



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

BRÍGIDA MIOLA

**PROVENIÊNCIA DE SEDIMENTOS PARA OS ECOSISTEMAS
ESTUARINOS DO LITORAL OESTE DO CEARÁ.**

FORTALEZA

2017

BRÍGIDA MIOLA

**PROVENIÊNCIA DE SEDIMENTOS PARA OS AMBIENTES ESTUARINOS
DO LITORAL OESTE DO CEARÁ.**

Tese de doutorado submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Jáder Onofre de Morais

Co-orientador: Prof. Dr. Georg Friedrich Irion

Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M63 Miola, Brígida.
PROVENIÊNCIA DE SEDIMENTOS PARA OS ECOSISTEMAS ESTUARINOS DO
LITORAL OESTE DO CEARÁ / Brígida Miola. – 2017.
166 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes.
Coorientação: Prof. Dr. Georg Friedrich Irion.

1. Sedimentologia. 2. Argilominerais. 3. Estuários. 4. Litoral oeste do Ceará.. I. Título.

CDD 551.46

BRÍGIDA MIOLA

**PROVENIÊNCIA DE SEDIMENTOS PARA OS AMBIENTES ESTUARINOS
DO LITORAL OESTE DO CEARÁ.**

Tese de doutorado submetida à
Coordenação do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Marinhas
Tropicais do Instituto de Ciências do
Mar, da Universidade Federal do Ceará
como parte dos requisitos exigidos
para obtenção do título de Doutor.

Aprovada em: 14/06/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes (orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Georg Friedrich Irion (co-orientador)
Instituto Senckenberg

Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Maria Ozilea Bezerra de Menezes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS)

Prof. Dr. Paulo Roberto da Silva Pessoa
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e saúde dadas para que pudesse enfrentar essa etapa com perseverança e coragem e por não me deixar fraquejar nos momentos de angústia.

À minha família por estar comigo em todos os momentos e por eles fornecerem as ferramentas necessárias possibilitando que eu chegasse até aqui. Por toda compreensão nos momentos que fiquei distante, por todo amor e incentivos que sem dúvida foram fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador professor Dr. Jáder Onofre de Moraes pela confiança no meu trabalho e por me dar apoio sempre que preciso.

Ao professor e amigo Dr. Georg Irion, por me receber em sua casa e por todo cuidado que teve comigo durante meu estágio na Alemanha. Por todo conhecimento que ele, com paciência me passa até hoje, pelos aprendizados em campo e por todo carinho e atenção.

À professora Lidriana de Souza Pinheiro pelo apoio e confiança dados a mim desde o primeiro dia que a conheci, agradeço ainda pela amizade e por sempre me receber de braços abertos e com as palavras mais confortantes nos piores momentos durante meu doutorado.

À minha amiga Firederike (Rike) que, sempre muito carinhosa me acolheu em sua casa e em sua vida com amizade e companheirismo.

Agradeço a todos os alunos e amigos que fazem parte do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica, em especial prof. Paulo Pessoa pela amizade e confiança e aos amigos Eduardo Lacerda (Dudu), Renan Guerra e Tião pelo apoio.

Agradeço também aos amigos Elana, Renan Lima e Ana Flávia, que dividem comigo momentos alegres e de muito trabalho.

Aos professores e funcionários que fazem parte do Instituto de Ciências do Mar, em especial Isabela por toda atenção dada aos alunos da pós-graduação.

Ao projeto Ciências do Mar, na pessoa do prof. Jáder Onofre de Moraes pela infraestrutura e apoio logístico.

A FUNCAP pelo fomento a bolsa de doutorado.

RESUMO

Os estuários são ecossistemas que apresentam suas formações relacionadas com as flutuações relativas do nível do mar Quaternário, sendo os registros sedimentares que ocorrem nesses ambientes de relevância tanto para estudos relacionados ao nível do mar atual como no sentido da própria subida de nível médio do mar. Os sedimentos finos de diferente origem podem ser distinguidos pelas suas associações de argilominerais, que funcionam como uma espécie de impressão digital que permite traçar sua via de transporte inclusive em longas distâncias. Baseado em análises granulométricas, mineralógicas e geoquímicas, o presente estudo visa evidenciar as fontes de sedimentos e o preenchimento dos estuários dos rios Acaraú e Coreaú, além de correlacionar os argilominerais e carreadores geoquímicos como *proxy* de identificação de poluentes para o ambiente estuarino. Em ambos os estuários estudados, a assembleia mineralógica de argilominerais é composta predominantemente por caulinita, illita e esmectita. São encontrados também minerais acessórios como: quartzo, rutilo, pirita, lepidocrocita e calcita. As amostras superficiais e testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Acaraú mostram que o estuário é preenchido predominantemente por sedimentos marinhos. No estuário do rio Coreaú observa-se a influência de sedimentos marinhos em distâncias muito grandes da foz do rio. Em ambos os estuários, o grande aporte de sedimentos marinhos ocorre devido a falta de entrada de sedimentos fluviais por causa das características climáticas na região, além da influência das atividades antrópicas como a construção de barragens. Com relação à distribuição dos principais carreadores geoquímicos de poluentes no estuário do Acaraú, observou-se uma distribuição correlacionada com o uso e ocupação do solo no estuário. Com os resultados aqui obtidos, conclui-se que o clima constitui uma das mais importantes variáveis controladoras das fontes de sedimentos e para os estuários no litoral oeste do estado do Ceará.

Palavras-chave: Sedimentologia, argilominerais, estuários, litoral oeste do Ceará.

ABSTRACT

Estuaries are ecosystems that present their formation related to the relative fluctuations of the quaternary sea level, being the sedimentary records that occur in these environments of relevance for studies related to current sea level and towards the mean sea level rise itself. The fine sediments of different origin can be distinguished by their associations of clay minerals, as they can serve as tracers for sediment pathways, even over long distances. Based on granulometric, mineralogical and geochemical analysis, the present study aims at evidencing sediment sources and filling the estuaries of the Acaraú and Coreaú rivers, in addition, correlating the clay minerals and geochemical carriers as a proxy for pollutants identification for the estuarine environment. In both estuaries, the clay mineralogical assembly is composed predominantly of kaolinite, illite and smectite. There are also minerals accessories such as: quartz, rutile, pyrite, lepidocrocite and calcite. Surface samples and sediment cores collected in the Acaraú estuary show that the estuary is predominantly filled by marine sediments. In the Coreaú estuary the influence of marine sediments is observed in very great distances of the mouth of the river. In both estuaries, the great contribution of marine sediments occurs due to the lack of entrance of fluvial sediments because the climatic characteristics in the region, besides the influence of the anthropic activities like the dams. Regarding the distribution of the main geochemical pollutants carriers in the Acaraú estuary, a distribution was correlated with the use and occupation of the soil in the estuary. With the results obtained, it is concluded that the climate is one of the most important controlling variables of the sediment sources for the estuaries in the west coast of the Ceará state.

Keywords: Sedimentology, clay minerals, estuaries, west coast of Ceará.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização dos estuários Acaraú e Coreaú, litoral oeste do Ceará.	17
Figura 2. Representação esquemática das definições de estuário de acordo com Pritchard (1967).	18
Figura 3. Definições de estuário proposta por Dalrymple (1992).	19
Figura 4. Classificação dos estuários baseada em parâmetros morfológicos, sedimentológicos e oceanográficos (Reinson, 1992).	21
Figura 5. Gráfico altura vs idade de algumas curvas de variação do nível do mar no litoral do Nordeste brasileiro: (A) a curva de Salvador (Martin et al., 2003), (B) a curva envelope do Rio Grande do Norte (Bezerra et al., 2003), (C) com a curva do norte do Rio Grande do Norte (Caldas et al., 2006) e (D) curva de Pernambuco-Paraíba (Suguio et al., 2013).	24
Figura 6. Gráfico de altura dos indicadores do NRM em relação ao atual nível do mar vs idade dos indicadores do litoral oeste do Ceará (Vasconcelos 2014) (A), curva de Salvador (Martin et al., 2003), (B) a curva envelope do Rio Grande do Norte (Bezerra et al., 2003), (C) a curva do norte do Rio Grande do Norte (Caldas et al., 2006) e (D) curva de Pernambuco-Paraíba (Suguio et al., 2013).	25
Figura 7. Comportamento do lençol freático em áreas de climas mais úmida e de climas mais seco.	30
Figura 8. Mapa da Bacia Hidrográfica do Acaraú, CE.	34
Figura 9. Mapa litológico da Bacia do Acaraú, CE.	36
Figura 10. Depósitos paludiais na foz do rio Acaraú.	38
Figura 11. Escarpa de falésia fluvial que margeia a planície estuarina do rio Acaraú.	41
Figura 12. Mapa da Bacia Hidrográfica do Coreaú, CE.	42
Figura 13. Mapa Litológico da Bacia do Coreaú, CE.	44
Figura 14. Campo de dunas na margem direita a foz do rio Coreaú.	46
Figura 15. Afloração de <i>beach-rocks</i> na costa de praia a margem direita da foz do rio Coreaú.	46
Figura 16. Esquema de coleta dos testemunhos sedimentares.	50
Figura 17. Esquema de coleta com testemunhador do tipo piston core	50

Figura 18. Mapa de localização das amostras coletadas no estuário do Acaraú, CE.	52
Figura 19. Mapa de localização das amostras coletadas no estuário do Coreaú, CE.	53
Figura 20. (A) Centrifuga Metafuge; (B) Difratômetro Philips PW 1729; (C) e (D) Análise dos argilominerais difratometro.	54
Figura 21. Análise granulométrica pela técnica de <i>settling tubes</i>	56
Figura 22. Esquema de ensaio para a obtenção dos teores de CaCO ₃ em sedimentos.	58
Figura 23. Processo de obtenção do teor de matéria orgânica.	59
Figura 24. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) das amostras de sedimento superficial no estuário do rio Acaraú.	64
Figura 25. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho CORE 1 do topo a base, coletado estuário do rio Acaraú, CE.	69
Figura 26. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho CORE 2 do topo a base, coletado estuário do rio Acaraú, CE.	71
Figura 27. Mapa de localização dos testemunhos sedimentares no estuário Coreaú, CE.	74
Figura 28. Distribuição da frequência do tamanho da partícula entre 705 e 780 cm de profundidade, no testemunho T02.	75
Figura 29. Distribuição da frequência do tamanho da partícula para 30, 60, 90, 110 e 150 cm de profundidade, respectivamente no testemunho T03.	77
Figura 30. Distribuição da frequência do tamanho da partícula 450 cm de profundidade, no testemunho T03.	78
Figura 31. Foto do testemunho T03 entre 655 e 700 cm de profundidade.	79
Figura 32. Distribuição da frequência do tamanho da partícula 700 cm de profundidade, no testemunho T03.	79
Figura 33. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho T04, coletado no estuário do rio Coreaú.	81
Figura 34. Foto da área de coleta do testemunho T05.	82
Figura 35. Distribuição da frequência do tamanho da partícula em 25 cm de profundidade, no testemunho T05.	83
Figura 36. Distribuição da frequência do tamanho da partícula 400 cm de profundidade, no testemunho T05.	84

Figura 37. Distribuição da frequência do tamanho da partícula para 10, 15, 20 e 35 cm de profundidade, respectivamente, no testemunho T06.....	85
Figura 38. Distribuição da frequência do tamanho da partícula para 150, 250, 350, 450, 550 e 600 cm de profundidade, respectivamente no testemunho T06.	86
Figura 39. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho sedimentar T08, coletado no estuário do rio Coreau.	88
Figura 40. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho sedimentar T09, coletado no estuário do rio Coreau.	90
Figura 41. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho sedimentar T10.....	92
Figura 42. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho sedimentar T11, coletado no estuário do rio Coreau.	95
Figura 43. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho T12, coletado no estuário do rio Coreau.....	97
Figura 44. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho T13, coletado no estuário do rio Coreau.....	99
Figura 45. Descrição litológica e drx da fração argila dos testemunhos sedimentar CORE 1.	102
Figura 46. Descrição litológica e drx da fração argila do testemunho sedimentar CORE 2.....	103
Figura 47. XRD das frações finas (<2 µm) de sedimentos de superfície próximo a cidade de Bela Cruz e vila de Barreira cerca de 20 km de Acaraú.	104
Figura 48. DRX das amostras superficiais do estuário Acaraú tratadas com Mg e K.....	106
Figura 49. Localização dos testemunhos sedimentares e perfis no estuário do rio Coreau.....	110
Figura 50. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 1	112
Figura 51. Área de apicum no estuário do rio Coreau.	113
Figura 52. Ponto de coleta do testemunho T06, caracterizando as espécies típicas de manguezal.	115
Figura 53. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 2.	117

Figura 54. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 3.	119
Figura 55. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 4.	121
Figura 56. Exemplos DRX da proveniência de sedimentos para o estuário do rio Coreaú.....	122
Figura 57. Preenchimento do estuário do rio Coreaú.	124
Figura 58. (A) Diagramas de difração de raios X de frações finas (<2 µm) do estuário do Coreaú. (B) Diagramas de difração de raios X de frações argilosas estuário do Jaguaribe, costa leste do Ceará- (Irion et al., 2014 in prep.) (C) Diagramas de difração de raios X de frações argilosas do estuário do Acaraú.	126
Figura 59. Atividades antrópicas exercidas ao longo do estuário do rio Acaraú.	132
Figura 60. Atividades antrópicas exercidas ao longo do estuário do rio Acaraú.	133
Figura 61. Mapa de distribuição dos teores de M.O. nos sedimentos do estuário do Acaraú.	136
Figura 62. Mapa de distribuição dos teores de Carbonato de Cálcio nos sedimentos superficiais do estuário do Acaraú.	139
Figura 63. Mapa de distribuição dos teores de caulinita nos sedimentos superficiais do estuário Acaraú.	142
Figura 64. Mapa de distribuição dos teores de esmectita nos sedimentos superficiais do estuário Acaraú.	144
Figura 65. Mapa de distribuição dos teores de illita nos sedimentos superficiais do estuário do Acaraú.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informação da área e escoamento médio anual das bacias contribuintes nos processos costeiros do Estado do Ceará.....	32
Tabela 2. Erro médio entre o valor predito e o valor real.	61
Tabela 3. Parâmetros estatísticos dos argilominerais nos sedimentos superficiais do estuário do rio Acaraú.	62
Tabela 4. Distribuição dos teores de argilominerais em sedimentos superficiais do Estuário do rio Acaraú, CE.	63
Tabela 5. Granulometria dos sedimentos superficiais no estuário do rio Acaraú, CE.	65
Tabela 6. Testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Acaraú....	66
Tabela 7. Distribuição dos argilominerais e granulometria nas profundidades do testemunho CORE1, no estuário do rio Acaraú.	67
Tabela 8. Granulometria do testemunho CORE 1, estuário do rio Acaraú, CE.	68
Tabela 9. Distribuição dos argilominerais para o testemunho CORE 2 no estuário do rio Acaraú, CE.	70
Tabela 10. Distribuição granulométrica do testemunho CORE 2.....	72
Tabela 11. Testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Coreau .	73
Tabela 12. Descrição textural do testemunho T03, coletado no estuário do rio Coreau.	76
Tabela 13. Distribuição de argilominerais no testemunho T04, no estuário do rio Coreau.	80
Tabela 14. Distribuição granulométrica no testemunho T04, no estuário do rio Coreau.	81
Tabela 15. Descrição textural do testemunho T05.....	83
Tabela 16. Descrição textural do testemunho T06, coletado no estuário do rio Coreau.	84
Tabela 17. Distribuição de argilominerais no testemunho T08, no estuário do rio Coreau	87
Tabela 18. Distribuição granulométrica no testemunho T08, no estuário do rio Coreau.	89

Tabela 19. Distribuição granulométrica no testemunho T08, no estuário do rio Coreáú.	89
Tabela 20. Distribuição de argilominerais no testemunho T10, no estuário do rio Coreáú.....	91
Tabela 21. Distribuição granulométrica no testemunho T10, no estuário do rio Coreáú.	93
Tabela 22. Distribuição granulométrica no testemunho T11, no estuário do rio Coreáú.	94
Tabela 23. Distribuição de argilominerais no testemunho T12, no estuário do rio Coreáú.....	96
Tabela 24. Distribuição de argilominerais no testemunho T12, no estuário do rio Coreáú.....	98
Tabela 25. Distribuição de argilominerais no testemunho T13, no estuário do rio Coreáú.....	98
Tabela 26. Distribuição granulométrica dos sedimentos do testemunho sedimentar T13, no estuário do rio Coreáú.	99
Tabela 27. Capacidade de Troca Catiônica das argilas.....	141

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.1 Introdução.....	14
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Hipótese da Tese.....	15
1.4 Delimitação da área de estudo	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Ecossistemas estuarinos	18
2.1.1 Proveniências de sedimentos para estuários no Ceará	21
2.2 Variações do Nível Relativo do Mar na costa brasileira.....	22
2.3 Argilominerais em ambientes estuarinos	26
2.4 Argilominerais como carreadores de poluentes para ambientes costeiros	27
2.5 Dinâmica fluvial dos rios semiáridos.....	29
3. ÁREA DE ESTUDO	31
3.1 Bacia hidrográfica do Acaraú.....	32
3.1.1 Estuário do rio Acaraú.....	37
3.2 Bacia Hidrográfica do Coreaú.....	41
3.2.1 Estuário do rio Coreaú	45
4. MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1 Coleta das amostras.....	49
4.2 Difractometria de raios-x.....	54
4.3 Granulometria	55
4.3.1 Settling Tubes	55
4.3.2 Analisador de partículas a laser	56
4.4 Quantificação dos teores Carbonato de Cálcio.....	57

4.5	Quantificação do Teor de Matéria Orgânica	58
4.6	Mapas de distribuição dos carreadores geoquímicos	60
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1	Caracterização e distribuição mineralógica e granulométrica nos sedimentos dos estuários Acaraú e Coreaú, CE.	61
5.1.1	Distribuição granulométrica e mineralógica nos sedimentos do estuário do Acaraú	62
5.1.2	Distribuição granulométrica e mineralógica nos sedimentos do estuário do Coreaú.....	72
5.2	Proveniência de sedimentos para os estuários do Acaraú e Coreaú, CE.	101
5.2.1	Proveniência de sedimentos para o estuário do Acaraú	101
5.2.2	Proveniência de sedimentos para o estuário do rio Coreaú.....	108
5.3	Carreadores geoquímicos de poluentes para os ambientes estuarinos	128
6.	CONCLUSÕES	148
	REFERÊNCIAS.....	151

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

Os estuários, ao se estabelecerem na interface do ambiente marinho-continental, apresentam suas formações relacionadas com as flutuações relativas do nível do mar quaternário. Devido a elevadas taxas de sedimentação, observadas durante a mais recente subida pós-glacial do nível do mar, os registos sedimentares em ambientes estuarinos oferecem ótimas condições para o estudo da transgressão marinha tanto a respeito dos processos sedimentares dos estuários, como no sentido da própria subida de nível médio do mar (BOSKI et al., 2011).

Grande parte do conhecimento acerca da evolução costeira durante o Holoceno tem como base a datação de indicadores do nível relativo do mar. A datação destes indicadores fornece informações importantes acerca da deposição e evolução dos depósitos costeiros. Porém, o estudo da distribuição de partículas, além dos minerais constituintes da assembleia mineralógica dos ambientes estuarinos podem auxiliar na compreensão dos processos de sedimentação dessas partículas dentro dos estuários, cujo entendimento inter-relacionado, serve como indicadores em estudos da variação do nível relativo do mar.

As últimas décadas testemunharam um acréscimo significativo dos estudos da variação do nível relativo do mar no litoral brasileiro, bem como da sua evolução durante o Holoceno. Apesar do progresso em estudos recentes sobre variações do nível do mar durante o Holoceno na costa brasileira, os dados disponíveis na literatura sobre o litoral do Ceará são ainda escassas e confusas (MEIRELES et al., 1997, MEIRELES et al., 2005; IRION et al., 2012; VASCONCELOS, 2014; IRION et al., 2014 *in prep.*; RODRIGUES, 2014).

As oscilações no nível relativo médio do mar (nrmm) têm desempenhado importante papel na evolução das áreas costeiras. Em nível global, o período

Quaternário tem sido caracterizado pela existência de várias oscilações no nrm, as quais têm deixado testemunhos em várias regiões.

1.2 Objetivos

O estudo tem como objetivo geral, investigar a história sedimentar de dois estuários no litoral oeste do estado do Ceará, e proveniência de sedimentos para esses estuários. Além disso, com os resultados de caracterização mineral, verificar o uso dos argilominerais como *proxy* de poluentes para os estuários. Para isso serão realizados os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar e semi-quantificar a distribuição de argilominerais em sedimentos recentes e de fundo dos estuários do rio Acaraú e Coreaú;
- Detalhar o preenchimento sedimentar nos estuários do rio Acaraú e Coreaú;
- Utilizar os argilominerais como *proxy* para identificar as principais áreas passíveis ao acúmulo de poluentes nos estuários Acaraú.

1.3 Hipótese da Tese

Além das rochas de praia (*beach-rocks*), às altitudes em que ocorrem sedimentos ecossistemas estuarinos podem ser mais uma ferramenta para determinar paleo-níveis do mar. Contudo, em estuários já estudados, como o do rio Jaguaribe, no litoral leste de Ceará, não são observados mangues ou sedimentos antigos que se posicionam acima da maré alta. Entretanto, no estuário do rio Coreaú existem planícies nos estuários sem coberturas de mangue. Estas planícies estão à cerca do nível da maré cheia e a falta das plantas do mangue pode explicar a concentração alta do sal que deve ser os resultados da evaporação neste nível.

Os sedimentos dentro de um estuário são uma mistura de origem fluvial e marinha. Estas duas fontes de sedimentos são susceptíveis de alternar durante épocas de mudança do nível do mar, bem como da falta de proveniência

continental para esses ambientes. O estuário estudados, encontram-se em uma região semi-árida do Brasil e as características dessas regiões, além das variações de nível do mar, podem influenciar no suprimento de sedimentos para os estuários.

Esta tese tem como hipótese como ocorre a distribuição de sedimentos dentro dos estuários no litoral oeste do Ceará (estuários Acaraú e Coreaú), se esses ambientes tem principalmente fonte marinha ou continental de sedimentos, e qual a relação dessa proveniência com prováveis variações de nível do mar mais alto durante o Holoceno tardio, de acordo com a literatura, bem como com as influências geradas pelas características climáticas do semi-árido do NE ou ações antrópicas desenvolvidas nos ambientes estuarinos.

1.4 Delimitação da área de estudo

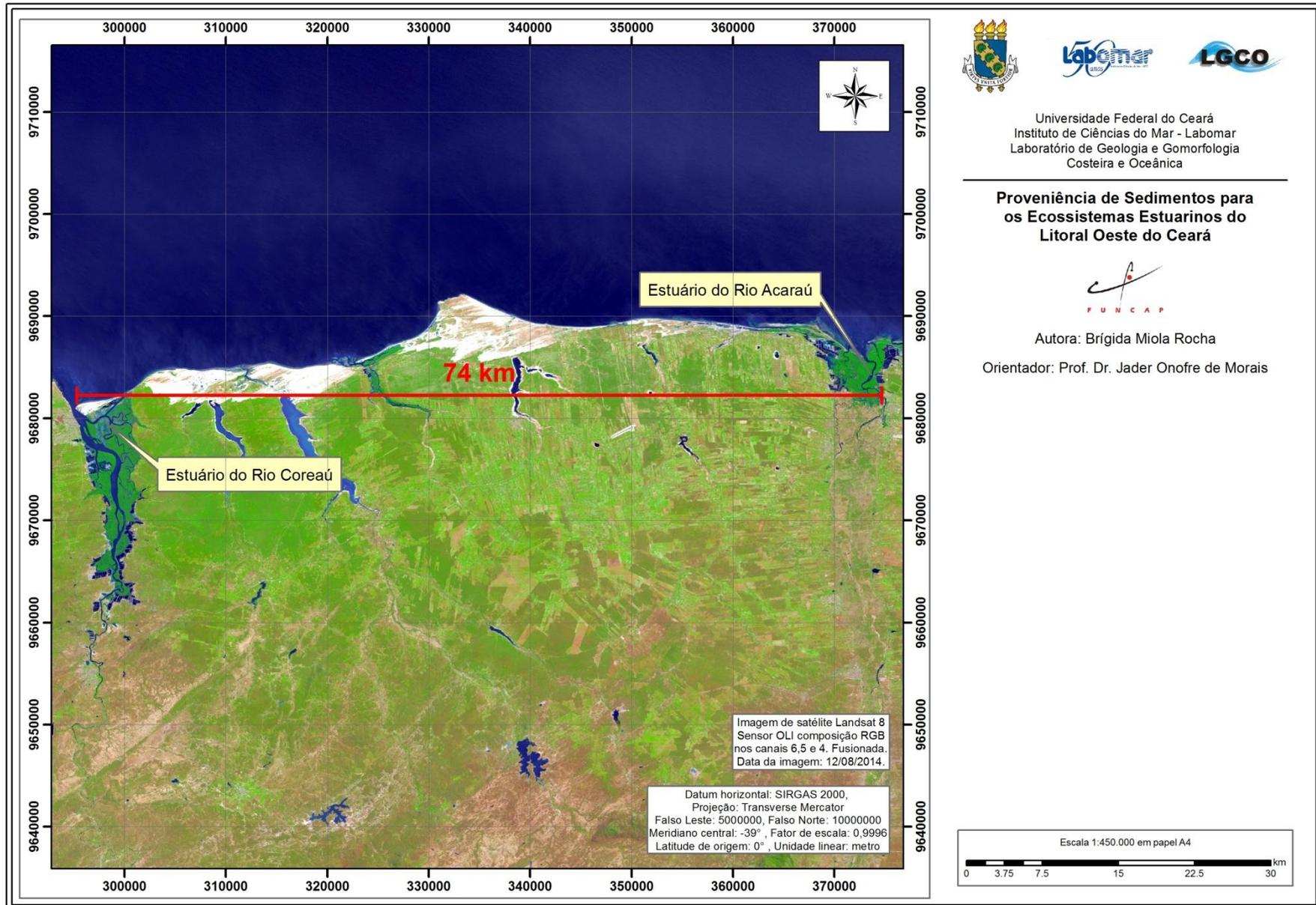
A área de estudo em questão abrange os estuários dos rios Acaraú e Coreaú, localizados no litoral oeste do Ceará (Figura 1). A foz do rio Acaraú está localizada na região centro norte do município de Acaraú no estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude $2^{\circ}50'35''S$ e longitude $40^{\circ}08'31''W$. Sua região estuarina se estende desde o município de Acaraú e parte do município de Cruz (oeste), correspondendo uma área de 80 km². A bacia hidrográfica do rio Acaraú constitui-se em uma das principais bacias hidrográficas existentes no território cearense, sobretudo, por ser importante fonte de recursos hídricos no contexto do semiárido cearense.

