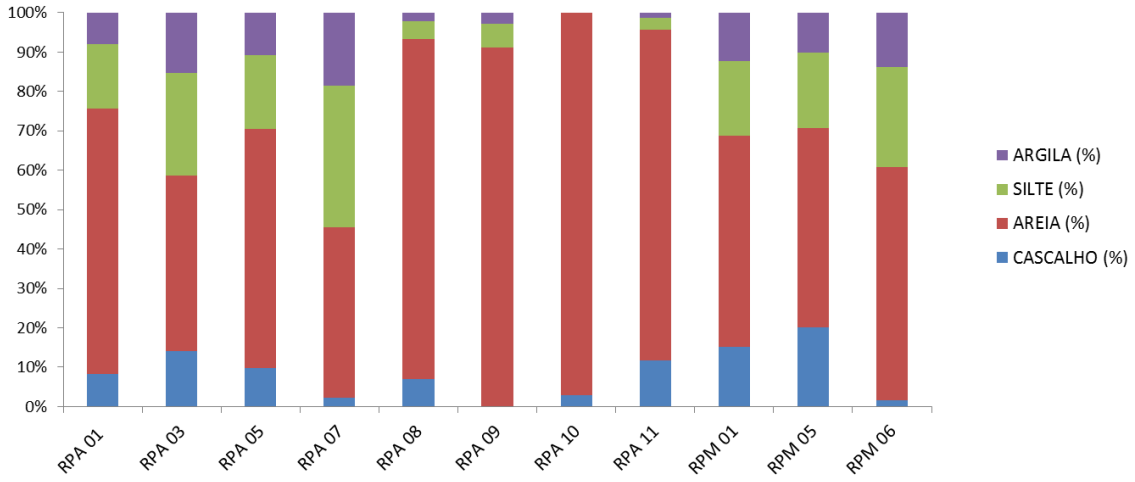
As figuras de 5 a 8 mostram a distribuição granulométrica dos sedimentos nos estuários estudados. Areia foi a classe granulométrica predominante na Baía de Vitória, no rio Pirâque Açu, e no Canal de Santa Cruz. Na baía de Vitória, além de areia, foi também observada uma quantidade elevada de silte e argila nas estações BV 34, BV 30 e BV 09 (Figura 5).

Figura 5 - Granulometria dos sedimentos da Baía de Vitória, ES



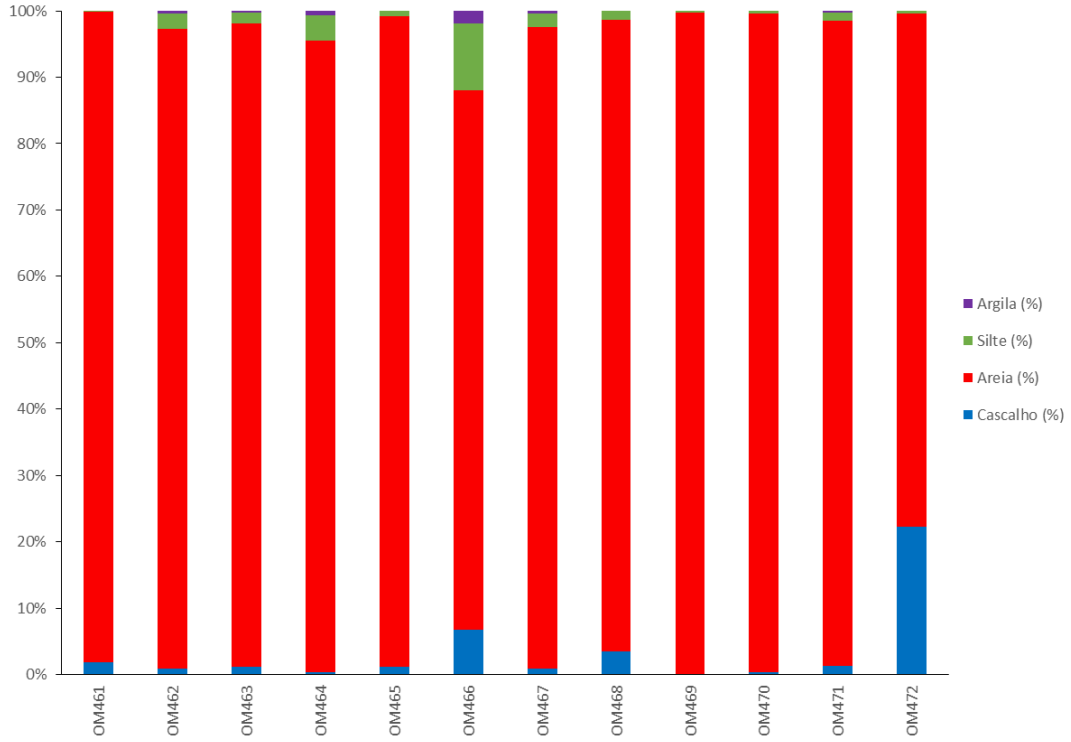
No rio Piraquê (Figura 6), a fração fina dos sedimentos também foi majoritariamente composta por silte, e foi observada em maiores teores nas estações RPA 03, RPA 07 e RPAM 06.

Figura 6 - Granulometria dos sedimentos do Rio Piraquê-Açu, ES



Os sedimentos do Canal de Santa Cruz foram os mais homogêneos do ponto de vista granulométrico. Esta região foi a que apresentou a menor quantidade de silte e argila, com distribuição granulométrica bastante constante entre as estações amostradas (Figura 7).

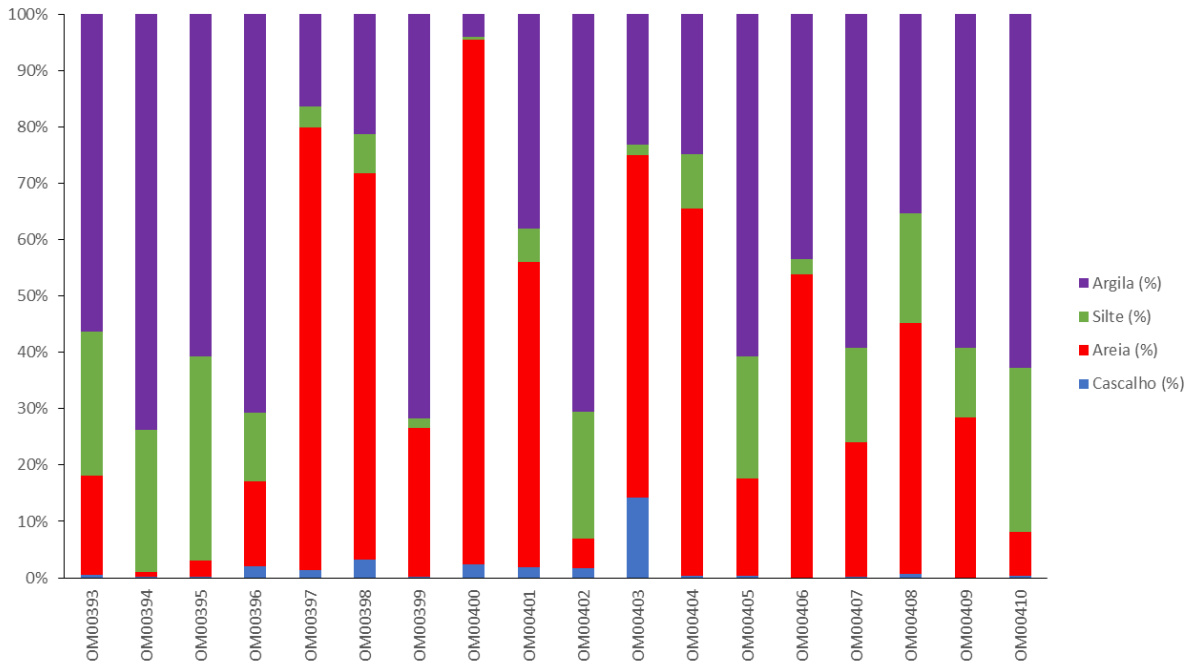
Figura 7 - Granulometria dos sedimentos do estuário do Canal de Santa Cruz, PE



Comparado aos outros ambientes, o rio Capibaribe (Figura 8) foi o que apresentou a maior quantidade de sedimentos finos (silte + argila). A fração fina variou entre 4,5% e 99%, respectivamente nas estações OM400 e OM394, que foi majoritariamente constituída de

argila. Esta característica favorece a acumulação de contaminantes nos sedimentos devido a associação dos metais por adsorção.

Figura 8 - Granulometria dos sedimentos do rio Capibaribe, PE



4.2 GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS

Estuários do Espírito Santo

Sistema estuarino da Ilha de Vitória

A distribuição espacial do C_{org} e N (Figura 9) seguiu o mesmo padrão, sendo que os teores destes elementos apresentaram correlações significativas ($r = 0,86$; $p<0.05$) para a Baía de Vitória, o que indica que estes elementos são provenientes da mesma fonte.

A fração fina dos sedimentos (silte + argila) também acompanhou, em termos gerais, a distribuição de C_{org} e N. Foram observados picos nos níveis de matéria orgânica no Canal do Porto de Vitória, com exceção da estação BV 17, e na Baía de Espirito Santo (Fig. 9).

As concentrações de carbono variaram de 0,08% a 4,13%. Já para o nitrogênio variou de 0.03% a 0,29%. As maiores concentrações de C e N foram encontradas na região que recebe o maior aporte de efluentes líquidos domésticos e industriais, através dos rios Itanguá, Marinho e Aribiri, dos canais de esgoto da Costa e Leitão da Silva, e das galerias de drenagem pluvial, como as da Rede Gazeta, Beira Mar e cais da Barca (JESUS *et al.*, 2004).

