



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**DISTRIBUIÇÃO E PARTIÇÃO GEOQUÍMICA
DE METAIS TRAÇO NA COSTA NORTE DE
FORTALEZA, CE**

SAULO ROBERIO RODRIGUES MAIA

**FORTALEZA - CE
JULHO DE 2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**DISTRIBUIÇÃO E PARTIÇÃO GEOQUÍMICA
DE METAIS TRAÇO NA COSTA NORTE DE
FORTALEZA, CE**

SAULO ROBERIO RODRIGUES MAIA

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Prof^ª. Dra. Rozane Valente Marins

FORTALEZA - CE

JULHO DE 2004

M 188d Maia, Saulo Roberio Rodrigues

Distribuição e Partição Geoquímica de metais traço na Costa Norte de Fortaleza, CE / Saulo Roberio Rodrigues Maia; Rozane Valente Marins (Orientador). – Fortaleza: [s.n.], 2004.

105 f.: il.

Dissertação (Mestrado) em Ciências Marinhas Tropicais – Universidade Federal do Ceará. Instituto de Ciências do Mar, 2004. Rozane Valente Marins (Orientador).

1. Geoquímica. 2. Metais traço 3. Meio ambiente - Zona costeira - Fortaleza (CE). I. Título. II. Marins, Rozane Valente.

CDD 551.9

Após a finalização dos trabalhos da Defesa de Dissertação de Mestrado de SAULO ROBERIO RODRIGUES MAIA, “Distribuição e Partição Geoquímica de metais traço na Costa Norte de Fortaleza, CE”, a Banca Examinadora considerando o conteúdo do trabalho e a apresentação realizada considera a **Dissertação Aprovada**.

Aprovada em 15 de julho de 2004

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Rozane Valente Marins (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Luís Parente Maia
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dr. Maurício Mussi Molisani
Universidade Federal Fluminense - UFF

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos e à Mirna pelo seu incentivo, companheirismo e compreensão durante a realização desta e de outras etapas da vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela sabedoria e saúde necessários para a realização deste trabalho.

À professora Rozane Valente Marins pela acolhida no grupo de pesquisa, paciência durante a realização das tarefas do cotidiano e inestimável orientação para a realização deste trabalho e de outros projetos realizados.

Ao professor Luiz Drude de Lacerda pelo apoio, incentivo e conhecimento compartilhado.

Ao professor Luís Parente Maia e ao mestrando Leonardo, pela confecção dos mapas no programa ArcView.

Aos amigos do Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LBGQ) do LABOMAR, Júnior, Ilene, Franzé, Edvar, Janaína e Djalma pelo companheirismo, ajuda e estímulo que me dedicaram durante a realização deste trabalho.

À Ilene e ao Júnior por terem ensinado as técnicas e metodologias já implantadas no laboratório com paciência e atenção.

Ao Franzé pela confecção do mapa nos programas AutoCad e Suffer e pela estimável ajuda nas análises do carbonato.

Aos amigos de coletas Júnior, Edvar, Franzé, Ilene, Miguel, Wilson, Rodrigo, Nonato e à tripulação do barco de pesquisa do LABOMAR, Prof. Martins Filho.

Aos amigos de turma de mestrado: Antônio Carlos, Edite, Enox, Júnior, Leila, Maria Lúcia, Pedro Alexandre e Rosa Alice, pelo companheirismo durante o curso.

Ao corpo docente e aos funcionários do LABOMAR, pela acolhida recebida ao longo desse período.

Ao Laboratório de Microbiologia do LABOMAR pelo agitador cedido às análises de extrações seqüenciais.

À FUNCAP – Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte financeiro não somente à minha pessoa como à maioria dos alunos do curso de Mestrado do LABOMAR e do Estado do Ceará.

À Companhia Docas do Ceará e à Federação das Indústrias do Estado do Ceará pelos dados fornecidos para a dissertação.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

No Ceará a zona costeira representa apenas 14,38% do território estadual, mas possui 48,9% da população do estado (IBGE, 2002). Na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) a densidade demográfica da Zona Costeira Cearense (ZCC) aumenta para 598,00 hab/km², atingindo valores ainda maiores quando focada a cidade de Fortaleza (6.814 hab/km²). Na década de 70, Fortaleza teve um salto de crescimento urbano, desordenado, na sua área costeira, com uma série de construções que afetaram de maneira direta a sua linha de costa, tais como o antigo e atual porto de Fortaleza.

Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a influência das atividades antrópicas sobre a emissão de metais e sobre a distribuição e partição geoquímica destes metais contidos nos sedimentos da região costeira da RMF.

Analisados os teores de Hg, Cu, Cd, Pb, Zn, Al e Fe, nos sedimentos costeiros coletados em duas campanhas, nos períodos de chuva e seca, não foi encontrada diferença estatística entre resultados obtidos relativos às diferentes campanhas, exceto para o Fe. Os teores médios obtidos foram: 0,72 a 17,54 ng.g⁻¹ de Hg, 0,32 a 4,64 µg.g⁻¹ de Cu, 0,13 a 0,77 µg.g⁻¹ de Cd, 3,29 a 13,00 µg.g⁻¹ de Pb, 1,81 a 18,64 µg.g⁻¹ de Zn, 0,78 a 9,12 mg.g⁻¹ de Al, 0,76 a 9,27 mg.g⁻¹ (Período chuvoso) e 1,28 a 13,92 mg.g⁻¹ (Período de seca) de Fe.

Todos os metais apresentaram correlações significativas com os principais carreadores geoquímicos, isto é com a matéria orgânica, o alumínio e o ferro, menos com os carbonatos, mostrando que este substrato não é um retentor geoquímico eficaz de metais.

Apesar do oceano ser um bom diluidor de contaminantes foi verificada áreas de concentrações de metais próximas à linha de costa, à região do porto e à saída do Emissário Submarino de Fortaleza (ESF) se dispersando no sentido E-W da deriva litorânea.

O ESF mostrou-se ser fonte pontual de mercúrio, cobre, zinco, cádmio e chumbo, entretanto o enriquecimento do sedimento por Hg, Cu e Zn ainda é de baixo grau.

Também foi observado que o *runoff* urbano é importante emissor de Cd e Pb, tendo em vista as elevadas concentrações encontradas próximas à linha de costa.

A distribuição dos metais mostrou que há dois importantes fatores determinantes do comportamento destes metais em sedimentos costeiros da RMF. O primeiro fator está relacionado aos carreadores geoquímicos que predominantemente influenciam o comportamento do cobre, do chumbo e do zinco. O segundo fator está relacionado à proximidade e/ou intensidade das áreas fontes e dominou o comportamento do Hg e do Cd.

Palavras-chave: Metais traço; Fortaleza; Sedimento costeiro; Fontes; Carreadores geoquímicos.

ABSTRACT

The coastal zone of Ceará State corresponds to only 14.38% of the State's territory but harbors about 48.9% of its total population. The Metropolitan Region of Fortaleza (RMF), the State's Capital population density at the coastal zone reaches 598 inhab/km², and 6.814 inhab/km² when only the city of Fortaleza itself is considered. During the 1970's, Fortaleza witnessed an accelerated and unplanned urban growth along its coastal zone including engineering works, which affected the coastline itself, including the Fortaleza Harbor and may have increased pollutants emissions to the coastal region. Therefore, this study aims to evaluate the influence of these antropogenic developments on the emissions of trace metals and their distribution and geochemical partitioning in bottom sediments collected along the RMF coastal region.

In two field campaigns, in the rain and dry season, the concentrations of Hg, Cu, Cd, Pb, Zn, Fe and Al, were measured in bottom sediments of the coastal zone. There was no significant difference between the two campaigns for all trace metals, except for Fe. Measured concentrations varied between 0.72 to 17.54 ng.g⁻¹ for Hg; 0.32 to 4.64 µg.g⁻¹ for Cu; 0.13 to 0.77 µg.g⁻¹ for Cd; 3.29 to 13.00 µg.g⁻¹ for Pb; 1.81 to 18.64 µg.g⁻¹ for Zn; 0.78 to 9.12 mg.g⁻¹ for Al, 0.76 to 9.27 mg.g⁻¹ (rain season) and 1.28 to 13.92 mg.g⁻¹ (dry season) for Fe.

All trace metals concentrations presented significant positive correlation with the major geochemical carries analyzed, i.e. organic matter content, Aluminum and Iron, except for carbonates, carbonates are not efficient carriers of metals in these metals.

Although the oceanic water mass acts as a large diluter of contaminants, areas of higher trace metal concentrations were observed close to the shoreline, at the area of influence of the Fortaleza Harbor and near the outlet of a submarine wastewater outfall. Concentrations decrease in an E-W direction following the littoral drift.

The submarine wastewater outfall of Fortaleza showed an important point source of Hg, Cu, Zn, Cd and Pb. Although absolute concentrations of these trace metals were, in general, low. The higher concentrations along the shoreline suggest that urban runoff is also a significant source of trace metals, in particular of Cd and Pb.

The spatial distribution of trace metals concentrations showed two important factors determining the behavior of trace metals in the bottom sediments of the RMF. The first factor is related to the concentrations of the geochemical carriers, which influence the behavior of Cu, Pb and Zn. The second factor is the proximity and/or the intensity of area sources and dominated the behavior of Hg and Cd.

Keywords: Trace Metals, Fortaleza, Coastal sediments, Sources, Geochemical carriers.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Foto da Praia da Volta da Jurema, Mucuripe em 1939	16
FIGURA 1.2 – Localização das grandes construções ao longo da costa norte de Fortaleza a partir de 1807 até dias atuais	19
FIGURA 3.1 – Área de estudo	36
FIGURA 3.2 – Direção E-W dos ventos no litoral de Fortaleza	45
FIGURA 4.1 – Pontos de amostragem ao longo da costa	50
FIGURA 4.2 – Sistema para análise do carbonato	55
FIGURA 5.1 – Distribuição de Hg, em ng.g^{-1} , nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	66
FIGURA 5.2 – Distribuição de Cu, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	69
FIGURA 5.3 – Distribuição de Cd, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	72
FIGURA 5.4 – Distribuição de Pb, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	75
FIGURA 5.5 – Distribuição de Zn, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	78
FIGURA 5.6 – Distribuição de Al, em mg.g^{-1} , nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	81
FIGURA 5.7 – Correlação estatística do Hg com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF excluído o pt. 02	85
FIGURA 5.8 – Correlação estatística do Hg com o Al em sedimentos da RMF excluído o pt. 02	86
FIGURA 5.9 – Correlação estatística do Hg com o Carbonato em sedimentos da RMF excluído o pt. 02 (n=25).	86
FIGURA 5.10 – Correlação estatística do Cu com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF	86
FIGURA 5.11 – Correlação estatística do Cu com o Al em sedimentos da RMF	87
FIGURA 5.12 – Correlação estatística do Cu com o Carbonato em sedimentos da RMF	87
FIGURA 5.13 – Correlação estatística do Cd com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF	87
FIGURA 5.14 – Correlação estatística do Cd com o Al em sedimentos da RMF	88
FIGURA 5.15 – Correlação estatística do Cd com o Carbonato em sedimentos da RMF	88
FIGURA 5.16 – Correlação estatística do Zn com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF	88

FIGURA 5.17 –	Correlação estatística do Zn com o Al em sedimentos da RMF	89
FIGURA 5.18 –	Correlação estatística do Zn com o Carbonato em sedimentos da RMF	89
FIGURA 5.19 –	Correlação estatística do Pb com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF	89
FIGURA 5.20 –	Correlação estatística do Pb com o Al em sedimentos da RMF	90
FIGURA 5.21 –	Correlação estatística do Pb com o Carbonato em sedimentos da RMF	90
FIGURA 6.1 –	Linhas de teores máximos de metais, paralelos à linha de costa	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1	–	Crescimento populacional de Fortaleza no século XX (adaptado do IBGE, 1920; 1940; 1950; 1960; 1970; 1980; 1991 e 2000)	18
TABELA 1.2	–	Porcentagem da população servida por água, saneamento básico e coleta de lixo em Fortaleza (Adaptado do IBGE, 2000)	18
TABELA 1.3	–	Descrição dos pontos da Figura 1.2	20
TABELA 1.4	–	Principais indústrias do Distrito Industrial de Maracanaú por nº de funcionários com suas respectivas atividades (adaptado de FIEC, 2004)	22
TABELA 1.5	–	Principais indústrias de Fortaleza por nº de funcionários com suas respectivas atividades (adaptado de FIEC, 2004)	25
TABELA 1.6	–	Quantidade, em toneladas, de mercadoria movimentada no Porto do Mucuripe por tipo de carga, entre agosto de 2001 e abril de 2004 (adaptado de CDC, 2004b)	28
TABELA 1.7	–	Principais mercadorias movimentadas como carga geral solta, por toneladas, no Porto do Mucuripe, entre agosto de 2001 e abril de 2004 (adaptado de CDC, 2004b)	28
TABELA 1.8	–	Concentrações de metais pesados, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, em sedimentos do Porto Kembla e de um ambiente não contaminado na região (adaptado de He & Morrison, 2001)	31
TABELA 1.9	–	Concentrações, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, de alguns metais traço em depósitos marinhos (adaptado de Chester, 1990)	34
TABELA 4.1	–	Coordenadas dos pontos de amostragem em graus e em UTM	51
TABELA 4.2	–	Valores dos limites de detecção dos espectrofotômetros de absorção atômica para cada metal analisado.	53
TABELA 4.3	–	Composição elementar do folhelho médio	59
TABELA 5.1	–	Resultados da análise dos padrões de referência – NIST 1646a (sedimentos estuarinos)	60
TABELA 5.2	–	Teste de igualdade de variância	61
TABELA 5.3	–	Teste t de Student (igualdade entre médias)	62
TABELA 5.4	–	Teores médios de MO (%) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	63
TABELA 5.5	–	Teores médios de Carbonatos (%) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	64
TABELA 5.6	–	Teores médios de Hg (ng.g^{-1}) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	65
TABELA 5.7	–	Resultados de mercúrio em sedimentos superficiais	67

TABELA 5.8 –	Teores médios de Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	68
TABELA 5.9 –	Resultados de cobre em sedimentos superficiais	70
TABELA 5.10 –	Valores médios de Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos, do ano com desvio padrão da média (DPM) para n=4	71
TABELA 5.11 –	Resultados de cádmio em sedimentos superficiais	73
TABELA 5.12 –	Teores médios de Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	74
TABELA 5.13 –	Resultados de chumbo em sedimentos superficiais	76
TABELA 5.14 –	Teores médios de Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	77
TABELA 5.15 –	Resultados de zinco em sedimentos superficiais	79
TABELA 5.16 –	Teores médios de Al (mg.g^{-1}) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4	80
TABELA 5.17 –	Sazonalidade para os teores de ferro (mg.g^{-1}) segundo os períodos amostrais	82
TABELA 5.18a–	Matriz de correlação entre os metais deste estudo e os carreadores geoquímicos (MO, Al e Carbonato) nos sedimentos (n = 26)*	83
TABELA 5.18b–	Matriz de correlação entre os metais deste estudo com o Fe nas duas campanhas (n = 26)*	83
TABELA 5.19 –	Teores de metais, no material dissolvido, em pontos de amostragem a jusante do ESF	91
TABELA 5.20 –	Matriz de correlação entre os metais nos sedimentos (n = 26)	91
TABELA 5.21 –	Fatores de enriquecimento para os metais Cd, Pb, Hg, Zn e Cu	93
TABELA 5.22 –	Estimativa da emissão de metais pesados pelo ESF	94
TABELA 5.23 –	Cargas de poluentes lançados em águas costeiras da Califórnia (adaptado de Gonçalves & Souza, 1997)	95
TABELA 5.24 –	Estimativa da emissão de metais pelo sistema de esgoto doméstico do Reino Unido (Hutton & Symon, 1986)	95
TABELA 6.1 –	Principais fatores determinantes do comportamento geoquímico de metais na costa da RMF	97

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	9
1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 – Histórico do uso da região costeira de Fortaleza, CE	14
1.2 – A evolução da zona costeira do Estado do Ceará	14
1.3 – Histórico das principais construções na linha de costa	19
1.4 – Atividades antrópicas atuais na RMF	21
1.4.1 – Atividades industriais na RMF	21
1.4.2 – Atividade portuária na RMF	26
1.4.3 – O emissário submarino de Fortaleza (ESF)	28
1.5 – Emissão de metais pesados por atividades antrópicas em regiões costeiras	29
1.6 – Metais traço nos sedimentos costeiros	32
2 – OBJETIVOS	35
3 – ÁREA DE ESTUDO	36
3.1 – Localização e Acesso	36
3.2 – Meio Físico	38
3.2.1 – Geologia da costa	38
3.2.2 – Solos	39
3.2.2.1 – Podzólico Vermelho Amarelo	40
3.2.2.2 – Solos Aluviais	40
3.2.2.3 – Areias Quartzosas Distróficas	41
3.2.2.4 – Areias Quartzosas Marinhas Distróficas	41
3.2.2.5 – Solonchak Solonétzico	41
3.2.3 – Recursos Hídricos Superficiais	42
3.2.3.1 – Sistema Ceará-Maranguapinho	43
3.2.3.2 – Bacia da Vertente Marítima	44
3.2.4 – Clima	45
3.3 – Meio Biótico	46
3.3.1 – Formações vegetais	46
3.3.2 – Comunidades bióticas oceânicas	47
4 – METODOLOGIA	49
4.1 – Metodologia de amostragem e preservação	49
4.2 – Metodologia de análise	52
4.2.1 – Determinação das concentrações dos metais	52

4.2.2 – Determinação do teor da matéria orgânica	54
4.2.3 – Determinação do teor de carbonato	54
4.3 – Validação da metodologia empregada para determinação de metais em sedimentos costeiros	55
4.4 – Partição geoquímica dos metais Hg, Cd, Cu, Pb e Zn	56
4.5 – Determinação dos metais no material em suspensão	57
4.6 – Tratamento estatístico dos dados	57
4.7 – Inventário de metais emitidos através do emissário submarino de Fortaleza	58
4.8 – Programa e modo de plotagem dos resultados de metais em sedimentos da costa da RMF	58
4.9 – Fator de enriquecimento dos metais Hg, Cu, Cd, Zn e Pb na região costeira de RMF	59
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 – Validação da metodologia empregada para a determinação de metais em sedimentos costeiros	60
5.2 – Determinação da variabilidade amostral dos parâmetros geoquímicos entre os períodos de chuva e seca	61
5.3 – Distribuição dos teores de Matéria Orgânica e Carbonatos nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	63
5.4 – Distribuição dos metais nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	65
5.4.1 – Distribuição do mercúrio nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	65
5.4.1.1 – Extração seqüencial seletiva do mercúrio	68
5.4.2 – Distribuição do cobre nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	68
5.4.3 – Distribuição do cádmio nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	70
5.4.4 – Distribuição do chumbo nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	73
5.4.5 – Distribuição de zinco nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	76
5.4.6 – Distribuição de alumínio nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	79
5.4.7 – Distribuição de ferro nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF	82
5.5 – Correlações geoquímicas dos metais	83
5.6 – Distribuição dos metais a jusante do ESF no material em suspensão	90
5.7 – Correlação estatística entre os metais Hg, Cu, Cd, Pb e Zn	91

5.8 – Fatores de enriquecimento	92
5.9 – Inventário da emissão de metais pesados pelo emissário submarino de Fortaleza (ESF)	93
6 – CONCLUSÕES	96
7 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	98

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Histórico do uso da região costeira de Fortaleza, CE

A Zona Costeira Brasileira, segundo o Anuário Estatístico do Brasil (IBGE, 2000) é a área que compreende 20 Km de faixa terrestre e 11,1 Km de faixa marítima, contados sobre uma perpendicular a partir da linha de costa, de acordo com o padrão de referência estabelecido no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), como alternativa diante da inexistência de estudos físico-ambientais e socioeconômicos para aplicação dos critérios existentes no mesmo.

No Ceará a zona costeira representa apenas 14,38% do território estadual, mas possui 48,9% da população do estado (IBGE, 2002), resultando numa densidade demográfica de 176,94 hab/Km² (equivalente a 3 vezes mais a densidade demográfica do resto do estado). Na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) a densidade demográfica da Zona Costeira Cearense (ZCC) aumenta para 598,00 hab/Km², atingindo valores ainda maiores quando nos restringirmos a cidade de Fortaleza com 6.814 hab/Km² o que equivale a 58,56% da população da capital alencarina em uma área de 313,80 Km². Entretanto, este adensamento populacional na região costeira do estado é recente quando comparado o de outros estados brasileiros, tendo na cidade de Fortaleza, por exemplo, o seu grande salto populacional na década de 70 quando passou a ter 19,10% de toda população do estado.

1.2 – A evolução da zona costeira do Estado do Ceará

Segundo Campos *et al.*, (2003) no período colonial a imagem do Ceará não era positiva devido à semi-aridez e aos índios de natureza hostil, isto causou sucessivos fracassos às expedições portuguesas que não ocuparam a capitania por esta não ser adequada a uma cultura agrícola rentável.

A não ocupação da costa cearense facilitou as invasões de países contrários ao Tratado de Tordesilhas, principalmente os holandeses, tal iniciativa forçou Portugal a uma política defensiva de seu território iniciando, assim, construções litorâneas na costa cearense (Campos *et al.*, 2003).

Destas construções pode-se destacar os fortes construídos pelos portugueses como o pequeno Forte de Nova Lisboa, na foz do Rio Ceará (início do século XVII), e o Forte de Schoonenborch (1649) construído pelos holandeses às margens do Riacho Pajeú, hoje Quartel General da 10ª Região Militar (Maia *et al.*, 1998; Campos, *et al.*, 2003). Atualmente, a localização destes fortes está compreendida no perímetro urbano de Fortaleza.

Na época colonial, a força econômica se concentrava no sertão pelas atividades agrícolas como o couro e a carne salgada e no litoral o destaque ficava para a cidade de Aracati, na costa leste do estado, que exportava os produtos do interior do estado. Sem expressividade na economia do estado na época, Fortaleza ficava reduzida a uma função política e burocrática, cidade pobre que não possuía sequer um porto, era considerada como um vilarejo de pescadores onde moravam alguns comerciantes portugueses, uma pequena força militar e o capitão-mor. Este uso para a região permaneceu inalterado até que no século XIX, com a consolidação de seu porto, principalmente devido à exportação do algodão para Inglaterra, Fortaleza subiu no *ranking* de importância no estado do 8º para o 2º lugar ficando atrás de Sobral (principal cidade do Ceará de 1800 a 1850) (Campos *et al.*, 2003).

Legislando sobre as tarifas alfandegárias e aproveitando do seu *status* de capital, Fortaleza passou a investir na sua infra-estrutura como, por exemplo, promovendo a troca do óleo de peixe pelo gás carbônico na iluminação pública (1867). Em 1873 corria o primeiro trem da cidade; inauguração do Cabo Submarino em 1882 e no ano seguinte o início do funcionamento do Serviço Telefônico com aparelhos de manivela (Aderaldo, 1998).

Tais investimentos deram início a um fluxo demográfico no sentido do sertão para o litoral que causaria um maior crescimento da zona urbana. Em 1872, de acordo com o primeiro censo oficial (IBGE, 1959), Fortaleza possuía 42.458 habitantes.

Fortaleza não teve naquele momento um crescimento voltado para as zonas de praia visto que sua elite local tinha caráter interiorano, o que manteve esta zona litorânea como local de habitação de pessoas de baixa renda. A população fortalezense de acordo com o recenseamento de 1900 somava 48.369 habitantes (Girão, 1997).

Assim prosseguiu lentamente o crescimento de Fortaleza por todo o início do século XX. Em 1909, com a chegada do primeiro automóvel, os administradores da

cidade mudaram o calçamento de paralelepípedo para concreto e em seguida para asfalto. Houve, também, a substituição da iluminação a gás das residências pela eletricidade fornecida pela The Ceará Tramway Light and Power Ltd., em 1913, e a chegada dos bondes elétricos, em 1914 (Aderaldo, 1998; Girão, 1997).

