

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS**

**ESTUDO GEOQUÍMICO DE SEDIMENTOS FLUVIAIS E
ESTUARINOS DO RIO SUBAÉ-BA**

GERLANGE SOARES DA SILVA

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
AGOSTO - 2014**

ESTUDO GEOQUÍMICO DE SEDIMENTOS FLUVIAIS E ESTUARINOS DO RIO SUBAÉ-BA

GERLANGE SOARES DA SILVA

Tecnóloga em Irrigação e Drenagem

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará - 2011

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas.

ORIENTADOR: PROF. Dr. THOMAS VINCENT GLOAGUEN

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

S586e

Silva, Gerlange Soares da.

Estudo geoquímico de sedimentos fluviais e estuarinos do Rio Subaé-BA / Gerlange Soares da Silva. _ Cruz das Almas, BA, 2014.

84f.; il.

Orientador: Thomas Vincent Gloaguen.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Bacia hidrográfica – Rio Subaé. 2.Contaminação – Metais pesados. 3.Sedimentos – Geoquímica ambiental – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

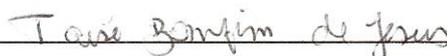
CDD: 551

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS**

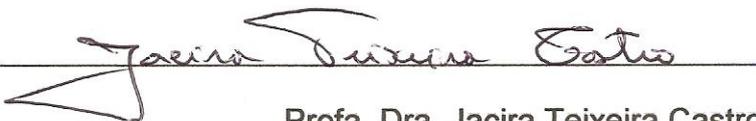
**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
GERLANGE SOARES DA SILVA**



Prof. Dr. Thomas Vincent Gloaguen
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB
(Orientador)



Profa. Dra. Taise Bomfim de Jesus
Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS



Profa. Dra. Jacira Teixeira Castro
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e Qualidade de ecossistemas em.....
Conferindo o Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em.....

Aos meus pais Francisco e Liduina pelo apoio, confiança e amor que sempre me dedicaram. Aos meus irmãos e minha família pelo companheirismo e amizade compartilhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que esta presente em todos os momentos da minha vida, guiando minha mente, iluminando meus caminhos, me dando forças e sabedoria para concretizar meus sonhos.

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos e namorado (Alex Santana) pelo amor e confiança a mim dedicada.

Ao Professor Thomas Vincent Gloaguen pela amizade, confiança, e orientação durante o curso e no desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Jacira Teixeira Castro pela amizade, confiança e orientação no inicio do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Doutores Carlos Ledo, Sivanildo da Silva Borges, Francisco de Souza Fadigas, Fábio Dias, Oldair Del'Arco Vinhas Costa, Jorge Antônio Gonzaga Santos, Anacleto Ranulfo, Luciano Souza e José Fernandes pelas contribuições acadêmicas.

Aos alunos Francisco Modesto, Geise Bruna Camilo, Alexandro Resende e Talita Lorena pelo companheirismo, amizade e em especial pela dedicação a essa pesquisa.

Aos nobres colegas de curso e amigos, Marcos Vinícius, Dryelle Lobo, Sergio David Parra, Emylly Figueiredo, Maria Carolina, Joseane Passos, Maria Hígina, Maria Elisa, Janielle, Francisco Eder, Jamille, Paula Mota, Aglair Cardoso, pelo apoio, carinho e amizade.

Aos amigos Murilo Anderson, Carlos Andrade, Carlos Henrique, José Augusto, Fábio Nascimento, Maria da Conceição e Marcela Bomfim, pela amizade e apoio em todos os momentos dessa etapa da minha vida.

Aos técnicos Moacir e Laura, pela amizade, companheirismo e apoio no laboratório.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pela oportunidade de realizar este curso.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudo.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
5. MATERIAL E MÉTODOS	10
5.1. Caracterização da área	10
5.2. Coletas	14
1.2. Análise dos dados	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6.1. Características físicas e químicas dos sedimentos do rio Subaé-BA.....	24
7. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	60

ESTUDO GEOQUÍMICO DE SEDIMENTOS FLUVIAIS E ESTUARINOS DO RIO SUBAÉ-BA

Autora: Gerlange Soares da Silva

Orientador: Thomas Vincent Gloaguen

RESUMO: O trabalho teve como objetivo geral determinar as concentrações de metais Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Al, Fe, Ca e Mg em sedimentos fluviais e estuarinos do rio Subaé. Os pontos de coleta foram distribuídos no rio Subaé-BA entre Feira de Santana e Santo Amaro e em seu estuário, na região de São Francisco do Conde. No leito do rio, foram coletados sedimentos até a profundidade de 40 cm, em 5 locais distribuídos ao longo da bacia hidrográfica, com adensamento no município de Santo Amaro; no estuário, foram coletados sedimentos superficiais (0-20cm) em quatro locais, sendo realizadas coletas na margem e no fundo do estuário. Foram analisados granulometria, pH, MO e metais pseudo-totais, utilizando metodologias descritas pela Embrapa e da Organização Internacional de Normalização. Foram utilizados os valores guia de qualidade para sedimento da National Oceanic and Atmospheric Administration para inferir os níveis de contaminação dos elementos, e calculou-se o fator de enriquecimento para determinar a origem dos metais na área. Os resultados mostra que no rio os sedimentos em três locais próximo à usina metalúrgica no município de Santo Amaro foram os mais contaminados por metais traço Cd e Pb apresentando concentrações acima do limite mínimo de alerta. Já nos sedimentos de seu estuário, os metais que apresentaram concentrações acima dos limites mínimos de alerta foram o Cd em três locais e o Cu em um local, no município de São Francisco do Conde. As principais fontes desses metais no rio são antrópicas, de natureza, comprovadas, onde através do fator de enriquecimento, foi possível determinar que os metais nos rio Subae são de origem predominantemente industrial, proveniente das antigas atividades da usina metalúrgica Plumbum. No estuário foi verificada a presença de uma segunda fonte de poluentes, onde existe enriquecimento de cobre conjuntamente ao enriquecimento de Cd e Pb.

Palavras chave: Metais. Contaminação. Qualidade dos sedimentos.

GEOCHEMICAL STUDY OF RIVER AND SEDIMENTS ESTUARINE RIVER SUBAÉ-BA

Author: Gerlange Soares da Silva

Advisor: Thomas Vincent Gloaguen

ABSTRACT: The work aimed to determine the concentrations of metals Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Al, Fe, Ca and Mg in river sediments and estuarine river Subaé. The collection points were distributed in Subaé-BA river between Feira de Santana and Santo Amaro and its estuary, in the São Francisco do Conde region. In the riverbed were collected sediment to a depth of 40 cm, in 5 locations spread throughout the watershed, with thickening in Santo Amaro; in the estuary were collected surface sediments in four places, and collections made in the margin and in the estuary of the fund. Particle size were analyzed, pH, MO and pseudo-total metals using methodologies described by Embrapa and the International Organization for Standardization. The quality guidelines values for sediment from the National Oceanic and Atmospheric Administration were used to infer the level of contamination of the elements, and calculated the enrichment factor to determine the origin of the metals in the area. The results shows that the river sediments in three locations near the metallurgical plant in Santo Amaro municipality were the most contaminated by metais trace Cd and Pb concentrations shown above the minimum warning threshold. Already in sediments from its estuary, the metals that had concentrations above the thresholds of alert were the Cd in three places and Cu in a location in the city of São Francisco do Conde. The main sources of these metals in the river are anthropogenic in nature, proven, where through the enrichment factor, it was determined that the metals in Subaé river are predominantly industrial origin, from the former activities of the metallurgical plant Plumbum. Estuary verified the presence of a second source of pollutants, in which there is enrichment along copper enrichment Cd and Pb.

Keywords: Metals. Contamination. Sediment quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Região onde foi realizado o estudo ao longo do curso e zona estuarina do rio Subaé-BA e localização dos pontos amostrados.	10
Figura 2 - Localização dos pontos de coletas no rio Subaé-BA.	15
Figura 3 - Coleta de sedimentos do rio Subaé-BA.	16
Figura 4 - Secagem e armazenamento das amostras de sedimentos.	18
Figura 5 - Valores de pH das amostras de sedimentos do rio Subaé-BA, coletadas na área fluvial em uma profundidade de 0-20 cm.	24
Figura 6 – Valores de pH das amostras de sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.	25
Figura 7 - Concentração da MO nos sedimentos do rio Subaé-BA, coletados na profundidade de 0-20 cm.	25
Figura 8 - Concentração da MO nos perfis de sedimentos do rio Subaé-BA.	27
Figura 9 - Concentração da MO nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.	28
Figura 10 - Composição granulométrica das amostras de sedimentos do rio Subaé-BA, coletadas na profundidade de 0-20 cm.	29
Figura 11 - Composição granulométrica dos perfis subsuperficiais de sedimentos do rio Subaé-BA.	30
Figura 12 - Composição granulométrica dos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.	31
Figura 13 - Teores pseudo-totais dos metais Fe, Mn, Al, Ca e Mg nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.	33
Figura 14 - Concentrações pseudo-totais dos metais Fe, Mn, Al, Ca e Mg em sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.	34
Figura 15 - Concentrações pseudo-totais de Cd, Pb e Cu nas amostras de sedimento superficial de 0-20 cm do rio Subaé-BA.	36
Figura 16 - Concentrações pseudo-totais de Cd nos perfis de sedimento do rio Subaé-BA.	37
Figura 17 - Concentração pseudo-totais de Pb nos perfis de sedimento do rio Subaé-BA.	38
Figura 18 - Concentrações pseudo-totais de Cd, Pb e Cu nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.	39
Figura 19 - Comparação da concentração dos metais traço Cd, Pb e Cu nos sedimentos da área fluvial rio Subaé-BA, e os valores guia do NOAA.	42
Figura 20 - Comparação da concentração de Cd nos perfis de sedimentos do rio Subaé-BA, com os valores guia do NOAA.	43
Figura 21 - Comparação da concentração de Pb nos perfis de sedimentos do rio Subaé-BA, com os valores guia do NOAA.	44

Figura 22 - Comparação da concentração dos metais traço Cd, Pb e Cu nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA, com os valores guia do NOAA.	45
Figura 23 - Fatores de enriquecimento dos metais nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.	50
Figura 24 - Fatores de enriquecimento dos metais nos sedimentos estuarinos do rio Subaé-BA.	51
Figura 25 - Imagem do rio Subaé na cidade de Feira de Santana-BA.	62
Figura 26 - Imagem do rio Subaé na cidade de Santo Amaro-BA, próximo a Plumbum.	62
Figura 27 - Imagem da área estuarina do rio Subaé-BA.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos e metais considerados para os sedimentos do rio Subaé-BA.....	19
Tabela 2 - Resultados obtidos nas análises do material de referência San Joaquim Soil por ICP OES.....	21
Tabela 3 - Limite de detecção (LD) do aparelho ICP OES para os metais Cd, Pb, Cu e Zn.....	22
Tabela 4 - Matriz de correlação de Spearman (r) das frações granulométricas e MO nos sedimentos fluviais e estuarinos do rio Subaé-BA.....	32
Tabela 5 - Valores- guia de qualidade de sedimento para metais traço em sedimentos de água doce adotados pelo NOAA (mg kg^{-1} , base seca).	40
Tabela 6 - Valores- guia de qualidade de sedimento para metais traço em sedimentos marinhos adotados pelo NOAA (mg kg^{-1} , base seca).	41
Tabela 7 - Matriz de correlação de Spearman (r) dos metais nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.....	46
Tabela 8 - Matriz de correlação de Spearman (r) dos metais nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.	48
Tabela 9 - Nível de contaminação em função do fator de enriquecimento.....	49
Tabela 10 - Granulometria e MO nos perfis subsuperficiais dos sedimentos do rio Subaé-BA.....	64
Tabela 11 - Granulometria, MO e pH das amostras de sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA, coletados na profundidade de 0-20 cm.	65
Tabela 12 - Granulometria, MO e pH das amostras de sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.....	65
Tabela 13 - Teores pseudo-totais dos metais traço nos perfis de sedimento da área fluvial do rio Subaé-BA.....	67
Tabela 14 - Teores pseudo- totais dos metais das amostras de sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA, coletados na profundidade de 0-20 cm.....	68
Tabela 15 – Teores pseudo- totais dos metais nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.....	68
Tabela 16 – Teores pseudo-totais dos metais traço nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.....	68
Tabela 17 - Teores pseudo-totais dos metais traço nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.....	68
Tabela 18 - Fator de enriquecimento dos metais nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA, coletadas na profundidade de 0-20 cm.	70
Tabela 19 - Fator de enriquecimento dos metais nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.....	70

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Coordenadas, localização e período de coleta dos pontos amostrados no rio Subaé-BA.....	16
Quadro 2 - Coordenadas, localização e período de coleta dos pontos amostrados no estuário do rio Subaé-BA.	17

LISTA DE SÍMBOLOS

%	por cento
°	grau
'	minuto
”	segundo
°C	grau Celsius
>	maior que
<	menor que
≤	menor ou igual
±	mais ou menos
g	grama
h	hora
km	quilômetro
km ²	quilômetro quadrado
m	metro
m ²	metro quadrado
m ³ s ⁻¹	metro cúbico por segundo
mg	miligrama
mg kg ⁻¹	miligrama por quilograma
mm	milímetro
mm ano ⁻¹	milímetro por ano
M	molaridade (mol L ⁻¹)
s	Segundos

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF	Quente e úmido
Al	Alumínio
BA	Bahia
BTS	Baía de Todos os Santos
Ca	Cálcio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Cd	Cadmio
CIS	Complexo Industrial do Subaé
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Mineirais
CRA	Centro de Recursos Ambientais
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FE	Fator de Enriquecimento
Fe	Ferro
H ₂ O	Água
HCl	Ácido clorídrico
HNO ₃	Ácido nítrico
HCl:HNO ₃	Água régia
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado
Igeo	Índice de geoacumulação
ISSO	Organização Internacional de Normalização
LD	Limite de detecção
Mg	Magnésio
Mi	Massa inicial

Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
Pb	Chumbo
PEL	Probable Effect Level
pH	Potencial hidrogeniônico
SEL	Severe Effect Level
TEL	Threshold Effect Level
UTM	Universal Transversa de Mercator
VGQS	Valores-guia de qualidade para sedimentos
WGS84	World Geodetic System 1984
Zn	Zinco

1. INTRODUÇÃO

A ocupação do solo por atividades antrópicas como construção de casas, indústrias, estradas, asfaltos, desmatamento e desenvolvimento agrícola podem causar alterações ou trazer consequências para a fauna e a flora aquática.

As práticas agrícolas são as que mais preocupam, pois provocam a retirada da mata ciliar deixando as margens dos rios, lagos e lagoas desprotegidas, aumentando o escoamento superficial, erosões intensas e, conseqüentemente, o assoreamento dos cursos de água. Esta atividade torna-se ainda mais preocupante com o aumento da poluição dos mananciais com os seus resíduos, tornando os ambientes aquáticos vulneráveis às contaminações, principalmente por pesticidas.

A atividade industrial também gera resíduos altamente tóxicos, devido o beneficiamento da matéria prima, onde são utilizados compostos químicos orgânicos e/ou inorgânicos. Esses resíduos quimicamente complexos são lançados no solo e/ou diretamente nos cursos de água, comprometendo a sua qualidade (MIDUGNO, 2012).

O rio Subaé vem despertado interesse no meio científico, pois ao longo dos anos as atividades citadas acima ameaçam a qualidade das suas águas. E sendo assim, os impactos ambientais que ocorrem em sua bacia o torna um dos mais poluídos do Estado da Bahia.

Em 1969 teve início à ocupação industrial no alto curso da bacia, com a instalação do Centro Industrial do Subaé (CIS) na cidade de Feira de Santana, responsável por parte dos efluentes lançados na rede hídrica. Além destes, os contribuintes de efluentes da cidade (urbano e hospitalar) que por não possuírem sistemas de esgotamento sanitário adequados, lançam seus efluentes no rio, (ADORNO, 2012). O rio também recebe contribuição de lançamento de agrotóxicos e fertilizantes, esgotos domésticos e de efluentes industriais dos municípios de Feira de Santana, Santo Amaro e São Francisco do Conde (CRA, 2001).

As atividades que mais contribuíram para a contaminação do rio ocorreram em Santo Amaro, com a presença da metalúrgica de chumbo, que operou entre os anos de 1956 e 1993. Conhecida como Plumbum, a metalúrgica foi responsável por produzir entre 11.000 e 32.000 toneladas de chumbo por ano, gerando grande passivo ambiental (MACHADO et al., 2003).

Para avaliar a contaminação do rio, uma das melhores formas é através da análise do sedimento, pois segundo Gomes (2011), qualquer resíduo lançado no corpo hídrico fica retido em suas partículas, e dessa forma, passam a atuar como testemunho do que ocorreu na coluna de água.

De fato os sedimentos, sejam em ambientes de água doce ou marinha são os reservatórios naturais de diversos compostos químicos, introduzidos nos ecossistemas aquáticos como resultados de processos geoquímicos, tanto os naturais como de atividades antrópicas (GARCIA; PASSOS; ALVES, 2011), tornando-se fontes poluidoras não pontuais (SIQUEIRA, 2003).

Os teores de metais pesados nos sedimentos em diferentes ambientes dentro do rio variam conforme os diferentes agentes físicos, químicos e biológicos presentes em suas águas (GOMES, 2011). No sistema estuarino, por exemplo, o comportamento dos metais é extremamente complexo, uma vez que, nesses ambientes há um forte gradiente físico-químico, além das mudanças na composição da água, variações das concentrações de material particulado em suspensão e dos processos hidrodinâmicos (ALLAN, 1990).

A avaliação da distribuição dos metais pesados nos sedimentos tornou-se uma ferramenta utilizada por diversos pesquisadores, com o objetivo de conhecer o estado atual dos ecossistemas aquáticos (GOMES et al., 2010; CRUZ, 2012). Essa avaliação pode ser feita a partir da determinação da concentração total do elemento de interesse no sedimento (PEREIRA et al., 2007).

Em estudos geoquímicos também se faz uso dos valores guias de qualidade para sedimentos, com objetivo de diagnosticar a toxicidade dos sedimentos. Para tanto, os teores de metais traço no sedimento são comparados com valores de referência internacional. Muitos pesquisadores utilizam os valores de referência da National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (1999), que avaliam background, limites de prevenção (TEL) e risco a biota para sedimentos marinhos (PEL), por falta de uma legislação brasileira específica para este ecossistema (ONOFRE et al.,

2007; PEREIRA et al., 2007; HORTELLANI et al., 2008; GARCIA, 2009; GOMES et al., 2010; CRUZ, 2012; BOMFIM, 2014).

Na avaliação dos sedimentos em ambientes aquáticos afetados por metais traço, também são utilizados alguns índices geoquímicos. Dentre os quais, destacam-se o índice de geoacumulação (Igeo), como uma medida quantitativa da poluição por metais traço em sedimentos aquáticos. Também se faz uso do fator de enriquecimento (FE), que tem como objetivo, diferenciar contribuições naturais das antropogênicas. (CHATTERJEE et al., 2007; MORTATTI; HISSLER; PROBST, 2010; TESSIER et al., 2011; CRUZ, 2012; BOMFIM, 2014). Diante do exposto, o presente estudo teve como finalidade determinar as concentrações dos metais presentes no sedimento do rio Subaé, bem como análise de parâmetros físico-químicos, considerando a grande interferência antropogênica em sua bacia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Determinar a concentração dos metais Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Al, Fe, Ca e Mg em sedimentos fluviais e estuarinos do rio Subaé-BA.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar os principais parâmetros físico-químicos dos sedimentos;
- Realizar comparação dos teores determinados com os valores de referência internacionais TEL, PEL e SEL;
- Avaliar possíveis relações dos metais traço entre si e com os componentes geoquímicos (Fe, Al, Mn, MO e argila);
- Distinguir teores naturais dos metais traço dos teores antropogênicos, a partir do cálculo do fator de enriquecimento, utilizando o alumínio como elemento normalizador.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Metais e os impactos sobre os ecossistemas aquáticos

Os ambientes aquáticos são os principais receptores das cargas poluidoras lançadas de efluentes distintos, os quais estão presentes os metais, compostos químicos inorgânicos que permanecem no ambiente por longo período de tempo.

Os metais são elementos químicos caracterizados em sua maioria, como elementos sólidos a uma temperatura de 25°C (CRUZ, 2012), e que apresentam alto ponto de fusão e alta densidade, especialmente os de transição, além de serem bons condutores de eletricidade e calor, diferente dos não metais que são na generalidade elementos maus condutores de eletricidade e dos metaloides, cuja condutividade elétrica é baixa e aumenta com a temperatura (FORSTNER; WITTMAN, 1981).

