



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

BRÍGIDA MIOLA

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS DO
MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, CEARÁ, BRASIL.

FORTALEZA

2013

BRÍGIDA MIOLA

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS DO
MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, CEARÁ, BRASIL.

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, outorgado pela Universidade Federal do Ceará.

Orientador: Dr. Jáder Onofre de Moraes

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

M657c Miola, Brígida.
Caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos do manguezal do estuário do Rio
Coreaú, Ceará, Brasil / Brígida Miola. – 2013.
102 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2013.
Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos .
Orientação: Prof. Dr. Jäder Onofre de Moraes.

1. Manguezais - Rio Coreaú, Ceará. 2. Sedimentos (Geologia). I. Título.

CDD 577.698

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

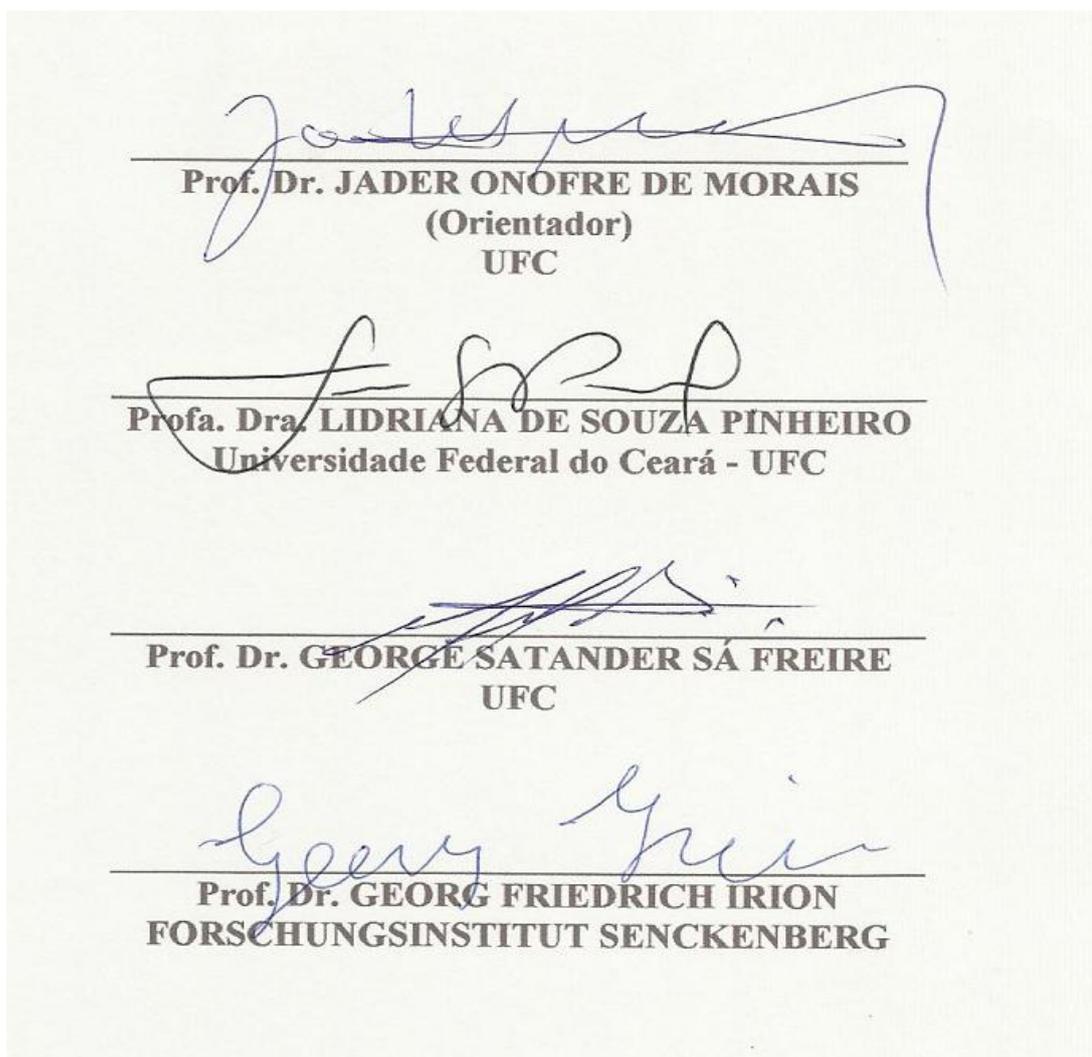
Título do trabalho:

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS DO
MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, CEARÁ, BRASIL.

Autor (a): BRÍGIDA MIOLA

Aprovado em: 25/02/2013

BANCA EXAMINADORA



AGRADECIMENTOS

À Deus pela sabedoria e saúde dadas para que pudesse enfrentar mais esta etapa da vida.

Aos meus pais Paulo e Rosa por serem sempre um exemplo de amor, lealdade e compreensão para mim e por eles fornecerem as ferramentas necessárias possibilitando que eu chegasse até aqui.

À minha querida irmã Najara por sempre estar disposta a me fornecer o abraço incentivador e o sorriso mostrando que todo o esforço vale a pena.

A todos os meus familiares, principalmente minha Avó Deza e minha querida tia Rosi, agradeço sempre por todo o carinho.

Ao meu esposo Roberto Júnior por toda compreensão, amizade e incentivos que sem dúvida foram fundamentais para o meu sucesso nesta etapa.

Ao meu orientador professor Dr. Jáder Onofre de Moraes por ter confiado no meu trabalho e me dado total apoio sempre que precisei.

À professora Dra. Lidriana de Souza Pinheiro pelo apoio e confiança dados a mim desde o primeiro dia que a conheci, agradeço ainda pela atenção e amizade.

Ao prof. Dr. George Satander de Sá Freire por ter sido a base do meu aprendizado na área e por toda a atenção e confiança dadas até hoje e ainda por sempre abrir as portas do Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada para a realização do meu trabalho.

Ao prof. Georg Friedrich Irion pelo aprendizado único tido em campo e por toda atenção, apoio e amizade mesmo estando tão longe.

Agradeço a todos os alunos e amigos que fazem parte do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica, em especial, Gustavo por sempre estar disposto a me ajudar em tudo e todas as horas que precisei Eduardo Lacerda (Dudu), Renan Guerra, Raquel Cavalcante, Mariana Aquino, Mariana Navarro e Renan Lima pelo apoio e amizade, Davis por sempre estar disposto a passar seus conhecimentos e aprendizados aos amigos. A todos esses agradeço principalmente pela amizade e que cujos momentos de convívio e diversão são da mais alta estima e ainda pelo apoio que me deram para realizar esse trabalho. Meus agradecimentos também aos colegas Maciel Moura, Mailton, Silvia e Luciano.

À minhas amigas tão queridas: Narelle Maia, Juliana Rabelo, Amanda Cazuza e Aline Aragão, que sempre estiveram presentes na minha vida durante todos estes anos, sempre com palavras de apoio, sinceras e realistas.

Aos amigos André Henrique e André Gadelha por estarem sempre dispostos a me ajudar.

Agradeço também pelo companheirismo dos colegas que cursaram juntamente comigo várias disciplinas, dividindo momentos alegres e de muito trabalho, em especial Allyne Gama.

Aos professores e funcionários que fazem parte do Instituto de Ciências do Mar.

Ao projeto Ciências do Mar, na pessoa dos professores Jáder Onofre de Moraes e Lidriana de Souza Pinheiro, pela infraestrutura e apoio logístico.

Ao Cnpq pelo fomento a bolsa de mestrado.

RESUMO

Manguezais são ecossistemas de transição entre ambientes continental e marinho. Estão amplamente distribuídos ao longo da costa brasileira, sob grande variabilidade de condições climáticas, oceanográficas, geológicas e geomorfológicas. Apesar da importância ecológica, social e econômica dos manguezais, pouco se conhece sobre as características geológicas ou sobre os processos e a extensão das transformações geoquímicas e mineralógicas que ocorrem nos solos desses ecossistemas no litoral do Estado do Ceará. A mineralogia dos solos reflete e interfere nos processos de formação destes e no comportamento biogeoquímico de nutrientes e potenciais substâncias poluentes, orgânicas e inorgânicas ali encontradas, como os metais-traço. O presente estudo teve por base a aquisição de dados de Matéria Orgânica (M.O.), Carbonato de Cálcio (CaCO_3), os teores dos metais-traço (Cd, Pb, Zn, Cu, Al e Fe), a composição de argilominerais e análises textural e granulométrica em dois testemunhos sedimentares (T01 e T02) localizados nos manguezais situados à margem direita do rio Coreaú. Quanto à variedade da coloração dos sedimentos do testemunho, foram identificadas pequenas variações entre tons de cinza claros a tons de cinza mais escuro para marrom, além de tons mais amarelados em T02. Foi verificada ainda a presença de restos de vegetação de mangue e Conchas de moluscos e bivalves em maiores quantidade em T02, além de pontos de redução e oxidação da matéria orgânica. A granulometria dos testemunhos mostrou um predomínio da fração lama sobre as outras classes granulométricas (frações de até 99%), principalmente no testemunho T02, contudo foram verificados teores maiores que 70% das frações cascalho e areia em alguns pontos nos dois testemunhos sedimentares. O conteúdo de M.O nos sedimentos variou entre 0,84% a 5,3% e de CaCO_3 entre 7,2% e 27,1%, os teores de metais obtidos nos perfis foram: Cd (teor abaixo do limite de detecção do aparelho a 1,2 ppm), Pb (2 ppm a 19 ppm), Cu (1,8 ppm a 23 ppm), Zn (6 ppm a 72 ppm), Fe (6.673,0 ppm a 57.684,0 ppm) e Al (14.851,0 ppm a 107.103,0 ppm). A análise geral sugere que o aporte de metais na área T02 é maior do que na área T01, sugerindo também uma maior influência da atividade antrópica praticada nessa área. Quanto à mineralogia, os argilominerais identificados foram: esmectita, caulinita e ilita. A assembleia mineralógica não variou de um perfil para o outro. Esta uniformidade mineralógica reflete a presença de condições geoquímicas semelhantes nos perfis.

Palavras-Chave: Manguezais, Sedimentos, Metais-traço, Argilominerais.

ABSTRACT

Mangrove are transitional ecosystems between continental and marine environments. It's widely distributed along the Brazilian coast, under great variability of climatic, oceanographic, geological and geomorphological conditions. In despite of the ecological, social and economic importance of the mangroves, the knowledge is little about the geological characteristics the knowledge is little about the geological characteristics and geochemical processes to the mineralogical changes that occur in the soils of these ecosystems in the coast of the state of Ceará. Soils mineralogy is an important input to the pedogenic processes and biogeochemical behavior of nutrients and potential inorganic and organic pollutants found there, such as trace metals. This study provides data on organic matter (OM), Calcium Carbonate (CaCO_3), the levels of trace metals (Cd, Pb, Zn, Cu, Al and Fe), the composition of clay minerals and textural and sized analysis in two sediment cores (T01 and T02) located in the mangroves situated on the right bank of the Coreaú river. About the variety of coloration of the sediments core, it can be identified small variations between grayscale clear to darker shades of gray to brown, and yellow tones in T02. The diameter of the sediment from the samples showed a predominance of mud fraction on the other sized classes (fractions up to 99%), especially in T02 core, however it can be observed levels higher than 70% of the gravel and sand fractions at some points in the two sediment cores. The content of O.M. sediment ranged between 0,84% to 5,3% and CaCO_3 7,2% to 27,1%, the metal contents in the profiles obtained were: Cd (content below the detection limit of the instrument to 1, 2 ppm), Pb (2 ppm to 19 ppm), Cu (1,8 ppm to 23 ppm), Zn (6 ppm to 72 ppm), Fe (6.673,0 ppm to 57.684,0 ppm) and Al (14.851,0 ppm to 107.103 , 0 ppm). The general analysis suggests that the contribution of metals in the area T02 is greater than T01 in the field also suggests a greater influence of human activity in this area. As for mineralogy, clay minerals identified were: smectite, kaolinite and illite. The Assembly mineralogical didn't change from one profile to another. This mineralogical uniformity reflects the presence of similar geochemical conditions in profiles.

Keywords: Mangroves, Sediments, Trace-metals, clay minerals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição de manguezais no litoral do Nordeste do Brasil entre o Piauí e Pernambuco.	4
Figura 2. Destaque no gado pastando dentro do cercado, á jusante da barragem.	17
Figura 3. Espacialização e quantificação das sub-bacias do estado do Ceará.	20
Figura 4. Campo de dunas na margem direita a foz do rio Coreaú.	22
Figura 5. Afloração de <i>beach-rocks</i> na costa de praia a margem direita da foz do rio Coreaú.	23
Figura 6. Fotos de algumas espécies da fauna (caranguejo aratu) e flora (<i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia schaveriana</i> , <i>laguncularia racemosa</i>) encontrados no manguezal do rio Coreaú.	25
Figura 7. Gráfico da temperatura média anual do intervalo de 2005 a 2011, estação 46-sensor-3-Camocim.	26
Figura 8. (A) Perfil médio diário, (B) Perfil médio mensal e (C) direção do vento do vento em Camocim.	27
Figura 9. Vista do Cais do Porto de Camocim a Estação Ferroviária. Anos 1950.	28
Figura 10: Fluxograma metodológico.	29
Figura 11. Mapa de Localização dos pontos de Coleta.	31
Figura 12. Ilustração do funcionamento do testemunhador do tipo <i>Piston Corer</i>	32
Figura 13. Fotos dos procedimentos de coleta dos testemunhos.	33
Figura 14. Processo da análise granulométrica.	34
Figura 15. Esquema de ensaio para a obtenção dos teores de CaCO ₃ em sedimentos, Calcímetro de Bernard (modificado).	36
Figura 16. Processo de obtenção do teor de matéria orgânica.	37
Figura 17. Processo de difratometria de raio-x seguido pelo Senckenberg-Institut na Alemanha.	41
Figura 18. Ilustração do testemunho T01.	43
Figura 19. Ilustração do testemunho T02.	46

Figura 20. Concentração de fragmentos de conchas em (T02), profundidade entre 220 a 240 cm.....	51
Figura 21. Mosaico de fotos da empresa de Carcinicultura no manguezal de Camocim-CE..	65
Figura 22. Difratoograma dos argilominerais de T01.....	67
Figura 23. Difratoograma dos argilominerais de T02.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Emissões antrópicas discriminadas por fonte (t.ano ⁻¹) e contribuições relativas (%) de metais pesados para a bacia do Coreaú	18
Tabela 2. Localização geográfica e profundidade de coleta dos testemunhos analisados	30
Tabela 3. Distâncias interplanares características dos argilominerais	41
Tabela 4. Granulometria das frações entre 2µm a 63µm para T01	44
Tabela 5. Granulometria das frações entre 2µm a 63µm para T02	47
Tabela 6. Resultados da análise dos padrões de referência. Fonte: INNOLAB do Brasil Ltda	54
Tabela 7. Correlações Geoquímica na área T01.(Correlações em negrito são significativas p <0,01).	63
Tabela 8. Matriz de correlação para a área T 02. (correlações em negrito são significativas p <0,01).	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Abastecimento d'água e esgotamento sanitário da Cidade de Camocim nos anos de 2004 e 2009.	17
Gráfico 2. Gráfico da concentração de CaCO ₃ por profundidade em T01 e T02 do sedimento de manguezal da região de Camocim –CE.....	50
Gráfico 3. Gráfico da Distribuição de Matéria Orgânica e Carbono Orgânica por profundidade de T01 e T02 do sedimento de manguezal da região de Camocim –CE	53

Gráfico 4. Gráfico da Concentração de Al (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE	56
Gráfico 5. Gráfico da Concentração de Fe (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE para T01 e T02.....	57
Gráfico 6. Gráfico da Concentração de Cu (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE para T01 e T02.....	58
Gráfico 7. Gráfico da Concentração de Zn (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE para T01 e T02.....	60
Gráfico 8. Gráfico da Concentração de Pb (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE	61
Gráfico 9. Gráfico da Concentração de Cd (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais alterações e/ou impactos gerados pela atividade antrópica e suas respectivas consequências para os ecossistemas manguezais.....	15
--	----

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE GRÁFICOS	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 Ecossistema Manguezal	2
2.1.1 <i>Distribuição e ocorrência</i>	3
2.2.1 <i>Mineralogia</i>	5
2.2.3 <i>Metais-traço</i>	7
2.2.3.1 <i>Particularidades dos metais pesados.</i>	9
- <i>Chumbo (Pb)</i>	10
- <i>Cádmio (Cd)</i>	10
- <i>Zinco (Zn)</i>	11
- <i>Cobre (Cu)</i>	11
- <i>Ferro (Fe)</i>	12
- <i>Alumínio (Al)</i>	13
2.3 Impactos Antrópicos nos Manguezais.....	13
2.3.1 <i>Emissão de metais-traço para a bacia do Coreaú.</i>	16
3. ÁREA DE ESTUDO	19
3.1 Caracterização Geológica e Geomorfológica da região	20
3.1.1 <i>Bacia Hidrográfica</i>	20
3.1.2 <i>Planície Litorânea</i>	21
3.1.3 <i>Planície Flúvio- Marinha</i>	23

3.2 Aspectos Meteorológicos e Oceanográficos.....	25
3.2.1 <i>Clima</i>	25
3.2.2 <i>Ventos</i>	26
3.2.3 <i>Ondas e Marés</i>	27
3.3 Características Geoambientais	28
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
4.1 Localização dos pontos de coleta.....	30
4.2 Amostragem e Medição nos testemunhos	32
4.3 Análises Sedimentológicas	33
4.3.1 <i>Identificação das fácies sedimentares</i>	33
4.4 Quantificação dos teores Carbonato de Cálcio	35
4.5 Quantificação do Teor de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico	37
4.6 Análises de Metais-traço	38
4.6.1 <i>Validação da metodologia utilizada na determinação de metais</i>	39
4.7 Difratomia de Raios-X	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Análises Textural e Granulométrica.....	42
5.2 Distribuição dos teores de carbonato de cálcio.....	49
5.3 Matéria Orgânica Oxidável (M.O.) e Carbono Orgânico (C.O.).....	52
5.4 Análises de Metais-traço nos sedimentos.....	54
5.4.1 <i>Validação da metodologia utilizada na determinação de metais em sedimentos</i>	54
5.4.2 <i>Distribuição geoquímica dos teores de Al e Fe nos sedimentos estuarinos do Rio Coreaú</i>	55
5.4.4 <i>Correlações Geoquímicas dos metais</i>	62
5.4 Argilominerais	66
6. CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	73

ANEXO A	84
ANEXO B	86

1. INTRODUÇÃO

O manguezal é um ecossistema costeiro tropical, dominado por espécies vegetais típicas, às quais se associam outros componentes da fauna e da flora, adaptados a períodos de inundação de marés e associados a variações de salinidade (MACIEL, 1991). Esses ecossistemas têm sido denominados como um tipo de comunidade muito especial que se desenvolve sobre substrato lamacento, contendo pouco oxigênio, pobreza de cálcio e abundância de nutrientes (MACEDO, 1986).

Encontrados às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde ocorra o encontro das águas de rios com as do mar, essas comunidades florestais desempenham papel fundamental na manutenção e existência de inúmeros ecossistemas localizados fora de seus limites (SCHAEFFER-NOVELLI, 1991). Sua destacada importância ecológica vem do fato de abrigarem além de suas espécies características, aquelas que migram para a costa durante a fase reprodutiva. A fauna e a flora associadas a estes ambientes são fonte de alimento e subsistência para as populações humanas além de oferecerem recursos geradores de divisas para o país, definindo assim sua relevância econômico-social (CNIO, 1998; SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

Os solos de mangue são considerados importantes compartimentos na acumulação de metais ou fonte de liberação de metais para um sistema aquático, principalmente por serem formados por partículas finas (silte e argila) e possuírem elevados teores de matéria orgânica (SALOMONS & STIGLIANI, 1995).

A capacidade de adsorção dos metais-traço está associada à área de superfície e as propriedades da superfície da partícula e por esta razão partículas pequenas como as de argilominerais possuem alta capacidade de adsorção (SALOMONS & STIGLIANI, 1995). Diante disso, o conhecimento da assembleia mineralógica desses solos, especialmente das frações mais finas, é fundamental para o a compreensão do comportamento de substâncias poluentes orgânicas e inorgânicas e da relação com os nutrientes presentes no ecossistema.

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE, 2004), o Estado do Ceará possui uma área de aproximadamente 174,2Km² de manguezais, dos quais 35,3 Km² localizam-se no estuário do rio Coreaú. O estuário possui a segunda maior área de manguezal do estado, perdendo em extensão apenas para o estuário do rio Timonha, com 50,1 km².

No estuário do rio Coreaú, assim como na maioria dos manguezais do estado do Ceará, estes solos vêm sofrendo uma crescente degradação em função de sua ocupação urbana e industrial, principalmente a aquicultura e o turismo, caso da região em estudo.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002), a área do estuário do rio Coreau foi classificada como de “muito alta importância biológica” para a conservação da diversidade biológica das zonas costeira e marinha. Assim torna-se necessário o estudo detalhado desses solos, visando fornecer dados e subsídios que contribuam para o monitoramento e preservação deste importante ecossistema costeiro.

O trabalho teve como objetivo principal fazer a caracterização geoquímica e mineralógica do sedimento do manguezal do estuário do rio Coreau, através de testemunho sedimentar em dois setores do estuário, a fim de se avaliar teores e possíveis fontes de alguns metais-traço e de seus componentes mineralógicos.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar quanto a granulometria e textura os testemunhos sedimentares;
- Avaliar os teores de Carbonato de Cálcio e Matéria Orgânica dos sedimentos;
- Avaliar os teores de metais-traço (Cd, Pb, Zn, Cu, Al e Fe) com o intuito de avaliar os impactos geogênicos e antropogênicos da região;
- Caracterizar os minerais da fração argila e suas possíveis fontes;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ecossistema Manguezal

Os manguezais desenvolvem-se junto à desembocadura dos rios, estuários e lagunas costeiras, até onde houver a influência de marés. Ocorre em regiões costeiras abrigadas e apresentam condições propícias para alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies animais, além de ser considerado um importante transformador de nutrientes em matéria orgânica e gerador de bens e serviços (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989).

O ambiente manguezal é caracterizado pela associação de árvores e arbustos principalmente as espécies *Rizophora mangle*, *Avicennia sp.*, além de algumas gramíneas (*Spartina sp.*), todas plantas halófitas que se desenvolvem em planícies de marés protegidas margeando lagunas e estuários de regiões quentes úmidas (SUGUIO, 1998). A vegetação desse ambiente é adaptada à flutuação de salinidade e caracterizada por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos e com baixos teores de oxigênio.

2.1.1 Distribuição e ocorrência

A distribuição dos manguezais é apresentada em diversas publicações, como em Cintron & Schaeffer-Novelli (1983), Macnae (1968), Snedaker (1973), e considerada em detalhes em Chapman (1976). De um modo geral, sua ocorrência está restrita aos trópicos, mas, segundo Macnae (1968), já foram localizados mangues a 35° de Latitude N (Ilha Kgushu) e a 40° de latitude S (Nova Zelândia). Entretanto, de acordo com Cintron & Schaeffer-Novelli (1989), os mangues que ocasionalmente se estendem a latitudes mais altas, apresentam vegetação com baixo desenvolvimento estrutural devido a sua limitada tolerância ao rigor do clima nessas regiões.

Os manguezais se desenvolvem principalmente nas áreas onde o relevo topográfico é suave e a amplitude das marés é alta. Não sobrevivem em temperaturas frias, assim, eles estão restritos às áreas tropicais e subtropicais do mundo onde a temperatura é quente e nas regiões onde o clima é úmido (REBELO & MEDEIROS, 1988).

Segundo Lacerda (1984), estima-se a existência de cerca de 20 milhões de hectares de manguezais em todo o mundo, sendo que os países onde as maiores florestas encontram-se são: Malásia, Índia, Brasil, Venezuela, Nigéria e Senegal.

No Brasil, é ampla a extensão ocupada por manguezais, ocorrendo em quase toda a orla marinha, de forma mais ou menos contínua, dependendo das características fisiológicas, desde o extremo norte (rio Oiapoque, aos 04°20'N) até Santa Catarina (Laguna, aos 28°30'S) (LACERDA, 1999).

Os manguezais brasileiros, ocupam uma área aproximada de 25.000 km², sendo a maior parte deles, cerca de 85% , localizado no litoral norte do país, nos estados do Amapá, Pará e Maranhão, e o limite mais oriental localiza-se na ilha oceânica de Fernando de Noronha, numa área de 0,15há (LACERDA, 1999).

Os principais gêneros de espécies vegetais superiores encontrados na costa brasileira são: *Rizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia* e *Conocarpus*. As espécies *Hibiscus tiliaceus*, *Acrostichum aureum*, *Spartina brasiliensis* e *Spartina alterniflora* ocorrem como facultativas. Dezenas de espécies de líquens, macroalgas, diatomáceas e cianofíceas e associações de algas rodofíceas também podem ser encontradas (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999). Sua fauna conta com centenas de espécies de pássaros, moluscos, peixes, insetos, mamíferos, caranguejos, além de microrganismos adaptados, influenciando na dinâmica desses ecossistemas (LACERDA *et al.*, 2001).

Segundo Lacerda (2006), no Nordeste brasileiro, o arco litorâneo que se estende do Piauí a Pernambuco (Figura 1), possui uma extensão do ecossistema manguezal estimada de 600 km². Nesse trecho, os manguezais estão restritos à área de influência das marés ao longo dos estuários dos principais rios.

Figura 1. Distribuição de manguezais no litoral do Nordeste do Brasil entre o Piauí e Pernambuco.



Fonte: Lacerda, 2006.