Distante cerca de 74 km do estuário do Acaraú, a foz do rio Coreaú está localizada no município de Camocim no estado do Ceará, cortando-o na sua parte central, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude $2^{\circ}53'04''S$ e longitude $40^{\circ}49'05''W$ Gr. A região estuarina abriga os municípios de Camocim e Granja.

Ambos os rios, Acaraú e Coreaú estão sujeito as variações pluviométricas porque estão inseridos no semiárido brasileiro, marcado por

período chuvoso que se estende de janeiro a maio, e por período de escassez de chuvas que se estende de junho a dezembro.

Figura 1. Mapa de localização dos estuários Acaraú e Coreaú, litoral oeste do Ceará.



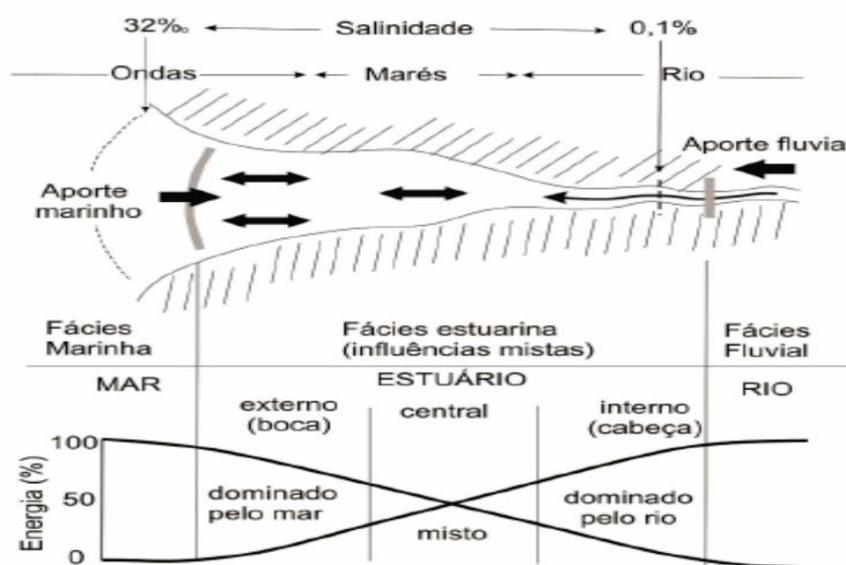
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ecossistemas estuarinos

Os estuários são considerados como corpos d'água costeiros, semiconfinados, onde ocorre a mistura de água doce, vinda do continente, com a água salgada do oceano (Figura 2) (PRITCHARD, 1955; CAMERON & PRITCHARD, 1967).

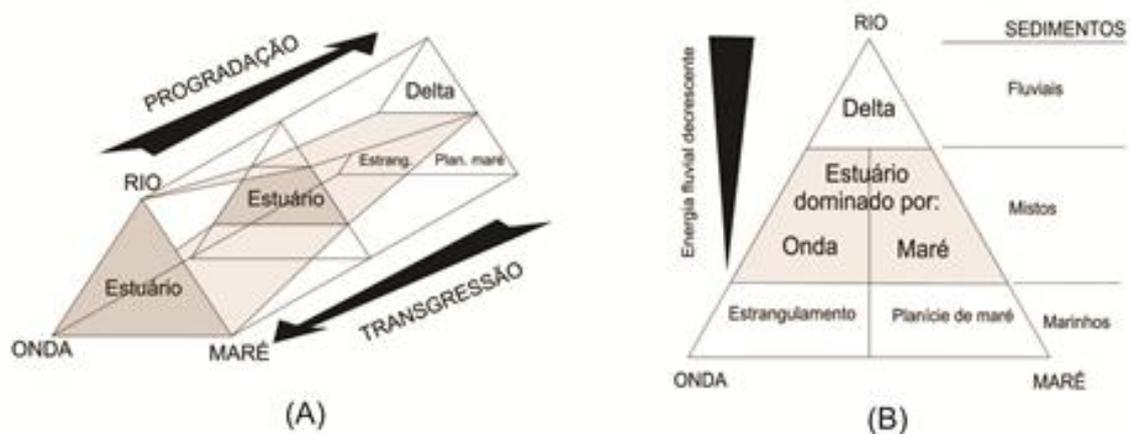
Porém, esta definição abrange apenas a região de influência do mar ou zona de mistura, outras definições surgiram, destacando a presença de três zonas ao longo do estuário: estuário inferior ou marinho, estuário médio ou de mistura, estuário superior ou fluvial (DIONNE, 1963), mostrando a influência da intrusão da salinidade e a da maré no rio. Outras definições passaram a incorporar a gênese geológica e os processos regionais que contribuem para a formação de ambiente estuarino, intrinsicamente ligado as características geomorfológicas e fisiográficas encontradas na natureza (MIRANDA, 2002).

Figura 2. Representação esquemática das definições de estuário de acordo com Pritchard (1967).



Algumas definições de estuário, não levam em conta eventos como o fechamento periódico da foz do estuário e condições hipersalinas durante períodos de seca, típico de ambientes tropicais sob clima semiárido, por exemplo, (POTTER et al., 2010, PINHEIRO e MORAIS, 2010, MORAIS e PINHEIRO, 2011). Desta forma, os autores em questão, incorporaram essas características que muitas vezes são ignoradas: Estuário é um corpo de água costeiro semi-confinado que é permanentemente ou periodicamente ligado ao mar e que recebe, ao menos periodicamente, descarga de rios, e, portanto, enquanto a salinidade é normalmente menor do que a do oceano e varia temporalmente e espacialmente ao longo do estuário, podem ocorrer áreas de hipersalinidade onde a perda de água por evaporação é alta e a entrada de água doce é negligível. A classificação relacionada aos processos costeiros, sua evolução e as variações do nível do mar foram apresentadas por Dalrymple (1992). Este é o conceito mais utilizado na literatura geológica atualmente e tem se baseado na interação entre o prisma de maré, ondas e a descarga fluvial (Figura 3 A e B).

Figura 3. Definições de estuário proposta por Dalrymple (1992).



Segundo Silva et al. (2004), as variações entre o volume de descarga fluvial e a amplitude das marés, além de fatores como ondas e ventos, promovem alterações nos padrões de circulação dos estuários, esses padrões

permitem a sua classificação de acordo com a forma em que se dá a mistura das águas oceânicas com a fluvial.

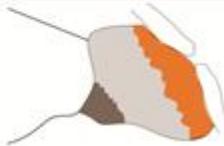
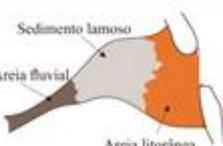
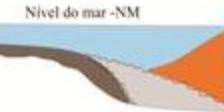
De acordo com Miranda et al. (2002), os estuários de cunha salina são aqueles dominados pelo rio. Nesse tipo de estuário, a salinidade da água de superfície é menor que a salinidade da água de profundidade, apresentando uma diferença acentuada no perfil vertical de salinidade. Nesse tipo de estuário, a maioria dos sedimentos em suspensão trazidos pelo rio é exportada para as regiões oceânicas através da camada superior da água.

Estuários dominados pelas correntes de maré e pelas ondas são denominados totalmente misturados devido aos efeitos de turbulência existentes dentro do estuário. Nesse tipo de estuário, o perfil vertical de salinidade é homogêneo, só variando de acordo com a distância em relação ao oceano.

Quando as duas forçantes possuem influências comparáveis na mistura das águas, o estuário é classificado como parcialmente estratificado e a mudança na salinidade se dá de maneira gradativa, tanto horizontalmente quanto verticalmente. Em estuários de cunha salina e parcialmente estratificados podem ocorrer a formação de áreas com uma concentração de sedimento em suspensão cerca de 100 vezes maior do que as regiões a montante e a jusante, essas áreas são chamadas de zona de turbidez máxima.

Tendo como base que a interação entre o volume total de água salgada (prisma de maré) e a descarga de água doce são responsáveis pela geração dos diferentes tipos de circulação e padrões sedimentares, o prisma de maré que circula em um estuário submetido a micro e mesomarés aumentaria de acordo com a área superficial do estuário; enquanto que naqueles dominados por macromarés, os efeitos da descarga fluvial seriam contidos. A partir destas considerações Reinson (1992), propôs uma classificação de estuários baseado na morfologia e sedimentologia (Figura 4).

Figura 4. Classificação dos estuários baseada em parâmetros morfológicos, sedimentológicos e oceanográficos (Reinson, 1992).

	Dominado por onda			Dominado por maré
	LAGUNAR	PARCIALMENTE FECHADO	DE FOZ ABERTA	DE MARÉ
CONFIGURAÇÃO MORFOLÓGICA	PARALELO À LINHA DE COSTA 	PARALELO OU NORMAL À LINHA DE COSTA 	NORMAL À LINHA DE COSTA 	NORMAL À LINHA DE COSTA 
FAIXA DE MARÉ	MICROMARÉ	MICRO A MESOMARÉ	MESOMARÉ A MACROMARÉ	MACROMARÉ
PADRÃO DE CIRCULAÇÃO	PARCIALMENTE MISTURADO	PARCIALMENTE MISTURADO A BEM ESTRATIFICADO		HOMOGENEO
PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS				
SEÇÃO AXIAL				
EXEMPLOS	Great Sound, New Jersey	Miramichi, New Brunswick	Gironde	Broad Sound, Australia

2.1.1 Proveniências de sedimentos para estuários no Ceará

Segundo Ellison et al. (1991), os manguezais se estabelecem em linhas de costa sedimentares e áreas intermarés de zonas tropicais e subtropicais. Possuem adaptações fisiológicas e morfológicas para combater os estresses ambientais aos quais são submetidos, como alta salinidade, baixa concentração de oxigênio dissolvido na água intersticial nos sedimentos, poucos nutrientes e substrato móvel.

Esse ecossistema possui a característica de acumular sedimento e é capaz de se ajustar à elevação do nível do mar. Se a taxa de acreção de sedimentos for similar à taxa de aumento do nível do mar, a distribuição preferencial de ocupação das áreas de inundação entre marés, típica dos manguezais será mantida; se essa taxa for inferior é esperado que os manguezais migrem para o interior do continente ou que sofram uma redução de sua extensão (SHEARMAN, 2010).

Por se localizarem em regiões estuarinas e possuírem a capacidade de acumular sedimentos, gerando novas áreas de sedimentação, e por conseguirem colonizar rapidamente bancos de areia e praias, se torna muito importante entender quais são as possíveis fontes de sedimento para os estuários e como as atividades humanas na bacia hidrográfica podem afetar o balanço sedimentar desses ambientes, uma vez que tais alterações nas cargas de sedimentos para a região estuarina poderão resultar em mudanças na cobertura dos manguezais.

Ao se tratar de mangues, fontes de sedimento são muito importantes pelo fato dessa vegetação utilizar novas áreas de sedimentação para a expansão de sua cobertura vegetal, uma vez que seu estabelecimento e mesmo sua sobrevivência dependem do equilíbrio entre erosão e sedimentação de uma dada região costeira. É importante, portanto, entender e quantificar as principais fontes de sedimento atuantes nos estuários do estado do Ceará, a fim de desenhar cenários da variação da área de manguezais, e a consequente disponibilidade de seus usos e serviços ambientais, frente às alterações regionais e globais de origem antrópica. Dentre os principais fornecedores de sedimentos para os estuários cearenses encontram-se as dunas de areia e o Grupo Barreiras, como fontes naturais; e a urbanização, agricultura, pecuária e a aquicultura, como as principais fontes de origem antrópica (GODOY, 2015).

2.2 Variações do Nível Relativo do Mar na costa brasileira

As primeiras citações ao paleonível do mar no Brasil datam de 1841, quando C.R. Darwin descreveu as rochas praias do litoral de Pernambuco como evidências de flutuações do nível do mar durante o Quaternário, no Brasil. Estudos mais detalhados sobre as variações do nível do mar no Brasil foram publicados por Lamago (1940), Bigarella (1946), Maack (1949) e Almeida (1955). Entretanto, somente no começo da década de 1960, Van Andel e Laborel (1964), Bigarella (1965, 1971), Bigarella e Sanches (1966), Delibrias e Laborel (1969) e Laborel (1969) publicaram as primeiras datações por

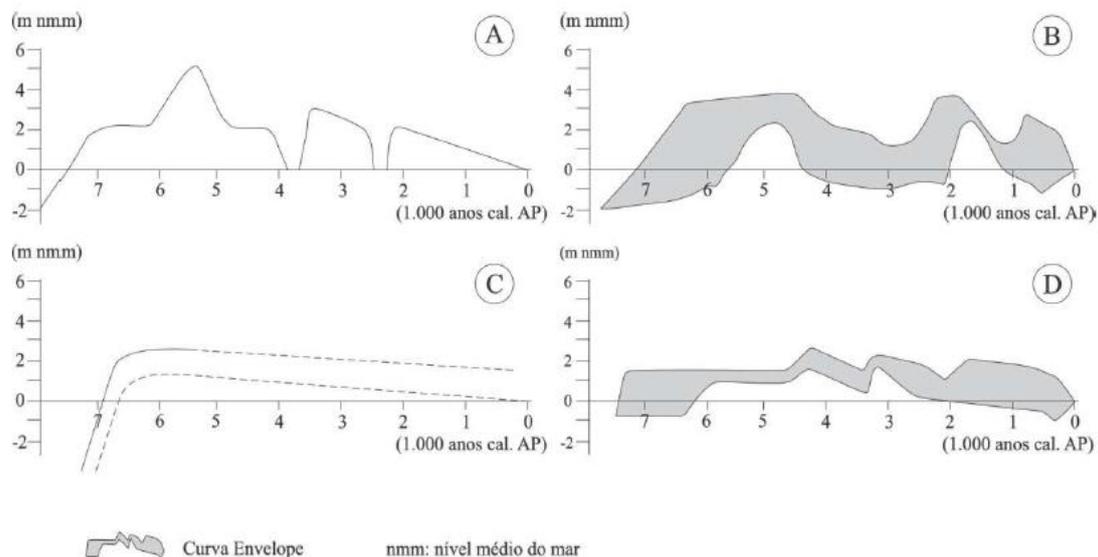
radiocarbono, permitindo interpretações temporais e espaciais mais confiáveis de paleonível do mar no Brasil.

No Quaternário Superior, o litoral brasileiro sofreu algumas mudanças no que diz respeito ao nível relativo médio do mar (nrmm), impulsionadas por glaciações (glacioeustasia) e variações no nível de base geodésico (geoidoeustasia) (SUGUIO et al., 1985). As paisagens litorâneas apresentam registros dessas mudanças, que podem ser encontrados em ambientes estuarinos, propícios ao desenvolvimento de manguezais (SOUZA JÚNIOR et al., 2007).

De acordo com Delibrias e Laborel (1969), o nível do mar chegou a sua atual posição em 6.000 anos AP, em seguida, elevou-se 3 m acima do nível do mar moderno em 4.500 anos AP. Desde então, o nível do mar caiu gradualmente com o tempo até o nível moderno. Até meados da década de 1970, tais pesquisas ainda eram escassas (MARTIN e SUGUIO, 1975; SUGUIO, 1977; BITTENCOURT et al., 1979).

A curva de Salvador (Figura 5), elaborada por Martin et al. (1979), mostra que o nível do mar começou a subir, acima do atual, pouco antes de 7.000 anos A.P. e alcançou 5 metros acima do nível do mar moderno há cerca de 5.100 anos A.P. recentemente calibrado para 5.560 cal anos A.P. (MARTIN et al., 2003). Outras duas oscilações negativas, entre 4.200-3.700 e 2.600-2.200 cal. anos AP, propostas por Dominguez et al. (1990) mostram uma curva do nível do mar para o litoral norte de Salvador. Os autores concluíram que a região foi submetida a um aumento do nível relativo do mar, causado, principalmente, pelo aquecimento global durante o máximo termal do Holoceno.

Figura 5. Gráfico altura vs idade de algumas curvas de variação do nível do mar no litoral do Nordeste brasileiro: (A) a curva de Salvador (Martin et al., 2003), (B) a curva envelope do Rio Grande do Norte (Bezerra et al., 2003), (C) com a curva do norte do Rio Grande do Norte (Caldas et al., 2006) e (D) curva de Pernambuco-Paraíba (Suguo et al., 2013).

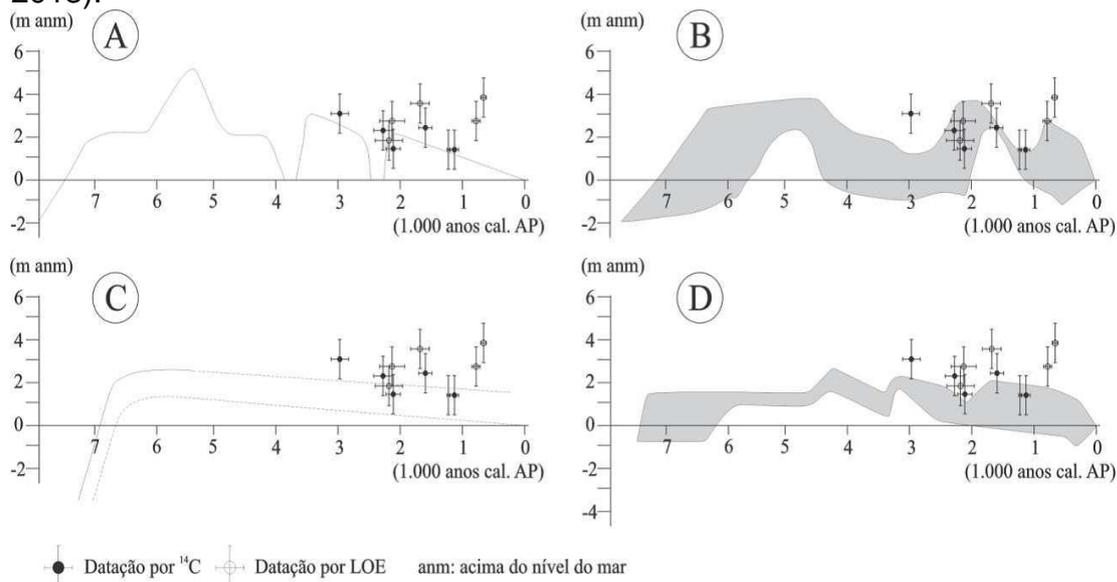


Fonte: Vasconcelos (2014).

Na região do litoral oeste do Ceará, Vasconcelos (2014), através de datações com Carbono 14, realizou a confecção de um gráfico da altura dos indicadores do NRM em relação ao atual nível do mar vs idade dos indicadores encontrados em seu estudo (Figura 6). Estas datações sugerem que entre 3.110- 2.830 anos cal. AP, o NRM estava $\sim 3,0 \pm 1$ m acima do atual. Entre 2.400-1.960 anos cal. AP, o NRM estava $\sim 1,4-2,8 \pm 1$ m acima do atual. Para esse intervalo, os valores de altura do NRM encontrados são parcialmente similar a curva do litoral norte do Rio Grande do Norte, Bezerra et al., 2003. Entre 1.830 anos AP (LOE) e 1.490 anos cal.AP (radiocarbono), o NRM chegou $\sim 3,5-2,4 \pm 1$ m acima do atual. Entre 1.240-1.060 anos cal. AP, o NRM estava $\sim 1,4 \pm 1,0$ m acima do atual. Parcialmente similar a curva do litoral norte do Rio Grande do Norte, Bezerra et al. (2003), entre 845-715 anos AP (LOE) o NRM encontrava-se $\sim 2,8 \pm 1$ m acima do atual. Finalmente, desde este último registro, o NRM sofreu um abaixamento até o nível atual. Os indicadores do NRM para litoral oeste do Ceará apresentam-se diferente das outras curvas

construídas no litoral do nordeste, indicando que os fatores locais contribuem para flutuações do nível do mar.

Figura 6. Gráfico de altura dos indicadores do NRM em relação ao atual nível do mar vs idade dos indicadores do litoral oeste do Ceará (Vasconcelos 2014) (A), curva de Salvador (Martin et al., 2003), (B) a curva envelope do Rio Grande do Norte (Bezerra et al., 2003), (C) a curva do norte do Rio Grande do Norte (Caldas et al., 2006) e (D) curva de Pernambuco-Paraíba (Suguio et al., 2013).



Fonte: Vasconcelos (2014).

Vasconcelos (2014) propôs que tais variações podem ser interpretadas como respostas a alterações no padrão de circulação marinha e não exclui possíveis perturbações tectônicas na bacia da margem continental. Entretanto, ao longo do continente não existe evidência de deslocamentos verticais dos níveis marinhos identificados, como é o caso dos sedimentos marinhos de idade Pleistocênica descritos ao longo da costa do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco por Barreto et al. (2002) e Suguio et al. (2011).

Apesar dos registros citados anteriormente, Irion et al. (2012), descreveram indicadores do Nível Relativo do Mar (nrm) em 1 km de costa, também no litoral oeste do Ceará, mais precisamente, na vila de Jericoacoara. Os autores concluíram que o nível do mar mais alto que o atual durante os últimos 7.000 anos não ocorreu para o segmento costeiro estudado, uma vez

que ao longo da costa não foram encontrados rochas praias acima do nível da maré sizígia. Os mesmo autores ainda concluem que estas observações coincidem com descrições realizadas durante viagens de campo ao longo dos 573 km de comprimento de costa entre Ponta Grossa e da fronteira com o Piauí de costa não são observados rochas praias acima do nível do mar atual.

Ao estudar o preenchimento sedimentar do estuário do rio Jaguaribe, Irion et al. (2014), verificou, a partir da ocorrência de duas associações de argilominerais, que existem duas áreas de origem para os sedimentos. Os autores consideram que durante a subida do nível do mar no Holoceno, de 11.600 para 6.000 A.P, sedimentos marinhos adentraram no estuário do Jaguaribe, do mar em direção à terra para a formação dos manguezais. Após 6.000 anos A.P, quando a subida do nível do mar estabilizou-se, ocorreu uma sedimentação fluvial, o estuário interior ficou cada vez mais preenchido com material proveniente do rio Jaguaribe. A partir do registro sedimentar no estuário do rio Jaguaribe, os autores concluíram que não foi possível assumir definitivamente se a alteração do desenvolvimento do nível do mar em torno de 6.000 BP é representado por uma queda de nível do mar, uma estagnação ou desaceleração da subida do nível do mar. Para a área do estuário do Jaguaribe supõe-se um abrandamento da subida do nível do mar para o Holoceno mais jovem, corroborando com Irion et al., (2012).

2.3 Argilominerais em ambientes estuarinos

O estudo da distribuição de partículas, bem como do conhecimento dos minerais constituintes da assembleia mineralógica de ambientes estuarinos auxilia na compreensão dos processos de sedimentação desses ambientes. Além de servir como indicadores em estudos de reconstrução paleoambiental, os quais podem revelar possíveis variações do nível relativo do mar e seu impacto nestes ambientes (SOUZA-JUNIOR et al., 2007).

O transporte e deposição de sedimentos em estuários são processos complexos, com vários fatores que interagem e afetam o destino final dos

sedimentos (EDZWALD et al., 1974). A significância sedimentológica e o potencial de uso dos estudos de argilominerais em vários ambientes de deposição marinha em todo mundo tem ajudado a compreender as fontes (procedências), vias de dispersão, agentes de transporte e locais de deposição de partículas finas (BISCAYE, 1965; MORTIARTY, 1977; SHAW, 1978; NAIR et al., 1982, NAIDU AND MOWATT, 1983; HUME AND NELSON, 1982; MORAIS, et. al, 2006). Além disso, um estudo realizado na costa nordeste do Brasil mostra registros para elucidar a origem do fornecimento de sedimentos, através do estudo de argilominerais, no estuário do rio Jaguaribe, durante o Holoceno e sua correlação com as variações do nível do mar (IRION et al., 2014).