Na literatura alguns metais são definidos como metais pesados, por possuírem alta densidade, peso atômico elevado e massa específica acima de 3,5 g como mostra Duffus (2002) em uma extensa revisão bibliográfica apresentada a IUPAC, a respeito das definições de metal pesado. Expressão que engloba metais, semi-metais e até mesmo os não metais ou metaloides como o selênio (OLIVEIRA, 2007). Tornando este termo impreciso, uma vez que a densidade do elemento não define a toxicidade do mesmo, e que por vez, é relativa à concentração do elemento contaminante e a resposta dos organismos (BOAVENTURA, 2011).

Conforme Oliveira (2007), um termo alternativo, porém não amplamente utilizado para este grupo de elementos é metal traço, e em último caso elemento traço, sendo este mais cabível por se tratar de elementos químicos definidos de acordo com sua ocorrência em matrizes ambientais, como solos abaixo de 100 mg kg⁻¹ e que está relacionada à baixa concentração em que são encontrados no meio (BOAVENTURA, 2011).

Muitos metais traço ocorrem na natureza em pequenas concentrações, mas nem todo elemento traço é metal, como é o caso do Arsênio e do Selênio e que mesmo assim são de interesse ambiental por serem tóxicos (PEREIRA, 2007). Portanto, o termo metal pesado geralmente é empregado para um grupo de metais e semi-metais (metaloídes), que estão associados à contaminação e toxicidade (RIBEIRO, 2005, WHITTON, 1984).

Na natureza, os metais estão sob a forma de minério, juntamente com outros elementos (SIEGUEL, 2002). Ocorrem naturalmente nas rochas da crosta terrestre, causando pouco ou nenhum impacto ao meio ambiente. Entretanto, a interferência antrópica pode causar disponibilização e aumento artificial da sua concentração, surgindo diversos problemas ambientais (SILVA, 2009) como, por exemplo, sua presença nas redes hidrográficas ao longo de todo o percurso dos rios, se tornando em muitos casos uma possível fonte de poluição (PASSOS et al., 2011).

Nas zonas estuarinas, o aumento da industrialização juntamente com o desenvolvimento econômico nas regiões costeiras é responsável pela introdução de metais traço nesses ambientes (FENG et al., 2004; ROMANO et al., 2004; SANTOS et al., 2005). Estes chegam ao ambiente estuarino, associados principalmente ao material particulado em suspensão ou dissolvidos na coluna d'água dos sistemas fluviais e ainda por deposição atmosférica (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

Características geoquímicas de sedimentos

Na investigação de contaminantes nos ecossistemas aquáticos, uma das matrizes ambientais que mais se destacam é o sedimento. Formado por camadas de partículas minerais e orgânicas, com granulometria geralmente fina, estão presentes em corpos d'água natural como lagoas, rios, reservatórios, estuários e oceanos (BAIRD, 2002), originados por meio do intemperismo das rochas, solos e/ou da decomposição do material animal e vegetal.

A heterogeneidade de suas partículas confirma a existência de constituintes distintos, orgânicos e inorgânicos, já que possuem os componentes geoquímicos de maior relevância, os argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, as substâncias húmicas e coloides, principais responsáveis por reter e concentrar o conteúdo metálico seja de caráter tóxico ou não (FORSTNER et al., 1985; MANAHAN, 1994).

Nos corpos d'água, os sedimentos também podem surgir como resultado do desgaste de suas margens, e por processos físicos, químicos e biológicos do ambiente, sendo carregados e depositados no fundo destes (MANAHAN, 1994), onde os rios atuam como principal agente no transporte desses materiais que acabam chegando ao oceano (OELKERS et al., 2012).

Os sedimentos produzidos pelas bacias hidrográficas, principalmente em áreas urbanas, torna-se uma fonte de minerais e elementos traço de origens distintas. Seu transporte ocorre pelos cursos de água, tanto em suspensão quanto no leito, com partículas que rolam ou deslizam, ou mesmo em trocas, com partículas que saltam e voltam ao leito (BOMFIM, 2014).

Os sedimentos são muito úteis no rastreio de metais introduzidos no ambiente aquático (GARCIA; PASSOS; ALVES, 2011), além de representar o estado atual do ambiente de deposição, em consequência dos diversos contaminantes presentes em suas superfícies, onde os metais traço são os mais perigosos, e diferem dos contaminantes orgânicos por não serem facilmente degradáveis e pelo maior tempo de residência na matriz sedimentar (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

Os sedimentos são constituídos por diferentes substratos geoquímicos, onde os mais importantes são aqueles que têm a capacidade de reter e concentrar metais traço (LIRA, 2008), uma vez que estes podem estar presentes na matriz sedimentar adsorvidos à superfície de partículas (óxidos de Fe e Mn, argilas, substâncias húmicas), como compostos inorgânicos (carbonatos, sulfetos) ou associados à matéria orgânica (micro-organismos, detritos, húmicos) (BAIRD, 2002).

Conforme Pereira et al. (2007), a existência de metais traço em sedimentos, podem ocorrer em diferentes formas químicas, e quando não sofrem ação antrópica, os metais encontram-se principalmente ligados aos silicatos e minerais primários e, portanto, com baixo grau de mobilidade. Para os autores, elementos químicos incorporados a partir de atividades antrópicas apresentam maior mobilidade e estão ligados a outras fases do sedimento, como carbonatos, óxidos, hidróxidos e sulfetos.

Vale ressaltar que os metais introduzidos pelas atividades antropogênicas muitas vezes excedem os aportes naturais, representando um perigo efetivo em termos de poluição e conseqüentemente contaminação dos ambientes aquáticos (RIBEIRO, 2005). Portanto, os sedimentos são compartimentos ambientais que atuam como um verdadeiro reservatório no acúmulo de metais traço e servem para rastrear metais

introduzidos no ambiente aquático, como um resultado de processos naturais geoquímicos e de atividades antrópicas (GARCIA; PASSOS; ALVES, 2011).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. (ed). Porto Alegre: Bookman, 2002.

BOAVENTURA, S. F. **Distribuição de metais traço em superfície no Município de Madre de Deus, Bahia**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – POSPETRO) Instituto de Geociências - UFB, Salvador-BA, 70 f, 2011.

BOMFIM, M. R. **Características de ecossistemas manguezais contaminados por metais traços**. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências - UFB, Salvador-BA, 108 f, 2014.

CRUZ, M. A. S. **Avaliação da geoquímica dos sedimentos superficiais das nascentes do rio Subaé-BA**. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – PPGM/ UEFS, Feira de Santana-BA, 103 f, 2012.

DUFFUS, J. H. Heavy metals - A meaningless term? *Pure and Applied Chemistry*, 74(5):793-807, 2002.

FENG, H. et al. Preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intetidal zone due to urbanization. **Mar Pollut Bull**, 49:910-915, 2004.

FÖRSTNER, U. In *Chemical Methods for Assessing Bioavailable Metals in Sludges*; LECHSBER, R.; DAVIS, R. A.; HERMITTE, P. L. (ed). **Elsevier: London**, 1985.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. *Metal pollution in the aquatic environment*. **Springer Verlag**, 1981. 486p.

GARCIA, C. A. B.; PASSOS, E. A.; ALVES, J. P. H. Assessment of trace metals pollution in estuarine sediments using SEM-AVS and ERM–ERL predictions. **Environ Monit Assess**, 181:385-397, 2011.

LIRA, D. C. **Desenvolvimento de uma metodologia para caracterização de amostras de sedimentos no rio Jundiáí-RN**. Dissertação (Mestrado em Química) - UFRGN, Natal- RN, 150 f, 2008.

MANAHAN, S. E. *Environmental Chemistry*. 6. Ed Editora Boca Raton, **Lewis Publisher**, 1994. 811p.

OELKERS, E. H. et al. Riverine particulate material dissolution in seawater and its implications for the global cycles of the elements. **Comptes Rendus - Geoscience**, 344:646-651, 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 de Química**, 3(2):88-102, 2011.

OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais**. Tese (Doutorado em geologia), Instituto de Geociências - UFMG, Minas Gerais, 149 f, 2007.

PASSOS, E. A. et al. Metal Fractionation in Sediments of the Sergipe River, Northeast, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 22(5):828-835, 2011.

PEREIRA, C. D.; QUINÁIA, S. P. Estudo do coeficiente de distribuição do Cr em águas naturais. **Ambiência**, 3(1):27-37, 2007.

ROMANO, E. et al. Marine sediment contamination of an industrial site at Port of Bagnoli, Gulf of Naples, Southern Italy. **Environ Pollut Bull**, 49:487-495, 2004.

RIBEIRO, C. M. C. M. **Estabelecimento de uma rotina laboratorial para análise química de sedimentos e sua aplicação a sedimentos continentais do Minho (NW Portugal): contribuição para a reconstituição paleoambiental da região**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente), Universidade do Minho, 182 p, 2005.

SANTOS, I. R. et al. Heavy metal contamination in coastal sediments and soil near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Mar Pollut Bull**, 50:185-194, 2005.

SIEGUEL, F. Environmental geochemistry of potentially toxic metals. **Springer-Verlag**, Berlin Heidelberg, 2002.

SILVA, A. M. M. A. **Estudos preliminares para proposição de valores de referência de metais pesados, em sedimentos de manguezal, na região estuarina do rio Itapicuru, litoral norte do estado da Bahia**. Monografia (Bacharelado em Geologia), Instituto de Geociências - UFB, Salvador-BA, 94 f, 2009.

WHITTON, B. A. Algae as monitors of heavy metals in freshwaters. In: Shubert LE, editor. *Algae as Ecological Indicators*. London: Academia Press; 1984. 257-280 p.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido as margens do rio Subaé, onde foram coletadas amostras de sedimentos em Feira de Santana próximo a sua nascente, em Santo Amaro a montante e a jusante da antiga fábrica de beneficiamento de chumbo, Plumbum e em seu estuário na região de São Francisco do Conde (Figura 1).

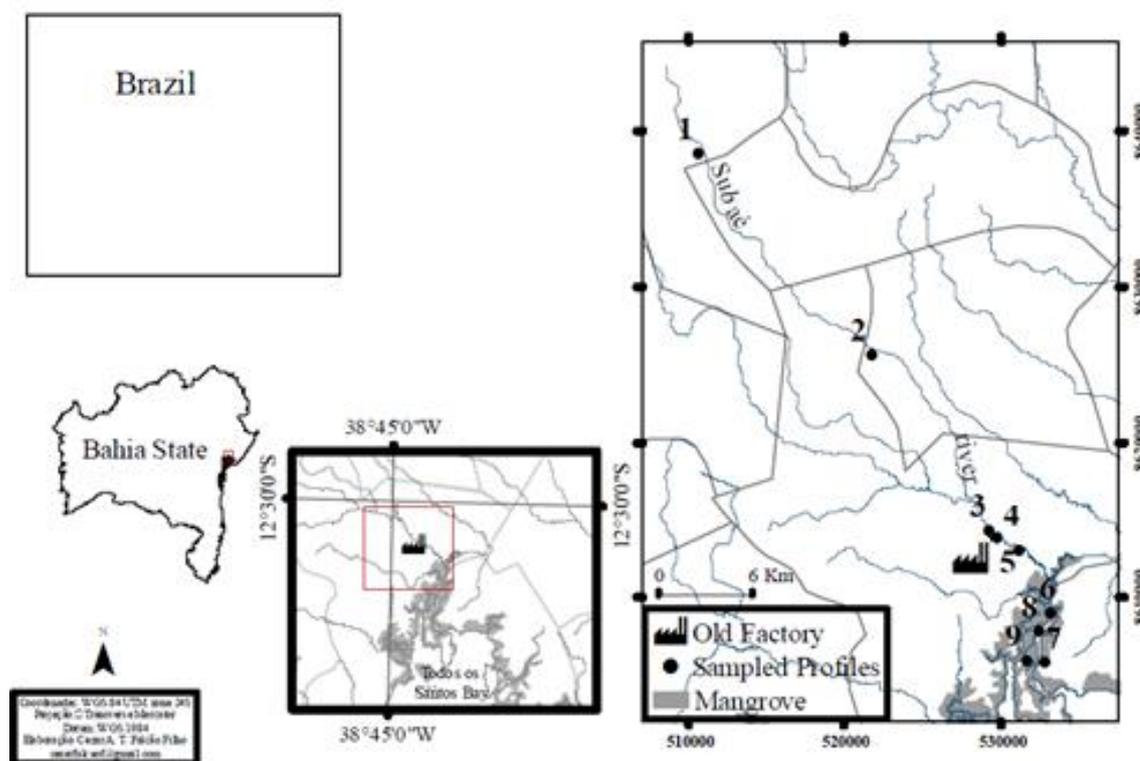


Figura 1 - Região onde foi realizado o estudo ao longo do curso e zona estuarina do rio Subaé-BA e localização dos pontos amostrados.
Fonte: FALCÃO FILHO (2014).

De acordo com o CRA (2001), a bacia hidrográfica deste rio com aproximadamente 655 km² está situada entre os paralelos 12° 15' e 12° 40' latitude

sul e 38° 37' e 39° 00' longitude Oeste, na região do Recôncavo Norte. É limitada ao Norte pela bacia do rio Pojuca, ao leste pela bacia do rio Jacuípe, ao sul pelas bacias dos rios Joanes, Açu e Baía de Todos os Santos e a Oeste com a bacia do rio Paraguaçu. Estão inseridos nesta bacia, os municípios de Feira de Santana, Conceição do Jacuípe, Amélia Rodrigues, Santo Amaro, São Sebastião do Passe, Saubara e São Francisco do Conde.

O rio Subaé nasce na lagoa do Subaé, no município de Feira de Santana (ADORNO, 2012) e percorre aproximadamente 55 km até a foz, no município de São Francisco do Conde, dentro da Baía de Todos os Santos (BTS). O sistema estuarino do mesmo compreende os últimos 10 km de seu percurso, com vazão média de $2,71 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e recebe contribuição de um grande número de afluentes, dentre os quais se destaca à margem esquerda, o rio Traripe que tem como afluentes os rios Subaezinho, Traripe e Macaco. Nesta mesma margem o Subaé também recebe contribuições do Riacho Pau Santo. Pela margem direita recebe as contribuições do rio Sergi e seus afluentes, os rios da Serra e Sergi Mirim, além do riacho Pitanga ou Pitinga (SANTOS, 2013; CRA, 2001).

Aspectos geofísicos no município de Feira de Santana

Segundo a classificação de Thornthwaite e Matther (1955), a zona climática da região onde as nascentes do rio Subaé estão localizadas é do tipo C2rA'a' (clima seco subúmido, megatérmico), com chuva anual concentrada no período do outono-inverno. O município está inserido na zona de transição entre o Agreste e o Semiárido. Entre os aspectos físicos que caracterizam o Semiárido, a pluviometria é considerada a variável climatológica mais importante, e na região a média anual não chega a atingir 900 mm, ficando em torno dos 848 mm e temperatura média anual de 24°C (SANTOS; ANDRADE, 2008).

As condições geológicas do município de Feira de Santana são marcadas pelas rochas do Embasamento Cristalino de idade Pré-cambriano (Complexo Caraíba), onde se constata uma grande variedade de litotipos, com predominância de charnockitos, enderbitos, ortognaisses granulizados e ortognaisses da fácies anfíbolito (CPRM, 2005).

Ainda de acordo com a CPRM (2005), as rochas cristalinas na região também pertencem ao Complexo Santa Luz, porém ocorre em menor proporção sendo

cortadas por rochas granitoides sin a tardi-tectônicos e sienitóides tarditectônicos. Pertencem a essa unidade os litotipos gnaisse bandado milonítico, paragnaisse aluminoso, quartzito, mármore, rocha calcissilicática, metamafito/metaultramafito e restos de ortognaisses migmatítico, tonalítico a granodiorítico, com enclaves máfico e ultramáfico.

Segundo Santos e Andrade (2008), no município além do embasamento cristalino outra formação geológica presente é a sedimentar de idade Pliocênica (Grupo Barreiras), também reconhecidas como Coberturas Sedimentares Recentes e é composta basicamente por conglomerados, areias e argilas pouco consolidados.

O relevo da região de acordo com Mello e Chaves (2009) estão sob duas unidades geomorfológicas, dos Tabuleiros interioranos no domínio dos Planaltos Inundados e Pediplano Sertanejo no domínio das Depressões Interplanálticas, onde na primeira unidade se encontra as áreas um pouco mais elevadas, já na segunda unidade estão às lagoas (nascentes) do rio Subaé, localizadas em áreas um pouco mais rebaixadas. A evolução do relevo na região de acordo com Santos e Andrade (2008) resultam da alternância de diferentes sistemas morfoclimáticos, estando vinculadas as grandes mudanças climáticas que ocorreram desde o Mioceno até o presente.

A vegetação predominante na região é a Caatinga, apresentando também vegetação de Cerrado (SANTOS, 2013), estando à primeira em processo de degradação antrópica (SANTOS; ANDRADE, 2008).

Segundo Silva et al. (2005) os solos próximos nas nascentes (áreas de Lagoas) do rio Subaé em Feira de Santana, são classificados como Planosolos Háplicos, apresentando também no município os Alissolos, Latossolos distróficos, Neossolos litólicos e os Chernossolos.

Aspectos geofísicos no município de Santo Amaro

De acordo com a classificação de Koppen, o município de Santo Amaro está inserido em uma zona climática do tipo As, (clima úmido a subúmido - Tropical). Além da pluviometria elevada, o município também conta com elevadas temperaturas que chegam a ultrapassar em média os 26°C e evapotranspiração que chegam a atingir em média os 1.328 mm ano⁻¹ (ASEVEDO, 2012). A precipitação

ocorre com maior incidência principalmente nos meses de março a agosto, sendo as médias pluviométricas variando em torno de 1000 a 1.600 mm ano⁻¹.

No município, as formações geológicas são constituídas por litologias do tipo arcáceo, diatexisto, gnaisses, charnockíticos, além das litologias sedimentares do Grupo Santo Amaro, incluindo arenitos argilosos de coloração variada, siltitos e argilitos, conglomerados ou brechas e folhelhos. É possível ocorrer na região, Formação Barreira, representado pelos sedimentos terciários (EMBRAPA, 2000).

De acordo com os dados disponíveis no projeto Radam Brasil de 1981, além desta, outras unidades geológicas são reconhecidas na área como o Complexo Ígneo-Metamórfico Caraíba-Paramirim, Grupos Brotas e Ilhas da Bacia do Recôncavo, Sedimentos Aluvionares e de Mangue do Quaternário.

O município se encontra sob o domínio dos Baixos Planaltos, cuja unidade geomorfológica que compõem o relevo é a dos tabuleiros costeiros, caracterizada por apresentar posições altimétricas muito rebaixadas, submetidos à dissecação intensa e uniforme, são verdadeiros modelados de dissecação homogênea e que, portanto, é uma região considerada de plana a subplana (EMBRAPA, 2000).

Segundo Brasil (1981), no município a vegetação é formada por Floresta Estacional Subdecidual (Floresta Tropical), inseridos no bioma Mata Atlântica, além desta, o município também conta com a presença da vegetação de mangue, e essa se faz presente nas áreas litorâneas e estuarinas da região. Outros tipos de vegetação presentes em Santo Amaro são as vegetações de Restinga.

De acordo com Anjos (2003), na região os solos mais comuns são os Vertissolos e Cambissolos, que tem sua origem nos litotipos do Grupo Santo Amaro. São solos de textura argilosa a muito argilosas, sendo as argilas deste, pertencente ao grupo das montmorilonitas.

Aspectos geofísicos do município de São Francisco do Conde

Segundo a classificação de Koppen, a zona climática do município de São Francisco do Conde é do tipo AF (quente e úmido) e sua precipitação média chega a atingir em média 1.800 mm, sendo os meses de abril a julho os mais chuvosos (PEREIRA et al., 2008). Ainda segundo estes autores, as médias anuais de temperaturas registradas para o município são de 24,5°C, tendo em vista que a

região está sob o domínio da ação reguladora do Oceano Atlântico e essa, interfere tanto nas características térmicas como na intensidade das chuvas.

O município de São Francisco do Conde tem sua litologia compreendendo os arenitos, depósitos costeiros (areias de praia), depósitos fluviais e folhelhos. As rochas sedimentares pertencem as Formações Itaparica e Candeias, Grupo Ilhas e Formação São Sebastião. Os depósitos quaternários recentes constituem o mangue e pântano da região (PEREIRA et al., 2008).