Para Moraes *et al.*, 2006 a maioria dos rios da região semi-árida do Nordeste, onde está inserida a área estudada, é intermitente, fluindo somente durante a estação chuvosa. Assim, a penetração da água do mar nos vales dos rios, durante as marés cheias, impede que esses rios fiquem sem a comunicação com o oceano durante a estiagem. Nesta estação, a drenagem se reduz ao máximo não existindo um gradiente de diluição da água do mar pela água do rio, formando então um gradiente de densidade. Este fato foi verificado nos estuários do rio Pacoti por Freire (1989), Jaguaribe por Soares-Filho e Alcantara-Filho (2002) e Malcozinhado por Pinheiro (2003). O autor diz ainda que, a sequência de eventos transgressivos/regressivos dessa região, especialmente holocênicos, apresenta uma configuração diferenciada, assim

como os agentes oceanográficos e climáticos que atualmente modelam o relevo da área. No semi-árido, se observa uma planície quaternária pouco extensa, com grande influência dos tabuleiros formados pelos sedimentos terciários da Formação Barreiras, especialmente em alguns pontos em direção ao litoral nordeste, onde atingem a linha de costa, em conjunto com rochas ígneas e metamórficas do Pré-Cambriano e do Cretáceo Superior. As áreas estuarinas são limitadas pela ação dos ventos (formação de dunas) e pelo regime intermitente dos rios que vêm do semi-árido, que bloqueiam o desenvolvimento de extensos manguezais na desembocadura dos rios, muitas vezes limitando-os a lagunas (MORAIS *et al.*, 2006).

2.2 Os solos de mangue

De acordo com Cintrón & Schaeffer (1983), os solos dos manguezais, por estarem em ambientes de baixa energia, apresentam predominância das frações mais finas (argila e silte), elevadas quantidades de matéria orgânica e sais solúveis em função do contato com o mar. Devido à decomposição da serapilheira e à saturação pela água são solos reduzidos, de cores acinzentadas a preta com presença de sulfeto. Podem ter vários metros de profundidade sendo fracamente consolidados e semifluidos.

A inundação a que são frequentemente submetidos é responsável por importantes alterações físico-químicas nestes solos. Alterações estas que causam: a queda do potencial redox, o aumento dos valores de pH, mudanças drásticas no equilíbrio de minerais e na dinâmica de elementos como o ferro e o enxofre (PONNAMPERUMA, 1972).

Os solos de mangue, tidos com “indiscriminados” são solos halomórficos desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos e fluviais com presença de matéria orgânica e que ocorrem em regiões de topografia plana na faixa costeira sob a influência constante do mar (EMBRAPA, 1978).

2.2.1 Mineralogia

Os ambientes estuarinos apresentam duas possíveis origens para os argilominerais que compõem suas sequências sedimentares: detrital e autigênica, sendo que cerca de 90% correspondem, em média, ao primeiro tipo. Nos minerais de origem detrital há mistura de sedimentos marinhos, depositados nas áreas baixas, que sofrem influência das correntes de maré, e de sedimentos continentais carregados pela ação hídrica e eólica (HILLIER, 1995). Já

os minerais autigênicos podem se precipitar a partir dos íons presentes em altas concentrações na solução (salinólise) ou da transformação de minerais precursores (CHAMLEY, 1989; HILLIER, 1995; PRADA-GAMERO *et al.*, 2004).

Segundo Weaver (1989) a maioria dos argilominerais presentes em ambientes de sedimentação é de origem detrital, em um estudo sobre a concentração de material em suspensão em águas oceânicas, o autor chegou a estimar que cerca de 10 bilhões toneladas/ano de filossilicatos atinge os oceanos, principalmente, pelo transporte fluvial e, em menor escala, via contribuições atmosféricas.

A composição mineralógica dos solos de mangue apresenta, com frequência, os minerais de argila correspondentes, principalmente, à montmorilonita, caulinita, ilita, clorita (PRAKASA & SWAMY, 1987). Minerais como o quartzo, halita e jarosita também podem aparecer compondo a assembleia mineralógica desses solos (Marius & Lucas, 1991). Além disso, encontra-se pirita (FeS_2) com grande frequência, em função da sua estabilidade termodinâmica no ambiente sulfato-redutor no qual se desenvolvem os solos de manguezais, e a goethita (FeO-OH), especialmente em sedimentos continentais recentes e nas regiões superficiais (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002; FERREIRA *et al.*, 2007a).

Em manguezais brasileiros alguns estudos relatam a presença de minerais herdados ou precipitados na fração argila. No Estado do Espírito Santo, a assembleia mineralógica dos manguezais é constituída principalmente por caulinita e gibbsita, além de ilita e interstratificados ilita-esmectita (MARIUS *et al.*, 1987). A presença marcante de gibbsita foi associada à herança de sedimentos da Formação Barreiras, que se encontra presente em áreas adjacentes às áreas do estuário estudado. A mesma composição pode ser verificada em estudos realizados em manguezais do Estado do Rio de Janeiro (FARIA & SANCHEZ, 2001).

Na região Norte do país, em manguezais do Estado do Pará, a mineralogia dos solos apresenta o predomínio de esmectitas, caulinita e ilita em menor parte, além da pirita, jarosita, anatósio e halita, na amostra total diferenciando-se dos estudos citados acima. (COSTA *et al.*, 2001; BEHLING & COSTA, 2004; BERRÊDO *et al.*, 2008; VILHENA *et al.*, 2010).

Os estudos a respeito da assembleia mineralógica em testemunhos sedimentares podem mostrar o grau de sedimentos marinhos e terrestres transportados que contribuem para o preenchimento dos estuários. Com a ocupação das bacias hidrográficas pelas atividades humanas, os sedimentos chegam cada vez em menor quantidade para os estuários, como é o caso do estuário dos rios Coreau e Jaguaribe, onde existem barragens construídas a distâncias

de 30 km para o mar, além da ocupação por tanques de carcinicultura nessas áreas (MORAIS *et al*, 2009).

2.2.3 Metais-traço

Os metais pesados, ou metais-traço, podem ocorrer naturalmente no meio ambiente através do intemperismo e da desagregação das rochas (origem litogênica) ou ainda, ter origem antrópica, destacando as fontes industriais e urbanas como a causa primária da poluição por metais tóxicos (CLARK, 1998; LACERDA, 1998). São elementos reativos e persistentes que alcançam o ambiente costeiro associado ao material particulado em suspensão e/ou dissolvidos na coluna d'água e ainda por deposição atmosférica (SALOMONS E FÖRSTNER, 1984; LACERDA, 1998). Estes elementos fazem parte de uma classe com características especiais, muitos dos quais são venenosos para os seres humanos e apresentam riscos ambientais em razão do seu uso intenso, toxicidade e ampla distribuição. Em alguns casos, os metais são transportados de um local para outro por via aérea, seja como gases ou como espécies adsorvidas ou absorvidas em material particulado em suspensão (BAIRD, 2002).

Os estuários e manguezais possuem uma capacidade retentora de materiais transportados do continente para o mar e por isso são zonas de deposição para diferentes compostos químicos (DYER, 1997). Além disso, apresentam características hidrogeológicas bastante peculiares e áreas abrigadas com altas taxas de sedimentação e elevados teores de matéria orgânica favorecendo assim a acumulação dos metais-traço. As concentrações desses metais nessas regiões podem atingir níveis elevados, mesmo em áreas onde não existam fontes pontuais significativas destes contaminantes (LACERDA & SALOMONS, 1998; SALOMÃO *et al*, 2001).

Apesar de atuarem como sumidouros de substâncias oriundas da dinâmica natural e das atividades antrópicas, esses ecossistemas são particularmente sensíveis às mudanças nas características ambientais podendo então se constituir em potenciais fontes de poluentes para os ambientes costeiros (MADOCCK *et al.*, 2003).

As concentrações de elementos-traço em depósitos de sedimentos recentes podem proceder de vários aportes: (1) pelo intemperismo das rochas e fragmentos de rochas em leitos de rios; (2) pela precipitação ou solubilização de substâncias adsorvidas e consequentes mudanças das características físico-químicas das águas; (3) originados de resíduos biológicos e produtos de decomposição de substâncias orgânicas, de conchas calcárias e silicosas; (4) a

precipitação atmosférica próxima às áreas urbanas e industriais, e (5) decorrentes de processos de descargas dos dejetos urbano-industriais.

A permanência dos metais-traço nos diferentes compartimentos ambientais está diretamente relacionada a uma série de fatores bióticos e abióticos que, somados aos processos físicos da dinâmica natural dos estuários podem fazer com que os metais pesados sejam remobilizados, carreados ou incorporados por organismos. (ESTEVES, 1998).

O pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, potencial redox e condutividade são consideradas as variáveis abióticas mais relevantes na alteração do fluxo dos metais entre os compartimentos geoquímicos no ambiente estuarino. A quantidade de material particulado em suspensão e o teor de matéria orgânica se caracterizam também como variáveis importantes na distribuição dos contaminantes metálicos no ambiente, pois apresentam elevada afinidade com essas espécies (TORRES, 2009).

Os sedimentos são considerados importantes compartimentos na acumulação ou fonte de liberação de metais para um sistema aquático. Assim, por causa de sua capacidade em reter metais e por realizarem constantes trocas de substâncias com a coluna d'água, o sedimento se constitui num compartimento de suma importância na avaliação das ações naturais e antrópicas a que os corpos d'água estão ou estiveram submetidos (CARVALHO, 1995). Apresentam maior capacidade de acumulação aqueles solos formados por partículas finas (silte/argila) e que detenham elevados teores de matéria orgânica (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984). A capacidade de adsorção está associada à área de superfície e as propriedades da superfície da partícula e por esta razão partículas pequenas como as de argilominerais possuem alta capacidade de adsorção (SALOMONS & STIGLIANI, 1995). Os argilominerais possuem em sua estrutura cargas elétricas insaturadas, que atraem as moléculas de água e atuam como dipolo na adsorção de metais (TEIXEIRA *et al*, 2001).

Os sedimentos são o último estágio dos contaminantes no ambiente estuarino. Dependendo da forma como o metal se liga ao sedimento, é possível detectar se ele se acumula ou é liberado para o meio (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984). A fração metálica mais fortemente ligada ao retículo cristalino dos minerais no sedimento é considerada como inerte, de forma que os elementos-traço não são solubilizados para o meio pelos processos físico-químicos comuns. Este caráter de fixação ou remobilização vai definir o tempo de residência dos elementos-traço no sedimento, dependendo do ecossistema considerado.

O estudo de sedimentos de fundo e testemunhos (*sediment cores*) é importante, pois gera conhecimento acerca das concentrações de metais-traço no ambiente, além da distribuição desses metais ao longo dos perfis geoquímicos. Devido à grande capacidade de

adsorção, principalmente da fração mais fina dos sedimentos, esses representam um importante compartimento de acumulação de metais e um registro das variações temporais da contaminação (CHARTTERJEE *ET AL.*, 2007). Segundo Clark, 2001 a maioria das espécies contaminantes deixa suas “impressões digitais” no sedimento devido a sua estabilidade dentro da coluna sedimentar, ou seja, a mobilidade dessas espécies após deposição é praticamente desprezível.

Desde o seu aparecimento o homem interfere nas atividades naturais, dela extraindo ou nela descartando, alterando as condições naturais. Por outro lado, a natureza também faz descargas por meio das atividades geológicas, intemperismo e vulcanismo (FERREIRA, 2001). O elevado grau de variação de metais nos sedimentos pode ser um indicativo de que o local estudado teve aporte de metais a partir das rochas. O enriquecimento natural de metais nos sedimentos pode causar efeitos nocivos à vida dos organismos vivos (ALLOWAY & AYRES, 1997).

No intemperismo, grandes e importantes modificações são realizadas. Há reações químicas formadoras e ou transformadoras de minerais, às vezes com lixiviação de elementos importantes, que são transportados e podem reagir com outros, formando novos compostos (BARRETO, 1998). Esse fato evidencia que as concentrações de metais no solo estão fortemente associadas às contribuições de origem natural, por intemperismo de rochas, assim, mesmo em áreas onde o impacto antrópico é baixo ou inexistente, é possível que ocorra um enriquecimento natural dos metais. Além disso, cada solo tem uma capacidade de retenção particular de metais, que depende muito de suas características geoquímicas (BARRETO, 1998).

Por outro lado as intensas atividades antrópicas no ecossistema manguezal também são consideradas fontes de metais-traço para esses ambientes, assim a concentração dos metais-traço vai variar em função da geologia local em decorrência de alterações antrópicas. Mineração, efluentes domésticos e industriais, drenagens urbanas e agricultura, resíduos sólidos acondicionados de maneira inadequada, emissão de poluentes atmosféricos, entre outros, são atividades responsáveis por esse crescimento inevitável (SAMANIDOU & FYTIANOS, 1990).

2.2.3.1 Particularidades dos metais pesados.

A seguir, algumas particularidades dos metais pesados analisados neste trabalho:

- ***Chumbo (Pb)***

Há mais de 4.000 anos o chumbo é utilizado de várias formas, principalmente por ser uma fonte de prata. Os principais usos estão relacionados às indústrias extrativa, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições (WHO, 1995).

O teor de chumbo no solo é muito influenciado por atividades antropogênicas pelo transporte do metal através do ar, oriundo de fontes variadas (WHO, 1995). As principais fontes naturais de chumbo são emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e névoas aquáticas. As maiores fontes geológicas de chumbo são as rochas ígneas e metamórficas (WHO, 1995).

Estima-se que as taxas de emissão natural do chumbo no meio ambiente são da ordem de 19.000 toneladas por ano (NRIAGU & PACINA, 1988), com fontes vulcânicas sendo responsáveis por 6.400 toneladas por ano (WHO, 1995).

- ***Cádmio (Cd)***

O cádmio é encontrado na natureza quase sempre junto com o zinco, em proporções que variam de 1:100 a 1:1000, na maioria dos minérios e solos. O Cd pode ser obtido como subproduto da refinação do zinco e de outros minérios, como chumbo-zinco e cobre-chumbo-zinco. Este elemento participa de reações de troca iônica em superfícies negativamente carregadas de minerais argilosos. Em solos ácidos, a reação é reversível. Entretanto, a adsorção aumenta com o pH e pode-se tornar irreversível (REIMANN & CARITAT, 1998).

Desde 1950, quando os riscos por exposição ocupacional ao cádmio foram reconhecidos, quantidades substanciais de informações foram geradas com relação aos seus efeitos tóxicos. A toxicidade do cádmio é similar em humanos e animais. Pequenas quantidades de cádmio são lançadas ao meio ambiente por fontes naturais: através das rochas, incêndios acidentais em florestas e vulcões, mas, principalmente, por meio de atividades humanas: por queima de carvão mineral, resíduos industriais e domésticos, processos de mineração e refino de metais e através do uso alguns fertilizantes (REIMANN & CARITAT, 1998).

Outra fonte importante de contaminação é a incorporação de fertilizantes contaminados por cádmio e adição de composto de lixo através do solo. Parte do cádmio pode ser levada pela água, ou se fixar no solo, mas sempre haverá resíduo do metal nesta água

contaminada. O Cd no solo pode existir na forma solúvel ou complexada com constituintes orgânicos ou inorgânicos insolúveis, além disso, tende a ser mais disponível quando o pH do local é baixo (ATSDR, 1997).

- **Zinco (Zn)**

O Zinco é considerado o 25º elemento mais abundante na crosta terrestre, ocorre em vários minerais e em diferentes formas (sulfetos ou carbonatos de Zn), seu maior uso é na galvanização de produtos de ferro, proporcionando uma cobertura resistente à corrosão. É utilizado em baterias, fertilizantes, aros e rodas de veículos, tintas, plásticos, borrachas, em alguns cosméticos como pós e bases faciais e produtos farmacêuticos como, por exemplo, em complexos vitamínicos (LESTER, 1987).

Os principais compostos de zinco são o óxido (ZnO), utilizado nas indústrias cerâmica e das borrachas e ainda na fabricação de tintas. O sulfato de zinco (ZnSO₄) tem aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco. O cloreto de zinco (ZnCl₂) é usado para preservar madeiras, bem como desodorizante em diversos fluidos. Este composto pode também ser usado em pilhas em tintas (UFRJ, 2005). Os minerais típicos do zinco são a blenda (ZnS), a smithsonite (ZnCO₃), a zincite (ZnO), entre outros. Os possíveis minerais hospedeiros deste elemento são: as piroxenas, as anfíbolos, as micas, as granadas e a magnetite (DEER *ET AL.*, 1966; REIMANN & CARITAT, 1998).

- **Cobre (Cu)**

O cobre é outro dos metais pesados que ocorre em todas as rochas da crosta terrestre, comum a concentração variando de 3⁻¹⁵ mg. kg⁻¹ (arenitos, areias e calcário) a 100⁻²⁰⁰ mg. kg⁻¹ (eruptivas básicas), conforme citado em AUBERT & PINTA (1977).

Este metal possui grande habilidade em interagir quimicamente com componentes minerais e orgânicos do solo, podendo formar precipitados com alguns ânions, como sulfatos, carbonatos e hidróxidos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

É considerado o mais imóvel dos metais pesados, sendo fortemente fixado pela matéria orgânica, por óxidos de Fe, Al e Mn e pelos minerais de argila. Assim, a característica comum da sua distribuição no perfil do solo é o acúmulo no horizonte superficial, seguindo o modelo de distribuição da matéria orgânica no perfil do solo (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

O cobre é amplamente distribuído na natureza no seu estado elementar, como sulfetos, arsênios, cloretos e carbonatos. A principal fonte natural de cobre são as poeiras. Outras fontes naturais, em ordem de importância, são os vulcões, os processos biogênicos, incêndios florestais e névoas aquáticas.

A contaminação de solos por cobre é resultante da utilização de materiais que contêm este elemento, tais como fertilizantes, resíduos municipais ou industriais e por emissões industriais.

- ***Ferro (Fe)***

O elemento ferro é muito abundante na litosfera, concorrendo com cerca de 5% de sua composição. Nos solos, a concentração de Fe está relacionada com o material de origem e também com a poluição pelas atividades antrópicas. A quantidade de ferro em um solo, sem interferência antropogênica, depende da proximidade deste com rochas naturais e do grau de intemperismo ao longo do tempo (WARMAN & COOPER, 2000).

O Fe tem grande habilidade em formar complexos e quelados com a matéria orgânica, de tal forma a facilitar sua movimentação no perfil do solo e sua absorção pelas plantas. A disponibilidade de ferro para as raízes das plantas é afetada pelo conteúdo de ferro e de fosfato do solo e pelo pH do meio. As plantas têm capacidade de alterar a distribuição do ferro para o topo do vegetal, aumentando ou diminuindo a concentração de um agente no interior da planta ou na raiz (HUEBERS, 1991).

A maior parte do ferro na crosta terrestre está presente como Fe^{2+} mas é rapidamente oxidado na superfície da Terra a Fe^{3+} . Nesta última forma, o ferro é insolúvel em água (COX, 1997). Constitui as fontes naturais de contaminação do ferro o desgaste natural das rochas, contendo minérios de ferro, os meteoritos e o escoamento superficial do metal por processos erosivos (KROSCWITZ, 1995).

Entre as fontes antropogênicas de ferro (origem urbana) estão os efluentes de esgotos municipais e industriais e o escoamento superficial urbano e do uso de fertilizantes na agricultura (ABU-HILAL & BADRAN, 1990; SCHARMA, 2000).

O ferro e seus compostos (principalmente na forma de óxidos) são liberados para a atmosfera, principalmente na forma de material particulado (CERCASOV, 1998). Este elemento pode ser removido por sedimentação ou pela água das chuvas, sendo essa remoção

relacionada com o tamanho das partículas e as condições meteorológicas do local: temperatura do ar, velocidade dos ventos, entre outros (CERCASOV, 1998).

- **Alumínio (Al)**

O alumínio é um dos principais elementos da crosta terrestre, sendo o elemento metálico mais abundante da mesma. A sua concentração média na crosta terrestre é cerca de 8% (EMSLEY, 1998).

Os minerais típicos deste elemento são os hidróxidos e os óxidos de alumínio, dos quais se destacam a gibsitita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), a andaluzita/distena/silimanita (Al_2SiO_5), entre outros. Os possíveis minerais mais abundantes e hospedeiros deste elemento são: os feldspatos, as micas e os minerais de argila (DEER *ET AL.*, 1966; REIMANN & CARITAT, 1998).

Este elemento encontra-se nas rochas, em geral, e nos solos varia muito com o tipo de materiais originários e com o pH dos mesmos. A mobilidade ambiental do alumínio é muito baixa. Em solos de pH inferior a 5,5, a sua mobilidade aumenta, aumentando a competição de Al^{3+} com os cátions de outros elementos para os locais de troca nos argilominerais (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Os seus principais usos são, entre outros, na indústria de embalagens, de transportes, de eletricidade e de outros bens de consumo, na construção civil, abrasivos, curtumes, indústrias têxteis e no tratamento de efluentes (REIMANN & CARITAT, 1998).

2.3 Impactos Antrópicos nos Manguezais

Os estuários são considerados sistemas jovens na escala geológica. Sua extensão e características ambientais se alteraram drasticamente em virtude dos impactos causados ao meio ambiente pelas mudanças climáticas globais, ocorridas ao longo dos últimos milênios. Essas modificações se devem particularmente às alterações no regime hidrológico das bacias de drenagem continentais e às mudanças nas condições oceânicas (MIRANDA, 2002).

Além da variabilidade natural induzida pelas mudanças climáticas, os estuários têm sofrido várias intervenções de natureza antrópica que, em geral, tem promovido alterações significativas na sua morfologia, nas suas características hidroquímicas e sedimentológicas e na estrutura das suas comunidades (ESTEVES, 1998).

Segundo Lacerda (1999), as populações dos países tropicais tenderam a se concentrar, ao longo da história, as margens de rios e ao longo do litoral, tanto para facilitar o acesso ao interior como para assegurar o escoamento e exportação de seus produtos. A localização dos manguezais em áreas protegidas dos litorais, como estuários, baías e lagoas, coincide com as áreas de maior interesse para as comunidades humanas, uma vez que são as mais proveitosas para a instalação de complexos industriais, portuários e para a expansão turístico-imobiliária.

O processo de desenvolvimento econômico nas cidades litorâneas avança juntamente com a ocupação desapropriada de seus ecossistemas e o uso incorreto do solo nessas regiões. Por englobarem ambientes de grande fragilidade, as zonas costeiras acabam por muitas vezes, sendo parcial ou permanentemente degradadas em função deste mecanismo de crescimento (MACHADO, 1994).

Machado, 1994 ressalta ainda que apesar da tão evidente importância socioeconômica e ambiental dos manguezais e da legislação florestal que, desde 1965 oferece proteção a estes ecossistemas, o processo de degradação destes ambientes continua chegando a fazer parte da história de toda a zona costeira brasileira.

Os impactos antrópicos mais incidentes em manguezais estão enumerados no Quadro 1 bem como suas respectivas consequências para os ecossistemas estuarinos.

Quadro 1. Principais alterações e/ou impactos gerados pela atividade antrópica e suas respectivas consequências para os ecossistemas manguezais.

Atividade antrópica	Alterações e/ou Impactos	Consequências para os ecossistemas estuarinos
Construção de represas e barragens	Alterações geomorfológicas no leito do rio e no regime hidrológico; Alteração no gradiente de salinidade; Intrusão salina em águas subterrâneas; Erosão costeira.	Redução no aporte de nutrientes e sedimentos para o mar; Aumento na salinidade; Avanço de areias marinhas sobre estuários; Alterações na distribuição e na extensão dos manguezais.
Agricultura	Retirada de água para irrigação; Uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas; Denucação física e química dos solos.	Maior transporte de sedimentos para o rio; Eutrofização; Lixiviação de substâncias potencialmente deletérias.
Desmatamento/ Conversão da área de mangue para outros usos	Redução de florestas de mangue; Remoção de espécies críticas; Comprometimento dos corredores ecológicos de espécies nativas; Alteração nas rotas migratórias de aves;	Perda da zona de tampão; Aumento da quantidade de material particulado em suspensão; Alterações na composição do sedimento; Alterações nas cadeias alimentares.
Industrialização	Lançamentos de efluentes e despejo de material residual.	A acumulação e transferência substâncias xenobióticas e metais pesados nas cadeias alimentares marinhas, incluindo acumulação em espécies de interesse comercial; Biotransformação.
Indústria pesqueira	Sobre pesca;	Redução nos estoques e no recrutamento de espécies; Alterações nas cadeias alimentares.
Extração de petróleo	Descarga de metais pesados, óleos e substâncias químicas tóxicas.	Efeitos tóxicos de diferentes contaminantes na sobrevivência e na reprodução de organismos marinhos resultando em impactos sobre os ecossistemas marinhos;
Dragagem	Remobilização de substâncias; Aumento da turbidez;	Efeitos tóxicos sobre os organismos; Alterações nas cadeias alimentares.
Aquicultura	Lançamentos de efluentes; Introdução de espécies exótica;	Aumento da quantidade de matéria orgânica e de nutrientes no sedimento e no material em suspensão; Eutrofização; Remoção de espécies críticas;

Fonte: adaptado de Torres, 2009.

2.3.1 Emissão de metais-traço para a bacia do Coreaú.

Os processos ambientais e atividades socioeconômicas realizadas na zona costeira são indiretamente afetados pelas atividades e usos das bacias de drenagem, mesmo quando distantes do litoral e devem ser avaliados de forma integrada no que diz respeito à estratégias de exploração de seus recursos, gerenciamento ambiental e preservação e conservação de seus ambientes naturais (LACERDA *et al.*, 2002).

A maior parte das emissões antrópicas de metais pesados para as bacias inferiores dos rios do litoral do Estado do Ceará está relacionada à disposição inadequada de águas servidas e resíduos sólidos urbanos. No caso de nutrientes e alguns metais pesados, as contribuições da agricultura, pecuária e carcinicultura podem ser também significativas. Em bacias com extensas áreas urbanizadas, o escoamento superficial urbano (*runoff* urbano) também pode contribuir com cargas significativas, particularmente de metais pesados (INESP, 2009).

A região ocupada pela Bacia Hidrográfica do Coreaú possui um grande desenvolvimento social e econômico para o estado do Ceará, devido ao seu potencial de acumulação hídrica e as constantes recargas de seus reservatórios, o que atrai usuários tais como carcinicultores (INESP, 2009).

A liberação de metais pesados para o meio ambiente através de águas servidas é uma das principais fontes dessas substâncias para estuários e águas costeiras, particularmente em regiões de elevada densidade populacional. As cargas de metais pesados recebidas por uma bacia de drenagem através da disposição de águas servidas é diretamente proporcional à densidade populacional, estando relacionada à exportação de fontes não pontuais, isto é quando da inexistência de plantas de tratamento de esgotamento sanitário.