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. 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).

2.4 Argilominerais como carreadores de poluentes para ambientes costeiros

A capacidade de solos, sedimentos e material em suspensão de adsorverem e reterem contaminantes depende de suas composições. Para micropoluentes orgânicos esta capacidade depende da matéria orgânica desde que sua composição possua uma elevada capacidade de promover ligações químicas.

Existe uma forte correlação entre o conteúdo da matéria orgânica dos sedimentos e a concentração dos poluentes orgânicos. Em relação aos

contaminantes inorgânicos, como os metais pesados, a capacidade de adsorção das partículas orgânicas e inorgânicas deve ser considerada. A capacidade de adsorção esta associada à área de superfície e as propriedades da superfície da partícula e por esta razão as partículas pequenas como as dos argilominerais possuem alta capacidade de adsorção (LEMES et al., 2003).

Fatores como tamanho da partícula e grau de cristalinidade dos argilominerais influenciam a adsorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas. A tendência observada é que, quando o grão diminui, as concentrações de nutrientes e contaminantes aumentam no sedimento de fundo. A necessidade de se conhecer a fração quimicamente ativa tem levado vários pesquisadores a utilizarem frações finas ($< 63 \mu\text{m}$) para amostragem e análises (DROPPA & JASKOT, 1986; LACERDA et al, 1990; SOARES et al., 1999; DAVIDSON et al., 1994). Essa fração corresponde ao material mais fino do sedimento, silte e argila, apresentando maior quantidade de metais que em outras frações granulométricas maiores, mostrando grande interação na superfície do mesmo (LEMES et al., 2003).

De acordo com Faure (1998), os argilominerais formam um dos maiores e mais diversificados grupos de minerais conhecidos e são em sua maioria aluminossilicatos, porém, alguns argilominerais são Mg-silicatos ou Fe-silicatos. De acordo com este autor, a principal característica dos argilominerais é o pequeno tamanho dos seus cristais ou grãos, que possuem diâmetros menores do que $2 \mu\text{m}$. No entanto, o que caracteriza os argilominerais não é o tamanho ($< 2 \mu\text{m}$ – fração argila, a qual pode incluir também grãos de outros minerais que não argilominerais, tais como quartzo, feldspato, calcita, óxidos ou hidróxidos de Fe e Al, etc), mas sim a base de suas estruturas cristalinas e de as composições químicas dos cristais.

Meunier (1977) afirma que a primeira fonte de argilas está relacionada à granulometria e não se aplica somente à argilominerais, mas sim a qualquer fração de qualquer tipo de mineral que possua tamanho menor que $2 \mu\text{m}$. A segunda substitui minerais ou preenche poros em rochas já formadas, mas, entre estas duas formas de obtenção citados há um tipo intermediário de formação de argilominerais, o qual é formado pela dissolução de minerais

silicáticos a partir da reação com soluções aquosas e que, após a reação, cristalizam formando um mineral de argila.

Segundo Krauskopf, (1972), os argilominerais são silicatos de alumínio hidratados com estrutura laminar contínua. De acordo com este autor, as composições desses argilominerais variam na relação Si/Al, na quantidade de água e também nas quantidades de Mg, Fe, Ca e metais alcalinos. A classificação das argilas pode ser de duas formas principais (MUGGLER et al., 2005): bilaminares e trilaminares.

As bilaminares, cujas camadas consistem de uma lâmina tetraédrica e uma octaédrica, também chamados de argilominerais 1:1- Grupo da caulinita. A estrutura destes minerais formados por uma lâmina tetraédrica de sílica e uma lâmina de octaedros de Al, dá origem ao nome argilominerais 1:1. A ligação iônica entre o oxigênio apical da lâmina de tetraedros e o Al da lâmina octaédrica, caracteriza a ligação entre as lâminas de sílica e alumínio.

2.5 Dinâmica fluvial dos rios semiáridos

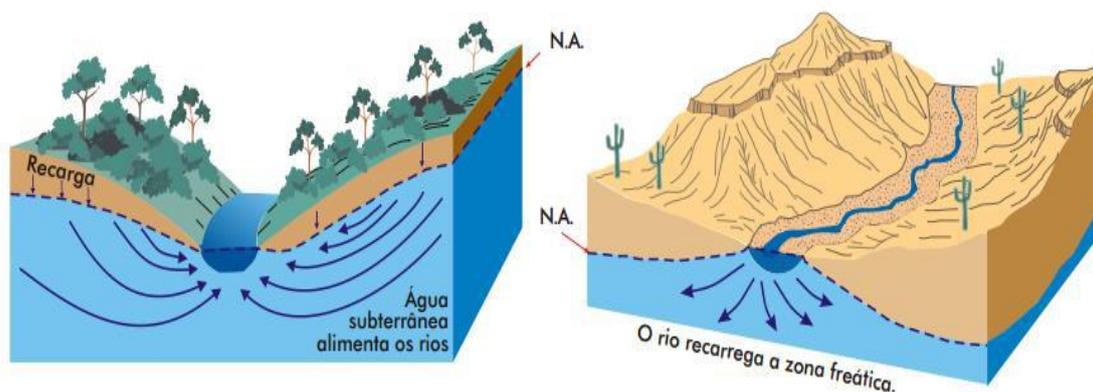
Os rios da região semiárida do Nordeste brasileiro, onde está inserida a área estudada, são intermitentes, fluindo somente durante a estação chuvosa. A penetração da água do mar nos vales durante as marés altas impede que esses rios fiquem sem a comunicação com o oceano durante a estiagem. Nesta estação, a vazão é praticamente nula e conseqüentemente não há uma gradativa diluição da água do mar pela água do rio (PINHEIRO & MORAIS, 2010).

Segundo Suguio e Bigarella (1990), as águas oriundas das chuvas e o fluxo do lençol subterrâneo influenciam sobre as características do deflúvio dos rios. De acordo com o fornecimento de água os rios podem ser efêmeros, intermitentes e perenes.

Os rios que não apresentam fluxos constantes e permanece secos a maior parte do ano são considerados efêmeros, dado que não são alimentados

pelo lençol freático e apresentam água somente antes e após as precipitações. Os rios intermitentes são aqueles que em determinados períodos do ano têm seu fluxo interrompido (Figura 7).

Figura 7. Comportamento do lençol freático em áreas de climas mais úmida e de climas mais seco.



Fonte: Adaptado de Karmann, 2009.

Já os rios perenes apresentam fluxo estável o ano todo, sendo alimentado pelo lençol freático (SUGUIO e BIGARELLA, 1990). Além destes, há ainda rios perenizados os quais são rios intermitentes que através de obras de engenharia, como construções de barragens e açudes, apresentam alguns trechos com vazões regularizadas, isto garante o fluxo o ano todo. Conforme Christofletti (1980), o percentual de águas superficiais em relação às águas subterrâneas, que alimentam um curso de água, é bastante variável, sendo condicionado, principalmente, pelo clima, tipo de solo, de rocha, declividade, vegetação predominante, entre outros fatores. Em áreas mais úmidas o lençol freático abastece os rios frequentemente, sendo estes classificados de rios efluentes, já em regiões de clima seco, os rios perdem águas para o subsolo, sendo chamados de rios influentes.

Nas regiões semiáridas além do fornecimento de água superficial durante uma parte do ano, os rios atuam também como uma reserva de água subterrânea no período de estiagem. O aluvião do rio é perfurado para

construção de poços amazonas que garante o abastecimento humano e animal, além de servir para irrigar algumas plantações. O trabalho desenvolvido pelos rios é entendido pela erosão, transporte e deposição de sedimentos, sendo estes produzidos no continente e transportados até o litoral e alimentando os estuários (ANDRADE, 2016).

Esses estuários podem ser considerados como temporários, com características de circulação e mistura tipicamente restritas ao período chuvoso (DYER, 1997; MIRANDA et al., 2002). Além das adversidades climáticas, a interferência da hidrologia estuarina pela construção de barragens compromete significativamente a sustentabilidade ambiental desses ecossistemas. Barramentos implicarão no avanço da intrusão salina, aumento do tempo de residência dos estuários, hipersalinização e na redução da carga de sedimentos e nutrientes para a zona Costeira e conseqüentemente problemas socioeconômicos nas comunidades que exploram os recursos naturais ali existentes serão intensificados (PINHEIRO e MORAIS, 2010).

3. ÁREA DE ESTUDO

O estado do Ceará possui uma linha de costa de 573 km, com doze (12) grandes bacias hidrográficas, sendo seis (6) com importância nos processos costeiros: Bacias do Coreaú, Acaraú, Curú, Litoral, Metropolitana e do Baixo Jaguaribe (Tabela 1). Esse sistema hídrico é constituído por rios que deságuam no oceano adjacente com regime intermitente sazonal. O médio e alto curso dos rios estão sujeitos a um regime climático semiárido e são diretamente afetados pela construção de barragens para abastecimento. Cerca de 95% do território cearense é dominado por clima semiárido (MORAIS e PINHEIRO, 2011). Há uma intervenção significativa na descarga fluvial natural, com exemplos de controle da vazão (rio Jaguaribe) ou completo bloqueio do fluxo (rio Coreaú), com exceção de eventos de intensa precipitação que acarretam sobre-elevação (“sangramento”) da barragem. (IPECE, 2002; MORAIS et al., 2006).

Os efeitos desse cenário podem ser observados na intensificação dos processos morfodinâmicos na desembocadura, diminuição do nível dos estuários, aumento da extensão intrusão salina longitudinalmente, extensão dos bancos de areias, hipersalinização do estuário em períodos de seca, diminuição do aporte de sedimentos de origem fluvial, alteração na biota marinha, e mudança na circulação e estratificação estuarina devido a diminuição ou ausência de descarga fluvial

Tabela 1. Informação da área e escoamento médio anual das bacias contribuintes nos processos costeiros do Estado do Ceará.

Bacia	Área (km²)	Deflúvio Médio Anual (mm)	Escoamento médio anual (hm³)
1. Bacia do Coreaú	8171	2041	1625
2. Bacia do Acaraú	14287	1371	1743
3. Bacia do Curú	8577	1885	1158
4. Bacia do Litoral	8865	1613	1235
5. Bacia Metropolitana	10825	3996	1554
6. Baixo Jaguaribe	11559	1111	705.6

Fonte: Adaptado de COGERH (2004).

Para esse estudo são considerados os estuários dos rios Acaraú e Coreaú, litoral oeste do Ceará. Assim, este capítulo aborda as principais características dos dois estuários, bem como das bacias hidrográficas os quais seus principais rios estão inseridos.

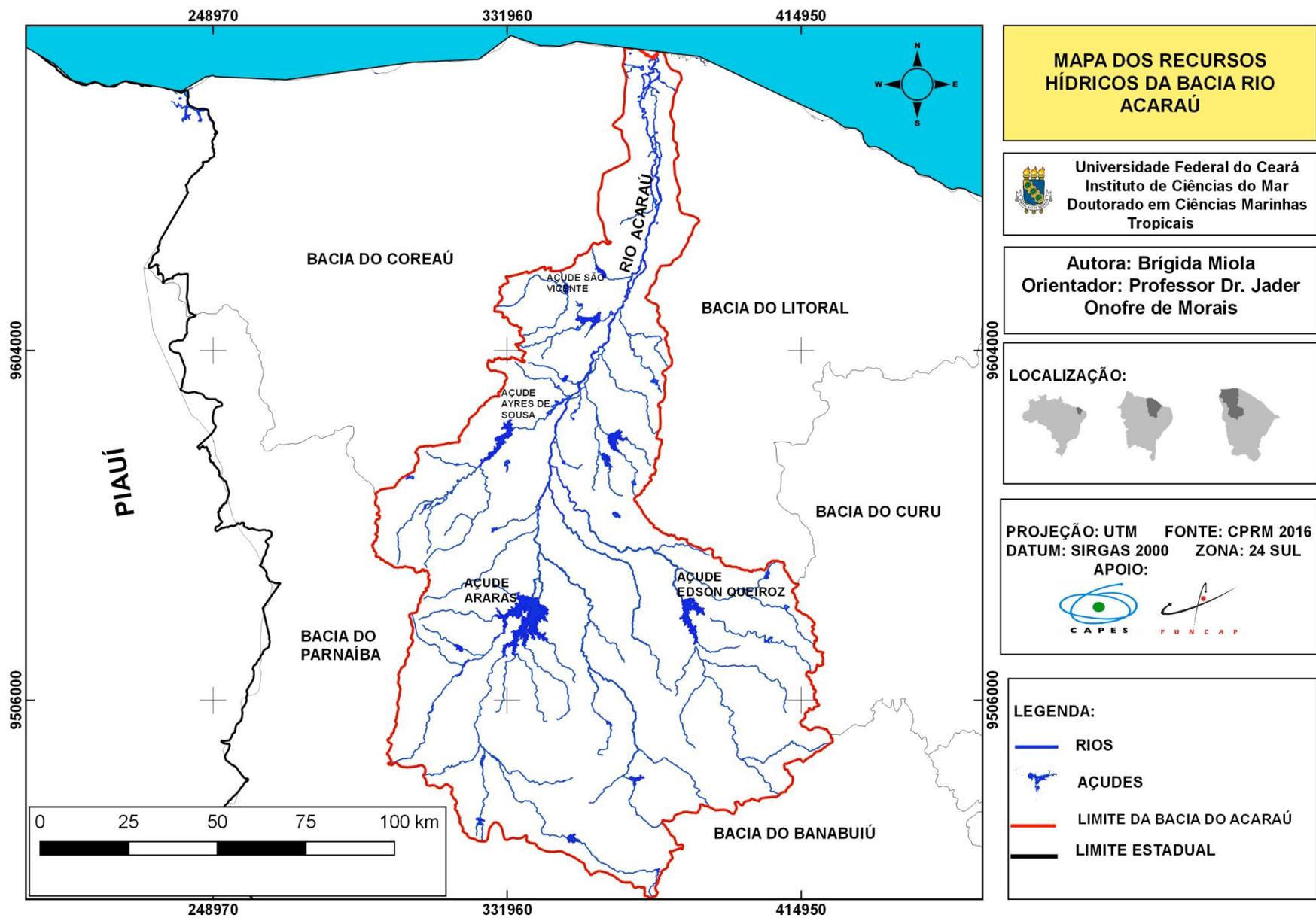
3.1 Bacia hidrográfica do Acaraú

A bacia hidrográfica do rio Acaraú (Figura 8) está localizada na região centro-norte do estado do Ceará, ocupando cerca de 15% do território cearense. A região é drenada exclusivamente pelo rio Acaraú e seus afluentes,

com área de 14.427 km² com aproximadamente de 315 km de extensão no sentido Sul-Norte. A bacia é composta por 12 açudes com capacidade total hídrica de, aproximadamente, 1.443.763.000 m³ onde tem suas nascentes nas Serras das Matas, Matinha Branca e Cupira, tendo como principais afluentes os rios Groaíras, Jaibaras e riacho dos Macacos (INESP, 2009).

A referida bacia abriga uma diversidade de domínios naturais e paisagísticos, com a presença de relevos típicos de núcleos cratônicos e áreas de coberturas sedimentares. Suas condições geológicas são diversificadas com predomínio dos terrenos do Pré-cambriano que inclui, basicamente, o complexo migmatítico-granítico, gnáissico-migmatítico, rochas graníticas básicas e ultrabásicas, além de grupos pertencentes ao Pré- Cambriano Superior (INESP, 2009).

Figura 8. Mapa da Bacia Hidrográfica do Acaraú, CE.



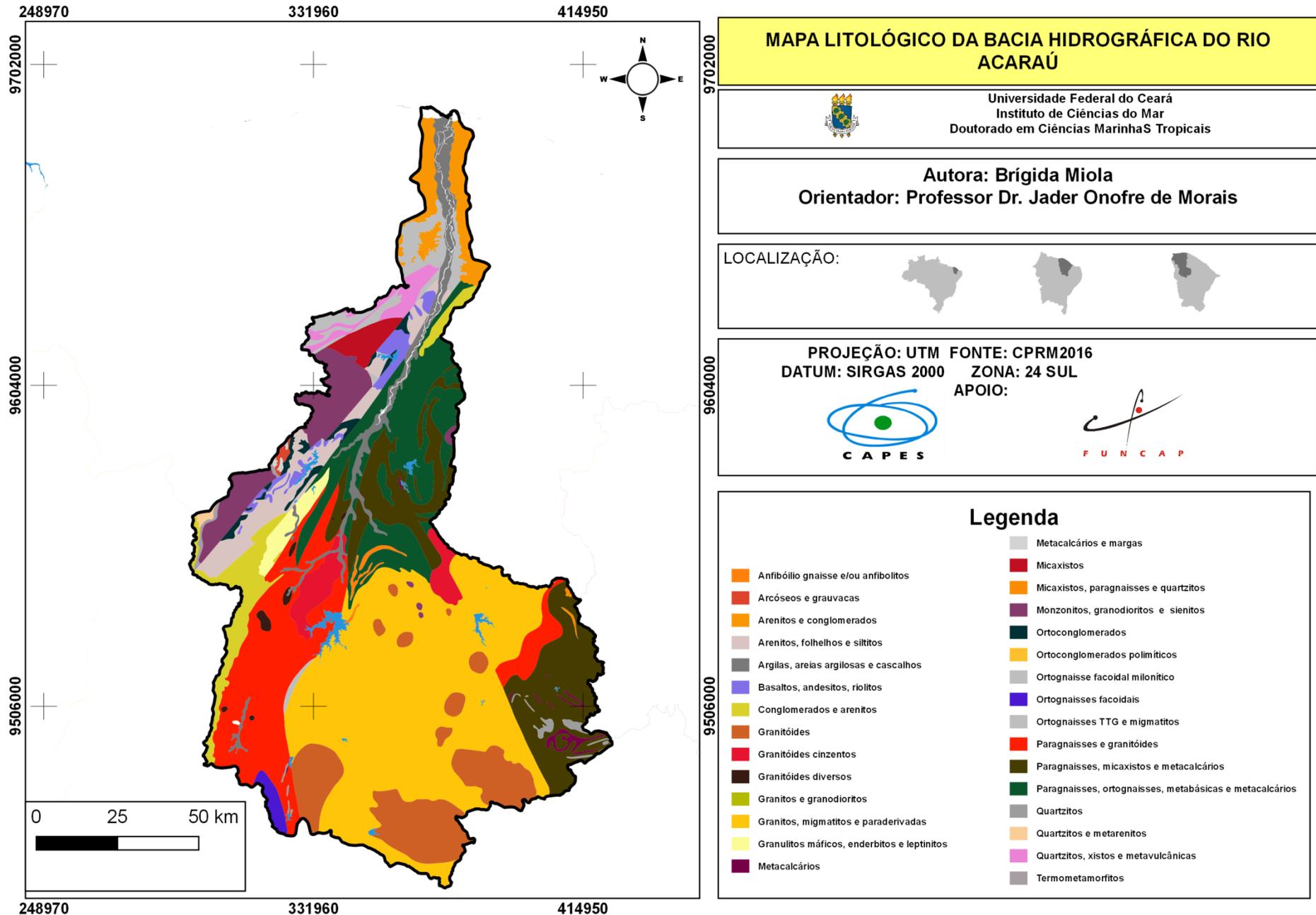
O relevo da bacia do rio Acaraú, apresenta características dependentes do conjunto de interferências de ordem geológica, paleoclimáticas e de processos morfoclimáticos passados e recentes. Apresentam-se, ao norte, sedimentos recentes Cenozoicos do período Quaternário e do período Terciário do Grupo Barreiras. Além da ocorrência de solos Aluviais, marginais ao rio Acaraú, no médio e baixo curso. A geologia regional apresenta uma estrutura predominantemente cristalina e possui como principais aquíferos o Aluvionar, Jaibaras e Barreiras. Na região do médio e alto curso, a litologia compõe-se de rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, com predominância de solos profundos e moderadamente ácidos, porém pedregosos e susceptíveis à erosão (Figura 9) (SUCUPIRA, 2006).

A bacia do Acaraú tem uma predominância significativa de terras abaixo do nível de 200 m, dentre elas, destacam-se os Glacis Pré-litorâneos, as Planícies Litorâneas, as Planícies Fluviais e a Depressão Sertaneja. Esta se apresenta com uma superfície pediplanada, truncando variados tipos de rochas, encontra-se eventualmente dissecada em formas de topos convexos e tabulares, intercalados por vales de fundos, planos e recobertos por sedimentos aluviais (SUCUPIRA, 2006).

No que diz respeito a cobertura vegetal, esta reflete as relações entre a morfoestrutura e a morfodinâmica local. Nas áreas do Médio e Baixo curso predominam a vegetação de várzea, com carnaubais e oiticicas, com usos relacionados ao agroextrativismo, extrativismo mineral e a pecuária extensiva.

Nos Planaltos e Serras Úmidas são predominantes as matas úmidas e secas degradadas pela policultura, fruticultura, agroextrativismo e lavouras de subsistência. Nos Sertões as caatingas ocorrem com padrões fisionômicos e florísticos variados, sendo impactadas pela pecuária extensiva.

Figura 9. Mapa litológico da Bacia do Acaraú, CE.



Além da retirada da cobertura vegetal, a degradação ambiental na bacia do Acaraú está associada aos conflitos dos usos múltiplos das águas, falta de saneamento básico e educação ambiental. Historicamente, foram desenvolvidas atividades agrárias rústicas, a par do pastoreio extensivo, incorporação de terras ao sistema produtivo e agroextrativismo, predatórios para o desenvolvimento de atividades socioeconômicas de baixa rentabilidade e vulnerabilidade dos empreendimentos agropecuários (SUCUPIRA, 2006).

A respeito das condições climáticas gerais da região, é uma área submetida em grande parte aos efeitos da irregularidade pluviométrica, aos excessos ou à falta quase absoluta de chuvas, tais condições se exercem sobre os vastos aplainamentos deprimidos do sertão. As manchas úmidas, com totais pluviométricos médios anuais superiores a 1.000 mm, abrangem a região litorânea e os maciços residuais, assegurando um teor de umidade que se prolonga, somente, durante 4 meses do ano. A semiaridez com déficits hídricos durante a maior parte do ano configura, de modo genérico, que as chuvas ocorrem de verão-outono com médias anuais de temperatura variando de 20,5°C até 35,5 °C.

Nas regiões mais secas, no médio e alto curso do rio Acaraú, ocorrem intervalos de confrontação dos dados de precipitação anual e a evapotranspiração potencial em relação ao Índice de Aridez, com porções nas classes medianamente críticas (0,41-0,45) e menos críticas (0,46-0,50). A desertificação representa a perda da capacidade produtiva dos sistemas econômicos, que é refletida na perda da identidade cultural, processo de migração populacional, empobrecimento social e estiolamentos ambientais (SOUZA, 2005).

3.1.1 Estuário do rio Acaraú

O estuário do rio Acaraú encontra-se na porção Centro-Norte do Ceará, abrangendo os Municípios de Cruz e Acaraú. A Bacia hidrográfica na qual se insere é a segunda maior do estado (NASCIMENTO, 2006).

Os terrenos sedimentares ocupam uma área que corresponde a pouco mais de 5% da bacia do Acaraú e datam do Cenozóico e do Paleozóico. Esses sedimentos predominam na porção norte da bacia, onde se encontram as sedes dos municípios de Cruz e Acaraú. Em sua maioria, os sedimentos pertencem ao Grupo Barreiras e constituem-se por uma textura areno-argilosa. Ocorrem também sedimentos colúvio-eluviais, sedimentos eólicos e praias constituídos de areias quartzosas distróficas presentes na faixa praial e dunas. Além de cascalhos, areias, silte e argilas, presentes nos ambientes fluviais, lacustres e estuarinos recentes (PESSOA, 2015).

Os sedimentos presentes no estuário do rio Acaraú, apresentam-se uma predominância de sedimentos finos alternados por depósitos de sedimentos fração areia variando de média a grossa dentro da própria calha do rio. Parte destes possivelmente oriundos também dos processos de degradação e erosão das áreas marginais ao rio. Alguns depósitos paludiais também são encontrados na região próxima a foz do rio (Figura 10), o que reforça a intensa dinâmica do ambiente e possível situações climáticas anteriores capazes de remodelar a foz do rio Acaraú.

Figura 10. Depósitos paludiais na foz do rio Acaraú.



Fonte: Pessoa, 2015.

Segundo Pessoa (2015) a bacia do Acaraú está submetida quase em sua totalidade a sazonalidade do clima semiárido, exceto a sua porção que se localiza a partir do baixo curso do rio, que recebe também a contribuição do clima litorâneo e dos sistemas atmosféricos dinâmicos que atuam na faixa litorânea no nordeste. Contudo, este ambiente mesmo não estando submetido a semiaridez climática, recebe influencia dessa condição, uma vez que a maior parte da bacia se localiza nos ambientes semiáridos.

O clima na maior parte da bacia do Acaraú, é do tipo Bsw'h' (semi-árido quente e seco com chuvas de verão-outono), com médias de temperatura superiores a 18°C, e pluviosidade anual variando entre 892 mm e 1.156 mm, com chuvas concentradas no verão e outono (ANDRADE et al., 2006).