O serviço social de água e esgoto foi iniciado em 1926, e hoje, setenta e oito anos depois, atingem somente 44,4% da população de Fortaleza (IBGE, 2000).



FIGURA 1.1 – Foto da Praia da Ponta da Burema, Fortaleza em 1933.

Somente entre as décadas de 20 e 30 (Séc. XX) é que Fortaleza começa a inverter o seu crescimento urbano que antes era perpendicular à linha de costa (Figura 1.1) e passa a ser paralelo à mesma. Conflitos nas zonas de praia ocorreram em virtude da expulsão dos antigos moradores para chegada das classes mais favorecidas da sociedade.

Em 1945 começa a operar o Porto do Mucuripe na enseada do mesmo nome, obra iniciada em 1939, construída pela Companhia Nacional de Construções Cíveis e Hidráulicas (Civilhidro) (Girão, 1997).

Com relação ao número de habitantes, Fortaleza apresentou um aumento populacional em relação ao restante do estado. Em 1940 tinha 180.185 habitantes (IBGE, 1940) equivalentes a 8,61% da população estadual, enquanto que em 1970 já possuía 19,10% da população estadual, devido principalmente à migração para a capital, totalizando 857.980 habitantes (IBGE, 1970) (Tabela 1.1).

Assim, na década de 70, Fortaleza presencia mudanças na sua orla marítima como a construção de hotéis, pousadas, restaurantes, barracas, estações balneárias, loteamentos etc. Estas foram algumas das intervenções privadas com o respaldo de políticas públicas da época que determinaram a verticalização da zona leste de Fortaleza. Uma das conseqüências dessa expansão, iniciada com a obra do Porto do Mucuripe e dos espigões foi um notório recuo na linha de costa não só na área da Praia de Iracema, mas também na costa oeste do município de Fortaleza (Vasconcelos & Albuquerque, 2003).

O turismo se expandiu na faixa litorânea a partir da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) tendo na capital um ponto de recepção e de distribuição dos fluxos turísticos. Políticas públicas, a partir dos anos 80, passaram a desenvolver um planejamento do território que estreitou ainda mais a relação entre Fortaleza e outros municípios litorâneos.

Com estas políticas a população de Fortaleza dobrou de 1970 a 1991, e atualmente já passa dos dois milhões de habitantes (Tabela 1.1).

TABELA 1.1 – Crescimento populacional de Fortaleza no século XX (adaptado do IBGE, 1920; 1940; 1950; 1960; 1970; 1980; 1991 e 2000).

ANO	POPULAÇÃO
1920	78.536
1940	180.185
1950	270.169
1960	507.108

1970	857.980
1980	1.307.611
1991	1.768.637
2000	2.141.402

Apesar deste crescimento populacional a infra-estrutura da cidade, nos seus serviços básicos, não acompanhou tamanho desenvolvimento, tal realidade pode ser retratada na Tabela 1.2.

TABELA 1.2 – Porcentagem da população servida por água, saneamento básico e coleta de lixo em Fortaleza (adaptado do IBGE, 2000).

	Nº DE DOMICÍLIOS	POPULAÇÃO (%)
Domicílios particulares permanentes	526.079	100
Domicílios c/ abastecimento de água por rede geral	458.819	87,20
Domicílios c/ abastecimento de água por poços	48.984	9,3
Domicílios c/ abastecimento de água por outras formas	18.276	3,5
Domicílios c/ esgotamento sanitário (banheiro e sanitário)	233.586	44,4
Domicílios c/ destino de lixo coletado	500.837	95,2

1.3 – Histórico das principais construções na linha de costa

A cidade de Fortaleza não teve só crescimento urbano desordenado na sua área costeira como também uma série de construções que afetaram de maneira direta a sua linha de costa, tais como construções dos antigos e atual porto de Fortaleza (Maia, 1998). À parte norte da cidade tem sido a preferida para os grandes

investimentos. A Figura 1.2 e a Tabela 1.3 relatam um pouco da história evolucionar da costa estudada.

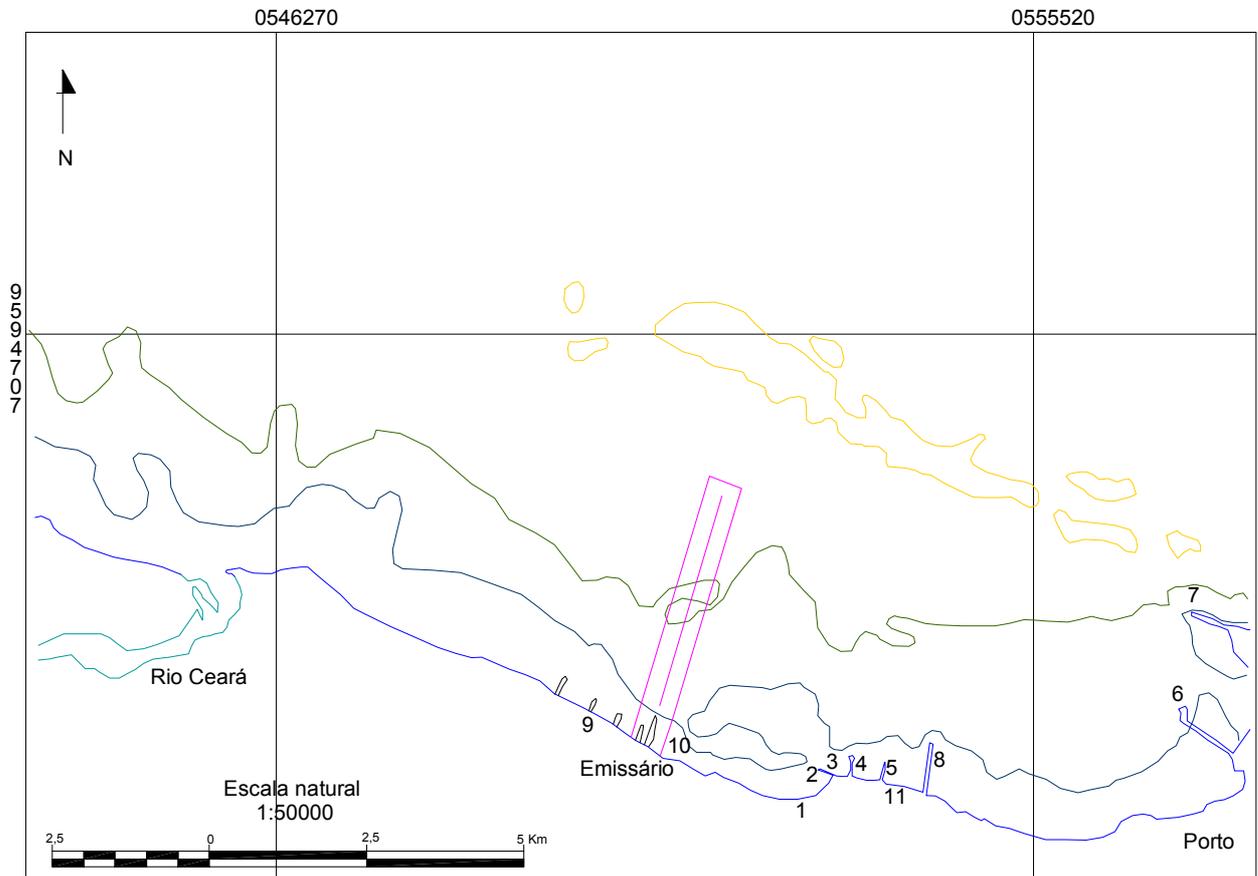


FIGURA 1.2 – Localização das grandes construções ao longo da costa norte de Fortaleza a partir de 1807 até dias atuais, descrição dos pontos na Tabela 1.3.

TABELA 1.3 – Descrição dos pontos da Figura 1.2.

Pontos	Descrição
1	1807: Construção do 1º porto de Fortaleza, inicialmente feito de madeira dando origem à primeira barreira artificial para o transporte de sedimentos.
2	1886: Porto Hawkshaw, 2º porto de Fortaleza, seguia uma linha de recifes quase paralela à costa.
3	1906: Ponte metálica.

-
- 4 1923: Porto Moreira da Rocha e dos Ingleses, 3º porto. Assim como os demais portos tiveram problemas de sedimentação causando dificuldades aos barcos com calado superior a 4m atracarem.
 - 5 1929: Ponte Bicalho, obra que não foi completamente concluída por problemas financeiros.
 - 6 1939-1945: Construção do Porto do Mucuripe que deu início ao processo erosivo nas praias a oeste do porto, visto que com a construção do molhe de proteção um processo de difração das ondas, transferência lateral de energia, em torno do molhe passou a ocorrer de forma intensa, gerando um déficit sedimentar nas praias a oeste do molhe. Além disso, a bacia portuária sofre assoreamento, tornando necessária a dragagem das áreas de atracagem.
 - 7 1966: Ampliação do Porto do Mucuripe e construção do Espigão do Titãzinho, com a intensão de solucionar o assoreamento no porto foi construído este espigão (molhe) com o objetivo de acumular sedimentos a barlar, porém a sotamar ele causa, também, processo erosivo. Somada a estes processos a urbanização da costa diminui o transporte eólico das dunas, que não minimiza o déficit sedimentar causado pelos seguidos processos erosivos. Dessa forma, uma série de estruturas são construídas nas praias a oeste do porto tentando diminuir o processo erosivo da costa.
 - 8 1969: Espigão da Praia de Iracema, com o mesmo intuito citado de reter os sedimentos como medida mitigadora para o problema da erosão.
 - 9 Fundado em outubro de 1973, o antigo kartódromo César Cals era localizado na praia da Leste-Oeste no terreno pertencente à Marinha e foi desativado em 1991 (Pinto, 1991). No mesmo ano o Governo do Estado elaborou um projeto de reurbanização da área para a construção, não de uma pista de kart, mas de uma área de lazer com um campo de futebol (Pinheiro, 1991).
 - 10 1978: Início das operações do Emissário Submarino, de controle da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).
 - 11 2000: Construção do aterro artificial da Praia de Iracema pela Prefeitura Municipal de Fortaleza buscando recuperar a área erodida, já que esta área vinha sofrendo forte impacto das ondas, tipo swell, no período das chamadas "ressacas" (dezembro a fevereiro), que nos últimos anos vem destruindo calçadões e alagando a avenida Historiador Raimundo Girão. Este aterro possui dois quebra-mares de proteção, um com 690m de comprimento e 5m de largura e outro com 1170m de comprimento com 5m de largura, ambos a uma profundidade próxima a 6m tendo a estrutura formada por blocos que variam de 1,5 a 6 toneladas (De Paula, 2003; Vasconcelos & Albuquerque, 2003)
-

1.4 – Atividades antrópicas atuais na RMF

1.4.1 – Atividades industriais na RMF

O município de Maracanaú está localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, conhecida como uma das cidades dormitório, já que boa parte de sua população trabalha e estuda em Fortaleza, chama a atenção não só por seus conjuntos habitacionais, destaque para o Conjunto Jereissati, como também pelo seu parque industrial que ocupa cerca de 59,8% dos 1.013 hectares do município. Estas indústrias, em 1992, eram cinquenta e uma (Silva, 1992) e atualmente já totalizam cento e cinquenta e oito unidades industriais, elevando o município ao em 3º lugar em quantidade de indústrias por município, perdendo apenas para Juazeiro do Norte (na região do Cariri, sul do estado) com 261 e Fortaleza que aparece com 2.228 indústrias no Estado do Ceará (FIEC, 2004).

Estas indústrias, do município de Maracanaú, drenam seus efluentes principalmente para o sistema Ceará-Maranguapinho que deságua na fronteira oeste da cidade de Fortaleza (Figura 1.2).

No distrito encontram-se indústrias diversas como têxtil, de artefatos de concreto, óleos vegetais, móveis, alimentos, plásticos, bebidas, betume e emulsões, quimindustrias, eletro-cerâmica, fertilizantes dentre outras.

No local extraem-se óleos de casca de castanha de caju e de mamona, fabrica-se tintas hidrossolúveis, emulsões asfálticas catiônica, *jeans*, sabões e detergentes, lâmpadas e luminárias, produtos siderúrgicos, complementos para adubos e ração animal etc. As vinte principais indústrias de Maracanaú por número de funcionários com suas respectivas atividades pode ser verificada na Tabela 1.4.

TABELA 1.4 – Principais indústrias do Distrito Industrial de Maracanaú por nº de funcionários com suas respectivas atividades (adaptado de FIEC, 2004).

NOME FANTASIA	ATIVIDADE	Nº DE FUNC.
Vicunha	Fabricação de artefatos têxteis incluindo tecelagem.	3.000
Coca-Cola	Fabricação de refrigerantes e refrescos.	1.100
Vicunha	Fabricação de tecidos e artigos de malha.	1.080
Filati Malhas	Fabricação de tecidos de malha.	1.000
Cotece S/A	Fiação.	900
Nexus	Confecção de artigos do vestuário.	800
Fábrica Estrela	Fabricação de massas alimentícias.	725
Fevisa	Beneficiamento, moagem e preparação de outros alimentos de origem vegetal.	600
Têxtil União	Tecelagem e fiação.	550
Weaver Jeans	Confecção de outras peças do vestuário.	540
Hidracor	Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes e lacas.	450
Metalic	Fabricação de embalagens metálicas.	400
BHS Nord	Confecção de outras peças do vestuário.	400
Fiotex	Fiação de algodão.	350
Tropical Rafia	Fabricação de artefatos diversos de plástico.	300
Durametal	Fabricação de peças e acessórios para o sistema de freio.	250
Cotefor	Fabricação de tecidos de malha.	248
Tebasa	Serviços de acabamentos em fios, tecidos e artigos têxteis.	240
Tropiflex	Fabricação de móveis com predominância de madeira.	240
Inapi	Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos para a agricultura, avicultura e obtenção de produtos animais.	230

Outras indústrias importantes do Distrito Industrial de Maracanaú para este estudo pelo potencial de contaminação podem ser citadas, tais como: a Asfaltos Nordeste Ltda. (refino de petróleo), M.M. Moreira (fabricação de outros produtos

químicos não especificados ou não classificados), Reicopo (fabricação de produtos diversos de metal), Continental Eletric (fabricação de outros aparelhos eletrodomésticos), Cera Flor (fabricação de produtos de limpeza e polimento), Fosfamil (fabricação de rações balanceadas de animais), Metalúrgica O Mineiro (fabricação de esquadrias de metal), Expresso PAN (metalurgia do alumínio e suas ligas), Marlux (fabricação de luminárias e equipamentos de iluminação - exclusive para veículos), VPI (fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados), A e A Química Ltda. (fabricação de aditivos de uso industrial), Gerdau Cearense (fabricação de produtos siderúrgicos – exclusive em siderúrgicas integradas), Newplast (fabricação de embalagens de plástico), Metaltec (fundição), Facepa (fabricação de celulose, papel e produtos de papel), Ipiranga Asfalto S/A (fabricação de produtos petroquímicos básicos), Cerbrás (fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural na construção civil), Ceras Johnson Nordeste Ltda. (Refino de óleos vegetais) e a Adubos Fertibom (fabricação de fertilizantes fosfatados, nitrogenados e potássicos).

Até 1991 as águas servidas pelas indústrias traziam sérios problemas para a população, visto que das cinquenta e uma indústrias instaladas no Distrito Industrial, vinte e uma geravam efluentes líquidos que, direta ou indiretamente, desaguavam nos rios Cocó (fora da área de interesse deste estudo) e Maranguapinho (Silva, 1992). Além dos conjuntos habitacionais que também jogavam seus dejetos nestes rios, poluindo suas águas e prejudicando a fauna e a flora.

Em 1992 foi inaugurado na localidade do Jenipapo, nas proximidades do Novo Maracanaú, o sistema de tratamento de esgotos de Maracanaú, formado por cinco lagoas, sendo uma anaeróbica, com 48 mil metros quadrados; uma facultativa com 216 mil metros quadrados e outras três de maturação, com 176 mil metros quadrados cada uma.

As lagoas foram construídas com forma de grandes tanques retangulares, separadas por diques de terras e podem acumular até 1.277.605 metros cúbicos de efluentes. O sistema beneficia cerca de 100 mil pessoas, inclusive as populações ribeirinhas do Rio Maranguapinho em todo seu curso a partir de Maracanaú (Silva, 1992).

Já as indústrias de Fortaleza drenam seus efluentes para o sistema de esgoto da cidade que por fim deságua na costa pelo Emissário Submarino de Fortaleza

(ESF), que assim como o sistema de tratamento de Maracanaú não é próprio para este tipo de efluente, e sim, para esgotos de origem doméstica.

Contando com mais de duas mil indústrias, Fortaleza possui na sua maioria pequenas indústrias quanto ao número de funcionários, até mesmo por uma questão de espaço físico e de urbanização já que seria de pouca aceitação pela população conviver com indústrias pesadas devido não só ao barulho do maquinário como da própria poluição atmosférica pelas chaminés, visto que a contaminação por efluentes não é visível ao cidadão comum passando por este despercebida.

A Tabela 1.5. apresenta as vinte principais indústrias de Fortaleza, de interesse para este estudo, por número de funcionários com suas respectivas atividades, sendo que as quatro últimas indústrias da Tabela 1.5 foram incluídas não só pela suas atividades como também por suas localizações, no caso, próximas ao Porto do Mucuripe.

TABELA 1.5 – Principais indústrias de Fortaleza por nº de funcionários com suas respectivas atividades (adaptado de FIEC, 2004).

NOME FANTASIA	ATIVIDADE	Nº DE FUNC.
EIT	Construção de edifícios e obras de engenharia civil.	3200
Nacional Gás	Produção de gás e distribuição através de	3100

Butano	tubulações.	
Esmaltec	Fabricação de fogões, refrigeradores e de máquina de lavar e secar para uso doméstico.	2800
Confecções Guararapes S/A	Confecções de artigos do vestuário.	2600
COELCE	Produção e distribuição de energia elétrica.	1930
Grendene	Fabricação de calçados de plásticos.	1800
Cascaju	Beneficiamento, moagem e preparação de outros produtos de origem vegetal.	1651
Indaiá	Engarrafamento e gaseificação de águas minerais.	1550
CAGECE	Captação, tratamento e distribuição de água.	1352
Tebasa 1	Fiação de algodão.	1300
Iracema Indústrias de Caju Ltda.	Beneficiamento, moagem e preparação de outros produtos de origem vegetal.	1205
Colméia	Edificações.	1100
SESI	Fabricação de outros produtos alimentícios.	1000
FAE – tecnologia	Fabricação de outros equipamentos e aparelhos elétricos.	600
Cialne	Abate de aves e outros pequenos animais e preparação de produtos de carne.	525
Mecesa	Fabricação de embalagens metálicas.	500
GME	Preparação de margarina e outras gorduras vegetais e de óleos origem animal não comestíveis.	320
Lubnor	Fabricação de produtos petroquímicos básicos.	205
Petrolusa	Fabricação de produtos químicos.	63
AcquaMarine	Preparação e preservação do pescado e fabricação de conservas de peixe, crustáceos e moluscos.	16

1.4.2 – Atividade portuária na RMF

O Porto do Mucuripe é um porto marítimo artificial localizado na enseada de mesmo nome nas coordenadas geográficas de latitude 3° 42' 36" S e longitude 38°

28' 24" W está estrategicamente posicionado na direção dos Estados Unidos e da Comunidade Européia, principais destinos das exportações do Estado do Ceará.

Segundo a Companhia Docas do Ceará (CDC), criada em 1965 para administrar o porto (Girão, 1997), a área de influência do Porto do Mucuripe compreende, além do Estado do Ceará, o Estado do Piauí e partes dos estados do Maranhão, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, se estendendo ainda ao extremo Norte, ao Centro-Oeste e ao Vale do Rio São Francisco.

No que se refere ao acesso terrestre o porto conta com uma malha rodoviária em seu entorno que se liga às rodovias federais BR-116, BR-222, BR-304 e BR-020 e estaduais CE-040, CE-060 e CE-065, além de um parque de triagem e composição ferroviária que se liga a toda malha ferroviária do Nordeste.

O porto dispõe de linhas regulares de navegação, fornecidas por quinze companhias armadoras, com destino a portos nas Costas Leste e Oeste da América do Norte, Golfo do México, Caribe, Costa Oeste da América do Sul, Europa, Oeste e Sul da África, Oriente Médio, Extremo Oriente, países do Mercosul e principais portos brasileiros atendidos por linhas regulares de navegação de cabotagem.

O acesso das embarcações ao cais de atracação é feito por um canal de 1.200 metros de comprimento por 100 metros de largura, conduzindo diretamente a área de fundeio e bacia de evolução com dimensões adequadas ao tráfego, inexistindo correntes marítimas de intensidade significativa. O porto também conta com duas bacias de evolução, sendo uma com 300 metros de largura e profundidade de 10 metros, e outra com 350 metros de raio e profundidade e 11 metros, protegidos por um molhe de 1.190 metros de comprimento, localizado na parte norte do cais. Na área do porto ainda existem sete fundeadouros com perfeitas condições de segurança e sinalização náutica (CDC, 2004a).

O cais comercial do Porto do Mucuripe permite execução das mais diversas atividades de movimentação de cargas; granéis sólidos (trigo, coque de petróleo, pedras calcárias, farelo de girassol e malte), granéis líquidos (derivados de petróleo, gás liquefeito de petróleo, óleo de castanha de cajú etc.), carga geral solta (camarão congelado, produtos químicos, cera de carnaúba etc.) e contêineres (óleo lubrificante), dispendo de 20 metros de largura e extensão operacional de 1.054 metros, que resultam em cinco berços de atracação, sendo três berços com profundidade de 10 metros e capacidade de sobrecarga para cinco toneladas por metro quadrado, um berço de sete metros de profundidade e um berço de cinco

metros de profundidade com capacidade de sobrecarga para três toneladas por metro quadrado, podendo receber simultaneamente até cinco navios. O cais possui cinco armazéns com área de 6.000 metros quadrados cada, sendo três para granéis sólidos e dois para carga geral, além de 100.000 metros quadrados de pátios pavimentados para armazenagem de contêineres e de um moinho de trigo com capacidade estática para 80.000 toneladas. Nesta área também está localizado o Terminal de Grãos, dotado de dois portalinos (equipamento para descarga do navio) com capacidade de descarga de 300 toneladas por hora cada, armazém pulmão com capacidade de armazenar 45.000 toneladas e esteiras transportadoras interligando portalinos, armazém pulmão e três moinhos (CDC, 2004a).

O pier petroleiro dispõe de uma plataforma de atracação com noventa metros de comprimento e vinte e oito metros de largura, dois berços de atracação sendo o interno com onze metros de profundidade e o externo com doze metros de profundidade e ponte de acesso com 853 metros de comprimento; além de um sistema de dutovias interligado às distribuidoras de petróleo e à fábrica de margarina.

Na retroárea do porto estão os moinhos de trigo com silos com capacidade para 38.300 toneladas, nove distribuidoras de combustíveis com tancagem total de 215.0000 metros cúbicos, o parque de triagem da Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN) além de uma fábrica de margarina e gordura vegetal hidrogenada.

No ano de 2002 observou-se um maior movimento de mercadorias (CDC, 2004b) conforme mostram as Tabelas 1.5 e 1.6 sobre o movimento por tipo de carga e de carga geral solta em toneladas no período de 2001 a 2004.

TABELA 1.6 – Quantidade, em toneladas, de mercadoria movimentada no Porto do Mucuripe por tipo de carga, entre agosto de 2001 e abril de 2004 (adaptado de CDC, 2004b).