Figura 9 - Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina nos sedimentos no sistema estuarino da Ilha de Vitória, ES

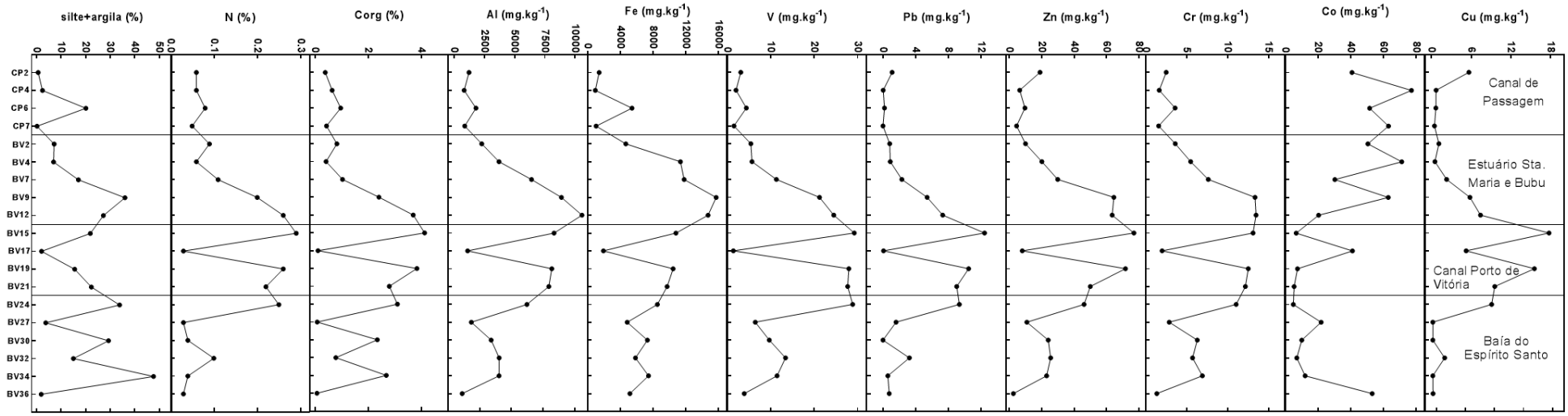
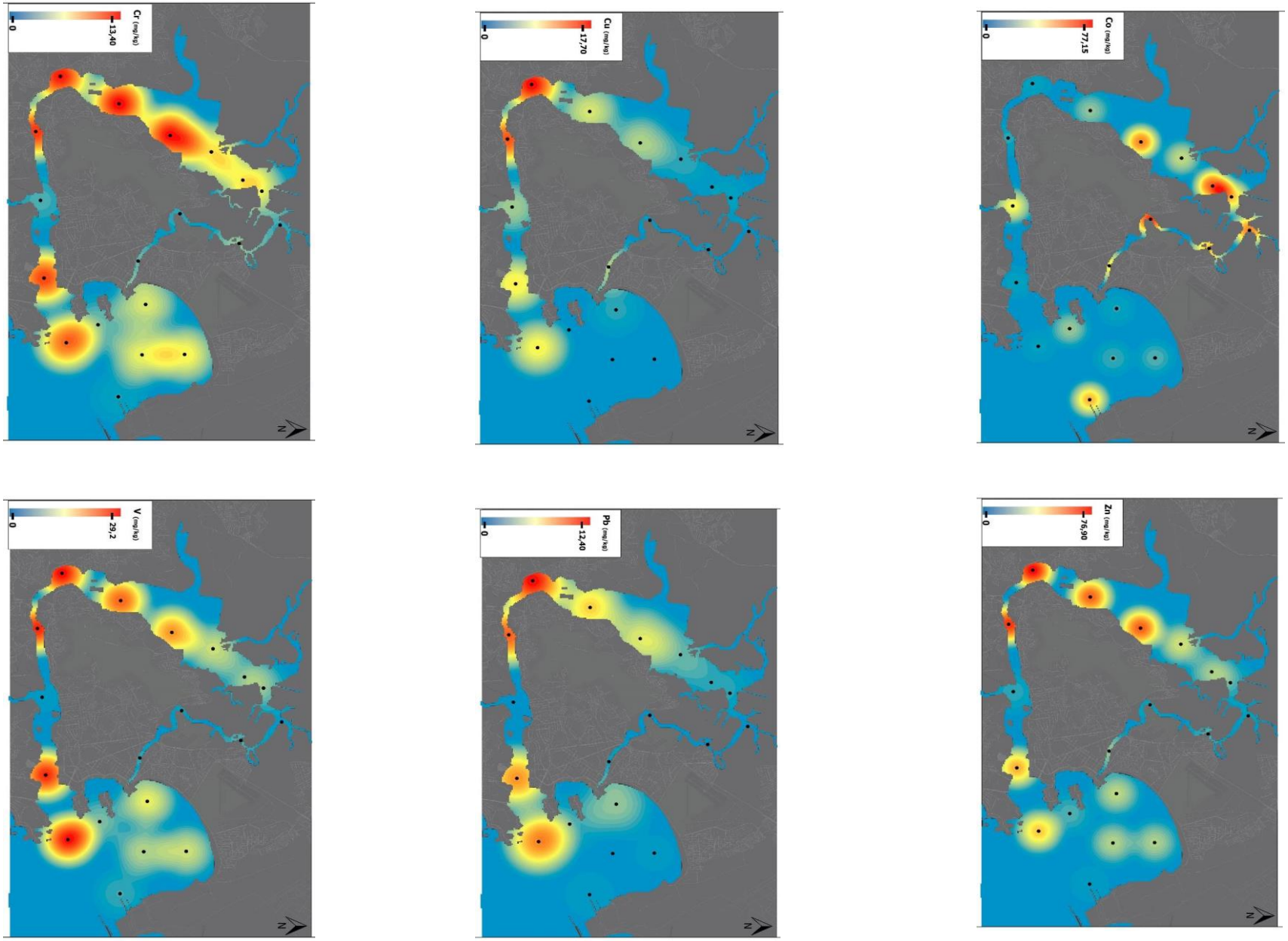


Figura 10 – Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos no sistema estuarino da Ilha de Vitória, ES



Apesar de estar na mesma região, a estação BV17 apresentou as mais baixas concentrações (0.12% de C e 0,03% de N; Tabela 4), o que pode ser explicado pela escassez da fração fina do sedimento (2,1%). A razão C/N (Tabela 4) também ficou baixa com 3,78 para a mesma estação, enquanto as outras estações do Canal do Porto estiveram próximos de 15, valor que indica origem terrígena e/ou antrópica da matéria orgânica (BRADY, 1989).

Tabela 4 - Teores de Corg, N e razões C/N para a Baía de Vitória, ES

Estação	% C	% N	C/N
CP 02	0,39	0,06	6,08
CP 04	0,65	0,06	10,26
CP 06	0,97	0,08	11,53
CP 07	0,44	0,05	8,41
BV 02	0,83	0,09	9,76
BV 04	0,42	0,06	6,58
BV 07	1,04	0,11	9,24
BV 09	2,41	0,20	12,20
BV 12	3,70	0,26	14,04
BV 15	4,13	0,29	14,18
BV 17	0,12	0,03	3,78
BV 19	3,84	0,26	14,80
BV 21	2,80	0,22	12,80
BV 24	3,11	0,25	12,21
BV 27	0,09	0,03	3,02
BV 30	2,35	0,04	59,40
BV 32	0,79	0,10	7,82
BV 34	2,69	0,04	59,79
BV 36	0,08	0,03	2,46

Foram observadas as concentrações máximas para os metais traço na região do Porto de Vitória, com 77 e 71,8 mg/kg de Zn; 12,4 e 10,5 mg/kg de Pb; 29,3 e 28 mg/kg de V nas estações BV15 e BV19, respectivamente. Ver Tabela 12 em anexos. No entanto, todos os valores ficaram abaixo dos limites propostos para critérios de qualidade de sedimentos (BUCHMAN, 2008).

As concentrações mínimas, da mesma forma que para os teores de matéria orgânica, ocorreram na estação BV 17, no Canal de Passagem e na Baía do Espírito Santo. As estações BV15 e BV19 sofrem influência direta da descarga dos rios Itanguá e Aribiri. O cobalto foi o único metal que apresentou as maiores concentrações no Canal de Passagem, estuário de Santa Maria e Bubu. As baixas concentrações encontradas no Canal de Passagem e Baía do Espírito Santo, são justificadas por

diferentes motivos, o canal apesar de receber grande carga de esgotos domésticos, foi a região com menor concentração da fração fina nos sedimentos. A livre conexão com o oceano (Figura 1) e dinâmica intensa que favorece a renovação de águas, faz com que a Baía não apresente um grande potencial para acumular contaminantes nos sedimentos.

A distribuição espacial dos metais seguiu um gradiente bem definido ao longo dos estuários (Figura 9). Foram observadas correlações significativas (valores em negrito) entre os vários metais estudados (Tabela 5). Por exemplo, Cr apresentou correlação significativa com o Zn, Pb, Fe, Al, V e Cu (r = 0,97, r = 0,87, r = 0,86, r = 0.98, r = 0.95, r = 0,74; $p < 0.05$, respectivamente). Alumínio, C_{org} e N apresentaram correlações significativas com todos os metais, exceto Cu (Tabela 5).