Na região drenada pelo rio Acaraú, observa-se presença marcante de solos com desenvolvimento intermediário, demonstrando a predominância de processos de bissialitização. De acordo com o mapa de solos do Ceará, a bacia do Acaraú apresenta predomínio de Luvisolos, Neossolos Litólicos e Argissolos, e manchas menores de Planossolos, Neossolos Flúvicos e Latossolos (IPLANCE, 1992).

O arcabouço geológico da costa ocidental semiárida cearense, onde se situa a desembocadura do rio Acaraú, engloba formações pleistocênicas e holocênicas, que constituem planícies arenosas, dunas e planícies de maré, além de ocorrências localizadas de falésias. Na costa oriental, falésias esculpidas em sedimentos do Grupo Barreiras são as feições predominantes, apresentando também, afloramentos de rochas pré-cambrianas e cretáceas em alguns trechos (MORAIS et al., 2006).

A planície litorânea é relativamente estreita, com largura média de 2,5 km, e eventuais altos topográficos esculpidos em falésias. Essa faixa praiial é predominantemente arenosa, com morfodinâmica controlada pelas ondas. O Pré-Cambriano ocorre na forma de pontais, e possui importante papel na sedimentação e no controle da energia das ondas, influenciando as áreas de progradação e retrogradação de praias. A existência de dunas móveis, que migram em direção ao continente, tende a obstruir a drenagem costeira e

desembocaduras fluviais, processo que favorece a evolução de ambientes estuarinos para estuarino-lagunares e até mesmo para lacustres (MORAIS et al., 2006). No contato entre terraços marinhos com sedimentos Terciários do Grupo Barreiras, pode ocorrer a formação de lagoas. Essas lagoas, quando submetidas à influência da água do mar, podem desenvolver manguezais (MORAIS & FONTELES, 2000).

O regime de marés no litoral do Ceará é o de mesomarés, com amplitudes médias nas marés de sizígia de aproximadamente 3,3 m, período de 12,4 horas e defasagem de minutos (MORAIS 1980; ANDRADE, 2010 apud MORAIS et al., 2006). Nas marés de quadratura, que ocorrem nos meses próximos aos equinócios (meses de março e setembro), a amplitude observada varia entre 0,15 m a 2,7 m, dependendo do ponto do litoral. A variação da maré no porto de Acaraú é de aproximadamente 2,5 m, o que favorece a formação de escarpas de erosão nos terrenos arenosos das aluviões (SUCUPIRA, 2006).

A drenagem no estado do Ceará é constituída predominantemente por rios exorréicos de regime intermitente sazonal, o que limita o desenvolvimento de planícies de maré extensas e, conseqüentemente, de manguezais. Devido a essa característica, observa-se a aceleração de processos morfodinâmicos na foz dos rios, com ampliação das áreas de influência da maré salina, hipersalinização sazonal e diminuição do aporte de sedimentos argilo-siltosos nas planícies flúvio-marinhas (MORAIS et al., 2006).

O canal estuarino na desembocadura adquire um padrão meandrante percebido até o município de Acaraú (foz). São observadas a formação de escarpas de erosão controladas pelas correntes de marés (Figura 11).

No estuário do rio Acaraú, o complexo de cordões arenosos associados a planícies lamosas, propicia a formação de diversas lagoas salinas. As principais espécies que ocupam os manguezais da região são: *Rizophora mangle* (Mangue Vermelho), *Avicenia racemosa* (Mangue Siriuba), *Laguncularia racemosa* (Mangue Branco) e *Conocarpus erecta* (Mangue de Botão) (MORAIS et al., 2006).

Figura 11. Escarpa de falésia fluvial que margeia a planície estuarina do rio Acaraú.



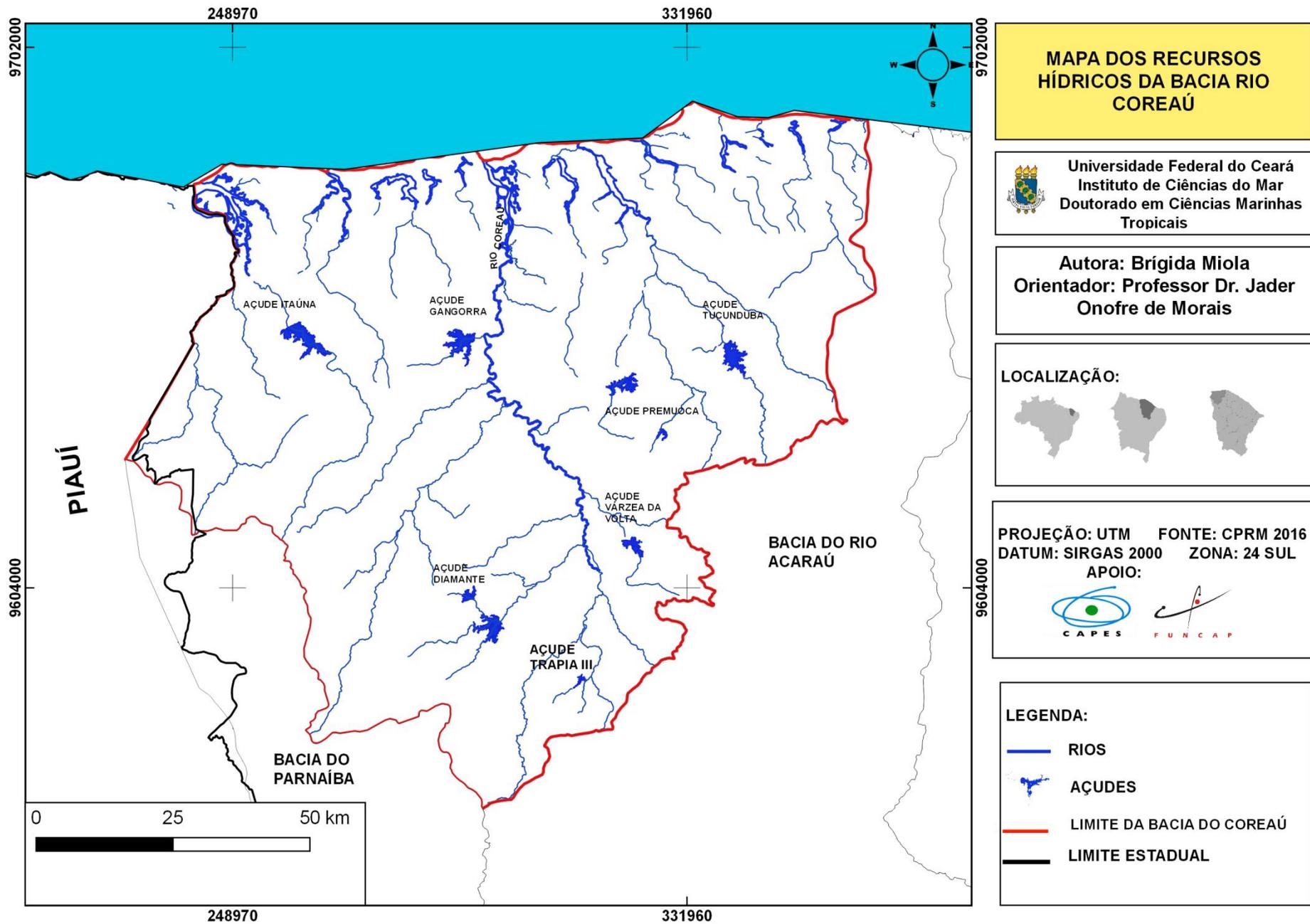
Fonte: Próprio Autor (2015).

3.2 Bacia Hidrográfica do Coreaú

A Bacia do Coreaú localiza-se na porção Noroeste do Estado do Ceará (Figura 12). Faz contato com as seguintes bacias: ao sul as bacias do Poti-Longá e Acaraú, a oeste com a bacia do Parnaíba, a leste a bacia do rio Acaraú e ao norte o oceano Atlântico. Localiza-se entre as coordenadas geográficas $41^{\circ} 26'$ e $40^{\circ} 12'$ de longitude oeste e $2^{\circ} 47'$ e $3^{\circ} 56'$ de latitude sul, ocupa uma área de 10.633,67 km², 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).

O rio Coreaú e seus tributários drenam água para esta bacia e para as microbacias que se abrem diretamente para o Oceano Atlântico, tais como as dos rios Timonha, Tapuio, Jaguarapi, Pesqueiro e da Prata, totalizando 10.633,66 km² de área correspondendo a 7% do território cearense, em relação as bacias do Ceará.

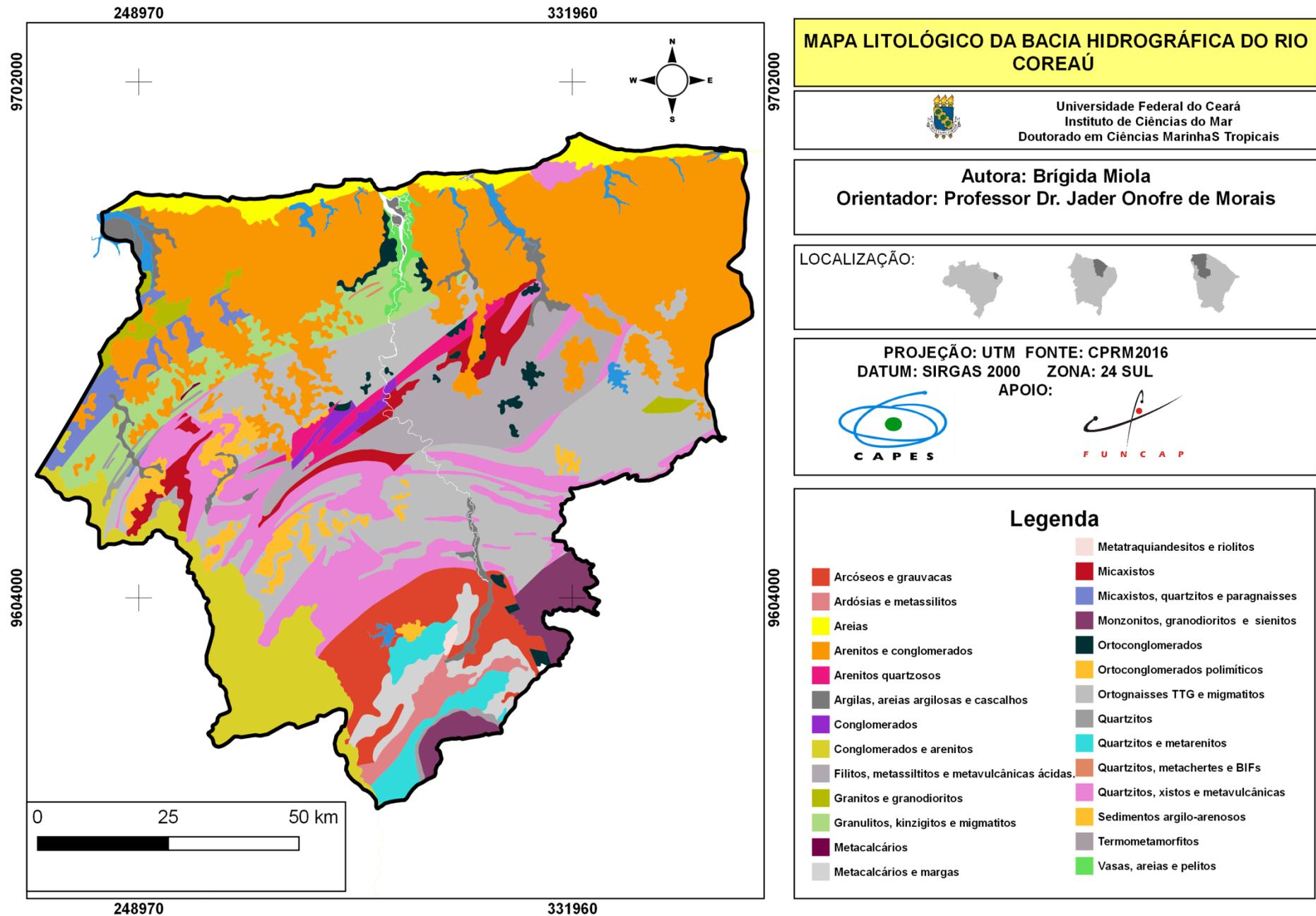
Figura 12. Mapa da Bacia Hidrográfica do Coreaú, CE.



As altitudes variam de 0 m (litoral) a pouco menos de 900 m (costa da Ibiapaba), apresentando as menores amplitudes pluviométricas do estado do Ceará, com precipitação média mínima anual (mm) de pouco menos de 1.000 mm (norte da bacia) e precipitação média máxima anual (mm) de pouco menos de 1.350 mm (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 (Figura 13) 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 do Grupo 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 (INESP, 2009).

Ainda segundo dados da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) presentes no estudo sobre a Bacia do rio Coreaú feito pelo INESP (2009) a compartimentação do relevo do território da bacia 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.



3.2.1 Estuário do rio Coreaú

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 Coreaú, 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.

A planície litorânea do estuário do Coreaú compreende os campos de dunas (Figura 14), 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 (INESP, 2009).

Figura 14. Campo de dunas na margem direita a foz do rio Coreau.



Fonte: Próprio Autor, 2015.

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 15), 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 15. Afloração de *beach-rocks* na costa de praia a margem direita da foz do rio Coreau.



Fonte: Próprio Autor, 2015.

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 Coreaú, 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 Coreaú 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).

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°. 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).

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). 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).

Em relação às marés, estas são baseadas nos dados do Porto de Luís Correia-Piauí com amplitudes variando de 1 a 3,7 m. 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).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta das amostras

As coletas das amostras nos estuários dos rios Acaraú e Coreaú foram feitas durante duas campanhas, em setembro de 2013 e março de 2016. Todas as amostras foram posicionadas com auxílio de gps.

As amostras superficiais foram coletadas no estuário do rio Acaraú, com o auxílio de uma draga van-veen. Após a coleta, as amostras foram colocadas em sacos identificados e armazenadas para transporte até o laboratório. As amostras superficiais foram coletadas no estuário do rio Acaraú, de acordo com um dos objetivos deste presente estudo.

O método de testemunhagem possibilita a recuperação de camadas sedimentares através dos testemunhos, os quais, uma vez analisados por meio de estudos estratigráficos, são de grande importância para reconstrução de mudanças sedimentológicas nos períodos evolutivos, e conseqüentemente de mudanças paleoceanográficas.

Para a coleta dos testemunhos sedimentares foram utilizados dois métodos. O mais simples foi realizado com um tubo de ferro entreaberto que permite coletar uma seção de sedimentos de 1m a cada testemunhagem. Os componentes do testemunhador em aço inoxidável incluem: seção amostradora (1.000 cm de comprimento, 75 mm de largura e 2 mm de espessura), barras de 1.500 cm de comprimentos e uma manivela (Figura 16). Este primeiro método de testemunhagem foi utilizado para obter informações iniciais do caráter sedimentar do estuário.

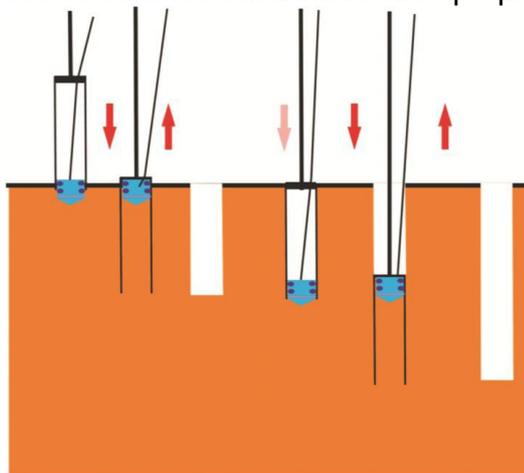
Figura 16. Esquema de coleta dos testemunhos sedimentares.



Fonte: Próprio autor (2015).

No segundo método, os testemunhos foram coletados com um testemunhador do tipo (*Piston Corer*) (Figura 17). 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

Figura 17. Esquema de coleta com testemunhador do tipo piston core



Fonte: Próprio autor (2015).

Os testemunhos coletados nos estuários dos rios Coreaú e Acaraú foram coletados em pontos estratégicos de acordo com o conhecimento da área, realizada em estudos anteriores. O fatiamento dos testemunhos para

análise não seguiram uma uniformidade, alguns foram analisados a cada metro, outros de acordo com a mudança de fácies encontrada em cada testemunho, a fim de alcançar todos os objetivos específicos para a tese. Os testemunhos foram fotografados e analisados nos aspectos textural, composição e estruturas físicas visando o reconhecimento de fácies sedimentares (MIAL, 1977).

Nas Figuras 18 e 19 encontram-se os mapas de localização de todos os testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Coreaú durante as duas campanhas para a elaboração desta tese e a localização das amostras superficiais e testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Acaraú.

Figura 18. Mapa de localização das amostras coletadas no estuário do Acaraú, CE.

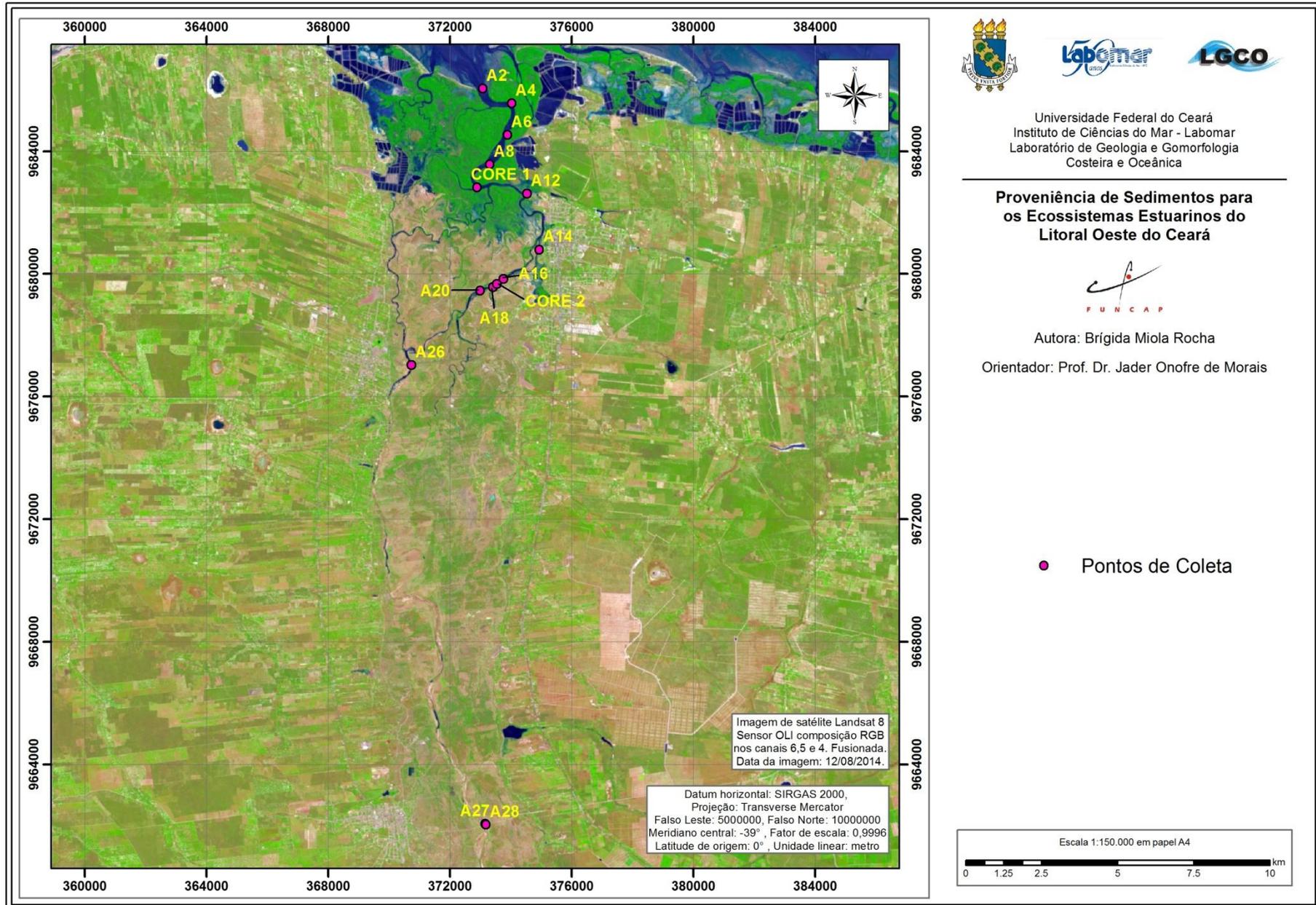
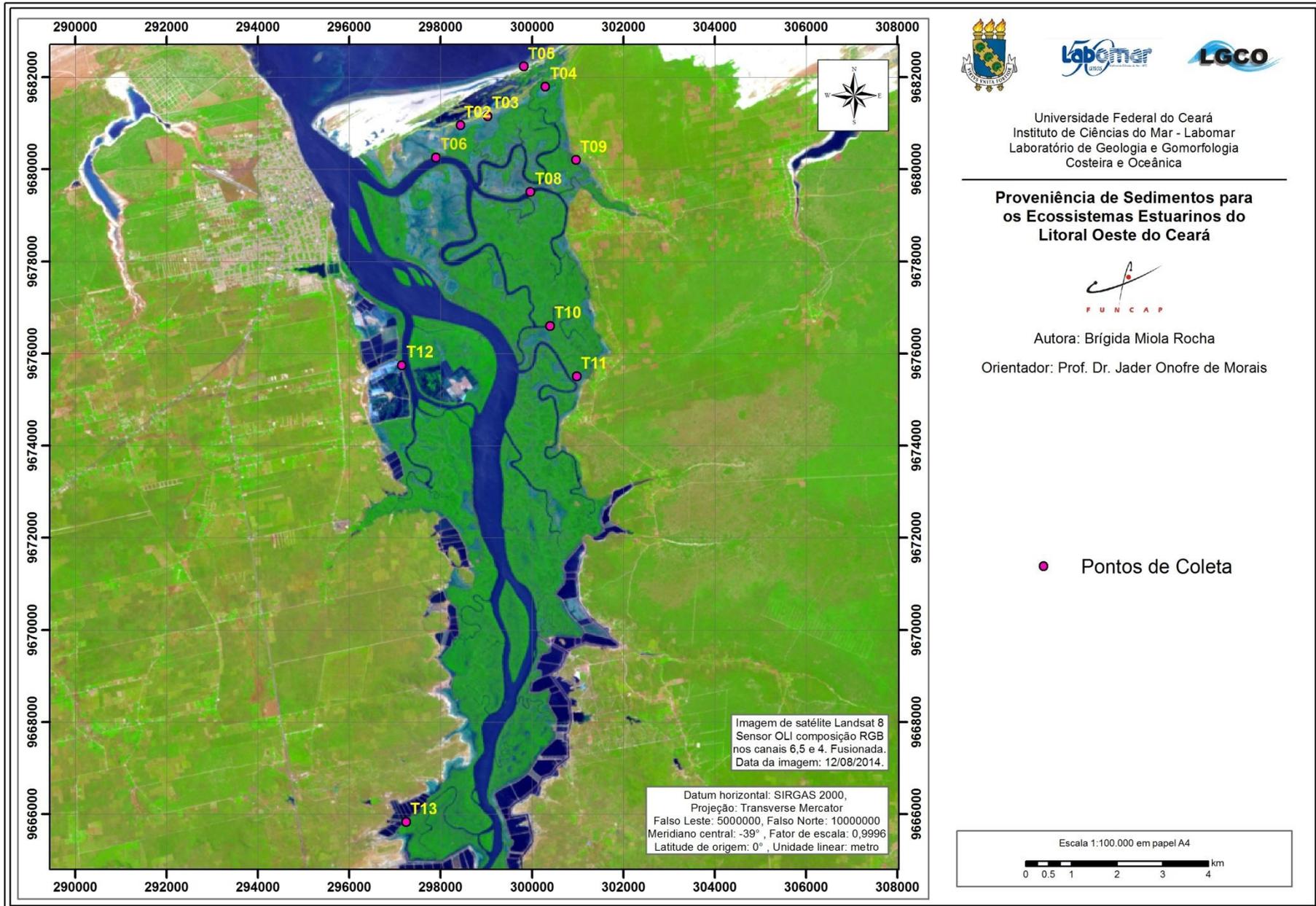


Figura 19. Mapa de localização das amostras coletadas no estuário do Coreaú, CE.



4.2 Difractometria de raios-x

As análises de DRX foram realizadas no Instituto de Senckenberg, na Alemanha, durante o estágio de doutoramento sanduiche. Esta análise foi feita na fração $<2\mu\text{m}$, separada durante a análise de granulometria (Atterberg, 1912).

A fim de obter uma condição padrão para a fixação de cátions e para um melhor reconhecimento dos minerais da fração $<2\mu\text{m}$, foram preparadas lâminas de esfregaço. Para a preparação das lâminas, cerca de 500 mg de amostra da fração $<2\mu\text{m}$ são colocados em tubos de ensaio e lavadas com Acetato de Magnésio e água destilada para a retiradas de possíveis sais solúveis presentes na amostra. A amostra é obtida após sucessivas centrifugações (4.000 rpm por 8 minutos) em centrífuga Metafuge 1.0, a amostra é obtida após a verificação de água límpida após a centrifugação. Foram feitas lâminas orientadas tratadas com Acetato de Magnésio (Mg^{2+}), Acetato de Potássio (K^+) e Etilenoglicol (EG) (Figura 20).