TIPO DE CARGA	2001	2002	2003	2004
Granel líquido	854.661,72	1.691.241,17	381.744,15	395.002,02
Granel sólido	433.511,99	949.040,36	235.426,02	253.039,57
Carga geral solta	561.962,79	809.069,47	247.057,78	310.965,65
Total	1.850.136,50	3.449.351,00	864.227,95	959.007,24

TABELA 1.7 – Principais mercadorias movimentadas como carga geral solta, por toneladas, no Porto do Mucuripe, entre agosto de 2001 e abril de 2004 (adaptado de CDC, 2004b).

TIPO DE CARGA	2001	2002	2003	2004
Algodão em pluma	3.078,14	23.718,23	2.672,91	5.397,44
Arroz	101.612,07	153.679,65	31.332,60	49.411,20
Bobina de aço	56.279,48	12.326,15	4.218,05	8.644,62
Bobina de papel	18.386,83	25.592,99	6.981,34	5.895,52
Camarão congelado	7.024,44	12.111,21	2.947,54	7.726,74
Castanha de caju	17.510,11	14.757,99	5.883,29	4.900,18
Cera de carnaúba	8.662,48	11.349,20	3.832,72	3.769,80
Farinha de trigo	5.430,70	14.255,75	1.347,33	4.523,16
Produtos químicos	6.229,61	12.238,28	4.199,16	2.511,67
Sal	51.837,18	142.849,03	73.782,65	91.648,80

1.4.3 – O emissário submarino de Fortaleza (ESF)

O ESF é constituído por, aproximadamente, 99% de esgoto doméstico com vazão máxima de $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e média de $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Consórcio Concremat, 1993), possui uma estação de tratamento primário que não remove substâncias tóxicas como os metais pesados.

O sistema de tratamento primário comumente é constituído de um subconjunto de unidades destinadas à promoção da separação dos sólidos em suspensão mais facilmente sedimentáveis e flutuáveis (decantadores primários e milipeneiras rotativas); da flotação de sólidos em suspensão não tão facilmente flutuáveis (tanques de flotação); da digestão dos sólidos (lodos) decantados (digestores primários); e da secagem dos lodos (leitões de secagem ou prensas desaguadoras) (Gonçalves & Souza, 1997).

A presença dos metais no esgoto doméstico está associado aos despejos de detergentes (pequenas quantidades), amálgamas dentários (Hg), tintas (Cd) e alimentos (Cu e Zn) (Sörme & Lagerkvist, 2002). Além disso, pode receber água do subsolo através de infiltrações nos dutos, contendo alguns destes metais que estavam presentes no solo. O emissário também recebe esgoto de empresas (como consultórios dentários), hospitais e pequenas indústrias (como de galvanoplastia).

1.5 – Emissão de metais pesados por atividades antrópicas em regiões costeiras

Regiões costeiras ao redor do mundo estão sujeitas a diferentes pressões que não são constantes, mas que variam ao longo do tempo. Práticas de manejo ambientais utilizadas nas últimas décadas fizeram com que o impacto de contaminantes “clássicos” como metais pesados, PCBs e parte dos nutrientes, decrescessem drasticamente na Europa e na América do Norte. Além disso, novas classes de agentes químicos têm surgido em listas prioritárias de organizações internacionais que visam à preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável das regiões costeiras intensificando as pressões sobre a gestão ambiental. Observa-se ainda uma competição pelo espaço físico, devido às disputas geradas pelos desenvolvimentos urbano, industrial, do turismo, e do tráfego de pessoas e de transportes que ocasionam uma diminuição do tamanho e das funções dos ecossistemas costeiros. Mudanças nas bacias de drenagem ocasionadas por transposição ou barragens de águas para atender a aumentos da demanda hídrica, influenciam as vazões naturais de água doce, nutrientes, sedimentos e poluentes para o litoral (Lacerda *et al.*, 2002).

A poluição ambiental por metais pesados desenvolveu-se a partir das últimas décadas do século passado tendo o seu máximo entre 1960 a 1970 quando houve um aumento da emissão de metais por combustão de carvão como consequência do desenvolvimento industrial, chefiado pelo hemisfério norte. Nos últimos trinta anos houve uma redução dos teores de metais pesados na camada de sedimentos mais recentes devido a mudança do combustível nas indústrias que antes utilizavam o carvão e passaram a utilizar os produtos derivados do petróleo, entretanto, surgiram

novos poluentes como os hidrocarbonetos que apresentam um agudo crescimento (Förstner, 1989).

Nas áreas costeiras as fontes de metais pesados estão associadas a: Localização de grandes centros urbanos (através da descarga de esgotos, disposição final de resíduos sólidos, lixiviação do solo, uso inapropriado do solo, altos níveis de matéria orgânica na coluna d'água etc.); localização de parques industriais (através de efluentes líquidos, sólidos e gasosos.); atividade portuária (através de vazamentos de óleos das próprias embarcações do local ou que por lá trafegam, da combustão dos combustíveis, da lavagem de cascos dos barcos, do risco de acidentes envolvendo principalmente cargas com derivados de petróleo e através da atividade de dragagem nos portos para a remoção de sedimentos nos canais de navegação, liberando metais antes presos no sedimento para a coluna d'água); áreas de produção agrícola (associado ao uso de pesticidas, fertilizantes e agroquímicos) e bacias de drenagens de grandes rios (através dos quais resíduos e/ou dejetos, de cidades nas suas margens, são concentrados e transportados).

No caso da emissão de metais pesados por sistemas de esgoto doméstico para as águas costeiras pode-se citar o Reino Unido onde Hutton & Symon (1986) estimaram cargas de: 9, 161 e 0,42 em ton.ano⁻¹ de Cd, Pb e Hg, respectivamente; e o sistema de disposição oceânica da cidade de Los Angeles que emite cerca de: 11,6 , 116, 0,46 , 87,8 e 388 em ton.ano⁻¹ de Cd, Cu, Hg, Pb e Zn, respectivamente (Gonçalves & Souza, 1997). No Brasil, Barcellos & Lacerda (1994) estimaram as entradas de Zn e Cd para a Baía de Sepetiba (Rio de Janeiro) através de descarga de esgoto de: 12 e 0,05 em ton.ano⁻¹ de Zn e Cd, respectivamente.

Alguns dos metais pesados também podem ser disponibilizados em área portuária através de vazamentos de óleos das próprias embarcações do local ou que por lá trafegam, da combustão dos combustíveis, da lavagem de cascos dos barcos, de algum acidente com carga contendo metais-traço e também através da atividade de dragagem nos portos para a remoção de sedimentos (Muniz *et al.*, 2004) principalmente dos canais de navegação, liberando metais antes presos ao sedimento para a coluna d'água. Segundo a CDC esta atividade de dragagem no Porto do Mucuripe retira 800.000 m³.ano⁻¹ e a época do ano a ser realizada depende diretamente da disponibilidade do orçamento.

Assim, atividades portuárias geram mudanças das concentrações de base de metais traço no ambiente marinho. No Porto Kembla, Austrália, He & Morrison

(2001), compararam os valores das concentrações de metais nos sedimentos do porto com os de um ambiente não afetado por atividade antrópicas (Tabela 1.8), caracterizando fatores de enriquecimento de 3 a 220 vezes os valores de “backgrounds” geoquímicos locais pela atividade portuária.

TABELA 1.8 – Concentrações de metais pesados, em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, em sedimentos do Porto Kembla e de um ambiente não contaminado na região (adaptado de He & Morrison, 2001).

Metais	Sedimento do Porto	Sedimento natural	FE ¹
Cd	15	0,5 - 5	3 – 30
Cu	95	3 - 20	5 – 32
Fe	73000	2100	35
Hg	0,5	-	-
Pb	269	3 - 20	13 – 90
Zn	2220	0 - 140	16 - 2220

¹ FE: Fator de Enriquecimento

Muniz *et al.* (2004), encontrou níveis de metais que considerou como característico de sedimentos altamente poluídos nos sedimentos do Porto de Montevideu, Uruguai. Estes valores foram de: $312 \pm 102 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, $85 \pm 31 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $0,63 \pm 0,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, para Zn, Pb e Hg, respectivamente.

Estas concentrações encontradas em várias regiões do mundo podem ser consolidadas através de inventários de emissões. Barcellos & Lacerda (1994) estimaram as entradas de Zn e Cd para a Baía de Sepetiba (Rio de Janeiro) através das atividades portuárias e de navegação e encontraram valores de emissões para água, de $10 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$ de Zn e $0,05 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$ de Cd, e para solo, de $95 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$ de Zn e $0,5 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$ de Cd.

No ambiente costeiro também se deve levar em consideração a emissão de metais pesados através de fontes difusas, como por exemplo, a lixiviação dos solos urbanos para as águas costeiras, principalmente no período de chuva, onde os metais são lixiviados, do asfalto, do concreto, das tintas, dos tijolos etc. No caso do asfalto há emissão de metais não só pela sua própria composição como também através do atrito de pneus e vazamentos de óleo em sua superfície (Davis *et al.*, 2001).

Pequenas empresas como, por exemplo, lavadoras de carros, são apresentadas como importantes emissores de metais (exceto para Hg proveniente de consultório dentário e Cu contido nos tubos e torneiras) e contribuem para um

enriquecimento dos teores de metais no solo, conseqüentemente para as drenagens e para a região costeira (Sörme & Lagerkvist, 2002).

Especificamente no caso da costa norte de Fortaleza, área mais urbanizada e povoada da cidade, as fontes difusas de metais na região são geradas pelo grande fluxo de pessoas que circulam, pela emissão de lixo e esgotamento sanitário para as galerias pluviais (Vieira *et al.*, 2002) e, possivelmente, também, através da lixiviação do asfalto e de cimento que recobrem o perímetro urbano.

Na área do Porto do Mucuripe a contaminação das drenagens e conseqüentemente da região costeira também pode ocorrer, por exemplo, através dos dejetos oriundos das atividades no cais pesqueiro e nas indústrias de beneficiamento do pescado, além dos dejetos lançados pelos esgotos e riachos que deságuam na região (Vasconcelos, 1985).

Outras influências de atividades antrópicas sobre a região costeira da RMF serão detalhadas nesta dissertação.

1.6 – Metais traço nos sedimentos costeiros

O ciclo hidrológico dos metais encerra-se nos oceanos onde os elementos traço são incorporados aos sedimentos marinhos (Salomons & Förstner, 1984), sendo que esta entrada no ambiente marinho se dá principalmente de três formas: pelos rios, via atmosférica e pelas atividades tectônicas. Naturalmente que numa região costeira passiva, como a da RMF, isto é, sem atividade tectônica significativa, as entradas de metais ficam restritas à deposição atmosférica e às fluviais.

Salomons & Förstner (1984) dividiu em quatro os compartimentos que afetam os processos geoquímicos de metais traço no oceano. São eles: a camada superficial, a camada profunda, a interface água-sedimento e os sedimentos. Neste trabalho está sendo focada a distribuição geoquímica de metais traço em sedimentos superficiais.

Na interfase água/sedimento a composição da matéria particulada coletada em amostradores de sedimento acima do fundo oceânico difere do que se encontra no sedimento. Em particular as concentrações de matéria orgânica nas armadilhas de sedimento são maiores. Isto mostra que nesta área importantes processos de degradação são colocados como possíveis liberadores de metais traço. Adiciona-se

a este processo, a difusão dos metais traço nos poros dos sedimentos oceânicos (aumentado pela bioturbação e consolidação) proporcionando a ida de alguns metais traço para a camada superficial.

Assim, os sedimentos oceânicos são o último compartimento dos metais traço no ciclo hidrológico, podendo refletir o desenvolvimento histórico dos parâmetros químicos e hidrológicos do sistema, além da qualidade de corrente da área através da forma como é transportado. Perfis longitudinais de sedimentos analisam as concentrações de metais depositados durante diferentes épocas, proporcionando a comparação entre níveis naturais e teores que indicam enriquecimento de metais por atividades antrópicas (Förstner, 1989).

Por sua composição e comportamento na natureza os sedimentos podem ser divididos em dois grupos distintamente diferentes (Terzaghi & Peck, 1948; Raudkivi, 1976); sedimentos finos com partículas menores do que 50 μm que são subdivididos em siltes e argilas, e sedimentos grosseiros que possuem grãos maiores do que 0,05 mm e são subdivididos em areias e cascalhos.

De forma geral estes dois grupos diferem na mineralogia, morfologia, e nas propriedades químicas e mecânicas. Sedimentos finos são constituídos principalmente de argilo-minerais, matéria orgânica e quartzos finos granulados, partículas carbonáticas e feldspatos. Já os sedimentos grosseiros têm uma mineralogia menos diversificada e consistem principalmente de quartzo e feldspato.

Quanto à distribuição de metais traço em sedimentos marinhos é possível estabelecer algumas tendências para alguns destes metais como se pode observar na Tabela 1.9.

TABELA 1.9 – Concentrações, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, de alguns metais traço em depósitos marinhos (adaptado de Chester, 1990).

Metais	Ambiente lamoso próximo à costa	Carbonatos marinhos	Argila no Oceano Atlântico	Argila no Oceano Pacífico	Concreções nodulares de Fe/Mn
Cu	48	30	130	570	$3,3 \times 10^3$
Pb	20	9	45	162	$1,5 \times 10^3$
Zn	95	35	130	-	$3,5 \times 10^3$
Fe	$69,9 \times 10^3$	9×10^3	82×10^3	65×10^3	141×10^3

Geralmente, carbonatos marinhos são empobrecidos na maioria dos elementos traço quando comparados as argilas no ambiente marinho, o estrôncio tem sido uma exceção para isto. Certamente metais traço, como vanádio e o cromo, apresentam concentrações similares para ambientes lamosos quanto para argilas. Em contraste, cobre e chumbo, por exemplo, tem um aumento de teores nas argilas e nas concreções Fe/Mn se comparado com o ambiente lamoso, logo se pode introduzir esta diferença de fração oceânica para avaliar um aumento ou enriquecimento de um metal traço. O Oceano Pacífico apresenta concentrações maiores destes elementos do que o Oceano Atlântico, mais especificamente na fração argila.

Várias pesquisas dão aumento das concentrações dos metais traço em ambientes marinhos com baixa taxa de sedimentação (Salomons & Förstner, 1984; Chester, 1990).

2 – OBJETIVOS

Este estudo visou a avaliação dos teores de elementos-traço em sedimentos de fundo da costa norte de Fortaleza a fim de qualificar a influência de atividades antrópicas sobre a distribuição e partição geoquímica dos metais Hg, Cu, Cd, Pb e Zn.

Complementando o objetivo geral foram determinados:

- O inventário da emissão destes metais pelo emissário submarino de Fortaleza (ESF) para as águas costeiras;
- As correlações geoquímicas entre estes metais estudados e importantes carreadores como o ferro, o alumínio, os carbonatos e a matéria orgânica;
- A variabilidade dos teores de metais em amostras coletadas entre diferentes épocas do ano (período de chuva e de seca);
- A capacidade de diluição do oceano verificando-se a ocorrência de áreas de concentração e/ou de distribuição no sentido da deriva litorânea regional.

3 – ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Localização e acesso

A área de estudo compreende a costa norte da cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, na Região Nordeste do Brasil (Figura 3.1), entre as coordenadas 03°38'00" (S) a 03°43'00" (S) de latitude e 38°28'00" (W) a 38°35'00" (W) de longitude.



Figura 3.1: Área de Estudo (Adaptado de www.cnpm.embrapa.gov.br, acessado em 30 abr. 2004).

A área costeira do Estado do Ceará estende-se por aproximadamente 570 Km da latitude 3° 07' S a 4° 50' S e longitude 42° 15' W a 39° 45' W. Limitada a oeste pelo delta do Rio Parnaíba e a leste pelo estuário do Rio Apodi. A plataforma continental do Ceará apresenta uma baixa declividade (1:670 a 1:1000) até 70m de profundidade, e tem uma largura máxima de 100 Km a oeste e mínima de 40 Km a leste (Freire *et al.*, 2004). Como será demonstrado todos os pontos de amostragem estão próximos à costa (Figura 4.1 e Tabela 4.1), sendo os mais afastados da costa localizados na região da isóbata de 10 metros, pode-se afirmar que a área estudada faz parte da Plataforma Continental Interna Cearense, até 20 metros de profundidade (Coutinho, 1976; Freire, 1985), onde o relevo é praticamente regular, mas com um pequeno declive e apresenta um fluxo de sedimentação terrígena, onde a cobertura sedimentar é composta por areias quartzosas com muito pouco cascalho e lama. A fauna é representada por moluscos, com ou sem foraminíferos bentônicos (CAGECE, 2002).

A região a jusante do emissário submarino de Fortaleza, com o substrato influenciado pelo SDOES (Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários) é caracterizada pela presença de sedimentos formados por areia biodetrítica e quartzosa com texturas muito fina, fina, média, grossa e muito grossa, com ocorrência de matéria orgânica, fragmentos de conchas e concreções nodulares formadas a partir da precipitação de carbonato de cálcio (CAGECE, 2002).

Os parâmetros físico-químicos da água nesta mesma área foram analisados nos três níveis de profundidade (superfície, meio e fundo) durante campanhas de monitoramento da área influenciada pelo ESF do qual o Grupo de Biogeoquímica Costeira do LABOMAR participou, encontrando valores que variaram em uma faixa esperada para esta zona costeira, a qual se caracteriza por temperatura elevada, intensa atividade biológica, pH neutro, salinidade influenciada por chuvas e aporte fluvial, e consumo de oxigênio de média intensidade. Observa-se que estes parâmetros são compatíveis com o meio ambiente da província nerítica tropical, evidenciando-se uma boa homogeneização da coluna d'água como consequência dos movimentos superficiais por ação dos ventos e ondas (CAGECE, 2002).

3.2 – Meio físico

3.2.1 – Geologia da costa

A geologia da costa do Ceará foi dividida em: Sedimentar Terciário/Quaternário (representado por clásticos continentais que cobrem discordantemente grande parte dos sedimentos mesozóicos, por exemplo, o Grupo Barreiras), cobertura Mesozóica/Paleozóica (representada por sedimentos clásticos e carbonáticos da parte emersa da Bacia Potiguar, pode-se citar a Formação Gangorra) e o embasamento Pré-Cambriano (corresponde a uma ampla região de dobramentos, chamada Nordeste Oriental, proveniente da evolução de uma zona geossinclinal em mosaico, estabelecida no final do pré-cambriano, como o Maciço de Santa Quitéria) (Freire, 1985; Freire *et al.*, 2004). Sendo a R.M.F. (Região Metropolitana de Fortaleza) caracterizada geologicamente pela presença de terrenos cristalinos e coberturas sedimentares cenozóicas (Brandão, 1995).

Sobrepostas ao embasamento ocorrem rochas sedimentares atribuídas ao Grupo Barreiras, de idade de miocênica superior a pleistocênica, distribuem-se como uma faixa de largura variável (máximo de 30Km em direção ao interior) acompanhando a linha de costa e a retarguada dos sedimentos eólicos antigos e atuais. Litologicamente apresenta na sua formação sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, de cor avermelhada, creme ou amarela, muitas vezes de aspecto mosqueado. Sua granulação varia de fina a média.

Sobre os sedimentos da Formação Barreiras estão às dunas edafizadas ou páleodunas, com uma faixa de espessura variando em torno de 15m, formadas por areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosa, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com tons amarelados, alaranjados ou acinzentados. Geralmente são sedimentos inconsolidados, por tratar-se de uma geração mais antiga de dunas, apresenta desenvolvimento de processos pedogênicos, com a conseqüente fixação de vegetação de maior porte.

A partir da acumulação dos sedimentos removidos da face de praia são formadas as dunas recentes ou móveis que se distribuem como um cordão contínuo disposto paralelamente à linha de costa, possuindo uma largura média de 2 a 3 Km e espessura próxima a 20 m. Sua continuidade pode ser interrompida pela presença de planícies fluviais e flúvio-marinhas, pela penetração até o mar de sedimentos da

Formação Barreiras ou promontórios formados por cangas lateríticas (Ponta do Mucuripe). As dunas são constituídas por areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos de quartzo foscas e arredondados e muitas vezes encerrando níveis de minerais pesados, principalmente ilmenita. Têm na ausência de vegetação uma característica que detém ou atenua os efeitos da dinâmica eólica.

Por toda a extensão da costa, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis, têm-se as formações das praias recentes que são acumulações de areias de granulação média a grossa, ocasionalmente cascalhos (próximo a foz dos rios maiores), com abundantes restos de conchas, matéria orgânica e minerais pesados. Inclui também os beach-rocks ou arenitos de praia, que são geralmente arenitos conglomeráticos com grande quantidade de bioclastos (fragmentos de moluscos e algas), cimentados por carbonato de cálcio, por exemplo, pode-se citar a ocorrência destes na enseada do Mucuripe.

Os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues são representados, especialmente, por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes. Nos ambientes estuarinos ou de planícies flúvio-marinhas, forma-se depósitos síltico-argilosos, ricos em matéria orgânica que sustentam uma vegetação de mangue (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.2 – Solos

A área do município de Fortaleza apresenta algumas associações de solos, dentre as quais predominam os solos podzólicos distróficos que ocorrem em toda a porção central da cidade. Nos baixos cursos dos rios Cocó e Maranguapinho / Ceará ressalta-se a ocorrência localizada de solos Solonchak Solonétzico, característicos de regiões estuarinas (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.2.1 – Podzólico Vermelho Amarelo

São solos bem desenvolvidos, profundos a medianamente profundos, porosos e bem drenados, com exceção o solo de caráter plíntico que possui drenagem de moderada a imperfeita. Estão distribuídos desde a faixa de domínio das bacias do Rio Cocó e Maranguape até a zona litorânea de Fortaleza, correlacionado com as áreas e ocorrência do Grupo Barreiras e Paleodunas.

Ocorrem em relevo variando de plano a suave ondulado. A vegetação original sofreu bastante alteração devido a substituição por culturas de subsistência e devido à expansão urbana.

São solos de baixa fertilidade natural, apresentando deficiência de água e susceptibilidade a erosão e no caso dos solos plínticos sujeitos a inundação (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.2.2 – Solos Aluviais

Compreende solos pouco desenvolvidos, provenientes de deposições fluviais recentes e que apresentam apenas um horizonte **A** superficial diferenciado, sobrejacente a camadas estratificadas, as quais normalmente não guardam relações pedogenéticas entre si. Os horizontes são de difícil diferenciação devido à composição granulométrica. Apresentam propriedades morfológicas variadas devido à textura, que varia desde arenosa até argilosa (indiscriminada) sem disposição preferencial.

São solos com profundidade média a grande, atingindo até 200 cm. Estes solos estão localizados margeando os rios Cocó, Maranguapinho, pequenas lagoas e pequenos rios que cortam Fortaleza.

Apesar do grande potencial agrícola, estes estão sujeitos ao encharcamento devido a sua posição que corre o risco de inundações periódicas.

Solos do tipo Solonetz Solodizado ocorrem associados aos Solos Aluviais e são solos rasos, mal drenados e suscetíveis a erosão. Ocorrem em relevo plano suave ondulado, apresentando deficiência de água no período seco e excesso no período chuvoso. São solos sujeitos a salinização e alcalinização (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.2.3 – Areias Quartzosas Distróficas

Compreende solos arenosos, muito profundos, excessivamente drenados, originados de sedimentos arenosos do Grupo Barreiras, pouco aproveitados com agricultura devido a sua baixa fertilidade natural, baixa retenção de umidade e alta acidez (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.2.4 – Areias Quartzosas Marinhas Distróficas

De características morfológicas e químicas semelhantes as descritas para a unidade anterior, estes se distribuem no litoral em forma de relevo variável, indo do plano ao forte ondulado e por vezes escarpado. São bastante pobres quanto a sua fertilidade natural e deficiência de água, possuindo escassa cobertura vegetal formada por espécies pioneiras integrantes do estrato herbáceo.