Tabela 5 - Correlação de Person para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos da Baía de Vitória (os valores em negrito representam correlações significativas)

	% cascalho+areia	*% silte+argila*	*N %*	*Corg%*	*Co*	*Cu*	*Cr*	*Zn*	*Pb*	*Fe*	*Al*	*V*
% cascalho+areia	1,00											
% silte+argila	-1,00	1,00										
N %	-0,46	0,46	1,00									
Corg%	**-0,73**	**0,73**	**0,86**	1,00								
Co	0,51	-0,51	-0,48	-0,63	1,00							
Cu	-0,23	0,23	**0,87**	**0,75**	-0,51	1,00						
Cr	**-0,69**	**0,69**	**0,91**	**0,91**	-0,55	**0,74**	1,00					
Zn	-0,56	0,56	**0,93**	**0,90**	-0,53	**0,85**	**0,97**	1,00				
Pb	-0,40	0,40	**0,96**	**0,83**	**-0,60**	**0,92**	**0,87**	**0,91**	1,00			
Fe	**-0,63**	**0,63**	**0,68**	**0,67**	-0,30	0,43	**0,86**	**0,79**	**0,61**	1,00		
Al	**-0,61**	**0,61**	**0,89**	**0,85**	-0,48	**0,70**	**0,98**	**0,94**	**0,83**	**0,90**	1,00	
V	**-0,62**	**0,62**	**0,94**	**0,91**	**-0,67**	**0,81**	**0,95**	**0,94**	**0,96**	**0,73**	**0,90**	1,00

Rio Piraquê-Açu e Mirim

Similarmente ao observado a Baía de Vitória, os resultados para o rio Piraquê-Açu (Figura 11) mostraram que a distribuição espacial do C_{org} e N (r = 0,99; $p < 0,05$; Tabela 6), segue um padrão semelhante. Entretanto, não foi observado uma correlação significativa (valores em negrito na Tabela 6) da fração fina com a matéria orgânica. As concentrações de C_{org} variaram entre 0,12% na estação RPA10 e 10,4% na estação RPAM5. Já para o nitrogênio os teores variaram entre 0,03% e 0,50%, para as mesmas estações.

O valor bastante elevado de C_{org} (10,4%) observado no Rio Piraquê Mirim (RPAM5) confirma o esperado, uma vez que a área faz parte de um manguezal. A razão C/N variou entre 4,64 e 21,6 (Tabela 7). Os valores elevados de C/N para várias estações (e.g., RPAM 05 e 06, RPA 08 e 09) indicam que a matéria orgânica tem

origem de vegetação terrestre, isto porque, a composição desses vegetais é constituída predominantemente de lignina e celulose, o quais são pobres em nitrogênio (LAMB, WILSON & LENG, 2006) e/ ou este ambiente está sujeito a uma significativa carga de matéria orgânica de origem antrópica.

Tabela 6 - Correlação de Person para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do Rio Piraquê-Açu (os valores em negrito representam correlações significativas)

	% cascalho+areia	*% silte+argila*	*N %*	*Corg%*	*Co*	*Cu*	*Cr*	*Zn*	*Pb*	*Fe*	*Al*	*V*
% cascalho+areia	1											
% silte+argila	-1	1										
N %	-0,59	0,59	1,00									
Corg%	-0,49	0,49	**0,99**	1,00								
Co	**0,65**	**-0,65**	-0,60	-0,57	1,00							
Cu	-0,51	0,51	0,02	-0,05	-0,16	1,00						
Cr	-0,57	0,57	0,22	0,11	-0,54	-0,07	1,00					
Zn	-0,52	0,52	0,30	0,19	-0,54	-0,16	**0,99**	1,00				
Pb	**-0,87**	**0,87**	**0,76**	**0,66**	**-0,70**	0,24	**0,71**	0,72	1,00			
Fe	**-0,73**	**0,73**	0,30	0,18	**-0,70**	0,17	**0,95**	**0,92**	**0,77**	1,00		
Al	**-0,62**	**0,62**	0,45	0,34	**-0,64**	-0,11	**0,96**	**0,98**	**0,81**	**0,92**	1,00	
V	**-0,90**	**0,90**	**0,85**	**0,78**	**-0,78**	0,27	0,53	0,55	**0,92**	**0,68**	**0,66**	1

Os valores obtidos para os metais traço mostram um gradiente de concentração ao longo do estuário. As maiores concentrações dos metais foram observadas nas estações localizadas no Rio Piraquê-Açu, RPA01; RPA03 e RPA07, exceto para o vanádio (V) e o cobalto (Co) que foram encontradas no Rio Piraquê Mirim e na foz do Rio Piraquê (Figura 11). Ver Tabela 13 em anexo.

Tabela 7- Distribuição da matéria orgânica no Estuário do Rio Piraquê-Açu

Estação	% C	% N	C/N
RPA 01	1,85	0,13	13,80
RPA 03	3,89	0,24	16,13
RPA 05	1,55	0,11	14,49
RPA 07	2,43	0,16	14,79
RPA 08	0,93	0,04	21,59
RPA 09	1,12	0,06	20,16
RPA 10	0,12	0,03	4,64
RPA 11	0,13	0,03	4,68
RPAM 01	2,21	0,15	14,36
RPAM 05	10,41	0,50	21,03
RPAM 06	6,92	0,33	21,11

Figura 11- Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina nos sedimentos ao longo do estuário do rio Piraquê-Açu, ES

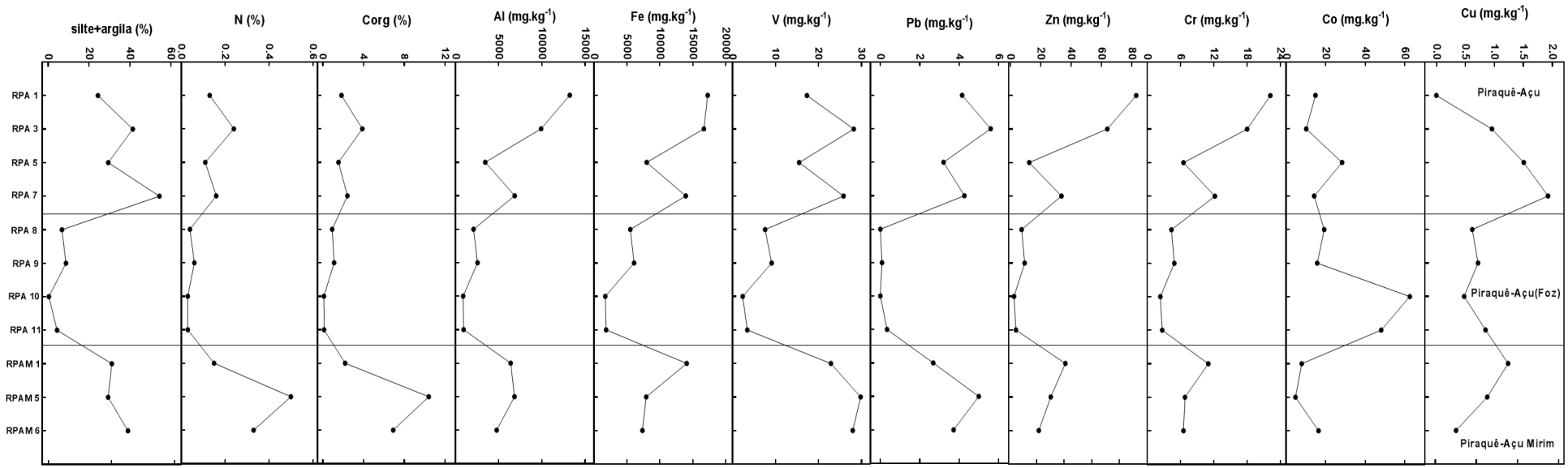
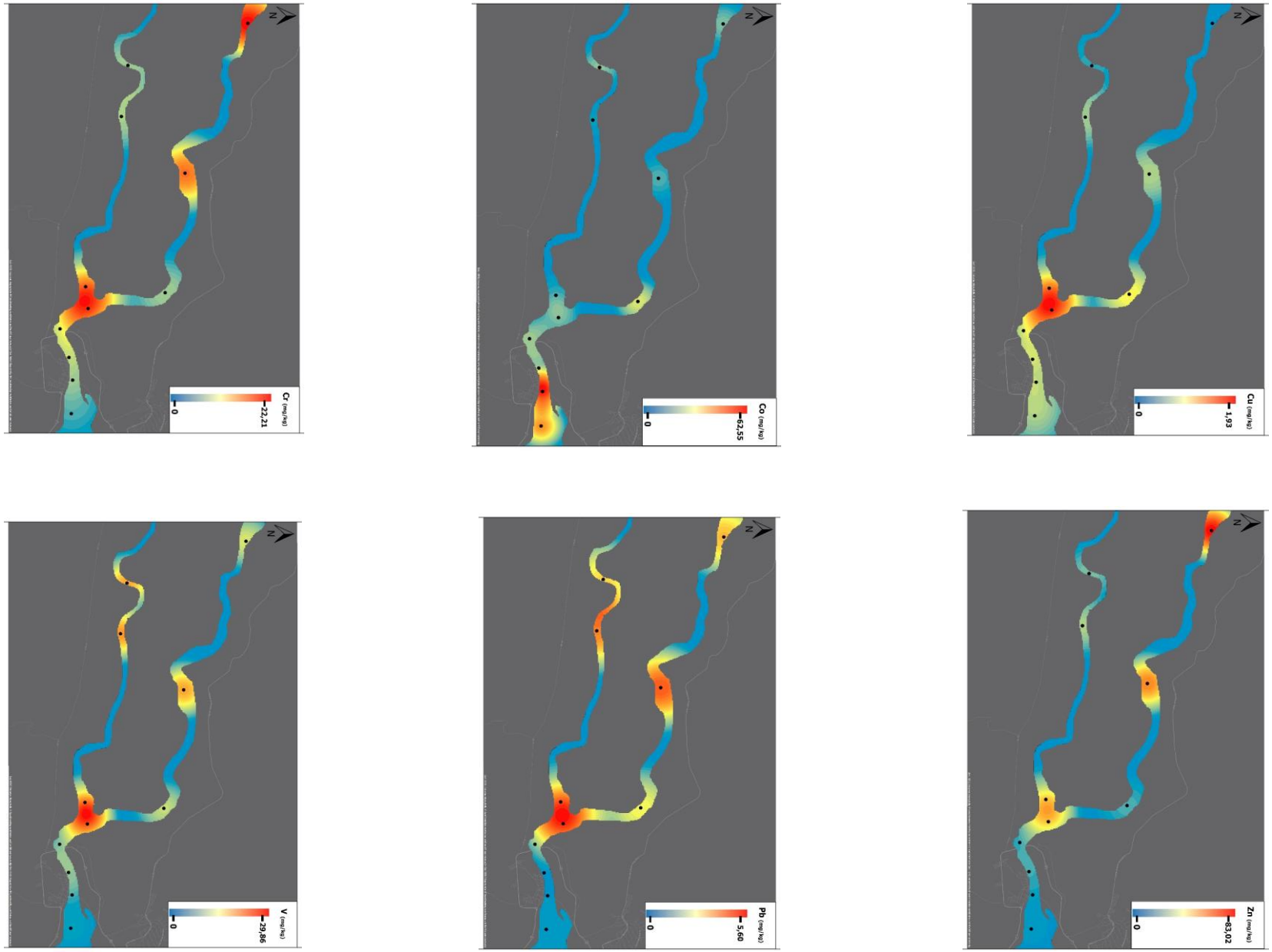