Figura 20. (A) Centrífuga Metafuge; (B) Difratorômetro Philips PW 1729; (C) e (D) Análise dos argilominerais difratometro.



Fonte: Próprio Autor, 2016.

As amostras nas lâminas orientadas, foram então submetidas a DRX. Essa etapa foi realizada utilizando um difratômetro de marca Philips PW 1729.

As lâminas tratadas com Mg^{2+} foram lidas no intervalo de leitura de 2 a $32^{\circ}2\theta$ e as outras lâminas (K^+ e EG) no intervalo de 2 a $17^{\circ}2\theta$, ao passo de $0,02^{\circ}2\theta$ por etapa, a cada 1 segundo, na tensão de 40 kV e corrente de 30 mA.

A estimativa semi-quantitativa das porcentagens dos argilominerais em cada amostra foi realizada através das intensidades dos picos primários em padrões de Mg^{2+} , segundo Biscaye (1965).

4.3 Granulometria

4.3.1 *Settling Tubes*

Nesta técnica granulométrica, os sedimentos foram separados em cinco frações granulométricas: > 63 μ m, 20-63 μ m, 6-20 μ m, 2-6 μ m, <2 μ m. As frações granulométricas até 20 μ m foram separadas pela técnica “settling tubes” (Atterberg, 1912). As frações maiores que 63 μ m foram separadas por peneiras.

Esta é uma técnica de medida baseada na lei de Stokes da fluidodinâmica, onde as partículas, dispersas num fluido (líquido ou gasoso), sofrem decantação pela ação da gravidade.

A lei de Stokes estabelece que, em baixas velocidades, a força de atrito F ("dragforce") num corpo esférico, se movendo com velocidade v constante através de um fluido, é proporcional ao produto da velocidade v , da viscosidade γ_l do fluido e do diâmetro D da esfera. No início do ensaio, as partículas de todos os tamanhos foram homoganeamente distribuídas em todo o volume do tubo. À medida que a sedimentação ocorre, as partículas maiores decantam mais rapidamente que as menores.

Cerca de 20 gramas de amostra foram colocadas em tubos de vidro para sucessivas lavagens com água destilada a fim de retirar os sais. Após, as

amostras foram transferidas para provetas adaptadas homogêneas e separadas de acordo com o tempo de sedimentação de cada tamanho de partículas (Figura 21).

Figura 21. Análise granulométrica pela técnica de *settling tubes*.



Fonte: Próprio Autor, 2015.

Após a coleta de cada fração em tempo determinados, foram secas em estufa e pesadas para cálculo de porcentagem. Esta análise granulométrica foi realizada no Senckenberg Institute, na Alemanha, durante estágio de doutoramento sanduiche.

4.3.2 Analisador de partículas a laser

A técnica de espalhamento a laser faz parte de um conjunto de técnicas, onde as partículas são dispersas num fluido em movimento. As partículas de pó causam descontinuidades no fluxo do fluido, que são detectadas por uma luz incidente, e correlacionadas com o tamanho de partícula. Ao atingir uma quantidade de partículas, a luz incidente sofre uma interação segundo quatro diferentes fenômenos (difração, refração, reflexão e absorção) formando um invólucro tridimensional de luz.

O formato e o tamanho deste invólucro são afetados pelo índice de refração relativo da partícula no meio dispersante, pelo comprimento de onda da luz e pelo tamanho e formato da partícula. Detectores estrategicamente

posicionados medem a intensidade e o ângulo da luz espalhada. O sinal dos detectores é então convertido para a distribuição de tamanho de partícula através de algoritmos matemáticos (Hildebrand, 1999).

Foram pesados cerca de 0,3 g de amostra e em seguida foram lavadas com H_2O_2 a fim de dissolver todo material orgânico contido na amostra e também para evitar a floculação. As amostras então passaram por peneiramento > 2 mm por razões de proteção do calibrador de partículas e colocadas em dispersão com NH_3OH . Para análise granulométrica, nesta técnica foi utilizado um equipamento de análise por espalhamento a laser, modelo LSTH 13 320 (Beckman Coulper Particle Characterization), faixa de medida 0,04 a 1000 μm . Esta análise foi realizada no Lower Saxony Institute for Historical Coastal Research, Alemanha, durante doutorado sanduiche.

4.4 Quantificação dos teores Carbonato de Cálcio

Para a determinação do teor de $CaCO_3$, utilizou-se o método clássico do calcímetro de Bernard adaptado (LAMAS et al. 2005), 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 22).

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. Ajusta-se o nível de água até que na bureta adequada esse nível alcance a marca zero e, vagarosamente, entorna-se o kitassato para que o HCl contido no tubo de ensaio entre 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 ($v_{padr\tilde{a}o}$).

Primeiramente mediu-se o volume ($v_{padr\tilde{a}o}$) deslocado da solução salina para uma amostra de concentração conhecida de carbonato de cálcio ($c_{padr\tilde{a}o}$). No caso, cerca de 0,5 g de amostra de $CaCO_3$ a 99 % ($c_{padr\tilde{a}o}$) foram utilizados como amostra padrão.

As amostras em estudo foram, 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:

$$C_{\text{amostra}} (\% \text{ CaCO}_3) = (V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}) / V_{\text{padrão}} \quad (1)$$

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.

Figura 22. Esquema de ensaio para a obtenção dos teores de CaCO_3 em sedimentos.



Fonte: Próprio autor, 2015.

4.5 Quantificação do Teor de Matéria Orgânica

Os teores de matéria orgânica facilmente oxidável nos sedimentos foram obtidos utilizando-se a metodologia proposta por Walkey-Black (1934) (Figura 23). O método tem como princípio a oxidação da matéria orgânica do sedimento com solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 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 $[Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2]$.

Figura 23. Processo de obtenção do teor de matéria orgânica.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Coloca-se em um *erlenmeyer* de 250 ml 1,0 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), 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.

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:

$$f = 10 \times 1/V_1 \times 0,5 \quad (2)$$

Onde:

V_1 = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação;

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

$$\%M.O. = [(10 - V_2 \times f \times 0,5) \times 0,4/p] \times 1,725 \quad (3)$$

Onde:

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

p = peso da amostra em gramas.

4.6 Mapas de distribuição dos carreadores geoquímicos

Os dados foram obtidos a partir da interpolação das concentrações de matéria orgânica, $CaCO_3$, esmectita, illita e caulinita. Cada substância originou um produto diferente com seus respectivos valores interpolados.

O cálculo foi realizado no *software* ArcMap 10.3 e o modelo escolhido foi o Inverso do Quadrado da Distância (IQD) devido sua melhor representação espacial dos dados em relação aos demais métodos (Krigagem, por exemplo). O modo como são atribuídos pesos aos pontos amostrados define o método de interpolação. No caso do IQD, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados (pontos amostrais).

Para os valores de M.O. e de CaCO_3 , foram interpolados 26 pontos amostrais, já na interpolação da esmectita, illita e caulinita, foram utilizados 10 pontos. Tais amostras foram distribuídas ao longo do estuário do rio Acaraú.

Com o intuito de analisar a eficácia do interpolador antes da sua utilização na confecção dos mapas finais, fez-se a validação dos dados. Nesta etapa, os valores estimados foram correlacionados com os valores de campo. A média dos erros entre os valores estimados e os valores reais devem ser próximas de zero, indicando que o método obteve, em média, predições não viesadas. A Tabela 2 com os valores dos erros médios pode ser analisada abaixo.

Tabela 2. Erro médio entre o valor predito e o valor real.

Amostra	M.O	CaCO₃	Esmectita	Ilita	Caulinita
Erro médio	- 0,17	0,9	- 0,2	1,2	- 1

Fonte: Próprio autor, 2016.

Percebe-se que, no geral, o IQD foi bem aplicado devido aos erros apresentados estarem próximo de zero. O erro negativo representa que, em média, os valores preditos estão abaixo dos valores mensurados em campo. Ou seja, mesmo estando bem elaborado (erro próximo de zero), o modelo de interpolação pode apresentar valores superestimados ou subestimados. Neste sentido, Andriotti (2003) afirma que o processo de validação não prova que o modelo esteja correto, apenas demonstra que o mesmo não é grosseiramente incorreto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização e distribuição mineralógica e granulométrica nos sedimentos dos estuários Acaraú e Coreaú, CE.

5.1.1 Distribuição granulométrica e mineralógica nos sedimentos do estuário do Acaraú

5.2.1.1 Amostras superficiais

As assembleias de argilominerais nos sedimentos recentes (superficiais) no estuário do rio Acaraú são diversificadas. Foram identificados três grupos principais de argilominerais. Os grupos são compostos principalmente por caulinita, esmectita e illita. Não foi identificado o argilomineral clorita nas amostras analisadas, devido às condições tropicais da área de drenagem.

Caulinita foi o principal argilomineral em todas as estações ao longo do estuário do Acaraú, variando entre 39,2 e 49,2%, seguido por illita (17,9 - 40,4%) e esmectita (15,5 - 34,8%) (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros estatísticos dos argilominerais nos sedimentos superficiais do estuário do rio Acaraú.

Argilomineral	Média %	Desvio Padrão%	Min.%	Max.%
Esmectita	23,3	5,7	15,5	34,8
Illita	31,3	5,6	17,9	40,4
Caulinita	45,3	3,0	39,2	49,2

Fonte: Próprio autor, 2016.

Feuillet e Fleischer (1980) afirmaram que a circulação estuarina exerce influência dominante sobre a distribuição dos argilominerais. As proporções relativas dos argilominerais podem variar regionalmente dentro de amplos limites, dependendo da diversidade da geologia, processos climáticos e intempéricos que contribuem para as áreas fonte, e a grande dinâmica do conteúdo relativo de cada tipo de argilomineral.

Os resultados dos sedimentos superficiais no estuário do Acaraú, demonstram alto teor de caulinita e médios teores de esmectita e illita (Tabela 4).

Foram identificados ainda pequenos picos de rutilo (A6), quartzo e lepidocrocita (A19), provavelmente provenientes do Grupo Barreiras. Os sedimentos e solos derivados do Grupo Barreiras são constituídos principalmente por quartzo (mineral dominante nas frações areia e silte) e argilominerais (caulinita e illita). A correspondência existente entre a mineralogia dos sedimentos dos manguezais com o Grupo Barreiras demonstra a importância desta análise para estudos de proveniência na região em apreço, especialmente no tocante às assembleias de minerais, sensíveis indicadores da contribuição da área-fonte continental (BERRÊDO et al., 2008).

Tabela 4. Distribuição dos teores de argilominerais em sedimentos superficiais do Estuário do rio Acaraú, CE.

Amostra	Esmectita %	Ilita %	Caulinita %
A2	16,8	34,2	49,0
A4	21,6	34,5	43,2
A6	29,1	31,6	39,2
A8	23,2	30,3	46,5
A12	23,0	27,9	49,2
A14	18,6	33,9	47,5
A16	15,5	40,4	44,1
A18	28,9	28,3	42,8
A20	21,8	33,6	44,6
A26	34,8	17,9	47,3

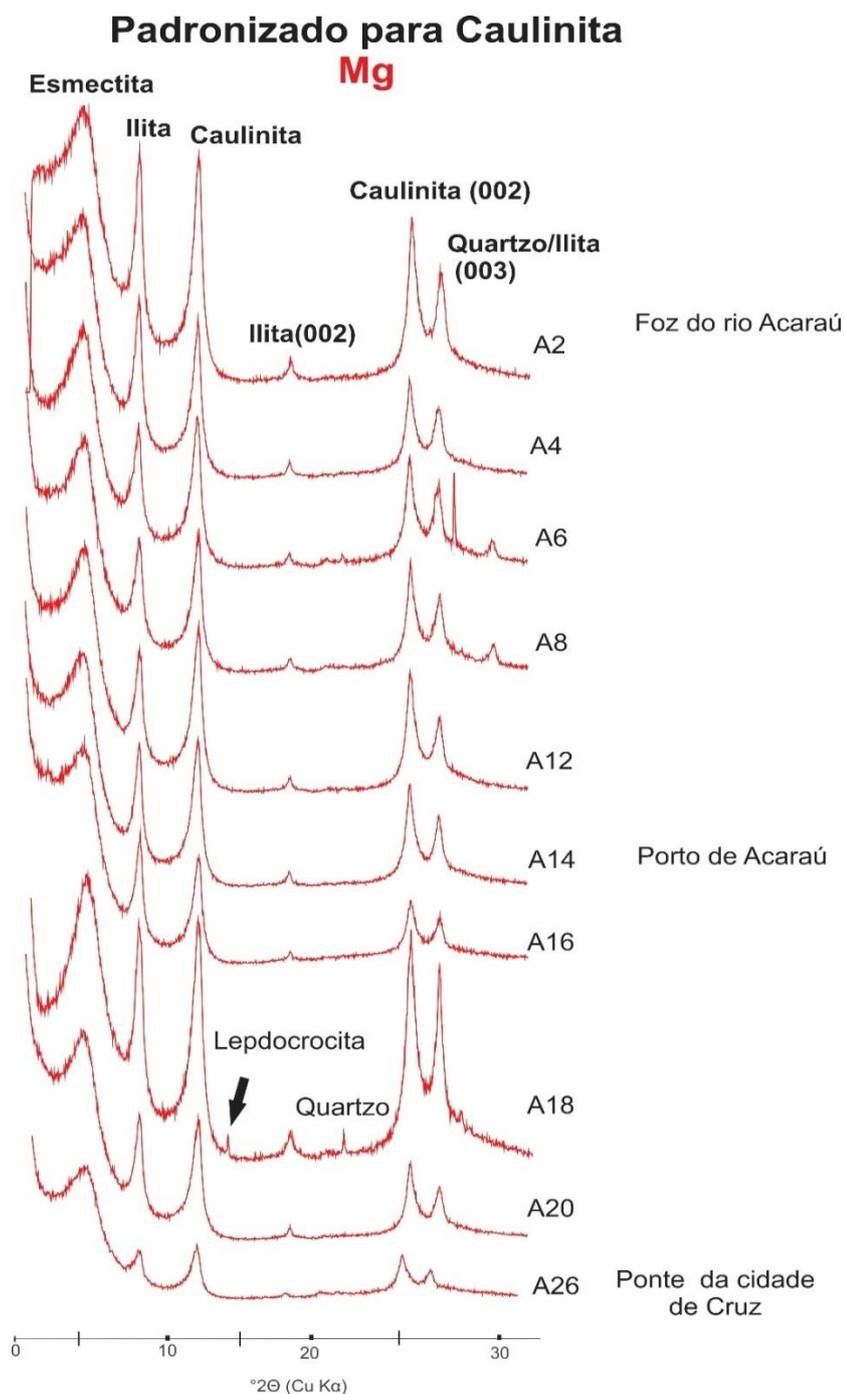
Fonte: Próprio autor, 2016.

As amostras A4 a A20 foram coletadas aproximadamente nas mesmas distâncias dentro do estuário, próximo às margens do canal estuarino. A amostra A2 foi coletada na fronteira do estuário com o mar, e representam picos de proveniência de sedimentos marinhos.

A amostra A2 mostra um pico intenso de caulinita e picos semelhantes de illita e esmectita. A26, amostrada na ponte sobre o rio Acaraú, cerca de um quilometro a leste da cidade Cruz, é assumida como sendo de origem fluvial (Figura 24). A26 apresentou um pico de caulinita muito alto e baixo pico de

illita, apresentando também maiores valores de esmectita, quando comparado às outras amostras. Dessa maneira pode assumir uma característica de um mineral de argila proveniente do rio Acaraú.

Figura 24. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) das amostras de sedimento superficial no estuário do rio Acaraú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Andrade (2010) encontrou valores de illita de até 30% na fração de argila do estuário do rio Acaraú, para o autor, o mineral de argila tem origem autigênica, proveniente dos solos da área de origem e transportados pelos rios para os manguezais.

A illita nos solos da região pode ser formada a partir da transformação do plagioclásio, e não apenas da mica das frações mais grossas do solo (BÉRTARD et al., 2009).

Os teores de areia grossa (> 63 μ m), areia média (20-63 μ m), areia fina (6-20 μ m), silte (2-6 μ m) e argila (<2 μ m) dos sedimentos superficiais são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Granulometria dos sedimentos superficiais no estuário do rio Acaraú, CE.

Amostra	<2μm	2-6μm	6-20μm	20-63μm	>63μm
	%	%	%	%	%
A2	42,7	6,3	9,2	35,0	6,9
A4	33,2	5,0	6,2	31,7	23,8
A6	25,9	4,5	3,9	30,7	35,0
A8	22,3	4,8	5,4	32,4	35,1
A12	41,3	8,1	8,3	25,2	17,1
A14	23,8	4,5	3,3	14,1	54,3
A16	33,3	7,8	8,3	13,8	36,7
A18	24,7	5,8	6,4	20,8	42,3
A20	35,7	11,1	7,4	16,3	29,5
A26	51,9	10,9	9,8	22,4	4,9
Média	33,5	6,9	6,8	24,2	28,6

Fonte: Próprio autor, 2016.

O conteúdo de argila (fração <2 μ m) variou de 22,3% a 51,9%, com um valor médio de 33,5%. A granulometria entre as amostras A4 a A20 são homogêneas. Todas as amostras apresentam percentagens similares de frações finas e grossas. Considerando que todos os sedimentos são de áreas com manguezais, os altos teores relativos de areia no estuário pode indicar

maior influência das marés na deposição. Os teores de argila mais elevados ocorrem principalmente nos limites do estuário (A26 e A2). Os sedimentos finos observados na amostra A26, coletada na ponte sobre o rio Acaraú, tem seu fornecimento a partir do rio Acaraú, principalmente em condições secas, onde não existe corrente no rio. A fração fina de sedimentos na amostra A2, coletada na foz do rio, foi proveniente principalmente a partir de materiais particulados transportados do mar aberto, pela maré.

Devido à deposição seletiva, os sedimentos de partículas finas são transportados para a área da foz e no estuário exterior, enquanto os sedimentos grossos são depositados nos trechos superiores do estuário, que possui uma distância de aproximadamente 15 km até a foz.

5.2.1.2 Testemunhos sedimentares

No estuário do Acaraú, foram coletados dois testemunhos sedimentares (Tabela 6), as quais foram realizadas as análises de argilominerais e granulometria.

Tabela 6. Testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Acaraú.

Testemunho	Profundidade (m)	Ambiente costeiro (Localização)	Coordenadas
CORE 1	5	Canal de maré na margem esquerda da foz do rio Acaraú.	2° 52.138'S 40° 8.622'O
CORE2	8	Banco de "areia" formados na margem do canal fluvial	2° 53.847'S 40° 8.271'O

Fonte: Próprio autor, 2016.

Na planície estuarina, onde os resultados de 2 testemunhos sedimentares foram obtidos, podem ser observados dois tipos principais de sequências de argilominerais. O primeiro mostra um pico elevado de caulinita, e menor ou semelhante ao pico de illita. O segundo tipo de sedimento é caracterizado por um pico muito pequeno de illita, que é menor do que a metade da altura do pico de caulinita.

- **CORE 1**

Perfil coletado, a cerca de 2 km de distância da foz, apresenta uma distribuição de argilominerais semelhante as amostras superficiais. Observa-se porcentagens maiores que 40% de caulinita em todas as profundidades (Tabela 7), seguido de esmectita (27 a 33,4%) e ilita (16,7 a 24,7%).

Tabela 7. Distribuição dos argilominerais e granulometria nas profundidades do testemunho CORE1, no estuário do rio Acaraú.

Profundidade (m)	Esmectita %	Ilita %	Caulinita %
1	28,9	24,7	46,4
2	33,4	21	45,5
3	27	22,4	50,6
5	38,5	16,7	44,8
Média	32,0	21,2	46,8

Fonte: Próprio autor, 2016.

Além de ocorrências esporádicas de minerais acessórios, como o rutilo (Figura 25). Os sedimentos finos diminuem no sentido da base, com um aumento dos teores da fracção > 63µm em 3 m (77%) e 5 m (85,1%) (Tabela 8).

Os maiores valores dos teores de sedimentos no estuário do rio Acaraú, deve-se a uma posição perto da zona de costa, o que favorece a ação erosiva das ondas e deposição de partículas grossas (Andrade, 2010).

A distribuição de argilominerais observados no estuário provavelmente é devido aos processos de mistura existentes nesses ambientes. Argilominerais provenientes do rio Acaraú são caracterizados pelo elevado teor de esmectita, e um baixo teor de ilita comparado ao de caulinita.

Tabela 8. Granulometria do testemunho CORE 1, estuário do rio Acaraú, CE.

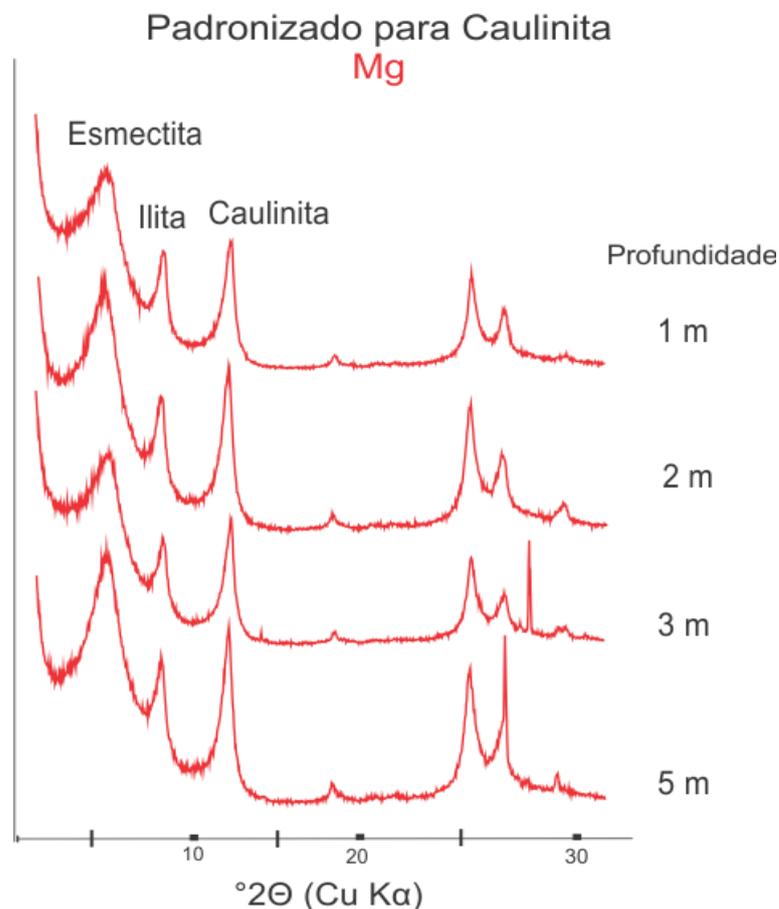
Profundidade (m)	2-6 μ m %	6-20 μ m %	20-63 μ m %	>63 μ m %
1	3,7	4,3	33,8	29,2
2	2,6	3,3	32,9	43,8
3	1,7	1,3	13,2	77,0
5	0,9	1,2	7,9	85,1
Média	2,2	2,5	22,0	58,8

Fonte: Próprio autor, 2016.

Estes minerais de origem fluvial encontram-se misturados com minerais de origem marinha, que são caracterizados por conter picos menores de esmectita e picos mais elevados de illita comparados a caulinta. Os minerais de argila de fontes marinhas são possivelmente derivados principalmente de sedimentos terciários e / ou recentes da reformulação do material do leito dentro dos estuários, ou por erosão de afloramentos costeiros pelas variações de marés e ondas. A mistura dessas duas fontes ocorre como resultado da dinâmica de circulação estuarina.

Irion et al., 2014 observou a ocorrência de duas associações de argilominerais no estuário do rio Jaguaribe, fontes marinhas (offshore) e provenientes do rio Jaguaribe. O autor verificou que atualmente, o rio Jaguaribe ainda é um carreador de sedimentos para o estuário e o oceano.

Figura 25. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho CORE 1 do topo a base, coletado estuário do rio Acaraú, CE.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- . CORE 2

O testemunho foi coletado a cerca de 9 km de distância da foz do rio Acaraú, apresentou uma distribuição um pouco mais heterogênea dos argilominerais. Como nas amostras superficiais, a caulinita é o principal e mais abundante argilomineral, seguido de esmectita e ilita (Tabela 9). Foram identificados minerais acessórios como: rutilo, quartzo, pirita e lepidocrocita (Figura 26).

Na profundidade de 2 m observa-se um intenso pico de rutilo, além de pequeno pico de quartzo (3 m e 4 m), provenientes do Grupo Barreiras.

Tabela 9. Distribuição dos argilominerais para o testemunho CORE 2 no estuário do rio Acaraú, CE.