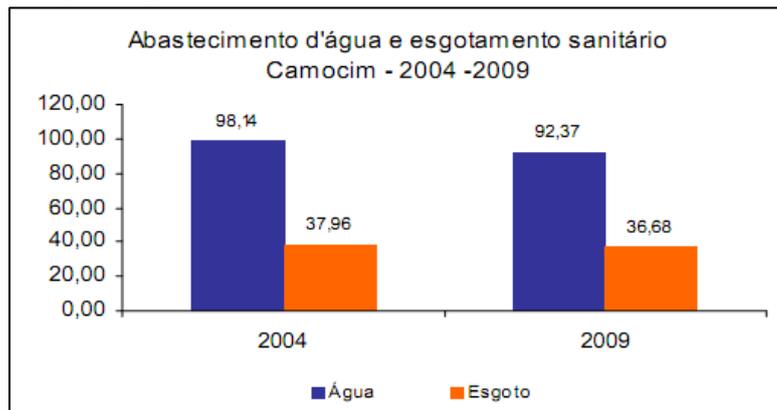
Segundo dados de 2010 do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) a população dos municípios da Bacia do Coreaú é de aproximadamente 802.341 habitante, dos quais 61.278 habitantes encontram-se no município de Camocim, onde se localiza o estuário do rio.

Em um estudo feito no projeto Pacto das Águas no ano de 2009, realizado pelo Instituto de Estudos e Pesquisas e para o Desenvolvimento do Ceará (INESP), na Bacia do Coreaú o percentual de domicílios atendidos pela rede de abastecimento de água varia de 61,69 % em Granja, a 98,30% em Camocim, atingindo o percentual de cerca de 89 % para toda a região. Já o número de domicílios servidos por rede de coleta de esgotos é preocupante.

Dos 24 municípios que compõem a bacia, 12 não dispõem de nenhum tipo de rede de esgoto, abrangendo somente cerca de 16% da população total da região.

Segundo o IPECE, 2010 o Município de Camocim atinge um percentual de 36,68% da população com esgotamento sanitário em 2009, havendo um decaimento nesse índice quando comparado ao ano de 2004 (Gráfico 1).

Gráfico 1. Abastecimento d'água e esgotamento sanitário da Cidade de Camocim nos anos de 2004 e 2009.



Fonte: IPECE, 2010.

A pecuária é outro exemplo de fonte de alguns metais pesados em áreas rurais para águas superficiais, porém depende da quantidade e qualidade dos insumos químicos utilizados.

Figura 2. Destaque no gado pastando dentro do cercado, á jusante da barragem.



Fonte: Gerência Regional da COGERH – Acaraú e Coreaú.

Em criações intensivas, onde os diferentes tipos de gado recebem diferentes tipos de ração, as concentrações de nutrientes e metais pesados nos dejetos têm uma relação direta com as concentrações encontradas nas rações utilizadas, contendo metais na forma de impurezas, no caso do Cd, por exemplo, ou como suplementos da dieta dos animais, como é o caso do Cu e do Zn (INESP, 2009).

No caso da agricultura, dentre os metais, as emissões de cobre são as mais importantes e provêm basicamente da aplicação de fungicidas, particularmente na fruticultura, as cargas de zinco também são significativas, tendo origem principalmente em fertilizantes (INESP, 2009). Na Bacia do Coreaú as emissões de cádmio e chumbo, que ocorrem apenas como impurezas em insumos agrícolas, são pouco significantes quando comparadas às cargas oriundas de fontes urbanas (Tabela 1).

Tabela 1. Emissões antrópicas discriminadas por fonte ($t.ano^{-1}$) e contribuições relativas (%) de metais pesados para a bacia do Coreaú

Fonte antrópica	Cu	Zn	Pb	Cd
Águas servidas	0,65	1,12	0,28	0,040
Pecuária	1,12	7,27	0,06	0,004
Agricultura	3,25	0,09	0,001	0,004
<i>Runoff</i> urbano	0,03	0,25	<0,001	<0,001
Resíduos sólidos	0,92	3,05	1,93	0,2
Carcinicultura	0,18	0,54	<0,001	<0,001

Fonte: Zoneamento Ecológico-Econômico da zona costeira do Estado do Ceará Estimativas de Cargas /SEMACE/LABOMAR/2005.

O lixo é também uma fonte extremamente importante de metais-traço, devido, entre outras causas, às enormes quantidades geradas pelas populações humanas. O chorume gerado pelos rejeitos sólidos, que acaba escorrendo diretamente para os cursos de água adjacentes ou lixiviando às águas subterrâneas devido à falta de um manejo apropriado e à escolha inadequada da localização dos lixões, contem elevadas concentrações de metais de relevância ambiental (INESP, 2009).

Quanto à carga poluidora proveniente das indústrias, os segmentos que apresentam maior potencial poluidor dos recursos hídricos são matadouros e frigoríficos, sucroalcooleiro

(destilarias de aguardente), curtumes, têxtil, produtos alimentícios (beneficiamento de pescado), laticínios e extração de óleos vegetais. Analisando a distribuição geográfica das indústrias nas áreas, observa-se uma concentração no Município de Camocim, que se constitui, a priori, área onde os riscos de poluição industrial se apresentam mais acentuados, dada a presença de algumas unidades industriais (INESP, 2009).

Segundo dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no qual foi auferido o destino dos resíduos sólidos, segundo os domicílios, o conjunto das áreas em estudo conta com apenas 16,9% dos seus domicílios sendo atendidos pela coleta pública, 5,2% queimam ou enterram o lixo produzido, e 77,9% jogam-no em terrenos baldios ou cursos d'água. Os municípios que apresentam melhores índices de cobertura da coleta do lixo são Camocim, Martinópolis e Tianguá, com percentual de atendimento oscilando de 19,0% a 28,0% dos seus domicílios.

A carcinicultura é uma das principais fontes de metais pesados para os estuários, ocupando uma área de cerca de 3.279 hectares nas regiões estuarinas do litoral do Ceará. Esta atividade desenvolveu-se rapidamente na região nordeste do Brasil, com as bacias dos rios do estado do Ceará sendo exemplos importantes de seu crescimento.

Na esfera econômica da bacia do Coreaú, a aquicultura é uma atividade que tem encontrado condições favoráveis à sua expansão, colocando em risco a qualidade ambiental de manguezais e ecossistemas associados. Segundo o Diagnóstico de Carcinicultura no Ceará de 2005 realizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), a bacia do Coreaú possui 10 empreendimentos de carcinicultura, ocupando uma área de aproximadamente 620 hectares.

3. ÁREA DE ESTUDO

O estuário do rio Coreaú está localizado na costa oeste do Estado do Ceará, no Município de Camocim. O rio Coreaú tem suas nascentes no sopé do Planalto da Ibiapaba e percorre parte da depressão periférica local, até chegar ao litoral onde encontra seu baixo curso, totalizando uma extensão de aproximadamente 150 km segundo dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH (1992). Tem como principais afluentes os rios São Mateus, do Meio, Imburana e Fortuna, possuindo duas grandes ilhas no estuário, a dos Amores e Trindade, tendo ainda uma grande extensão de praia junto à margem direita de sua desembocadura e, à margem esquerda, um conjunto de falésias vivas e a cidade de Camocim.

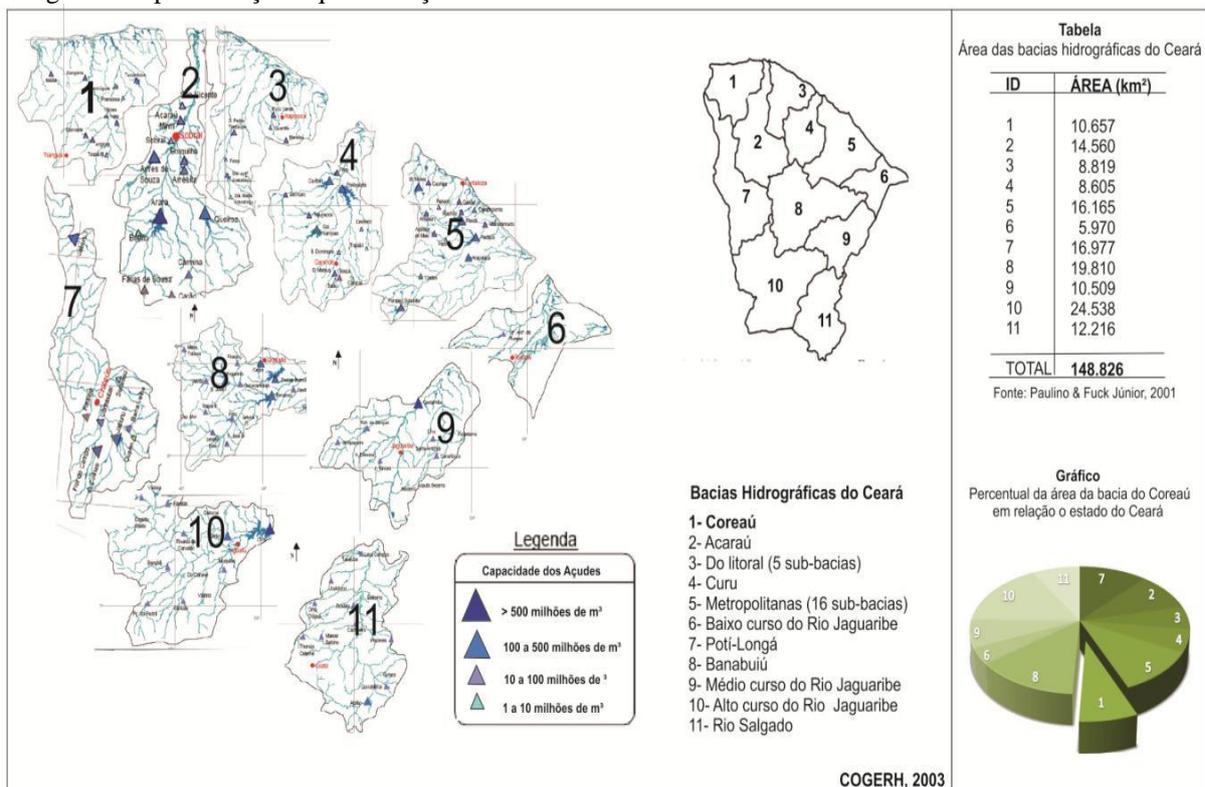
O manguezal do rio Coreau, se estende desde o Município de Granja até o estuário do rio em Camocim, e é considerado um dos maiores do Estado do Ceará, compreende uma área de aproximadamente 4.620 hectares, correspondendo a 20% dos manguezais do estado do Ceará. O município de Camocim localiza-se a cerca de 360 km da capital Fortaleza e tem como principais vias de acesso a BR-222, CE-354, CE -178 e a CE-085.

3.1 Caracterização Geológica e Geomorfológica da região

3.1.1 Bacia Hidrográfica

A Bacia do Coreau situa-se na porção noroeste do Estado do Ceará, limitando-se ao sul e a oeste pelo Estado do Piauí, a sudoeste pela Bacia do Poti-Longá, a leste pela Bacia do Acaraú, e ao norte, pelo Oceano Atlântico (Figura 3). Localiza-se entre as coordenadas geográficas 41° 26' e 40° 12' de longitude oeste e 2° 47' e 3° 56' de latitude sul, ocupa uma área de 10.633,67 km² (Figura 3), abrangendo integralmente a área de 10 municípios e, parcialmente, a de outros 14 municípios. A linha de costa possui uma extensão de aproximadamente 130 km (INESP, 2009).

Figura 3. Espacialização e quantificação das sub-bacias do estado do Ceará.



Fonte: COGERH, 2003 e Paulino & Fuck Jr, 2001.

O rio Coreaú e seus tributários drenam água para esta bacia e para as micro-bacias que se abrem diretamente para o Oceano Atlântico, tais como os que são formados pelos rios Timonha, Tapuio, Jaguaribe, Pesqueiro e da Prata, correspondendo a 7% do território cearense de acordo com dados do INESP, 2009 sobre as bacias do Ceará.

As altitudes variam de 0 m (litoral) a pouco menos de 900 m (Costa da Ibiapaba), apresentando as menores amplitudes pluviométricas do Estado com precipitação média mínima anual (mm) de pouco menos de 1.000mm (norte da bacia) e precipitação média máxima anual (mm) de pouco menos de 1.350mm (sul da bacia) (INESP, 2009). As altitudes, nas sedes dos municípios, variam entre 10 a 120 m, em média. Apresenta a maioria de suas nascentes localizadas no Planalto da Ibiapaba, o qual funciona como divisor com a Bacia do Parnaíba, ao sudoeste e sul.

A geologia da Bacia do Coreaú é composta por terrenos cristalinos Pré-cambrianos representados por gnaisses e migmatitos diversos, quartzitos e metacalcários, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica e por rochas sedimentares, como: arenitos da Formação Serra Grande, sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados da Formação Barreiras e das Coberturas Colúvio- eluviais, sedimentos eólicos constituídos de areias bem selecionadas de granulação fina a média, às vezes siltosas, dunas/paleodunas e cascalhos, areias, silte e argilas, com ou sem matéria orgânica, formados em ambientes fluviais, lacustres e estuarinos recentes dos depósitos aluvionares e de mangues (CPRM, 2003; INESP, 2009).

Ainda segundo dados da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), 2003 presentes no estudo sobre a Bacia do Rio Coreaú feito pelo INESP (2009) a compartimentação do relevo do território da Bacia do Coreaú é representada, basicamente, por cinco domínios geomorfológicos: Planície Litorânea, Glacis Pré-Litorâneos dissecados em interflúvios tabulares, Depressão Sertaneja, Maciços Residuais e Planalto da Ibiapaba, cujos limites são estabelecidos com base na homogeneidade das formas de relevo, posicionamento altimétrico, estrutura geológica, atividade tectônica, bem como nas características do solo e vegetação.

3.1.2 Planície Litorânea

Compreende os campos de dunas (Figura 4), as praias e a planície flúvio-marinha. As dunas formam cordões quase contínuos paralelos à linha de costa, sendo interrompidas, vez

ou outra, por planícies fluviais e flúvio-marinhas, por falésias, ou ainda por promontórios constituídos por litologias mais resistentes. As dunas móveis ou recentes são caracterizadas pela ausência de vegetação e ocorrem mais próximo à linha de praia, onde a ação dos ventos é mais intensa. Podem também apresentar um recobrimento vegetal pioneiro, que detém ou atenua os efeitos da deflação eólica, tornando-as fixas ou semi-fixas (INESP, 2009)

Figura 4. Campo de dunas na margem direita a foz do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2012.

Quanto à morfologia, geralmente esses corpos apresentam feições de barcana, e em forma de meia lua, com declives suaves a barlavento, contrastando com inclinações mais acentuadas das encostas protegidas da ação dos ventos. Geometrias lineares também são identificadas para esses depósitos. Na retaguarda das dunas recentes observam-se gerações de dunas mais antigas, alcançando alturas superiores a 10 m, as quais apresentam desenvolvimento de processos pedogenéticos, resultando na fixação de um revestimento vegetal de maior porte. Morfologicamente, exibem feições típicas de dunas parabólicas, com eixos alinhados aproximadamente segundo a direção E-W, refletindo a predominância dos ventos que sopram do quadrante sudeste. Para o interior, mostram-se rebaixadas ao nível dos tabuleiros pré-litorâneos (Formação Barreiras), apresentando formas dissipadas em algumas áreas.

Os campos de dunas são responsáveis pelo barramento de algumas drenagens que possuem descargas deficientes, provocando a obstrução dos vales costeiros, impedindo assim

que os cursos d'água atinjam diretamente o oceano, resultando na formação de típicas lagoas de barragem, ou desviando com frequência as embocaduras em relação ao curso original para o mar (INESP, 2009).

As praias formam um depósito contínuo, alongado por toda a extensão da costa, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. Observa-se a presença de *beach-rocks* aflorando em diversos trechos da costa (Figura 5), ao longo das zonas de estirâncio e de arrebentação, os quais funcionam como barreiras naturais, protegendo as praias dos efeitos da erosão marinha (MEIRELES & SILVA, 2002).

Figura 5. Afloração de *beach-rocks* na costa de praia a margem direita da foz do rio Coreau.



Fonte: Próprio autor, 2012.

3.1.3 Planície Flúvio- Marinha

A planície flúvio-marinha do Rio Coreau foi estudada por Meireles (2001), Meireles e Silva (2002) e Farias (2006). Estes tentaram caracterizar ambientalmente o estuário do Rio Coreau, além de associar os aspectos geomorfológicos com as diversas unidades flúvio-marinhas. Meireles e Silva (2002) subdividiram o estuário em três sistemas: Ambiente marinho, Sistema flúvio-marinho e Sistema fluvial.

Ainda segundo Meireles e Silva, 2002 o sistema flúvio-marinho guarda em suas margens e leito uma sequência de morfologias representadas por mangues atuais e antigos, bancos areno-argilosos internos ao leito principal, planícies de maré circundadas por

vegetação de mangue e entre o contato erosivo com o leito do estuário e o interflúvio tabular (com morfologias localmente denominadas de apicum ‘mangue’ em Tupi-Guarani e salgado), *beach-rocks*, plataformas de abrasão, terraços marinhos, falésias mortas (paleofalésias) e vivas. Seu limite interior é marcado pela presença de terraços fluviais e vegetação característica de mata de tabuleiro, com a presença marcante de carnaubais.

Para Meireles 2001, a rugosidade encontrada no leito do rio Coreá e a distribuição da carga de material sedimentar estão diretamente relacionadas com a presença de bosques de mangue, elevado índice de meandros, disposição geográfica e morfológica dos bancos internos ao canal, migração lateral do canal e aportação de sedimentos eólicos. As oscilações diárias de marés distribuem os sedimentos na margem direita do canal, bem como os transporta para a desembocadura, de onde serão submetidos à deriva litorânea (localmente de sudeste para noroeste).

O movimento das massas de água, pela ação das marés, constitui o agente principal de transporte de sedimentos. Estes são distribuídos na zona intermaré desde o nível baixo da maré, ao nível de preamar, dando lugar a três setores em que os processos dominantes passam de transporte por carga de fundo ao transporte em suspensão: durante a entrada da maré os sedimentos de tamanho areia são transportados por processos de carga de fundo; os depósitos de sedimentos finos estão associados a velocidades mínimas ou períodos de retenção de águas, na estufa da maré; um setor intermediário está relacionado com o início do período de refluxo, quando inicia-se o transporte de sedimentos pendente abaixo e uma mínima parte dos sedimentos é posta outra vez em suspensão, por correntes relativamente pequenas de refluxo (MORAIS *et al.*, 1988)..

A Vegetação Perenifólia Paludosa Marítima de Mangue constitui a cobertura vegetal natural que contribui na bio-estabilização do sistema estuarino. O conjunto florístico do manguezal é constituído por cinco espécies de árvores, *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* (mangue preto), *Avicennia schaveriana* (mangue preto), *Conocarpus erecta* (mangue botão) e *laguncularia racemosa* (mangue branco) (MEIRELES & SILVA, 2002).

O manguezal constitui um habitat com uma grande biodiversidade faunística, onde os principais grupos são: moluscos, crustáceos, peixes e aves, grande parte deles sendo aproveitados economicamente.

Figura 6. Fotos de algumas espécies da fauna (caranguejo aratu) e flora (*Rhizophora mangle*, *Avicennia schaveriana*, *laguncularia racemosa*) encontrados no manguezal do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2012.

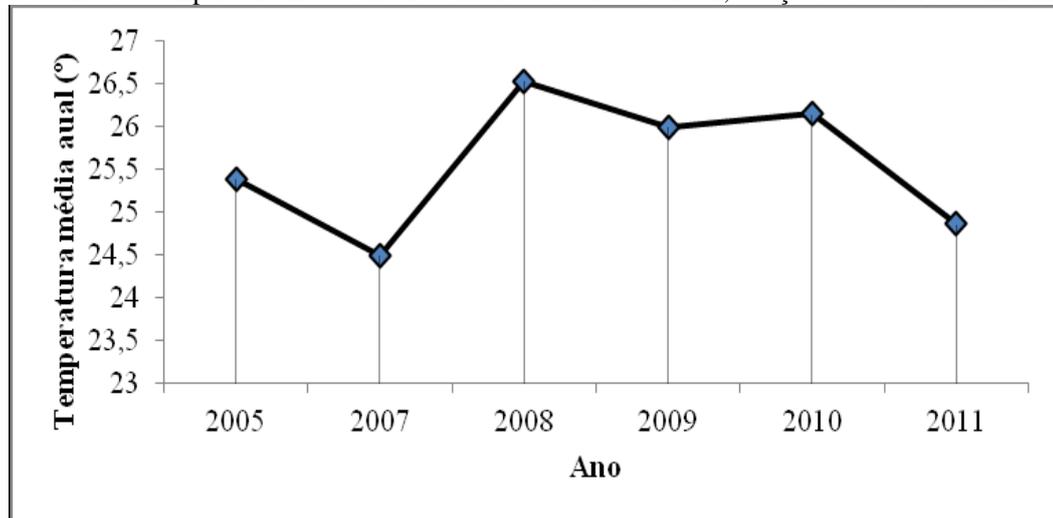
3.2 Aspectos Meteorológicos e Oceanográficos

3.2.1 Clima

O clima no município de Camocim é regido por dois sistemas, Zona de Convergência Intertropical e Vórtices Ciclônicos, além das perturbações locais. O município apresenta precipitação média anual de 1.209 mm, com 70% da precipitação anual concentrada entre os meses de fevereiro e maio (MEIRELES, 2001). De acordo com dados de séries temporais disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) da estação 46-

sensor-3 de Camocim- CE, no intervalo de 2005 a 2011, a temperatura média anual da área de estudo tem 25° (Figura 7).

Figura 7. Gráfico da temperatura média anual do intervalo de 2005 a 2011, estação 46-sensor-3-Camocim.



Fonte: Rodrigues, 2012.

Durante o período chuvoso, há um intenso fluxo hídrico superficial, decorrente das chuvas torrenciais, carreando uma grande carga de sedimentos e nutrientes que vão acumular-se no estuário, compondo assim as feições morfológicas locais.

A dinâmica morfológica do estuário é influenciada pela alternância dos fluxos de água fluvial e das marés, além dos efeitos da ação eólica no transporte e acúmulo de sedimentos. O regime climático vai, portanto influir significativamente na dinâmica do relevo, predominando a ação de agentes hídricos no período chuvoso, quando ocorrem médias máximas mensais pluviométricas de até 350 mm (março a abril) (MEIRELES, 2001).

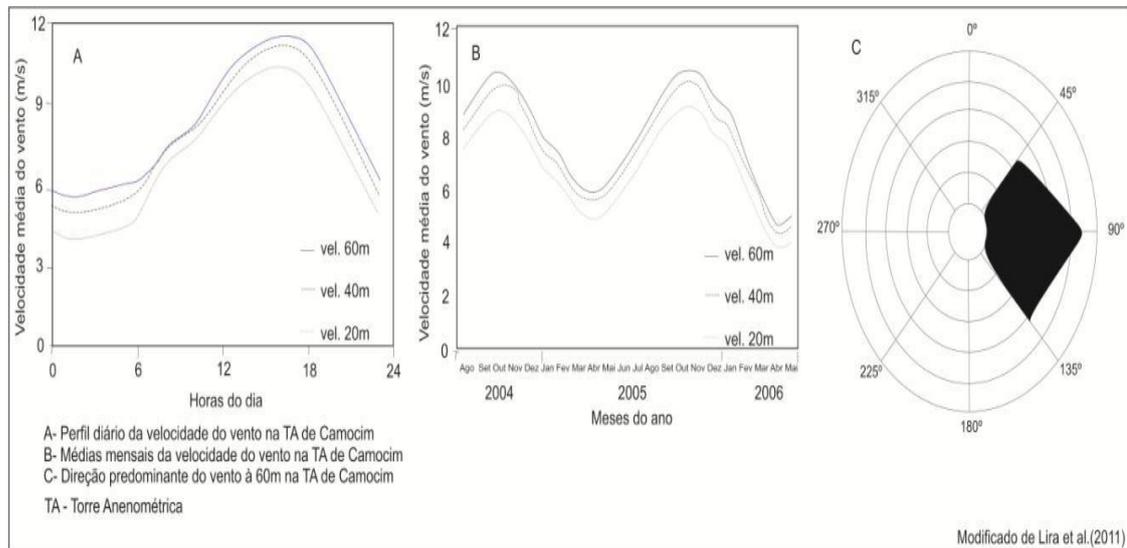
3.2.2 Ventos

Os ventos em Camocim apresentam direções dominantes de SE, ESE e E, tendo um desempenho atuante nas formações eólicas e na deposição de sedimentos na planície flúvio-marinha (MEIRELES E SILVA, 2002). Em relação ao perfil de velocidade média diária do vento, observa-se um valor máximo de 6,2 m/s, este valor está diretamente ligado à presença de brisas marítimas na região. Considerando-se o perfil mensal de velocidade média, no período compreendido entre os meses de agosto e dezembro onde se verificam os maiores valores de velocidade média do vento, coincidindo com a estação seca da região. Por outro

lado, os menores valores são observados no período de estação chuvosa da região, mais precisamente entre os meses de fevereiro a maio. (LIRA *et al.*, 2011).

A Figura 8 apresenta o perfil médio diário e mensal da velocidade do vento na Torre Anemométrica-TA de Camocim, evidenciando também que a direção predominante do vento é de leste, com variações entre as direções de nordeste e sudoeste. Segundo Barreto *et al.* (2002) essa é uma característica da influência dos ventos Alísios na região.

Figura 8. (A) Perfil médio diário, (B) Perfil médio mensal e (C) direção do vento do vento em Camocim.



Fonte: Lira *et al.*, 2011.

3.2.3 Ondas e Marés

Em relação às marés, estas são baseadas nos dados do Porto de Luís Correia-Piauí com amplitudes variando de 1 a 3,7 metros. As ondas apresentaram direções de NEE e E em relação ao norte verdadeiro, os períodos variaram de 7,9 s a 12,5 s. A altura na maré baixa varia de 0,860 m a 0,970 m. A corrente longitudinal se desloca na direção E – O (ARAÚJO, 2011).

De acordo com Freire (1985) durante a realização da operação GEOMAR XVIII foram realizadas quatro estações de correntometria, uma delas, localizada na plataforma interna próxima a foz do rio Coreaú, na qual apresentou uma corrente geral com velocidade na ordem de 0,24 m/s e direção 238°N na superfície e 0,21 m/s com direção de 87°N no fundo.

3.3 Características Geoambientais

Na análise integrada do estuário, observam-se também as transformações paisagísticas e morfo-dinâmicas decorrentes das formas de uso e ocupação indevidas. Historicamente, o estuário começou a ser ocupado desde 1920 com a construção do porto e da estrada de ferro (Figura 9) na cidade de Camocim, além da atividade portuária o estuário começou a ser alvo das salinas e da atividade pesqueira.