Figura 12- Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos ao longo do estuário do rio Piraquê-Açu, ES



Observando os perfis da figura 11, pode-se verificar que distribuição dos metais, em geral, não segue a mesma tendência da matéria orgânica. Apenas o chumbo (Pb) e o vanádio (V) apresentaram alguma semelhança para o trecho do Piraquê Mirim. Ao se comparar os mesmos perfis com o perfil da fração fina, é possível perceber uma semelhança entre os mesmos, maiores concentrações nas estações do Piraquê-Açu, menores níveis para a foz do Piraquê e um aumento para a região do Piraquê Mirim.

Apenas o chumbo (Pb) e o vanádio (V) tiveram significativas correlações com a C_{org} ($r = 0,66$ e $r = 0,78$; $p < 0.05$; Tabela 6), enquanto os outros elementos traço (Cr, Zn, e Pb) apresentaram alta correlação com os elementos conservativos Fe e Al (Tabela 6). A correlação entre metais, Fe e Al sugere uma possível associação a uma fonte comum, possivelmente de origem natural. O cobre (Cu) não apresentou correlação significativa com os outros metais e matéria orgânica.

Os estuários do Estado do Espírito Santo apresentaram valores de metais abaixo dos teores de TEL (Limiar de efeito) o qual indica o nível a partir do qual a ocorrência de efeitos adversos é esperada raramente (Tabela 11).

Estes resultados indicaram que os teores de metais observados, potencialmente, não causam efeitos adversos à biota. O sistema estuarino da Ilha de Vitória apresentou padrões de concentrações bastante distintos entre as regiões, em virtude dos usos múltiplos, como indústrias de bebidas, papel, metalúrgica, comércio, portos, ausência de esgotamento sanitário, entre outras atividades antrópicas na região. Os resultados encontrados corroboram com os trabalhos de JESUS *et al* (2004).

Já o sistema estuarino do rio Piraquê apresentou concentrações de elementos traço mais baixas na maioria das estações, as quais parecem estar mais associadas a fontes naturais, muito embora foi possível observar, em alguns pontos, a ocorrência de efeitos antrópicos.

Estuários de Pernambuco

Estuário do rio Capibaribe

As concentrações de C_{org} variaram de 0,18% a 5,97% (Tabela 8), enquanto o N variou de 0,02% a 0,63%. A razão C/N variou de 7,4 a 14,9 (Tabela 8). Nitrogênio e C_{org} apresentaram o mesmo padrão de distribuição ao longo do rio Capibaribe, o que indica que estes elementos são provenientes da mesma fonte.

Tabela 8 - Distribuição da matéria orgânica no Estuário do Rio Capibaribe, PE

Estação	% C	% N	C/N
OM00393	1,85	0,15	12,40
OM00394	3,11	0,29	10,67
OM00395	2,32	0,25	9,23
OM00396	2,46	0,22	11,32
OM00397	1,04	0,10	10,59
OM00398	1,27	0,15	8,42
OM00399	2,00	0,13	14,85
OM00400	0,48	0,06	7,42
OM00401	0,18	0,02	7,42
OM00402	5,63	0,46	12,15
OM00403	1,37	0,13	10,22
OM00404	1,18	0,13	9,13
OM00405	5,97	5,97	9,48
OM00406	2,31	0,24	9,55
OM00407	3,07	0,31	9,92
OM00408	1,72	0,17	10,19
OM00409	1,39	0,17	7,96
OM00410	4,15	4,15	10,23

Observou-se também uma correspondência entre os padrões de distribuição entre a matéria orgânica e a fração fina, exceto para as estações mais externas ao estuário, OM393 a OM396, localizadas na região Portuária. A matéria orgânica apresentou correlação significativa com a fração fina dos sedimentos (C_{org}% r = 0,69, N% = r = 0,64; $p<0,05$; Tabela 8).

As concentrações dos metais foram bastante variáveis ao longo do Rio Capibaripe, como pode ser visto na Figura 13. As estações que apresentaram maior teores de metais foram a OM399, OM402, OM405 e OM409 para os diferentes elementos. O Cu teve picos de concentração de 47,5 e 41,1 mg/kg nas estações OM405 e OM402; o Zn também teve picos de 183 e 153 mg/kg para as mesmas estações. Os teores de Cr e o Pb foram mais elevados na estação OM409 com 12,7 e 48,1 mg/kg, respectivamente. Ver Tabela 14 em anexo.

As concentrações de Cu, Zn e Pb em algumas estações foram superiores aos teores de TEL propostos (BUCHMAN, 2008), indicando possibilidade de efeito adverso na biota em algumas regiões. Estas concentrações estão associadas a diversas fontes de contaminação incluindo a descarga de esgotos domésticos não tratados e efluentes industriais diversos (LIMA, 2008).

Figura 13 - Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina nos sedimentos ao longo do estuário do rio Capibaribe, PE