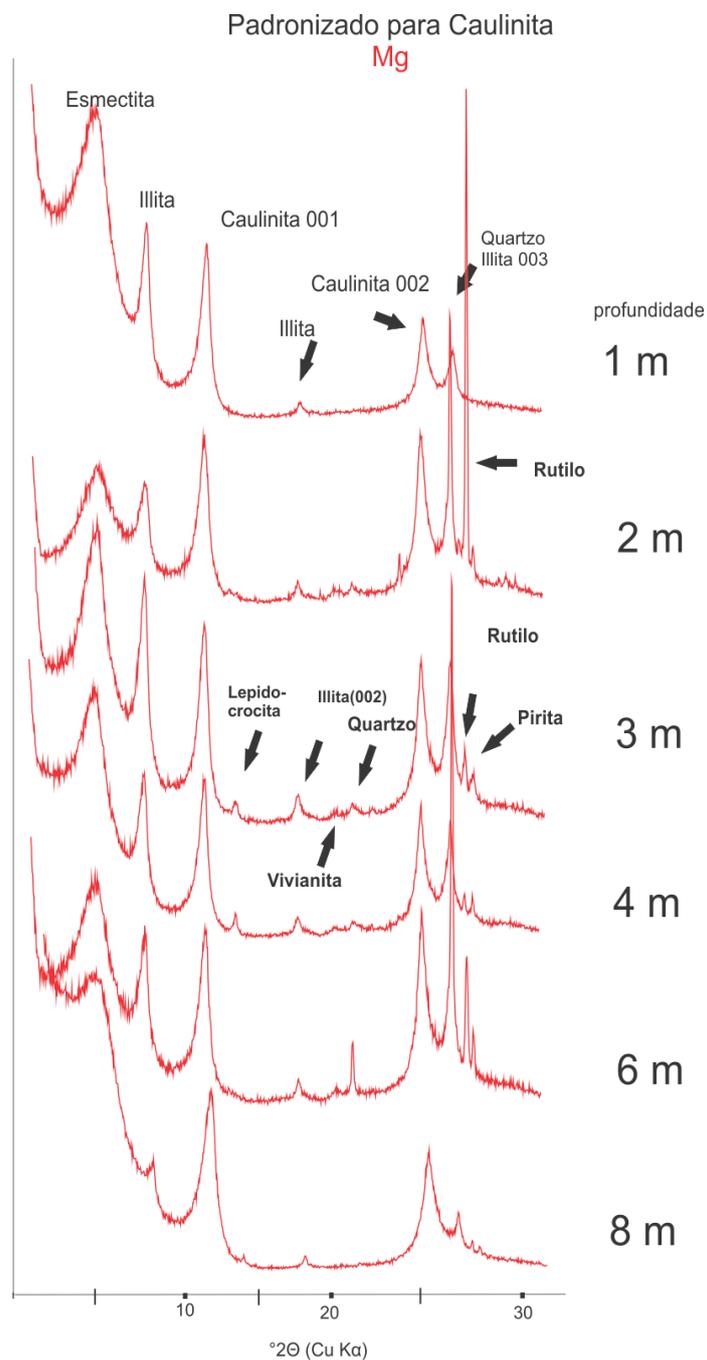
Profundidade	Esmectita %	Ilita%	Caulinita%
1m	30,2	28,4	41,4
2m	29	20,6	50,5
3m	31,4	31,5	37
4m	29,4	27,5	43
6m	30,3	27,2	42,5
8m	13,7	13,2	73,1
Média	27,3	24,7	47,9

Fonte: Próprio autor, 2016.

Solos lateríticos, derivados de rochas graníticas, foram identificados como parte das fontes dos sedimentos do Grupo Barreiras. Contribuições dessas rochas para os manguezais da costa nordeste do Pará são citadas por Behling & Costa (2004). Comparado aos resultados desses autores, os dados apresentados confirmam as importantes contribuições dos sedimentos e solos do Grupo Barreiras para a constituição dos sedimentos lamosos do estuário do rio Acaraú e para a formação dos depósitos de sedimentos de manguezais da costa cearense.

Na profundidade de 8 m, apresenta teor muito alto de caulinita e muito baixo de ilita e esmectita. A base do testemunho (8 m) mostra sedimentos fluviais que foram depositados durante nível do mar mais baixo durante o Pleistoceno e / ou durante o clima úmido que terminou 11.800 A.P. (Behling et al., 2000).

Figura 26. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 μm) do testemunho CORE 2 do topo a base, coletado estuário do rio Acaraú, CE.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Com relação à granulometria, os sedimentos mais grossos foram predominantes em todas as profundidade do testemunho CORE 2 (Tabela 10), variando entre 73,1% e 96,1% para fração >63 μm enquanto que a fração <2 μm compreende o máximo de 11,7%.

Tabela 10. Distribuição granulométrica do testemunho CORE 2.

Profundidade (m)	2-6 μ m %	6-20 μ m %	20-63 μ m%	>63 μ m%
1	2,0	3,2	10,0	73,1
2	1,2	1,8	5,3	84,6
3	0,9	1,1	2,9	93,4
4	0,3	0,6	1,9	96,1
6	1,6	1,9	4,1	83,7
8	1,7	2,3	6,6	79,3
Média	1,3	1,8	5,1	85,0

Fonte: Próprio autor, 2016.

5.1.2 Distribuição granulométrica e mineralógica nos sedimentos do estuário do Coreau

Os testemunhos sedimentares foram coletados no estuário do rio Coreau durante duas campanhas em setembro de 2013 e março de 2015 estão descritos na Tabela 11.

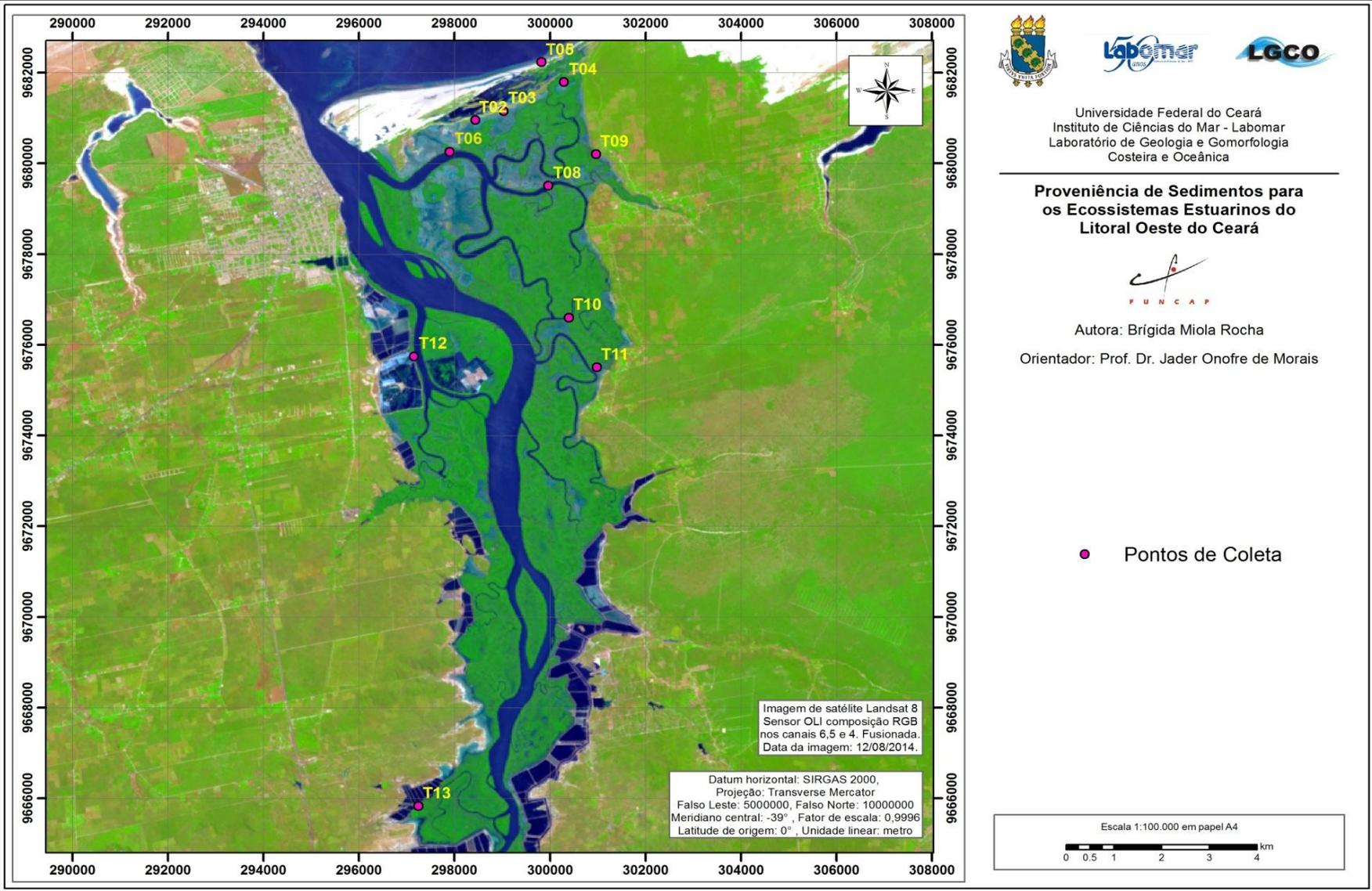
Os argilominerais desempenham importante papel para os sedimentos estuarinos uma vez que eles servem como traçadores das fontes de sedimentos. Normalmente, cada rio e também os sedimentos *offshore* são caracterizados por uma significativa associação de argilominerais (IRION et al., 2014). Nesta seção, encontram-se resultados a cerca da distribuição mineralógica (T04, T07, T08, T09, T11 e T12) e granulométrica dos testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Coreau (Figura 27).

Tabela 11. Testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Coreau
 Fonte: Próprio autor, 2016.

Testemunho	Profundidade (m)	Ambiente costeiro (Localização)	Coordenadas
T02	8	Planície de maré, próximo ao campo de dunas	2° 53.098'S 40° 48.802'O
T03	7	Apicum, próximo ao campo de dunas	2° 52.991'S 40° 48.482'O
T04	1	Salina	2° 52.647'S 40° 47.799'O
T05	7	Diretamente na praia, em área de subfóssil de mangue erodido na zona de estirâncio	2° 52.406'S 40° 48.057'O
T06	6	Área de apicum, no canal de maré a direita da foz	2° 53.477'S 40° 49.096'O
T08	7	Banco do canal de maré na margem a leste da foz do rio Coreau.	2° 53.885'S 40° 47.978'O
T09	3	Área de Mangue, limite leste do estuário	2° 53.510'S 40° 47.440'O
T10	15	Manguezal no canal de maré	2° 55.464'S 40° 47.750'O
T11	4	Fazenda de carcinicultura na margem direito do rio Coreau	2° 59.103'S 40° 47.655'O
T12	7	Fazenda de carcinicultura na margem esquerda da foz do Coreau	2° 55.925'S 40° 49.498'O
T13	3	Mangue próximo a fazenda de carcinicultura	3° 1.307'S 40° 49.461'O

Fonte: Próprio autor, 2016.

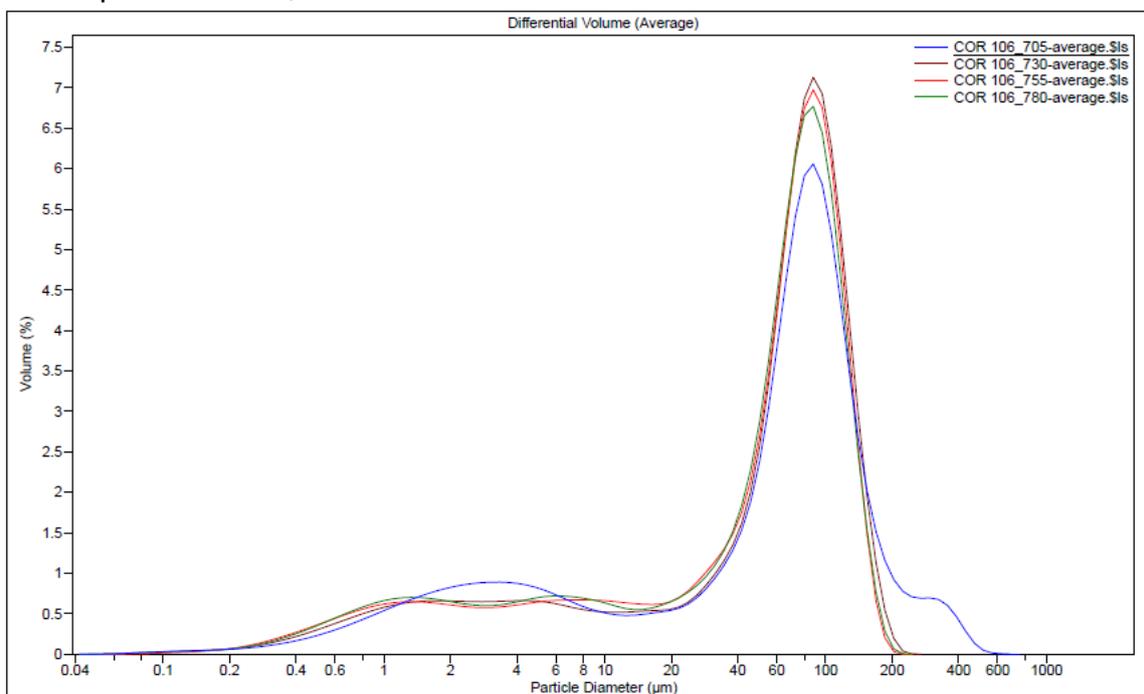
Figura 27. Mapa de localização dos testemunhos sedimentares no estuário Coreaú, CE.



- **T02**

O testemunho T02, foi amostrado em um perfil próximo ao T03, cerca de 600 m de distância, a fim de verificar a observação de solo nesta área. Assim, a testemunhagem foi feita apenas a partir de 7 m de profundidade (700-780 cm). A partir dessa profundidade, já foi possível observar o solo com coloração azulada, porém a granulometria verificada foi mais arenosa. Entre 700-780 cm observa-se uma homogeneidade, com uma curva unimodal com frações entre 40-200 μm (Figura 28).

Figura 28. Distribuição da frequência do tamanho da partícula entre 705 e 780 cm de profundidade, no testemunho T02.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T03**

O testemunho T03 (Tabela 12), foi coletado na área de Apicum ao sul do campo de dunas.

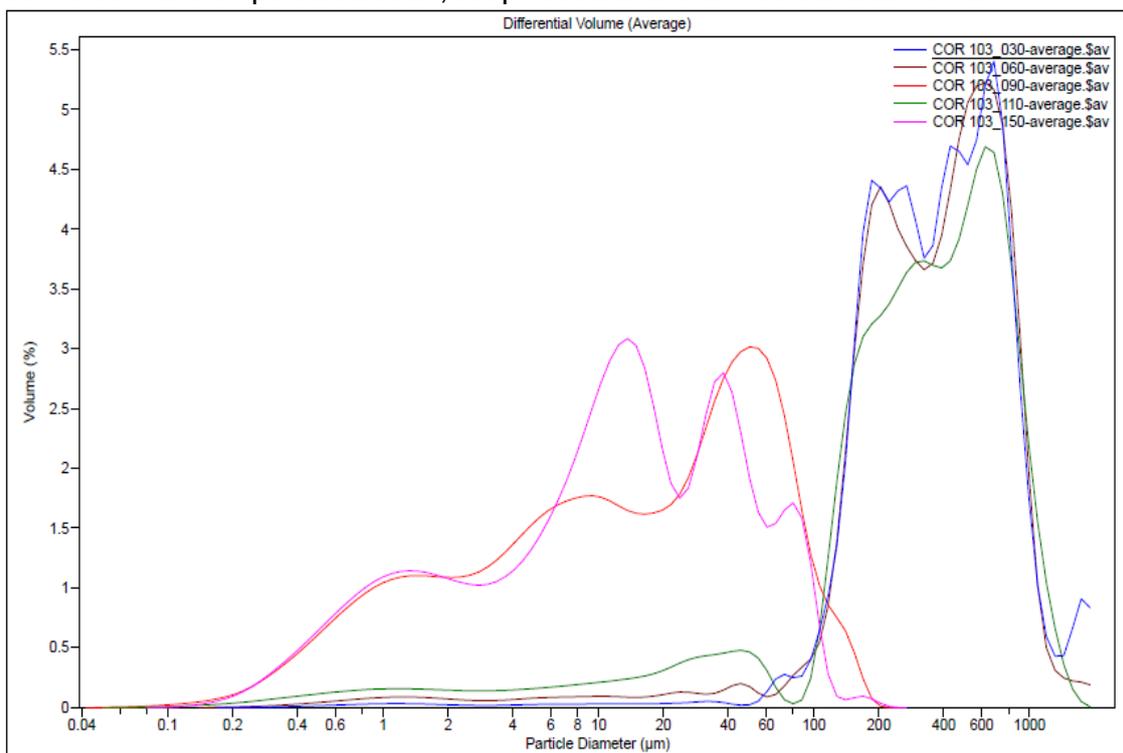
Tabela 12. Descrição textural do testemunho T03, coletado no estuário do rio Coreaú.

Unidade, Zona	Profundidade	Descrição
Unid. 1	0-90 cm	Areia média e areia fina
Transição	90-110 cm	Argila, silte
Unid. 2	110-150 cm	Areia média e areia fina
Unid. 3	150-425 cm	Lama arenosa
Unid.4	425-655 cm	Areia lamosa
Unid. 4	655-700 cm	Argila (solo compactado azulado, com pontos oxidados de Ferro)

Fonte: Próprio autor, 2016.

A granulometria (Figura 29) evidencia uma alternância entre sedimentos finos e arenosos. Entre as profundidades de 30-60 cm observa-se curva bimodal com predominância de sedimentos arenosos, a mesma camada de areia também é descrita em aproximadamente 1 m de profundidade. Em 150 cm observa-se curva unimodal em aproximadamente 60 μ m. Entre 150 cm observa-se novamente uma transição, a unidade é composta por lama com poucas quantidades de areia, esta unidade permanece até 425 cm de profundidade.

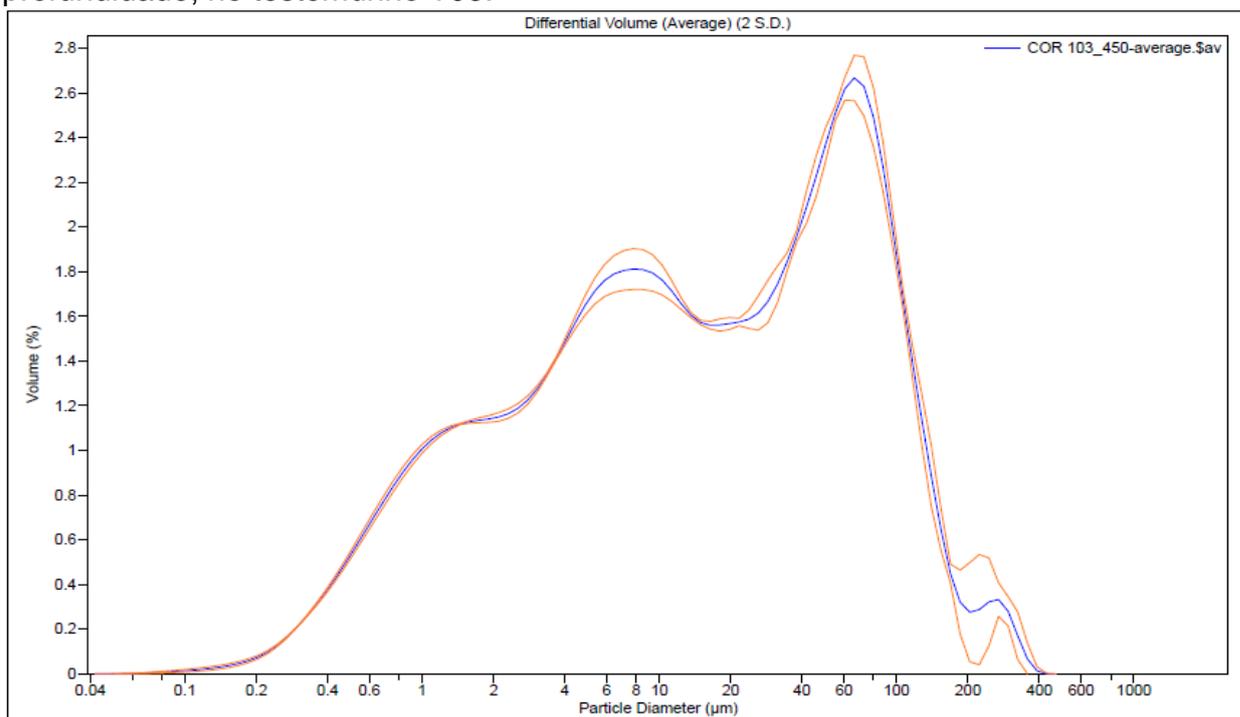
Figura 29. Distribuição da frequência do tamanho da partícula para 30, 60, 90, 110 e 150 cm de profundidade, respectivamente no testemunho T03.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Em 425 cm existe uma nova unidade, dessa vez constituída por sedimentos mais fino e poucas quantidades de areia (lama arenosa). A unidade prevalece até 655 cm de profundidade. Como se pode observar na figura abaixo, a granulometria em 450 cm mostra curva bimodal, com pico maior entre 60 -100 µm e uma curva menor em 6 µm, corroborando com a descrição textural (Figura 30).

Figura 30. Distribuição da frequência do tamanho da partícula 450 cm de profundidade, no testemunho T03.

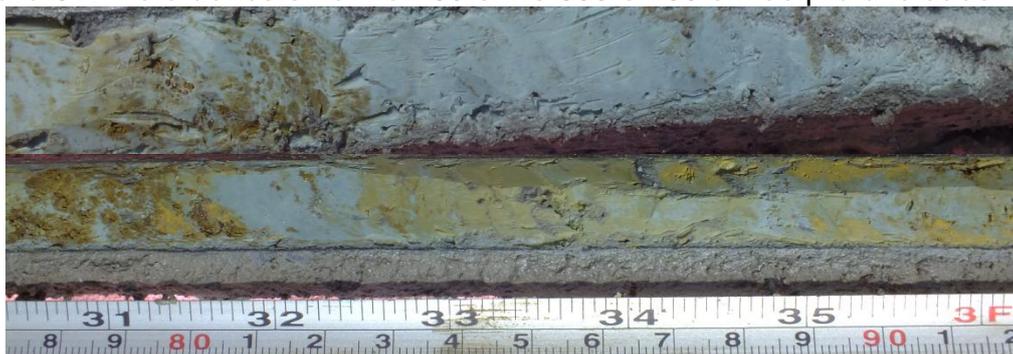


Fonte: Próprio autor, 2016.

Na base do testemunho, a partir de 655 cm até 700 cm, foi verificada uma argila muito compacta de coloração azulada com pontos de redução de ferro (Figura 31). Nesta unidade podemos observar características de solo gleissolo. Estes solos caracterizam-se pela gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbico, com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do terreno por longo período ou durante o ano todo.

O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio causada pelo encharcamento (EMBRAPA, 1999). Provoca, também, a redução e solubilização de ferro, promovendo translocação e re-precipitação dos seus compostos. São encontrados comumente nas várzeas, nas proximidades das desembocaduras dos rios, sob a influência de águas marinhas, são solos oriundos de acumulações flúvio-marinhas e constituem-se de sedimentos argilo-siltosos e arenosos.

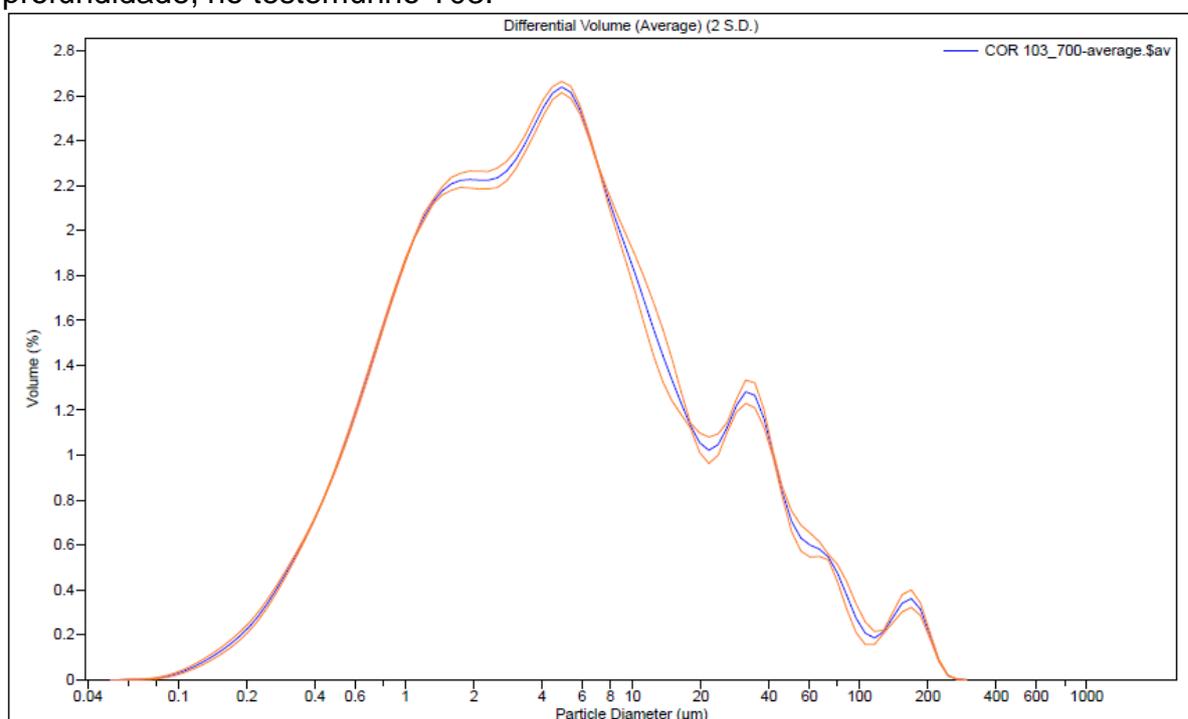
Figura 31. Foto do testemunho T03 entre 655 e 700 cm de profundidade.