A região está inserida na unidade geomorfológica Baixadas Litorâneas, formada por colinas rebaixadas e tabuleiros, com altitude igual ou inferior a 100 m, e Planícies Marinhas e Fluviomarinhas que tem sua formação influenciada pelas ações fluviais e marinhas, nesta unidade as áreas são sub-planas, com presença de praias que estão recobertas em sua maior parte por vegetação de mangue (PEREIRA et al., 2008).

Os autores também citam que a vegetação da região está representada pela presença de Florestas Ombrófilas densa, pertencentes ao bioma Mata Atlântica, Restinga e as Formações Pioneiras (Manguezal).

Os solos presentes no município são predominantemente Vertissolos, mas há ocorrências locais de Latossolos e Podzólicos de todas as ordens, assim como os solos de mangue do tipo lodosos e pouco consolidados, ricos em matéria orgânica apresentando baixo teor de oxigênio e grande variedade de microorganismos, macroalgas, crustáceos e moluscos (SANTOS, 2013).

5.2. Coletas

As amostras de sedimentos do rio Subaé e de seu estuário, foram coletadas em períodos distintos, sendo realizada uma coleta em cada ponto (Figura 2), os quais foram devidamente georeferenciados com o auxílio de GPS.

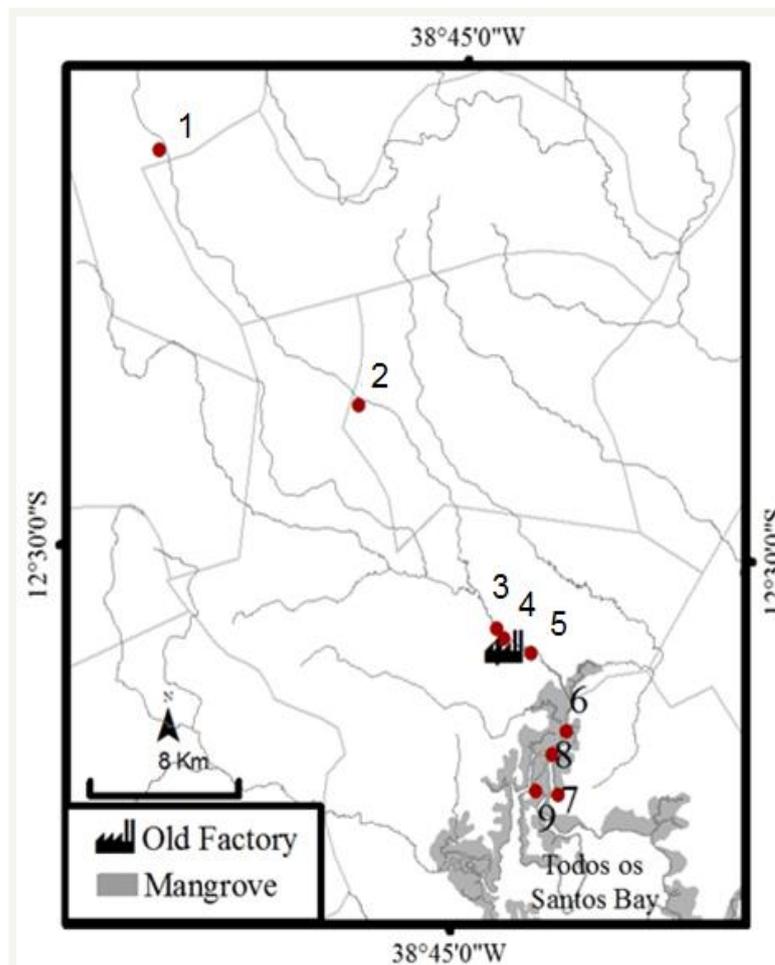


Figura 2 - Localização dos pontos de coletas no rio Subaé-BA.
Fonte: FALCÃO FILHO (2014).

Amostragem de sedimentos no rio Subaé

As amostras de sedimentos do rio Subaé, foram coletadas nos municípios de Feira de Santana e Santo Amaro. No Quadro 1 observa-se a identificação dos locais amostrados com as suas respectivas coordenadas, localização e período de coleta.

Quadro 1. Coordenadas, localização e período de coleta dos pontos amostrados no rio Subaé-BA.

Pontos	Coordenadas		Localização	Período de coleta
	Longitude (UTM - WGS84)	Latitude (UTM - WGS84)		
1	510677	8638696	Periferia de Feira de Santana, a jusante de uma ponte com relativa movimentação (ocupação urbana).	Agosto de 2013
2	521682	8625726	Oliveira dos Campinhos, debaixo da ponte – vegetação abundante fora e dentro da água.	Agosto de 2013
3	529273	8614342	Santo Amaro, a jusante da antiga fábrica de beneficiamento de Pb, PLUMBUM (aprox. 100 m a jusante da fabrica).	Outubro de 2012
4	529689	8613844	Santo Amaro (aprox. 200 m a jusante da antiga fabrica de beneficiamento de Pb, PLUMBUM).	Outubro de 2012
5	531184	8613150	Santo Amaro - aprox. 1500 m a jusante da antiga fábrica de Pb, PLUMBUM (antes de um efluente contaminado).	Outubro de 2012

Nos cinco pontos distribuídos no rio entre Feira de Santana e Santo Amaro, foram coletadas uma amostra de sedimento superficial na profundidade de 0-20 cm (amostra composta por três sub-amostras), com trado de sucção (Figura 3). Nos mesmos locais também foram coletadas amostras de 5 em 5 cm até a profundidade de no máximo 40 cm (perfis sedimentares), sendo coletados aleatoriamente (três sub-amostras).



Figura 3 - Coleta de sedimentos do rio Subaé-BA.

As amostras foram armazenadas em uma câmara fria até o momento da secagem. O material utilizado nas coletas foi lavado com a água do próprio local e em seguida descontaminado com HNO₃ a 10 % v/v fora da área coletada.

Amostragem de sedimentos no estuário

No estuário do rio, as amostras de sedimentos foram coletadas até próximo a sua foz (Quadro 2). Na retirada das amostras de sedimentos utilizou-se pá plástica, luvas e cores. Os materiais utilizados para realizar a amostragem, foram separados por pontos de coletas, a fim de evitar a contaminação entre amostras de pontos distintos, levando em consideração, também as dificuldades para limpeza do material na área.

Quadro 2 - Coordenadas, localização e período de coleta dos pontos amostrados no estuário do rio Subaé-BA.

Pontos	Coordenadas		Localização	Período de coletas
	Longitude (UTM - WGS84)	Latitude (UTM - WGS84)		
6	533165	8609100	São Francisco do Conde	Maio de 2013
7	532788	8605838	São Francisco do Conde	Maio de 2013
8	532394	8607884	São Francisco do Conde	Maio de 2013
9	531578	8605970	São Francisco do Conde	Maio de 2013

No estuário as amostras foram coletadas a uma distância de aproximadamente 2, 5 m num total de 4 sub-amostras, coletadas numa área de 10 m² em cada ponto e misturadas formando uma amostra composta por ponto de coleta.

Após a coleta, os sedimentos foram refrigerados em uma caixa térmica existente na embarcação. No desembarque, foram mantidos refrigerados até a chegada ao Laboratório da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, os quais foram mantidos em uma câmara fria até o momento da secagem.

Tratamento prévio das amostras

As amostras foram secas a temperatura $\leq 50^{\circ}\text{C}$, utilizando bandejas plásticas (Figura 4), logo após a secagem foram desagregadas, homogeneizadas e peneiradas em peneira de aço inoxidável de 2 mm de abertura de malha.



Figura 4 - Secagem e armazenamento das amostras de sedimentos.

Para evitar qualquer contaminação por interferência do próprio ambiente de trabalho, os materiais utilizados nas coletas e nos ensaios laboratoriais, passaram por um processo prévio de descontaminação em banho de HNO_3 10 % (v / v) durante 24 h, logo em seguida foram enxaguados em água destilada.

Metodologia

As análises foram realizadas no laboratório de geoquímica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, seguindo os procedimentos metodológicos descritos a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos e metais considerados para os sedimentos do rio Subaé-BA.

Tipo	Variável	Unidade	Método	Metodologia	Ano
Físico	Granulometria	(%)	Pipeta	Embrapa	2011
	pH	Adimensional	Potenciométrico	Embrapa	2011
Químico	MO	(%)	Gravimétrico	Embrapa	2013
	Ca	(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
	Mg	(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
	Al	(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
	Fe	(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
	Metais traço	Cd	(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466
Pb		(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
Zn		(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
Cu		(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995
Mn		(mg kg ⁻¹)	ICP OES	ISO 11466	1995

pH

O pH é um dos parâmetros mais relevantes em estudos geoquímicos, uma vez que caracteriza as condições do ambiente como ácido ou básico, e foi determinado potenciométricamente nos sedimentos da área fluvial e do estuário do rio Subaé, após imersão em H₂O por uma hora. A mistura solo:solução foi realizada na proporção 1:2,5.

Matéria orgânica

Em estudos geoquímicos de sedimentos e solos, a matéria orgânica também constitui um dos componentes mais importantes, onde a mesma agrega partículas minerais a essas matrizes. Além do aumento da retenção de água que favorece a produção dos agentes complexantes, os ácidos húmicos, também é uma das

responsáveis pelo aumento da capacidade de troca catiônica de solos e sedimentos (FORSTNER; WITTMAN, 1981).

No presente estudo ela foi determinada por meio de incineração via seca em mufla à 550°C (método gravimétrico), que consiste em calcinar 10 g de amostra, previamente seca a 100-105°C em estufa por 6 horas, em forno mufla por 550°C por 3 h.

Na obtenção das concentrações da matéria orgânica, uma equação é utilizada levando em consideração os pesos em grama das amostras antes e depois de irem à mufla, como mostra a equação abaixo.

$$MO (\%) = (M1 - M2) \times 100 / M_i \quad (1)$$

Em que:

MO = teor de matéria orgânica (%);

M1 = massa (g) da amostra seca em estufa 100-110°C;

M2 = massa (g) da amostra após ignição à 550°C;

M_i = massa inicial (g).

Granulometria

As análises granulométricas são de suma importância na avaliação geoquímica de sedimentos, uma vez que a adsorção dos compostos inorgânicos e orgânicos é proporcional à superfície específica das partículas, ou seja, inversamente proporcional ao seu tamanho (FÖRSTNER, 1993).

A análise granulométrica foi determinada para obtenção de três frações, areia, silte e argila, em que a argila foi determinada por via úmida pelo método da pipeta, e a areia por peneiramento.

Metais Cd, Pb, Zn, Cu, Mn, Fe, Al, Ca e Mg

As extrações dos metais foram realizadas por meio de digestão pseudo-total, seguindo a metodologia da Organização Internacional de Normalização (ISO 11466). O método consiste em pesar 0,75g de sedimento diretamente em tubos de digestão,

sendo as amostras submetidas a uma pré-digestão à temperatura ambiente durante 16h, utilizando uma mistura HCl:HNO₃ concentrado na proporção 3:1 (água régia). Em seguida as amostras foram digeridas a 140°C durante 2h em um bloco digestor, em sistema de refluxo.

Após a digestão, os extratos já em temperatura ambiente, foram filtrados com papel filtro faixa azul para balões volumétricos de 50 ml, e aferidos com uma solução de HNO₃ 0,5 M. Em seguida foram armazenados a 4°C, permanecendo a essa temperatura até a determinação dos analitos, realizada por meio de um Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Indutivamente – ICP OES.

Todas as amostras foram analisadas em triplicata. Em cada bloco de amostras digeridas, continham uma amostra de referência internacional (2709 San Joaquim), com concentrações conhecidas (Tabela 2), a fim de garantir a eficiência do método de digestão, sendo digerida seguindo a mesma metodologia para as amostras coletadas no rio. Também foram realizadas três provas em branco (mesmo procedimento, sem sedimento) em cada bloco.

Tabela 2 - Resultados obtidos nas análises do material de referência San Joaquim Soil por ICP OES.

Elemento	Valores de informação			Resultados obtidos	
	Faixa (mg kg ⁻¹)			Média (mg kg ⁻¹)	Devisor padrão (mg kg ⁻¹)
Cd	0,3	-	0,66	0,97	0,0
Pb	8,1	-	13,0	11,1	0,4
Zn	69,0	-	87,0	23,4*	0,8
Cu	24,0	-	28,0	29,6	0,4
Mn	380,0	-	450,0	469,0	3,0
Al	13000,0	-	17000,0	17102,0	73,0
Fe	22000,0	-	26000,0	26123,0	32,0

* concentração do metal extraído (apenas 20 %).

Os limites de detecção (LD), também foram avaliados analisando-se as provas em branco, em que os cálculos foram obtidos de acordo com a seguinte equação ($LD = X + 3s$), onde (X) representa a média das determinações de 12 brancos mais 3 vezes à estimativa do desvio padrão (s), obtido na determinação de 12 preparações das provas em branco. Os limites de detecção do aparelho encontram-se expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Limite de detecção (LD) do aparelho ICP OES para os metais Cd, Pb, Cu e Zn.

Metal analisado	Limite de detecção	Unidade
Cd	0,072	mg kg ⁻¹
Pb	0,000	mg kg ⁻¹
Zn	0,541	mg kg ⁻¹
Cu	0,586	mg kg ⁻¹

1.2. Análise dos dados

Análise estatística

Na interpretação dos dados, foram construídos gráficos e tabela contendo as médias das triplicatas e análises de correlação, onde optou-se por Spearman (análise não paramétrica), após constatar através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, que alguns dos dados não seguem distribuição normal. A análise de correlação de Spearman foi realizada utilizando o programa estatístico SAS. No presente estudo as correlações entre duas variáveis só foram consideradas significativas, com $p < 0,05$ e $r \geq 0,60$.

Crítérios para a avaliação da qualidade dos sedimentos

As concentrações dos metais analisados foram comparadas com os valores de referência da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), pela falta de uma norma ambiental no país que venha a estabelecer critérios, aos quais possam ser utilizados para sedimentos em geral.

Fator de enriquecimento

O Fator de enriquecimento foi calculado utilizando um elemento normalizador, que evita as sub e sobreestimações do grau de enriquecimento do conteúdo de interesse.

A normalização dos teores metálicos é feita em relação às concentrações de um elemento conservativo, observadas no ponto controle e no local considerado (Equação 2). E é utilizada para distinguir se teores anômalos de metais ocorrem naturalmente ou por aportes antrópicos. O elemento normalizador mais utilizado é o alumínio (WASSERMANN; QUEIROZ, 2004), podendo ser utilizadas também as concentrações de Fe, Ti ou MO (HILTON et al., 1985; REIMANN; CARITAT, 2005; LARROSE et al., 2010). A relação entre os teores de metais e o elemento normalizador é feita utilizando as concentrações de ambos, determinadas nas amostras analisadas. O sedimento no ponto 2, onde observou-se os menores valores para os metais traço, foi considerado o sedimento de referência.

$$FE = (Me_{ns}/El_{cs}) / (Me_{nr}/El_{cr}) \quad (2)$$

Me_{ns} = concentração do metal n no sedimento analisado ($mg\ kg^{-1}$)

El_{cs} = concentração do alumínio no sedimento analisado ($mg\ kg^{-1}$)

Me_{nr} = concentração do metal n no sedimento de referência ($mg\ kg^{-1}$)

El_{cr} = concentração de alumínio no sedimento de referência ($mg\ kg^{-1}$)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Características físicas e químicas dos sedimentos do rio Subaé-BA

pH, MO e Granulometria

Por meio da análise do potencial hidrogeniônico, foi possível observar que os pontos avaliados na área fluvial (Figura 5) apresentou acidez segundo a classificação de Brady (1989) de leve a muito alta, com pH variando entre 2,9 (P5) e 6,4 (P1).

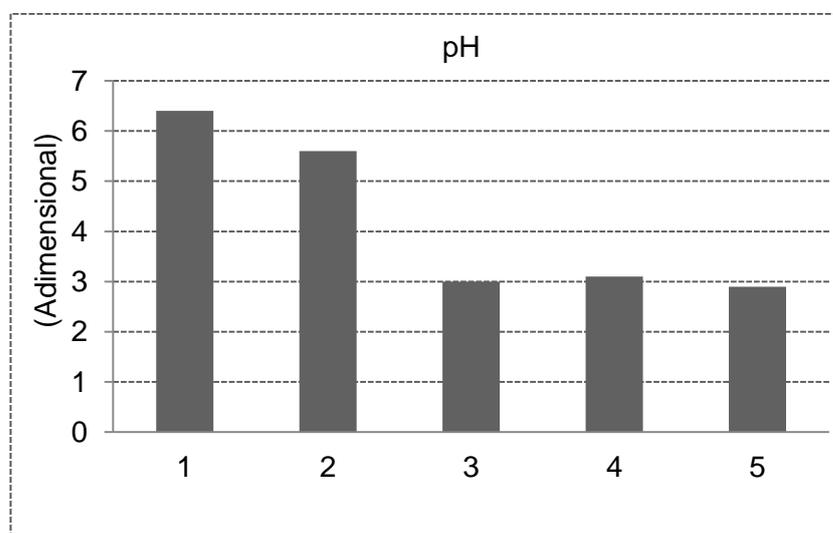


Figura 5 - Valores de pH das amostras de sedimentos do rio Subaé-BA, coletadas na área fluvial em uma profundidade de 0-20 cm.

No estuário do rio Subaé, os sedimentos também apresentam um caráter ácido, e apesar da grande quantidade de sais marinhos que neutralizam os ácidos gerados pela decomposição da MO (AGUIAR NETO; GOMES; FREIRE, 2012), os valores

determinados foram inferiores a 6,2 unidades em todos os pontos avaliados (Figura 6).

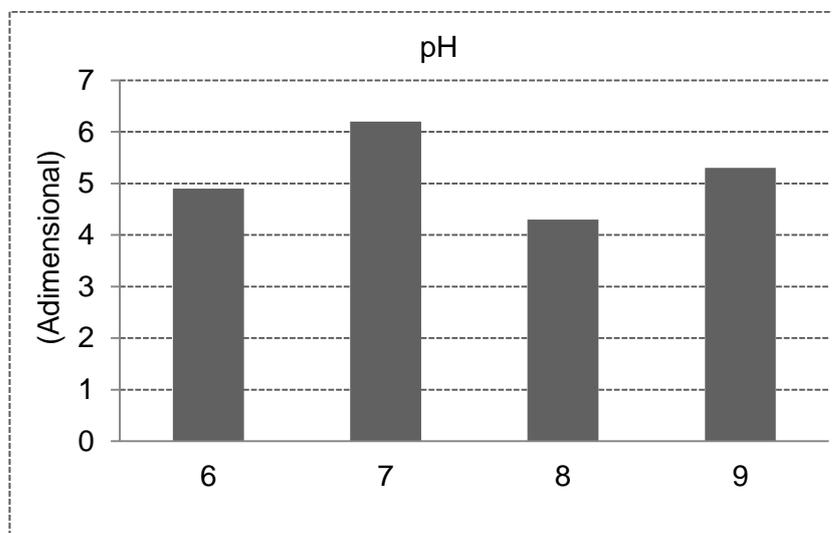


Figura 6 – Valores de pH das amostras de sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Vale salientar que o pH constitui uma das principais barreiras geoquímicas dos metais avaliados nessa pesquisa (REIMANN; CARITAT, 1998), e os baixos valores obtidos em todos os pontos, indicam que o meio aquático em estudo encontra-se vulnerável a mobilidade dos contaminantes metálicos, mais facilmente dissolvidos em meio ácido (FORSTNER; WITTMAN, 1981).

Com relação a MO, observam-se nos sedimentos da área fluvial do rio (Figura 7), concentrações elevadas nos pontos 1 e 2, e concentrações baixas nos pontos 3, 4 e 5.

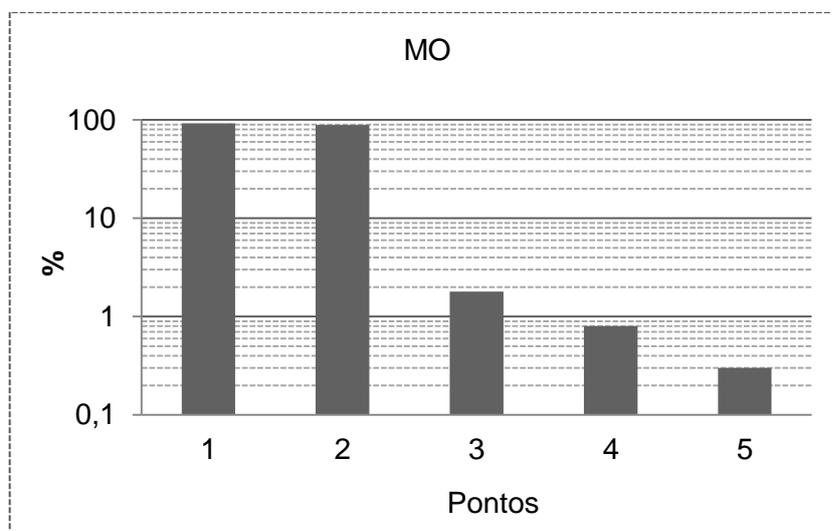


Figura 7 - Concentração da MO nos sedimentos do rio Subaé-BA, coletados na profundidade de 0-20 cm.