Figura 9. Vista do Cais do Porto de Camocim a Estação Ferroviária. Anos 1950.



Fonte: Arquivo particular de Elda Maria Tavares Aguiar.

Atualmente, outras atividades sócio-econômicas, como a carcinicultura e o turismo, provocam novos impactos sobre a planície flúvio-marinha. Como principais efeitos dos impactos ambientais no estuário, citam-se: poluição hídrica, assoreamento, salinização do solo e das águas, redução do potencial biológico, ameaça à biodiversidade e diminuição da qualidade paisagística (MEIRELES & SILVA, 2002).

Para Meireles, 2002 a principal causa da poluição hídrica é a deficiência do sistema de saneamento básico de Camocim e de cidades situadas à montante do estuário. O assoreamento é decorrente de ações de desmatamento ao longo da bacia hidrográfica e da retirada de mangue na margem direita do estuário, levando ao assoreamento dos canais, provocando a fragmentação do manguezal em subunidades menores e mais sensíveis a novos impactos.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo da caracterização geoquímica e mineralógica do sedimento das amostras coletadas no Estuário do rio Coreaú, no litoral oeste do Ceará consiste desde o levantamento de dados em campo e em laboratório, a integração das informações (Figura 10), até a análise de interpretação dos dados com a confecção de mapas e gráficos, permitindo assim uma melhor caracterização da área.

Figura 10: Fluxograma metodológico.



Fonte: Próprio autor, 2012.

As atividades preliminares de gabinete consistiram de um levantamento bibliográfico e cartográfico junto às Universidades e órgãos ligados aos estudos geológicos tais como: Instituto de Pesquisas Econômicas do Ceará (IPECE), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Universidade Federal do Ceará (UFC), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dentre outros, que possibilitaram a aquisição de referencial teórico e melhor interpretação da área. Para a geração do mapa de localização dos pontos e da área de estudo foi utilizado o programa Arcview Gis 9.3.

As etapas de laboratório deste projeto foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) na Universidade Estadual do Ceará, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) e Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGA), ambos vinculados à Universidade Federal do Ceará, Senckenberg-Institut na Alemanha e INNOLAB do Brasil Ltda. no Rio de Janeiro.

Após todos os estudos foi realizada a integração dos resultados que foram obtidos durante os trabalhos de gabinete, campo e laboratório, para a identificação dos fatores responsáveis pelas transformações ambientais ocorrentes na área em estudo.

4.1 Localização dos pontos de coleta

A coleta das amostras foi feita no mês de julho de 2011, o período é caracterizado por poucas chuvas, totalizando um máximo de 17 mm no mês, segundo a FUNCEME. Com base nos objetivos propostos, foram escolhidos dois setores para coleta dos testemunhos sedimentares (tabela 2).

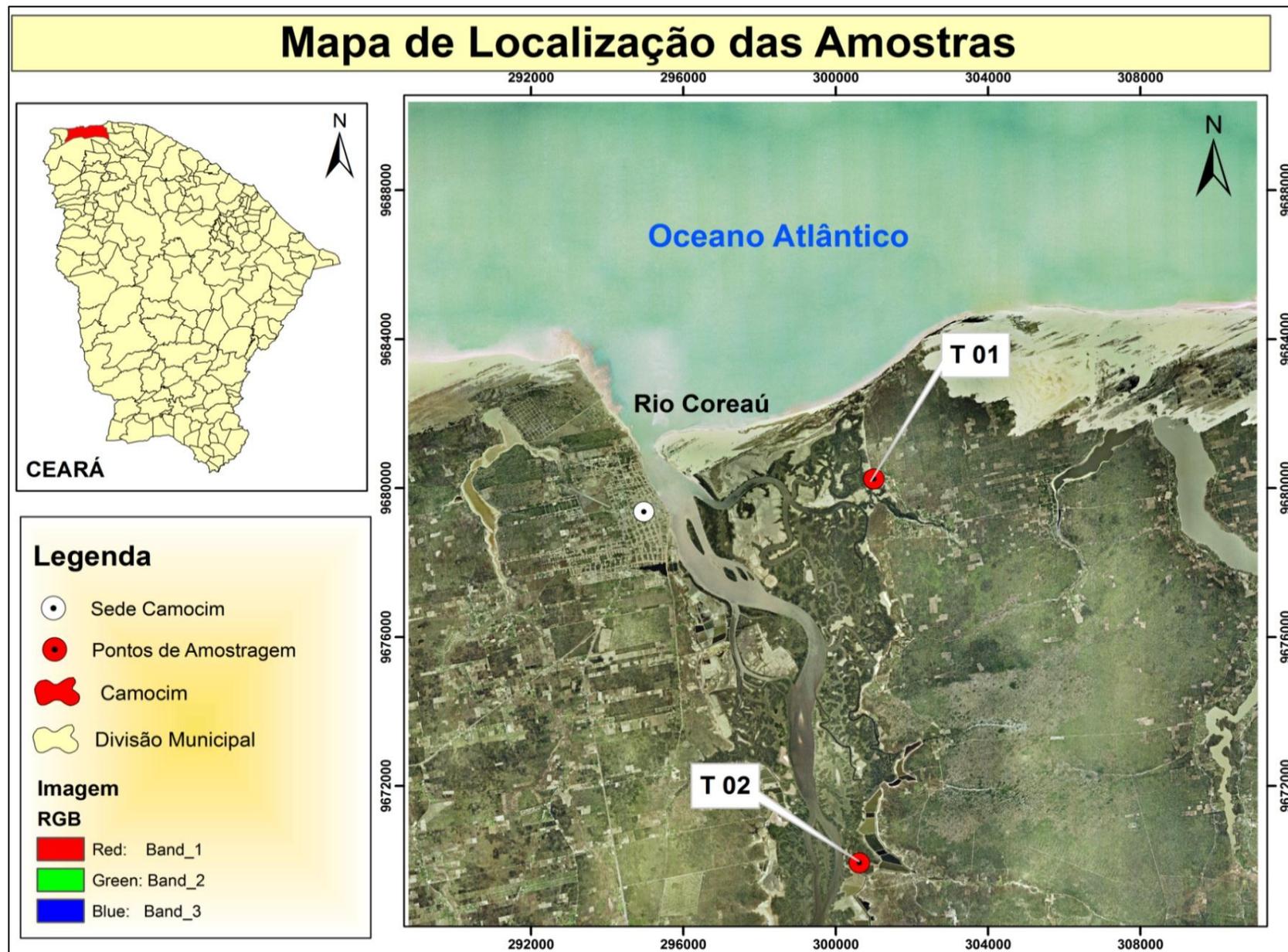
Tabela 2. Localização geográfica e profundidade de coleta dos testemunhos analisados.

TESTEMUNHO	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	PROFUNDIDADE (cm)
T01	02°53'30,6''	040°47'26,4''	240
T02	02°59'06,2''	040°47'39,3''	315

Fonte: Próprio autor, 2011.

Os pontos denominados T01 e T02 estão localizados à margem direita da foz do rio Coreáú (Figura 11), ambos os pontos possuem características típicas de manguezal, com vegetação constituída por tipos maduros, mas, também, grande número de espécies jovens.

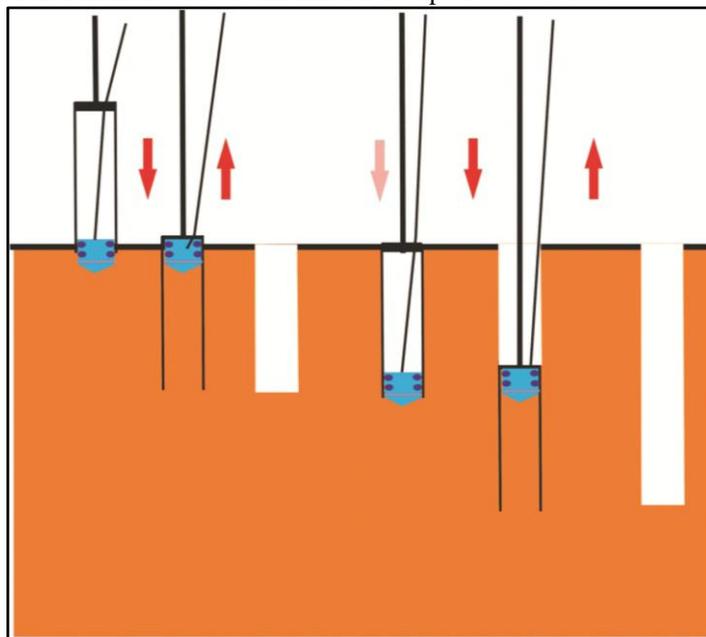
Figura 11. Mapa de Localização dos pontos de Coleta.



4.2 Amostragem e Medição nos testemunhos

Os testemunhos foram coletados com um testemunhador do tipo (*Piston Corer*). Esse tipo de testemunhador possui um pistão que corre dentro de um cano de metal e que tem a função de impedir fricção severa e encurtamento da seção sedimentar. Durante a operação de testemunhagem este pistão fica logo após a válvula retentora até que o seio de cabo na alavanca disparadora seja totalmente desfeito e isto corresponde ao momento que o cortador toca o fundo. A partir daí, o testemunhador penetra no sedimento enquanto o pistão mantém-se estático, então o pistão é içado e o cano é completado com o sedimento (Figura 12).

Figura 12. Ilustração do funcionamento do testemunhador do tipo *Piston Corer*.



O sedimento é então transferido para tubos de PVC (Figura 13), acondicionados, identificados e levados ao Laboratório. Em laboratório os testemunhos foram abertos e seccionados para a realização das análises químicas e mineralógicas.

Para a realização da análise granulométrica, as amostras foram coletadas em intervalos de 5 cm até a profundidade de cada testemunho. Para as análises de Carbonato de Cálcio, Matéria Orgânica, e Metais as amostras foram coletadas em intervalos de 20 cm até a profundidade máxima do testemunho. A análise dos argilominerais foi feita no topo, meio e base de cada cano do testemunho completo.

Figura 13. Fotos dos procedimentos de coleta dos testemunhos.



Fonte: Próprio autor, 2011.

4.3 Análises Sedimentológicas

4.3.1 Identificação das fácies sedimentares

Para a identificação das fácies considerou-se coloração, granulometria e presença de fragmentos de natureza orgânica. Cada testemunho foi medido com a utilização de fita métrica, considerando-se tanto o comprimento total, como a medida das fácies. Para auxiliar

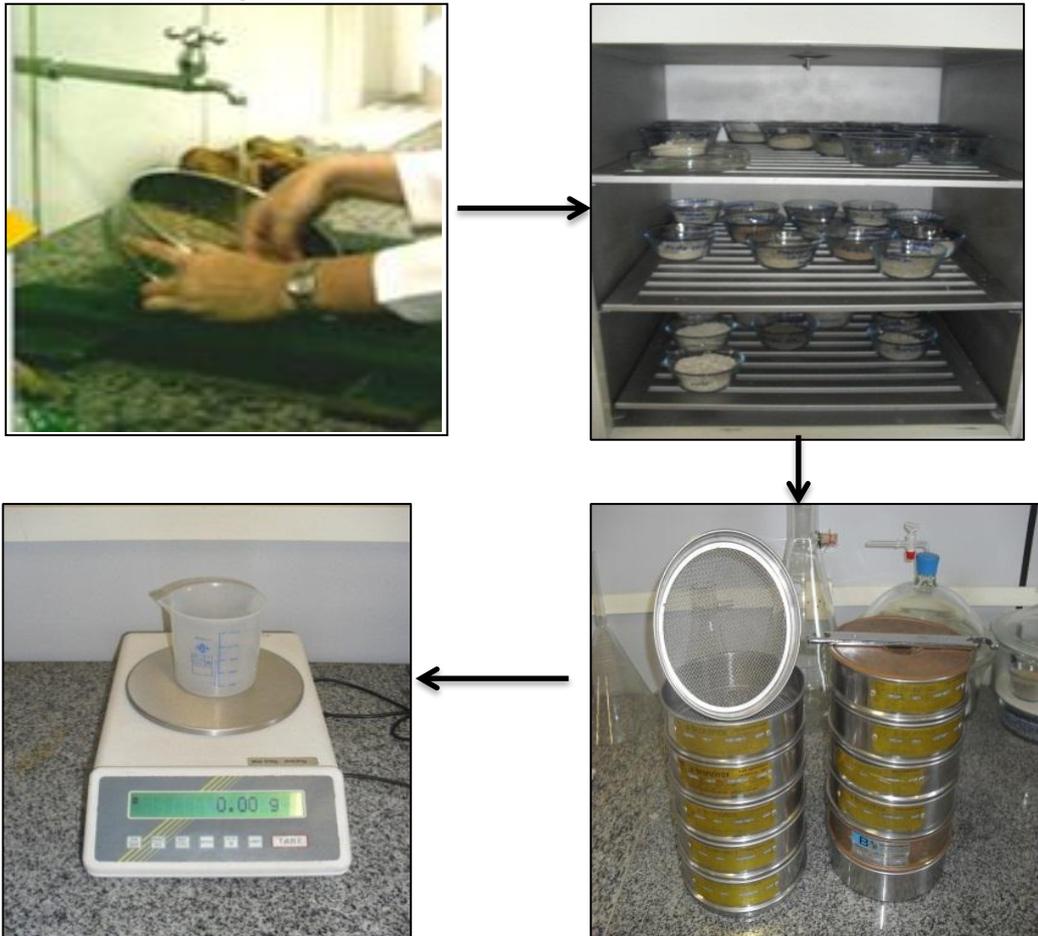
na definição das cores distintas nas fácies foi utilizada a carta de cores do “*The Rock - Color Chart Committee*” (1984).

4.3.2 Granulometria

Em laboratório, após ser feita a descrição dos testemunhos foram separados cerca de 50 gramas com o uso de uma balança digital para a análise granulométrica.

Primeiramente, fez-se a lavagem da amostra para a retirada dos sedimentos mais finos, com o limite de classe igual a 0,062 mm, o qual foi feito colocando a amostra bruta em uma peneira com abertura igual a 0,062 mm sob água corrente. O peso do material lavado foi determinado pela diferença entre peso inicial das amostras (50 gramas) e o somatório de todas as outras classes obtidas durante a granulometria seca (Figura 14).

Figura 14. Processo da análise granulométrica.



Fonte: Próprio autor, 2012.

A granulometria seca é feita passando a amostra por uma série de 11 peneiras com o auxílio de um agitador mecânico (*rot up*) em uma sequência que vai da mais grossa, de 2,83 mm de abertura até um fundo de metal onde ficam os grãos correspondentes à classe de 0,062 mm, de acordo com a escala de Wentworth, 1922 (Suguio, 1973). O material que ficará retido nessas peneiras é, então, pesado e anotado.

Considerando-se que as partículas de tamanhos granulométricos entre silte e argila caracterizam um ambiente lântico por se incorporarem ao sistema através do processo de decantação, não houve a necessidade de fracionar estes tamanhos de grãos denominando o conjunto destes simplesmente de lama.

Da mesma forma, uma vez que, as frações areias necessitam de uma maior energia de transporte para se associarem ao sistema lacustre, foi desnecessária a identificação fracionária desta granulometria em fina, média ou grossa, tratando todas estas frações como areia.

Para um estudo complementar foi feito a análise granulométrica nas frações 2 μ m a 0,63 μ m de acordo de Atterberg 1912.

4.4 Quantificação dos teores Carbonato de Cálcio

Para a determinação do teor de CaCO₃, utilizou-se o método clássico do calcímetro de Bernard adaptado (LAMAS *et al.* 2005, modificado), no qual o teor de carbonato é medido indiretamente, através do volume de uma solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido da reação do HCl com o carbonato contido na amostra (Figura 15).

No calcímetro de Bernard adicionam-se 35 ml de água salinizada e em seguida acoplou-se cuidadosamente o kitassato a essa coluna de água, evitando-se ainda que o HCl atingisse amostra. Ajustou-se o nível de água até que na bureta adequada esse nível alcançasse a marca zero e, finalmente, vagarosamente, entornou-se o kitassato para que o HCl contido no tubo de ensaio entrasse em contato com a amostra, para ocorrer a reação que produz o gás carbônico que por sua vez desloca a solução salina a um volume maior que zero ($V_{\text{padrão}}$).

Primeiramente mediu-se o volume ($V_{\text{padrão}}$) deslocado da solução salina para uma amostra de concentração conhecida de carbonato de cálcio ($C_{\text{padrão}}$). No caso, cerca de 0,5 g de amostra de CaCO₃ a 99 % ($C_{\text{padrão}}$) foram adicionados a um kitassato, nos tubos de ensaio acoplados ao kitassato adicionaram-se 2,0 ml de HCl 10 %, com cuidado para não atingir a amostra.

Figura 15. Esquema de ensaio para a obtenção dos teores de CaCO_3 em sedimentos.



Fonte: Próprio autor, 2012.

As amostras em estudo foram, em seguida, submetidas aos mesmos passos analíticos acima descritos para se determinar o seu teor de carbonato de cálcio. O percentual de carbonato de cálcio na amostra é medido indiretamente através da equação abaixo:

$$C_{\text{amostra}} (\% \text{ CaCO}_3) = (V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}) / V_{\text{padrão}}$$

Onde:

C_{amostra} = corresponde à concentração de CaCO_3 da amostra;

V_{amostra} = é volume da solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido; da reação do HCl com o carbonato contido na amostra;

$C_{\text{padrão}}$ = é a concentração padrão da amostra a 99 % de CaCO_3 ;

$V_{\text{padrão}}$ = corresponde ao volume de solução salina deslocado pela amostra padrão.

Vale ressaltar que todas as análises foram realizadas em duplicata e a diferença entre as medidas foi menor que 1,0 %. Para a análise dos teores de carbonato utilizou-se como padrão de referência um sal P.A. de CaCO_3 com grau de pureza de 99,9%, onde para cada 0,1000g do sal uma massa de 0,0440g é constituído, de CO_2 gerados durante a digestão.

4.5 Quantificação do Teor de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico

Os teores de matéria orgânica facilmente oxidável nos sedimentos foram obtidos utilizando-se o método de *Walkey-Black* modificado (Figura 18). O método tem como princípio a oxidação da matéria orgânica do sedimento com solução de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4), utilizando como catalisador da oxirredução o calor despreendido na diluição do ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$].

Figura 16. Processo de obtenção do teor de matéria orgânica.



Fonte: Próprio autor, 2012.

Coloca-se em um *erlenmeyer* de 250 ml 0,5 g de amostra de solo, que tenha passado por peneira 0,2 mm e adiciona-se 10 ml de solução normal de $K_2Cr_2O_7$ 1 N, misturando-se solo-solução. Em seguida, adiciona-se 20 ml de H_2SO_4 concentrado, agitando o *erlenmeyer* por um minuto, para garantir a mistura íntima do solo com os reagentes. A mistura foi deixada em repouso por 30 minutos. Titulou-se então com sulfato ferroso amoniacal $[Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2]$. Após, foram adicionados 200 ml de água, 10 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4), 0,2 g de fluoreto de sódio (NaF) e dez gotas do indicador difenilamina. Titulou-se então com sulfato ferroso amoniacal 0,4 N. O final da titulação é atingido, quando a coloração escura se altera para verde (EMBRAPA, 1998).

O procedimento é realizado com 10 mL de solução de dicromato para obter o título da solução de sulfato ferroso amoniacal. Então, encontra-se o fator:

$$f = 10 \times 1/V_1 \times 0,5$$

Onde:

V_1 = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação;

E o teor de Matéria Orgânica é calculado através da equação:

$$\%M.O. = [(10 - V_2 \times f \times 0,5) \times 0,4/p] \times 1,725$$

Onde:

V_2 = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra;

p = peso da amostra em gramas.

4.6 Análises de Metais-traço

O método utilizado pelo Laboratório INNOLAB do Brasil Ltda., consiste na pesagem de 2,0 g da amostra seca e previamente macerada para um frasco digestor, o qual foram adicionados 25 mL de uma mistura oxidante e acoplado ao condensador.

Após, a amostra foi transferida para o bloco digestor inicialmente a 90°C por 30 minutos e a temperatura foi aumentada para 140°C, ao iniciar a condensação, a amostra foi mantida em aquecimento por 60 minutos e em seguida resfriada. Adicionou-se

aproximadamente 20 ml de água ultrapura e a mistura foi homogeneizada e passada em papel de filtro de filtração rápida (\varnothing 12 cm), para balão volumétrico de 100 ml, e o volume foi aferido com água ultrapura. Essa digestão, possivelmente retira todo o metal que esteja na fração trocável, oxidável e carbonática, excetuando-se somente a fração residual (metal associado a silicatos de origem litogênica, que não caracteriza contaminação antrópica).

A determinação dos metais (Al, Fe, Cd, Cu, Pb e Zn) foi realizada por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido (ICP OES), no equipamento ICP OES Modelo Vista- MPX . Os resultados foram expressos em mg.Kg^{-1} de sedimento seco.

4.6.1 Validação da metodologia utilizada na determinação de metais

A metodologia analítica de digestão e detecção analítica de metais em sedimentos foi validada através da análise do padrão de referência de sedimento, com valores certificados para os elementos analisados: Fe = 18904 mg/kg; Al = 33449,32 mg/kg ; Cu = 35,57 mg/kg ; Zn = 41,46 mg/kg; Pb= 27,90 e Cd= 19,73 mg/kg.

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

4.7 Difractometria de Raios-X

Dentre as várias técnicas de caracterização de materiais, a técnica de difração de raios-X é a mais indicada na determinação das fases cristalinas presentes em materiais cerâmicos. Isto é possível porque na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X (ALBERS *et al.*, 2001).

Ao incidir um feixe de raios-X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração. A difração de raios-X ocorre segundo a Lei de Bragg, a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina) (ALBERS *et al.*, 2001):

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Onde:

n= número inteiro

λ = comprimento de onda dos raios-X incidentes

d= distância interplanar

θ = ângulo de difração

No meio das vantagens da técnica de difração de raios-X para a caracterização de fases, destaca-se a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

Já para a caracterização de argilominerais, a utilização desta técnica torna-se ainda mais indicada, pois uma análise química reportaria os elementos químicos presentes no material, mas não a forma como eles estão ligados (ALBERS *et al.*, 2001).

Todavia na caracterização de argilas, o elevado teor de quartzo da amostra e sua facilidade de orientar-se resultam em picos bem definidos e de grande intensidade desta fase cristalina, prejudicando muitas vezes a identificação e caracterização das demais fases.

Na prática, os ensaios de difração de raios-X foram realizados em um difratômetro da marca *Philips*, modelo PW1370. Para explicar melhor os ensaios de difração de raios-X, foi empregado o método de Santos (1989):

Pesa-se 20,0 g de argila seca e desagregar-se em almofariz até granulometria inferior a peneira # ABNT 200 (abertura de 74 μm); suspende-se a argila desagregada em 200 mL de água destilada e adiciona 5,0 mL de hidróxido de amônio (NH_4OH). Agita-se a suspensão e transfere-se para uma proveta de 250 mL deixando-a em repouso durante 24 h.

Com o auxílio de uma pipeta retira-se a fração fina da suspensão, evitando perturbação da mesma e coleta do material grosseiro depositado e seca-a em estufa a 100 °C, para posteriormente desaglomerá-la. Após tal processo, prepara-se uma suspensão argila-água com uma concentração de 60,0 mg de argila por 1 cm^3 de água destilada, retira com a pipeta 3,0 mL da suspensão preparada e deposita-a cuidadosamente sobre uma lâmina de vidro, deixando-a secar em estufa à 100 °C. Por fim, realizamos o ensaio de difração de raios-X, varrendo-se de 2 a 15° (escala 2 θ) com velocidade de 1°/min. Estas condições podem ser alteradas conforme objetivos específicos de cada análise.

Figura 17. Processo de difratometria de raio-x seguido pelo Senckenberg-Institut na Alemanha.



Fonte: Arquivo particular de Georg Friedrich Irion.

Após o ensaio de difração de raios-X (Figura 17), as distâncias interplanares (d) referentes aos picos apresentados no difratograma deverão ser confrontadas com as distâncias interplanares características de cada fase.

Considerando somente os minerais simples (geralmente presentes nas argilas nacionais), o pico de maior intensidade de cada fase (referentes à direção (001), bem como os picos secundários, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Distâncias interplanares características dos argilominerais.

Distância Interplanar (d) Pico principal	Distância Interplanar (d) Picos secundários	Argilomineral
7	3,58	Caulinita
10	5,0 e 3,33	Ilita
15	-	Esmectita

Fonte: Albers, 2001.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises Textural e Granulométrica

Na descrição preliminar dos testemunhos T01 e T02, foram utilizadas a carta de cores do “The Rock - Color Chart Committee” (1984) e uma tabela comparativa de grãos. O testemunho T01 foi coletado a uma profundidade de aproximadamente 2,40 metros e T02 a 3,15 m.