Fonte: Próprio autor, 2016.

A granulometria observada nesta unidade caracteriza-se por sedimentos finos (silte e argila), com curva trimodal, verificando curva com maiores valores entre 4-6 μm , menor quantidade de fração de 30 μm e uma pequena curva em 150 μm (Figura 32).

Figura 32. Distribuição da frequência do tamanho da partícula 700 cm de profundidade, no testemunho T03.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T04**

T04 foi coletado na planície estuarina, quase no limite leste do estuário, a cerca de 2 km de distância do campo de dunas. Os principais grupos de argilominerais identificados foram esmectita, ilita e caulinita, porém foram observados outros minerais acessórios como o quartzo e calcita (Figura 33). A caulinita foi o argilomineral mais abundante (58,2%) seguido de ilita (26,3%) e esmectita (15,4%) (Tabela 13).

Tabela 13. Distribuição de argilominerais no testemunho T04, no estuário do rio Coreaú.

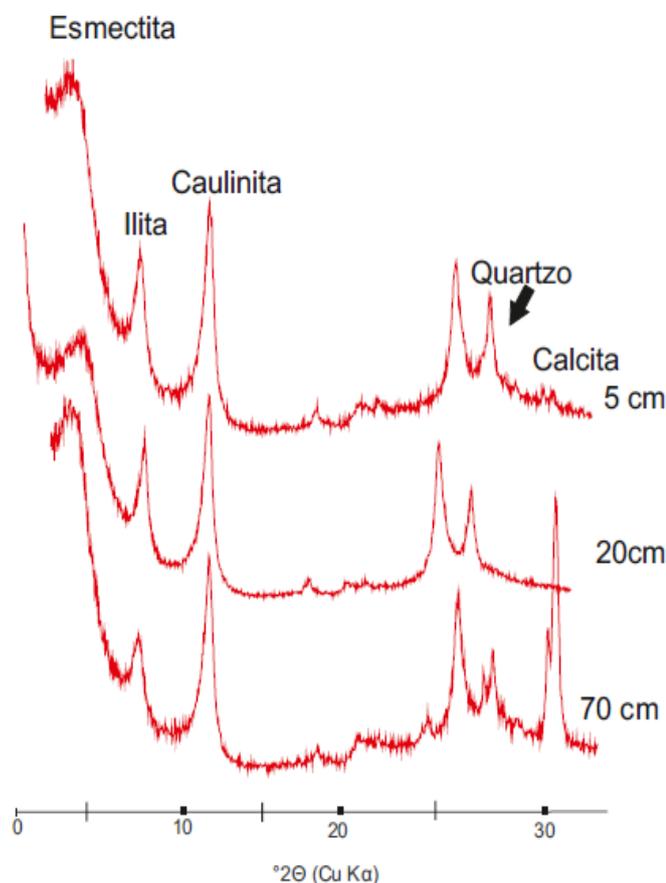
Profundidade	Esmectita	Ilita	Caulinita
	%	%	%
5 cm	12,5	29,3	58,2
20 cm	17,2	30,2	52,6
70 cm	16,7	19,4	63,8
Média	15,4	26,3	58,2

Fonte: Próprio autor, 2016.

Os picos de esmectita apresentam-se bem pequenos em toda profundidade, apresentado picos de caulinita e ilita mais aproximados, essa característica mostra sedimentos de características marinhas, com picos pequenos de esmectita.

A calcita tem sua origem relacionada à ocorrência dos sedimentos carbonáticos ou pode ter também sua origem bioclástica onde se existam bancos de fragmentos bioclásticos. A presença de quartzo em sedimentos estuarinos é derivada fundamentalmente da dispersão mecânica deste mineral através das plumas fluviais, ou da abrasão de águas marinhas diretamente sobre a costa, sendo a contribuição eólica habitualmente acessória.

Figura 33. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 μm) do testemunho T04, coletado no estuário do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

T04 possui 73 cm de profundidade, e a granulometria apresentou-se homogênea, com predomínio de sedimentos >63 μm , porém nos primeiros 5 cm esse teor foi maior do que 70%. Nas outras profundidades observou-se ainda pouca quantidade de sedimento argiloso (<2 μm), com teores maiores que 50% de areia (Tabela 14).

Tabela 14. Distribuição granulométrica no testemunho T04, no estuário do rio Coreaú.

C05	<2 μm	2-6 μm	6-20 μm	20-63 μm	>63 μm
	%	%	%	%	%
5 cm	8,7	1,8	3,5	14,2	71,8
20 cm	17,7	6,8	8,2	15,8	51,5
70 cm	10,1	6,0	4,1	21,6	58,3

Média	12,1	4,9	5,3	34,4	60,5
--------------	------	-----	-----	------	------

Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T05**

O testemunho T05 foi coletado na zona de praia, a leste da foz do rio Coreau, nesta área são observado depósitos de paleomangue dispostos na zona de estirâncio (Figura 34).

A testemunhagem neste ponto foi feita a fim de verificar a existência do mesmo solo encontrado no testemunho T03 e T04. Assim foi feito um furo até a profundidade de 4 m e após em 7 m, o solo foi verificado apenas na profundidade de 7 m (700-720 cm).

Figura 34. Foto da área de coleta do testemunho T05.



Fonte: Próprio autor, 2016.

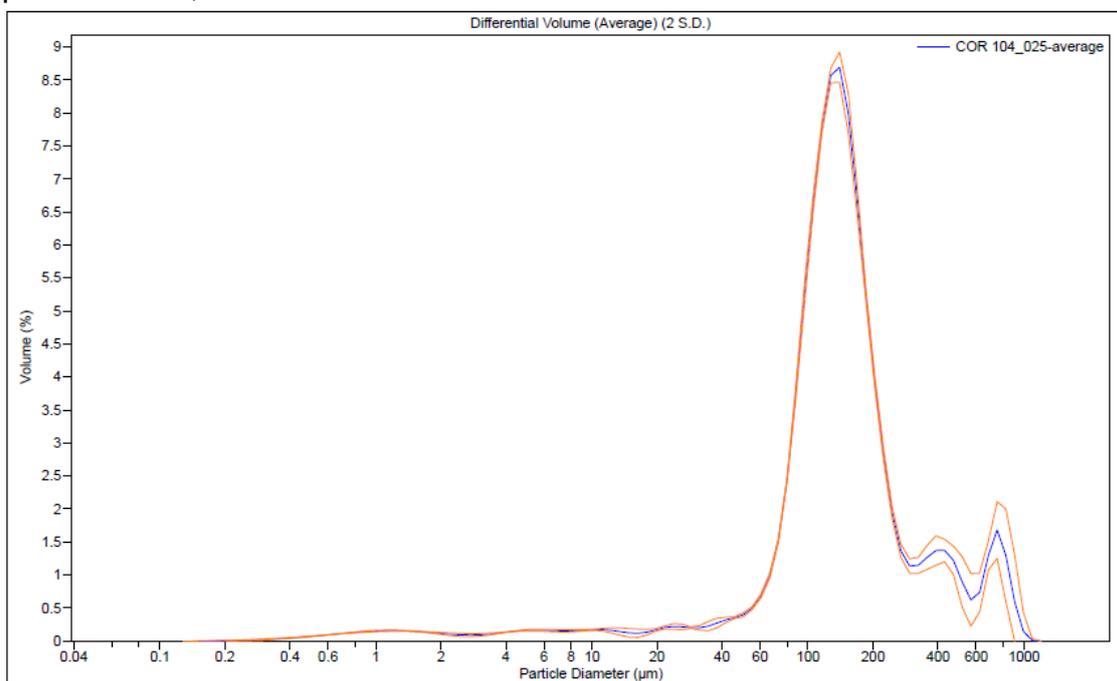
Para as duas unidade observadas no testemunho (Tabela 15), a granulometria entre 0-300 cm (amostrado em 25 cm) apresenta curva bimodal, com teores altos entre 60-200 μm e curva menos entre 600-1000 μm (Figura 35).

Tabela 152. Descrição textural do testemunho T05.

Profundidade (cm)	Descrição
0-300	Areia media e areia fina com fragmentos de conchas
300-400	Lama (sedimento típico de mangue) com cascalhos fluviais

Fonte: Próprio autor, 2016.

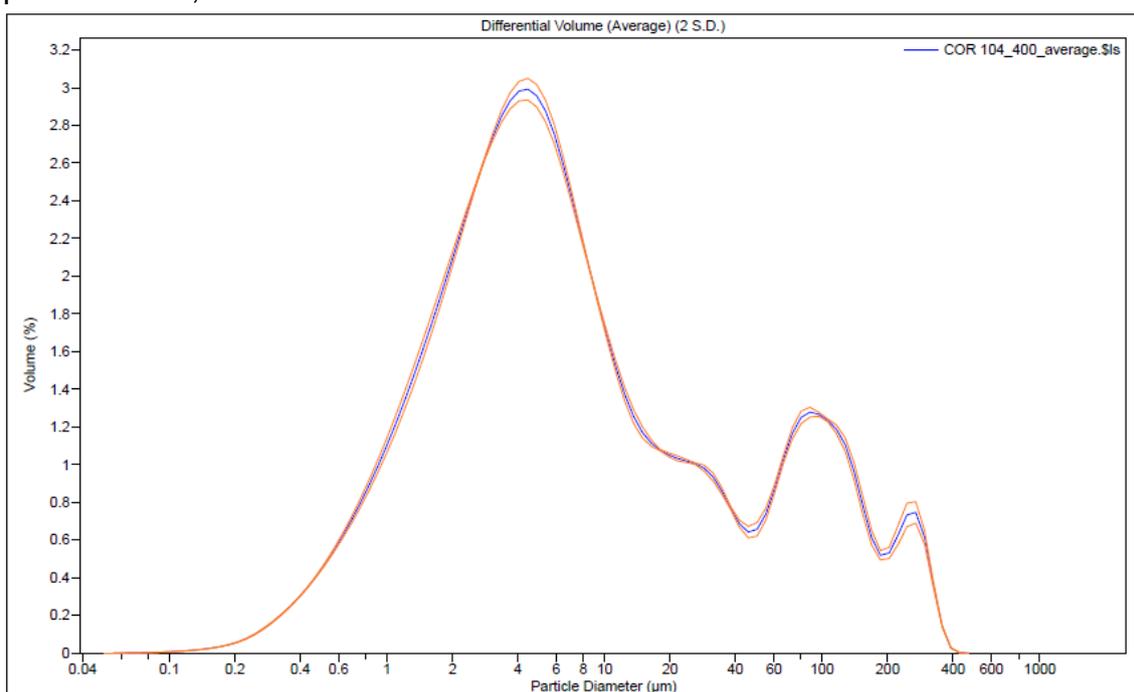
Figura 35. Distribuição da frequência do tamanho da partícula em 25 cm de profundidade, no testemunho T05.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Verifica-se (Figura 36) em 400 cm uma curva trimodal, porém com maiores quantidade de frações entre 2-10 μm e menores valores em 100 e 300 μm .

Figura 36. Distribuição da frequência do tamanho da partícula 400 cm de profundidade, no testemunho T05.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T06**

O testemunho T06 foi coletado na área de apicum, acima do canal fluvial, na margem direita da foz do rio Coreaú. As áreas de apicum recobrem áreas mais baixas entre a planície de maré lamosa e a terra firme, contornando assim, grande parte do estuário do rio Coreaú (Tabela 16).

Tabela 16. Descrição textural do testemunho T06, coletado no estuário do rio Coreaú.

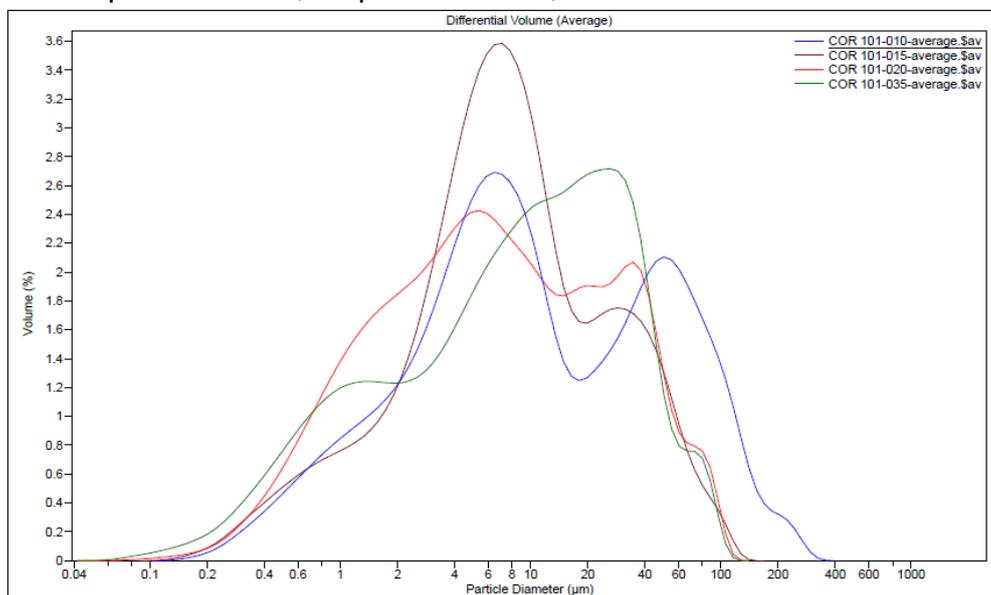
Unidade, Zona	Profundidade	Descrição
Unid. 1	0-20 cm	Argila e silte de coloração marrom
Unid. 2	20-300 cm	Lama acinzentada- Fragmentos de matéria orgânica vegetal em 107 cm e 182 cm; Fragmentos de conchas em 210 cm

Unid. 3	300-500	Lama com pouca areia fina e fragmentos de conchas em 420 cm
Unid. 4	500-600	Lama com areia fina, conchas bivalve (articulada) em 588 e 52 cm

Fonte: Próprio autor, 2016.

Para o testemunho T06, pode observado as curvas de distribuição de frequência da granulometria das amostras na base do testemunho, para 10, 15, 20 e 35 cm de profundidade. Para 10, 15 e 20 cm de profundidade observa-se o mesmo modo de distribuição, uma curva bimodal, com picos em aproximadamente 6 e 50 μm para 10 cm e picos em 6 30 μm para 15e 20 cm de profundidade. Em 35 cm a curva apresenta-se diferente, com apenas um pico maior em 25 μm (Figura 37).

Figura 37. Distribuição da frequência do tamanho da partícula para 10, 15, 20 e 35 cm de profundidade, respectivamente, no testemunho T06.

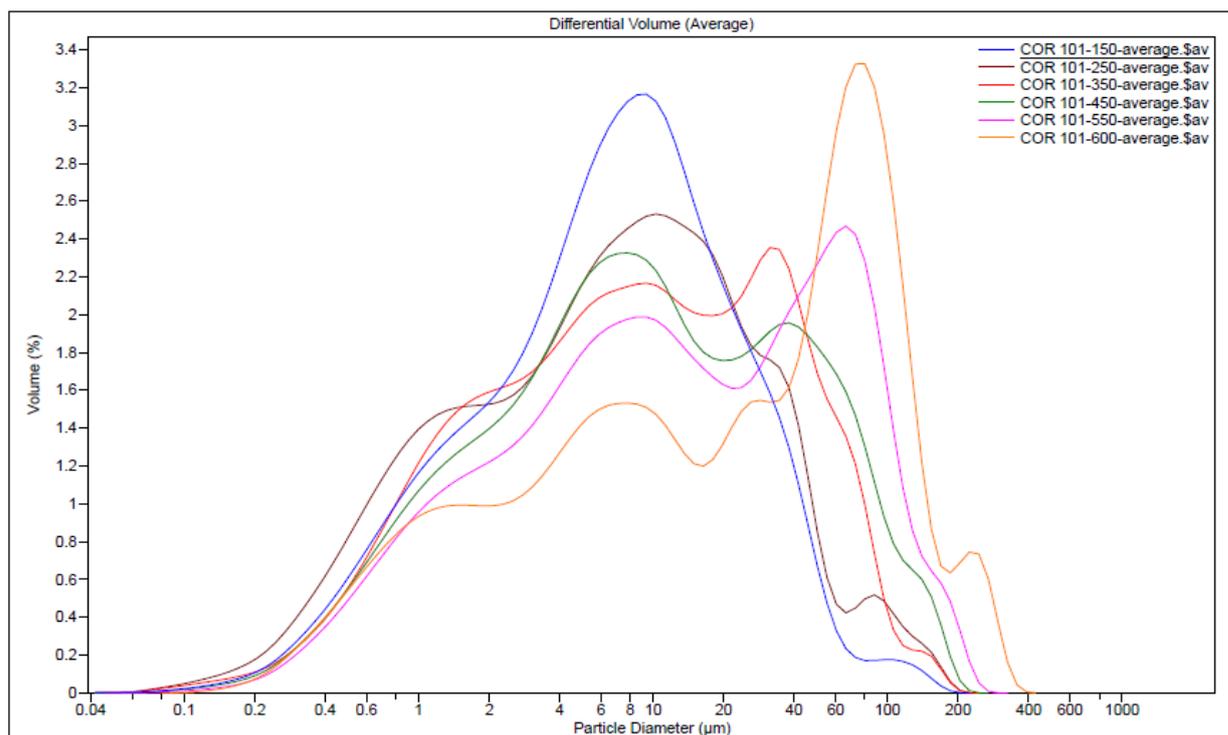


Fonte: Próprio autor, 2016.

Curvas de distribuição da frequência do tamanho da partícula também foram feitas para 150, 250, 350, 450, 550 e 600 cm de profundidade (Figura 38). Em 150 e 250 observa-se uma curva unimodal com pico em aproximadamente 10 μm . Nas profundidades 350, 450 e 550 cm verifica-se

curva bimodal com picos em 9 e 35, 7 e 40, 7 e 60 μm respectivamente. Já em 600 cm aparecem três picos, ou seja, uma curva trimodal, porém com picos semelhantes as outras profundidade, em 7, 70 e aproximadamente 250 μm , porém este ultimo apresenta quantidade menores.

Figura 38. Distribuição da frequência do tamanho da partícula para 150, 250, 350, 450, 550 e 600 cm de profundidade, respectivamente no testemunho T06.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T08**

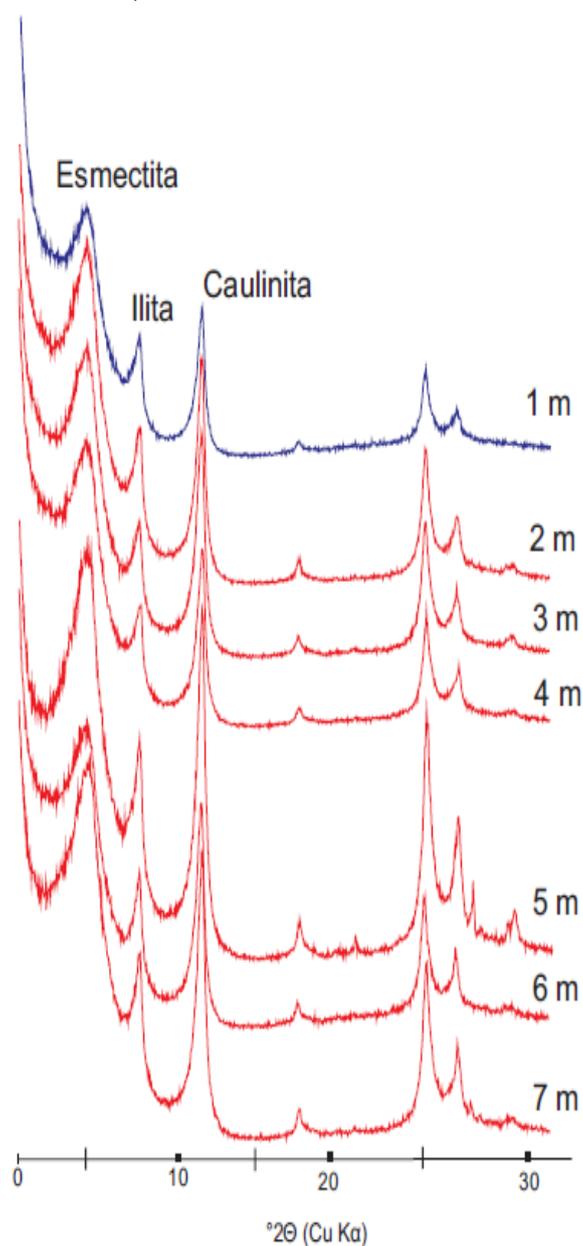
T08 foi coletado na planície lamosa (manguezal) do canal fluvial, na margem direita da foz do rio Coreaú. A distribuição de argilominerais (Figura 39) se apresentou bastante homogênea em toda profundidade (Tabela 17), sendo a caulinita o argilomineral mais abundante, variando de 52,3 a 57,6%, seguido de esmectita (22,3 a 33,4%) e ilita (14,0 a 21,6%).

Tabela 17. Distribuição de argilominerais no testemunho T08, no estuário do rio Coreau

Profundidade	Esmectita	Ilita	Caulinita
	%	%	%
1m	25,0	21,6	53,5
2m	30,5	17,2	52,3
3m	26,5	16,0	57,6
4m	27,7	17,0	55,2
5m	30,0	17,0	53,0
6m	22,3	21,0	56,7
7m	33,4	14,0	52,7
Média	27,9	17,7	54,4

Fonte: Próprio autor, 2016.

Figura 39. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho sedimentar T08, coletado no estuário do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Com relação a granulometria dos sedimentos, T08 apresentou até 5 m de profundidade predominância de sedimentos finos (<2µm), a partir de 4 m observa-se uma mistura maior de sedimentos finos e arenosos. Na base do testemunho (7 m) predominam-se os sedimentos arenosos (>63µm) com mistura de sedimentos argilosos (Tabela 18).

Tabela 18. Distribuição granulométrica no testemunho T08, no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	<2μm	2-6μm	6-20μm	20-63μm	>63μm
	%	%	%	%	%
1m	54,6	5,2	8,2	25	7,1
2m	49,1	6,1	7,7	28,1	8,9
3m	56,8	6,4	8,6	21,5	6,8
4m	32,4	4,2	5,1	25,7	32,6
5m	46,2	6,7	6,9	23,4	16,8
6m	26,4	3,8	4,2	27,9	37,6
7m	33,9	4,5	5	15,4	41,2
Média	42,8	5,3	6,5	23,9	21,6

Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T09**

O testemunho T09 foi coletado no limite leste do estuário, ainda em área de mangue. A fração mineralógica apresentou maiores teores de caulinita em toda a profundidade (Figura 40). O primeiro metro de profundidade do testemunho apresentou baixos teores de esmectita (6%) no início, ilita e caulinita tiveram os respectivos teores (39% e 55%), na profundidade de 2 m verificou-se uma diminuição nos teores de ilita e uma predominância da caulinita até a base do testemunho, apresentando média de 95% de caulinita e baixos teores de ilita (5%) (Tabela 19).

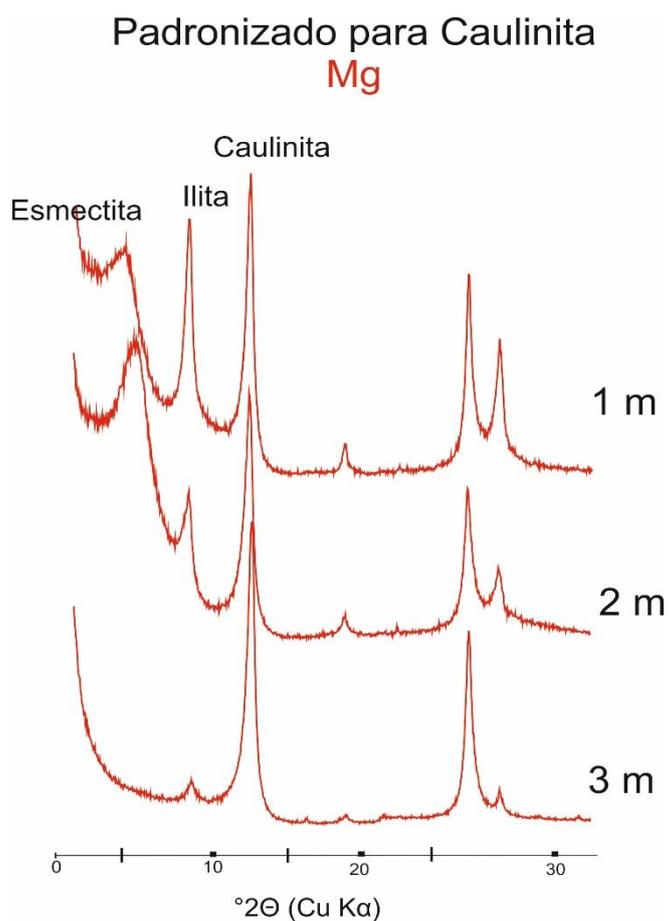
Tabela 19. Distribuição granulométrica no testemunho T09 no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	<2μm	2-6μm	6-20μm	20-63μm	>63μm
	%	%	%	%	%
1 m	10,8	1,2	1,9	10,2	75,9
2m	37,2	3,8	5,3	3,8	49,9
3m	22,8	3,1	6,1	4,3	63,6
Média	23,6	2,7	4,4	6,1	63,2

Fonte: Próprio autor, 2016.