O acúmulo da MO no ponto 1, é influenciado pela ação antrópica e natural. Este ponto é um dos receptores dos efluentes domésticos da cidade de Feira de Santana, que contribui para o aumento da carga orgânica (ADORNO, 2012; CRUZ, 2012; SANTO, 2013). Apesar da pressão urbana em que o ponto amostrado vem sofrendo, a forte presença da vegetação também é um dos responsáveis pelos elevados percentuais da MO na área.

No ponto 2, esse acúmulo pode ser justificado devido à presença de galhos e troncos observados dentro do rio, formando pequenas represas, águas com fluxo muito lento propício ao depósito da MO (AGUIAR NETO; GOMES; FREIRE, 2012).

Com relação à distribuição vertical da MO nos 5 pontos da área fluvial, observa-se que os maiores percentuais ocorrem nas camadas superiores (Figura 8). O acúmulo preferencial da MO nessas camadas, deve-se a exposição das mesmas às influências antrópicas e do próprio ambiente.

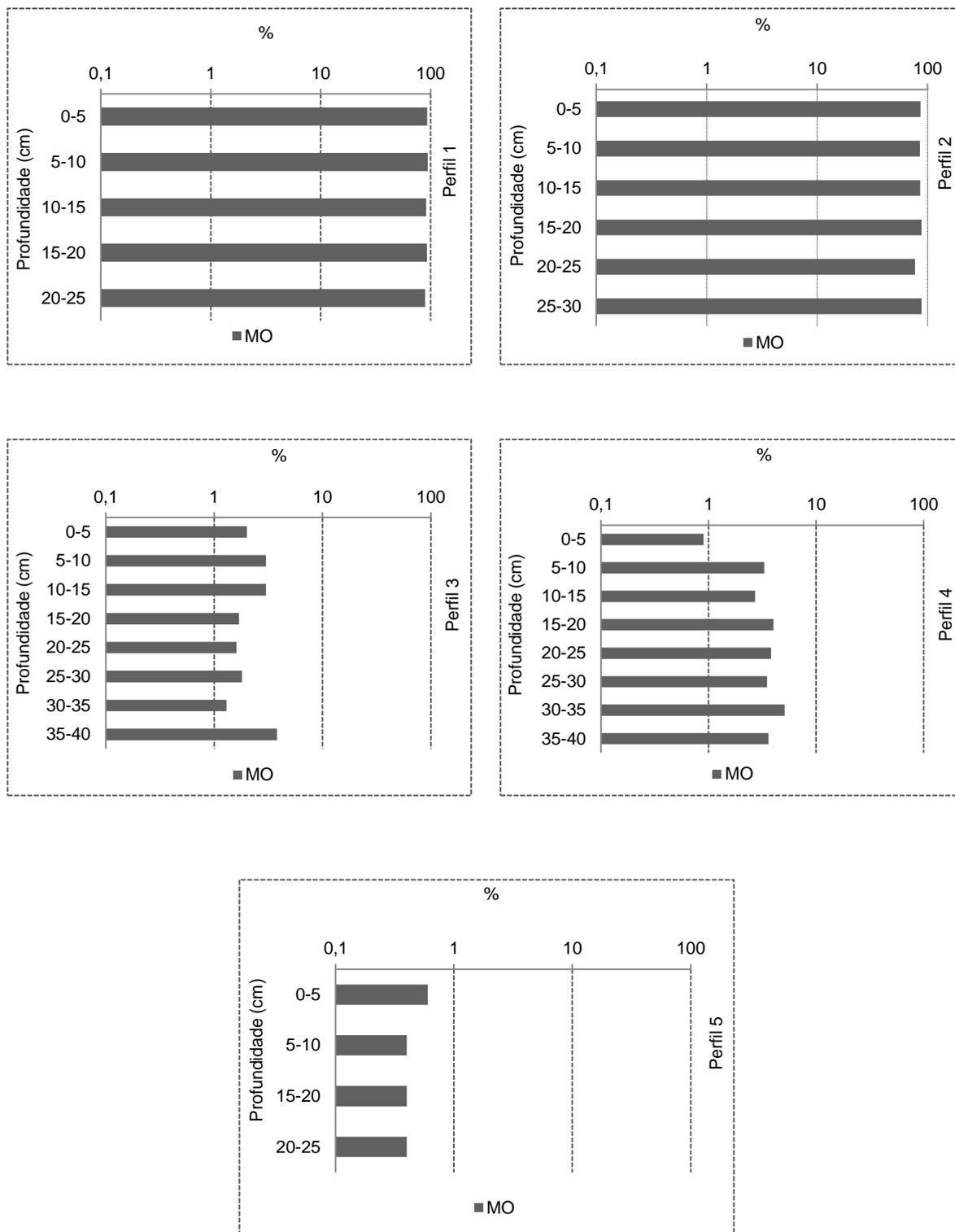


Figura 8 - Concentração da MO nos perfis de sedimentos do rio Subaé-BA.

Dos perfis avaliados, apenas os dois primeiros apresentam percentuais elevados da MO em todas as camadas. As concentrações baixas da MO determinadas nos perfis 3, 4 e 5, assim como nas amostras superficiais (0-20 cm), podem ser

atribuídas à textura arenosa dos sedimentos observada nas Figuras 10 e 11, já que a matéria orgânica não se complexa a partículas grosseiras (CESAR, 2009).

No estuário do rio ao contrário da área fluvial, observa-se em todos os pontos avaliados, percentuais elevados da MO nas amostras de sedimentos (Figura 9), essas concentrações elevadas, também foram obtidos por Bomfim (2014) nos solos de manguezais dessa região e por Borges et al. (2007) nos manguezais da Bahia de Guanabara-RJ.

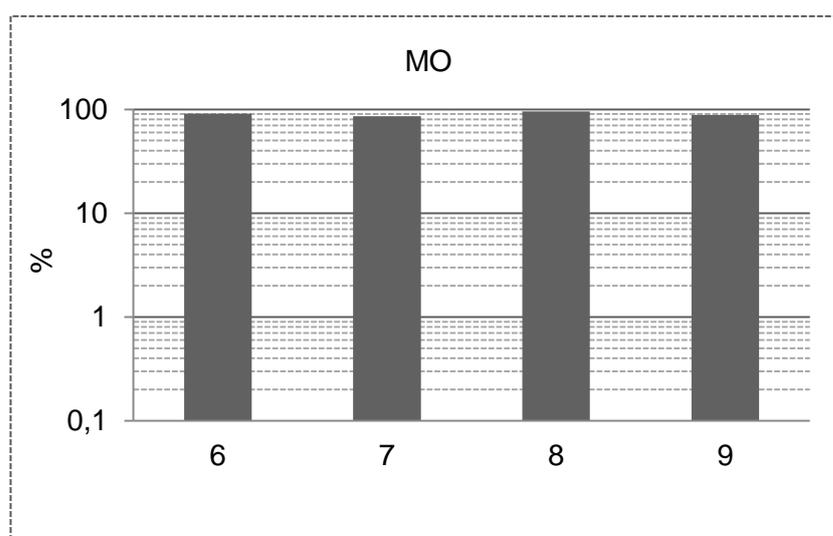


Figura 9 - Concentração da MO nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Analisando a distribuição granulométrica dos sedimentos na profundidade de 0-20 cm na área fluvial do rio (Figura 10), nota-se o predomínio das partículas na fração areia sobre as frações finas (silte e argila), com percentagem acima de 67 % em quase todos os pontos, com exceção do ponto 1 que apresentou aproximadamente 20 % do material mais grosseiro.

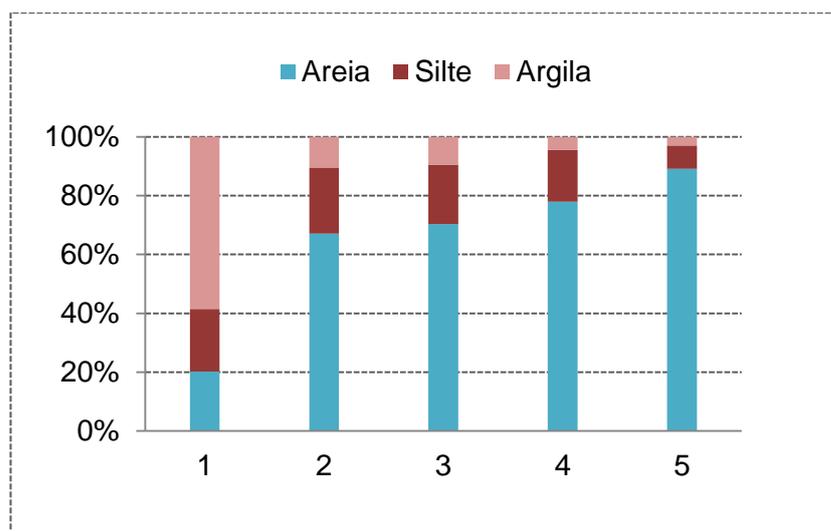


Figura 10 - Composição granulométrica das amostras de sedimentos do rio Subaé-BA, coletadas na profundidade de 0-20 cm.

Observa-se uma tendência de aumento dos teores de sedimentos arenosos ao se distanciar das nascentes do rio em Feira de Santana (Ponto 1), em direção a Santo Amaro (Pontos 3, 4 e 5). Esta distribuição granulométrica pode estar relacionada à geologia ao longo do rio (presença de arenitos do Grupo Brotas a partir do ponto 3), os processos hidrodinâmicos locais, e a presença da MO que ao contrário da fração areia, apresentou os menores percentuais nos três últimos pontos.

Avaliando os sedimentos em profundidade (Figura 11), nota-se o predomínio de partículas na fração areia em todas as profundidades na maioria dos perfis, com exceção do perfil 1.

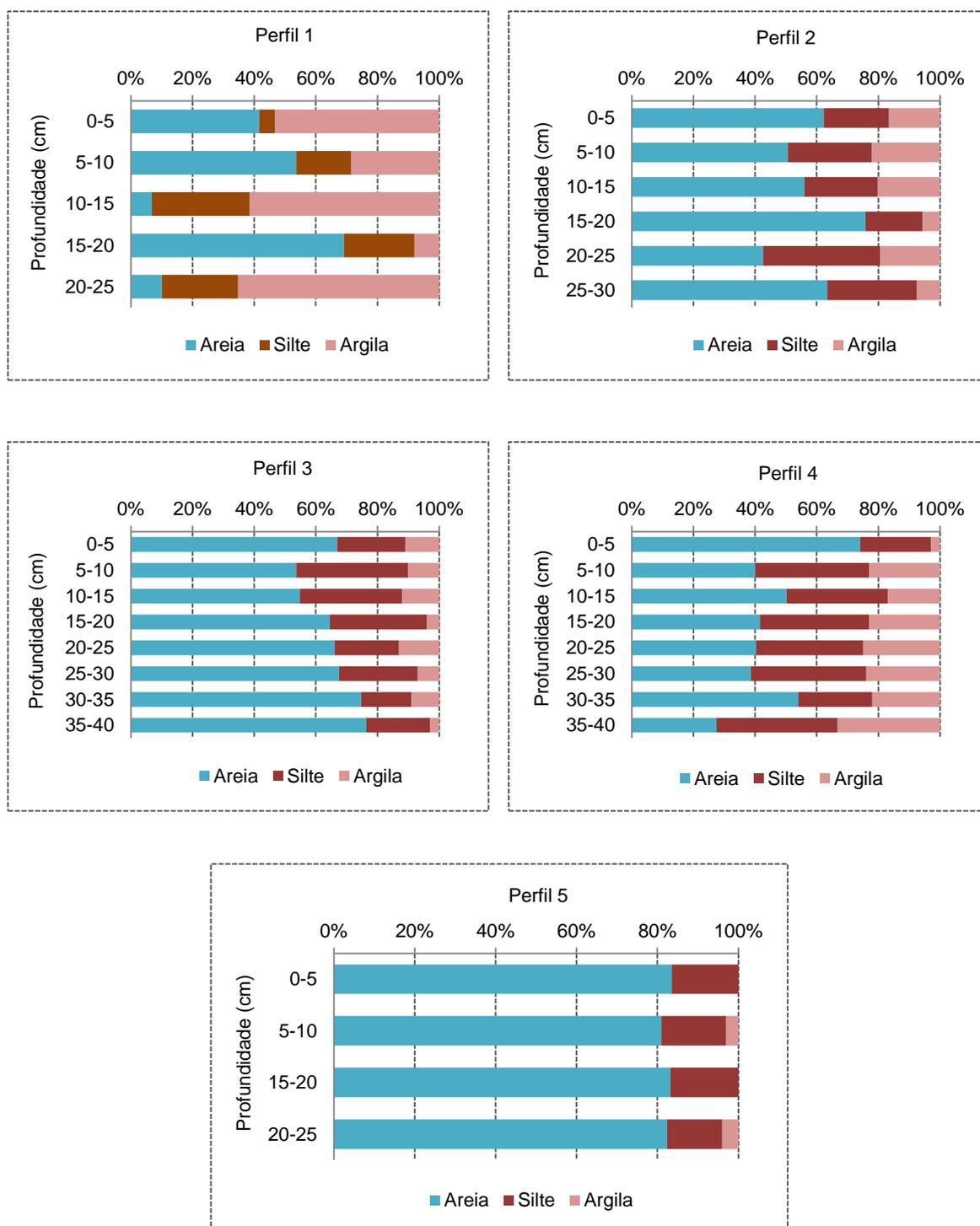


Figura 11 - Composição granulométrica dos perfis subsuperficiais de sedimentos do rio Subaé-BA.

Na Figura 11, são observados uma distribuição homogênea da fração areia ao longo dos perfis 2, 3, 4 e 5, já no perfil 1 a mesma não pode ser observada, pois a partir da profundidade de 10-15 cm há uma variação na distribuição dessas partículas.

A maioria dos perfis por apresentarem uma classe textural mais arenosa, baixo teor de matéria orgânica e um caráter ácido, tem capacidade menor na retenção dos compostos metálicos, ficando estes mais facilmente lixiviáveis para as camadas mais profundas, podendo vir a alcançar o lençol freático (SUKREEYAPONGSE et al., 2002).

Já no estuário do rio, a análise granulométrica revelou tendência oposta à ocorrida nos sedimentos da área fluvial, sendo observado na Figura 12, o predomínio de partículas finas (silte e argila) em praticamente todos os pontos. Estudos realizados por Bomfim (2014), também revelaram predominância de partículas finas (silte+argila) nos sedimentos dessa região.

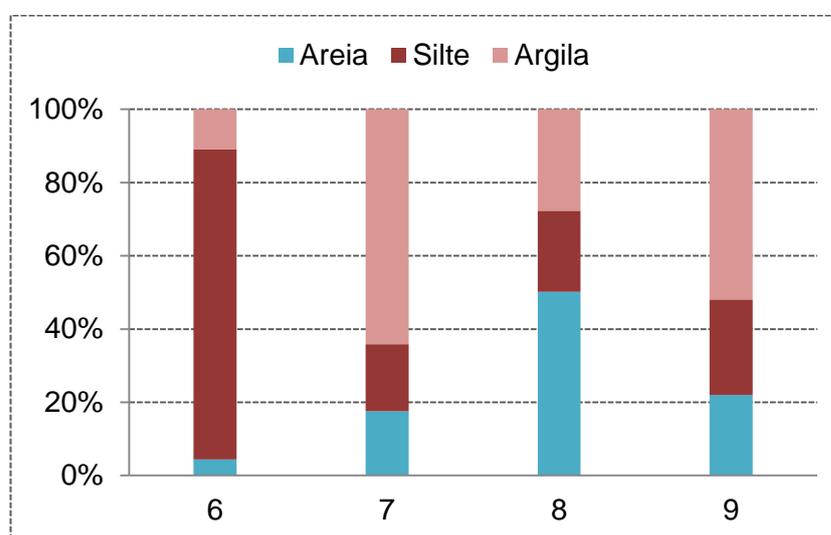


Figura 12 - Composição granulométrica dos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Vale salientar que em áreas de manguezais é comum ocorrer concentrações de sedimentos finos, onde a baixa energia hidráulica predominante nesses locais, explica a deposição preferencial de partículas finas (AGUIAR NETO; GOMES; FREIRE, 2012).

Os sedimentos avaliados ao longo do rio Subaé, revelou uma tendência de aumento da MO com o aumento das frações finas. A relação existente entre a textura fina e a carga orgânica é observada através da Tabela 4, confirmada por meio da análise de correlação de Spearman (r).

Tabela 4 - Matriz de correlação de Spearman (r) das frações granulométricas e MO nos sedimentos fluviais e estuarinos do rio Subaé-BA.

	MO	Areia	Silte	Argila
MO	1			
Areia	-0,54*	1		
Silte	0,75*	-0,68*	1	
Argila	0,65**	-0,77*	0,25	1

*nível de significância ($p < 0,01$);

**nível de significância ($p < 0,05$)

Teores pseudo-totais dos metais nos sedimentos do rio Subaé-BA

Nas Figuras 13 e 14, são observadas as concentrações médias dos metais Fe, Al, Mn, Ca e Mg nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé, dentre os quais, o Fe é o mais concentrado em todos os pontos, com concentração média $13291 \pm 8507 \text{ mg kg}^{-1}$. As concentrações médias de Al, Mg, Ca e Mn foram de $1746,1 \pm 16029$, $955,6 \pm 2780,9$, $166,7 \pm 704,1$ e $50,9 \pm 288,3$, respectivamente.

Pela Figura 13, observa-se que os metais Ca, Mg e Fe estão mais concentrados no ponto 3, a jusante da PLUMBUM. Sendo este, o ponto mais próximo da fábrica. Nos estudos realizados por Andrade Lima e Bernardez (2011), nas escórias de chumbo, esses metais apresentaram-se concentrados. Certamente, as escórias espalhadas nessa região, os demais efluentes da fábrica que foram lançados no rio no período de funcionamento juntamente com efluentes de outras fontes da cidade de Santo Amaro, estejam contribuindo para o aumento da concentração desses metais nesse trecho do rio.

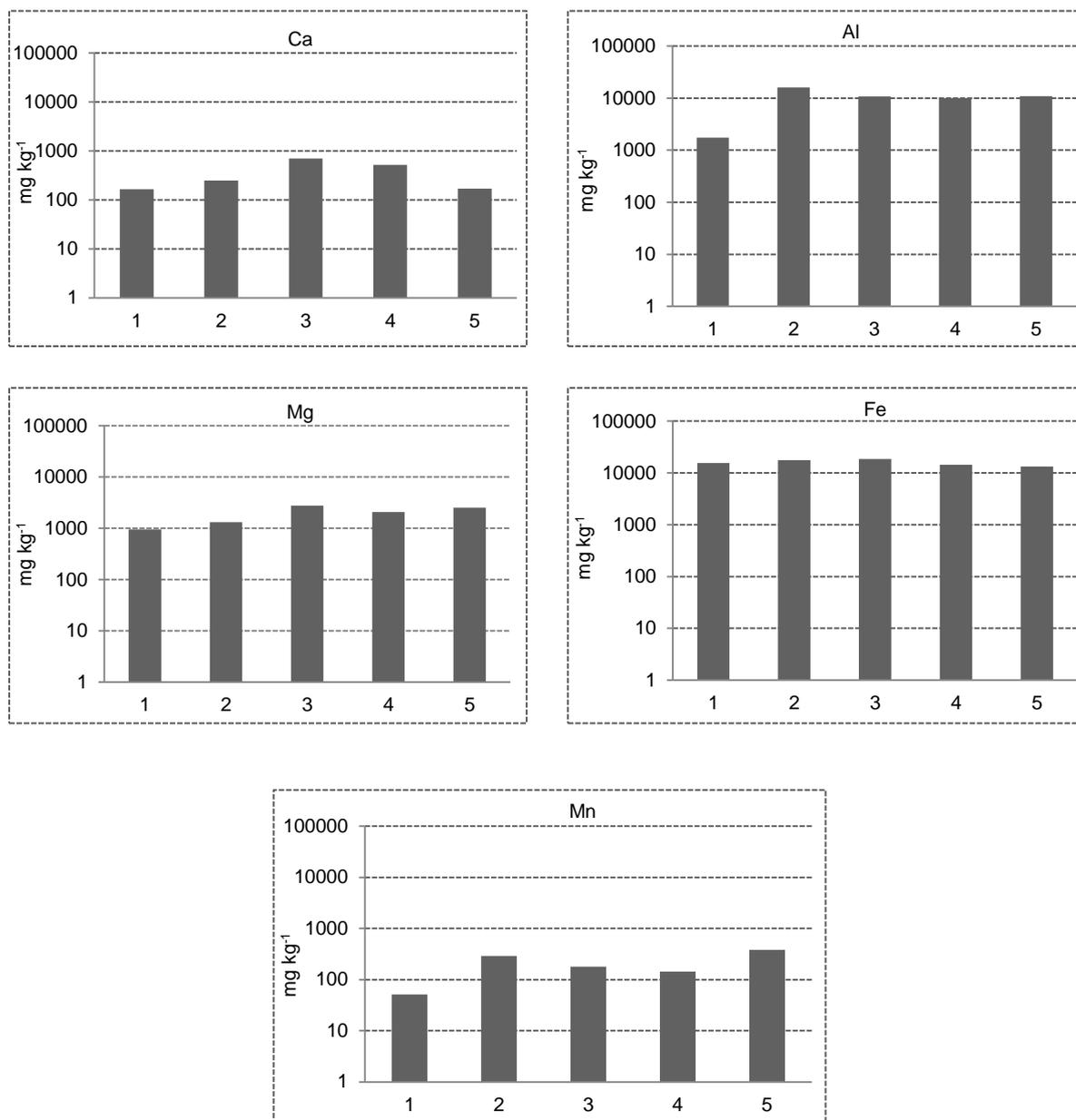


Figura 13 - Teores pseudo-totais dos metais Fe, Mn, Al, Ca e Mg nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.