Por terem fortes limitações quanto ao uso agrícola, vêm sendo ocupados inadequadamente pela urbanização. O desmonte das dunas e o desmatamento de sua escassa vegetação contribui para a aceleração do processo de degradação a que estão sujeitos (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.2.5 – Solonchak Solonétzico

Solos halomórficos com elevado teor sólido apto a troca. Apresenta horizonte A1 pouco espesso, de baixa permeabilidade, tornando a drenagem imperfeita a ruim. Apresenta horizontes sálicos e camadas finas de sais cristalizados na superfície, com uma condutividade elétrica bastante elevada.

São de origem de deposição de materiais fluviais recentes, normalmente em relevo plano, formando os campos de várzea e florestas ribeirinhas com presença de carnaúbas. Trata-se de um solo de difícil manejo apresentando altos índices de alcalinidade e sais, portanto, é inadequado ao uso agrícola, sendo indicado para uso de lazer e preservação (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

3.2.3 – Recursos Hídricos Superficiais

A Bacia Metropolitana de Fortaleza subdivide-se em três bacias hidrográficas: o Sistema Ceará-Maranguapinho, a da Vertente Marítima e nas águas oceânicas do litoral de Fortaleza e a Bacia do Rio Cocó, sendo que apenas as duas primeiras deságuam na área de estudo. Este sistema de drenagem possui ainda inúmeras lagoas, riachos e açudes que são importantes no equilíbrio hidráulico, manutenção do macro-clima e valorização da paisagem.

Todas as três bacias hidrográficas configuram áreas predominantemente urbanas e as edificações, pavimentações e ruas, aterros de mangues, impermeabilizam o solo reduzindo a infiltração e aumentando o tempo de permanência das águas sobre a superfície, ocasionando enchentes.

Os médios e baixos cursos das drenagens situam-se em terrenos aplainados favorecendo a formação de várzeas aluvionares significativas. Próximo às desembocaduras, os rios ficam sujeitos a morfodinâmica costeira pela influência das marés – refluxo sobre a foz dos rios ocasionando a salinização das águas – e pelas barreiras litorâneas formadas pelos cordões de dunas.

A obstrução da desembocadura dos cursos d'água pela ocorrência e movimentação constante das dunas favorece a formação de canais sinuosos próximos à foz e originam muitas lagoas litorâneas, além de ser responsável pela ocorrência de drenagens endorreica em algumas áreas que, em geral, são sujeitas a alagamentos.

Os aspectos climáticos, predominantemente as precipitações, influenciam o regime fluvial dos principais rios e seus afluentes. Deste modo, a recarga de aquíferos e aumento dos níveis das águas, que culmina com o transbordamento de cursos d'água e formação das áreas alagadas em suas margens, ocorre em geral, no período de fevereiro a maio.

Como a variação interanual das precipitações é bastante acentuada, no período em que são registradas as menores médias pluviométricas (julho a dezembro) o regime dos rios e lagoas é afetado por esta escassez que ocasiona sensível diminuição da vazão dos cursos d'água. A este fator soma-se a acentuada insolação que incide na área gerando evaporação muito elevada.

Em decorrência deste regime alguns sub-afluentes dos rios principais e pequenas lagoas são intermitentes, ou seja, secam durante certo período do ano. Em contraposição, na época de maior incidência das precipitações, os totais de chuva associados às baixas altitudes e declividades dominantes geram problemas

decorrentes de excesso d'água nas áreas urbanizadas (Consórcio Concremat, 1993).

Devido a esta grande variabilidade das vazões das bacias hidrográficas a variabilidade sazonal dos teores de metais em sedimentos da costa de Fortaleza foi avaliada neste estudo.

3.2.3.1 – Sistema Ceará-Maranguapinho

O Sistema Ceará-Maranguapinho tem seu eixo principal no sentido predominantemente sul-norte e envolve os municípios de Maranguape em seu alto curso, Maracanaú em sua porção mediana, e Fortaleza e Caucaia em seu baixo curso. Suas nascentes são representadas pelo Rio Pirapora e riacho Tangureira, nas serras de Maranguape e Aratanha, cuja confluência origina o Rio Maranguapinho.

O Rio Maranguapinho passa por uma área industrial na sua porção mediana, em Maracanaú, e em seguida no seu médio e baixo curso o seu eixo principal da drenagem inflete para noroeste e deságua no Rio Ceará, já próximo a sua foz. Neste trecho o rio configura uma travessia predominantemente urbana e observa-se a ocorrência de algumas lagoas e açudes (açudes da Agronomia e da Viúva, lagoas da Parangaba, Mondubim e Genibaú), além de pequenos riachos integrantes de sua rede de drenagem.

O baixo curso dos rios Ceará / Maranguapinho sofre influência marinha e apresenta características de estuário no período chuvoso, quando a precipitação e volume d'água acumulado nos rios são maiores do que a evaporação.

A capacidade de produção de deflúvios na bacia não apresenta uma grande potencialidade para picos de enchentes elevadas, dadas as suas características morfológicas que contribuem para o amortecimento destes. O Rio Maranguapinho, devido ao maior alongamento de sua bacia, apresenta menor capacidade de produção de picos de cheias em comparação ao Rio Ceará.

A bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho localiza-se em uma zona residencial, passando por uma zona industrial, com densidade demográfica elevada representada por populações de baixa e média renda. Suas margens são ocupadas indevidamente e apresentam lançamentos de lixos em vários pontos (Consórcio Concremat, 1993).

3.2.3.2 – Bacia da Vertente Marítima

Corresponde a faixa de dunas entre o Sistema Ceará-Maranguapinho e a Bacia do Rio Cocó. A região tem uma topografia suavemente inclinada para o mar, favorece a drenagem para o oceano através de pequenos riachos (Jacarecanga, Pajeú e o Sistema Papicu-Maceió). Também fazem parte de sua rede de drenagem algumas lagoas como a Lagoa do Mel e Lagoa do Papicu. Devido as suas características morfológicas, a bacia apresenta grande potencialidade de produção de picos de cheias e está sujeita a inundações no período das chuvas.

A referida bacia, embora de extensão areal reduzida, engloba a área urbana de maior densidade populacional. Esta ocupação generalizada invadiu os caminhos preferenciais das águas e gerou impermeabilização dos solos em aproximadamente 70%, exceto a sub-bacia do riacho Papicu com 42% (Consórcio Concremat, 1993).

3.2.4 – Clima

A área integra a região climática do tipo “AW”, da classificação do Köppen, correspondente ao macroclima de faixa costeira de clima tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas de verão e outono. A diferenciação climática sazonal observada para a área permite caracterizar, a grosso modo, dois períodos com características distintas. O primeiro, entre janeiro e junho, corresponde ao verão. É um semestre chuvoso. Com umidade relativa do ar, nebulosidade e temperaturas médias

elevadas. Ao contrário, a evaporação e insolação neste semestre são menores. O segundo período corresponde ao inverno, entre julho e dezembro, e apresenta baixas temperaturas médias, baixos níveis de precipitação, de nebulosidade e de umidade relativa do ar, enquanto que as taxas de evaporação e insolação são elevadas. As precipitações anuais médias se encontram na faixa de 1400-1600 mm. Na região há predominância dos ventos alísios, produto da zona de convergência intertropical, na direção E-W (Jimenes & Maia, 1999), (Figura 3.2), com velocidade média anual de $3,6 \text{ m.s}^{-1}$, atingindo o máximo em setembro ($7,2 \text{ m.s}^{-1}$) e diminuindo gradativamente até o mês de março (Consórcio Concremat, 1993).

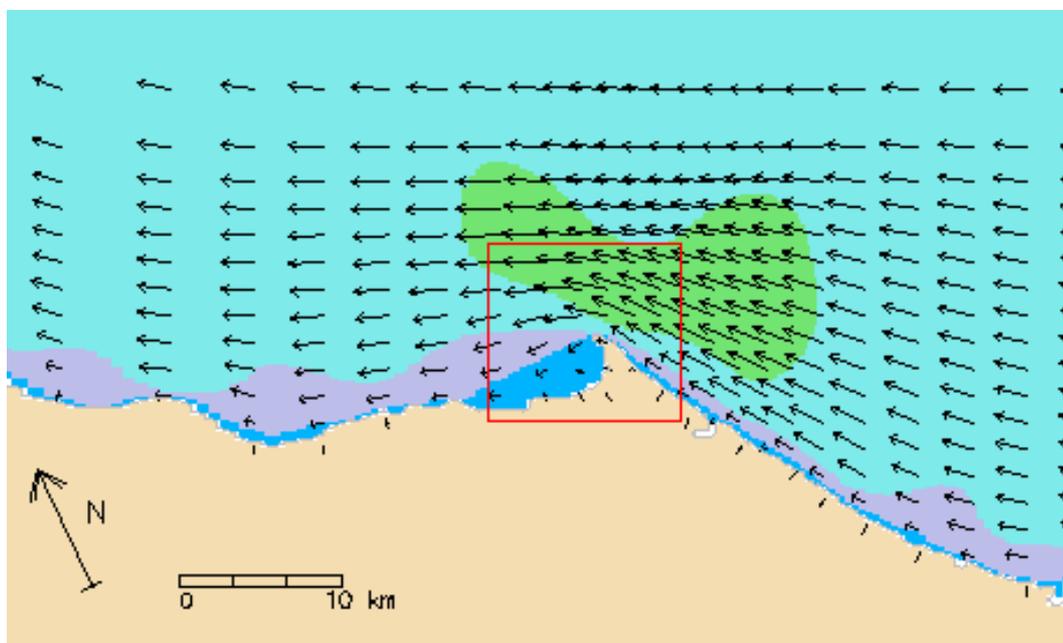


FIGURA 3.2 – Direção E-W dos ventos no litoral de Fortaleza.

3.3 – Meio Biótico

3.3.1 – Formações vegetais

A área do município de Fortaleza apresenta um mosaico vegetal diversificado favorecido pela diversidade de formas de relevo, clima e solos. Têm-se as seguintes formações para a região:

- Floresta Ribeirinha e Floresta Lacustre (Floresta Ciliar de Carnaúba): Encontrada limitando-se as partes mais baixas de pequenos e grandes

rios. É caracterizada pela presença da Carnaúba (*Copernicia prunifera*) planta endêmica do nordeste do Brasil, juntamente com plantas como o Mulungu, Sabiá, Jurema e outras. Esta formação está quase sempre associada à caatinga hiperxerófila. Os rios Pacoti e Ceará apresentam as mais longas várzeas e uma vegetação arbórea em função do solo fértil, constituindo assim na Floresta Ribeirinha.

- Floresta de Tabuleiro: formação que ocorre em terrenos com inclinação menor do que 5° que, de acordo com sua composição e fisionomia, pode-se separar em dois tipos distintos:
 - A floresta de Tabuleiro, também chamada Mata ou Floresta Subcaducifólia, caracterizada por uma vegetação densa, cujos indivíduos apresentam um porte médio de 6 metros com sub-bosque e um extrato herbáceo periódico. Apresenta um caráter subdecíduo, ou seja, parte dos componentes perde as folhas durante o período seco. São componentes da sua flora: Pau d'arco roxo (*Tabebuia avelanedae*), Caraiba (*Tabebuia caraiba*), Freijó (*Cordia trichotoma*), Cajueiro (*Anacardium occidentale*) etc.
 - Associação Caatinga / Cerrado: Fisionômica apresenta-se semelhante ao cerrado, constituindo-se em um extrato herbáceo de gramíneas e dicotiledôneas. São representantes, a Lixeira (*Curatella americana*), Barbatimão (*Styphnodendron coriaceum*), Cajuí (*Anacardium microcarpum*) etc.
- Dunas: Sem solo e sem vegetação as dunas vivas tendem a deslocar-se conforme a direção dos ventos. As dunas fixas, localizadas geralmente a retarguarda das primeiras, devido a um recobrimento vegetal, são poupadas da violência do vento. Como espécies destas regiões destacam-se o Coqueiro (*Cocos nucifera*), Cajueiro (*Anacardium occidentale*), aparecendo também Murici (*Byrsonima crassifolia*), ciperáceas, leguminosas, gramíneas e compostas.
- Manguezal: Ocorre nas desembocaduras dos rios que estão sob a influência das marés ou nos reservatórios naturais de água doce onde se desenvolve uma vegetação característica que normalmente apresenta raízes pneumatóferas em virtude da elevação periódica das águas. As principais espécies são: *Avicennia germinans*, *Avicennia*

schauerianna, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erecta* (Consórcio Concremat, 1993; Brandão, 1995).

Entretanto, como pode ser observado na Figura 3.1 a região de estudo é fortemente urbanizada e apresenta somente resquícios de vegetação natural.

3.3.2 – Comunidades bióticas oceânicas

Na plataforma continental do Estado do Ceará encontra-se o plâncton, bentos e necton. A comunidade planctônica é composta pelo fitoplâncton (organismos autotróficos que dependem da disponibilidade de luz e nutrientes para o seu desenvolvimento) e zooplâncton (organismos heterotróficos que se alimentam basicamente do fitoplâncton). Estão incluídos neste segundo grupo, representantes de filos diversos, destacando-se, porém a classe Crustácea (Arthropoda), ovos e larvas de peixes (ictioplâncton) e larvas de outros organismos cujos adultos participam da atividade pesqueira (ex.: camarões e lagostas).

Já os bentos são compostos por organismos que vivem associados ao fundo, podendo estar fixos nos substratos duros (esponjas, corais, equinodermas – estrelas-do-mar), enterrados nos sedimentos (moluscos, anelídeos poliquetas) ou mesmo locomovendo-se sobre o fundo oceânico (equinodermas, crustáceos). Espécies como o camarão branco (*Penaeidae schimitti*), a lagosta verde (*Palinuridae laevicauda*), caranguejo uca (*Ucides cordatus*) etc.

A comunidade nectônica é caracterizada por organismos que apresentam capacidade natatória bem desenvolvida, podendo efetuar movimentos natatórios de migração paralelos e perpendiculares à costa. Em função da tridimensionalidade do meio marinho o necton pode ser pelágico (vivendo na coluna d'água – sardinhas, serra, cavala, lulas e mamíferos marinhos) ou demersal (nadando próximo ao fundo – bagres) (Consórcio Concremat, 1993).

Levantamento realizado da macrofauna bentônica identificou um total de 1706 exemplares, com os anelídeos poliquetas representando 58,2% do total, sendo os moluscos bivalves os mais numerosos e, além destes também os nemátodos. Já o necton demersal esteve representado por 23 espécies de peixes, dentre as quais se destacam: manjuba, judeu e o coró-branco (CAGECE, 2002).

4 – METODOLOGIA

4.1 – Metodologia de amostragem e preservação das amostras de sedimentos de fundo

Foram realizadas duas campanhas em diferentes épocas do ano de 2002. Uma no verão (estação chuvosa) e outra no inverno (estação seca), que são caracterizados pela marcante diferença dos índices de pluviosidade, o que pode acarretar em mudanças nos fluxos de contaminação por fontes difusas, principalmente pela lixiviação dos solos.

As coletas de sedimentos de fundo costeiro foram feitas através do Barco Oceanográfico Prof. Martins Filho da Universidade Federal do Ceará (UFC) em 27 estações georeferenciadas (Figura 4.1 e Tabela 4.1), ao longo da costa de Fortaleza entre o Porto do Mucuripe e a desembocadura do Rio Ceará. Sendo que no ponto 19 não foi possível a coleta do sedimento por presença de um fundo duro, porém a estação foi mantida para futuras observações.

Os sedimentos foram coletados com um amostrador pontual do tipo Van Veen e, em seguida colocados em sacos plásticos e mantidos a 4°C até o laboratório onde foram secos à 60°C e depois peneirados em malha de 0,6 mm a fim de uniformizar a granulometria e retirar fragmentos de conchas e grãos maiores. A estocagem final foi feita em frascos plásticos herméticos, ao abrigo do calor e luz.

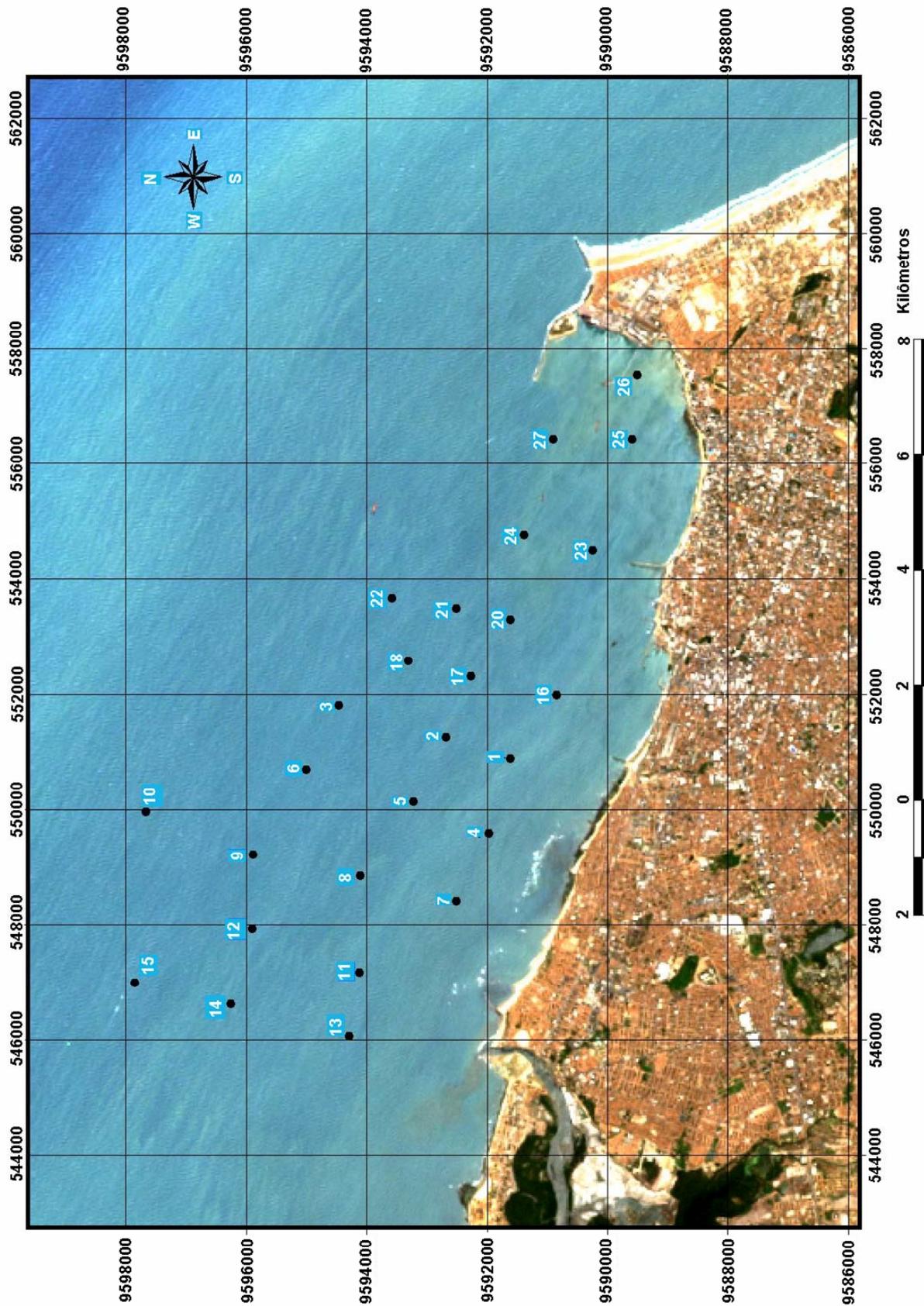


FIGURA 4.1 - Pontos de amostragem ao longo da costa

TABELA 4.1 - Coordenadas dos pontos de amostragem em graus e em UTM.

Estações	Posição em graus		Posição em UTM	
	S(lat.)	W(long.)	X(long.)	Y(lat.)
1	03°41'42"	38°32' 30"	550896	9591573
2	03°41' 06"	38°32' 18"	551267	9592678
3	03°40' 06"	38°32' 00"	551823	9594520
4	03°41' 30"	38°33' 12"	549601	9591942
5	03°40'48"	38°32' 54"	550157	9593231
6	03°39' 48"	38°32' 36"	550713	9595073
7	03°41' 12"	38°33' 50"	548429	9592495
8	03°40' 18"	38°33' 36"	548862	9594153
9	03°39' 18"	38°33' 24"	549233	9595995
10	03°38' 18"	38°33' 00"	549974	9597837
11	03°40' 18"	38°34' 30"	547196	9594154
12	03°39' 18"	38°34' 06"	547937	9595996
13	03°40' 12"	38°35' 06"	546086	9594338
14	03°39' 06"	38°34' 48"	546642	9596365
15	03°38' 12"	38°34' 36"	547013	9598022
16	03°42' 08"	38°31' 54"	552006	9590774
17	03°41' 20"	38°31' 42"	552337	9592247
18	03°40' 45"	38°31' 35"	552594	9593322
19	03°42' 20"	38°31' 24"	552931	9590405
20	03°41' 42"	38°31' 12"	553302	9591571
21	03°41' 12"	38°31' 06"	553488	9592493
22	03°40' 36"	38°31' 00"	553674	9593598
23	03°42' 28"	38°30' 33"	554505	9590158
24	03°41' 50"	38°30' 24"	554783	9591325
25	03°42' 50"	38°29' 30"	556447	9589482
26	03°42' 53"	38°28' 54"	557558	9589389
27	03°42' 06"	38°29' 30"	556448	9590833

4.2 – Metodologia de análise

4.2.1 – Determinação das concentrações dos metais

As concentrações dos metais (Hg, Cu, Cd, Zn, Pb, Al e Fe) foram obtidas a partir da digestão de 4g de amostra seca (em duplicata), digeridas em erlenmeyers de 125mL, fechados com dedo frio, contendo 20 mL de água régia diluída (50%) em banho-maria na faixa de 70-80°C por 2 horas. Essa digestão permite que todo o metal que esteja na fração trocável, oxidável e carbonática sejam retirados excetuando-se somente a fração residual (metal associado a silicatos de origem litogênica que não caracteriza contaminação por atividade antrópica) (Fizman *et al.*, 1984) e foi utilizada tendo em vista a determinação da contaminação antrópica por metais da área de estudo.

Os metais foram determinados a partir dos extratos obtidos por espectrofotometria de absorção atômica de chama, onde a chama para a maioria dos metais (exceto o Al) foi obtida através da mistura de gás acetileno (combustível) e ar (oxidante), que chega a uma temperatura máxima de 2300°C. Para o Al, por ser capaz de formar óxidos bastante estáveis, dificultando a dissociação em átomos, é necessário uma chama que produza um ambiente redutor para inibir a formação destes óxidos, dessa forma utilizou-se à chama com o gás acetileno (combustível) e óxido nitroso (oxidante), que além de produzir uma chama de alta temperatura (2950°C), apresenta uma baixa concentração de oxigênio livre.

As leituras dos teores dos metais em absorvância foram feitas através do equipamento modelo AA-6200 da Shimadzu, utilizando-se para a calibração do equipamento soluções padrões dos respectivos metais analisados.

No caso da determinação do mercúrio, foram adicionados 2,0 mL de cloreto estano a alíquota de extrato ácido, para redução de todo Hg iônico presente no extrato na forma de $\text{Hg}^0_{(v)}$. O vapor gerado foi carregado por um fluxo de ar para uma célula de leitura de um espectrofotômetro de absorção atômica, Bacharach Model 2500 dedicado à determinação de Hg (Marins *et al.*, 1998).

As concentrações finais dos metais nas amostras foram obtidas através das equações das curvas de calibração corrigidas pelos fatores de diluição dos extratos, quando necessário e pelo volume do extrato. Em seguida, a concentração do metal

por volume do extrato foi transformada em unidade de massa dividindo-se a concentração em volume pela massa de sedimento analisado.