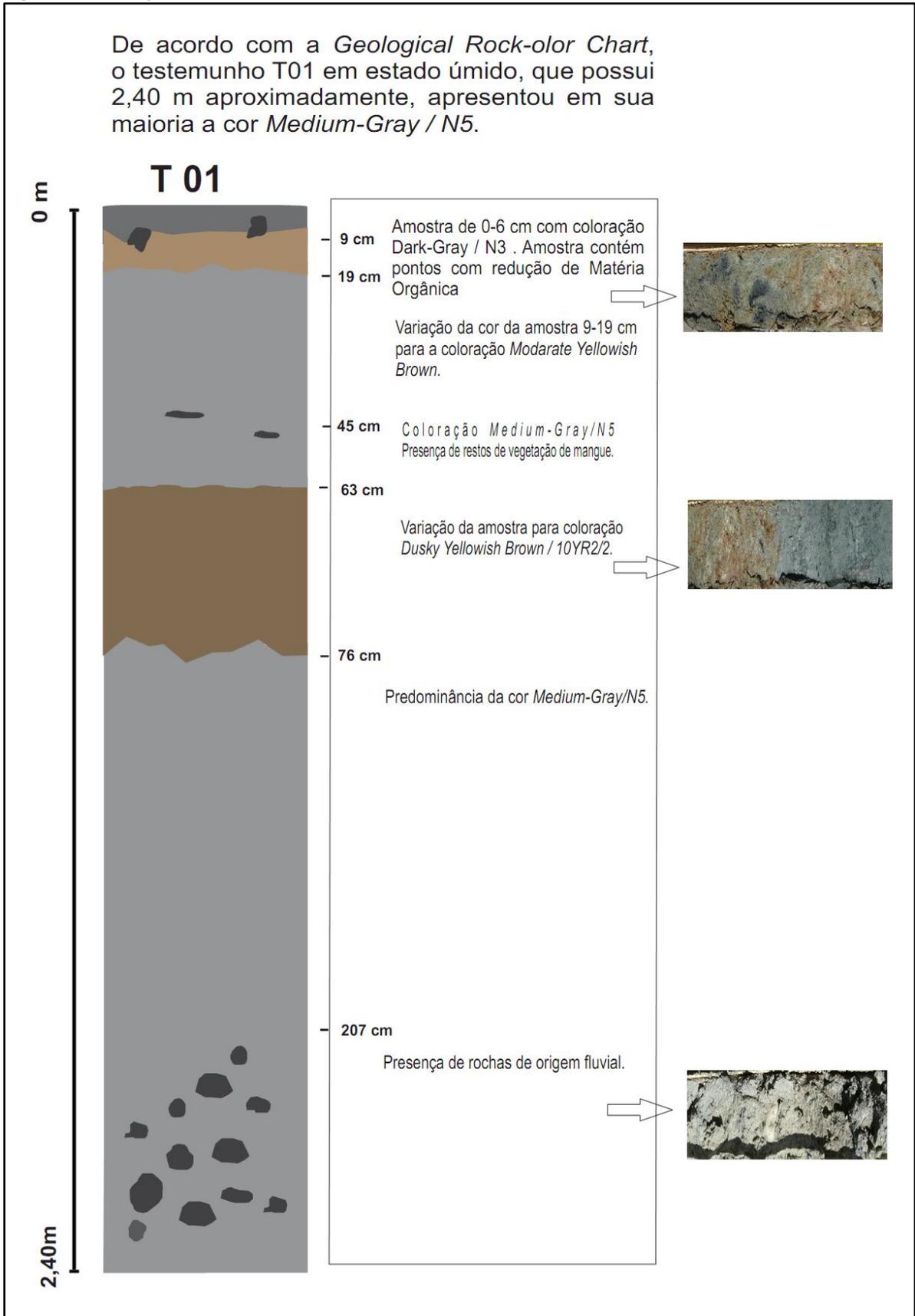
A descrição da textura dos sedimentos, realizadas logo após a amostragem, são de grande importância para a interpretação do início de processos pedogenéticos que se desenvolvem após a sedimentação. A textura é descrita através da granulometria, cor, consistência, presença e penetração das raízes, fibras ou carapaças de organismos (Marius, 1987). As cores da matriz e das manchas também são importantes para a caracterização dos sedimentos de mangue, fornecendo informações sobre a intensidade dos processos de oxidação-redução (Marius op. cit.)

Os resultados das análises granulométricas dos sedimentos nos testemunhos T01 e T02 estão descritos nos ANEXOS A e B respectivamente, sendo que os mesmos estão apresentados em porcentagem. A granulometria foi dividida em três frações: cascalho, areia e lama.

O testemunho T01 em estado úmido (Figura 18) apresentou em sua maioria a coloração *Medium-Gray-N5*, com variações no topo do testemunho. Na profundidade 0-9 cm houve a predominância da coloração *Medium-Gray /N5*, observou-se também pontos com redução de Matéria Orgânica (6 -9 cm).

A partir de 9-19 cm houve uma variação da cor para *Modarate Yellowish Brown-10YR5/ 4*. De 19-63 cm voltou a predominar a cor *Medium-Gray /N5*, e observou-se a presença de restos de vegetação de mangue na profundidade de 45 cm. Já a porção de 63-76 cm verificou-se cor *Dusky-Yellowish Brown -10YR2/2*, essa porção do testemunho apresentou uma maior quantidade de areia. Na base do testemunho, 207-240 cm foi observada uma grande quantidade de argila com rochas de origem fluvial.

Figura 18. Ilustração do testemunho T01.



Fonte: Próprio autor, 2012.

No que concerne a granulometria, T01 apresentou do topo até 20 cm uma maior quantidade de areia, com frações de 71%, após essa camada o testemunho passa a apresentar maiores teores das frações mais finas (silte e argila) com porcentagens de até 94%. A partir da profundidade 205 cm voltou a predominar a fração areia, porém em alguns pontos essa fração era de quase 50% e a de lama também cerca de 50%, tendo a classificação de Shepard variando entre Areia lamosa e Lama arenosa, alguns pontos classificados como Lama arenocascalhosa possuem um teor de cascalho de 16%. No final do testemunho, 205 a 240 cm a classificação de Shepard é Lama Arenocascalhosa com valores de cascalho de até 74% (ANEXO A).

Como um estudo complementar foi realizado a granulometria das frações entre 2 μ m a 63 μ m. Para o testemunho T01 (Tabela 4), dividido em três partes: TOPO, MEIO E BASE, com respectivamente 52, 93 e 95 centímetros cada uma, foi feita a granulometria no início, meio e fim de cada testemunho.

Tabela 4. Granulometria das frações entre 2 μ m a 63 μ m para T01.

	%<2 μ m	%2-6 μ m	%6-20 μ m	%20-63 μ m	%>63 μ m
TOPO	10,8	1,2	1,9	10,2	75,9
	75,0	7,2	7,6	2,2	8,0
	47,0	4,5	6,6	4,0	37,9
MEIO	37,1	3,8	5,2	3,8	50,0
	16,6	2,6	3,7	5,2	71,9
	32,6	3,9	2,8	5,8	54,9
BASE	22,8	3,1	6,1	4,3	63,6
	23,8	3,4	3,5	6,5	62,9
	22,3	0,7	1,7	14,2	61,1

Fonte:Próprio autor, 2012.

O TOPO do testemunho é o que apresenta a maior quantidade da fração areia (>63 μ m), cerca de 75% na primeira camada em contraste com a camada mais abaixo, a parte do meio é composta por uma grande quantidade de grãos mais finos(silte e argila), cerca de 75%). Após a camada de sedimento fino, o testemunho volta a apresentar uma quantidade de sedimento mais grosseiro, >63 μ m, (aproximadamente 38%).

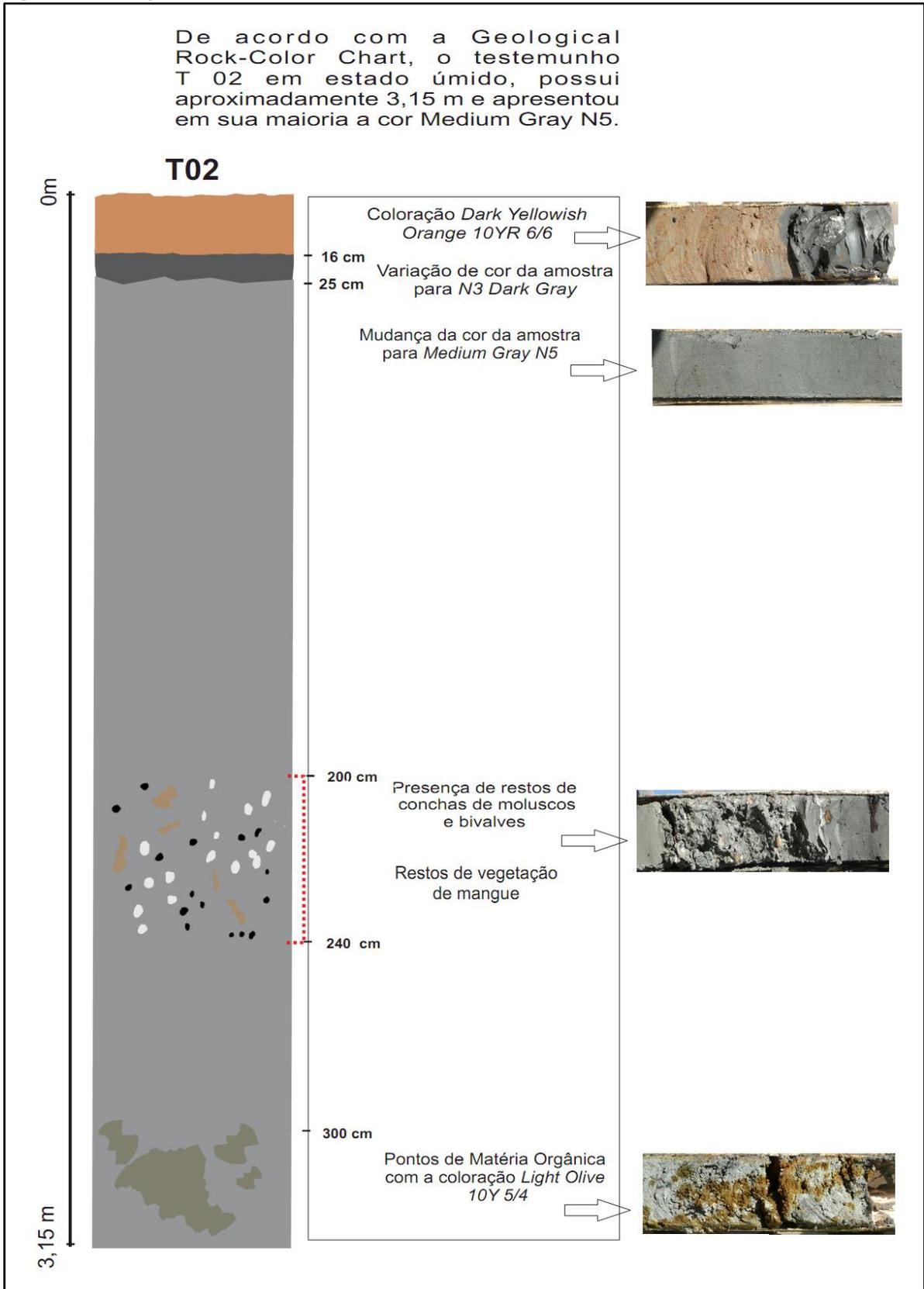
O MEIO do testemunho apresenta em sua maioria uma maior quantidade de sedimento mais grosseiro (>63 μm), sendo respectivamente em cada camada (50%, 72% e 55%) desta fração. Com relação à BASE do testemunho, houve uma semelhança com o MEIO apresentando também uma maior quantidade de sedimentos mais grossos (63,6%, 62,9% e 61,1%).

Através da granulometria apresentada pelos sedimentos do testemunho T01 percebe-se que ocorre uma alteração na granulometria ao longo do sedimento e, em alguns casos essa alteração ocorre também no aspecto dos grãos, isso mostra que, ao longo do tempo ocorreram dentro do estuário do rio Coreá alterações na dinâmica deposicional dos sedimentos. Ou seja, uma alteração entre períodos de alta energia, onde o sedimento depositado era mais fino e períodos de baixa energia onde o sedimento depositado era mais grosso que o normal, o que acabou gerando nos testemunhos de sedimento a alternância entre camadas de sedimento mais finos e camadas de sedimento mais grossos.

O testemunho T02 em estado úmido (Figura 19) apresentou em sua maioria a coloração *Medium Gray N5*, com variações no topo do testemunho. Na profundidade 0-16 cm houve a predominância da coloração *Dark Yellowish Orange 10YR 6/6*, apresentando uma textura arenosa e pontos com matéria orgânica oxidada.

Na profundidade de 16-25 cm houve uma variação da cor para *Dark Gray N3*, com textura de lama. A partir daí o testemunho apresentou a coloração *Medium Gray N5* até o final. Nesta porção observou-se na profundidade 200-240 cm a presença de conchas de moluscos e bivalves e restos de vegetação típica de manguezal. No final do testemunho, 300-315 cm, verificaram-se pontos de matéria orgânica com coloração *Light Olive 10y 5/4*.

Figura 19. Ilustração do testemunho T02.



Fonte: Próprio autor, 2012.

A granulometria de T02 (ANEXO B) apresentou-se nos primeiros centímetros (0-15cm) teor médio de 30% de areia, a partir daí os teores de areia diminuíram havendo a predominância (98%) dos teores mais finos (silte e argila). A partir da profundidade 220 cm voltou a ocorrer a fração areia (30%) com teores de cascalho de (15%). Estes teores maiores de cascalho são representados pela presença de restos de conchas calcárias.

Como um estudo complementar foi realizado a granulometria das frações entre 2 μ m a 63 μ m para T02 (Tabela 5), o testemunho foi dividido em quatro partes, TOPO 1 e 2, MEIO e BASE. O TOPO foi dividido em duas partes devido o primeiro testemunho coletado apresentar somente 25 cm, na coleta do segundo metro, o mesmo apresentou aproximadamente 90, assim as análises granulométricas no TOPO 1 foram feitas em duas camadas, no início e fim do testemunho, e os outros TOPO 2 ,MEIO (95 cm) e BASE (105 cm), foram feitas em três camadas: início, meio e fim de cada testemunho. Em sua maioria o testemunho apresentou grande quantidade de lama (silte e argila).

Tabela5. Granulometria das frações entre 2 μ m a 63 μ m para T02.

T02	%<2μm	%2-6μm	%6-20μm	%20-63μm	%>63μm
TOPO 1	38,6	5,3	8,2	16,5	31,4
	63,5	7,0	17,1	6,4	6,0
TOPO 2	74,8	8,7	9,5	5,9	1,1
	72,3	7,0	9,5	7,7	3,6
	64,4	11,5	8,6	7,9	7,6
MEIO	70,2	8,3	11,8	7,6	2,0
	49,9	12,9	7,7	5,0	24,4
	56,5	7,1	7,5	7,5	21,4
BASE	53,8	7,0	8,5	6,5	24,1
	25,0	2,7	3,5	10,8	58,0
	22,7	2,5	3,6	9,4	61,8

Fonte:Próprio autor, 2012.

O TOPO 1 apresentou no início menor quantidade de fração fina (<2 μ m), variando de 38,6% e aumentando no final para 63,5% . O TOPO 2 apresentou-se semelhante, com uma

grande quantidade de sedimento fino com aproximadamente 75, 72 e 64% no início, meio e fim respectivamente.

O MEIO continuou com o predomínio das frações mais finas (70%), com uma pequena redução com a profundidade (50%) essa diminuição dos teores de finos continuou na BASE do teste aumentando assim o teores da fração mais grosseira.

O testemunho T02 apresentou em sua maioria o predomínio da fração lama, ou seja sedimentos finos de silte e argila, esse fato pode ocorrer devido o ponto de coleta apresentar-se ao lado de uma empresa de carcinicultura, a qual faz o lançamento do efluente direto no rio, carreando uma maior quantidade de sedimentos para o estuário.

Segundo Godoy, 2011 as fazendas de camarão atuam como grandes piscinas de sedimentação, uma vez que a quantidade de sedimento em suspensão medido na saída dos tanques é menor do que a quantidade de sedimento em suspensão medido na entrada, através da água de renovação.

O autor diz ainda que a etapa que mais contribui com sedimentos para o estuário é a da despesca, onde o tanque é completamente esvaziado e toda a água que estava armazenada durante o período de produção é lançada no rio sem nenhum tipo de tratamento, além disso a força da água contribui para a erosão das margens, a água emitida dos tanques possui uma quantidade significativa de sedimento em suspensão.

Na etapa de despesca, a água sai do tanque com força o suficiente para criar correntes capazes de erodir as paredes e o fundo do tanque. Devido a isso, a camada mais profunda de água (correspondente aos últimos 20% do volume do tanque) possui uma concentração de sedimento em suspensão 10 vezes maior do que aquela que se localiza nas partes mais superiores do tanque (FIGUEIREDO ET AL, 2003; LACERDA ET AL, 2006).

O descarte de efluente dos tanques de carcinicultura, bem como a falta de regulamentação para este caso pode tornar-se um grande problema no futuro, uma vez que essa atividade cresce em ritmo acelerado e o seu efluente possui uma grande quantidade de material orgânico que pode ser facilmente consumido no estuário, essa grande quantidade de matéria orgânica traz um grande risco ao ecossistema, pois pode deflagrar um processo de eutrofização das águas estuarinas (FIGUEIREDO ET AL, 2003).

5.2 Distribuição dos teores de carbonato de cálcio

Os carbonatos são importantes constituintes de análises geoquímicas, pois fazem parte do ciclo biogeoquímico do carbono. O ciclo do carbonato de cálcio (CaCO_3) marinho tem importante atuação no ciclo do carbono entre os sistemas atmosfera e oceano pois o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, combinado com a água, forma o ácido carbônico, o qual reage lentamente com o cálcio e com o magnésio da crosta terrestre, formando os carbonatos.

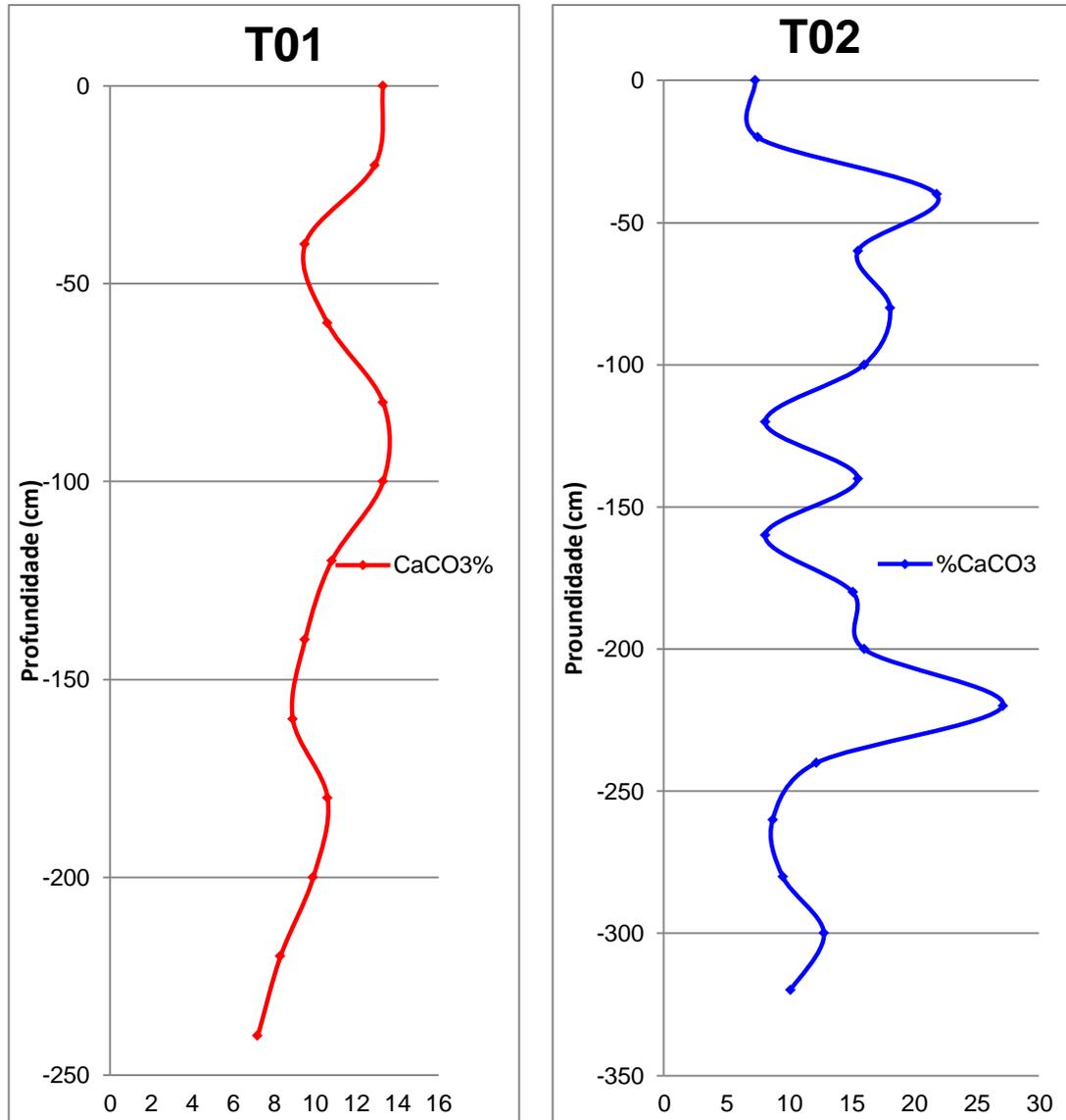
Os carbonatos podem também ser levados aos oceanos através dos processos de erosão de rochas continentais e carregados pelos rios que deságuam no mar. No ambiente marinho, os carbonatos podem ser assimilados por organismos planctônicos, especialmente os foraminíferos, tornando-se parte constituinte destes que, ao morrerem, são depositados no fundo oceânico.

Segundo Freire (1985), a fixação de CaCO_3 pelos organismos vivos, vegetais e animais, é um fenômeno natural e que a maioria dos calcários de origem orgânica é na realidade o produto indireto da atividade de microrganismos. Principalmente as plantas, pelo jogo de assimilação clorofiliana, absorvem o gás carbônico dissolvido na água que conseqüentemente produz precipitação de calcário. Segundo o mesmo autor a plataforma externa do Ceará é uma região com abundantes sedimentos carbonáticos (organógenos), com predominância das *Halimedas* e *Lithothamniums*, e seus fragmentos tapeando grandes superfícies em forma de areia e cascalho.

A concentração de Carbonato de Cálcio no testemunho T01, apresentadas em porcentagem, variou de 7,2 a 13,3%, com uma média de 10,62% e desvio padrão de 3,9%, não sendo verificada uma grande variação ao longo do testemunho. Em T02, a porcentagem de CaCO_3 variou de 7,3 a 27,1% com média de 13,5% e desvio padrão de 4,4%. (Gráfico 2).

Aguiar, 2008 encontrou valores de CaCO_3 em testemunhos do manguezal de Icapuí-CE variando de 4,4% a 38,5%, segundo o mesmo autor, os sedimentos dos manguezais estudados em Icapuí obedeceram a uma relação direta com uma fonte disponível, caracterizada pela abundância em algas calcárias da região estudada, esses dados são similares aos encontrados no estuário do rio Coreaú.

Gráfico 2. Gráfico da concentração de CaCO_3 por profundidade em T01 e T02 do sedimento de manguezal da região de Camocim –CE.



Fonte: Próprio autor, 2012.

T02 apresentou o maior percentual deste constituinte (27,1%), verificado entre 220 a 240 cm de profundidade, onde também se verifica uma maior concentração de cascalho (Figura 20).

O testemunho T02 apresentou uma maior variação do teor de CaCO_3 , indicando um grande aporte para esta região específica. Este fato deve-se ao acúmulo de fragmentos de conchas de moluscos e bivalves (principalmente *Crassostrea rizhophorae*) que apresentam alto teor de CaCO_3 presentes na área do ponto de coleta (Figura 21).

Figura 20. Concentração de fragmentos de conchas em (T02), profundidade entre 220 a 240 cm.



Fonte: Próprio autor, 2011.

Com uma fonte disponível, os organismos presentes podem desenvolver seus processos de calcificação. Isso propicia a deposição do CaCO_3 nas frações cascalhosas dos sedimentos que corresponderam, nesse caso, aos fragmentos de conchas de moluscos e bivalves.

Figura 21. Presença de fragmentos de conchas e ostras (*Crassostrea rizophorae*) na área de coleta de ponto T02.



Fonte: Próprio autor, 2011.

5.3 Matéria Orgânica Oxidável (M.O.) e Carbono Orgânico (C.O.)

Em substratos de manguezais, a matéria orgânica (M.O) é derivada principalmente das folhas, raízes e troncos de árvores de manguezal. Os troncos e as folhas após a queda e decomposição, são degradados em condições geralmente redutoras e incorporados à superfície do substrato, enquanto as raízes decompostas podem propiciar a adição de matéria orgânica ao sedimento a várias profundidades (MOURA, 2007). Em razão de suas propriedades únicas, mesmo em quantidade muito reduzidas, pode ser responsável por efeitos importantes na química dos elementos traço. Efeitos como a complexação que aumentam a mobilidade, adsorção ou formação de compostos orgânicos, resultando em imobilização e redução a estados de valências mais baixos, mudando assim as propriedades químicas desses elementos (Moura, 2007 *apud* LICHT, 2001).

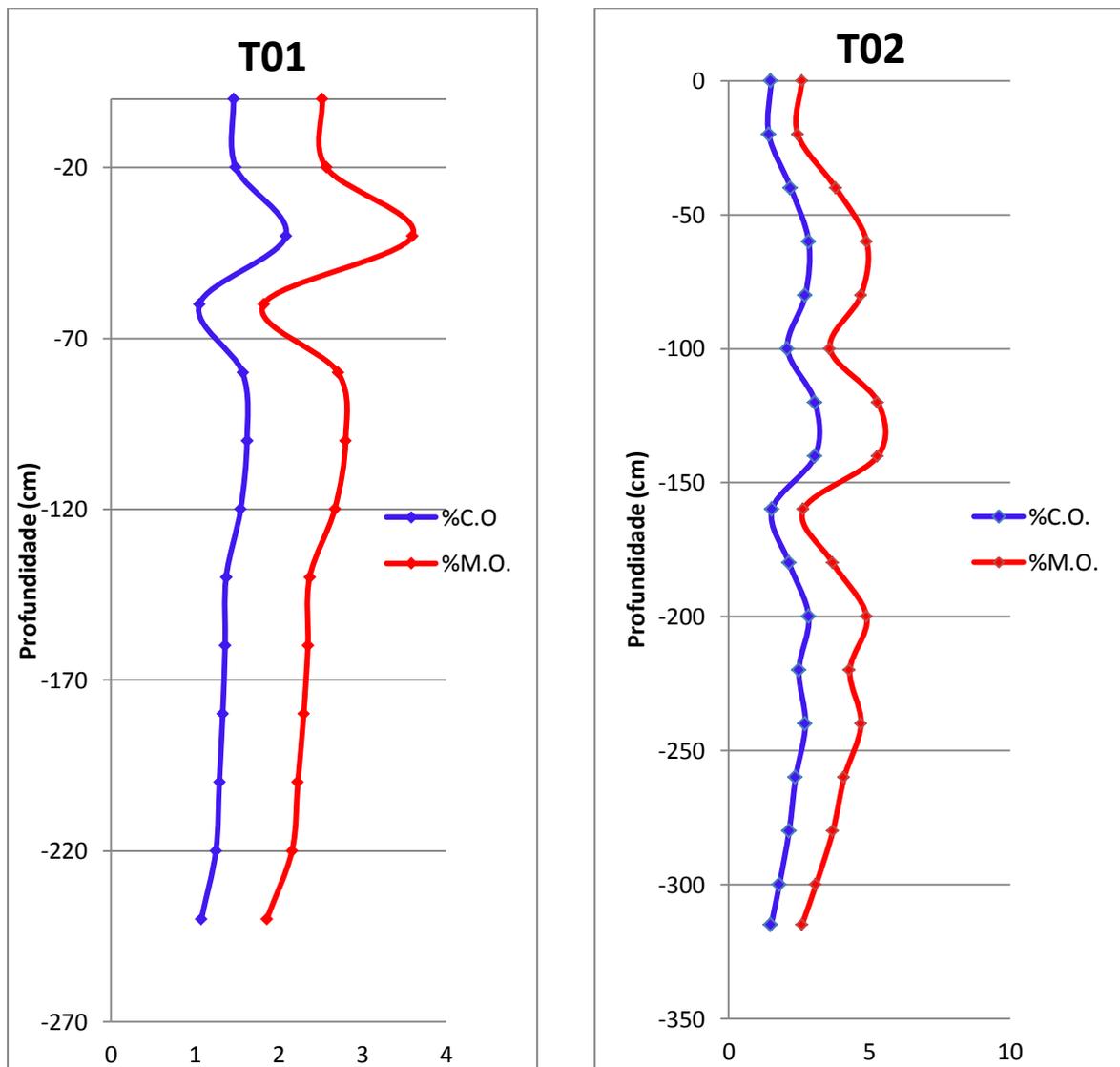
A repartição da matéria orgânica pode se apresentar desordenada em virtude das diferentes texturas granulométricas encontradas nos perfis sedimentares. Geralmente, observa-se em sedimentos de manguezais que o teor de M.O tende a diminuir do topo para a base. Essa maior acumulação nos extratos superficiais se deve na maioria das vezes, ao acúmulo de folhas e raízes de uma zona frequentemente inundada. Mas, muitas vezes, por uma série de fatores naturais, tais como a sazonalidade, tipo de vegetação, localização do ponto de coleta da amostra, verifica-se uma situação contrária, ou seja, a M.O aumenta relativamente com a profundidade, como é observado em manguezais africanos (AUBRUN, 1988).