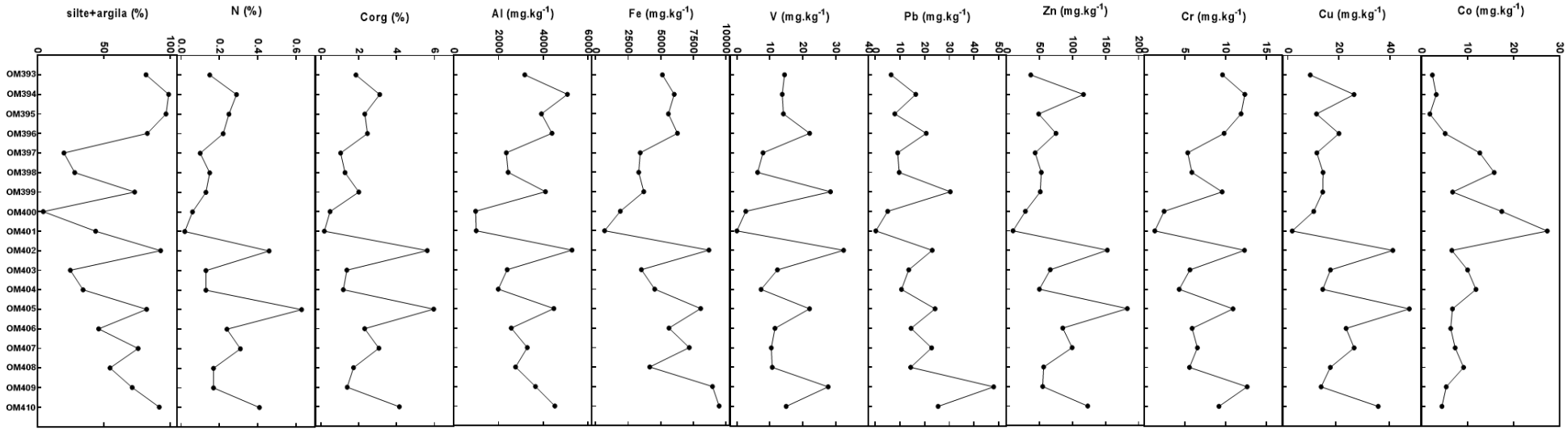
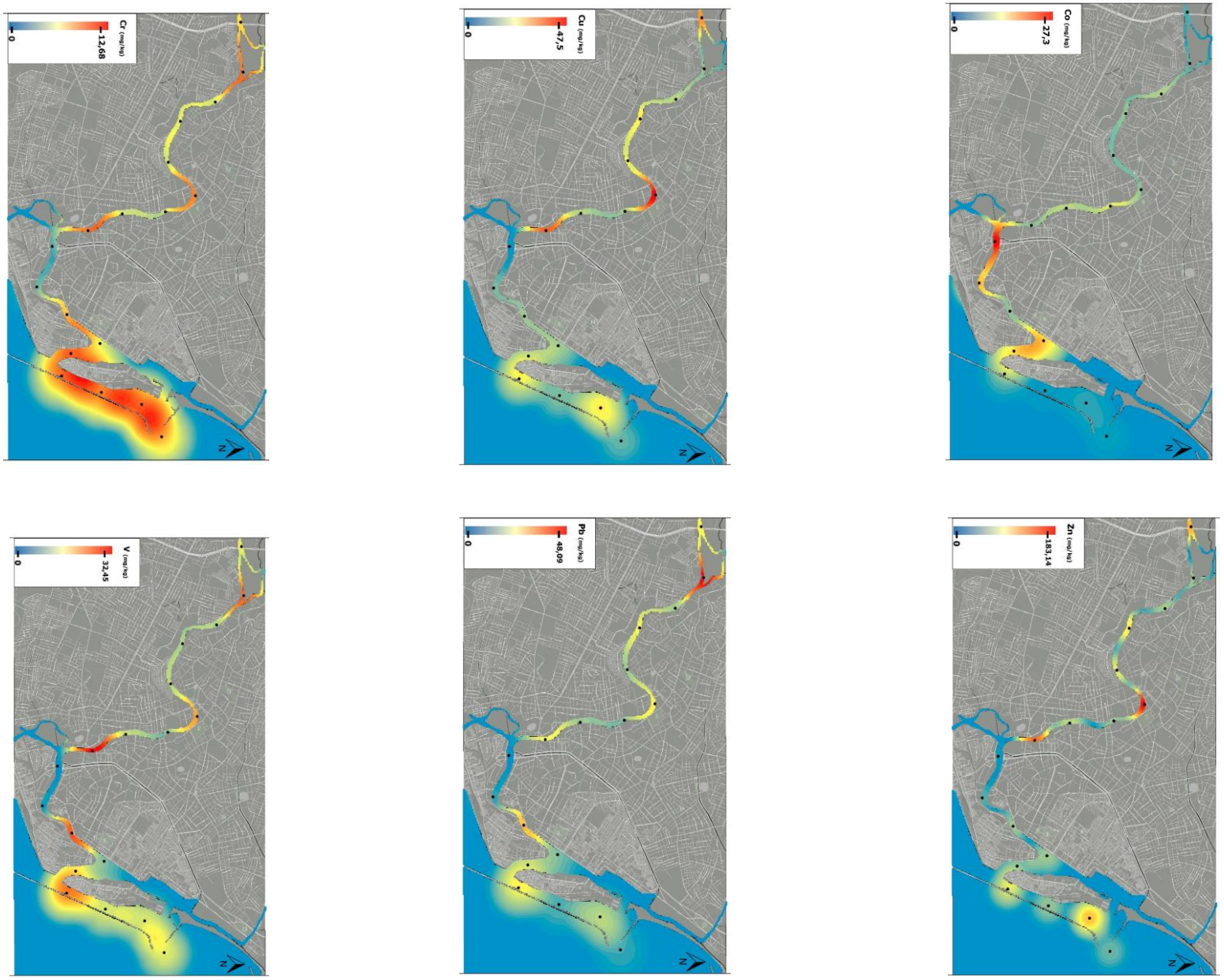


Figura 14 – Mapa Distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos ao longo do estuário do rio Capibaribe, PE



A correlação de Pearson para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do rio Capibaribe são apresentadas na Tabela 9. Os valores em negrito representam correlações significativos.

Tabela 9 - Correlação de Pearson para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do Rio Capibaribe, PE (os valores em negrito representam correlações significativas)

	% cascalho+areia	*% silte+argila*	*N %*	*Corg%*	*Co*	*Cu*	*Cr*	*Zn*	*Pb*	*Fe*	*Al*	*V*
% cascalho+areia	1,00											
% silte+argila	-1,00	1,00										
N %	**-0,64**	**0,64**	1,00									
Corg%	**-0,69**	**0,69**	**0,98**	1,00								
Co	**0,72**	**-0,72**	-0,52	-0,55	1,00							
Cu	**-0,51**	0,51	**0,96**	**0,95**	-0,45	1,00						
Cr	**-0,84**	**0,84**	**0,61**	**0,65**	**-0,83**	0,50	1,00					
Zn	-0,56	0,56	**0,96**	**0,96**	-0,48	**0,99**	0,56	1,00				
Pb	-0,45	0,45	0,41	0,41	-0,50	0,43	**0,63**	0,44	1,00			
Fe	**-0,72**	**0,72**	**0,79**	**0,78**	**-0,73**	**0,75**	**0,77**	**0,75**	**0,73**	1,00		
Al	**-0,88**	**0,88**	**0,74**	**0,81**	**-0,78**	**0,70**	**0,92**	**0,74**	0,59	**0,79**	1,00	
V	**-0,64**	**0,64**	0,54	**0,62**	**-0,64**	0,52	**0,83**	0,53	**0,78**	**0,69**	**0,81**	1,00

É possível perceber que os elementos Cu e Zn apresentaram alta correlação com a matéria orgânica e entre si, como pode ser observado na matriz de correlação (Tabela 9). Cu e Zn são elementos comumente encontrados em esgotos domésticos (FÖRSTNER & WITTIMANN, 1979). O gradiente de concentração de metais foi possivelmente controlado pelas fontes antrópicas, granulometria e pela dinâmica da região.

Canal de Santa Cruz

Os resultados para o Canal de Santa Cruz mostraram que a distribuição espacial do C_{org} e N (Figura 15) apresentou correlação significativa ($r = 0,99$; $p < 0,05$; Tabela 10), seguindo o mesmo padrão ao longo do Canal. Também pode ser observada uma correlação significativa entre o N e C_{org} e a fração fina dos sedimentos ($r = 0,85$, $r = 0,79$, $p < 0,05$, respectivamente; Tabela 10).

A estação OM466 foi a que apresentou o pico de concentração de C_{org} (4,30%). As menores concentrações foram observadas nas estações OM461 e OM472 com 0,06% e 0,09%, respectivamente. O N variou entre 0,02% e 0,28% para as estações citadas acima. As mais altas concentrações de matéria orgânica foram observadas nas estações com uma maior concentração da fração fina de sedimentos.

Figura 15 - Distribuição das concentrações de metais, matéria orgânica e fração fina nos sedimentos ao longo do Canal de Santa Cruz, PE

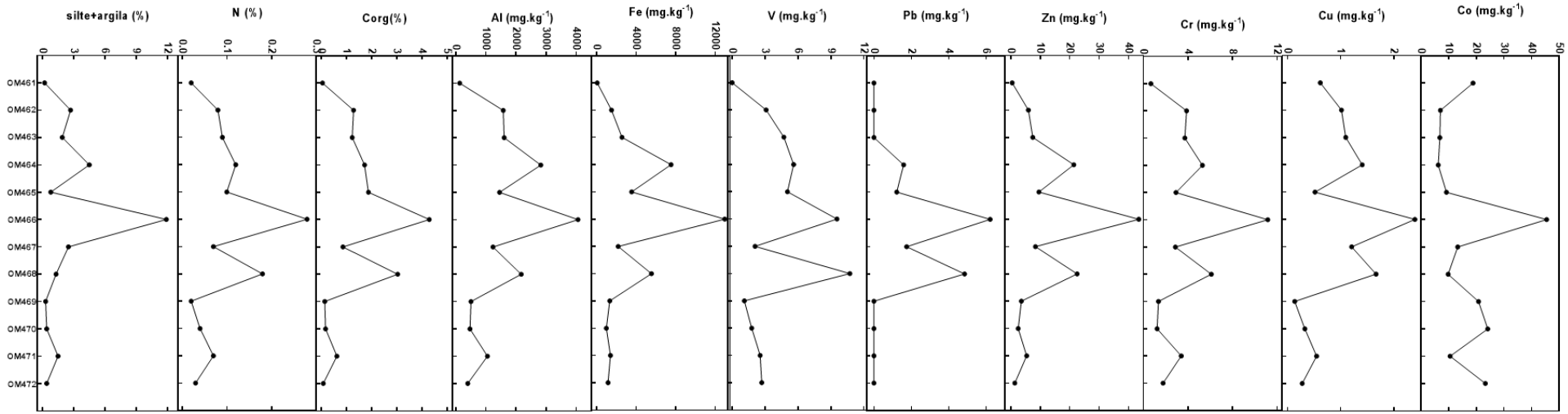


Figura 16 – Mapa de distribuição das concentrações de metais traço nos sedimentos ao longo do Canal de Santa Cruz, PE