O Al esteve mais concentrado no ponto 2 e menos concentrado no ponto 1, apesar da caracterização granulométrica ter mostrado que esse ponto apresentou os maiores percentuais de argila, um dos principais hospedeiros desse metal (DEER; HOWIE; ZUSSUMAN, 1966; REIMANN; CARITAT, 1998).

Vale salientar, que a concentração do Al em solos e sedimentos, varia muito com o tipo de materiais que os originou e também com o pH destes, portanto a concentração desse metal nos sedimentos do rio, deve está sendo influenciada

pelos tipos de minerais e pelo pH, onde este último constitui uma das principais barreiras geoquímica do metal (RIBEIRO, 2005).

Seguindo o curso do rio observa-se na Figura 14, que assim como os metais analisados nos sedimentos da área fluvial, nos sedimentos do estuário, em média ambos seguem a mesma ordem de concentração ($Fe > Al > Mg > Ca > Mn$).

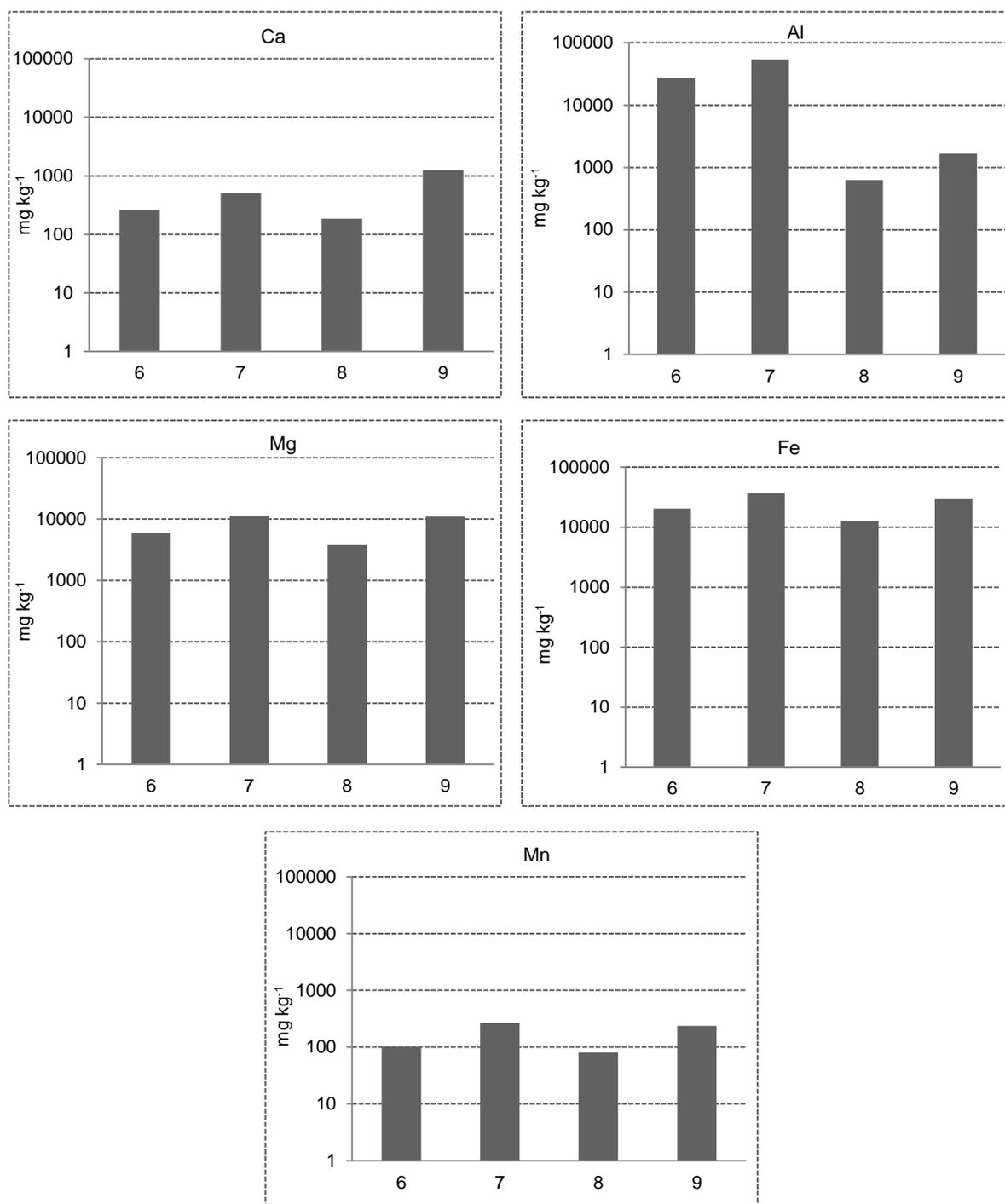


Figura 14 - Concentrações pseudo-totais dos metais Fe, Mn, Al, Ca e Mg em sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Os resultados obtidos nessa pesquisa, também mostra que esses metais estão mais concentrados nos sedimentos do estuário. Sendo o Mg e o Al os mais representativos, na ordem de >7 (Mg) e >2 (Al) vezes mais concentrados nos sedimentos dessa área.

Certamente, a maior quantidade de argilas nesse ambiente leva a uma maior concentração de Fe e Al, pois as argilas são naturalmente compostas por tais elementos (DEER; HOWIE; ZUSSUMAN, 1966; REIMANN; CARITAT, 1998), já o Ca deve está ligado aos carbonatos dos folhelhos, e o Mg a influencia marinha.

O enriquecimento de alguns nutrientes nesse ambiente, como Fe, Al e Mn, que juntamente com a matéria orgânica são os principais carreadores geoquímicos de metais traço, deixa esse ambiente mais vulnerável ao enriquecimento por contaminantes metálicos, transportados para esses ambientes associados principalmente ao material particulado.

Avaliando as concentrações médias dos metais traço Cd, Pb e Cu nos sedimentos amostrados na área fluvial do rio Subaé, nota-se que o Cd foi o que apresentou as menores concentrações em todos os pontos (Figura 15). A concentração do metal ao longo do rio teve uma variação de 0,17 a 1,8 mg kg⁻¹. Já o Pb foi o metal que apresentou as maiores concentrações, variando entre 5,8 e 1.280 mg kg⁻¹.

Com relação ao Zn, os valores obtidos para os sedimentos do rio Subaé e de seu estuário encontram-se dispostas em anexo, apesar dos resultados mostrarem que o metal é um dos que mais poluem o rio, não será discutida no trabalho, uma vez que o método de extração só conseguiu extrair 20 % de sua concentração na amostra de referência (Tabela 2).

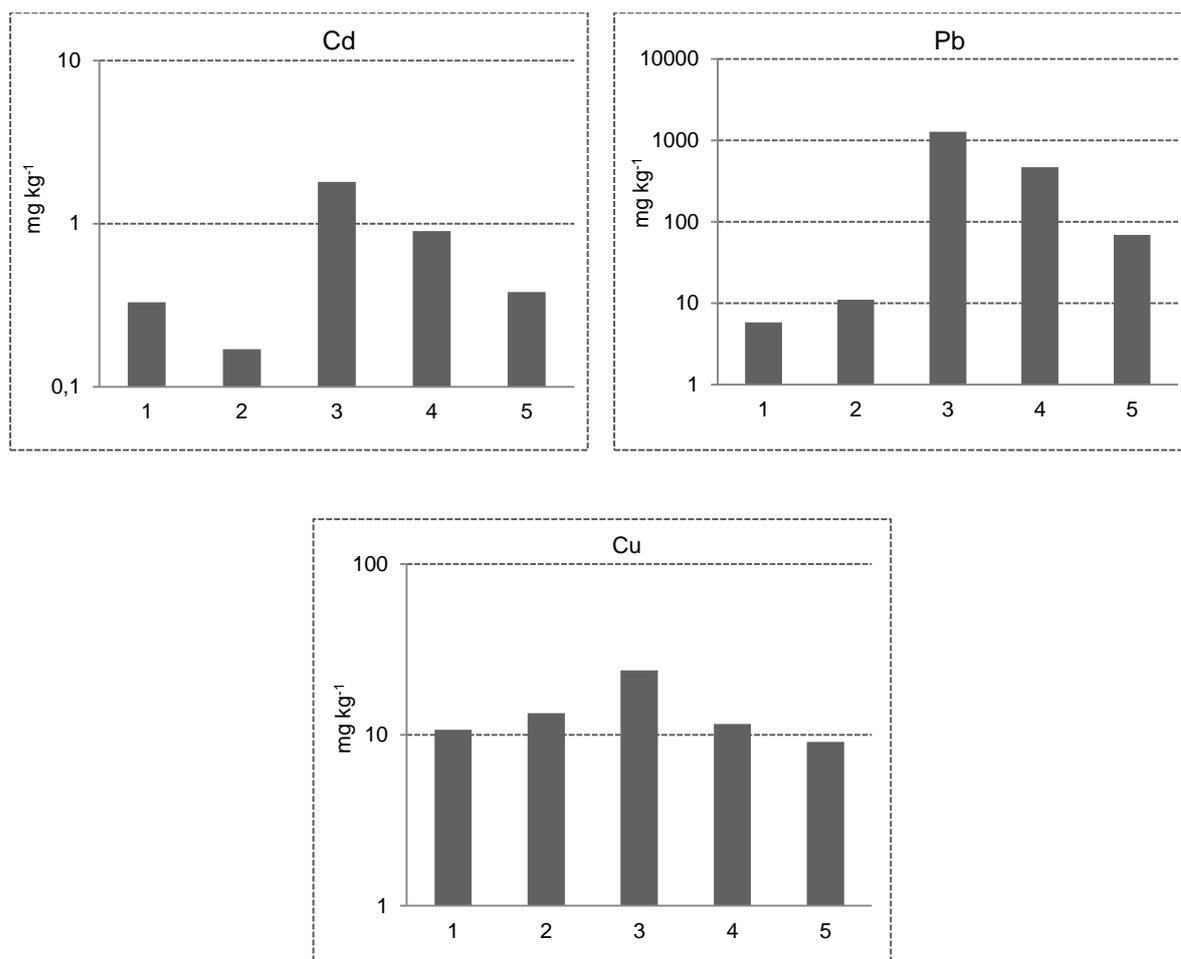


Figura 15 - Concentrações pseudo-totais de Cd, Pb e Cu nas amostras de sedimento superficial de 0-20 cm do rio Subaé-BA.

As concentrações mais elevadas de Cd e Pb, principalmente Pb no rio é observada nos pontos 3, 4 e 5 em Santo Amaro, a jusante da antiga fábrica de beneficiamento de chumbo, a Plumbum. Nesse trecho do rio os restos de escórias de Pb misturadas ao solo, podem está compondo o material sedimentado dentro rio, o que justifica concentrações tão elevadas do metal nesses pontos, principalmente no ponto 3 o mais próximo da fábrica, onde foi observada a maior concentração do metal.

Nas pesquisas realizadas por Andrade Lima e Bernardez (2011), os pesquisadores fizeram a caracterização das escórias de Pb em Santo Amaro, e a concentração dos metais objeto dessa pesquisa, foram determinados em abundancia nesse material, com exceção do Cd que na própria escória foi de ± 50 mg kg⁻¹. Portanto, a presença das escórias nos solos se torna a principal fonte desses elementos na área, principalmente o Pb.

As menores concentrações dos metais analisados foram observadas para os pontos 1 e 2 em Feira de Santana e Oliveira dos Campinhos respectivamente. Acresce ainda, que as concentrações determinadas para o ponto 1 estão próximas às determinadas por Cruz (2012), para as nascentes do rio Subaé.

Avaliando as amostras de sedimentos dos perfis (Figura 16), observa-se no perfil 1, que as concentrações do metal Cd aumenta em profundidade, chegando a decrescer na camada de 20-25 cm. Já no perfil 2 ocorre o oposto, a concentração desse metal decresce em profundidade. Nos dois perfis observa-se também que tanto o aumento (perfil 1) quanto o decréscimo (perfil 2), ocorrem até a profundidade de 15-20 cm.

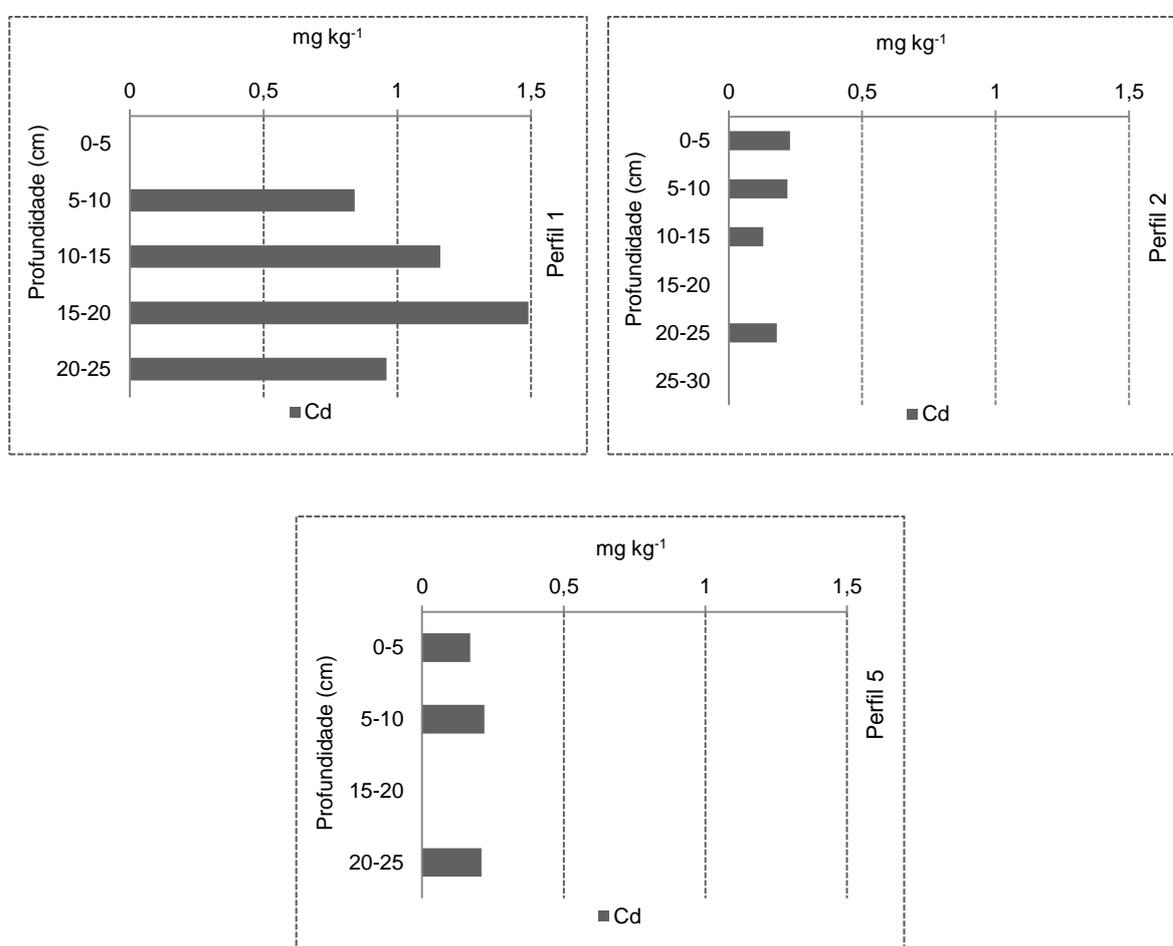


Figura 16 - Concentrações pseudo-totais de Cd nos perfis de sedimento do rio Subaé-BA.

Já em Santo Amaro, só foi possível avaliar a distribuição da concentração do Cd no perfil 5, pois nos demais, a concentração do metal esteve abaixo do limite de detecção (0,072).

Observa-se na Figura 17, a distribuição da concentração de Pb, onde nos perfis (1, 2, 3 e 4) ocorrem de forma homogênea. O mesmo não é observado para o perfil 5, pois na profundidade de 15-20 cm, a concentração do metal é 5 vezes mais elevada do que na profundidade de 0-5 cm. As menores concentrações de Pb foram obtidas nas camadas do perfil 2.

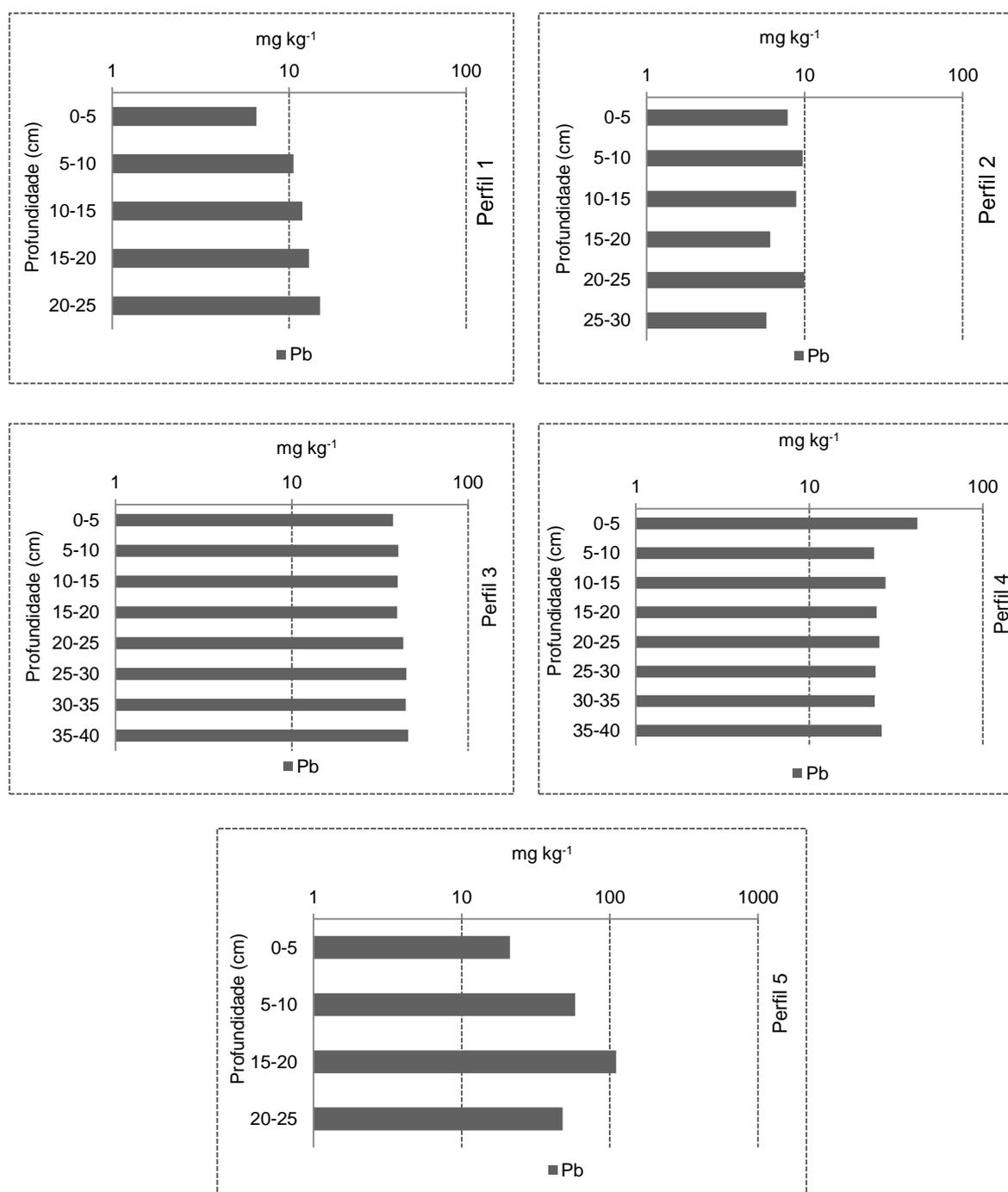


Figura 17 - Concentração pseudo-totais de Pb nos perfis de sedimento do rio Subaé-BA.