Observa-se que o comportamento do C.O é bastante similar ao da M.O, o que já era de se esperar, uma vez que o percentual de carbono orgânico foi obtido da quantidade de matéria orgânica determinada, pois compreende todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas (SILVA et al, 2000).

Nos sedimentos de manguezais do estuário do rio Coreau, os teores de matéria orgânica em T01 variaram de 1,82 a 3,6% e mantiveram uma média de 2,45% , e para os teores de carbono orgânico esses valores em T01 variaram de 1,05 a 2,08% com uma média de 1,42%. Em T02 os teores variaram de 2,45 a 5,3% e mantiveram uma média de 3,90% , o teor de carbono orgânico variou de 1,4 a 3,07% com uma média de 2,26% (Gráfico 3).

Nos testemunhos dos sedimentos, os teores de M.O e C.O, variaram com a profundidade. O comportamento de diminuição do teor desses parâmetros como ocorre em T01 e T02, deve-se aos processos naturais que predominam no ecossistema manguezal onde as acumulações de material proveniente da vegetação de mangue (folhas e caules) permanecem acumulados em níveis mais superficiais e submetidos a condições anaeróbicas de decomposição em um ambiente frequentemente inundado pelas variações de maré.

Gráfico 3. Gráfico da Distribuição de Matéria Orgânica e Carbono Orgânica por profundidade de T01 e T02 do sedimento de manguezal da região de Camocim –CE.



Fonte: Próprio autor, 2012.

A granulometria do sedimento é a característica que mais tem influência sobre os demais parâmetros sedimentares. Nas amostras com presença de grãos mais finos, isto é,

maior conteúdo de silte e argila, característica essa observada no testemunho T02, as porcentagens de M.O e C.O associados são maiores, uma vez que tendem a acumular maior quantidade de substâncias por possuírem maior área superficial.

Os níveis de M.O foram maiores para a área T02, fato que também se deve ao local do ponto de coleta. Assim, além de fontes naturais de matéria orgânica para o sedimento, fontes antrópicas podem estar contribuindo, como o descarte de efluente dos tanques de carcinicultura no estuário do rio Coreaú.

Os valores de M.O. nos sedimentos do estuário do rio Coreaú representam os valores mínimos encontrados por Freire e colaboradores (2004) na plataforma continental da costa cearense de 0,76 a 38,9% com média de 8%, e estão na mesma ordem de grandeza das encontradas por (AGUIAR, 2005) de 0,82% a 3,96 em sedimentos do estuário do rio Ceará e de 0,64 a 3,00% para rio Pacoti.

5.4 Análises de Metais-traço nos sedimentos

5.4.1 Validação da metodologia utilizada na determinação de metais em sedimentos

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos a partir do padrão de referência de sedimentos apresentados pelo laboratório INNOLAB do Brasil Ltda.

Tabela 6. Resultados da análise dos padrões de referência. Fonte: INNOLAB do Brasil Ltda.

METAL	CONCENTRAÇÃO ESPERADA (mg/kg)	CONCENTRAÇÃO OBTIDA (mg/kg)	RENDIMENTO DA DIGESTÃO(%)
Al	33449,32	33598	100,44
Cd	19,73	19,7	99,85
Cu	35,57	34	95,58
Fe	18904	18903,97	99,99
Pb	27,90	28,9	103,58
Zn	41,46	41,1	99,13

Fonte: INNOLAB do Brasil, 2011.

A Tabela 7 apresenta os limites de detecção, ou seja, a menor concentração de um determinado analito que pode ser obtido com certeza estatística através da espectrofotometria de absorção atômica de chama e da metodologia empregada neste trabalho.

Tabela. 7. Limite de detecção (LD) do equipamento para determinação dos metais avaliados nesse estudo.

Metal	Limite de Detecção (mg/kg)
Al	1
Fe	2
Cd	0,1
Pb	0,4
Cu	0,1
Zn	0,4

Fonte: INNOLAB do Brasil, 2011.

O laboratório INNOLAB do Brasil Ltda., trabalha segundo Sistema de Gestão da Qualidade atendendo os requisitos da Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, além de utilizar métodos reconhecidos internacionalmente (EPA, DIN, ASTM entre outros), o que ratifica a qualidade e credibilidade do laboratório, podendo ser validado.

5.4.2 Distribuição geoquímica dos teores de Al e Fe nos sedimentos estuarinos do Rio Coreaú

- ***Alumínio***

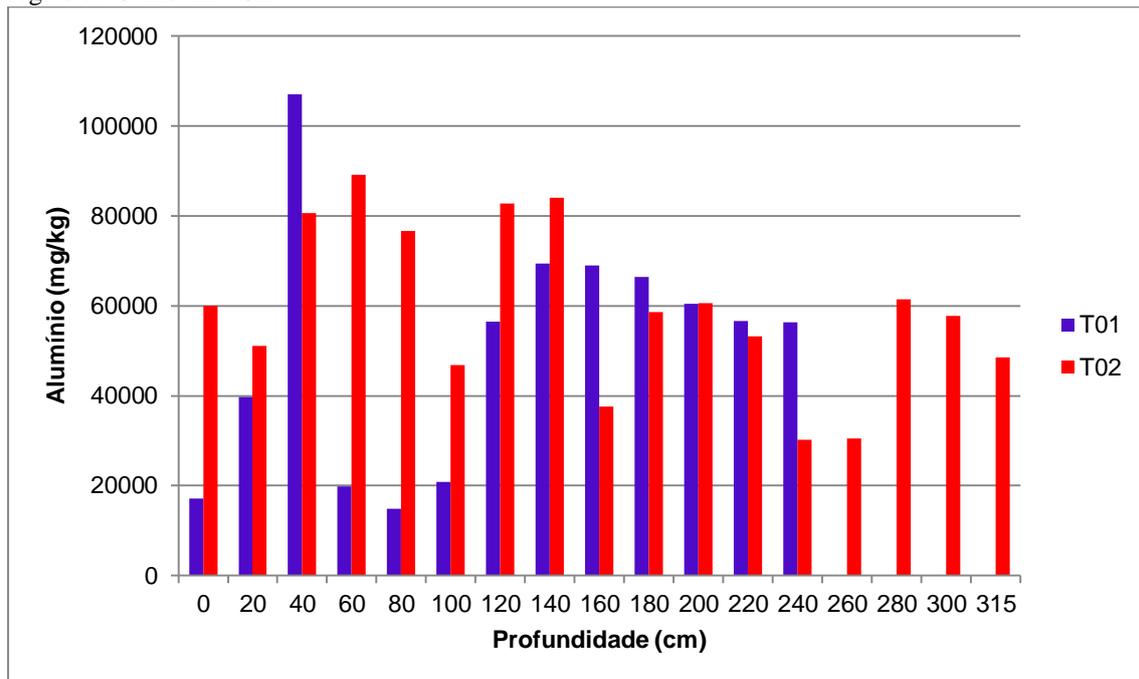
O gráfico 4 abaixo nos mostra o comportamento da concentração de Al em relação à profundidade para os testemunhos T01 e T02.

Os teores de Al nos sedimentos do estuário do Rio Coreaú, variam 14.851 a 107.103 mg/kg, com valor médio de 50.328,38 mg/kg e desvio padrão de 26.904,81 mg/kg para a área T01, o maior valor se apresentou na profundidade de 20 a 40 cm e o menor valor entre 60 a 80 cm.

Para a área T02 os teores variaram de 30.243 a 89.123 mg/kg, com valor médio de 59.497 mg/kg e desvio padrão de 18.799,14 mg/kg, o maior teor de Al apresentou-se na profundidade de 60 a 80 cm e o menor entre 220 a 240 cm.

Os dois testemunhos T01 e T02 apresentam comportamento oscilante (irregular) em relação à profundidade. O Al é um elemento abundante na natureza então não possui relação direta com a atividade antrópica e suas variabilidades estão relacionadas com os processos de oxirredução.

Gráfico 4. Gráfico da Concentração de Al (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE.



Fonte: Próprio autor, 2012.

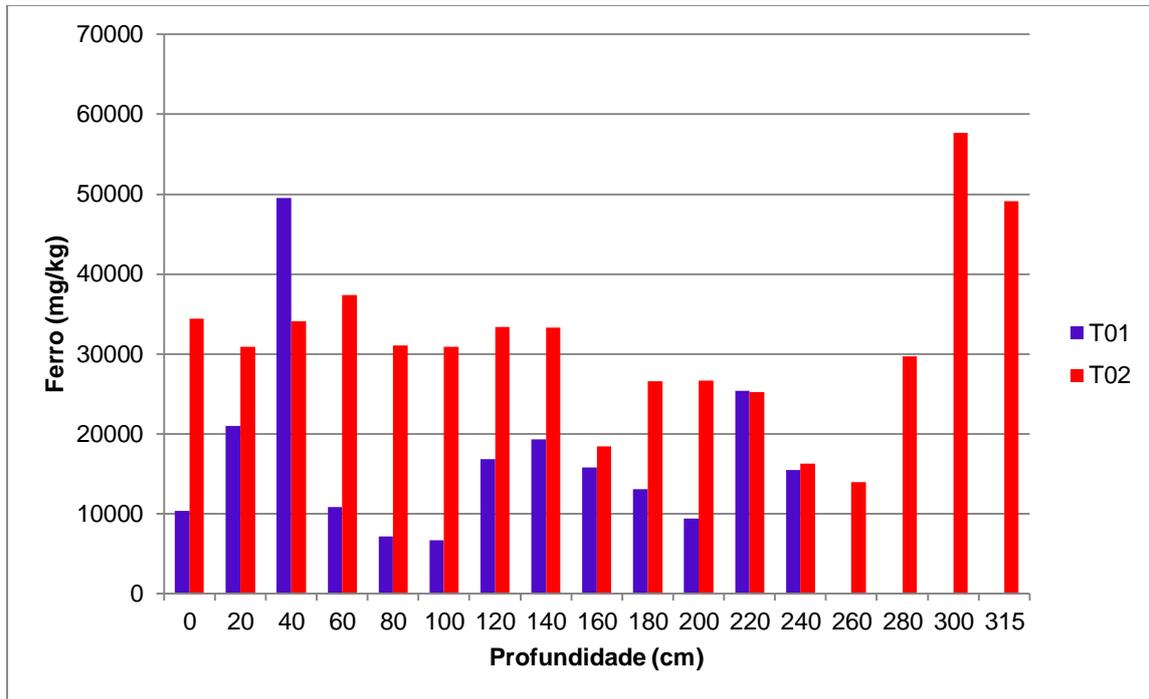
- **Ferro**

Os teores de Fe na área T01 variaram de 6.673 a 49.512 mg/kg com uma média de 16.978,38 mg/kg e desvio padrão de 11.222,53 mg/kg. O maior teor de Ferro se apresentou na profundidade entre 40 a 60 cm e o menor teor entre 100 a 120 cm.

Para a área T02 os valores variaram de 13.916 a 57.684 mg/kg, com uma média de 31.111,29 mg/kg e desvio padrão de 10.762,82 mg/kg, o maior teor foi encontrado entre 280 a 300 cm de profundidade e o menor entre 240 a 260 cm (Gráfico 5)

Os dois testemunhos T01 e T02 apresentam comportamento oscilante (regular) em relação à profundidade. Em T02 obteve-se um incremento da concentração de Fe com a profundidade.

Gráfico 5. Gráfico da Concentração de Fe (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE para T01 e T02.



Fonte: Próprio autor, 2012.

Um dos fatores que afeta a solubilidade, a disponibilidade e a toxicidade de alguns dos metais pesados é o estado de oxidação, determinado pela relação água/ar e também pela presença de oxidantes e redutores. Como exemplo tem-se a oxidação da matéria orgânica particulada que pode levar a condições anóxicas permitindo às bactérias reduzirem sulfatos a sulfetos. Por outro lado, um nível alto de matéria orgânica particulada também é remineralizado, deixando os metais-traço solúveis. Os níveis resultantes de sulfetos e metais dissolvidos são altos o bastante para formar sulfetos metálicos insolúveis em águas pouco oxigenadas (MELO, 2000)

É o que ocorre com o Fe, assim, enquanto o Fe^{3+} é insolúvel, o Fe^{2+} é solúvel, o que aumenta sua mobilidade no perfil do solo e sua disponibilidade para os vegetais. O Fe tem grande habilidade em formar complexos e quelados com a matéria orgânica, de tal forma a facilitar sua movimentação no perfil do solo e sua absorção pelas plantas (MELO, 2000).

Entretanto, Maia (2004) mostrou que o ferro apresenta um comportamento diferenciado entre os teores encontrados em épocas de chuva e seca, sendo que os maiores teores determinados foram obtidos em amostras coletadas no período seco. Dessa forma para

a compreensão do comportamento do ferro como carreador geoquímico sugere-se que os estudos avancem na frequência amostral.

5.4.3 Distribuição dos teores de Cu, Zn, Pb e Cd nos sedimentos

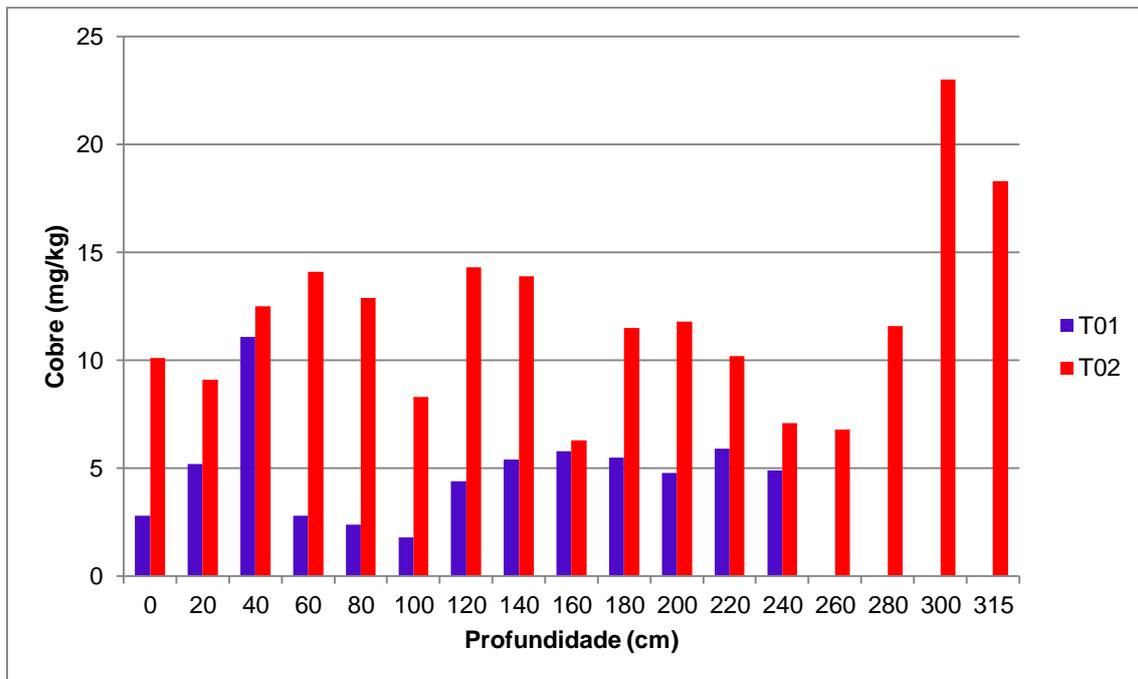
- **Cobre**

O Gráfico 6 mostra o comportamento da concentração de Cu em relação à profundidade para os dois testemunhos (T01 e T02).

O teor de Cobre no testemunho T01 variou entre 1,8 a 11,1 mg/Kg, com média de 4,83 mg/kg e desvio padrão de 2,34 mg/kg. O maior teor de Cu foi observado na profundidade de 40 a 60 cm e o menor valor de 100 a 120 cm de profundidade.

Para a área T02 os teores variaram de 6,3 a 23 mg/kg com média de 11,87 mg/kg e desvio padrão de 4,24 mg/kg. O maior teor encontra-se entre 280 a 300 cm de profundidade e o menor teor de Cu entre 140 a 160 cm.

Gráfico 6. Gráfico da Concentração de Cu (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE para T01 e T02.



Fonte: Próprio autor, 2012.

Os teores de Cu encontrados na área T02 foram maiores do que os da área T01, além disso, observa-se um incremento na concentração de Cu no fim do testemunho (entre 280 a 315 cm), assim como ocorre com a concentração de Ferro. O Cu é um elemento com grande habilidade em interagir quimicamente com componentes minerais e orgânicos do solo, podendo formar precipitados com alguns ânions, como sulfatos, carbonatos e hidróxidos (Kabata-Pendias & Pendias, 1992), como apresentado na tabela 10, o Fe possui correlação positiva significativa com o Cu ($r=0,92$), assim, provavelmente este fato deve-se a associação dos metais de Cu com os óxido-hidróxidos de Fe.

Lacerda *et al.* 2004, determinaram teores de Cu em três importantes bacias do litoral do Ceará e Rio Grande do Norte e obtiveram teores médios de 9,1; 0,7 e 15,3 mg/kg de Cu para às regiões estuarinas dos Rios Jaguaribe, Curimataú e Piranhas – Açú respectivamente. Essa faixa de concentração foi reportada para sedimentos estuarinos não contaminados por esse metal (Salomons e Forstner, 1984) e representam valores inferiores aos encontrados por Maia (2004) na costa norte de Fortaleza de 0,32 a 4,64 mg/kg de Cu.

Os valores obtidos nas concentrações de Cu para os sedimentos de manguezal do Coreaú são maiores que os reportados por Aguiar (2005) e Lacerda *et al.* (2004a) nos estuários do rio Ceará e Piranhas-Açu considerados como rios que registram carga antrópica moderada

- **Zinco**

O teor de Zinco no testemunho T01 variou entre 6 a 40 mg/Kg, com média de 19,38 mg/kg e desvio padrão de 14,5 mg/kg. O maior teor de Zn foi observado na profundidade de 40 a 60 cm e o menor valor de 100 a 120 cm de profundidade (Gráfico 7).

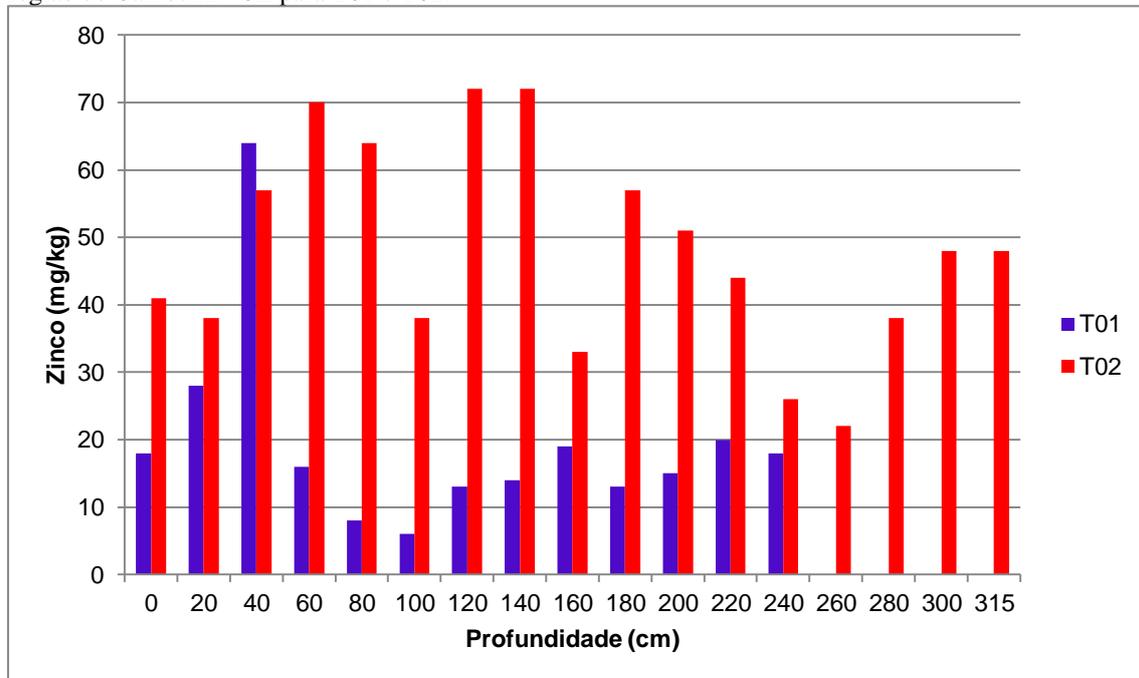
Para a área T02 os teores de Zn variaram de 22 a 72 mg/kg com média de 48,17 mg/kg e desvio padrão de 15,43 mg/kg. O maior teor encontra-se entre 100 a 140 cm de profundidade e o menor teor de Zn entre 240 a 260 cm de profundidade

Os teores de Zn encontrados na área T02 foram maiores do que os da área T01, com exceção da profundidade 40 a 60 cm que foi maior em T01. Os dois testemunhos T01 e T02 apresentam comportamento oscilante (irregular) em relação à profundidade.

Os teores de Zn encontrados por Aguiar (2005) de 0,40 a 7mg/kg e 1,8 a 12,64mg/kg nos manguezais do rio Ceará e Pacoti, respectivamente foram abaixo dos valores obtidos

neste estudo, porém valores similares de 9,4 a 50,1 mg/kg foram encontrados por Lacerda *et al*, 2004b nos sedimentos de manguezal do rio Jaguaribe

Gráfico 7. Gráfico da Concentração de Zn (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE para T01 e T02.



Fonte: Próprio autor, 2012.

- **Chumbo**

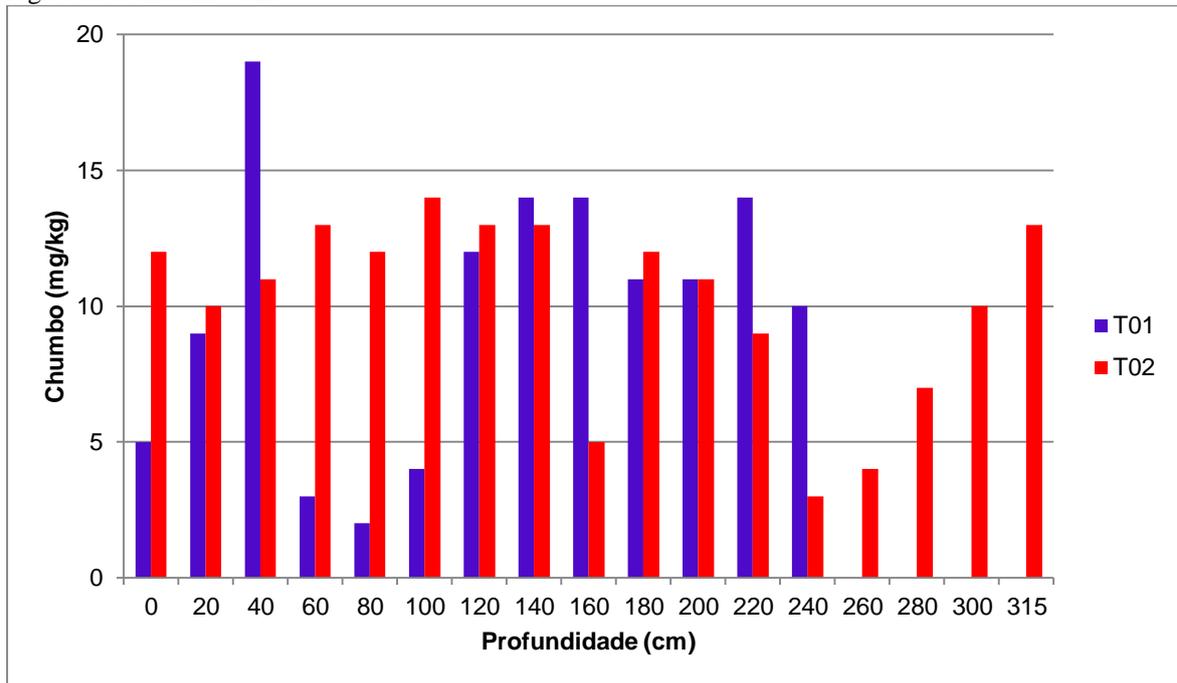
O gráfico 8 nos mostra o comportamento da concentração de Pb em relação à profundidade para os dois testemunhos (T01 e T02).