O teor do metal [Me] analisado é dado pela seguinte expressão:

$$[\text{Me}] = (C \times V \times f) / m$$

onde:

C = concentração em $\mu\text{g/mL}$ obtida através da curva de calibração do metal

V = volume total do extrato

F = fator de diluição do extrato original, quando necessário

m = massa do sedimento

Vale ainda ressaltar que os resultados além de terem sido feitos em duplicata tiveram como critério de aceite o desvio da média inferior a 10%. Por sua vez o equipamento aspira e lê cada amostra analisada no mínimo três vezes e, foram feitas leituras do branco a cada dez amostras.

O limite de detecção dos espectrofotômetros de absorção atômica foram calculados a partir do EPADYX das curvas de calibração, onde o valor encontrado para o EPADYX é multiplicado por três e inserido na equação da curva dando o resultado em massa por volume. Tais valores são apresentados na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Valores dos limites de detecção dos espectrofotômetros de absorção atômica para cada metal analisado.

Metais analisados	Limite de detecção
Fe	0,0622 $\mu\text{g/mL}$
Al	1,0147 $\mu\text{g/mL}$
Zn	0,1054 $\mu\text{g/mL}$
Cu	0,0721 $\mu\text{g/mL}$
Pb	0,3124 $\mu\text{g/mL}$
Cd	0,0249 $\mu\text{g/mL}$
Hg	0,0554 ng/mL

4.2.2 – Determinação do teor de matéria orgânica

Por ser um importante carreador geoquímico de metais, foram determinados os teores de matéria orgânica nas amostras coletadas para uma posterior correlação entre estes teores e os metais estudados utilizando o programa CORREL que encontra o coeficiente r (momento-produto de Pearson), medida do grau de relação entre pares de elementos: valores próximos de +1 ou -1, indicam perfeito relacionamento direto ou inverso, e valores próximos de 0(zero) atestam completa independência entre eles. Tal programa também foi utilizado para correlações entre os metais estudados.

Em laboratório, o teor de matéria orgânica total foi obtido através do método gravimétrico, a partir da combustão de 2g do sedimento previamente seco em forno mufla (em duplicata) à 450°C por 24 horas (Loring & Rantala, 1992). O resultado foi obtido em percentual, através da relação entre a massa do sedimento (equivalente a 100%) e a massa perdida após a calcinação, que representa a matéria orgânica (%) volatilizada na forma de CO₂.

O teor de matéria orgânica [MO] analisada é dada pela seguinte expressão:

$$[\text{MO}] = (m_c \times 100) / m_s$$

onde:

m_c = massa perdida após a calcinação

m_s = massa do sedimento

4.2.3 – Determinação do teor de carbonato

Os teores de carbonatos foram obtidos a partir da metodologia de Loring & Rantala (1992), onde se utiliza 2g do sedimento previamente seco que é introduzido em um sistema composto por um erlenmeyer contendo um tubo de ensaio, na sua parte interna, com 5mL de HCl (4N). O frasco é tampado por uma rolha com um orifício central onde é colocado um tubo de vidro preenchido com cloreto de cálcio e lã de vidro em suas extremidades. A função do cloreto de cálcio é impedir a entrada de vapor d'água no sistema, ao mesmo tempo que permite a evolução do CO₂ gerado durante a análise.

O sistema é pesado antes e após o procedimento de digestão dos carbonatos pelo HCl, sendo o teor de carbonatos determinado gravimetricamente através da equação abaixo:

$$\text{Carbonato (\%)} = \left(\left(P_a - P_b / Q \right) \times 0,1 \right) / m \times 100$$

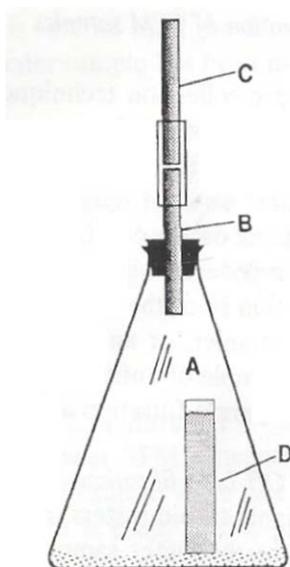
onde:

P_a = Perda de massa da amostra

P_b = Perda de massa do branco

Q = Perda de massa do padrão

m = massa da amostra



A = Erlenmeyer

B = Rolha adaptada com um tubo de vidro preenchido com CaCl_2

C = Segundo tubo de vidro ligado ao tubo B por um tubo plástico.

D = Tubo de ensaio preenchido com HCl (4N)

FIGURA 4.2 - Sistema para análise do carbonato

4.3 – Validação da metodologia empregada para determinação de metais em sedimentos costeiros

A metodologia analítica de digestão e detecção analítica de metais em sedimentos foi validada através da análise do padrão de referência de sedimento estuarino NIST (National Institute of Standards & Technology) 1646a, com valores certificados para: Fe = $2,008 \pm 0,039$ %; Al = $2,297 \pm 0,018$ %; Cd = $0,148 \pm 0,007$ mg.Kg⁻¹; Cu = $10,01 \pm 0,34$ mg.Kg⁻¹; Pb = $11,7 \pm 1,2$ mg.Kg⁻¹ e Zn = $48,9 \pm 1,6$

mg.Kg⁻¹. Para o Hg o valor do NIST, 40 ng.g⁻¹, não é certificado, somente referendado.

A metodologia de análise do padrão de referência foi igual a das amostras, diferenciando-se apenas na massa utilizada, que foi de 1g, tendo-se em vista os altos teores dos metais no padrão comparados às amostras deste estudo.

Para a análise dos teores de carbonato utilizou-se um sal P.A. de CaCO₃ com grau de pureza de 99,9%, onde em 0,1000g do sal 0,0440g é constituído de CO₂ obtido após a digestão.

4.4 – Partição geoquímica dos metais Hg, Cd, Cu, Pb e Zn

A concentração total de contaminantes no meio aquático fornece pouca informação sobre o potencial deletério desta contaminação, pois não gera cenários sobre a disponibilidade dos contaminantes para a biota, ou sobre processos que podem mobilizar estas substâncias, tais como dragagens e mudanças físico-químicas do meio. Assim, é importante distinguir espécies físico-químicas dos contaminantes em estudos ambientais (Förstner, 1989).

A especiação química quando relacionada a grupos de substâncias, ou formas de estruturas químicas não estequiometricamente definidas tem sido denominada como partição geoquímica do contaminante.

No caso de metais, a partição geoquímica envolve operacionalmente o uso de extrações simples ou seqüenciais do metal de interesse por reagentes específicos (Förstner, 1989; Davidson *et al.*, 1994) que liberam espécies metálicas associadas com fases sedimentares específicas. Um grande número de métodos de extração seqüencial têm sido relatado na literatura, vários destes são métodos derivados do procedimento de Tessier *et al.* (1979).

Neste estudo utilizou-se inicialmente a metodologia de Lechler *et al.* (1997) para a determinação da partição geoquímica de mercúrio visando obter os teores nas fases redutível e oxidável, por exemplo, com as quais o elemento está associado no sedimento. Entretanto, esta metodologia não se mostrou aplicável aos sedimentos em estudo devido aos baixos teores encontrados de Hg e outros metais.

Dessa forma a metodologia de extração seqüencial foi descartada e a partição geoquímica dos metais Hg, Cu, Cd, Pb e Zn passou a ser avaliada através

das correlações estatísticas destes metais com importantes carreadores geoquímicos (Salomons & Stigliani, 1995).

4.5 – Determinação dos metais no material em suspensão

No segundo semestre de 2003 foi realizado uma campanha para coleta de água superficial nos pontos de amostragem 02, 06, 07, 08 e 10, para a determinação da distribuição geoquímica dos metais (Al, Cd, Cu, Pb e Zn) no material em suspensão (M.S.). As amostras foram filtradas em Millipore AP40, previamente secos, por doze horas a 60° C, e pesados em balança analítica antes e após a filtração das amostras para a obtenção do peso do M.S. Em seguida, os filtros foram digeridos com água régia da mesma forma que os sedimentos sendo que o volume de extrato utilizado foi de 10 mL.

4.6 – Tratamento estatístico dos dados

Os resultados das análises foram comparados estatisticamente para avaliação da influência sazonal, período de chuva e seca, sobre os teores de metais em sedimentos, para isto obteve-se as médias e variâncias de cada parâmetro analisado nos seus respectivos períodos e comparada a igualdade entre elas (hipótese H_0).

Tal comparação foi feita aplicando-se o Teste F, ou seja, calculou-se a razão entre as variâncias das duas populações e em seguida comparou-se o resultado com os encontrados na tabela F. A fim de que seja determinada a igualdade das médias das populações analisadas, aplicou-se o Teste T e seu resultado foi comparado com os valores encontrados na tabela de Student (Liteanu & Rica, 1980).

O critério utilizado foi de que quando o valor de t calculado fosse menor que o tabelado, a dispersão dos valores seria considerada dentro dos limites de erros randômicos, isto é, não haveria significância na diferença, com probabilidade acima de 5%, entre as duas precisões e as médias dos resultados dos parâmetros determinados nos dois períodos amostrais.

Assim, neste caso, foi utilizado um valor médio daquele parâmetro para cada um dos pontos de amostragem (Liteanu & Rica, 1980) para as demais avaliações geoquímicas feitas neste estudo.

4.7 – Inventário de metais emitidos através do emissário submarino de Fortaleza

A partir da vazão média do ESF que é de $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, foi determinada a vazão média anual em litros (transformou-se as unidades: $1,4 \text{ m}^3 \times 1000 = 1400 \text{ dm}^3 = 1400 \text{ L}$; $1 \text{ ano} = 31536000 \text{ s}$) de $4,4 \times 10^{10} \text{ L} \cdot \text{ano}^{-1}$ para o ESF.

Conhecidas as concentrações de metais emitidas para águas através de esgotos domésticos (Nriagu & Pacyna, 1988) em $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ obteve-se a vazão média anual destes metais emitidos pelo ESF e finalmente converteu-se os resultados para obtenção dos valores em $\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Os fatores de emissão de metais emitidos pelo ESF foram comparados a outros resultados na literatura.

4.8 – Programa e modo de plotagem dos resultados de metais em sedimentos da costa da RMF

Partindo dos pontos de coleta, georeferenciados em coordenadas UTM (Universal Transversor Mercator) por GPS modelo III Plus Garmin com DATUM WGS 84, processou-se os pontos amostrados no programa ArcView GIS 2.3 gerando um mapa de localização

Com os teores dos metais analisados neste estudo gerou-se mapas de isoteores para cada metal, usando o mesmo programa (ArcView GIS 2.3) que trabalha com as variáveis **x,y** e **z**, onde **x, y** são as coordenadas UTM e **z** os teores para cada metal analisado para discriminar a distribuição espacial dos diferentes metais analisados ao longo da costa da RMF.

4.9 – Fator de enriquecimento dos metais Hg, Cu, Cd, Zn e Pb na região costeira de RMF

A partir dos teores dos metais determinados nos sedimentos de fundo foram determinados os teores de enriquecimento dos metais na costa da RMF, considerando-se a seguinte equação e, o alumínio como elemento indicador da contribuição litogênica, tendo em vista a sua baixa mobilidade geoquímica.

$$Fe = [m_x / m_i] / [m_{refx} / m_{refi}]$$

onde:

m_x = concentração do metal no sedimento de fundo da RMF

m_i = concentração do alumínio no sedimento de fundo da RMF

m_{refx} = concentração do metal no folhelho médio

m_{refi} = concentração do alumínio no folhelho médio

A utilização do folhelho é devido a sua abundância, visto que é a rocha sedimentar predominante na crosta terrestre. É uma rocha composta por silte, argila e matéria orgânica lamosa, apresentando aspecto estratificado.

A concentração de cada metal no folhelho médio é observada na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Composição elementar do folhelho médio (adaptado de Salomons & Föstner, 1984)

Metais analisados	Folhelho médio ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Fe	4,7%
Al	8,0%
Zn	95
Cu	45
Pb	20
Cd	0,22
Hg	0,18

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Validação da metodologia empregada para determinação de metais em sedimentos costeiros

A Tabela 5.1 apresenta os valores obtidos na análise dos padrões, apenas o Hg não foi comparado com o padrão NIST que tem um valor não certificado para este elemento.

A recuperação dos metais mostrou-se próximo do valor certificado, exceto para o Al que tem grande quantidade ligado à fase mineral do sedimento que não é possível de ser extraído com a metodologia utilizada que é apenas para os metais incorporados ao sedimento por atividades antrópicas e que podem ser disponibilizados para o ambiente por pequenas alterações na geoquímica dos sedimentos (Jesus *et al.*, 2004). Uma extração total com ácido fluorídrico e/ou fusão alcalina provavelmente extrairia todo o Al, mas isto não acrescentaria informações relevantes para este estudo.

Para a recuperação do carbonato utilizou-se um sal P.A. de CaCO_3 com grau de pureza de 99,9%.

TABELA 5.1 – Resultados da análise dos padrões de referência – NIST 1646a (sedimentos estuarinos)

Padrão	n	Valor certificado	Valor obtido
Cu	2	10,01 ± 0,34	8,52 ± 0,08
Cd	2	0,148 ± 0,007	0,13 ± 0,01
Fe	4	2,008 ± 0,039	1,67 ± 0,01
Al	2	2,297 ± 0,018	0,68 ± 0,08
Pb	2	11,7 ± 1,2	12,06 ± 0,58
Zn	4	48,9 ± 1,6	43,84 ± 6,6
Carbonato	10	0,044	0,040 ± 0,005

Dessa forma, a metodologia empregada para a determinação de metais, em sedimentos costeiros de origem predominantemente não litogênica, mostrou ser eficiente recuperando de 83 a 106% os valores certificados no padrão NIST 1646a.

5.2 – Determinação da variabilidade amostral dos parâmetros geoquímicos entre os períodos de chuva e seca

A amostragem realizada nos 26 pontos de coleta foi feita em duas épocas distintas do ano de 2002, uma no período de chuvas, mais precisamente no começo de maio, e outra no período de seca, no mês de outubro, como mencionado anteriormente.

Para determinar a diferença entre os valores por parâmetro num mesmo período e nas médias dos parâmetros analisados na região nestes dois períodos de diferença não só pluviométrica, mas também de evaporação, velocidade dos ventos, fluxo dos rios, lixiviação do solo, aplicou-se à estatística, com um intervalo de confiança de 95%, dos Testes F e T (Tabelas 5.2 e 5.3).

TABELA 5.2 – Teste de igualdade de variância

	ν_1	ν_2	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	Hipótese H_0
Matéria orgânica	25	25	1,26	1,95	Aceita
Ferro	25	25	1,45	1,95	Aceita
Alumínio	25	25	1,08	1,95	Aceita
Mercúrio	25	25	3,60	1,95	Rejeitada
Cobre	25	25	1,64	1,95	Aceita
Cádmio	25	25	1,16	1,95	Aceita
Zinco	25	25	1,04	1,95	Aceita
Chumbo	25	25	1,24	1,95	Aceita
Carbonato	25	25	1,20	1,95	Aceita

1. n = número de observações na amostra.
2. $\nu_1 = n_1 - 1$ (grau de liberdade da população 1)
3. $\nu_2 = n_2 - 1$ (grau de liberdade da população 2)
4. $F_{\text{calc.}} = s_1^2 / s_2^2$ (variância maior sobre a menor)
5. $F_{\text{tab.}} = (\alpha / 2 ; \nu_1; \nu_2)$
6. Aceita-se a hipótese H_0 se: $F_{\text{calc.}} < F_{\text{tab.}}$.

TABELA 5.3 – Teste t de Student (igualdade entre médias)

	ν	$T_{\text{calculado}}$	T_{tabelado}	Hipótese H_0
Matéria orgânica	50	0,80	2,01	Aceita
Ferro	50	2,64	2,01	Rejeitada
Alumínio	50	0,95	2,01	Aceita
Mercúrio	50	0,34	2,01	Aceita
Cobre	50	1,25	2,01	Aceita
Cádmio	50	1,88	2,01	Aceita
Zinco	50	0,92	2,01	Aceita
Chumbo	50	0,11	2,01	Aceita
Carbonato	50	0,83	2,01	Aceita

1. n = número de observações na amostra.
2. $\nu = (n_1 + n_2) - 2$ (grau de liberdade)
3. $T_{\text{calc.}} = (X_1 - X_2) / \{S_p \times \sqrt{[(1 / n_1) + (1 / n_2)]}\}$
4. $T_{\text{tab.}} = (\alpha / 2 ; \nu)$
5. Aceita-se a hipótese H_0 se: $|T_{\text{calc.}}| < T_{\text{tab.}}$.

Como a hipótese testada (H_0) foi aceita para a maioria dos parâmetros, exceto para o Fe, conclui-se que há igualdade entre as médias dos parâmetros analisados na região ($x_1 = x_2$) durante os dois períodos do ano (chuva e seca). Isto indica a não variação sazonal destes parâmetros, exceto o caso do Fe que mostrou sofrer influências com a época de amostragem. Uma vez que mudanças como variação de pH e E_h determinam as taxas de precipitação dos óxidos de ferro (Turner, 2000), muito provavelmente estas variações existentes entre os teores nas

duas campanhas se deve a estas alterações hidroquímicas que ocorrem de acordo com o período de seca e chuva (CAGECE, 2002).

No caso do Hg através do teste F foi observado que a variabilidade entre os diferentes pontos é estatisticamente significativa, mostrando que a fonte de Hg é diferenciada para os vários pontos amostrados. Entretanto, através do teste t de Student, ficou demonstrado que estas fontes não são estatisticamente diferenciadas nas estações de seca e chuva.

Assim, optou-se por trabalhar com a média dos parâmetros analisados nos dois períodos do ano por ponto de coleta, exceto Fe.

5.3 – Distribuição dos teores de Matéria Orgânica e Carbonatos nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de matéria orgânica (MO) variaram de 0,86% a 5,50% (Tabela 5.4), tendo o seu máximo localizado no ponto 21. Além deste ponto se destacam os pontos da região portuária (25, 26 e 27) e os pontos 16 e 17.

TABELA 5.4 – Teores médios de MO (%) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	1,28	40	14	1,05	10
2	1,53	22	15	1,61	63
3	1,06	27	16	3,09	13
4	1,43	69	17	3,34	45
5	1,15	16	18	1,23	31
6	0,86	39	20	1,30	39
7	2,80	29	21	5,50	17
8	1,38	04	22	1,10	08
9	0,88	02	23	1,33	33
10	1,48	29	24	1,14	16
11	1,48	13	25	3,35	08
12	1,85	06	26	5,23	84
13	1,12	40	27	4,86	92

Já os teores de carbonatos variaram de 7,46% a 45,59% (Tabela 5.5), tendo o seu máximo localizado no ponto 08. Além deste ponto se destacam os pontos de influência do emissário submarino de Fortaleza (04, 06, 07 e 10) e o ponto 17.

TABELA 5.5 –Teores médios de Carbonatos (%) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	13,09	13	14	10,58	42
2	14,62	63	15	23,11	36
3	25,10	61	16	11,97	25
4	33,68	95	17	41,70	87
5	27,03	74	18	9,83	10
6	34,67	12	20	11,21	55
7	32,05	54	21	13,04	41
8	45,59	06	22	22,19	75
9	25,19	37	23	8,38	04
10	31,21	80	24	7,46	59
11	13,14	27	25	16,13	48
12	20,10	42	26	24,80	102
13	14,93	71	27	25,80	111

5.4 – Distribuição dos metais nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

5.4.1 – Distribuição do mercúrio nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de Hg na fração 0,6 mm dos sedimentos encontrados na costa da RMF variaram de 0,72 ng.g⁻¹ a 17,54 ng.g⁻¹ (Tabela 5.6), tendo o seu máximo localizado no ponto correspondente a saída do ESF (ponto 02). Neste ponto o teor de Hg foi um pouco superior ao *background* geoquímico para a costa Leste brasileira, que equivale a 15ng.g⁻¹ para a fração 63 µm (Marins *et al.*, 2004).

TABELA 5.6 – Teores médios de Hg (ng.g⁻¹) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	1,08	36	14	2,95	4
2	17,54	77	15	1,73	55
3	0,87	24	16	1,42	50
4	1,40	90	17	2,18	40
5	2,01	17	18	1,54	3
6	0,97	67	20	1,48	10
7	1,71	29	21	6,49	57
8	1,50	46	22	0,72	1
9	0,86	10	23	3,20	50
10	1,08	9	24	0,97	104
11	7,13	51	25	1,82	51
12	2,40	11	26	5,15	85
13	3,23	30	27	5,50	123

Outros pontos de destaque estão na área do porto (ponto 27) e à frente da foz do Rio Ceará (pontos 11 e 13), denotando a influência do aporte fluvial deste rio quanto às emissões de mercúrio pra a região estudada (Figura 5.1).

Os pontos que apresentaram teores máximos estavam a cerca de 3,6 Km da linha de costa.

FIGURA 5.1 – Distribuição de Hg, em ng.g^{-1} , nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF.

Recentemente foi avaliada a contaminação por mercúrio do material particulado de esgotos industriais, domésticos e do esgotamento central da cidade de Rio Grande (RS), onde a faixa de concentração de Hg no material particulado desses efluentes variou de 0,12 a 21,14 mg.Kg⁻¹ (Mirlean *et al.*, 2003). Os maiores valores encontrados por estes autores corresponderam ao efluente do esgotamento central da cidade de Rio Grande, comprovando que o esgotamento doméstico e urbano contêm concentrações significativas de mercúrio.

Esse elemento também demonstrou ser um eficiente Proxy da qualidade ambiental de região costeira brasileira que se estende da foz do delta do Parnaíba (fronteira entre os estados do Ceará e Piauí) à região estuarina da Lagoa dos Patos, visto que no Brasil não são conhecidas regiões de mineralização de mercúrio, com exceção de uma pequena área próxima a Ouro Preto, o que impossibilita a disponibilidade deste metal para a costa pela ação do intemperismo das rochas (Marins *et al.*, 2004).

Comparando os resultados obtidos neste estudo com os da região sudeste do Brasil (Tabela 5.7), levando-se em consideração a diferença granulométrica, observa-se que a contaminação da região estudada é ainda de baixo grau, o que corrobora os resultados obtidos por Marins *et al.* (2004) que calcularam para esta região um índice de geoacumulação igual a 2, isto é, um ponto acima do índice que áreas costeiras remotas apresentam na costa brasileira, do nordeste a sul do País.

TABELA 5.7 – Resultados de mercúrio em sedimentos superficiais.

Local amostrado	Teor de Hg (ng.g ⁻¹)	Fração analisada do sedimento	Referências
Costa da RMF	0,72 a 17,54	< 0,6 mm	Este estudo
Rio Ceará-Maranguapinho	1 a 45	63 µm	Vaisman, 2003
Rio Ceará	21 a 40	63 µm	Vaisman, 2003
Rio Pacoti (CE)	5	63 µm	Vaisman, 2003
Rio Cocó (CE)	48	63 µm	Vaisman, 2003
Rio Jaguaribe (CE)	10	63 µm	Vaisman, 2003
Baía de Sepetiba (RJ)	17 a 163	Total	Marins <i>et al.</i> , 1999
Lagoa dos Patos (RS)	20 a 1784	Total	Mirlean <i>et al.</i> , 2003
Baía de Santos (SP)	67	-	UNEP, 2000
Baía do Espírito Santo (ES)	< 20	63 µm	Jesus <i>et al.</i> , 2004

5.4.1.1 – Extração seqüencial seletiva do mercúrio

A análise da extração seqüencial seletiva não gerou resultados mensuráveis pela metodologia de detecção de mercúrio utilizada (absorção atômica utilizando-se da técnica de vapor frio), visto que as concentrações são muito baixas na costa de Fortaleza. Assim, optou-se em fazer correlações de todos os metais com carreadores geoquímicos (Salomons & Stigliani, 1995), ao invés das suas partições em frações geoquímicas obtidas tradicionalmente por extração seletiva.