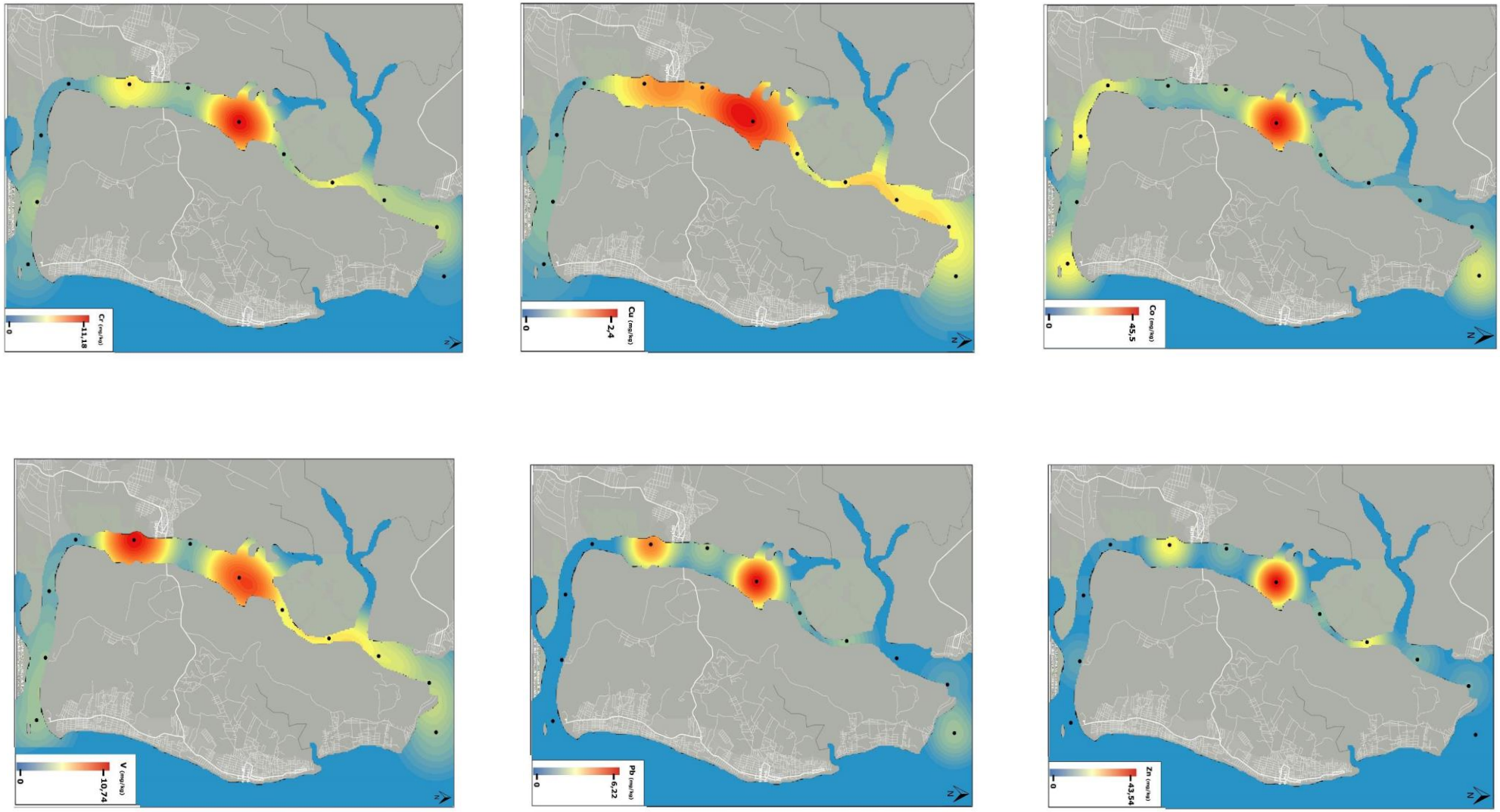


Tabela 10 - Correlação de Pearson para os teores de metais, matéria orgânica e granulometria para os sedimentos do Canal de Santa Cruz (os valores em negrito representam correlações significativas)

	% cascalho+areia	*% silte+argila*	*N %*	*Corg%*	*Co*	*Cu*	*Cr*	*Zn*	*Pb*	*Fe*	*Al*	*V*
% cascalho+areia	1,00											
% silte+argila	-1,00	1,00										
N %	**-0,85**	**0,85**	1,00									
Corg%	**-0,79**	**0,79**	**0,99**	1,00								
Co	-0,58	0,58	0,38	0,30	1,00							
Cu	**-0,84**	**0,84**	**0,92**	**0,89**	0,26	1,00						
Cr	**-0,91**	**0,91**	**0,98**	**0,95**	0,40	**0,92**	1,00					
Zn	**-0,90**	**0,90**	**0,97**	**0,94**	0,46	**0,91**	**0,97**	1,00				
Pb	**-0,74**	**0,74**	**0,93**	**0,92**	0,46	**0,87**	**0,88**	**0,93**	1,00			
Fe	**-0,90**	**0,90**	**0,94**	**0,91**	0,43	**0,87**	**0,95**	**0,98**	**0,87**	1,00		
Al	**-0,89**	**0,89**	**0,94**	**0,93**	0,25	**0,91**	**0,96**	**0,95**	**0,81**	**0,96**	1,00	
V	-0,58	0,58	**0,88**	**0,90**	0,12	**0,76**	**0,84**	**0,83**	**0,83**	**0,80**	**0,83**	1,00

Os metais apresentaram um amplo gradiente de concentração ao longo do Canal de Santa Cruz. A estação OM466 foi a que atingiu valores mais altos de metais, exceto o V, que apresentou os valores mais altos na estação OM468.

Foram observadas concentrações de 2,4 mg/kg, 11,2 mg/kg, 43,5 mg/kg, 6,2 mg/kg e 10,7 mg/kg para o Cu, Cr, Zn, Pb e V, respectivamente. Ver Tabela 15 em anexo. Todos os valores observados se encontraram abaixo dos teores estabelecidos por BUCHMAN (2008).

O gradiente observado para a fração fina dos sedimentos, matéria orgânica e metais foi semelhante (Figura 15). Os elementos maiores e traço, exceto o Co e o V, apresentaram correlações alta com a matéria orgânica, a fração fina e entre si, como mostra a matriz de correlação (Tabela 10).

As estações OM461 e OM472 são as mais externas no estuário, sofrendo maior influência marinha, maior dinâmica, o que dificulta a acumulação de contaminantes nos sedimentos. Os teores de metais encontrados são devidos aos aportes antrópicas através dos esgotos domésticos que são despejados no ambiente sem nenhum tipo de tratamento.

Tanto o Estuário do rio Capibaribe, quanto o Canal de Santa Cruz apresentaram contaminação por Cu, Zn e Pb, podendo concluir que ambos os sistemas estão sob impacto antrópico, principalmente por despejo de esgotos doméstico não tratados. O estuário do Capibaribe foi o único que apresentou níveis de contaminação acima da TEL (Tabela 11), de acordo com BUCHMAN (2008).

Comparando os dados obtidos neste trabalho, com os teores de metais de outros estuários (Tabela 11) observou-se que as concentrações obtidas neste estudo corroboram o trabalho de JESUS (2008) realizado na Baía de Vitória.

Tabela 11 - Mínimo e Máximo de Concentração (mg.kg-1) de metais em estuários da costa leste brasileira

		Cu		Cr		Zn		Pb		Co		Fe		Al		V	
Referência	**Local**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**
Hatje and Barros (2012)	Estuário Paraguaçu	4.25	15.2	8.27	13,0	20,1	58,4	10,7	34,5								
Hatje and Barros (2012)	Estuário Subaé	10,4	33,7	5,6	9,5	37,2	66,7	10,9	325,0								
Hatje and Barros (2012)	Estuário Jaguaripe	2,5	20,4	6,3	17,7	26,7	71,1	11,0	27,8								
Padial (2008)	Reserv Guarapiranga	64,0	2979,0	202,0	1165,0	56,0	250,0	43,0	191,0								
Quinaglia (2006)	Baixada Santista	5,8	15,0	14,0	32,0	33,0	81,0					1500,0	4,7	15000	40000		
Alves (2007)	Rio Sergipe	11,0	40,0			28,0	78,0	15,0	30,0								
Jesus (2008)	Baía de Vitória	5,4	18,0			51,0	127,0	7,9	21,0								
Este estudo	Baía de Vitória	0,23	17,8	1,4	13,5	2,5	77,0	<LQ	12,4	5,0	77,1	956,8	15717,0	671,2	10571,0	1,5	29,3
Este estudo	Rio Piraquê	<LQ	1,9	2,4	22,2	2,5	83,0	<LQ	5,6	4,7	62,5	1735,8	17287,4	904,2	13251,6	2,4	29,9
Este estudo	Estuário Capibaribe	1,8	47,5	1,3	12,7	10,4	183,1	0,3	48,1	1,9	27,4	694,2	9501,4	985,0	5286,9	<LQ	32,5
Este estudo	Canal de Santa Cruz	0,1	2,4	0,7	11,2	0,5	43,5	<LQ	6,2	6,3	45,5	81,6	12994,5	132,4	4067,2	<LQ	10,7
	TEL	18,7		52,3		124		30,2									
	PEL	108,2		160,4		271		112,2									
	EAT	390		62		410		400,0									

O estuário do Capibaribe, que apresentou teores de certos metais elevados, comparado ao estuário do Rio Subaé (HATJE & BARROS, 2012) e o Rio Sergipe (ALVES, 2007), apresenta baixa poluição.

O Rio Piraquê e o Canal de Santa Cruz apresentaram concentração de metais mais baixas que o Estuário do rio Jaguaripe (HATJE & BARROS, 2012), local notadamente preservado. Os padrões de distribuição observados estão associados as atividades realizadas na região e controlados pelos aspectos físicos como regime de marés e circulação para as áreas mais externas.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicaram variações importantes na concentração de metais e matéria orgânica nos estuários do Espírito Santo e Pernambuco.

Os valores mais altos foram observados nos estuários mais próximos a áreas urbanas, susceptíveis as atividades humanas. O estuário do Rio Capibaribe foi o que se destacou considerando-se os valores de critérios de qualidade de sedimentos.

Os metais Cu e Zn foram os que apresentaram maiores teores, merecendo, portanto, uma maior atenção dos tomadores de decisão. O esgotamento doméstico é uma das principais fontes de matéria orgânica e metais para os sistemas estudados.

Sugere-se um estudo mais detalho do Rio Capibaribe, visando avaliar a bioacumulação de metais pela biota. As outras regiões avaliadas estão todas com *status* de não poluídas, de acordo com os critérios de qualidade de sedimento, e em comparação com outras regiões, como é o caso do Rio Piraquê e o estuário do Rio Jaguaripe, considerados como bem preservados.