Segundo Alloway (1995), as concentrações de Pb em solos não contaminados são inferiores a 20 mg kg^{-1} , portanto as concentrações elevadas desse metal nos perfis 3, 4 e 5 a jusante da Plumbum, são consequência das deposições de resíduos da fábrica ao longo dos anos em que a mesma esteve em funcionamento.

Observam-se na Figura 18, as concentrações média dos metais Cd, Pb e Cu nos sedimentos de estuário do rio Subaé-BA. As concentrações de Cd variam entre $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (P8) e $0,74 \text{ mg kg}^{-1}$ (P9) e são inferiores aos observados por Bomfim (2014), em solos contaminados e não contaminados nos manguezais da região.

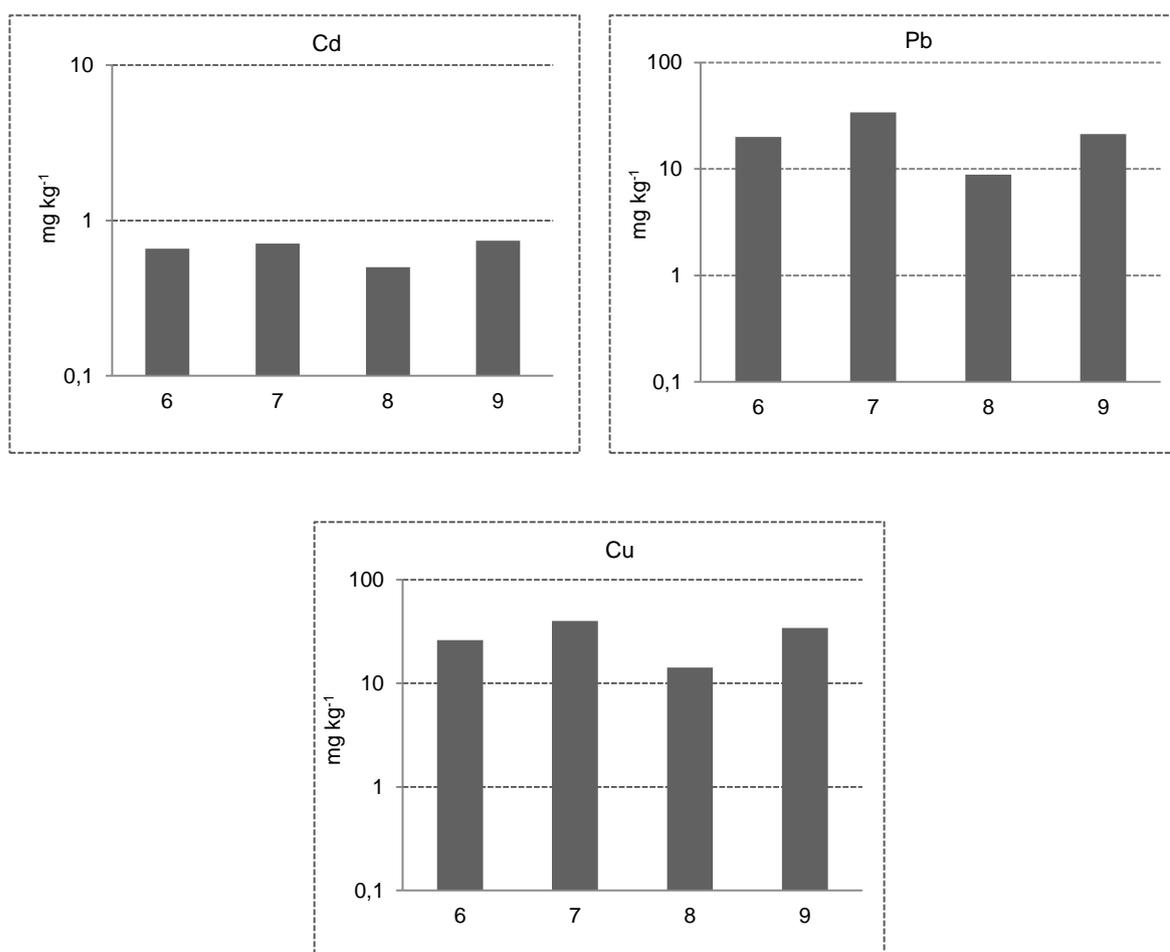


Figura 18 - Concentrações pseudo-totais de Cd, Pb e Cu nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

As concentrações médias de Pb variam de $8,87 \text{ mg kg}^{-1}$ (P8) a $34,09 \text{ mg kg}^{-1}$ (P7). Tais resultados estão em linha com os obtidos por Onofre et al. (2007) nos manguezais de São Francisco do Conde e Bomfim (2014), nos manguezais dessa área.

Já o Cu analisado nessa área, apresentou concentrações variando entre 14,13 mg kg⁻¹ e 40 mg kg⁻¹, estando dentro da média determinada por Bomfim (2014), nos solos dessa área.

Os sedimentos menos contaminados por todos os metais analisados, foram os do ponto 8, relacionados à textura mais arenosa. Neste ponto, o material sedimentado também apresenta as menores concentrações de Fe, Al e Mn, ou seja, menos óxidos e argilas. Esta pode ser a principal causa pela qual os sedimentos nesse ponto, retêm menos os contaminantes metálicos.

Nos sedimentos analisados, o Cu é o metal com concentrações mais elevadas em todos os pontos, e segundo Boaventura, Hadlich e Celino (2011) encontra-se enriquecido em toda a BTS, relacionado a fontes antrópicas difusas, distribuídas em seu entorno (HATJE; ANDRADE, 2009).

Qualidade dos sedimentos da área fluvial e estuarina do rio Subaé-BA

Para avaliar a qualidade dos sedimentos nas áreas do presente estudo, adotaram-se valores de referencia estabelecidos na literatura para sedimentos de água doce (TEL, PEL e SEL) e marinha (TEL e PEL) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Tabela 5 - Valores- guia de qualidade de sedimento para metais traço em sedimentos de água doce adotados pelo NOAA (mg kg⁻¹, base seca).

Indicador	Cd	Pb	Zn	Cu
TEL (mg kg ⁻¹)	0,596	35,000	123,100	35,700
PEL (mg kg ⁻¹)	3,530	91,300	315,000	197,000
SEL (mg kg ⁻¹)	10,000	250,000	820,000	110,000

TEL-valor abaixo dos quais efeitos adversos são raramente esperados;
 PEL-nível de efeitos prováveis; SEL-nível de efeitos severos.

Tabela 6 - Valores- guia de qualidade de sedimento para metais traço em sedimentos marinhos adotados pelo NOAA (mg kg^{-1} , base seca).

Indicador	Cd	Pb	Zn	Cu
TEL (mg kg^{-1})	0,680	30,240	124,000	18,700
PEL (mg kg^{-1})	4,200	112,000	271,000	108,000

TEL-valor abaixo dos quais efeitos adversos são raramente esperados;
 PEL-nível de efeitos prováveis; SEL-nível de efeitos severos.

Os valores- guia adotados (TEL, PEL e SEL), são baseados em extensos bancos de dados que indicam efeitos e não efeitos, onde TEL é o nível em que os efeitos adversos são raramente esperados, PEL é o nível que indica efeitos prováveis e SEL é o nível que indica efeitos severos.

Analisando as concentrações de Cd determinadas nos sedimentos coletados na área fluvial do rio (Figura 19), observa-se que nos pontos 3 e 4 esses valores estão acima do limite mínimo de alerta estipulados pelo TEL do NOAA, porém abaixo do valor de PEL. Tais concentrações indicam que os sedimentos nesses dois pontos encontram-se com um potencial de leve toxicidade.

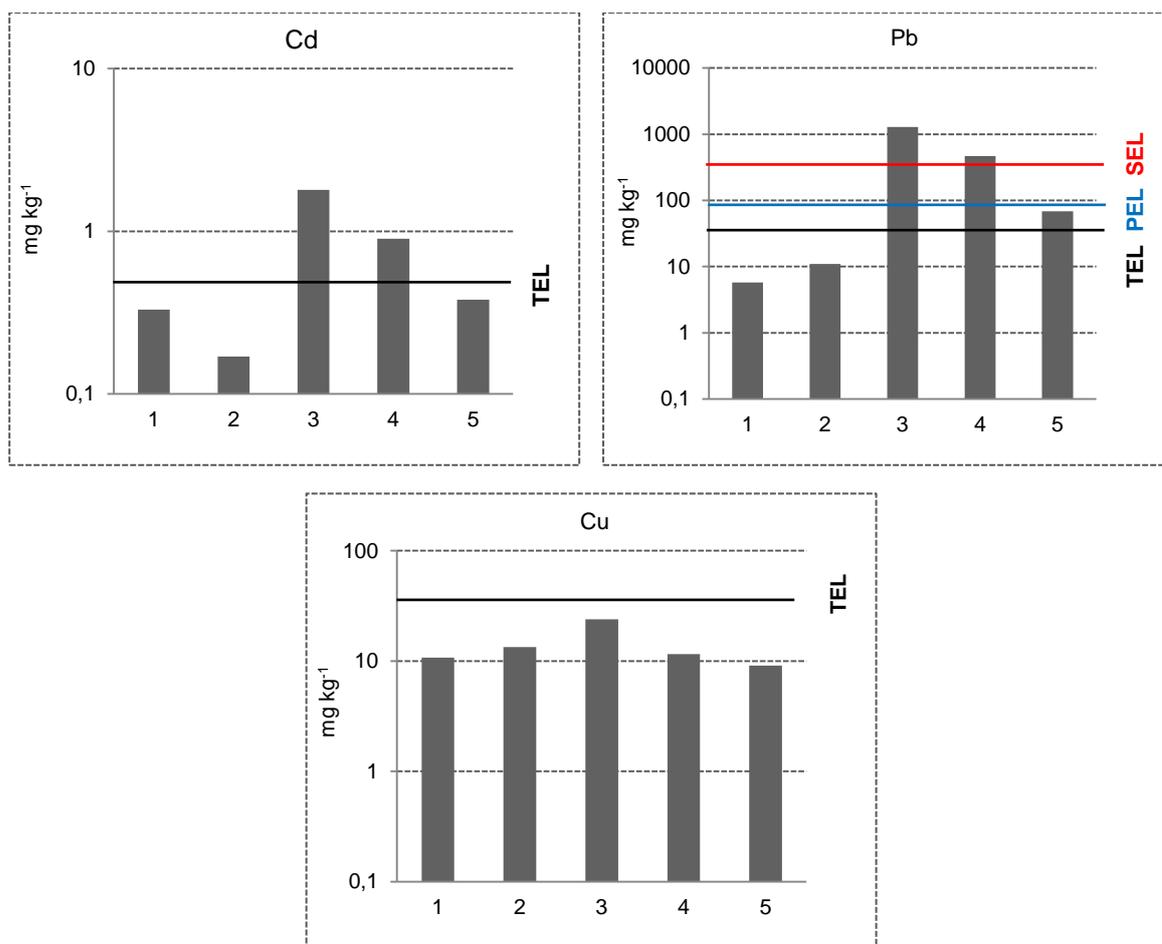


Figura 19 - Comparação da concentração dos metais traço Cd, Pb e Cu nos sedimentos da área fluvial rio Subaé-BA, e os valores guia do NOAA.

Analisando as concentrações de Pb e comparando com os valores orientados do NOAA, observa-se que o metal apresenta valores acima de TEL e abaixo de PEL nos sedimentos do ponto 5, já nos pontos 3 e 4, as concentrações do elemento ultrapassam os valores de SEL, indicando potenciais altos de efeitos considerados severos, principalmente para a biota.

Já para o Cu, as concentrações obtidas nos sedimentos da área fluvial do rio, encontram-se abaixo dos valores mínimos de alerta TEL em todos os pontos, indicando que o rio não apresenta riscos de contaminação ao meio ambiente por esse metal.

Nos sedimentos do rio Subaé (área fluvial), é possível observar que com exceção do Pb, nenhum dos metais traço apresentam concentrações que alcancem ou cheguem a ultrapassar valores de SEL (nível de efeitos severos), no caso do Pb, concentrações tão altas ocorrem principalmente pela presença de escórias nas proximidades das áreas.

Comparando os valores orientados com os resultados obtidos nos perfis (Figura 20), observa-se que as concentrações de Cd encontram-se abaixo dos valores de TEL nos sedimentos do perfil 1, acima de TEL, porém abaixo de PEL no perfil 2.

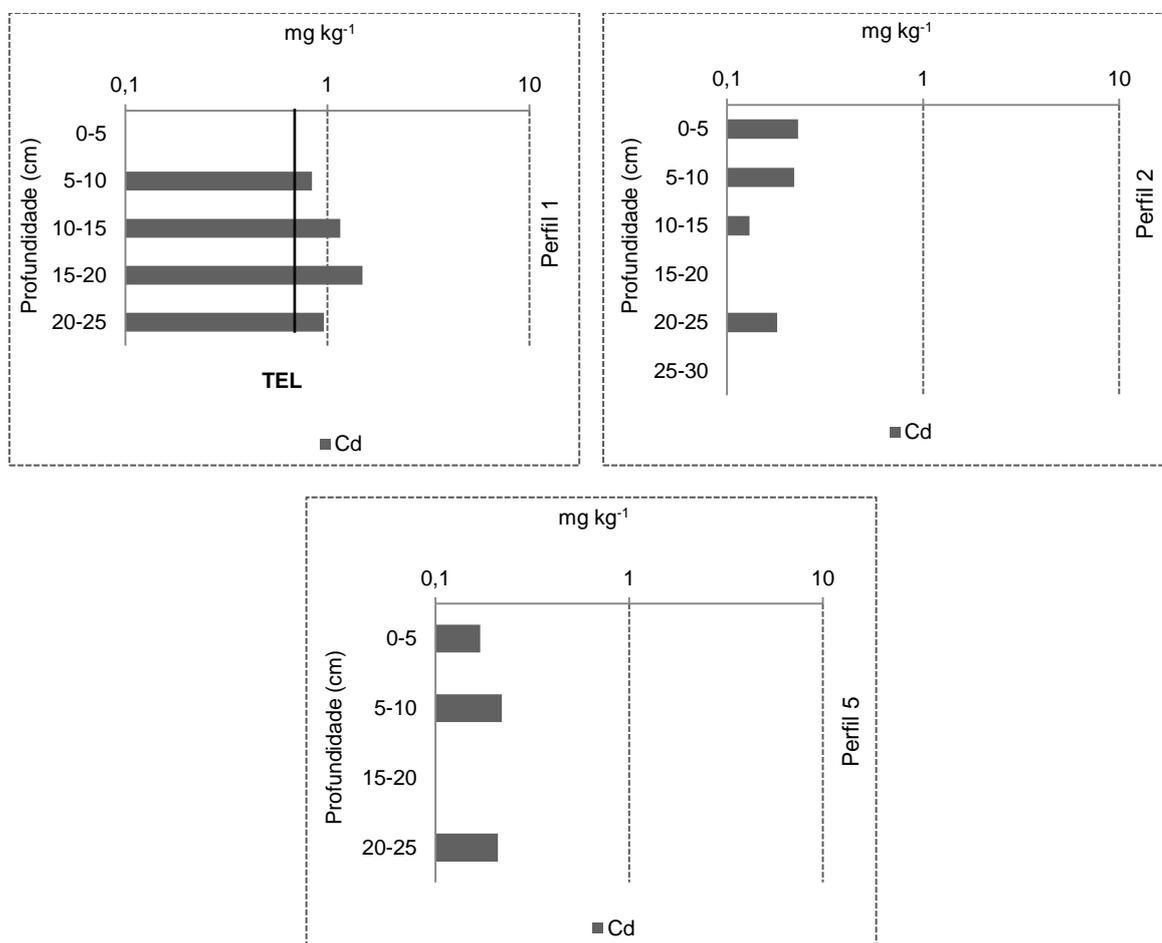


Figura 20 - Comparação da concentração de Cd nos perfis de sedimentos do rio Subaé-BA, com os valores guia do NOAA.

As concentrações de Pb em profundidade (Figura 21), ultrapassam os valores de TEL, no perfil 3. Já no perfil 4, nota-se que apenas nos primeiros 5 cm as concentrações de Pb ultrapassam TEL. No perfil 5, as concentrações de Pb encontra-se abaixo de TEL nos primeiros 5 cm, acima de TEL e abaixo de PEL nas profundidades de 5-10 e de 20-25 cm, e na camada de 15-20 cm ultrapassam os valores de PEL, mais ficam abaixo de SEL.

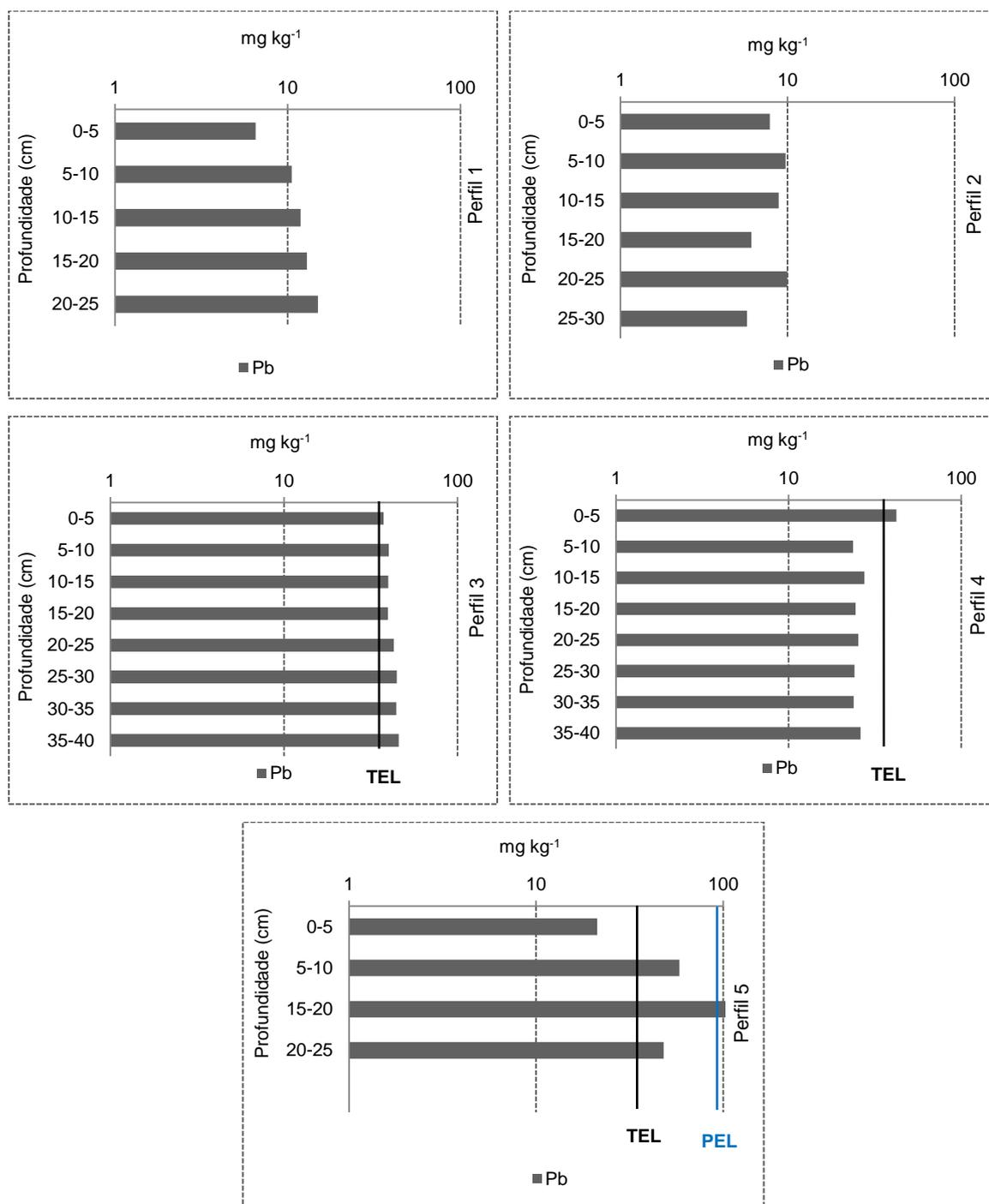


Figura 21 - Comparação da concentração de Pb nos perfis de sedimentos do rio Subaé-BA, com os valores guia do NOAA.