O uso destas correlações tem-se mostrado efetiva em áreas onde os teores de metais em sedimentos são baixos (ppb) (Marins, 1998).

5.4.2 – Distribuição do cobre nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de Cu na fração 0,6 mm dos sedimentos variaram de 0,32 a 4,64 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Tabela 5.8), tendo os máximos localizados na região portuária (pontos 26 e 27) e próximos a linha de costa (ponto 07).

TABELA 5.8 – Teores médios de Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	0,70	7	14	0,52	71
2	1,39	44	15	0,84	55
3	0,32	34	16	1,75	33
4	0,49	80	17	2,30	39
5	0,62	5	18	0,69	68
6	0,28	54	20	0,55	76
7	3,40	67	21	4,64	45
8	0,71	19	22	0,55	59
9	0,46	33	23	0,72	86
10	0,43	91	24	0,49	104
11	0,66	21	25	2,39	46
12	0,92	10	26	4,61	117
13	0,73	13	27	4,59	97

Observa-se através das linhas de isoteores e dos pontos de teores máximos que as estações 21, 26 e 27 estão num mesmo alinhamento, que segue a dispersão dos materiais pela deriva litorânea na região (Figuras 3.2 e 4.1) a partir da região portuária, ocasionando a diminuição dos teores do metal em pontos mais distantes da costa como nos pontos 10, 14, 15, por exemplo.

FIGURA 5.2 – Distribuição de Cu, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF.

A caracterização da região portuária como fonte de cobre corrobora estudos feitos em outros portos (He & Morrison, 2001; Hatje *et al.*, 2003; Muniz *et al.*, 2004), porém mesmo nesta região os teores de Cu são considerados baixos quando comparados com regiões mais desenvolvidas industrialmente, considerada a diferença granulométrica entre este estudo e os relatados na literatura (Tabela 5.9).

TABELA 5.9 – Resultados de cobre em sedimentos superficiais.

Local amostrado	Teor de Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Referências
Costa da RMF (CE)	0,32 a 4,64	Este estudo
Rio Maranguapinho (CE)	5 a 37**	Frizzo, 1997
Rio Capivari (RJ)*	4 a 29**	De Paula & Mozeto, 2001
Lagoa dos Patos (RS)	0,8 a 200**	Baisch <i>et al.</i> , 1988
Baía do Espírito Santo (ES)	5 a 17**	Jesus <i>et al.</i> , 2004
Zona costeira de Montevideu	1,3 a 4,0**	Moyano <i>et al.</i> , 1993
Porto de Montevideu (URU)	89 ± 25 **	Muniz <i>et al.</i> , 2004
Bahía Blanca (ARG)	7,3**	Villa, 1988

*ambiente não impactado ** teores na fração 63 μm

5.4.3 – Distribuição do Cádmiio nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de Cd na fração 0,6 mm dos sedimentos variaram de 0,13 a 0,77 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Tabela 5.10), sendo observados os máximos nos pontos 7, 16 e 25. É interessante observar-se que estes pontos estão alinhados próximo a linha de costa, a cerca de 2,0 Km, porém deve-se ressaltar que não há grandes diferenças entre os teores encontrados nos diferentes pontos amostrados (Figura 5.3).

TABELA 5.10 – Valores médios de Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos, do ano com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	0,49	33	14	0,26	18
2	0,28	23	15	0,31	49
3	0,27	16	16	0,72	11
4	0,41	45	17	0,53	16
5	0,29	0	18	0,22	47
6	0,15	53	20	0,13	59
7	0,77	7	21	0,43	13
8	0,26	26	22	0,22	15
9	0,16	28	23	0,20	68
10	0,25	72	24	0,21	2
11	0,28	40	25	0,64	6
12	0,39	21	26	0,56	58
13	0,23	29	27	0,47	42

Os teores máximos de Cd encontrados, próximos à linha de costa, provavelmente estão associados a emissões de Cd pelo *runoff* urbano (material lixiviado das áreas urbanas para o oceano pelas águas das chuvas).

Davis *et al.*, 2001 estimou concentrações próximas a 12 $\mu\text{g/L}$ de Cd originado por diferentes fontes difusas, tais como construções (material de ferro e telhados) que contribuem com 26% do Cd emitido e os automóveis (lonas de freio, pneu e vazamentos de óleo) que contribuem com 15% do Cd emitido pelo *runoff* urbano.

FIGURA 5.3 – Distribuição de Cd, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF.

Os teores de Cd na costa da RMF são considerados baixos quando comparados com aqueles de regiões mais desenvolvidas industrialmente (Tabela 5.11), observada a diferença granulométrica das amostras avaliadas nestes estudos.

TABELA 5.11 – Resultados de cádmio em sedimentos superficiais.

Local amostrado	Teor de Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Referências
Costa da RMF (CE)	0,13 a 0,77	Este estudo
Rio Maranguapinho (CE)	0,6*	Frizzo, 1997
Lagoa dos Patos (RS)	0,1 a 20*	Baisch <i>et al.</i> , 1988
Zona costeira de Montevidéu	41 a 213*	Moyano <i>et al.</i> , 1993
Porto de Montevidéu (URU)	1,4*	Muniz <i>et al.</i> , 2004
Bahía Blanca (ARG)	0,44*	Villa, 1988

* teores na fração 63 μm

5.4.4 – Distribuição do chumbo nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de Pb nos sedimentos variaram de 3,29 a 13,00 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Tabela 5.12), sendo a maior concentração no ponto 07. Além deste ponto, destacam-se os pontos próximos à costa onde há distribuição de teores mais elevados desde a região portuária até a foz do Rio Ceará (Figura 5.4). A distância desta área de distribuição de teores mais elevados alcançam distâncias de até 4,6 Km da linha de costa.

TABELA 5.12 –Teores médios de Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	7,12	15	14	4,81	24
2	5,46	7	15	4,84	48
3	3,98	8	16	9,05	1
4	5,94	54	17	8,52	8
5	5,74	9	18	5,91	2
6	3,29	15	20	3,70	26
7	13,00	15	21	9,42	13
8	5,85	2	22	3,97	1
9	3,32	17	23	4,97	19
10	4,80	14	24	3,84	7
11	6,52	3	25	10,01	6
12	7,15	9	26	10,32	54
13	5,70	1	27	10,89	67

A distribuição dos teores mais elevados de Pb a partir da linha de costa em direção ao oceano aberto corrobora avaliações das emissões de Pb pelo *runoff* urbano, devido a diferentes origens difusas. Entre estas fontes, destacam-se as construções (material de ferro e telhados), que podem contribuir com 80% do Pb emitido e o desgaste ocasionado por automóveis (lonas de freio, pneu e vazamentos de óleo) que podem contribuir com 2% do Pb emitido através do *runoff* urbano (Davis *et al.*, 2001).

Estas contribuições podem totalizar teores de Pb na ordem de 5 a 200 $\mu\text{g/L}$ nos efluentes da lixiviação dos solos urbanos (Davis *et al.*, 2001).

FIGURA 5.4 – Distribuição de Pb, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF.

Os teores de Pb na costa da RMF são considerados baixos quando comparados com aqueles de regiões mais desenvolvidas industrialmente (Tabela 5.13), sendo o valor máximo similar ao valor mínimo encontrado em ambiente não impactado da região sudeste do Brasil, ressaltada a diferença granulométrica adotada nos diferentes estudos.

TABELA 5.13 – Resultados de chumbo em sedimentos superficiais.

Local amostrado	Teor de Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Referências
Costa da RMF (CE)	3,29 a 13	Este estudo
Rio Maranguapinho (CE)	4 a 22**	Frizzo, 1997
Rio Capivari (RJ)*	13 a 53**	De Paula & Mozeto, 2001
Linha de Costa (RJ)	10 a 83**	Lacerda <i>et al.</i> , 1982
Lagoa dos Patos (RS)	8 a 267**	Baisch <i>et al.</i> , 1988
Baía do Espírito Santo (ES)	6 a 13**	Jesus <i>et al.</i> , 2004
Zona costeira de Montevidéu	40 a 148**	Moyano <i>et al.</i> , 1993
Porto de Montevidéu (URU)	85 \pm 31**	Muniz <i>et al.</i> , 2004
Bahía Blanca (ARG)	17**	Villa, 1988

* ambiente não impactado ** teores na fração 63 μm

5.4.5 – Distribuição de Zinco nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de Zn nos sedimentos variaram de 1,81 a 18,64 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Tabela 5.14), sendo observadas as maiores concentrações na região portuária (pontos 25, 26 e 27), além de valores destacáveis próximos a linha de costa desde a região do porto até a foz do Rio Ceará, seguindo o sentido da deriva litorânea a cerca de 3,6 Km da linha de costa.

Por outro lado, os pontos 3, 6, 9 e 22 destacam-se dos demais por seus valores extremamente baixos. Estes pontos estão localizados a cerca de 5,2 Km da linha de costa denotando que a contribuição continental se limita até esta região.

TABELA 5.14 – Teores médios de Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para n=4.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	7,14	26	14	6,83	49
2	11,76	11	15	6,33	75
3	2,73	37	16	10,64	13
4	5,97	85	17	14,85	25
5	10,50	4	18	7,92	15
6	1,81	29	20	4,21	66
7	7,96	3	21	18,64	8
8	10,32	15	22	3,28	37
9	1,95	4	23	5,62	67
10	5,68	36	24	4,68	14
11	9,21	28	25	15,91	9
12	9,15	11	26	17,91	72
13	10,80	7	27	18,19	73

Os teores de Zn encontrados na costa da RMF são provavelmente devido a emissões de Zn pelo *runoff* urbano e às atividades portuárias. Teores de 20-5000 $\mu\text{g/L}$ de Zn são estimados de serem emitidos por diferentes fontes difusas em áreas urbanas. Podem contribuir com essas emissões de Zn pelo *runoff* urbano as construções (material de ferro e telhados), com 65%, e os automóveis (lonas de freio, pneu e vazamentos de óleo) com 29% (Davis *et al.*, 2001).

Os teores de Zn na costa da RMF são considerados baixos quando comparados com aqueles de regiões mais desenvolvidas industrialmente (Tabela 5.15) tendo o seu valor máximo na mesma ordem de grandeza dos valores mínimos de ambientes não impactados da região sudeste do Brasil, ressaltada a diferença granulométrica dos estudos.

TABELA 5.15 – Resultados de zinco em sedimentos superficiais.

Local amostrado	Teor de Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Referências
Costa da RMF (CE)	1,81 a 18,64	Este estudo
Rio Maranguapinho (CE)	12 a 116**	Frizzo, 1997
Rio Capivari (RJ)*	24 a 142**	De Paula & Mozeto, 2001
Linha de Costa (RJ)	14 a 795**	Lacerda <i>et al.</i> , 1982
Lagoa dos Patos (RS)	20 a 214**	Baisch <i>et al.</i> , 1988
Baía do Espírito Santo (ES)	27 a 75**	Jesus <i>et al.</i> , 2004
Zona costeira de Montevideu	2,4 a 105**	Moyano <i>et al.</i> , 1993
Porto de Montevideu (URU)	312 \pm 102**	Muniz <i>et al.</i> , 2004
Bahía Blanca (ARG)	35,5**	Villa, 1988

* ambiente não impactado ** teores na fração 63 μm

5.4.6 – Distribuição de Alumínio nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

Os teores de Al nos sedimentos variaram de 0,78 a 9,12 mg.g^{-1} (Tabela 5.16), sendo os valores máximos próximos a região portuária (pontos 25, 26 e 27), decrescendo em direção ao oceano aberto (pontos 17 e 21) no sentido da deriva litorânea (Figura 5.6).

O comportamento do alumínio possivelmente espelha a química e petrologia do aporte fluvial (Sistema Papicu-Maceió) bem como de toda a drenagem que flui para esta região, inclusive o *runoff* da região portuária, como podemos observar pelas plumas de dispersão na Figura 4.1, anteriormente apresentada. Uma vez que a variabilidade dos elementos menores é principalmente governada pelas mudanças

no suprimento litogênico tanto quanto pelas distâncias das áreas fontes através da diluição com sílica e carbonatos (Salomons & Förstner, 1984), é muito provável que estes pontos de teores máximos de alumínio sejam de características predominantemente mais clástica que os demais pontos e, possam também influenciar a distribuição dos metais Hg, Cd, Pb, Cu e Zn.

A partição geoquímica de Hg, Cd, Pb, Cu e Zn torna-se, assim, evidentemente importante para complementar o entendimento dos processos que governam a distribuição destes metais na costa de RMF.

TABELA 5.16 – Teores médios de Al (mg.g^{-1}) nos pontos de amostragem, durante os dois períodos do ano, com desvio padrão da média (DPM) para $n=4$.

Pontos de amostragem	Média	DPM (%)	Pontos de amostragem	Média	DPM (%)
1	2,06	66	14	2,41	62
2	2,79	31	15	1,77	94
3	1,04	3	16	3,05	19
4	2,16	39	17	6,89	49
5	3,56	6	18	2,08	12
6	0,90	16	20	2,00	48
7	2,08	11	21	6,20	9
8	3,30	14	22	1,27	17
9	0,78	11	23	2,18	49
10	1,86	22	24	1,49	33
11	2,08	21	25	7,26	16
12	2,82	68	26	9,09	95
13	4,16	96	27	9,12	94

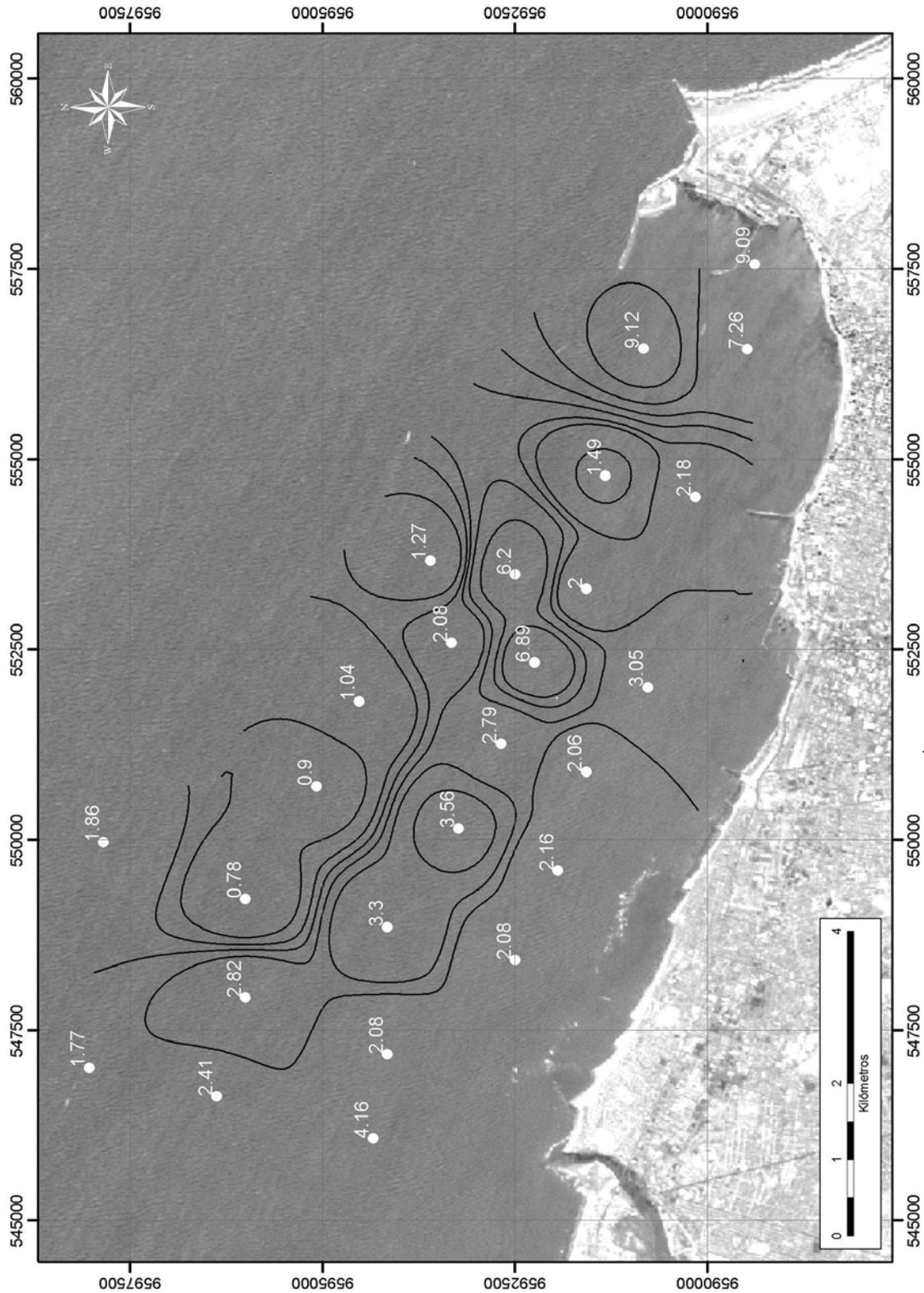


FIGURA 5.6 – Distribuição de Al, em mg.g⁻¹, nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF.

5.4.7 – Distribuição de Ferro nos sedimentos de fundo ao longo da costa da RMF

A distribuição do ferro foi avaliada nos dois períodos de amostragem, visto que foi o único parâmetro que mostrou variabilidade sazonal com significância estatística, já comentada anteriormente (Tabelas 5.2 e 5.3).

No período de chuva os seus teores variaram de 0,82 a 9,27 mg.g⁻¹ e no período de seca de 1,28 a 13,92 mg.g⁻¹. Sendo que no período de seca apresentou teores mais elevados em todas as estações de coleta, exceto no ponto 27 (Tabela 5.17).

TABELA 5.17 – Sazonalidade para os teores de ferro (mg.g⁻¹) segundo os períodos amostrais.

Pontos de amostragem	Período chuvoso	Período de seca
1	2,18	3,02
2	1,90	3,98
3	0,98	1,67
4	1,19	4,91
5	2,32	4,03
6	0,76	1,51
7	3,57	8,21
8	2,23	5,73
9	0,82	1,28
10	1,59	4,98
11	2,55	6,32
12	2,23	5,06
13	2,80	6,16
14	3,69	5,04
15	2,35	2,42
16	7,59	8,15
17	7,35	8,50
18	4,35	4,97
20	1,39	3,05
21	9,27	9,52
22	2,30	3,30
23	1,47	4,84
24	2,24	2,79
25	7,73	8,45
26	4,46	13,92
27	6,17	4,32

5.5 – Correlações geoquímicas dos metais

As principais associações dos metais Hg, Cu, Cd, Pb e Zn com importantes carreadores geoquímicos, tais como a matéria orgânica, carbonatos, óxidos-hidróxidos de ferro (Turner, 2000) e argilo-minerais (grupos Al-O hidratados recombinaados dentro das argilas) formados pelo intemperismo das rochas (Krauskopf, 1979; Salomons & Stigliani, 1995) foram avaliadas através de correlações estatísticas.

Todos os teores metálicos apresentaram correlações estatisticamente significativas com os carreadores geoquímicos utilizados, exceto com os carbonatos. No caso do mercúrio, o ponto 02 por ser fortemente influenciado por fonte pontual, o ESF, foi excluído das correlações para melhor visualização do comportamento geoquímico do metal.

As correlações com seus respectivos valores de *r* podem ser observadas na Tabelas 5.18a e 5.18b.

TABELA 5.18a – Matriz de correlação entre os metais deste estudo e os carreadores geoquímicos (MO, Al e Carbonato) nos sedimentos (n = 26)*.

	Hg	Cu	Cd	Pb	Zn
MO	0,6123***	0,9659***	0,6715***	0,8155***	0,8585***
Al	0,5787**	0,8276***	0,5288**	0,7085***	0,9273***
Carbonato	-0,2267	0,0763	0,1406	0,1167	0,0264

* exceto Hg (n=25); ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

TABELA 5.18b – Matriz de correlação entre os metais deste estudo com o Fe nas duas campanhas (n = 26)*.

Metais	Fe (estação chuvosa)	Fe (estação seca)
Hg	0,3801**	0,6295****
Cu	0,5588***	0,8707****
Cd	0,6803****	0,7678****
Pb	0,6228****	0,9174****
Zn	0,7117****	0,9187****

* exceto Hg (n=25); **não significativa *** $P \leq 0,01$ **** $P \leq 0,001$.

As correlações mais significativas ($r \cong 1$ para $P \leq 0,001$) ocorreram entre cobre e a matéria orgânica; entre chumbo e ferro, na estação seca; entre zinco e ferro, na estação seca e, entre zinco e alumínio, caracterizando estes carreadores como principais responsáveis pelo comportamento de Cu, Pb e Zn.

É interessante ressaltar que as correlações com o ferro durante a estação seca aumentaram significativamente com todos os metais avaliados (Hg, Cu, Cd, Pb e Zn) (Tabela 5.18b). Como citado anteriormente, o ferro foi o único elemento metálico a apresentar uma variação sazonal significativa (Tabelas 5.2, 5.3 e 5.17), mostrando que durante a estação seca a elevada salinidade, (34,2 a 37,2 ‰, CAGECE, 2002), e a predominância do pH alcalino (8,21 a 8,31, CAGECE, 2002), favorecem às deposições do elemento férrico que governou fortemente o comportamento do zinco e do chumbo.

As Figuras 5.7 a 5.21 apresentam as representações gráficas das correlações que denotam claramente grupos de estações com comportamentos geoquímicos similares. Por exemplo, as representações gráficas das correlações entre Zn e Al, Zn e MO, apresentam destacadamente dois agrupamentos de dados, onde evidencia-se que os pontos 17, 21, 25 e 26 estão sempre separados dos demais, mostrando que há uma região onde o Zn se distribui distintamente dos demais pontos. Este comportamento de diferentes agrupamentos se repete em todas as correlações com os metais avaliados e sempre se destacam os pontos 17, 21, 25 e 26 e também frequentemente os pontos 7, 11 e 16.

Relacionando este grupo nas diferentes correlações com os respectivos teores dos carreadores geoquímicos observa-se que os teores máximos de Al correspondem aos pontos 17, 21, 25, 26 e 27. Os teores máximos de matéria orgânica encontram-se nos pontos 7, 16, 17, 21, 25, 26 e 27. Os teores máximos de Fe na estação seca e chuvosa localizam em amostras correspondentes aos pontos 16, 17, 21, sendo que na estação seca também são máximos os teores nos pontos 7 e 26, enquanto que na estação chuvosa estão também incluídos os pontos 25 e 27. Os teores máximos de carbonato encontram-se nos pontos 04, 06, 07, 08, 10 e 17. Ou seja, com exceção do Hg no ponto 02 que foi excluído das correlações por ser fortemente distinto dos demais teores deste metal nas demais estações, há evidentemente uma diferenciação entre o substrato presente nestas estações citadas (7, 16, 17, 21, 25, 26 e 27) das demais.

As características destes pontos evidenciam a região do porto como uma área de deposição sedimentar significativa, de natureza clástica que é lixiviada pelas correntes marinhas em direção ao oceano aberto e no sentido da deriva litorânea regional.

A interação entre a sedimentação terrígena e a carbonácea controla a distribuição de sedimentos na plataforma continental desta porção da costa brasileira. Quanto maior a influência continental, menor o teor de carbonatos da plataforma (Knoppers *et al.*, 1999). Muito provavelmente este efeito é intensificado na área do presente estudo, tendo em vista que a proximidade da linha de costa pode aumentar a sedimentação terrígena.