O teor de Chumbo no testemunho T01 variou de 2 a 19 mg/Kg, com média de 9,85 mg/kg e desvio padrão de 5,1 mg/kg. O maior teor de Pb foi observado na profundidade de 40 a 60 cm e o menor valor de 60 a 80 cm de profundidade.

Para a área T02 os teores de Pb variaram 3 a 14 mg/kg com média de 10,11 mg/kg e desvio padrão de 3,40 mg/kg. O maior teor encontra-se entre 80 a 100 cm de profundidade e o menor teor de Cu entre 220 a 240 cm de profundidade.

Os dois testemunhos T01 e T02 apresentam comportamento oscilante (irregular) em relação à profundidade.

Gráfico 8. Gráfico da Concentração de Pb (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE.



Fonte: Próprio autor, 2012.

Torres (2009) verificou valores similares de Pb de 1,7 a 17,8mg/kg em sedimentos do estuário do rio Jaguaribe, no entanto, o mesmo autor encontrou valores bem menores no estuário do rio Pacoti de 1,7 a 6,4 mg/kg de Pb.

- **Cádmio**

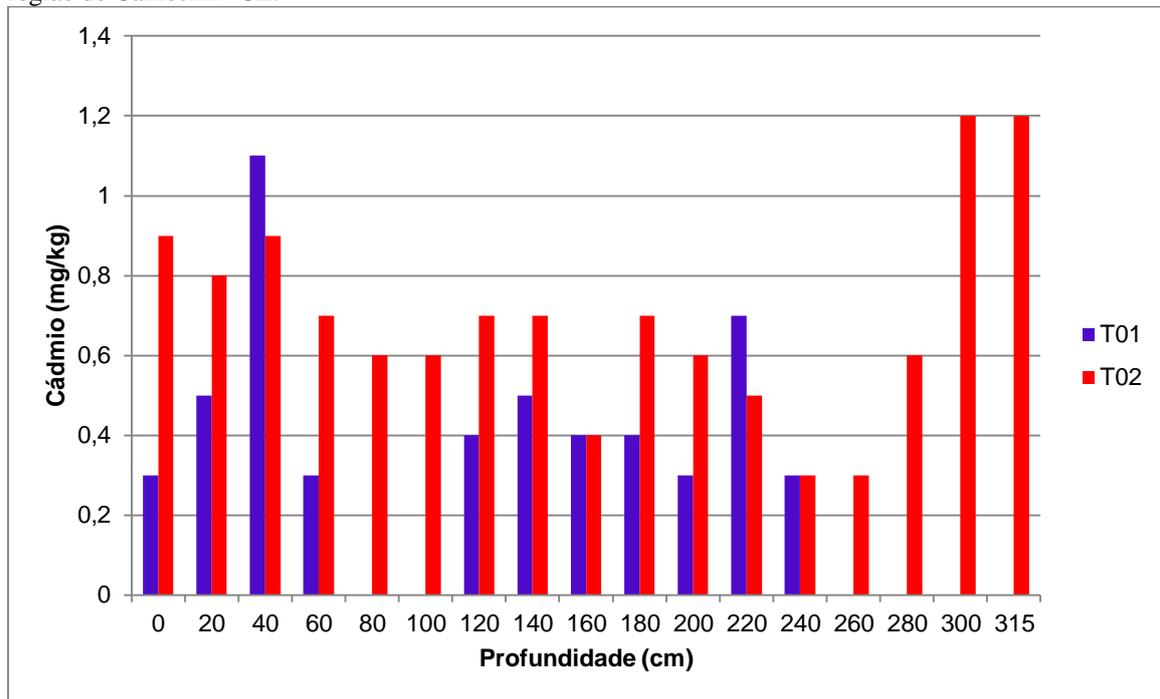
O gráfico 9 apresenta o comportamento da concentração de Cd em relação à profundidade para os dois testemunhos (T01 e T02).

O teor de Cádmio no testemunho T01 variou de não detectável a 1,1 mg/Kg, com média de 0,4 mg/kg e desvio padrão de 0,28 mg/kg. O maior teor de Cd foi observado na profundidade de 40 a 60 cm e o menor valor de 220 a 260 cm de profundidade.

Para a área T02 os teores de Cd variaram de 0,3 a 1,2 mg/kg com média de 0,68 mg/kg e desvio padrão de 0,25 mg/kg. O maior teor encontra-se entre 280 a 315 cm de profundidade, ou seja, na base do testemunho e o menor teor de 220 a 260 cm de profundidade.

Os dois testemunhos T01 e T02 apresentam comportamento oscilante (irregular) em relação à profundidade, porém em T02 verifica-se um aumento da concentração de Cd.

Gráfico 9. Gráfico da Concentração de Cd (mg/kg) por profundidade (cm) em sedimentos do manguezal da região de Camocim –CE.



Fonte: Próprio autor, 2012.

5.4.4 Correlações Geoquímicas dos metais

Durante as discussões, foi observado que alguns elementos respondem de maneira similar a determinadas condições ambientais. Então estudos estatísticos de correlação, foram realizados com o objetivo de melhor compreender o comportamento, ou até, conduzir as prováveis fontes dos elementos Cu, Pb, Zn e Cd, nas estações de manguezal da região de Camocim.

As principais associações dos metais estudados com importantes carreadores geoquímicos, tais como a matéria orgânica, carbonatos, óxidos-hidróxidos de ferro e argilo-minerais (grupos Al-O hidratados recombinados dentro das argilas) formados pelo intemperismo das rochas (SALOMONS & STIGLIANI, 1995) foram avaliadas através de correlações estatísticas.

Para a área T01 (Tabela 7) verifica-se que todos os teores metálicos apresentaram correlações estatisticamente significativas com os carreadores geoquímicos utilizados, exceto com os carbonatos. Estes resultados mostram que os processos que controlam a deposição do

Fe, Al, e MO nos sedimentos nessa área, podem controlar a deposição dos metais (Cu, Zn, Cd e Pb).

Tabela 7. Correlações Geoquímica na área T01. (Correlações em negrito são significativas $p < 0,01$).

	M.O.	CaCO ₃	Al	Cd	Pb	Cu	Fe	Zn
M.O.	1							
CaCO ₃	-0.12	1						
Al	0.60	-0.66	1					
Cd	0.51	-0.51	0.82	1				
Pb	0.58	-0.67	0.96	0.85	1			
Cu	0.68	-0.56	0.94	0.93	0.90	1		
Fe	0.68	-0.41	0.78	0.95	0.78	0.93	1	
Zn	0.67	-0.30	0.70	0.87	0.64	0.89	0.94	1

Fonte: Próprio autor, 2012.

A matriz de correlação da área T01 mostra correlações significativas positivas da matéria orgânica com os metais: Pb, Cu, Cd e Zn. Dessa forma identificam-se possíveis reações de complexações organometálicas desses elementos com a M.O contida nesses sedimentos.

O Fe mostrou correlação significativa positiva com o Al, podendo-se deduzir que, provavelmente, os óxidos e hidróxidos de Fe estejam sendo depositados na fração mais fina dos sedimentos desses manguezais, já que o Al atua como um indicador de argilominerais.

Verifica-se também que todos os metais analisados apresentam correlações estatísticas positivas entre si, pode-se supor dessa forma que esses metais encontram-se associados nesse ambiente e que, possivelmente, tenham as mesmas fontes de origem. As correlações significativas positivas do Al com os metais analisados (Cu, Zn, Cd e Pb) em T01, sugerem ainda que esses metais estão associados à matriz sedimentar nessa região.

As correlações com os metais (Cd, Cu, Pb e Zn) decrescem do Al > Fe > MO, mostrando que o alumínio é o principal carreador geoquímico desses metais presente nos sedimentos da área T 01, corroborando com a hipótese de sua origem como litogênica.

De acordo com a matriz de correlação (Tabela 8) para a área T 02, nota-se que apenas o Pb ($r=0,70$) e Zn ($r=0,93$) possuem correlação significativa com o Al, isso parece indicar que a presença desses elementos está relacionada a própria composição mineralógica, uma vez que o Al representa o constituinte básico do cortejo mineralógico associado ao manguezal. Verifica-se ainda que Zn e Pb apresentam correlações positivas entre si ($r=0,76$), esses resultados sugerem que esses metais tenham a mesma origem e que ambos são majoritariamente de origem litogênica devido as correlações significativas com o Al.

Tabela 8. Matriz de correlação para a área T 02. (correlações em negrito são significativas $p < 0,01$).

	M.O.	CaCO ₃	Al	Cd	Pb	Cu	Fe	Zn
M.O.	1							
CaCO ₃	0,40	1						
Al	0,48	0,31	1					
Cd	-0,42	-0,06	0,36	1				
Pb	0,10	0,23	0,70	0,61	1			
Cu	0,01	0,09	0,48	0,82	0,51	1		
Fe	-0,25	0,01	0,43	0,94	0,62	0,92	1	
Zn	0,52	0,32	0,93	0,37	0,76	0,55	0,45	1

Fonte: Próprio autor, 2012.

A partir dos resultados obtidos foi observado que as fontes dos metais (Pb e Zn) para ao estuário são provavelmente naturais, porém observou-se um aumento das concentrações com a profundidade, que provavelmente está associado ao contínuo processo de ocupação dessa área pela atividade da aquicultura.

Assim, com a ocupação a vegetação nativa é retirada favorecendo os processos de erosão e lixiviação dos solos carregando seus constituintes químicos, bem como, o Pb e Zn e depositando nos sedimentos estuarinos. A correlação geoquímica dos metais Pb e Zn na área T02, demonstrou que o Al é o principal fator determinante para deposição desses metais nos sedimentos estuarinos do Rio Coreau, corroborando a hipótese de aumento dos teores desses metais para o estuário, ligado a erosão de solos.

O Fe possui correlação positiva com o Cd ($r=0,94$), Pb ($r=0,62$) e Cu ($r=0,92$). O Cd por sua vez, teve correlação positiva altamente significativa com Cu ($r=0,82$) e Fe ($r=0,94$) sugerindo que esses metais possuam mesma origem, e devido a esses metais não possuírem correlações com o Al (origem litogênica), sugere-se que esses metais possivelmente tenham origem antrópica.

Nota-se ainda em T02 que os metais não possuem correlação significativa com a M.O., sugerindo que a matéria orgânica não influencia sobre a distribuição dos metais, o que demonstra a não associação dos metais-traço com essas fases carreadoras.

A distribuição e correlação geoquímica do Cu e Cd no estuário do rio Coreaú, provavelmente de origem difusa comprova a presença de fontes antrópicas associadas ao descarte de efluentes de carcinicultura na área (Figura 21).

Figura 21. Mosaico de fotos da empresa de Carcinicultura no manguezal de Camocim-CE



Fonte: Próprio autor, 2011.

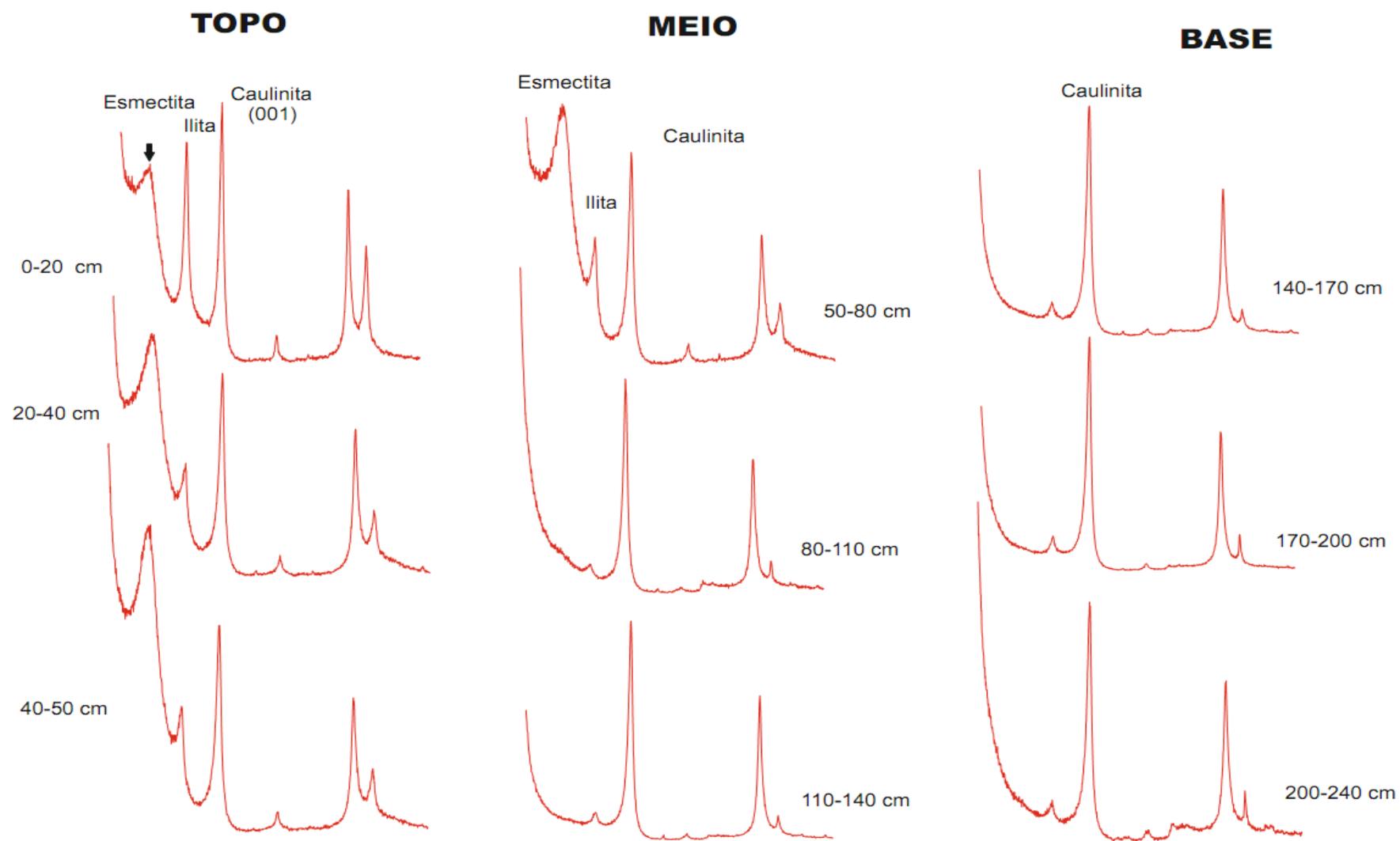
5.4 Argilominerais

Nas figuras 22 e 23 estão representados os difratogramas de raios-x referentes à fração argila dos perfis representativos da área de estudo. Os argilominerais identificados nos testemunhos T01 e T02 foram: esmectita, caulinita e illita.

Conforme mostram as figuras, a assembleia mineralógica não varia de um perfil para o outro. Esta uniformidade mineralógica reflete a presença de condições geoquímicas semelhantes nos perfis.

O testemunho T01 apresentou maiores teores de caulinita em toda a profundidade. O TOPO do testemunho apresentou baixos teores de esmectita (6%) no início, illita e caulinita tiveram os respectivos teores (39% e 55%), na profundidade os teores de esmectita aumentaram (35%). O MEIO do testemunho apresentou uma diminuição nos teores de illita e uma predominância da caulinita até a BASE do testemunho, apresentando média de 95% de caulinita até o final do testemunho e baixos teores de illita (5%).

Figura 22. Difratoograma dos argilominerais de T01.



O testemunho T02 apresentou-se semelhante a T01, houve uma predominância dos teores de caulinita em toda a profundidade do testemunho. O TOPO iniciou com baixos teores de esmectita (7%), 37% de ilita e 56% de caulinita aumentando os teores de esmectita com a profundidade e diminuindo os teores de ilita. O MEIO apresentou teores médios dos argilominerais: 25% de esmectita, 18% de ilita e 58% de caulinita. Já a BASE do testemunho teve uma diminuição nos teores de ilita (8%), não havendo também a presença de esmectita, predominando os teores de caulinita (92%).

A caulinita é o mineral mais abundante na fração argila nos solos estudados, fato que não surpreende devido à sua ocorrência generalizada em solos brasileiros (KÄMPF; CURI, 2003). Corrêa *et al.* (2008) afirmam ainda que a quantidade de caulinita presente na argila é grande nos solos desenvolvidos nos tabuleiros costeiros, o que demonstra a influência dos minerais nessa fração no manguezal em questão.

A assembleia mineralógica da fração fina no manguezal do rio Coreaú reflete a importância das áreas continentais. As principais diferenças em relação à abundância dos diferentes argilominerais estão associadas às áreas continentais adjacentes a esses ecossistemas, que atuam como fonte para os sedimentos. Com os resultados obtidos distinguem-se três padrões diferentes fontes dos argilominerais na área estudada. A caulinita provavelmente é erodida da formação Barreira e a ilita provém da formação pré-cambriana. Porém os dois testemunhos apresentam no TOPO uma maior quantidade de ilita, que neste caso é devido à mistura de sedimentos marinhos.

As condições geoquímicas para formação e estabilidade da caulinita não são apropriadas em ambientes deste tipo, ou seja, hidromórfico, com pH oscilando entre 6,0 e 7,5 e grande quantidade de íons básicos em solução (DIXON, 1989), que favorecem a via da bissialitização (GOMES, 1988), isso sugere que a origem alóctone (herança das áreas adjacentes) para este mineral é mais razoável.

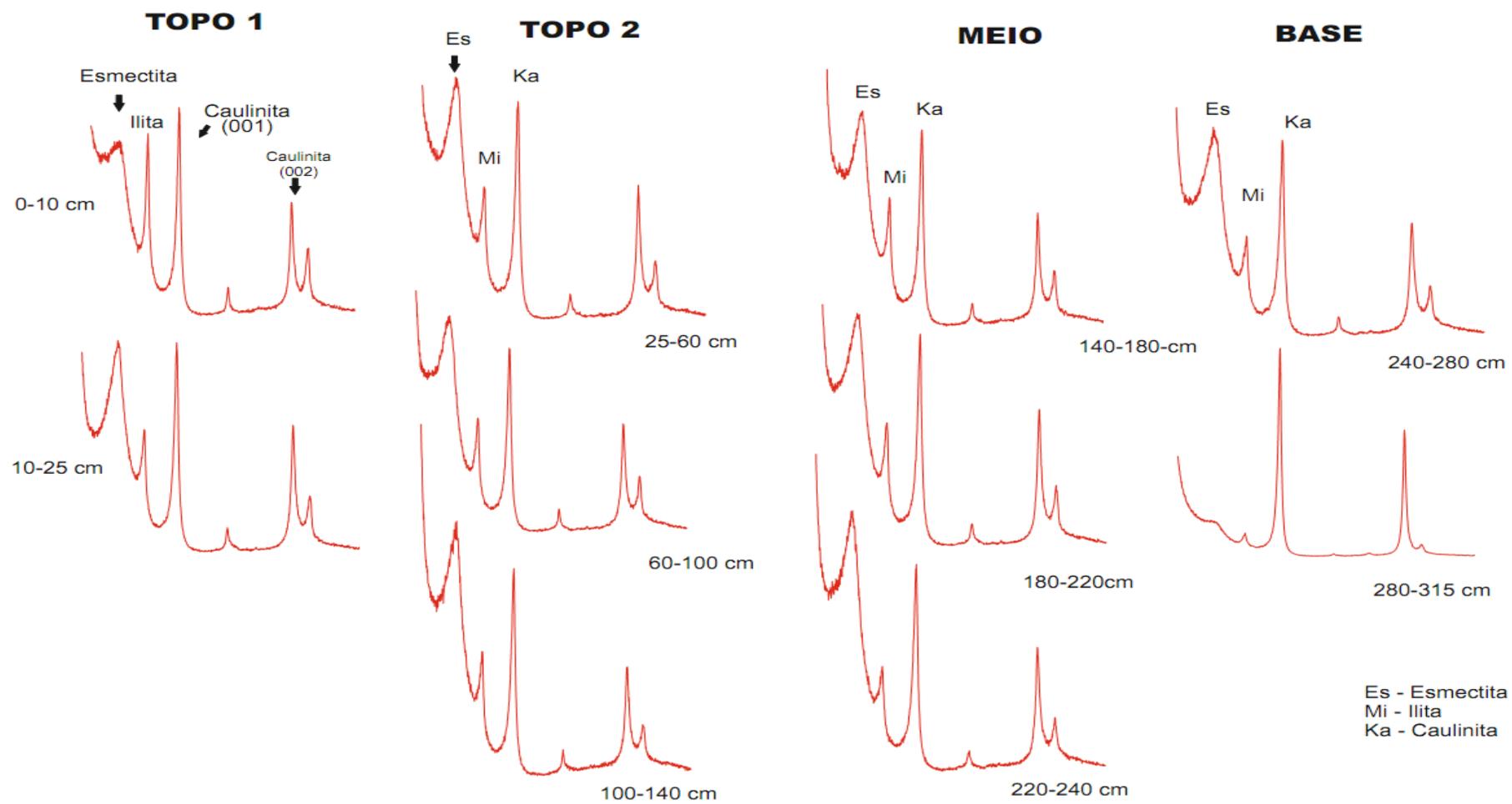
A proposição de Souza-Júnior *et al.* (2008), baseada no trabalho de Michallopoulos e Aller (2004), de que a caulinita poderia se precipitar no ambiente rico em sílica biogênica e hidróxidos de Al derivados da dissolução da gibbsita em pH mais elevado (ressilicitação ou “intemperismo reverso”), não parece provável nos manguezais estudados.

Em um estudo feito nos solos dos manguezais brasileiros, Andrade 2010, verificou a origem autigênica da ilita nos solos das áreas fontes sendo transportadas pelos rios até os manguezais de Acaraú (CE), além disso esses solos recebem contribuição sedimentar de solos

de áreas adjacentes ricos em filossilicatos 2:1 (INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEARÁ - IPLANCE, 1992; BÉTARD et al., 2009).

Os minerais que ocorrem na fração argila em áreas de estuários são predominantemente de origem detrital com misturas de sedimentos continentais e marinhos, sendo que os primeiros chegam como carga em suspensão dos rios e os últimos são depositados durante os eventos de transgressões pretéritas ou são atualmente depositados por correntes litorâneas (CHAMLEY, 1989).

Figura 23. Difratoograma dos argilominerais de T02.



6. CONCLUSÕES

As conclusões aqui propostas buscam fundamentar os objetivos deste trabalho e gerar subsídios para caracterizar geoquímica e mineralogicamente os testemunhos sedimentares analisados do manguezal do rio Coreaú-CE.

Quanto à variedade da coloração dos sedimentos do testemunho, foram identificadas pequenas variações entre tons de cinza claros a tons de cinza mais escuro para marrom, além de cores mais amarelada em T02. Foi verificada ainda a presença de restos de vegetação de mangue e Conchas de moluscos e bivalves em maiores quantidade em T02, além de pontos de redução e oxidação da matéria orgânica.

A granulometria dos testemunhos mostrou um predomínio da fração lama sobre as outras classes granulométricas (frações de até 99%), esse fato pode ser influenciado pela grande quantidade de sedimento em suspensão que é lançado diretamente no estuário através dos tanques de carcinicultura. Além disso, mostrou também que em um mesmo testemunho podem existir diversos tipos de sedimento, havendo camadas com grande quantidade de silte e argila e camadas formadas basicamente de grãos mais grosseiros. Essas alterações nos padrões de deposição mostram ainda que existem alterações na dinâmica do estuário, em que períodos de grande energia são seguidos por períodos de baixa capacidade de transporte de sedimento.

A análise geral dos testemunhos sedimentares T01 e T02, mostrou que com relação aos teores de CaCO_3 , que T02 apresenta maior variação, indicado um intenso aporte para esta região. Este fato deve-se ao acúmulo de fragmentos de conchas de moluscos e bivalves (principalmente *Crassostrea rizophorae*) que apresentam alto teor de CaCO_3 presentes na área do ponto de coleta.

T02 apresentou também um maior percentual nos teores de C.O e M.O. Os níveis de M.O. fato que pode estar relacionado à granulometria do sedimento (maior quantidade de silte e argila) ou à proximidade do local com o descarte de efluentes dos tanques de carcinicultura no local. Logo conclui-se que a atividade de carcinicultura exercida no manguezal do Coreaú possa estar contribuindo com o aumentos dos teores de M.O. nos sedimentos.

Para os teores dos metais-traço, verificou-se em T01, que todos os metais apresentaram correlações significativas com os carreadores geoquímicos, com exceção do carbonato de cálcio, esses resultados mostram que os processos que controlam a deposição do Fe, Al, e MO nos sedimentos nessa área, podem controlar a deposição dos metais (Cu, Zn, Cd e Pb). Verificou-se também que todos os metais analisados apresentam correlações estatísticas

positivas entre si, o que se supõe que esses metais encontram-se associados nesse ambiente e que, possivelmente, tenham as mesmas fontes de origem. As correlações significativas positivas do Al com os metais analisados (Cu, Zn, Cd e Pb) em T 01, sugerem ainda que esses metais estão associados à matriz sedimentar nessa região.

Já em T02 os resultados obtidos mostram que as fontes dos metais (Pb e Zn) para ao estuário são provavelmente naturais, porém observou-se um aumento das concentrações com a profundidade, que provavelmente está associado ao contínuo processo de ocupação dessa área pela atividade da aquicultura. Nota-se ainda em T02 que os metais não possuem correlação significativa com a M.O., sugerindo que a matéria orgânica não influencia sobre a distribuição dos metais, o que demonstra a não associação dos metais-traço com essas fases carreadoras.

Verificou-se ainda que a distribuição e correlação geoquímica do Cu e Cd no estuário do rio Coreaú, são provavelmente de origem difusa, podendo comprovar assim a presença de fontes antrópicas associadas ao descarte de efluentes de carcinicultura na área.

Com relação à composição dos argilominerais presentes no manguezal do rio Coreaú, observou-se que não houve variação de um perfil para outro, mostrando a presença de condições geoquímicas semelhantes nos dois testemunhos sedimentares. Os argilominerais identificados nos testemunhos T01 e T02 foram: esmectita, caulinita e illita.

Os minerais alóctones encontrados nos manguezais de Camocim são provenientes do continente trazidos pelos rios que drenam a planície costeira e também podem ser oriundos da plataforma continental através da ação de correntes litorâneas.