Analisando os sedimentos do estuário do rio e comparando com os valores de referência do NOAA, observa-se na Figura 22, que apenas no Ponto 8 as concentrações de Cd estão abaixo dos valores de referência estabelecidos pelo TEL. Nos demais pontos o Cd ultrapassa TEL, porém são inferiores a PEL.

As concentrações de Cd superiores ao valor mínimo de alerta, também foram determinados por Garcia et al. (2007) em sedimentos de manguezais de São

Francisco do Conde e Madre de Deus-BA e por Bomfim (2014) nos solos dessa área, onde o último autor classifica esse ambiente como potencialmente tóxicos na presença desse contaminante, por ser um metal que ameaça aos organismos pela sua persistência e acumulação, além de ser um elemento potencialmente tóxico a baixas concentrações.

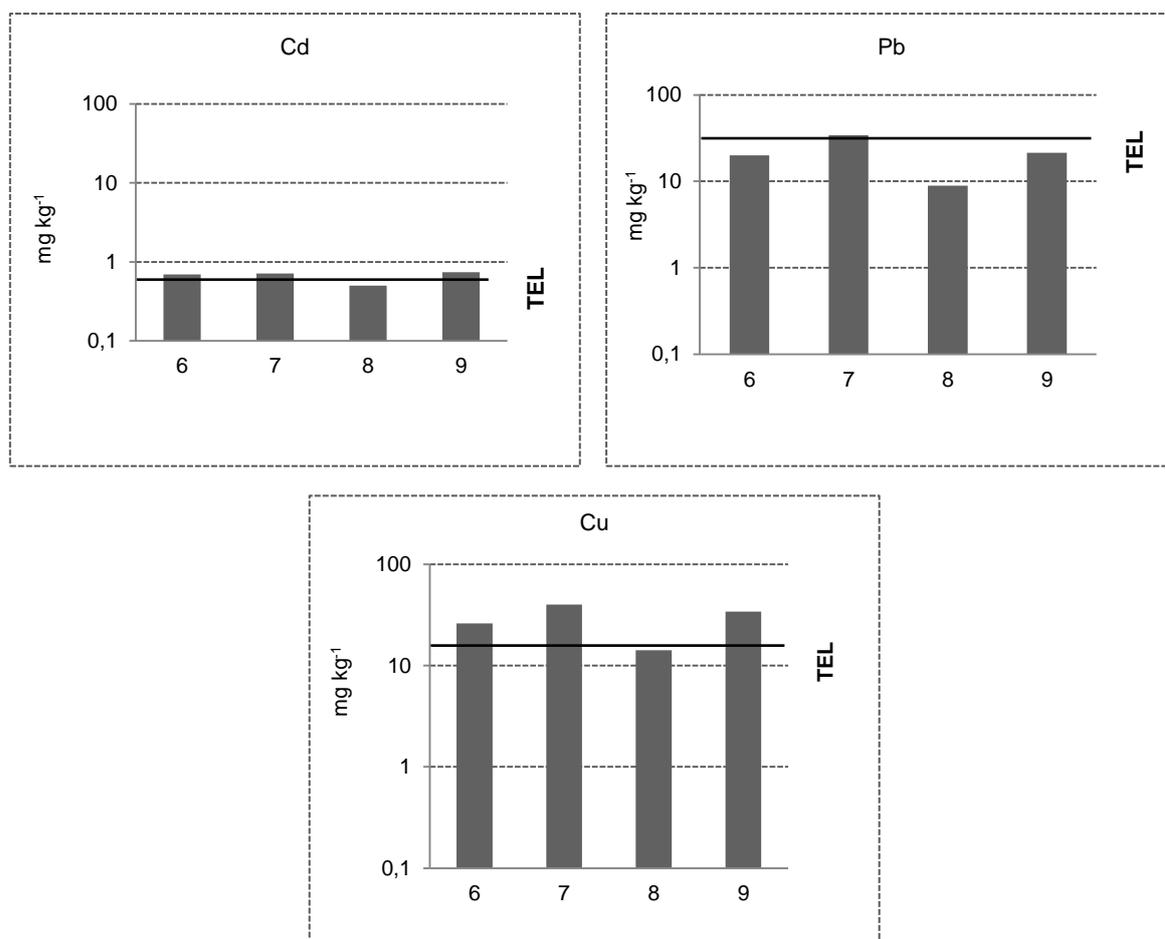


Figura 22 - Comparação da concentração dos metais traço Cd, Pb e Cu nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA, com os valores guia do NOAA.

Analisando as concentrações de Pb nos sedimentos dessa área e comparando com os valores orientados, nota-se que o metal encontram-se abaixo de TEL, apresentando risco menor de toxicidade nos sedimentos desse ambiente aquático por esses metais.

Com relação ao Cu, as concentrações nos sedimentos encontram-se abaixo dos valores de referência TEL, em praticamente todos os pontos, com exceção do ponto 7, onde a concentração do elemento ultrapassa os valores de TEL, porém não chegam a alcançar os valores de PEL.

Associação dos metais nos sedimentos das áreas fluvial e estuarina do Subaé-BA

No presente estudo, também foi utilizada a análise de correlação de Spearman (r), visando identificar os fatores potenciais que controlam a distribuição e mobilidade dos metais nos sedimentos das áreas fluvial e estuarina do rio Subaé (Tabelas 7 e 8). A matriz de correlação é composta pelos metais Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cd, Pb e Cu, MO e pelas frações granulométricas, considerando $r > 0,6$.

Tabela 7 - Matriz de correlação de Spearman (r) dos metais nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.

	MO	Areia	Silte	Argila	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Ca	Mg	Al
MO	1											
Areia	-0,71*	1										
Silte	0,73*	-0,47	1									
Argila	0,83**	-0,96**	0,66	1								
Cd	-0,59	0,26	0,04	-0,23	1							
Pb	-0,75*	0,61	-0,12	-0,57	0,92**	1						
Cu	0,18	-0,08	0,63	0,31	0,59	0,45	1					
Fe	0,74*	-0,54	0,84*	0,76**	0,04	-0,18	0,79*	1				
Mn	-0,49	0,9**	-0,55	-0,84	-0,1	0,26	-0,19	-0,46	1			
Ca	-0,3	0,34	0,42	-0,19	0,85*	0,85*	0,73*	0,27	-0,03	1		
Mg	-0,91**	0,73*	-0,55	-0,74	0,74*	0,87*	0,2	-0,42	0,53	0,5	1	
Al	-0,41	0,93**	-0,22	-0,8	0,08	0,44	0,05	-0,28	0,91**	0,32	0,5	1

**nível de significância entre duas variáveis ($p < 0,01$); *nível de significância entre duas variáveis ($p < 0,05$).

A análise de correlação revelou associação dos metais alcalinos terrosos com a maioria dos metais analisados. Em contrapartida, correlações entre os metais formadores de óxidos Fe, Al e Mn e os metais tóxicos só foram observados entre o ferro e o cobre. Já a MO apresenta correlações inversas com Cd e Pb.

Ainda na Tabela 5, foram observadas correlações positivas altamente significativas de alguns metais com as frações granulométricas onde Pb, Mn, Mg e Al encontram-se correlacionados com a areia, Cu e Fe com o silte e apenas o Fe com a argila. Correlações positivas foram observadas entre os metais Cd e Pb, já o Cu não se mostrou associado a esses metais.

A não correlação dos metais Al, Fe e Mn com os metais Cd e Pb, indica que os principais carreadores inorgânicos (tradicionais) que são as argilas e os óxidos metálicos, não determinam as concentrações dos metais traço nos sedimentos analisados para esse seguimento do rio. Gomes et al. (2010), ao analisar as concentrações e associações geoquímicas de Pb e Zn em sedimentos do rio São Francisco, impactados por rejeitos da produção industrial de zinco, também não observou correlações entre os carreadores geoquímicos Fe e Al com os metais analisados.

Correlações inversas dos metais com a matéria orgânica indicam uma fraca associação ou não associação dos contaminantes com esse material. Indicam também que a distribuição de ambos na matriz do sedimento ocorre de forma antrópica.

Tais resultados estão de acordo com outros trabalhos na literatura, pois a não correlação de metais traço com a matéria orgânica, também foram observados por Cruz (2012), ao analisar os sedimentos nas nascentes do rio Subaé, por Pereira (2003), quando avaliou a distribuição dos metais pesados no município de Lajes (RN) e por Gomes et al. (2010) no rio São Francisco. Esses autores atribuem tais resultados a influencia antrópica.

Já a forte correlação dos metais Cd e Pb entre si, mostra que ambos são oriundos de fontes similares em cada ambiente estudado. Gomes et al. (2010), também observou correlações dos metais entre si, e atribui essa relação ao fato dos mesmos serem originados da mesma fonte. Essas correlações também foram observadas em estudos de Garcia et al. (2007) e Cruz (2012).

Observa-se que o Cu não apresenta correlação com os metais Cd e Pb, mais apresenta correlações fortemente significativas com o Fe e com o Ca. Asevedo (2012), também não observou correlações do Cu com os metais Cd e Pb, observando correlações com o Fe e com os metais alcalinos terrosos.

Este metal por não apresentar correlações com Cd e Pb, infere que o mesmo pode estar ocorrendo na área por outras fontes diferentes a desses metais. Provavelmente, sejam as agrícolas, pela sua forte correlação com os metais Fe e Ca, uma vez que esses elementos vêm a compor a maioria dos agroquímicos, não descartando também a possibilidade de ocorrências litólicas, visto que ambos também estão correlacionados aos sedimentos finos (silte + argila).

Nos sedimentos do estuário (Tabela 8), a análise de correlação também revelou associação dos metais Ca e Mg com a maioria dos metais. Correlações fortes foram observadas entre os metais traço Cd, Pb e Cu com os metais formadores de óxidos Fe, Mn e Al, e do metal Cu com a argila. Resultados semelhantes também foram observados por Santos, Queiroz e Celino (2010) em manguezais na porção Norte da Baía de Todos os Santos e por Bomfim (2014).

Tabela 8 - Matriz de correlação de Spearman (r) dos metais nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

	MO	Areia	Silte	Argila	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Ca	Mg	Al
MO	1											
Areia	0,36	1										
Silte	0,19	-0,84**	1									
Argila	-0,64	0,48	-0,86**	1								
Cd	-0,89*	-0,51	0,08	0,44	1							
Pb	-0,99**	-0,51	-0,03	0,51	0,91**	1						
Cu	-0,98**	-0,41	-0,1	0,59	0,96**	0,97**	1					
Fe	-0,99**	-0,28	-0,24	0,7**	0,92**	0,96**	0,99**	1				
Mn	-0,91**	0	-0,49	0,87*	0,83**	0,84**	0,91**	0,96**	1			
Ca	-0,65	0,05	-0,35	0,7	0,8*	0,59	0,76*	0,76	0,86**	1		
Mg	-0,93**	-0,18	-0,3	0,75	0,93**	0,89**	0,97**	0,98**	0,98**	0,88**	1	
Al	-0,74*	-0,76*	0,34	0,03	0,59	0,81**	0,67	0,63	0,39	0,03	0,47	1

**nível de significância entre duas variáveis ($p < 0,01$); *nível de significância entre duas variáveis ($p < 0,05$).

Nos sedimentos analisados no presente estudo, ao contrário dos resultados obtidos por Bomfim (2014) para solos contaminados e não contaminados na mesma área, observa-se que os metais apresentam correlações negativas altamente significativas com a matéria orgânica, que também foram observadas por Borges et al. (2007) nos manguezais da Baía de Guanabara, RJ. Tais resultados infere a ocorrência de processos de precipitação e/ou co-precipitação desses metais com os óxidos de Al, Fe e Mn ou processos adsortivos com superfícies coloidais argilominerais (BOMFIM, 2014).

Neste ambiente, também foram observadas correlações muito altas entre os metais Cd, Pb e Cu, indicando que ambos são oriundos de fontes similares no entorno de toda a BTS, principalmente por efluentes transportados pelo rio Subaé.

Fator de enriquecimento (FE) dos metais nos sedimentos

A determinação do fator de enriquecimento permite eliminar o efeito da matriz. Por exemplo, num mesmo local, sedimentos com granulometria mais grossa tem tendência a ter uma maior quantidade de quartzo, mineral que adsorve poucos metais. Desta forma, sedimentos finos e sedimentos grossos apresentarão teores de metais diferentes, mesmo tendo sido coletados no mesmo local. No presente estudo o elemento normalizador foi o Al, elemento constituinte das argilas, permitindo comparar poluição de sedimentos arenosos e argilosos.

Tabela 9 - Nível de contaminação em função do fator de enriquecimento.

Valor do fator	Nível de contaminação
$FE < 2$	Ausência ou enriquecimento mínimo
$2 < FE < 5$	Enriquecimento moderado
$5 < FE < 20$	Enriquecimento significativo
$20 < FE < 40$	Enriquecimento alto
$FE > 40$	Enriquecimento altíssimo

Assim, verificou-se que os fatores de enriquecimento para os metais Cd, Pb e Cu se aproximam bastante (Figura 23), independente do tipo de sedimento ou do nível de poluição, como por exemplo, no ponto 6 em que todos os fatores de enriquecimento foram de 2 (ausência de contaminação, conforme Tabela 9).

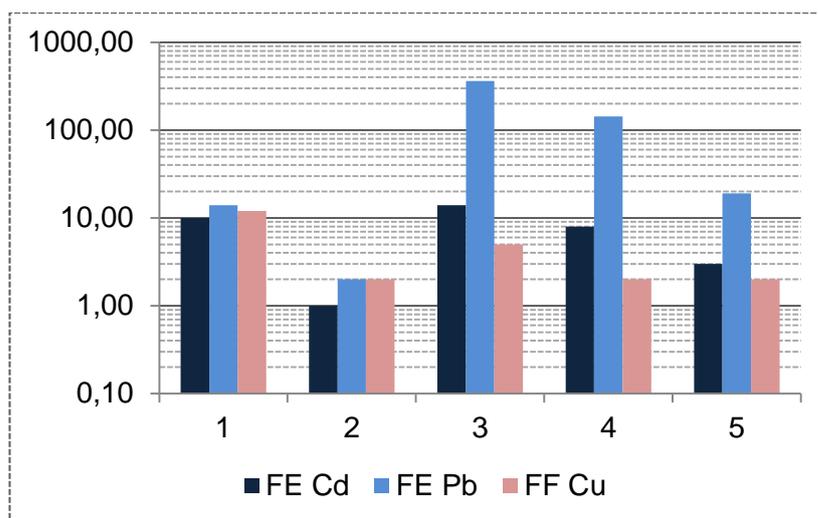


Figura 23 - Fatores de enriquecimento dos metais nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.

Ao longo do percurso do rio, nota-se que os sedimentos menos contaminados são os do ponto 2, que situa-se em Oliveira dos Campinho. Os baixos valores de FE observados nesse ponto para todos os metais indicam contribuições litogênicas nesse percurso do rio. Já no ponto 1, observam-se valores de FE entre 10 e 16. Certamente, os impactos das atividades urbanas e industriais de Feira de Santana estão contribuindo para o enriquecimento de contaminantes metálicos nesse trecho do rio.

Os sedimentos com maior enriquecimento de metais provem dos pontos 3, 4 e 5 a jusante da Plumbum, em Santo Amaro. Nesses pontos observam-se valores de FE decrescendo sistematicamente com o aumento da distância à fábrica. As contribuições antrópicas no enriquecimento da maioria dos metais para este trecho do rio, com exceção do Cu, que em ambos os pontos não se encontra enriquecido e do Cd no ponto 5, provem principalmente da fábrica localizada a poucos metros de distância do rio Subaé.

Mais a jusante nos sedimentos do estuário, verificou-se que os pontos 6 e 7, foram os menos enriquecidos por todos os metais (Figura 24). Vale lembrar, que as concentrações dos metais observadas nos dois pontos foram altas, porém os valores de FE são baixos, indicando ausência de contribuições antrópicas. Isso mostra que nesses pontos o conteúdo de sedimentos finos (silte + argila) deve ser o principal contribuinte de metais na área, uma vez que os mesmos sedimentos apresentaram teores altos de metais, e quando submetidos ao fator de enriquecimento, mostraram-se não contaminados.

Pelas concentrações dos metais analisados anteriormente, esperava-se para os pontos 8 e 9, valores de FE mais baixos do que nos pontos 6 e 7, porém esses dois pontos apresentaram valores de FE entre 20 e 40 mais elevados para todos os metais, sendo classificadas com um grau de contribuição antropogênica altíssimo.

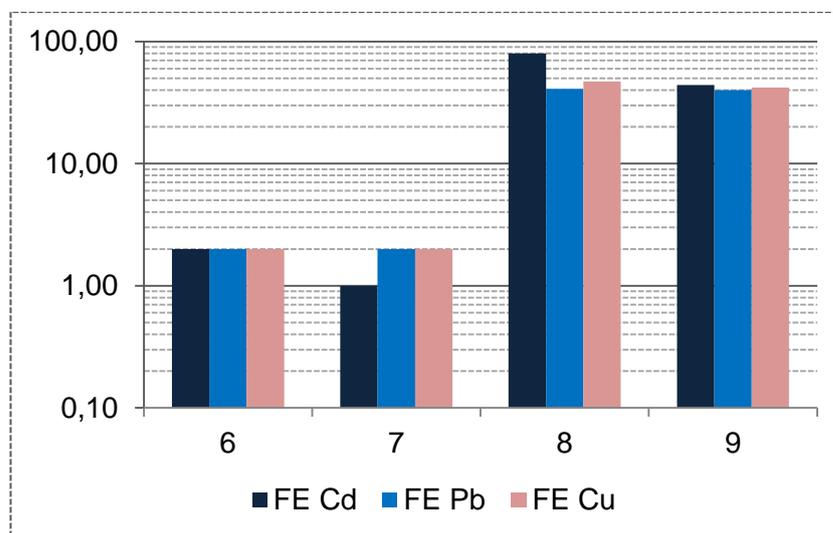


Figura 24 - Fatores de enriquecimento dos metais nos sedimentos estuarinos do rio Subaé-BA.

As concentrações baixas de alumínio, associada a uma tendência mais arenosa observadas nos pontos 8 e 9, indicam que esses sedimentos não possuem minerais que naturalmente adsorvem metais tóxicos, assim, as concentrações desses metais mesmo baixas, são associadas às atividades antropogênicas desenvolvidas na região.

Portanto, os sedimentos avaliados nesse estudo encontram-se bastante comprometidos, pois mesmo os que apresentaram concentrações mais baixas, quando submetidas aos cálculos do FE, mostraram que o rio Subaé e seu estuário encontram-se ameaçados pelas diversas atividades desenvolvidas as suas margens, ao longo de todo o seu percurso, resultados de uma ocupação desordenada das terras em seu entorno (SANTOS, 2013).

7. CONCLUSÕES

No presente estudo, avaliando os sedimentos do rio Subaé conclui-se que:

1. As correlações positivas da matéria orgânica com a fração fina (silte e argila) e inversa com a areia evidenciam que a matéria orgânica nos sedimentos avaliados no presente estudo, encontra-se acumulada preferencialmente nos trechos do rio com maior concentração de sedimentos finos.
2. Nos sedimentos fluviais do rio Subaé, os metais traço apresentam correlações inversas e/ou não correlação com o Fe, Mn, Al e MO, evidenciando que os metais traço no rio não estão sendo controlados por processos geoquímicos que envolvem reações com óxi-hidróxidos de Fe e Mn, adsorção por argilo-minerais ou pelo mecanismo de complexação organometálica, indicando que estão ocorrendo na área por fontes antropogênicas, tal como transporte de partículas de escória ou íons dissolvidos.
3. Nos sedimentos estuarinos os metais apresentam correlações positivas dos metais com o Fe, Mn, Al, mostrando que esses elementos contribuem para a distribuição de contaminantes no estuário.
4. Os maiores teores de Cd e Pb no rio Subaé, encontram-se nos sedimentos fluviais de Santo Amaro, devido às contribuições da Plumbum, fonte potencial desses elementos provenientes da deposição de resíduos que foram produzidos pela fábrica nesta cidade. Enquanto isso, o Cu esteve mais concentrado nos sedimentos do estuário, oriundo de fontes antropogênicas independente da poluição do rio Subaé.
5. Os sedimentos estudados apresentam-se potencialmente contaminados por apresentarem conteúdos metálicos, com concentrações acima dos limites

mínimo de alerta (TEL), incluindo os sedimentos em profundidade na maioria dos perfis.