Por outro lado, tem sido observado em estudos na plataforma continental brasileira que a maior parte dos metais pesados presentes em sedimentos encontra-se associado às frações finas dos sedimentos, particularmente argilas (Rezende *et al.*, 2004; Lacerda *et al.*, 2004) enquanto que, os teores baixos de silte e argila na maior parte da plataforma do nordeste brasileiro (Mabesoone *et al.*, 1972; Milliman & Summerhayes, 1975; Tintelnot, 1996) resultam em concentrações relativamente baixas de metais (Lacerda *et al.*, 2004).

A diferenciação do ponto 07 em relação aos demais que não estão na área de influência do porto, entretanto não é justificada pela distribuição dos sedimentos e provavelmente denota a diferenciação de fontes de metais no local. Dessa forma, uma melhor investigação sobre fontes de materiais neste ponto deve ser realizada em estudos futuros.

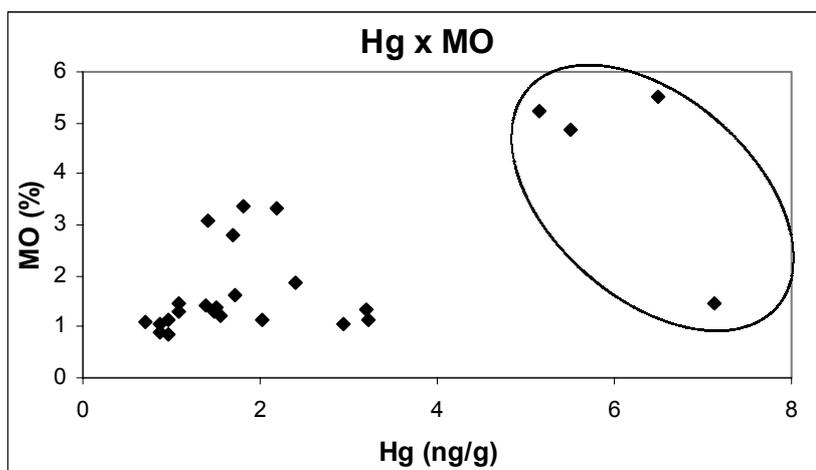


FIGURA 5.7 – Correlação estatística do Hg com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF excluído o pt. 02 (n=25).

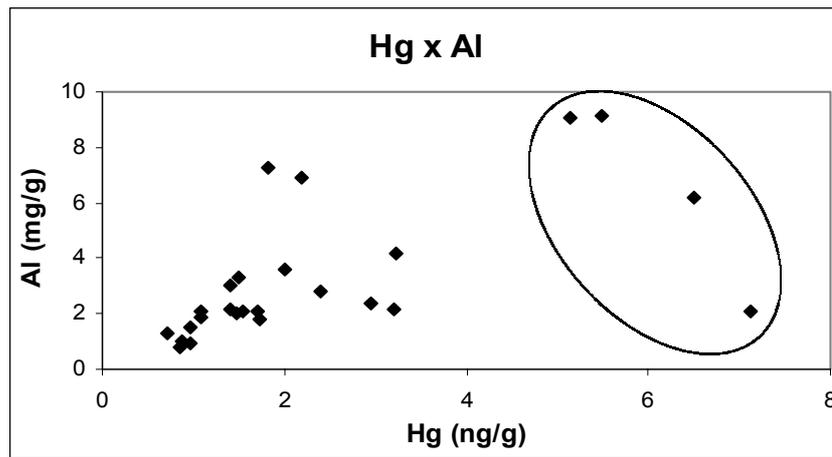


FIGURA 5.8 – Correlação estatística do Hg com o Al em sedimentos da RMF excluindo o pt. 02 (n=25).

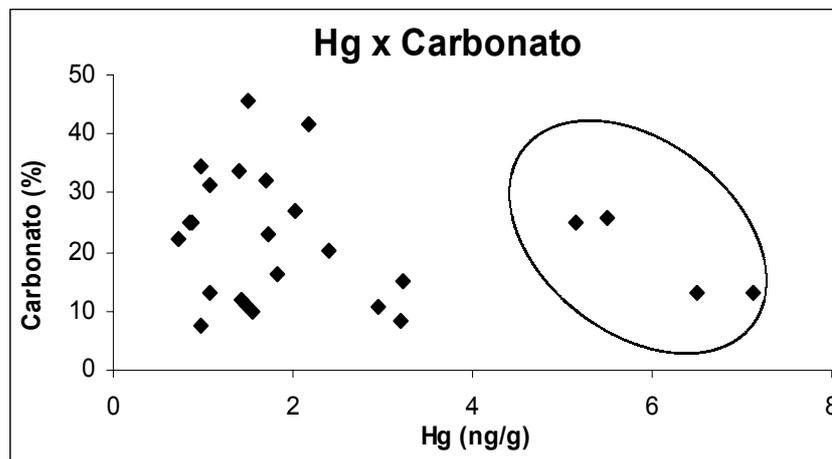


FIGURA 5.9 – Correlação estatística do Hg com o Carbonato em sedimentos da RMF excluindo o pt. 02 (n=25).

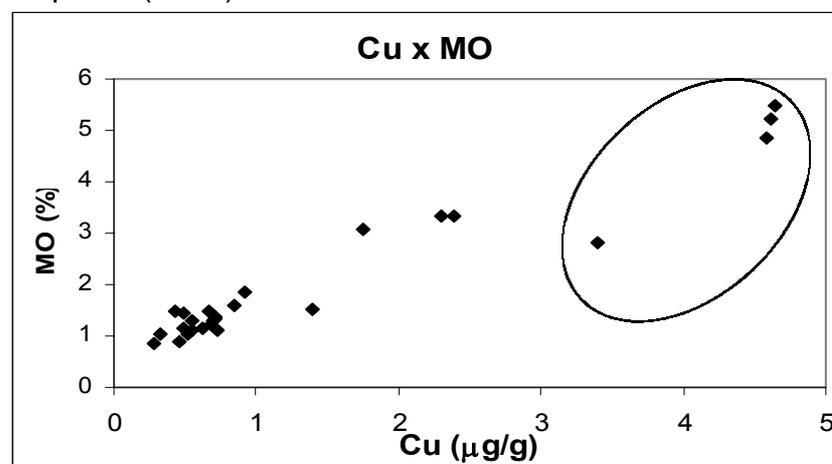


FIGURA 5.10 – Correlação estatística do Cu com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF (n=26).

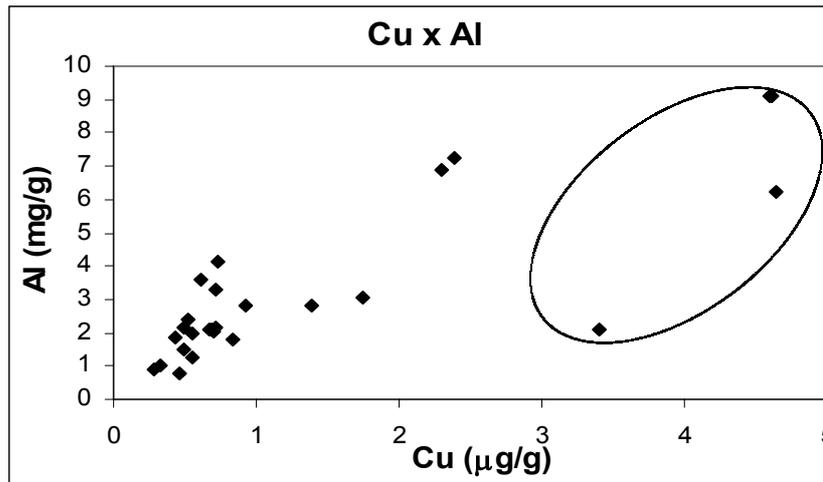


FIGURA 5.11 – Correlação estatística do Cu com o Al em sedimentos da RMF (n=26).

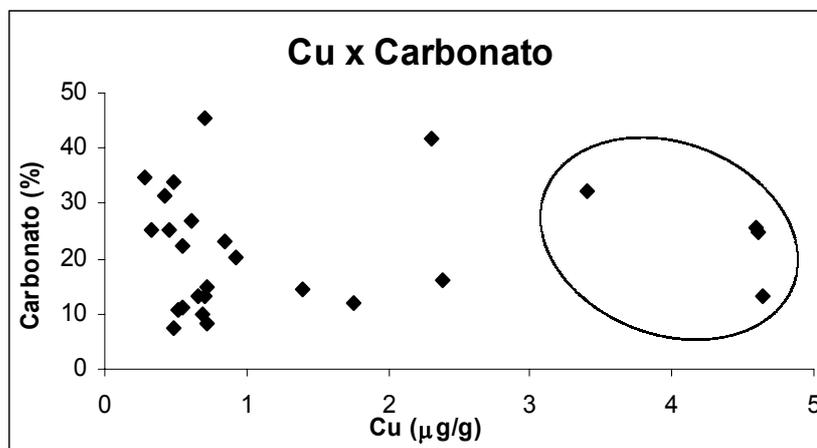


FIGURA 5.12 – Correlação estatística do Cu com o Carbonato em sedimentos da RMF (n=26).

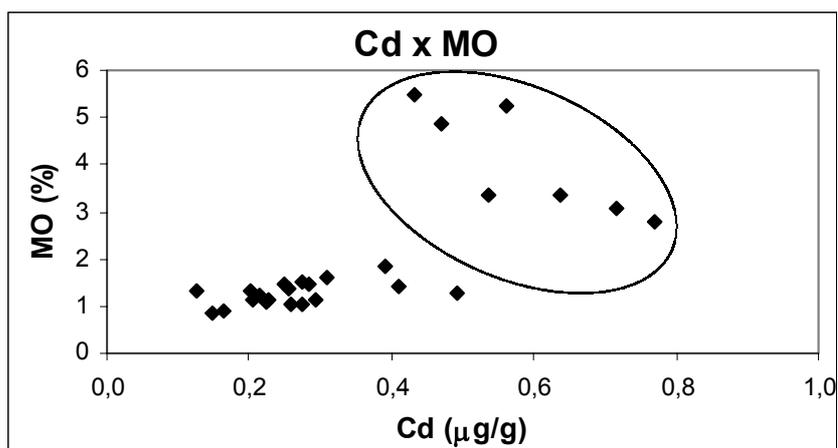


FIGURA 5.13 – Correlação estatística do Cd com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF (n=26).

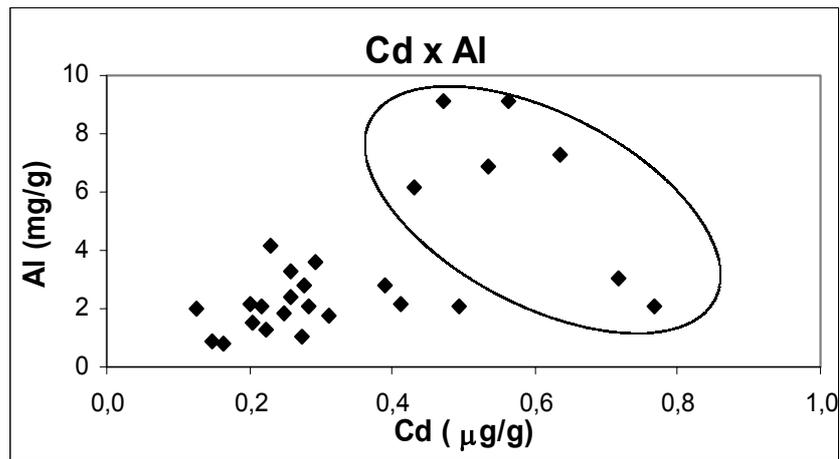


FIGURA 5.14 – Correlação estatística do Cd com o Al em sedimentos da RMF (n=26).

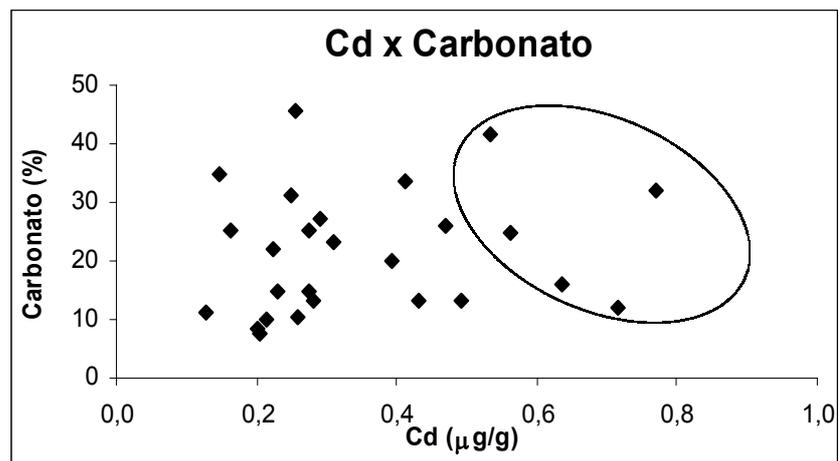


FIGURA 5.15 – Correlação estatística do Cd com o Carbonato em sedimentos da RMF (n=26).

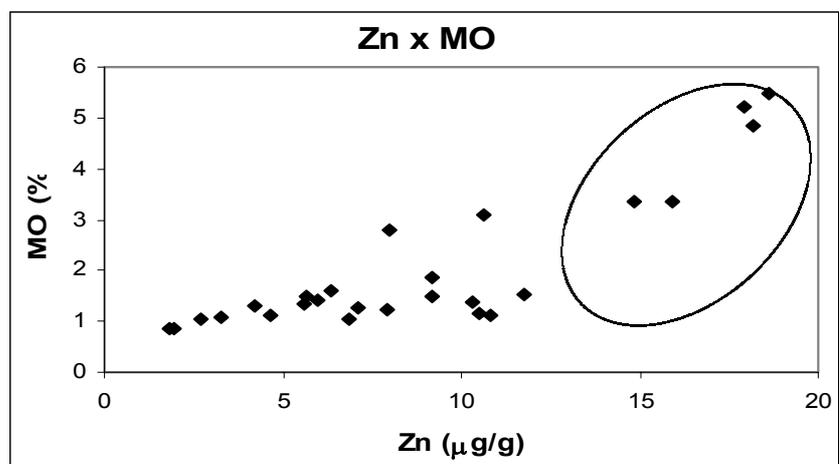


FIGURA 5.16 – Correlação estatística do Zn com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF (n=26).

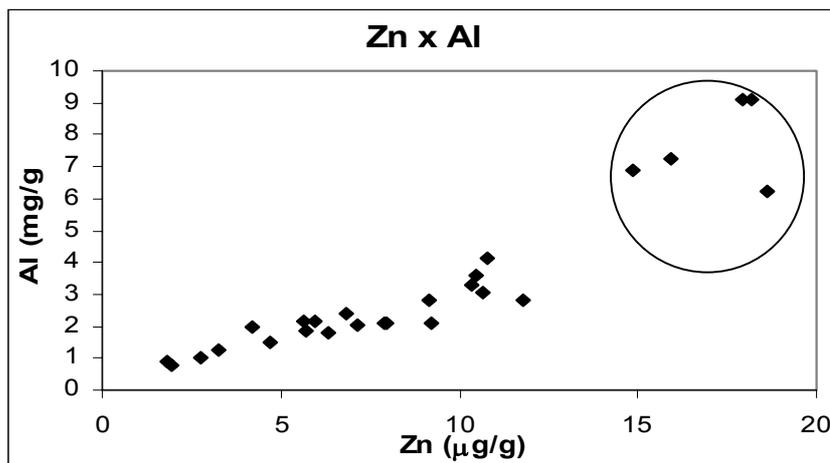


FIGURA 5.17 – Correlação estatística do Zn com o Al em sedimentos da RMF (n=26).

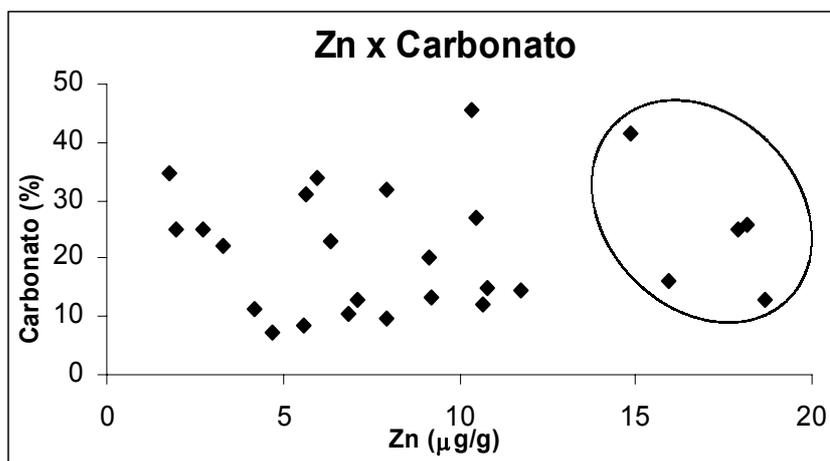


FIGURA 5.18 – Correlação estatística do Zn com o Carbonato em sedimentos da RMF (n=26).

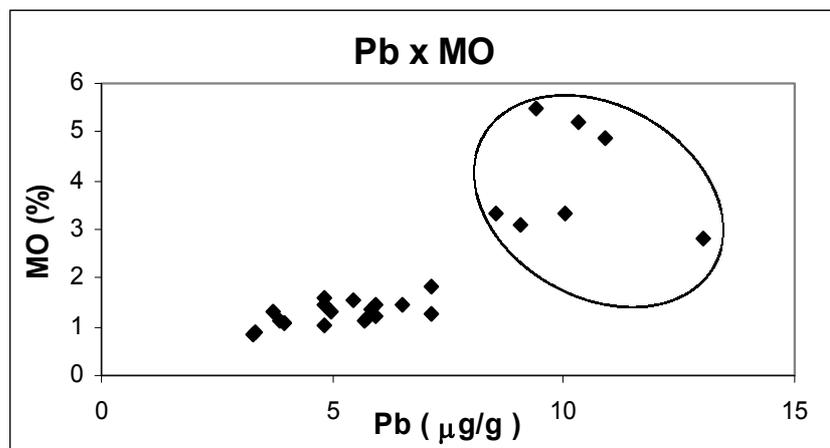


FIGURA 5.19 – Correlação estatística do Pb com a Matéria Orgânica total (MO) em sedimentos da RMF (n=26).

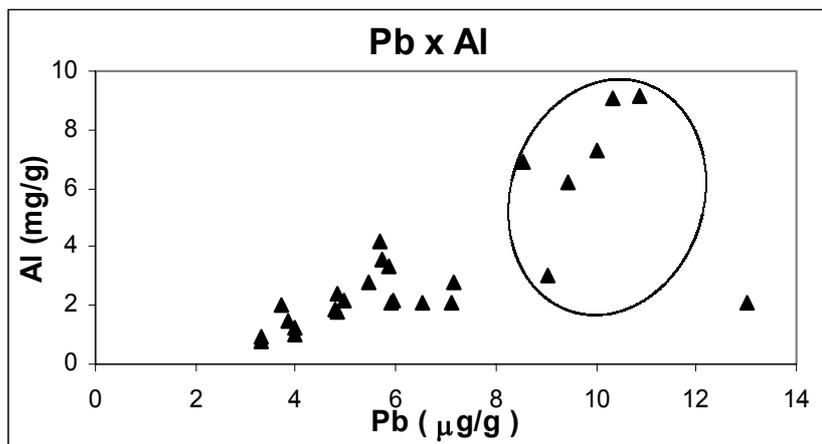


FIGURA 5.20 – Correlação estatística do Pb com o Al em sedimentos da RMF (n=26).

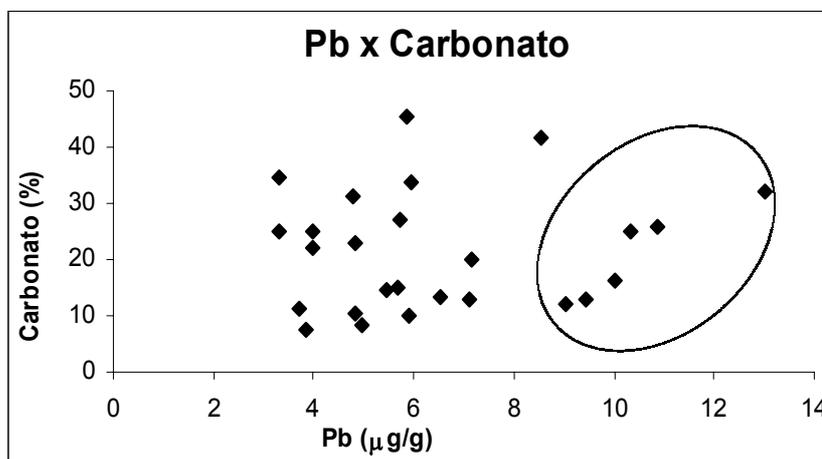


FIGURA 5.21 – Correlação estatística do Pb com o Carbonato em sedimentos da RMF (n=26).

5.6 – Distribuição dos metais a jusante do ESF no material em suspensão

No segundo semestre de 2003 foram realizadas coletas de água superficial nos pontos de amostragem 02, 06, 07, 08 e 10. Após a filtragem, o material em suspensão foi seco e pesado para depois ser digerido com água régia da mesma forma que os sedimentos.

Os resultados obtidos para os teores de Cu, Pb, Al, Zn e Cd, no material em suspensão podem ser observados na tabela 5.19.

TABELA 5.19 – Teores de metais, no material dissolvido, em pontos de amostragem a jusante do ESF.

Metal	Pt. 02	Pt. 06	Pt. 07	Pt. 08	Pt. 10
Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	25,75	11,71	10,21	18,29	42,80
Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	17,32	36,85	21,72	42,26	49,08
Al (%)	12,99	14,97	14,06	12,36	18,98
Zn (mg.g^{-1})	41,22	40,40	29,61	18,30	87,91
Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	1,45	3,04	2,29	1,55	1,80

Considerando-se os teores de metais no material em suspensão observa-se que não há um gradiente definido para a distribuição destes teores a partir da linha de costa em direção ao mar aberto. Este comportamento é diferenciado do observado em outros estudos (Chester, 1990) onde foi estabelecido um gradiente horizontal decrescente dos teores de metal na coluna d'água a partir do continente em direção ao oceano aberto. Provavelmente isto ocorre porque a área de estudo abrange áreas de intensa hidrodinâmica, onde os teores de metais no material em suspensão ainda não encontraram um padrão de equilíbrio químico.

5.7 – Correlação estatística entre os metais Hg, Cu, Cd, Pb e Zn

Foi feita uma matriz de correlação entre os teores dos metais em sedimentos deste estudo para avaliar possíveis fontes poluidoras de origem comum para os metais (Tabela 5.20).

TABELA 5.20– Matriz de correlação entre os metais nos sedimentos (n = 26).

Pb	Cd	Cu	Hg	Zn	
1,00	0,90*	0,85*	0,16	0,77*	Pb
	1,00	0,67*	0,01	0,58	Cd
		1,00	0,31	0,83*	Cu
			1,00	0,44	Hg
				1,00	Zn

* $P \leq 0,001$

Desta forma, observou-se que Cd e Pb estão fortemente correlacionados e provavelmente possuem uma mesma origem, enquanto que os demais metais apresentam diferenciação entre as respectivas fontes de emissão.

5.8 – Fatores de enriquecimento

Os fatores de enriquecimento obtidos (Tabela 5.21) mostram que os metais são predominantemente distribuídos de acordo com a proximidade de áreas fontes e que o ESF gera anomalias nos teores dos metais nos pontos 01, 02, 03, 04 e 05, a jusante do ESF considerando-se o movimento predominante dos ventos e da deriva litorânea na região de estudo.

Entretanto vale ressaltar que os teores de Hg, Zn e Cu estão muito próximos aos valores de *background* geoquímico, tendo em vista a faixa de 0 a 1 em que caem vários dos fatores determinados para estes metais e que Cd e Pb apresentaram as maiores anomalias geoquímicas para a área de estudo.