Os resultados obtidos neste projeto geraram perspectivas para uma maior base de estudo sobre os solos dos manguezais. Todavia se faz necessária um maior acompanhamento destes estudos, tanto do ponto de vista geoquímico, quanto mineralógico, para que as pesquisas nos manguezais de Camocim obtenham subsídios para um maior conhecimento da área. Tal contexto exige o estudo de outras áreas do manguezal visando um melhor entendimento das fontes dos metais-traço para o estuário e a assembleia mineralógica dos solos estudados.

REFERÊNCIAS

- ABU-HILAL, A H.; BADRAN, M. M. **Effect of pollution sources on metal concentrations in sediment cores from the Gulf of Aqaba (Red Sea)**. Marine Poll.Bull., v. 21, n. 4, p. 190-197, 1990.
- AGUIAR, J. E. **Geoquímica de metais-traço em sedimentos superficiais nos estuários dos rios Ceará e Pacoti, CE**. 2005. 62p. Monografia (Graduação em Geologia)- Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 2005.
- AGUIAR NETO, A.B.; GOMES, D.F.; FREIRE, G.S.S. **Níveis e origem de cálcio em sedimentos dos manguezais de Icapuí-CE, Nordeste do Brasil**. Revista de Geologia, Vol. 21, nº 2, p. 135-146, 2008.
- AGUIAR, J. E. **Comparação de metodologias para caracterização geoquímica de metais-traço em sedimentos da Plataforma continental do Ceará**. 2007. 114p. (Dissertação de mestrado) - Instituto de Ciências do mar, Universidade Federal do Ceará, 2007.
- ALBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADO, R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios-x**. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001.
- ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. **Chemical Principles of Environmental Pollution**, New York: Chapman & Hall, 382p, 1997.
- ARAÚJO, M.V. 2011. **Modelo Batimétrico da Plataforma Continental Interna de Acaraú – Ceará, Brasil**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7682.
- AUBRUN, A. **Mangrove Ancienne de Basse casamance (Senegal):Caracterisation – pedologie – sedimentologic**. Strasbourg. 1988. 165p. Tese de Doutorado. Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological profile for cadmium**. Atlanta: ATSDR, 1997. 347 p
- AUBERT, H.; PINTA, M. **Trace Elements in soils**. Elsevier, Amsterdam, p. 395. 1977.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 622p./ Colin Baird; trad. Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2ª. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARRETO, S. B. **A Farinha de Rochas MB-4 e o Solo**. 1998, p. 4. Disponível em: <http://www.mibasa.com.br/livro_farinha.htm> Acesso em: 15/11/2012.

BARRETO, A. B., ARAGÃO, M. R. S.; BRAGA, C. C. **Estudo do ciclo diário do vento à superfície no Nordeste do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Foz de Iguaçu. Anais... XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2002.

BEHLING, H.; COSTA, M.L. **Mineralogy, geochemistry and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation on Mosqueiro Island, northeastern Pará, eastern Amazonia**. Journal of South American Earth Sciences, Oxford, v. 17, p. 285-295, 2004.

BERRÊDO, J.F.; COSTA, M.L.; VILHENA, M.P.S.P.; SANTOS, J.T. **Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará)**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 38, p. 24-35, 2008.

BÉTARD, F.; CANER, L.; GUNNEL, Y.; BOURGEOIS, G. **Illite neoformation in plagioclase during weathering: Evidence from semi-arid Northeast Brazil**, Geoderma, Amsterdam, v. 152, p. 53-62, 2009.

CARVALHO, I. G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia-UFBA, 239p. 1995.

CERCASOV, V.; PANTELICA, A.; SALAGEAN, M.; SCHREIBER, H. **Comparative evaluation of some pollutants in the airborne particulate matter in Eastern and Western Europe: two-city study**, Bucharest-Stuttgart. Environ. Poll., v. 101, p.331- 337, 1998.

CHAIRMAN, E. N. G. & Trask, P. D. & Ford, R. K. & Rove, O. N. & Singewald Jr, J. T. & Overbeck, R. M. **Rock Color Chart**. Colorado: Geological Society of America, 10 p., 1984.

CHAMLEY, H. **Clay sedimentology**. Berlin: Springer-Verlag 623 p. , 1989.

CHAPMAN, V.J. **Mangrove Vegetation**. Alemanha, J. Cramer, 1976.

CHATTERJEE, M. et. al. **Distribution and Possible Source of Trace Elements in the Sediment Cores of a Tropical Macrotidal Estuary and Their Ecotoxicological Significance**. Environmental International; 33: 346-356. 2007.

CLARK, R. B. **Metals**. In: Marine Pollution. 5ª Ed., pp 98-125. Oxford University press, Oxford. 2001.

CLARK, M.W. **Management implications of metal transfer pathways from a refuse tip to mangrove sediments.** The Science of Total Environment, v.222, p.17-34, 1998.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar.** **Montevideo:** Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe, 109p. 1983.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Anuário do monitoramento quantitativo dos principais açudes do Estado do Ceará.** 2003. Fortaleza, 2003. Disponível em: <<http://www.cogerh.com.br/versao3/public-anuario03.asp>>. Acesso em: 10 fev. 2011

COMISSÃO NACIONAL INDEPENDENTE SOBRE OS OCEANOS. **O Brasil e o mar: relatório dos tomadores de decisão do país.** Rio de Janeiro: CNIO, 1998. 408p.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.; CURTI, N. **Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 1857-1872, 2008.

COSTA, J.L.; ARAÚJO, A.A.F.; VILLAS BOAS, J.M.; FARIA, C.A.S.; SILVA NETO, C.S.; WANDERLEY FILHO, J.R. **Projeto Gurupi:** relatório final. Belém: DNPM; CPRM, 1977. v. 1, 258 p.

COX, P. A. **The elements on earth.** Oxford: Oxford University Press, 1997. p. 105-280.

CPRM. **Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará.** Fortaleza: CD-ROM. 2003

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock Forming Minerals.** Longmans, London. 1966.

IBAMA, 2005. **Diagnóstico da Carcinicultura no Estado do Ceará.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0B19D3B1/DIAGDACARCINICULTURACEARA.pdf>>. Acesso em 20/10/2012.

DINERSTEIN, E.; OLSON, D.M.; GRAHAM, D.; WEBSTER, A.; PRIMM, S.; BOOKBINDER, M.; LEDEC, G. **A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean.** Washington: World Wildlife Foundation, p.321–334. 1995.

DIXON, J.B. **Kaolin and Serpentine group minerals**. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2nd ed. Madison: SSSA, 1989. p. 467-525.

DYER, K.D. **Estuaries: A Physical Introduction**. John Wiley and Sons Ltda., 2^a ed. 195 p. England. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro**, p.370 – 379 . 1978.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ANÁLISES QUÍMICAS PARA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO: Métodos Usados na Embrapa Solos**, 1998.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Liminologia**. 2.ed. - Rio de Janeiro: Interciência, 602p. 1998.

FARIA, M.M.; SANCHEZ, B.A. **Geochemistry and mineralogy of recent sediments of Guanabara Bay (NE sector) and its major rivers** – Rio de Janeiro State – Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v.73, p.121-133, 2001.

FARIAS, E.G.G. **Caracterização ambiental do estuário do rio Coreau - CE**. 2006. 49 p. Monografia de Graduação (Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará. 2006.

FERREIRA, R. J. S. **Determinação de metais traços em sedimentos de rios: caso da Bacia do baixo Itajaí-Açú**. Dissertação Mestrado. Florianópolis. - UFSC/FURB, 2001.

FERREIRA, T.O.; OTERO, X.L.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. **Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil**. Catena. Amsterdam, v. 70, p. 79-91, 2007a.

_____. **Effects of bioturbation by root and crab activity on iron and sulfur biogeochemistry in mangrove substrate**. Geoderma, Amsterdam, v.142, p. 36-46, 2007b.

_____. **Redox processes in mangrove soils under Rhizophora mangle in relation to different environmental conditions**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 71, p.484-491, 2007c.

FIGUEIREDO, M.C.B.; ARAÚJO, L.F.P.; GOMES, R.B.; ROSA, M.F.; PAULINO, W.D.; MORAIS, L.F.S. (2005). **Impactos Ambientais do Lançamento de Efluentes da Carcinicultura em Águas Interiores**. Engenharia Sanitária Ambiental, vol.11, Nº 3, p.231-240.

FREIRE, G. S. S. 1985. **Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 162p.

FREIRE, G.S. **Etude hydrologique et sedimentologique de L'estuaire du Rio Pacoti (Fortaleza-Ceará-Brésil)**.1989,223p.Tese(Doutorado)-Universite de Nantes, Nantes/ France, 1989.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - **Meteorologia e Oceanografia**: www.funceme.br/DEMETS, 2011.

GODOY, M.D.P. **Mudanças na sedimentação no estuário no Rio Jaguaribe (CE) devido a mudanças nos usos do solo**. Tese de Mestrado. Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará, UFC, Brasil, 2011.

GOMES, C.F. **Argilas: o que são e para que servem**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. 454 p.

HAMLEY, H. **Clay sedimentology**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 623 p.

HILLIER, S. **Erosion, sedimentation and sedimentary origin of clays**. In: VELDE, B. (Ed.) *Origin and mineralogy of clays: clays and de environment*. Berlin: Springer, 1995. cap.4, p.162-214.

HUEBERS, H. A. Iron. MERIAN, E. (Ed.). **Metals and their compunds in the environment - occurrence, analysis and biological relevance**. Weinheim: VCH, 1991. cap. II. 14, p. 745-955.

INESP – INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ – 2009 – **Caderno Regional para a Bacia do Coreauú**. Volume 1. Pacto das Águas – Compromisso Socioambiental Compartilhado. Assembléia Legislativa do Estado do Ceará – Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos (Orgs). Fortaleza – Ceará.127p.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEARÁ. **Mapa de solos do Estado do Ceará**. Fortaleza, 1992. 1 CD-ROOM.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Relatório de Desempenho de Gestão dos Municípios**. Ceará. 2007.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS H. **Trace elements in soils and plant**. London: CRC Press, 1992.

KROSCSWITZ, J. I. (Ed.). **Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. v. 14.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V.; VAISMAN, A.G.; AGUIAR, J. E. & DIAS, F. J. S. 2004 (a). **Contaminação por metais pesados nas bacias inferiores dos Rios Curimataú e Açú (RN) e Rio Jaguaribe (CE)**. Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal do Brasil (ISME/BR); Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC); Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC). Fortaleza, 63 p.

LACERDA, L.D.. **Biogeochemistry of heavy metals and diffuse pollution in mangrove ecosystems**. ISME, Okinawa, 65 p, 1998.

LACERDA, L.D. **Manguezais**: florestas de beira-mar. *Ciência Hoje*, v.3, n.13, p.63-70, jun/ago 1984.

LACERDA, L. D. **Os manguezais do Brasil**. In: VANNUCCI, M. Os manguezais e nós: uma síntese de percepções. São Paulo: Editora da USP, 1999. cap. 3 (Apêndices), p. 185-196.

LACERDA L.D.; MAIA, L.P.; MONTEIRO, L.H.U.; SOUZA, G.M., BEZERRA, L.J.C. & MENEZES, M.T. 2006. **Manguezais no nordeste e mudanças ambientais**. *Ciência Hoje* 39 (229):24-29.

LACERDA, L. D.; CONDE, J.E.; KJERFVE, B.; ALVAREZ-LEÓN, R.; ALARCÓN, C.; POLANÍA, J. **American mangroves**. In: LACERDA, L.D. *Mangrove ecosystems: functions and management*. Berlin: Springer Verlag, 2001. chap. 1, p. 1-62.

LACERDA, L.D.; SALOMONS, W. 1998. **Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb**. Springer Verlag, Berlin. 146pp.

LACERDA, L.D. & MARINS, R.V. (2002). **River damming and changes in mangrove distribution..** ISME/Glomis Electronic Journal 2(1):1-4. (<http://www.glomis.com/ej/pdf/ej03.pdf>).

LACERDA, L. D.; SANTOS, J. A.; MARINS, R. V.; MAIA, S. R. R. & VAISMAN, A. G.; 2004(b). **Impacto potencial da emissão antrópica de Cu e Zn sobre a carcinicultura na Bacia inferior do Rio Jaguaribe, CE**. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC)*, Recife, ano 6, n. 1, p. 82-86p.

LAMAS, F., IRIGARAY, C., OTEO, C., CHACON, J., 2005. **Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls**. *Engineering geology*, 81:32-41. ISSN 0013-7952.

LESTER, J.N., 1987. **Biological Treatment**. In: Lester, J.N. (Ed.), *Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Process*. CRC Press Inc., Boca Raton, USA, pp15-40.

LIRA, M. A. T.; SILVA, E. M.; ALVES, J. M. B. 2011. **Estimate of wind resources in the coast of Ceará using the linear regression theory**. *Rev. bras. meteorol.* vol.26 n°.3 São Paulo.

MACEDO, L.A.A. **Assimilação de esgotos em manguezais**. São Paulo, 1986. 111p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

MACIEL, N.C. **Alguns aspectos de ecologia do manguezal**. In: CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS, 3., Recife, 1991. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife: Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos, 1991. p.9-37.

MACHADO, I. C.; MAIO, F. D.; KIRA, C. S. & CARVALHO, M. F. H. 2002. **Estudo da ocorrência dos metais pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na ostra de mangue Crassostrea brasiliana do estuário de Cananéia-SP, Brasil**. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. 61(1), 13-18p.

MACNAE, W. **A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forest in the Indo West Pacific region**. *Advances in Marine Biology*, n.63, p.73 270, 1968.

MADDOCK, J. E.L.; REES, J.G. & BREWARD, N. 2003. **O estuário como “trap” de metais: balanço da Baía de Sepetiba (RJ)**. *Anais do IX Congresso de Geoquímica*, 467-472p.

MAIA, S.R.R; 2004. **Distribuição e partição geoquímica de metais traço na costa norte de Fortaleza, CE**. Tese de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 105p.

MARIUS, C.; LUCAS, J. **Holocene mangrove swamps of West Africa: sedimentology and soils**. *Journal of African Earth Science*, v.12, p.41-54, 1991.

MARIUS, C.; ARCHANJO, D.; LARQUE, P. **Les sols de mangroves de la baie de Vitoria (Brasil)**. *Cahiers ORSTOM. Serie Pedologie*, Bondy, v.23, p. 211-216, 1987.

MEIRELES, A.J.A. 2001. **Morfología litoral y sistema evolutivo de la costa de Ceará – Nordeste de Brasil**. Tese de Doutorado, Universidad de Barcelona, Espanha, 370p.

MEIRELES, A. J. A.; VICENTE DA SILVA, E. 2002. **Abordagem geomorfológica para a realização de estudos integrados para o planejamento e gestão em ambientes flúvio-marinhos**. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, Universidad de Barcelona, vol. VI, núm. 118, 15 de julho.

MELO, W.J. & MARQUES, M.O. **Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas.** In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. (eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000. p. 109-142.

MENEZES, L.F.T. **A riqueza ameaçada dos mangues.** Ciência Hoje, v.27, n.158, p.63-67, mar. 2000.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. **Princípios de oceanografia física de estuários.** São Paulo: Edusp. 417 p.

MMA. **Avaliação e Ações Prioritárias Para a Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF., 2002. CD-Rom.

Moore, J. W., and S. Ramamoorthy. 1984. **Organic Chemicals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment.** Springer-Verlag New York Inc. p 168-191.

MORAIS, J.O; MEIRELES, A.J.A. & FREIRE, G.S.S. **Processos hidrodinâmicos e material em suspensão no estuário do rio Pacoti - Fortaleza, Ceará.** 35^o Cong. Bras. Geologia, Pará, Belém. *Anais...*, 1988, V 2. p. 581 a 591.

MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S., PINHEIRO, L.S.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.S.; OLIVEIRA, S.H.M. Ceará. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 131-154.

MORAIS, J. O., IRION, G. F., PINHEIRO L. S. and KASBOHM. J., 2009. **Preliminary studies on Holocene sea level changes in Ceará coast, Brazil.** Journal of Coastal Research, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), 646 - 649. Lisbon, Portugal.

MOURA, I.B.M. **Geoquímica de sedimentos no ecossistema manguezal na região de Mataripe –Bahia.** Monografia. Curso de Geologia, Universidade Federal do Ceará-UFC, 2007.

NRIAGU, J.O. & PACYNA, J.P. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals.** Nature, 333:34-139, 1988.

PAULINO, W. D.; FUCK JÚNIOR, S. C. F. 2001. **Indicativo da precipitação histórica incidente sobre a bacia hidrográfica dos principais açudes do Estado do Ceará.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2001, Aracaju. Anais. Aracaju: ABRH.

- PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J.O.; PITOMBEIRA, E. S. **Caponga shoreline rehabilitation assesments. Journal of Coastal Research**, Tallahassee, v. 35, special issue, p. 536-542, 2003.
- PONNAMPERUMA, F.N. **The chemistry of submerged soils.** Advances. Agronomy, v.24, p.29-96, 1972.
- PRADA-GAMERO, R.M.; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, T.O. **Mineralogia e físico-química dos solos de Mangue do Rio Iri no Canal de Bertioga (Santos, SP).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 28, p. 233-244, 2004.
- PRAKASA, R.M.; SWAMY, A.S.R. **Clay mineral distribution in the mangrove of the Godavari delta.** Clay Research, v.6,n.2, p.81-86, 1987.
- REBELO, F.C.; MEDEIROS, T.C.C. **Cartilha do mangue.** Local: Universidade Federal do Maranhão: Laboratório de Hidrologia. 1988. 31p.
- REIMANN, C., Caritat, P.D., 1998. **Chemical Elements in the Environment.** Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Spinger, Berlin, Heidelberg.
- SALOMÃO, M. S. M. B.; MOLISANI, M. M.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E.; Lacerda, L. D.; Carvalho, C. E. V. 2001. **Particulate heavy metal transport in the lower Paraíba do Sul River basin, southeastern, Brazil.** Hydrology Proceedings, 15: 587-593.
- SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. **Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments.** Risk Assesment of Delayed and Non-Linear Responses. Heidelberg: Springer-Verlag, 1995, 352p.
- SALOMONS, W.; FORSTNER, U. (1984). **Metals in the Hydrocycle,** Ed. Springer-Verlag, Berlin.
- SAMANIDOU, V. FYTIANOS, K. **Mobilisation of heavy metals from river sediments of Northern Greece by complexing agents. Water, Air and Soil Pollution.** 52: 217-225, 1990.
- SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas.** v. 1. ed. Edgard. Blücher Ltd., 1989.
- SCHAEFFER-NOVELLI Y. 1989. **Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal.** Pub. Esp. do Instituto Oceanográfico, 7: 1-16.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezais Brasileiros**. São Paulo, 1991. 42p. Tese (Livro-Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha**. São Paulo: USP/IO, 1999. 56p.

SEMACE. **Áreas de Mangue Crescem 32% no Estado**. Jornal da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará, Ano I (3), p. 4-5, 2004.

SHARMA, V. K.; RHUDY K. B.; CARGILL, J. C.; TACKER, M. E.; VAZQUEZ, F. G. **Cases and solutions: metals and grain size distribution in soil of the middle Rio Grande basin, Texas, USA**. Environ. Geology, v. 39, n. 6, p. 698-704, 2000.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. DE O.; CARETT, C.A. (2000). **Composição da fase sólida orgânica do solo** – Fundamentos de Química do Solo – Cap 03 p. 45-62.

SNEDAKER, S.C. **Ecological studies on a subtropical terrestrial biome**. A preliminary literature review on mangroves, soils, phytogeography, reproduction and fauna. Gainesville, Florida, University of Florida, 1973. /Report 061/

SOARES FILHO, A. A.; ALCANTARA FILHO, P. **Características hidrológicas das águas estuarinas entre a região média e boca do Rio Jaguaribe (Ceará-Brasil)**. Revista de Ciência e Tecnologia da UECE, Fortaleza, v. 4, p. 43-50, 2002.

SOUZA JÚNIOR, V.S.; VIDAL-TORRADO, P.; GARCIA-GONZALÉZ, M.T.; OTERO, X.L.; MACÍAS, F. **Soil Mineralogy of Mangrove Forests from the State of São Paulo, Southeastern Brazil**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 72, p. 848-857, 2008.

SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – 1992 – **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Estudos de Base II. Fortaleza – CE. SRH. p. 871 – 1114.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1222p.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

TEIXEIRA, Wilson et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

TORRES, R.F. 2009 .Dissertação de Mestrado. Título: **Disponibilidade dos metais cobre e chumbo em um canal de maré receptor de efluentes de carcinicultura**. Instituto de Ciências do Mar-Universidade Federal do Ceará. 134p.

VAN BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil formation**. Amsterdam: Kluwer Academic, 2002. 376 p.

VICENTE DA SILVA, E. **Modelo de aproveitamiento y preservación de los manglares de Marisco y Barro Preto – Aquiráz – Ceará – Brasil**. Zaragoza, 1987 (Dissertação de Mestrado).

VILHENA, M.P.S.P.; COSTA, M.L.; BERRÊDO, J.F. **Continental and marine contributions to formation of mangrove sediments in an Eastern Amazonian mudplain: The case of Marapanin Estuary**. Journal of South American Earth Sciences, Oxford, v. 79, p. 427-438, 2010.

WARMAN, P R.; COOPER, J. M. **Fertilization of a mixed forage crop with fresh and composted chicken manure and NPK fertilizer: effects on soil and tissue Ca,Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn**. Can. J. Soil Sci., v. 80, p. 345-352, 2000.

WEAVER, C.E. **Clays, muds and shales: developments in sedimentology**. Amsterdam: Elsevier, 1989. 819p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The impact of cemeteries on the environment and public health**. An introductory briefing. Copenhagen, Denmark, WHO Regional Office for Europe. 11p (Recept. EUR/ICP/EHNA 010401(A)), 1995.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Copper**. Geneva. 1998.

ANEXO A – Granulometria do testemunho T 01.

PROFUNDIDADE	CASCALHO	AREIA	LAMA
0-5 cm	1,16	70,62	28,22
5-10 cm	1,1	71	27,9
10-15 cm	1,1	65,5	33,4
15-20cm	1	44,45	54,55
20-25cm	0,7	5,55	93,75
25-30cm	0,15	7,86	91,99
30-35cm	0,01	17,42	82,57
35-40cm	1,1	25,27	73,63
40-45cm	0,4	15,6	84
45-50cm	0,5	24,14	75,36
50-55cm	1,44	48,78	49,78
55-60cm	1,5	63,15	35,35
60-65cm	2,6	73,3	24,1
65-70cm	1,3	74,4	24,3
70-75cm	1,3	80,4	18,3
75-80cm	1,2	77,7	21,1
80-85cm	1,4	76,3	22,3
85-90cm	2,1	81,2	16,7
90-95cm	2,1	77,3	20,6
95-100cm	2,8	68,35	28,85
100-105cm	2	74,65	23,35
105-110cm	1,4	54,38	44,22
110-115cm	1,6	47,65	50,75
115-120cm	1,2	46	52,8
120-125cm	10,57	40,95	48,48
125-130cm	1,5	45,46	53,04
130-135cm	1	46,56	52,44
135-140cm	0,75	50,61	48,64
140-145cm	1,6	48,55	49,85
145-150	1,4	49,1	49,5
150-155cm	1,7	48,3	50
155-160cm	1,6	48,14	50,26
160-165cm	4,2	49,9	45,9
165-170cm	3,5	50,85	45,65
170-175cm	2	51,65	46,35
175-180cm	2,9	50,3	46,8
180-185cm	3	51,38	45,62
185-190cm	2,7	51,5	45,8
190-195cm	2,7	53,11	44,19
195-200cm	16,1	43,1	40,8
200-205cm	15,4	43,2	41,4
205-210cm	36,2	33,8	30

210-215cm	50,6	21,1	28,3
215-220cm	65,2	15,9	18,9
220-225cm	79,98	10	10,02
225-230cm	73,58	11,7	14,72
230-235cm	62,68	15,96	21,36
235-240cm	38,3	26,86	34,84

ANEXO B – Granulometria do testemunho T 02.

Profundidade	CASCALHO	AREIA	LAMA
0-5cm	1,15	35,8	63,05
5-10cm	0,5	35,5	64
10-15cm	1,2	20,3	78,5
15-20cm	17,9	3,9	78,2
20-25cm	0	1,16	98,84
25-30cm	0	1,5	98,5
30-35cm	0	2,3	97,7
35-40cm	0	1,2	98,8
40-45cm	0	1,5	98,5
45-50cm	0	2,3	97,7
50-55cm	0	1,2	98,8
55-60cm	0	1,5	98,5
60-65cm	0	2,4	97,6
65-70cm	0	1,2	98,8
70-75cm	0	1,5	98,5
75-80cm	0	2,4	97,6
80-85cm	0	1,15	98,85
85-90cm	0	1,5	98,5
90-95cm	0	2,4	97,6
95-100cm	0	1,18	98,82
100-105cm	0	1,5	98,5
105-110cm	0	2,3	97,7
110-115cm	0	1,15	98,85
115-120cm	0	1,5	98,5
120-125cm	0,4	4,5	95,1
125-130cm	0,16	3,76	96,08
130-135cm	0,3	11,7	88
135-140cm	0	3	97
140-145cm	9	3,5	87,5
145-150	0,4	8	91,6
150-155cm	1	44,8	54,2
155-160cm	5,8	50,7	43,5
160-165cm	3,8	13	83,2
165-170cm	2	6,1	91,9
170-175cm	12,4	13,8	73,8
175-180cm	12,8	10,7	76,5
180-185cm	9,7	11	79,3
185-190cm	1,4	9,7	88,9
190-195cm	1,4	29,1	69,5
195-200cm	0,9	20,8	78,3

200-205cm	3,7	20,3	76
205-210cm	2	26	72
210-215cm	0,3	3,1	96,6
215-220cm	1,4	5,8	92,8
220-225cm	3,6	26,7	69,7
225-230cm	2,5	30,1	67,4
230-235cm	9,8	30,7	59,5
235-240cm	5	50	45
240-245cm	5	50	45
245-250cm	0,5	20	79,5
250-260cm	2,9	42,5	54,6
260-265cm	9,7	52,1	38,2
265-270cm	18,2	31,8	50
270-275cm	2,8	50,8	46,4
275-280cm	0,3	28,2	71,5
280-285cm	8,5	46,2	45,3
285-290cm	10,9	46	43,1
290-295cm	3,8	21,2	75
295-300cm	18	37,5	44,5
300-305cm	23	47,5	29,5
305-310cm	15,3	46,5	38,2
310-315cm	21	44	35