6. Por fim, foram observados que ao longo do curso do rio os sedimentos de alguns pontos apresentaram teor alto de metais com valores de FE baixo, provavelmente pela concentração natural de argilas que possuem naturalmente metais traço co-precipitados, evidenciando sedimentos não contaminados. Concentrações baixas com valores de FE altos foram encontradas nos sedimentos arenosos ligeiramente contaminados.
7. Os metais ao longo do rio mostraram-se enriquecidos por contribuições antropogênicas, desde seu alto curso em Feira de Santana até próximo a sua foz no estuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÔRNO, E. V. **Avaliação da influência de aspectos socioambientais do alto da bacia do rio Subaé sobre a qualidade das águas superficiais**. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) departamento de Ciências Exatas - UEFS, Feira de Santana-BA, 138 f, 2012.

ALLAN, R. J. Estuarine and coastal water contamination, an issue for the 1990's. In: ALLAN, R. J. et al. (ed.). **Fate and Effects of Toxic Chemicals in Large Rivers and Their Estuaries**. Amsterdam: Elsevier. 1990. 8 p.

ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. Second edition. Blackie Academic and Professional, London, 1995. 368 p.

ANDRADE LIMA, L. R. P.; BERNARDEZ, L. A. Characterization of the lead smelter slag in Santo Amaro, Bahia, Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, 189(30):692-699, 2011.

ANJOS, J. A. S. A. dos. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação-BA**. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 227 p, 2003.

ASEVEDO, L. P. **Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação**. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas), UFRB, Cruz das Almas-BA, 93 f, 2012.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto Radam Brasil. Folha SD. 24 Salvador. **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 624 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 24).

BRADY, N. C. **The nature and properties of soil**. Trad., A. B. N. F. 7. (ed). Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.

BOAVENTURA, S. F.; HADLICH, G. M.; CELINO J. J. Índices de contaminação de metais traço em encostas, manguezais e apicuns, Madre de Deus, Bahia. **Geociências**, UNESP-SP, 30(4):631-639, 2011.

BOMFIM, M. R. **Características de ecossistemas manguezais contaminados por metais traços**. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências – UFB, Salvador-BA, 108 f, 2014.

BORGES, A. C. et al. Distribuição espacial de ferro, cobre e chumbo em sedimentos de manguezal em um gradiente de degradação na Baía de Guanabara (Estado do Rio de Janeiro). **Química Nova**, 30(1):66-69, 2007.

CENTRO DE RECURSOS AMBIENTAIS. CRA. Bacias hidrográficas do Recôncavo Norte. Salvador : CRA, 2001.

CESAR, R, G. **Metais Pesados em Solos e Sedimentos Fluviais em Antiga Área de Garimpo de Ouro em Descoberto (Minas Gerais): Uma Abordagem Biogeoquímica e Ecotoxicológica**. Dissertação (Mestrado em geologia) – UFRJ-RJ, 2009.

CHATTERJEE, M. et al. Distribution and possible source of trace elements in the sediment cores of a tropical macrotidal estuary and their ecotoxicological significance. **Environment International**, 33:346-356, 2007

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Diagnóstico do Município de Feira de Santana - Bahia / Ângelo Vieira... [et al.] ... Salvador: CPRM/PRODEEM, 2005. 13 p.

CRUZ, M. A. S. **Avaliação da geoquímica dos sedimentos superficiais das nascentes do rio Subaé-BA**. Dissertação (Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) departamento de ciências exatas – UEFS, Feira de Santana-BA, 102 f, 2012.

DEER, W. A; HOWIE, R. A; ZUSSMAN, J. **Minerais Constituintes das Rochas/Uma Introdução**. Tradução de Luis E. Nabais Conde. Fundação Calouste Gulbencian/Lisboa, 1966.

Diagnóstico Municipal de São Francisco do Conde-BA / Lânia Pereira... [et al.] – (Prefeitura Municipal de São Francisco do Conde-BA), 2008.

EMBRAPA. Estudo de correlação de solos para fins de classificação nas regiões do recôncavo baiano e microrregião de Irecê-BA / Tony Jarbas Ferreira Cunha... [et al.] ... **CD-ROM** - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa; n. 9). ISSN 1517-5219, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. (ed). Rio de Janeiro, Centro de Pesquisa de Solos, 2011. 225 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA. 2013. 353 p.

FORSTNER, W. G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2. (ed). **Springer Verlage**, New York, 1993

FÖRSTNER, U. In Chemical Methods for Assessing Bioavailable Metals in Sludges; LECHSBER, R.; DAVIS, R. A.; HERMITTE, P. L. (ed). **Elsevier: London**, 1985.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. Metal pollution in the aquatic environment. **Springer Verlag**, 486 p, 1981.

GARCIA, C. A. B.; PASSOS, E. A.; ALVES, J. P. H. Assessment of trace metals pollution in estuarine sediments using SEM-AVS and ERM-ERL predictions. **Environ Monit Assess**, 181:385-397, 2011.

GARCIA, K. S. **Biodisponibilidade e toxicidade de contaminantes em sedimentos na porção nordeste da Baía de Todos os Santos**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) Departamento de Geoquímica. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, 120 f, 2009.

GARCIA, K. S. et al. Geoquímica de sedimentos de mangue em São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA. **Revista Geochimica Brasiliensis**, 21(2):167-179, 2007.

GOMES, R. L. **Análise geoquímica dos sedimentos de fundo do setor noroeste da Baía de Todos os Santos**. Monografia (Graduação em geologia) Instituto de Geociências – UFB, Salvador-BA, 75 f, 2011.

GOMES, M. V. T. et al. Concentrações e associações geoquímicas de Pb e Zn em sedimentos do rio São Francisco impactados por rejeitos da produção industrial de zinco. **Revista Química Nova**, 33(10):2088-2092, 2010.

HATJE, V.; ANDRADE, J. B. Contaminação química. In: HATGE, V.; ANDRADE, J. B. (orgs.), **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: (ed). UFBA, 2009. 4 p.

HILTON, J.; DAVISON, W.; OCHSENBEIN, U. A mathematical model for analysis of sediment core data: implications for enrichment factor calculations and trace metal transport mechanisms. **Chemical Geology**, 48:281-291, 1985.

HORTELLANI, M. A. et al. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos–São Vicente. **Química Nova**, 31:10-19, 2008.

ISO 11466. 1995. Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia.

LARROSE, A. et al. Assessing the current state of the Gironde Estuary by mapping priority contaminant distribution and risk potential in surface sediment. **Applied Geochemistry**, 25(12):1912-1923, 2010.

MACHADO, S. L. et al. PROJETO PURIFICA – Proposta para remediação de áreas degradadas pela atividade extrativa de chumbo em Santo Amaro da Purificação. Salvador-BA, 2003.

MELLO, F. R.; CHAVES, J. M. Mapeamento do uso e ocupação do solo urbano de Feira de Santana-BA, utilizando imagens de média resolução das plataformas Cbers 2 e Landsat 7. In: Simpósio Nacional de Recursos Tecnológicos Aplicados à Cartografia e XVIII Semana de Geografia. Maringá, 21 a 25 de setembro de 2009. p. 207-218 ISSN 2175-5965.

MIDUGNO, R. **Análise geoquímica comparativa entre arroios do município de Porto Alegre e corpos d'água da bacia hidrográfica do Lago Guíba, Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências - UFRGS, Porto Alegre, 152 f, 2012.

MORTATTI, J.; HISSLER, C.; PROBST, J. L.; Distribuição de Metais Pesados nos Sedimentos de Fundo ao Longo da Bacia do Rio Tietê. **Revista do Instituto de Geociências-USP**, 10(2):3-11, 2010.

AGUIAR NETO, A. B. de.; GOMES, D. F.; FREIRE., G. S. S. Origem e deposição da matéria orgânica em sedimentos de mangue na porção Nordeste da Bahía de Todos os Santos, Bahia. **Revista Geologia**, 25(1):7-17, 2012.

NOAA. Valores-guias de qualidade de sedimento de metais traço em sedimentos de água doce adotados pela NOAA (mg kg^{-1} , base seca). Disponível em http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/122_new-squirts.pdf. Acesso em 05 julho de 2014.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. Screening Quick Reference Tables, **National Oceanic and Atmospheric Administration.** Seattle USA, 1999. 12p.

ONOFRE, C. R. de E. et al. Biodisponibilidade de metais traços nos sedimentos de manguezais da porção norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 7(2):65-82, 2007.

PEREIRA, J. C. et al. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. **Química Nova**, 30(5):1249-1255, 2007.

PEREIRA, C. D.; QUINÁIA, S. P. Estudo do coeficiente de distribuição do Cr em águas naturais. **Ambiência**, 3(1):27-37, 2007.

PEREIRA, L. B. F. **Distribuição de metais pesados e cianeto total nos sedimentos de drenagem e pilha de rejeito na área da mina Bomfim, município de Lajes, Natal.** Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais, Hídricos e Meio Ambiente), Centro de Ciências Exatas e da Terra, UFRGN, Natal-RN, 134 p, 2003.

REIMANN, C.; CARITAT, P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. **Science of the Total Environment**, 337:91-107, 2005.

REIMANN, C.; CARITAT, P. Chemical elements in the environment. **Springer-Verlag**, Berlin Heidelberg New York, 1998. 398 p.

RIBEIRO, C. M. C. M. **Estabelecimento de uma rotina laboratorial para análise química de sedimentos e sua aplicação a sedimentos continentais do Minho (NW Portugal): contribuição para a reconstituição paleoambiental da região.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente), Universidade do Minho, 182 p, 2005.

SANTOS, L. T. S. de O. **Análise da qualidade da água superficial do rio Subaé-Bahia e influência do uso e ocupação do solo em seu entorno.** Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) Departamento de ciências exatas, UEFS, Feira de Santana-BA, 88 f, 2013.

SANTOS, J. B.; QUEIROZ, A. F. De S.; CELINO, J. J. Estatística multivariada de metais em sedimentos superficiais de manguezais na porção norte da Baía de Todos os Santos, Bahia. **Cadernos de Geociências**, 7(2): 80-87, 2010.

SANTOS, R. L.; ANDRADE, H. O. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, 40:77-84, 2008.

SILVA, N. M. B.; ARAÚJO, O.; SANTOS, R. L. Cartografia Digital dos Solos de Feira de Santana-Ba e elaboração de um SIG Agro-pedológico. Disponível em: < http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/092-SG28.pdf >. Acesso em 12 de julho de 2014.

SIQUEIRA, G. W. **Estudos dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do Sistema Estuarino de Santos (Baixada Santista/São Paulo) e Plataforma Continental do Amazonas (Margem Continental Norte do Brasil).** Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo-SP, 386 f, 2003.

SUKREEYAPONGSE, O. et al. pH-dependent release of cadmium, copper, and lead from natural and sludgeamended soils. **Journal Environmental Quality**, 31:1901-1909, 2002.

TESSIER, E. et al. Study of the spatial and historical distribution of sediment inorganic contamination in the Toulon bay (France). **Marine Pollution Bulletin**, 62:2075-2086, 2011.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of climatology, 1955, Vol. VIII, Nº 1.

WASSERMANN, J. C.; QUEIROZ, E. L. The attenuation of concentrations model: a new method for assessing mercury mobility in sediments. **Química Nova**, 27(1):17-21, 2004.

ANEXOS

Anexo 1

Imagens da área experimental no período de coletas



Figura 25 - Imagem do rio Subaé na cidade de Feira de Santana-BA.



Figura 26 - Imagem do rio Subaé na cidade de Santo Amaro-BA, próximo a Plumbum.



Figura 27 - Imagem da área estuarina do rio Subaé-BA.

Anexo 2

Resultado das análises físico-químicas das amostras de sedimentos

Tabela 10 - Granulometria e MO nos perfis subsuperficiais dos sedimentos do rio Subaé-BA.

Perfil	Profundidade	MO	Areia	Silte	Argila
	%.....			
1	0-5	93,0	41,6	5,1	53,3
1	5-10	94,0	53,6	17,8	28,6
1	10-15	90,7	6,8	31,8	61,4
1	15-20	92,6	69,1	22,9	8,0
1	25-30	89,0	10,1	24,7	65,2
2	0-5	86,5	62,3	21,2	16,6
2	5-10	85,5	50,6	27,3	22,1
2	10-15	85,7	56,0	23,8	20,2
2	15-20	88,2	75,8	18,6	5,6
2	20-25	76,8	42,6	38,0	19,4
2	25-30	88,4	63,4	29,1	7,5
3	0-5	2,0	67,0	22,1	11,0
3	5-10	3,0	53,6	36,4	10,0
3	10-15	3,0	54,8	33,2	12,0
3	15-20	1,7	64,5	31,5	4,0
3	20-25	1,6	66,1	21,0	13,0
3	25-30	1,8	67,6	25,5	7,0
3	30-35	1,3	74,7	16,4	9,0
3	35-40	3,8	76,3	20,7	3,0
4	0-5	0,9	74,0	23,0	3,0
4	5-10	3,3	40,1	37,0	23,0
4	10-15	2,7	50,2	32,8	17,0
4	15-20	4,0	41,6	35,4	23,0
4	20-25	3,8	40,4	34,7	25,0
4	25-30	3,5	38,6	37,5	24,0
4	30-35	5,1	54,0	24,0	22,0
4	35-40	3,6	27,5	39,2	33,3
5	0-5	0,6	83,5	16,5	0,0
5	5-10	0,4	81,0	16,0	3,0
5	15-20	0,4	83,2	16,8	0,0
5	20-25	0,4	82,4	13,6	4,0

Tabela 11 - Granulometria, MO e pH das amostras de sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA, coletados na profundidade de 0-20 cm.

Ponto	Areia	Silte	Argila	MO	pH
%.....				
1	20,2	21,3	58,5	92,5	6,4
2	67,1	22,4	10,5	89,2	5,6
3	70,4	20,2	9,5	1,8	3,0
4	78,0	17,6	4,5	0,8	3,1
5	89,2	7,9	3,0	0,3	2,9

Tabela 12 - Granulometria, MO e pH das amostras de sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Pontos	Areia	Silte	Argila	MO	pH
%.....				
6	4,4	84,7	10,9	91,1	4,9
7	17,6	18,3	64,2	85,7	6,2
8	50,2	22,1	27,7	95,4	4,3
9	22,0	26,1	51,9	88,7	5,3

Anexo 3

Resultado das análises dos metais nas amostras de sedimentos

Tabela 13 - Teores pseudo-totais dos metais traço nos perfis de sedimento da área fluvial do rio Subaé-BA.

Perfil	Profundidade	Cd	Pb	Zn
		mg kg ⁻¹		
		MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP
1	0-5	nd*	6,53±0,6	3,77±0,3
1	5-10	0,84±0,3	10,56±0,8	5,44±0,2
1	10-15	1,16±0,3	11,87±1,5	7,2±0,1
1	15-20	1,49±0,4	12,93±1,6	7,27±0,2
1	20-25	0,96±0,0	14,96± 0,1	6,8± 0,1
2	0-5	0,23±0,0	7,83±0,8	5,1±1,5
2	5-10	0,22±0,3	9,73±0,0	4,87±0,1
2	10-15	0,13±0,0	8,87±0,4	4,67±0,1
2	15-20	nd*	6,07±0,6	2,62±0,1
2	20-25	0,18±0,0	9,96±0,4	6,87±0,1
2	25-30	nd*	5,73±0,9	2,93±0,5
3	0-5	nd*	37,53±1,2	30,18±2,0
3	5-10	nd*	40,15±0,4	29,3±0,5
3	10-15	nd*	39,87±2,2	24,64±0,7
3	15-20	nd*	39,68±1,2	20,13±0,7
3	20-25	nd*	42,87±1,3	17,42±0,5
3	25-30	nd*	44,63±1,1	21,85±0,9
3	30-35	nd*	44,38±0,7	17,05±0,4
3	35-40	nd*	45,87±1,5	20,54±1,6
4	0-5	nd*	42,05±7,8	39,58±1,2
4	5-10	nd*	23,62±0,3	43,82±1,3
4	10-15	nd*	27,51±0,6	47,53±1,2
4	15-20	nd*	24,46±0,3	47,26±0,7
4	20-25	nd*	25,39±0,1	44,61±3,5
4	25-30	nd*	24,08±0,6	33,16±0,7
4	30-35	nd*	23,85±1,4	32,11±1,8
4	35-40	nd*	26,13±1,2	54,21±0,9
5	0-5	0,17	21,19±1,0	57,11±3,8
5	5-10	0,22	58,35±1,7	219,3±12,6
5	15-20	nd*	110±1,0	323,8±6,2
5	20-25	0,2	48,08±2,5	128±7,2

nd* (não detectado, valor abaixo do limite de detecção).

Tabela 14 - Teores pseudo- totais dos metais das amostras de sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA, coletados na profundidade de 0-20 cm.

Pontos	Fe	Mn	Ca	Mg	Al
	mg kg ⁻¹				
	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP
1	15504±8612,1	50,9±11,1	166,7±102,1	955,61±745,3	1746,1±1272,5
2	17592±1576,7	288,3±115,2	248,3±79,7	1317,4±136,3	16029±1039,6
3	18507±3,6	179,5±0,0	704,1±2,0	2780,9±0,0	10748±0,0
4	14347±60,0	144,2±0,8	518,6±5,3	2073,6±21,3	10008±33,3
5	13292±101,4	381,2±5,9	170,3±7,9	2538±52,9	10988±85,1

MÉD (média); DP (desvio padrão).

Tabela 15 – Teores pseudo- totais dos metais nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Pontos	Fe	Mn	Ca	Mg	Al
	mg kg ⁻¹				
	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP
6	20520±9161,2	101,6±36,0	262,6±79,3	5918,4±2648,0	27250±13757,6
7	36920±67,0	268,8±23,1	503,5±25,6	11169±104,4	53767±819,4
8	12848±2800,3	80,3±22,6	184,6±55,3	3780,7±925,6	630,4±150,1
9	29422±8339,2	237,8±87,1	1241,7±855,2	10992±4186,6	1666,9±536,1

MÉD (média); DP (desvio padrão).

Tabela 16 – Teores pseudo-totais dos metais traço nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA.

Pontos	Cd	Pb	Zn	Cu
	mg kg ⁻¹			
	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP
1	0,33± 0,0	5,8±2,0	4±2,0	10,71±8,1
2	0,17± 0,0	11,04±0,7	5,2±0,8	13,41±1,9
3	1,8±0,0	1280,7±1,0	401,33±2,0	23,87±3,0
4	0,9±0,0	470,23±28,5	159,7±5,7	11,57±0,4
5	0,38±0,2	68,91±28,3	30,6±9,2	9,09±0,8

MÉD (média); DP (desvio padrão).

Tabela 17 - Teores pseudo-totais dos metais traço nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Pontos	Cd	Pb	Zn	Cu
	mg kg ⁻¹			
	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP	MÉD±DP
6	0,66±0,2	20,03±10,9	11,14±5,1	26,07±13,8
7	0,71± 0,1	34,09±3,6	20,2±0,7	40±0,7
8	0,5± 0,1	8,87±4,2	5,99±1,9	14,13±2,6
9	0,74±0,1	21,34±6,4	13,94±3,7	34,14±11,7

MÉD (média); DP (desvio padrão).

Anexo 4

Resultados dos cálculos do fator de enriquecimento para os metais analisados nas amostras de sedimentos

Tabela 18 - Fator de enriquecimento dos metais nos sedimentos da área fluvial do rio Subaé-BA, coletadas na profundidade de 0-20 cm.

Pontos	FE Cd	FE Pb	FE Zn	FE Cu
1	10	14	15	12
2	1	2	2	2
3	14	362	210	5
4	8	143	90	2
5	3	19	16	2

Tabela 19 - Fator de enriquecimento dos metais nos sedimentos do estuário do rio Subaé-BA.

Pontos	FE Cd	FE Pb	FE Zn	FE Cu
6	2	2	2	2
7	1	2	2	2
8	80	41	53	47
9	44	40,1	48	42