A extração parcial utilizada neste trabalho, é bastante empregada na avaliação da fração biodisponível de metais, porém em função da não especificidade das soluções extratoras, um estudo utilizando variáveis biológicas é recomendado para uma avaliação mais detalhada dos possíveis impactos da potencial contaminação na fauna.

6. REFERÊNCIAS

BATISTA NETO, J.A; PONZI, V. R. A,; SICHEL, S. E. **Introdução à Geologia Marinha.** Interciência: Rio de Janeiro, 2004.

BAYEN, S. 2012. Occurrence, bioavailability and toxic effects of trace metals and organic contaminants in mangrove ecosystems: A review. **Environment International**, v. 48, p. 84-101. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/01604120/48>.

BRADY, N. Natureza e propriedade dos solos. 7ª edição. Freitas Bastos Editora S.A: Rio de janeiro 1989, 878p.

BUCHMAN, M. NOAA. National Oceanic and Atmospheric Adminstration. Screening quick reference tables. NOAA OR&R Report 08-1. Office of Response and Restoriation Division, Seatlle WA. 34 pag. 2008

CHAPMAN, P. M.; WANG, F. 2001. Assessing sediment contamination in estuaries. **Environmental Toxicology and Chemistry,** v. 20, n. 1, p. 3-22. ISSN 1552-8618. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620200102 >.

DIOP, C. *et al*. 2015. Assessment of trace metals contamination level, bioavailability and toxicity in sediments from Dakar coast and Saint Louis estuary in Senegal, West Africa. **Chemosphere,** v. 138, p. 980-987, 11// 2015. ISSN 0045-6535. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514014696 >.

EDGAR, G. J. et al. 2000. The conservation significance of estuaries: a classification of Tasmanian estuaries using ecological, physical and demographic attributes as a case study. **Biological Conservation,** v. 92, n. 3, p. 383-397, 3// 2000. ISSN 0006-3207. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320799001111 >.

FORSTNER, U. e WITTMANN, G**.; Metal Pollution in the Aquatic Environment**. Springer-Verlag, Alemanha, pp. 485. 1981

GAO, X.; LI, P. 2012. Concentration and fractionation of trace metals in surface sediments of intertidal Bohai Bay, China. **Marine Pollution Bulletin,** v. 64, n. 8, p. 1529-1536. ISSN 0025-326X. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1200241X >.

GUVEN, D. E.; AKINCI, G. 2013. Effect of sediment size on bioleaching of heavy metals from contaminated sediments of Izmir Inner Bay. **Journal of Environmental Sciences (China),** v. 25, n. 9,

p. 1784-1794. Disponível em: < https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883788393&partnerID=40&md5=410ae3d6f71a641de2921548cc8cf074 >.

HATJE, V.; ANDRADE, J. B. de (Organizadores) Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. EDUFBA. 306 p. Salvador – Bahia. 2009.

HATJE, V. & BARROS, F. 2012. Overview of the 20th century impact of trace metal contamination in the estuaries of Todos os Santos Bay: Past, present and future scenarios. **Marine Pollution Bulletin,** v. 64, n. 11, p. 2603-2614. ISSN 0025-326X. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X12003165 >.

HATJE, V. et al. 2008. Trace metals and benthic macrofauna distributions in Camamu Bay, Brazil: Sediment quality prior oil and gas exploration. **Marine Pollution Bulletin,** v. 56, n. 2, p. 363-370. ISSN 0025-326X. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X07004122 >.

HATJE, V. et al. 2006. Trace metal contamination and benthic assemblages in Subaé estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin,** v. 52, n. 8, p. 982-987. ISSN 0025-326X. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X06001810 >.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. Chemistry And Human Health Division Clinical Chemistry. **Heavy metals— a meaningless term?** Pure and Applied Chemistry. v. 74, n. 5, p. 793–807, 2002. **IUPAC Technical Report**.

KENNISH, M. J. 2002. Environmental threats and environmental future of estuaries. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 01, p. 78-107.

JESUS, H. C. *et al*. 2004. Distribution and abundance of heavy metals in sediments from Vitória Island estuarine system. **Quimica Nova,** v. 27, n. 3, p. 378-386.

JESUS, H.C.; DIAS CARNEIRO, M.T.W.; NETO, R.R.; CASSINI, S.T.; SANTANA, E.J.; CEOTTO, C.S. e SILVA, L.B. Estudo comparativo da qualidade de águas, biomonitores e sedimentos de três ecossistemas aquáticos do estado do ES (Baía de Vitória, rio Piraquê-Açu/Aracruz e rio Perocão/Guarapari). Vitória. Relatório Técnico-Projeto FAPES/ SECT-ES, Processo no 35.481.099/2006, 37 p. 2008

LAMB, A. L.; WILSON, G. P.; LENG, M. J. 2006. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using delta C-13 and C/N ratios in organic material. **Earth-Science Reviews,** v. 75, n. 1-4, p. 29-57.

LIMA, E. A. M. Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Prognóstico Geoquímico Ambiental da Zona Estuarina do Rio Botafogo. Tese de Doutorado, UFPE, Recife, Pernambuco, 2008.

LUOMA, S. N**.** Bioavailability of trace metals to aquatic organisms — A review. 1983. **Science of The Total Environment**, v. 28, n. 1, p. 1-22, 1983/01/01 1983.ISSN 0048-9697. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969783800047 >.

LUOMA, S., RAINBOW, P.; Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral Management. LOCAL. 573 pp. 2008.

JIANG, X. et al. 2014. Distribution and pollution assessment of heavy metals in surface sediments in the Yellow Sea. **Marine Pollution Bulletin,** v. 83, n. 1, p. 366-375. ISSN 0025-326X. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14001507 >.

LANDIM DOMINGUEZ, J.; DA SILVA PINTO BITTENCOURT, A. C.; MARTIN, L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. **Sedimentary Geology,** v. 80, n. 3, p. 213-232. ISSN 0037-0738. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003707389290042P >.

LIMA, E. A. M. 2008. Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Prognóstico Geoquímico Ambiental da Zona Estuarina do Rio Botafogo, Pernambuco, Tese de Doutorado, Recife, PE, 2008.

LUOMA, S. N. 1983. Bioavailability of Trace Metals to Aquatic Organisms — A review. **Science of The Total Environment,** v. 28, n. 1, p. 1-22. ISSN 0048-9697. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969783800047 >.

MILAZZO, A; Biodisponibilidade e Bioconcentração de Metais em Ecossistema Manguezal do Estuário do Rio São Paulo, Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 187p. 2011.

MIRANDA, L., CASTRO, B., KJERFVE. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo. Ed. USP. 411p. 2002.

NÓBREGA, A. S. de C. Fontes de Contaminação no Estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco. Monografia Bacharelado em Ciências Biológicas, UFPE, Recife, Pernambuco, 2011.

PERILLO, G. M. E. (1995). Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries, Development in Sedimentology 53.

RIBEIRO, L. F. *et al*. 2016. Impacts of shrimp farming cultivation cycles on macrobenthic assemblages and chemistry of sediments. **Environmental Pollution,** v. 211, p. 307-315. ISSN 0269-7491. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749115302451 >.

SOUZA, M. J. B. Avaliação de metais-traço no sedimento do sistema estuarino dos rios Piraquê-açu e Piraquê-mirim (Aracruz - ES) 2009.

TRAVASSOS, P.E.P.F. Hidrologia e Biomassa primária do fitoplâncton no estuário do Rio Capibaribe, Recife, Pernambuco. 1991. 288f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1991.

YU, X.; YAN, Y.; WANG, W.-X. 2010. The distribution and speciation of trace metals in surface sediments from the Pearl River Estuary and the Daya Bay, Southern China. **Marine Pollution Bulletin,** v. 60, n. 8, p. 1364-1371. ISSN 0025-326X. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X10002134 >.

ZHANG, C. *et al*. 2014. Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. **Environment International,** v. 73, p. 270-281. ISSN 0160-4120. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201400258X >.

7. ANEXOS

Tabela 12. Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória, ES.