Através dos fatores de enriquecimento novamente observa-se que o ponto 07 apresenta-se diferenciado dos demais e que possui fonte emissora de Cd e Pb significativa.

TABELA 5.21– Fatores de enriquecimento para os metais Cd, Pb, Hg, Zn e Cu

Estações	Fator de enriquecimento				
	Cd	Pb	Hg	Zn	Cu
1	172,7	27,4	0,5	5,8	1,2
2	10,3	2,2	0,8	1,0	0,3
3	51,6	8,2	0,2	1,2	0,3
4	55,4	8,8	0,2	1,9	0,3
5	30,3	6,5	0,3	2,5	0,3
6	15,3	3,8	0,1	0,4	0,1
7	64,2	12,0	0,2	1,5	1,4
8	19,7	4,9	0,1	1,8	0,3
9	12,0	2,7	0,1	0,3	0,2
10	16,3	3,5	0,1	0,9	0,1
11	11,3	2,9	0,3	0,9	0,1
12	19,8	4,0	0,1	1,1	0,2
13	10,2	2,8	0,2	1,1	0,2
14	11,1	2,3	0,2	0,7	0,1
15	13,5	2,3	0,1	0,6	0,2
16	29,9	4,2	0,1	1,0	0,4
17	20,3	3,6	0,1	1,3	0,4
18	8,0	2,4	0,1	0,7	0,1
20	4,3	1,4	0,1	0,3	0,1
21	11,4	2,7	0,2	1,1	0,6
22	7,2	1,4	0,0	0,2	0,1
23	5,6	1,5	0,1	0,4	0,1
24	6,0	1,2	0,0	0,3	0,1
25	17,2	3,0	0,1	1,0	0,3
26	13,1	2,7	0,1	1,0	0,5
27	10,5	2,7	0,2	0,9	0,5

5.9 - Inventário da emissão de metais pesados pelo emissário submarino de Fortaleza (ESF)

Tendo em vista a anomalia observada para os metais principalmente devido a presença do ESF foi feito o inventário das emissões destes metais para a região de estudo.

Interceptores oceânicos têm se mostrado como uma alternativa viável para a disposição de rejeitos urbanos em regiões metropolitanas. De um modo geral, a capacidade de diluição das correntes marinhas é suficiente para a obtenção da necessária diluição e degradação dos efluentes de forma a causar o mínimo impacto ambiental. Entretanto, emissários submarinos são também fontes de poluentes não degradáveis, que mesmo em baixíssimas concentrações, podem se acumular em sedimentos de fundo na área de influência dos interceptores. Dentre estes poluentes destacam-se os metais pesados (Nriagu & Pacyna, 1988; ABICLOR, 2001) que, uma vez depositados no sedimento de fundo, são pouco remobilizados por mudanças biogeoquímicas locais.

A Tabela 5.22 apresenta as concentrações de metais em efluentes domésticos e a estimativa da emissão destes metais pelo emissário submarino de Fortaleza.

TABELA 5.22 - Estimativa da emissão de metais pesados pelo ESF.

Concentração de metais em efluentes domésticos (mg . L⁻¹)*		Descarga de metais (ton . ano⁻¹)**
Cd	Mínimo (0,005)	0,2
	Máximo (0,02)	0,9
Cu	Mínimo (0,07)	0,3
	Máximo (0,5)	20
Pb	Mínimo (0,01)	4,4 x 10 ⁻²
	Máximo (0,08)	0,4
Hg	Mínimo (0)	0
	Máximo (0,007)	0,3
Zn	Mínimo (0,1)	4,4
	Máximo (0,6)	30

* Nriagu & Pacyna (1988); ** Dados deste estudo.

Comparando esta estimativa com a de outros centros urbanos mais desenvolvidos e mais populosos, como a Califórnia (Tabela 5.23) e o Reino Unido (Tabela 5.24), percebe-se que emissários com vazões maiores do que os do ESF possuem cargas de poluentes maiores, porém quando as vazões dos emissários são próximas ao ESF, a faixa de variação de cargas de poluentes é equivalente.

TABELA 5.23 – Cargas de poluentes lançados em águas costeiras da Califórnia (adaptado de Gonçalves & Souza, 1997).

PARÂMETROS	Condado de Los Angeles (lodos)	Cidade de Los Angeles	Condado de Orange	Cidade de San Diego	Condado de Ventura
Vazões ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	15,0	14,0	7,80	5,00	0,50
Cd ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	11,6	8,8	10,9	2,7	0,14
Cu ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	116	88	81,5	20,0	1,9
Hg ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	0,46	0,92	0,37	0,16	0,02
Pb ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	87,8	13,2	23,4	12,8	0,77
Zn ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)	388	141	101	27,2	1,72

TABELA 5.24 – Estimativa da emissão de metais pelo sistema de esgoto doméstico do Reino Unido (Hutton & Symon, 1986).

Metal	Descarga de metais ($\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$)
Cd	9
Pb	161
Hg	0,42

Não foram identificadas outras fontes pontuais de metais na região estudada (RMF) que justificassem a realização de inventários, embora seja conhecida a existência de outras fontes difusas como comentado anteriormente, no capítulo Introdução deste estudo e na discussão dos resultados referentes ao ponto 07 deste estudo.

6 – CONCLUSÕES

Apesar do oceano ser um bom diluidor de contaminantes foram verificadas áreas de concentrações de metais próximas à linha de costa, à região do porto e à saída do ESF, se dispersando no sentido E-W da deriva litorânea.

O ESF mostrou-se ser fonte pontual de mercúrio, cobre, zinco, cádmio e chumbo, entretanto o enriquecimento do sedimento por estes metais ainda é baixo para Hg, Cu e Zn.

Também foi observado que o *runoff* urbano é importante emissor de Cd e Pb, tendo em vista as elevadas concentrações encontradas próximas à linha de costa.

Estudos mais intensos referentes ao ponto 07 devem ser realizados a fim de que seja determinada e encontrada a fonte de metais para esta região.

A partir de áreas fontes, os metais são distribuídos no sentido da deriva litorânea regional, apresentando linhas de concentrações máximas em sedimentos paralelas ao continente, como demonstra a Figura 6.1.

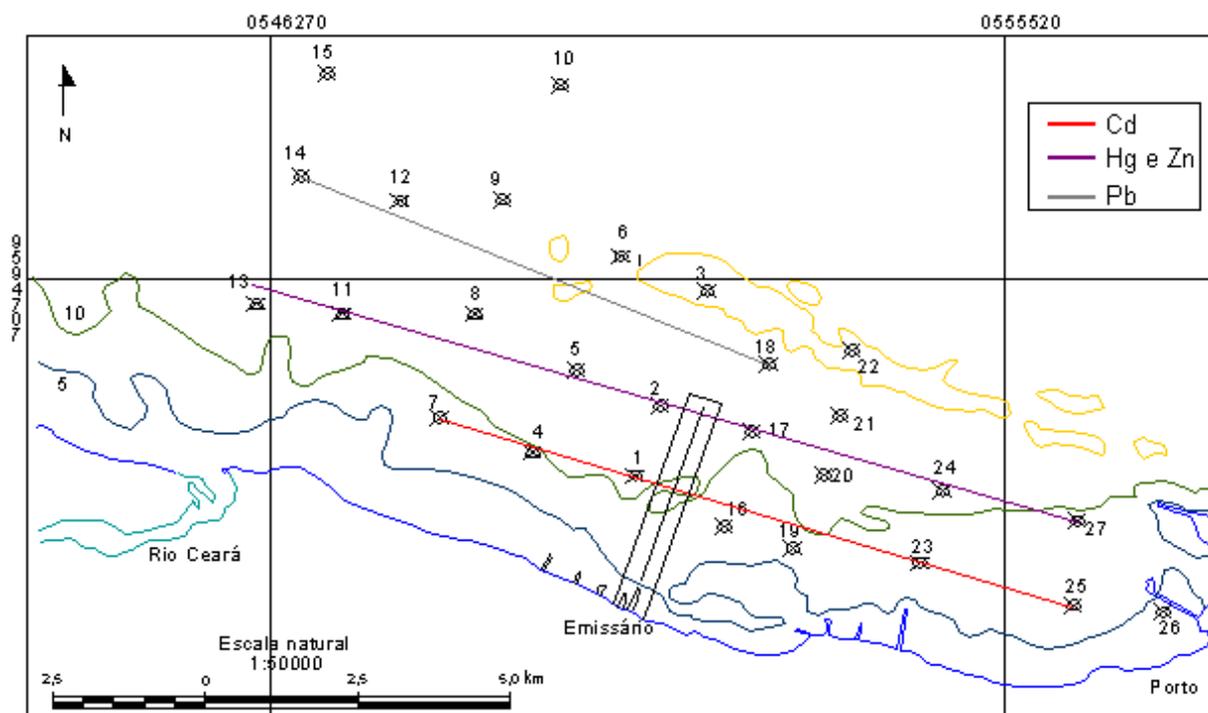


FIGURA 6.1- Linhas de teores máximos de metais, paralelas à linha de costa

A distribuição dos metais na costa da RMF apresentou dois importantes fatores determinantes do comportamento destes metais. O primeiro fator está relacionado aos carreadores geoquímicos que predominantemente influenciam o

comportamento do cobre, do chumbo e do zinco. O segundo fator está relacionado à proximidade e/ou intensidade das áreas fontes e dominou o comportamento do Hg e do Cd (Tabela 6.1).

TABELA 6.1 – Principais fatores determinantes do comportamento geoquímico de metais na costa da RMF

Elemento metálico	Fatores determinantes
Hg	Fonte
Cu	Matéria Orgânica
Cd	Fonte
Pb	Fe (estação seca)
Zn	Fe (estação seca); Al

Entretanto, deve-se ressaltar que as características do substrato sedimentar também influenciaram a distribuição geoquímica dos metais na costa da RMF, mostrando que a sedimentação terrígena, assim como em outras áreas da plataforma do nordeste brasileiro, é responsável pela maior parte das associações geoquímicas com metais-traço.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICLOR – Associação Brasileira da Indústria de Álcalis e Cloro-derivados. *Anuário Estatístico 2000*. São Paulo, 2001, 24p.

Aderaldo, M. S. *História abreviada de Fortaleza e crônicas sobre a cidade amada*. Coleção Alagadiço Novo, 40. Programa Editorial da Casa de José Alencar. Fortaleza, 1998, 254p.

Baisch, P. R. N.; Niencheski, L. F. H. & Lacerda, L. D. Trace metal distribution in sediments of the Patos Lagoon estuary, Brazil. *In: Metals in coastal environments of Latin American*. Seeliger, U.; Lacerda, L. D.; Patchineelam, S. R. (Eds). Springer-Verlag, Berlin, 1988.

Barcellos, C. & Lacerda, L. D. Cadmium and zinc source assessment in the Sepetiba Bay and basin region. *Environment Monitoring and Assessment*, v.29, p.183-199, 1994.

Brandão, R. de L. *Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza*. Série Ordenamento Territorial, v.1, Fortaleza, CPRM, 1995.

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Relatório mensal de atividades, referente à 2ª Etapa – Outubro de 2002 do projeto “*Monitoramento do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos Sanitários de Fortaleza – SDOES*”. Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza, 2002, 44p.

Campos, A. A.; Monteiro, A. Q.; Neto, C. M.; Polette, M. *A zona costeira do Ceará: Diagnóstico para a gestão integrada*. Aquasis. Fortaleza, 2003. 293p.

CDC – COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. Autoridade portuária. Disponível em: www.docasdoceara.com.br. Acesso em: 05 maio 2004. a

CDC – COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. Autoridade portuária. SIGEP – *Sistema Integrado de Gestão Portuária. Movimento Mensal de Mercadorias (Integral)*. 2004. b

Chester, R. *Marine Geochemistry*. Chapman & Hall. London. 1990, 698p.

- Consórcio CONCREMAT/ CSL/ CAB. Governo do Estado do Ceará - Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. *Relatório de Impacto Ambiental. Sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários*. 1993.
- Coutinho, P.N. *Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe*. Tese de Livre Docência. UFPE. 1976, 119 p.
- Davidson, C. M.; Thomas, C. M.; Thomas, R. P.; McVey, S. E.; Perala, R.; Littlejohn, D. & Ure, A. M.; Evaluation of a sequential extraction procedure for the speciation of heavy metals in sediments. *Analytica Chimica Acta*, p. 277-286, 1994.
- Davis, A.P.; Shokouhian, M. & Ni, S. Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff specific sources. *Chemosphere*, v.44, p.997-1009, 2001.
- De Paula, D. P. *Impactos ambientais na área de construção do aterro da Praia de Iracema – Fortaleza - Ceará*. Relatório de graduação. Departamento de Geociências. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual do Ceará. p . 2003. 155p.
- De Paula, F. C. F. & Mozeto, A. A. Biogeochemical evolution of trace metals in a pristine watershed in the Brazilian southeastern coastal region. *Applied Geochemistry*, v. 16, p.1139-1151, 2001.
- DÖLL, P. & HAUSCHILD, M. Model-based scenarios of water use in two semi-arid Brazilian states. *Reg. Environ. Change*, v.2, p.150-162, 2002.
- FIEC – Federação das Indústrias do Estado do Ceará. *Guia industrial do Ceará 2001-2002* (FIEC – SESI – SENAI – IEL – CNI). Fortaleza, Ed. LCR, 2004.
- Fizman, M.; Pfeiffer, W. C. & Lacerda, L. D. Comparasion of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in bottom sediments from Sepetiba Bay, R.J. *Science and Technology Letters*, v. 5, p. 567-575, 1984.
- Förstner, U. Lecture Notes in Earth Sciences. *Contaminated Sediments*. Bhattacharji, S; Friedman, G. M.; Neugebauer, H. J.; Seilacher, A. (Eds). Springer-Verlag. Berlin. v. 21, 1989, 157p.
- Freire, G.S.S. *Geologia marinha da plataforma continental do Ceará*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia. UFPE. 1985, 132p.

Freire, G. S. S.; Gomes, D. F.; Lima, S. F.; Maia, L. P. & Lacerda, L. D. Geochemistry of Continental Shelf Sediments of the Ceará Coast, North-Eastern Brazil. In: *Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*. Lacerda, L. D.; Santelli, R. E.; Duursma, E.; Abrão, J. J. (Eds.). Springer-Verlag. Berlin, p. 365-377, 2004.

Frizzo, S. J. *Distribuição de metais pesados nos sedimentos de fundo do Rio Maranguape, na Região Metropolitana de Fortaleza*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Residência de Fortaleza, 1997.

Girão, R. *Geografia estética de Fortaleza*. Coleção Alagadiço Novo, 111, Programa Editorial da Casa de José Alencar. Fortaleza, 1997. 264p.

Gonçalves, F. B. & Souza, A. P. de. *Disposição Oceânica de esgotos sanitários: História, teoria e prática*. Rio de Janeiro: ABES, 1997, 348p.

Hatje, V.; Apte, S.C.; Hales, L.T. & Birch, G.F. Dissolved trace metal distributions in Port Jackson estuary (Sydney Harbour), Australia. *Marine Pollution Bulletin*, v. 46, p. 719-730, 2003.

He, Z. & Morrison, R.J. Changes in the Marine Environment of Port Kembla Harbour, NSW, Australia, 1975-1995: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 42, n. 3, p. 193-201, 2001.

Hutton, M. & Symon, C. The quantities of cadmium, lead, mercury and arsenic entering the U.K. environment from human activities. *The Science of the Total Environment*, v.57, p.129-150, 1986.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Enciclopédia dos municípios brasileiros*, v. XVI, Rio de Janeiro, 1959.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1920.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1940.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1950.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1960.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1970.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1980.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 1991.

_____. *Censo demográfico*, Rio de Janeiro, 2000.

_____. *Anuário Estatístico do Brasil*, Rio de Janeiro, 2000.

_____. *Indicadores de desenvolvimento sustentável*, Rio de Janeiro, 2002.

Jesus, H. C.; Costa, E. A.; Mendonça, A. S. F. & Zandonade, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarinoda Ilha de Vitória-ES. *Química Nova*, v. 27, n. 03, p.378-386, 2004.

Jimenez, J. & Maia, L. P. Aeolian dune migration, NE Brazil. *Sedimentology*, v.46, p. 689-701.

Knoppers, B.; Ekan, W.; & Figueiredo, A. G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo Marine Lett*, v.19, p.171-178, 1999.

Krauskopf, K. B. *Introduction to Geochemistry*. MacGraw-Hill International Series in the Earth and Planetary Sciences. 2ª ed., Tokyo, 1979, 617p.

Lacerda, L. D.; Pfeiffer, W. C. & Fizman, M. Níveis de metais pesados em sedimentos marinhos na Baía da Ribeira, Angra dos Reis. *Cienc. Cult.*, v. 34, p.921-924, 1982.

Lacerda, L. D.; Kremer, H. H.; Kjerfve, B.; Salomons, W. Marshall Crossland J. I. & Crossland C.J. (Eds.) *South American basins: LOICZ Global Change Assessment and Syntesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions*. LOICZ Reports and Studies, n.21, Texel, p.92-98, 2002.

Lacerda, L. D.; Rezende, C. E.; Ovalle, A. R. & Carvalho, C. E. Mercury distribution in continental shelf sediments from two offshore oil fields in southeastern Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, v.72, p. 178-185, 2004.

- Lechler, P. J.; Miller, J. R.; Hsu, L. & Desilets, M. O. Mercury mobility at the Carson River Superfund Site, west-central Nevada, USA: interpretation of mercury speciation data in mill tailings, soils, and sediments. *Journal of Geochemical Exploration*. v. 58, p.259-267, 1997.
- Liteanu, C. & Rica, I. *Statistical Theory and Methodology of Trace Analysis*. Ellis Horwood Limited, New York, 1980.
- Loring, D. H. & Rantala, R. T. T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, v. 32, p.235-283, 1992.
- Mabesoonee, J. M.; Kempf, M. & Coutinho, P. N. Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. *Trab Inst Oceanograf. Univ. Fed. Pernambuco*, v.13, p.41-48, 1972.
- Maia, L. P. *Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona rural*. Tese de Doutorado. Facultat de Biologia. Universidade de Barcelona. 1998, 269p.
- Maia, L. P.; Jimenez, J. A.; Serra, J. & Morais, J. O. The Coastline of Fortaleza City. A product of environmental impacts caused by the Mucuripe Harbor. *Arq. Ciên. Mar, Fortaleza*, v.31, n.(1-2),p.93-100,1998.
- Marins, R. V. *Avaliação da contaminação por mercúrio emitido por fontes difusas em sistema costeiro subtropical – O caso da Baía de Sepetiba, SE, RJ*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense. 1998, 77p.
- Marins, R. V.; Lacerda, L. D.; Paraquetti, H. H. M.; Paiva, E. C. & Villas Boas, R. C. Geochemistry of mercury in sediments of a sub-tropical coastal lagoon, Sepetiba Bay, Southeastern Brazil. *Bull. Environm. Contamin. Toxicol.* v.61, n.1, p.57-64, 1998.
- Marins, R. V.; Lacerda, L. D. & Villas Boas, R. C. Em Mercury Contamination Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation, Ebinghaus, R.; Turner, R. R.; Lacerda, L. D.; Vasiliev, O.; Salomons, W. (Eds.); Springer-Verlag: Berlin, 1999.

- Marins, R. V.; Paula Filho, F. J.; Maia, S. R. R.; Lacerda, L. D. & Marques, W. S. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. *Química Nova*, v.27, n.5, p.763-770, 2004.
- Milliman, J. D. & Summerhayes, C. P. Upper continental margin sedimentation off Brazil. *Contr. Sedimentol*, v.4, p.1-175, 1975.
- Mirlean, N; Andrus, V. E. & Baisch, P. Mercury pollution sources in sediments of Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Mar. Pollut. Bull.*, v.46, p.331-334, 2003.
- Moyano, M.; Moresco, H.; Blanco, J.; Rosadilla, M. & Caballero, A. Baseline studies of coastal pollution of heavy metals, oil and PAHs in Montevideo. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 26, p.461-464, 1993.
- Muniz, P.; Danulat, E.; Yannicelli, B.; García-Alonso, J.; Medina, G. & Bicego, M.C. Assessment of contamination by heavy metals and petroleum hydrocarbons in sediments of Montevideo Harbour (Uruguay). *Environment International*, v.29, p. 1019-1028, 2004.
- Nriagu, J. O. & Pacyna, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, v.333, n. 6169, p. 134-139, 1988.
- Pinheiro, D. Área do kartódromo será reurbanizado pelo governo. *O Povo*, Fortaleza, 18 set. 1991.
- Pinto, F. Destruição de uma idéia revolucionária. *O Povo*, Fortaleza, 06 jan. 1991.
- Raudkivi, A. J. Loose boundary hydraulics. *Pergamon*, Oxford, 1976.
- Rezende, C. E.; Ovalle, A. R.; Carvalho, C. E. & Lacerda, L. D. Geochemistry and spatial distribution from two offshore oil fields in Southeastern Brazil. In: *Environmental geochemistry in tropical and subtropical environments*. Lacerda, L. D.; Santelli, R. E.; Duursma, E. K. & Abraão, J. J. (Eds). Springer-Verlag, Heidelberg, p.365-364, 2004.
- Salomons, W. & Förstner, U. *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag. Berlin, 1984, 349p.

- Salomons, W. & Stigliani, W. M. *Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments*. Springer-Verlag. Berlim. 1995, 343p.
- Silva, I. *Síntese da história de Maracanaú*. Maracanaú: Prefeitura Municipal, 1992. 156p.
- Sörme, L. & Lagerkvist, R. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *The Science of the Total Environment*, v.298, p.131-145, 2002.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley. London New York, 1948.
- Tessier, A.; Campbell, P. G. C. & Bisson, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, v.51, p. 844-851, 1979.
- Tintelnot, M. Late quaternary changes on the NE-Brazilian continental margin as revealed by clay mineral and calcium carbonate fluctuations. In: *Joint Oceanographic Projects: JOPS-II Cruise Report and First Results*. Ekau, W. & Knoppers, B. (Eds). Center for Marine Tropical Ecology, Bremen, p.104-115, 1996.
- Turner, A. Trace metal contamination in sediments from U.K. estuaries: An empirical evaluation of the role of hydrous iron and manganese oxides. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 50, p.355-371, 2000.
- UNEP – United Nations Environmental Programme; *Overview on Land-based Sources and Activities Affecting the Marine, Coastal and Associated Freshwater Environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean*, UNEP Regional Seas Reports and Studies, n. 170, The Hague, The Netherlands, 2000.
- Vaisman, A. G. *Caracterização da ostra de mangue *Crassostrea rhizopharæ* (Guilding, 1828) como biomonitor de poluição por mercúrio em estuários cearenses*. Dissertação de mestrado. Instituto de Ciências do Mar – Labomar. Universidade Federal do Ceará. 2003, 48p.
- Vasconcelos, F.P. Aspectos da poluição nas praias do município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. *Bol. Ciên. Mar*, n.41, p.1-8, 1985.
- Vasconcelos, F. P. & Albuquerque, M. F. C. Aterro da Praia de Iracema sob ameaça de extinção. *Pesquisas FUNCAP*, n° 03, Fortaleza, 2003.

Vieira, R. H. S. F; Catter, K. M.; Saker-Sampaio, S; Rodrigues, D. P.; Theóphilo, G. N. D. & Fonteles-Filho, A .A. The Stormwater drain system as a pollutio vector of the seashore in Fortaleza (Ceará state, Brazil). *Brazilian Journal Microbiology*, v.33, p.294-298, 2002.

Villa, N. Spatial distribution of heavy metals in seawater and sediments from the coastal areas of the southern Buenos Aires Province, Argentina. *In: Metals in coastal environments of Latin American*. Seeliger, U.; Lacerda, L. D.; Patchineelam, S. R. (Eds). Springer-Verlag, Berlin, 1988.