Estação	Co		Cu		Cr		Zn		Pb		Fe		Al		V	
	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio
CP 02	40,87	0,70	5,67	0,11	2,52	0,02	18,98	0,50	1,13	0,10	1430,37	12,81	1241,72	29,84	3,17	0,03
CP 04	77,15	4,26	0,73	0,07	1,66	0,03	6,41	0,15	0,03	0,16	956,75	4,25	839,20	5,11	2,06	0,12
CP 06	51,58	1,27	0,69	0,01	3,60	0,07	9,67	0,13	0,19	0,09	5430,02	33,82	1815,75	36,45	4,43	0,07
CP 07	63,12	1,30	0,48	0,02	1,60	0,01	4,50	0,12	< LQ	-	1049,06	14,05	882,00	13,87	1,58	0,11
BV 02	50,54	1,97	1,14	0,06	3,62	0,02	9,99	0,07	0,82	0,07	4681,54	53,71	2291,35	18,85	5,47	0,07
BV 04	71,22	1,40	0,54	0,06	5,51	0,04	20,10	0,08	0,89	0,01	11359,31	352,24	3722,22	53,51	5,74	0,19
BV 07	30,34	1,71	2,32	0,18	7,66	0,03	29,94	0,10	2,32	0,18	11813,66	28,82	6408,57	37,44	11,36	0,12
BV 09	62,98	2,45	5,84	0,25	13,37	0,29	64,60	1,98	5,40	0,20	15717,01	563,91	8879,15	261,25	21,26	0,87
BV 12	20,45	0,31	7,42	0,11	13,49	0,12	63,53	0,26	7,30	0,15	14720,17	75,68	10571,03	49,95	24,54	0,07
BV 15	6,73	0,38	17,76	0,04	13,12	0,11	76,98	0,24	12,41	0,42	10807,94	110,07	8268,50	28,96	29,26	0,20
BV 17	41,15	3,59	5,25	0,59	2,02	0,11	7,97	0,60	0,07	0,02	1942,15	141,57	1121,06	68,04	1,46	0,13
BV 19	7,52	0,21	15,56	0,04	12,55	0,09	71,76	1,09	10,47	0,65	10461,85	338,39	8083,14	45,63	28,01	0,20
BV 21	5,52	0,22	9,57	0,17	12,19	0,18	50,04	0,60	9,02	0,24	9731,75	75,16	7829,34	81,28	27,75	0,17
BV 24	5,01	0,13	9,11	0,29	11,05	0,29	46,21	1,33	9,34	0,75	8540,97	259,73	6025,20	158,77	28,90	0,83
BV 27	22,01	0,64	0,24	0,01	2,88	0,05	10,87	0,26	1,61	0,11	4846,68	78,85	1427,52	10,78	6,49	0,07
BV 30	10,14	0,27	0,24	0,02	6,31	0,08	24,07	0,11	0,95	0,05	7318,06	52,26	3068,94	54,89	9,72	0,08
BV 32	7,15	0,10	2,02	0,03	5,73	0,00	25,58	0,12	3,23	0,18	5853,25	70,90	3731,76	43,00	13,46	0,05
BV 34	12,21	0,07	0,23	0,02	6,94	0,22	23,05	0,35	0,60	0,06	7459,84	203,51	3724,52	19,19	11,50	0,15
BV 36	53,17	2,82	0,26	0,03	1,36	0,02	2,49	0,07	0,77	0,05	5179,32	110,50	671,21	10,56	3,97	0,07

Tabela 13. Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do estuário do Rio Piraquê-Açu, ES.

Estação	Co		Cu		Cr		Zn		Pb		Fe		Al		V	
	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio
RPA 01	14,82	0,61	<LQ	-	22,21	0,93	83,02	3,67	4,15	0,40	17287,43	296,55	13251,64	487,50	17,36	0,59
RPA 03	10,17	0,19	0,96	0,06	18,04	0,24	63,93	1,05	5,60	0,37	16696,50	167,16	9932,69	65,43	28,26	0,24
RPA 05	28,32	0,69	1,51	0,08	6,56	0,14	12,57	0,15	3,21	0,19	8023,75	46,82	3464,56	25,97	15,54	0,34
RPA 07	14,21	0,19	1,93	0,15	12,21	0,10	33,74	0,36	4,27	0,21	13964,97	93,18	6874,34	8,71	25,88	0,26
RPA 08	19,25	1,07	0,62	0,00	4,39	0,04	7,56	0,03	< LQ	-	5544,72	25,28	2094,24	16,91	7,62	0,12
RPA 09	15,72	1,20	0,72	0,04	4,90	0,04	9,52	0,06	0,09	0,00	6112,74	57,75	2567,38	34,74	9,14	0,12
RPA 10	62,55	6,94	0,48	0,01	2,39	0,02	2,51	0,02	<LQ	-	1735,78	3,04	904,19	5,53	2,39	0,06
RPA 11	48,10	0,92	0,85	0,01	2,71	0,02	3,73	0,03	0,35	0,05	1870,62	8,57	955,01	9,91	3,46	0,08
RPAM 01	7,93	0,44	1,24	0,06	11,04	0,16	36,33	0,06	2,69	0,05	14102,07	125,96	6406,73	25,18	22,92	0,28
RPAM 05	4,75	0,12	0,88	0,01	6,83	0,14	26,69	0,27	5,00	0,17	7946,32	125,04	6844,00	134,00	29,86	0,31
RPAM 06	16,44	0,44	0,34	0,02	6,55	0,30	18,83	1,19	3,72	0,29	7383,32	355,70	4778,66	273,18	28,02	1,61

Tabela 14. Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do estuário do Rio Capibaribe, PE.

Estação	Co		Cu		Cr		Zn		Pb		Fe		Al		V	
	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio
OM00393	2,44	0,03	8,84	0,10	9,65	0,06	37,15	0,35	6,52	0,03	5140,95	70,50	3179,35	32,76	14,52	0,17
OM00394	3,29	0,01	25,91	0,14	12,40	0,04	116,88	0,45	16,48	0,07	6050,11	118,04	5083,47	21,19	13,80	0,09
OM00395	1,90	0,04	11,23	0,11	11,93	0,07	49,20	0,39	8,00	0,04	5594,70	33,67	3921,35	21,98	14,16	0,15
OM00396	5,22	0,04	20,04	0,30	9,85	0,07	75,27	0,21	20,74	0,19	6298,16	30,42	4393,22	37,88	22,12	0,14
OM00397	12,73	0,17	11,39	0,05	5,38	0,02	43,83	0,64	9,16	0,09	3435,11	41,26	2356,98	19,68	7,94	0,15
OM00398	15,87	0,02	13,83	0,22	5,89	0,25	53,11	0,17	9,75	0,38	3318,82	81,04	2437,45	11,11	6,32	0,18
OM00399	6,85	0,34	13,66	0,35	9,61	0,32	51,57	0,12	30,50	0,15	3703,40	122,12	4100,09	120,02	28,46	0,19
OM00400	17,52	1,58	10,19	0,57	2,47	0,00	29,07	1,20	5,09	0,20	1904,65	24,71	984,95	17,73	2,72	0,08
OM00401	27,38	1,48	1,77	0,03	1,33	0,03	10,39	0,13	0,31	0,09	694,19	24,15	1011,77	21,45	<LQ	-
OM00402	6,65	0,23	41,07	0,72	12,36	0,53	152,97	1,45	23,17	0,38	8718,16	98,58	5286,91	131,72	32,45	0,50
OM00403	10,08	0,17	16,71	0,41	5,65	0,31	66,59	0,80	13,64	0,26	3516,67	194,32	2396,45	132,97	12,34	0,26
OM00404	11,92	0,19	13,67	0,71	4,33	0,24	50,24	0,09	10,71	0,17	4541,78	33,07	1996,73	30,70	7,35	0,15
OM00405	6,78	0,36	47,50	1,63	10,95	0,40	183,14	2,84	24,34	0,31	8077,02	147,15	4474,49	122,30	22,10	0,60
OM00406	6,41	0,44	22,82	0,23	5,91	0,14	85,51	0,30	14,55	0,24	5641,82	29,41	2574,27	11,46	11,60	0,02
OM00407	7,39	0,04	25,95	0,24	6,57	0,15	99,71	0,25	22,93	0,55	7206,80	26,20	3293,94	41,10	10,47	0,14
OM00408	9,22	0,24	16,66	0,19	5,59	0,23	56,55	0,11	14,43	0,20	4163,60	41,94	2768,78	47,15	10,76	0,05
OM00409	5,44	0,03	13,07	0,10	12,68	0,02	55,27	0,86	48,09	1,66	8991,04	32,88	3655,71	25,27	27,77	0,50
OM00410	4,52	0,06	35,36	0,13	9,21	0,09	123,26	0,76	25,53	0,15	9501,35	53,91	4523,43	85,72	14,98	0,09

Tabela 15. Concentração de metais traço e maiores nos sedimentos do estuário do Canal de Santa Cruz, PE.

Estação	Co		Cu		Cr		Zn		Pb		Fe		Al		V	
	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio
OM00461	18,90	0,76	0,62	0,01	0,69	0,01	0,49	0,03	<LQ	-	81,56	3,15	132,35	0,81	<LQ	-
OM00462	7,12	0,15	1,02	0,06	3,89	0,14	6,00	0,07	<LQ	-	1529,01	33,27	1579,76	20,18	3,10	0,05
OM00463	6,91	0,02	1,10	0,03	3,74	0,05	7,50	0,02	<LQ	-	2580,36	13,35	1612,93	9,82	4,72	0,06
OM00464	6,30	0,18	1,41	0,01	5,32	0,05	21,45	0,15	1,59	0,04	7558,15	41,19	2829,20	24,92	5,61	0,09
OM00465	9,26	0,34	0,52	0,00	2,94	0,02	9,59	0,09	1,22	0,06	3563,57	9,11	1456,38	10,12	5,04	0,14
OM00466	45,50	0,77	2,40	0,06	11,18	0,06	43,54	1,74	6,22	0,10	12994,55	181,91	4067,18	38,28	9,56	0,28
OM00467	13,34	0,22	1,21	0,05	2,89	0,07	8,39	0,28	1,75	0,04	2199,61	30,68	1240,81	27,62	2,09	0,06
OM00468	9,89	0,31	1,67	0,07	6,11	0,09	22,56	0,48	4,85	0,13	5566,70	71,92	2178,14	30,03	10,74	0,19
OM00469	20,91	1,29	0,14	0,01	1,37	0,00	3,63	0,00	<LQ	-	1352,28	9,21	506,72	10,14	1,12	0,03
OM00470	24,23	1,08	0,33	0,02	1,24	0,04	2,53	0,05	<LQ	-	<LQ	-	471,26	4,33	1,79	0,06
OM00471	10,59	0,30	0,55	0,02	3,42	0,04	5,42	0,04	<LQ	-	1418,64	12,51	1054,16	12,42	2,56	0,05
OM00472	23,35	1,81	0,28	0,01	1,78	0,02	1,37	0,04	<LQ	-	1168,40	48,48	401,12	7,27	2,70	0,14