Com relação à granulometria, o primeiro metro de profundidade do testemunho é o que apresenta a maior quantidade da fração areia (>63 μm), cerca de 75%, diminuindo esses teores na profundidade de 2 m com aproximadamente 50%, desta fração e na base 63% de fração arenosa (Tabela 19).

Figura 40. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 μm) do testemunho sedimentar T09, coletado no estuário do rio Coreau.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T10**

O testemunho T10 possui 15 m de profundidade apresentando caulinita como argilomineral mais abundante desde o topo até a base do testemunho

(média de 61,9%). Porém, até a profundidade de 2 m os teores de ilita foram maiores quando comparados aos de esmectita (Tabela 20).

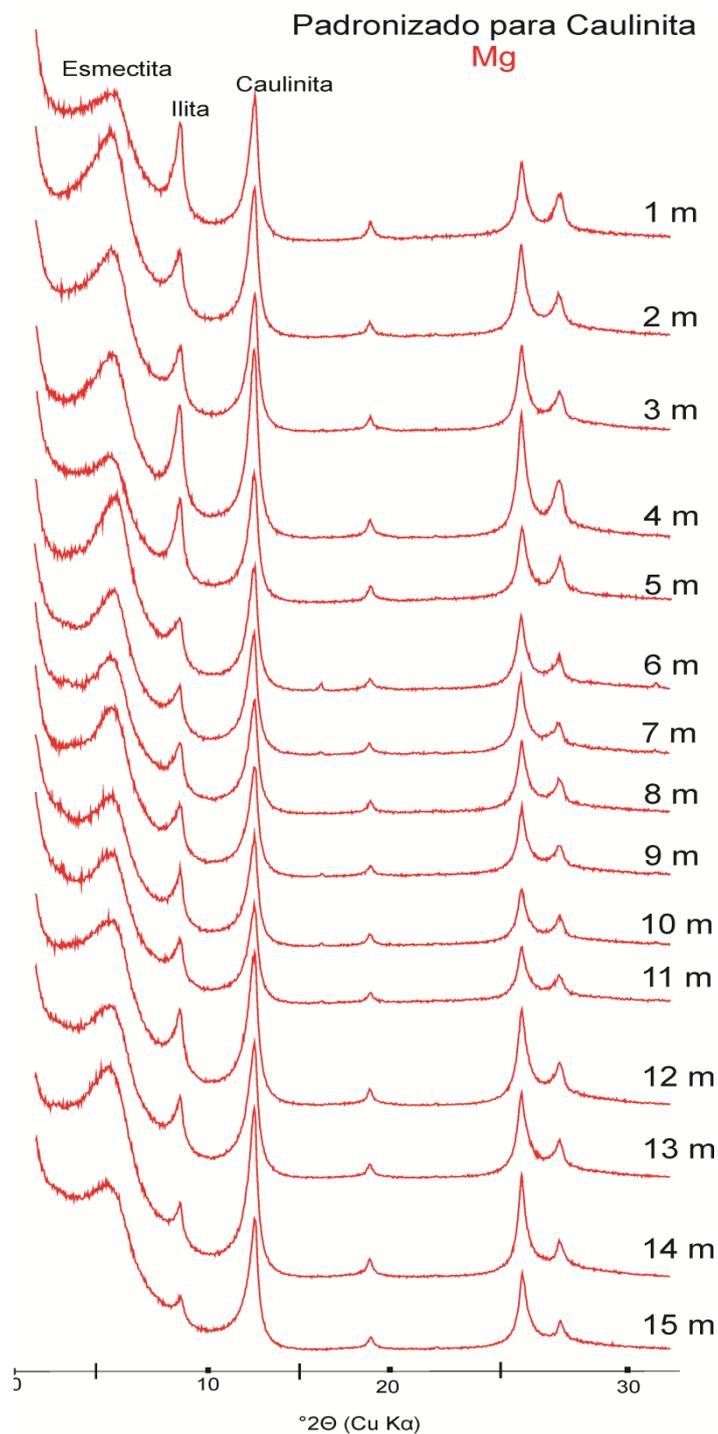
Entre 3 e 9 m os picos de esmectita foram maiores que os de ilita, a partir de 10 até 12 m novamente apresentam-se teores altos de ilita, e na base do testemunho os teores de ilita apresentaram-se bem baixos 7,7% e 9,7%, em 14 e 15 m respectivamente, nessas profundidade os teores de caulinita foram os que apresentaram os maiores teores em todo o testemunho (71,9% e 77,6%) (Figura 41).

Tabela 20. Distribuição de argilominerais no testemunho T10 no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	Esmectita	Ilita	Caulinita
	%	%	%
1m	11,0	29,8	59,2
2m	18,3	24,9	56,9
3m	29,3	13,9	56,9
4m	23,6	16,5	59,9
5m	34,2	11,2	54,6
6m	25,0	14,5	60,5
7m	20,2	16,8	63,0
8m	26,2	16,9	56,9
9m	24,6	16,0	59,4
10m	19,3	21,3	59,4
11m	14,9	18,8	66,3
12m	16,6	18,9	64,5
14m	20,4	7,7	71,9
15m	12,7	9,7	77,6
Média	21,2	16,9	61,9

Fonte: Próprio autor, 2016.

Figura 41. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 μm) do testemunho sedimentar T10.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Com relação à granulometria dos sedimentos, T10 apresentou em todas as profundidades a predominância de sedimentos finos, variando de 63,2% até 87% de sedimentos <2 μm , os sedimentos grossos (>63 μm) mostraram-se

presentes, porém em pequena quantidade apenas na base do testemunho, entre 14 e 15 m de profundidade (Tabela 21).

Tabela 21. Distribuição granulométrica no testemunho T10, no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	<2μm %	2-6μm %	6- 20μm %	20- 63μm %	>63μm %
1m	63,2	6,4	9,0	20,3	1,1
2m	73,9	4,3	7,8	13,3	0,7
3m	73,8	5,4	9,8	10,2	0,9
4m	78,9	4,1	8,2	8,9	0,0
5m	79,9	4,9	6,3	9,0	0,0
6m	84,1	6,1	5,2	4,5	0,1
7m	87,0	6,8	4,8	1,4	0,0
8m	83,8	7,7	4,4	4,1	0,0
9m	83,6	8,2	4,9	3,3	0,0
10m	86,0	7,8	4,4	1,8	0,0
11m	80,9	6,4	7,7	7,7	0,0
12m	79,4	6,2	7,7	6,7	0,0
13m	80,2	6,8	7,8	5,1	0,0
14m	70,2	5,2	6,4	8,1	10,1
15m	68,7	6,5	6,5	8,0	10,4
Média	78,2	6,2	6,7	7,5	1,6

Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T11**

A granulometria de T11 apresentou em sua maioria grande quantidade de lama (silte e argila). O 1m de profundidade apresentou menor quantidade de fração fina (<2 μ m), variando de 38,6%, seguindo para a profundidade de 2 m que apresentou-se semelhante, com uma grande quantidade de sedimento fino com aproximadamente 75%. Em 3 m continuou com o predomínio das frações mais finas (70%), e essa diminuição dos teores de finos continuou na

base do testemunho aumentando assim os teores da fração mais grossa (Tabela 22).

O testemunho T11 foi amostrado 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, fato que pode ter contribuído para os altos teores de sedimentos finos. 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 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 (LACERDA et al., 2006).

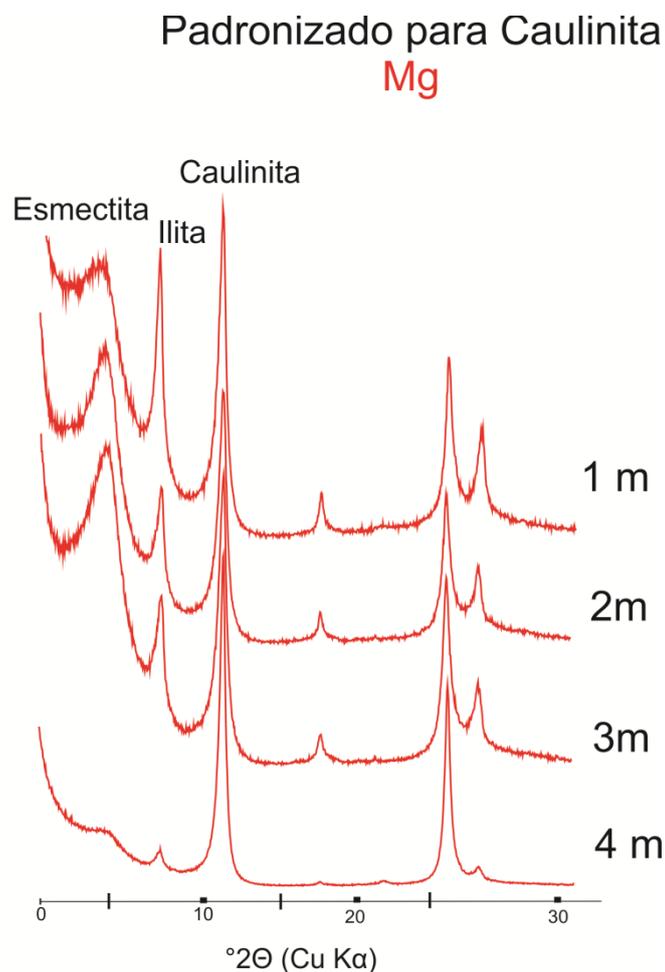
Tabela 22. Distribuição granulométrica no testemunho T11, no estuário do rio Coreáú.

Profundidade	%<2μm	%2-6μm	%6-20μm	%20-63μm	%>63μm
1 m	38,6	5,3	8,2	16,5	31,4
2 m	74,8	8,7	9,5	5,9	1,1
3 m	70,2	8,3	11,8	7,6	2,0
4 m	53,8	7,0	8,5	6,5	24,1
Média	59,4	7,3	9,5	9,1	14,7

Fonte: Próprio autor, 2016.

T11 apresentou-se semelhante a T10, houve uma predominância dos teores de caulinita em toda a profundidade do testemunho. O TOPO iniciou com baixos teores de esmectita (7%), 37% de illita e 56% de caulinita aumentando os teores de esmectita com a profundidade e diminuindo os teores de illita. Em 2 m de profundidade, observou-se teores médios dos argilominerais: 25% de esmectita, 18% de illita e 58% de caulinita. Já em 4 m do testemunho teve uma diminuição nos teores de illita (8%), não havendo também a presença de esmectita, predominando os teores de caulinita (92%). Esse sedimento tem proveniência do Grupo Barreiras (Figura 42).

Figura 42. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 μm) do testemunho sedimentar T11, coletado no estuário do rio Coreau.



Fonte: Próprio autor, 2016.

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.

- **T12**

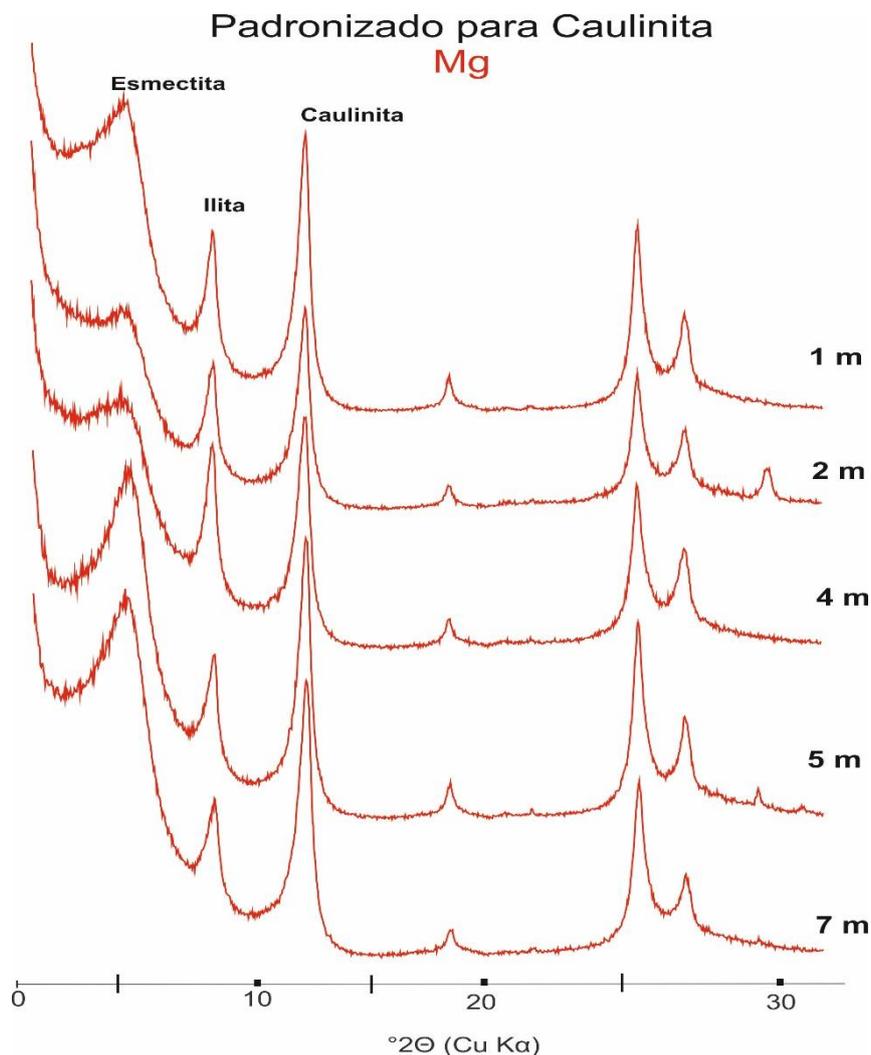
No testemunho T12, coletado na margem esquerda da foz do rio Coreaú, próximo a cidade de Camocim, a Caulinita foi o argilomineral mais abundante em todas as profundidades (média de 56,1%). Até 405 cm de profundidade os picos e teores de esmectita foram pequenos, observando pico de illita maiores e teores de quase 35% (Tabela 23). A base do testemunho, em 4 e 6 m de profundidade, a sequencia observado são picos mais intenso de esmectita comparados aos picos de illita (Figura 43).

Tabela 23. Distribuição de argilominerais no testemunho T12, no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	Esmectita %	Ilita %	Caulinita %
1 m	14,7	25,9	59,4
2 m	9,4	30,7	60,0
4 m	11,1	34,8	54,1
5 m	28,6	18,7	52,7
7 m	26,7	18,9	54,4
Média	18,1	25,8	56,1

Fonte: Próprio autor, 2016.

Figura 43. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 μm) do testemunho T12, coletado no estuário do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Nos primeiros 5 cm do testemunho, observa-se altos teores de sedimentos finos (<2 μm) (teores de 56,5%) com um pouco de areia fina e média. Após essa profundidade verifica-se a predominância de frações de areia, com teores de até 84,4% >63 μm , na profundidade de 4 m. A fração mais grossa predomina no testemunho, com uma média de 44,4% (Tabela 24).

Tabela 24. Distribuição de argilominerais no testemunho T12, no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	<2μm	2-6μm	6-20μm	20-62μm	>63μm
	%	%	%	%	%
0-5 cm	56,5	6,4	11,5	19,7	6,0
100 cm	32,0	5,8	8,1	31,2	23,0
405 cm	16,5	1,7	2,8	6,3	72,7
490 cm	8,6	1,3	2,6	3,0	84,4
500 cm	32,4	2,8	6,0	23,1	35,7
Média	29,2	3,6	6,2	16,7	44,4

Fonte: Próprio autor, 2016.

- **T13**

O testemunho T13, apresentou em 1 m elevados teores de caulinita e médio de illita comparados aos teores de esmectita (Tabela 25). A partir de 2 m de profundidade os teores de illita foram menores comparados aos de esmectita (Figura 44).

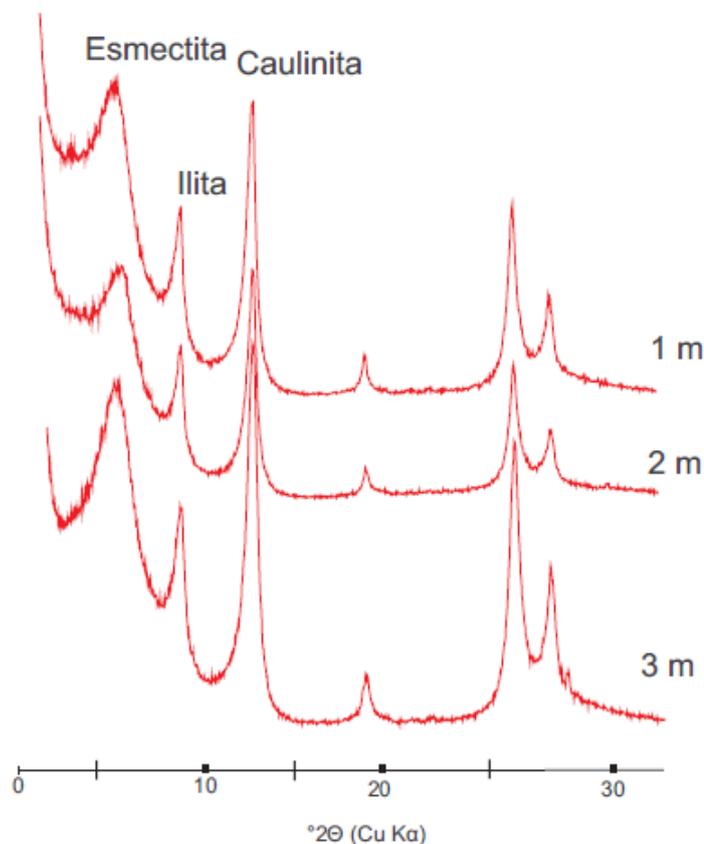
Tabela 25. Distribuição de argilominerais no testemunho T13, no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	Esmectita	Ilita	Caulinita
	%	%	%
1m	13,7	26,6	59,7
2m	17,2	17,2	60,1
3m	25,4	17,9	56,7
Média	18,8	20,6	58,8

Fonte: Próprio autor, 2016.

T13 foi coletado mais ao sul da foz do estuário e apresenta semelhança de teores de argilominerais dos testemunhos coletados próximo a foz do estuário, sendo observado na base do testemunho os teores mais elevados de illita.

Figura 44. Diagrama de difratometria de raio-x da fração fina (<2 µm) do testemunho T13, coletado no estuário do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

A granulometria em T13 (Tabela 26) mostrou-se bastante diferente nos três metros de profundidade, na profundidade 1 m mais de 65% é de sedimento fino (<2µm), já em 2 m os sedimentos grosseiros foram predominantes, maiores que 66% e novamente aumentam-se os valores de sedimentos finos em 3 m de profundidade (52,8%).

Tabela 26. Distribuição granulométrica dos sedimentos do testemunho sedimentar T13, no estuário do rio Coreaú.

Profundidade	<2µm %	2-6µm %	6-20µm %	20-63µm %	>63µm %
1m	65,1	9,8	13,1	11,1	1,0
2m	18,6	4,4	4,7	5,5	66,7
3m	52,8	7,6	8,9	8,0	22,7
Média	45,5	7,3	8,9	8,2	30,1

Fonte: Próprio autor, 2016.

Com relação à composição dos argilominerais presentes nos ecossistemas estuarinos estudados observaram-se condições geoquímicas semelhantes nos dois estuários. Os principais argilominerais identificados em ambos estuários foram: esmectita, caulinita e illita.

Os minerais alóctones encontrados nos manguezais 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.

A assembleia mineralógica da fração fina no manguezal reflete a importância das áreas continentais para esses ambientes costeiros. 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 principalmente três padrões de diferentes fontes dos argilominerais na área estudada.

A caulinita provavelmente é erodida do Grupo Barreiras. 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. (2007), 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 (ressilicatização 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 illita nos solos das áreas fontes sendo transportadas pelos rios até os manguezais do 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).

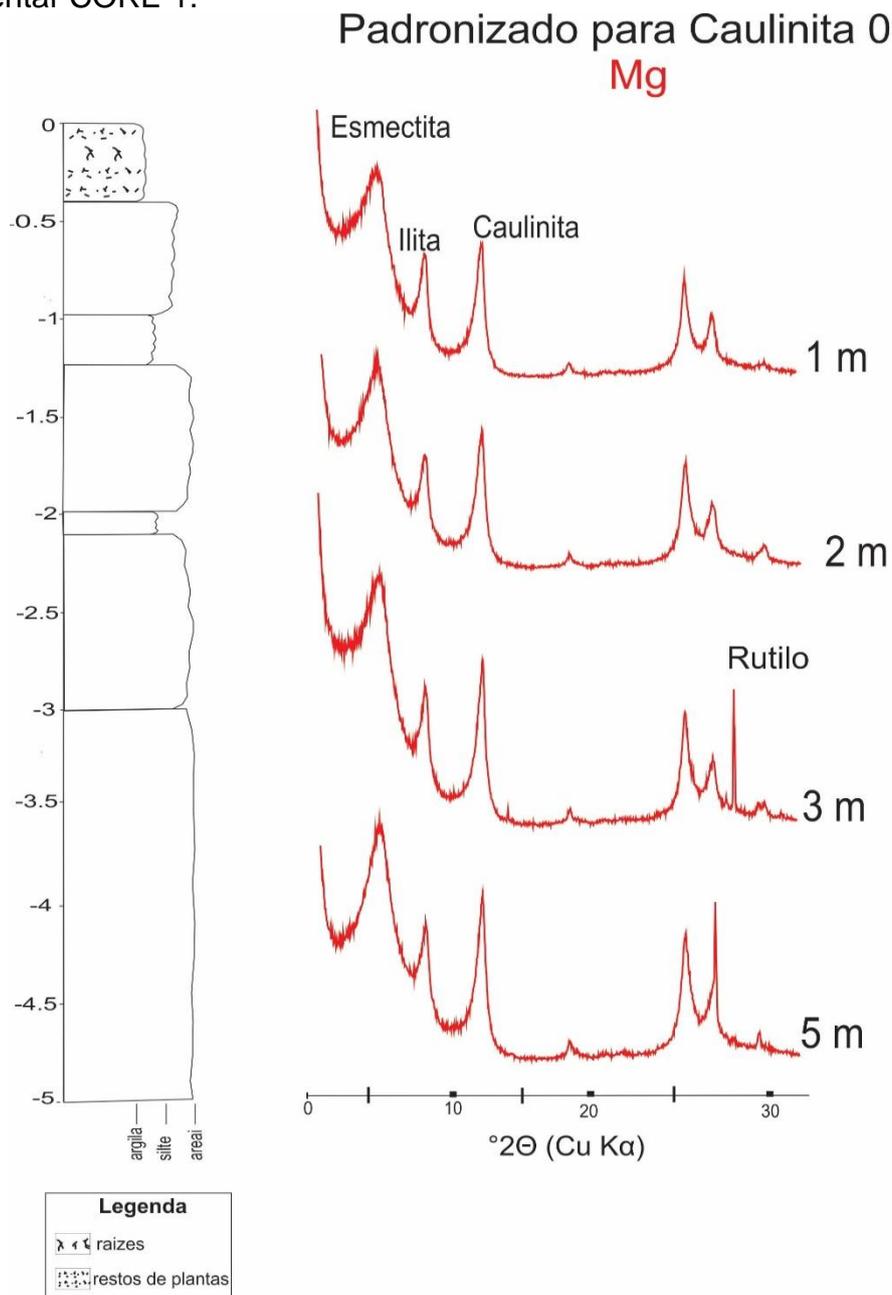
A granulometria dos sedimentos mostrou a diversificação do tamanho dos grãos nos dois estuários estudados, havendo camadas com grande quantidade de silte e argila e camadas formadas basicamente de grãos mais grossos. Essas alterações nos padrões de deposição mostram ainda que existem alterações na dinâmica do estuário, em que períodos de grande energia são seguidos por períodos de baixa capacidade de transporte de sedimento, além da influência das fontes de sedimentos para esses ecossistemas.

5.2 Proveniência de sedimentos para os estuários do Acaraú e Coreauá, CE.

5.2.1 Proveniência de sedimentos para o estuário do Acaraú

Na planície estuarina do Acaraú, onde os resultados das análises mineralógicas são levados em consideração, ocorrem dois tipos principais de sequências de argilominerais: os sedimentos que são fornecidos pelo rio Acaraú mostram uma carga baixa de esmectita, em contraste, os sedimentos com procedências marinhas apresentam um conteúdo elevado de esmectita (Figuras 45 e 46).

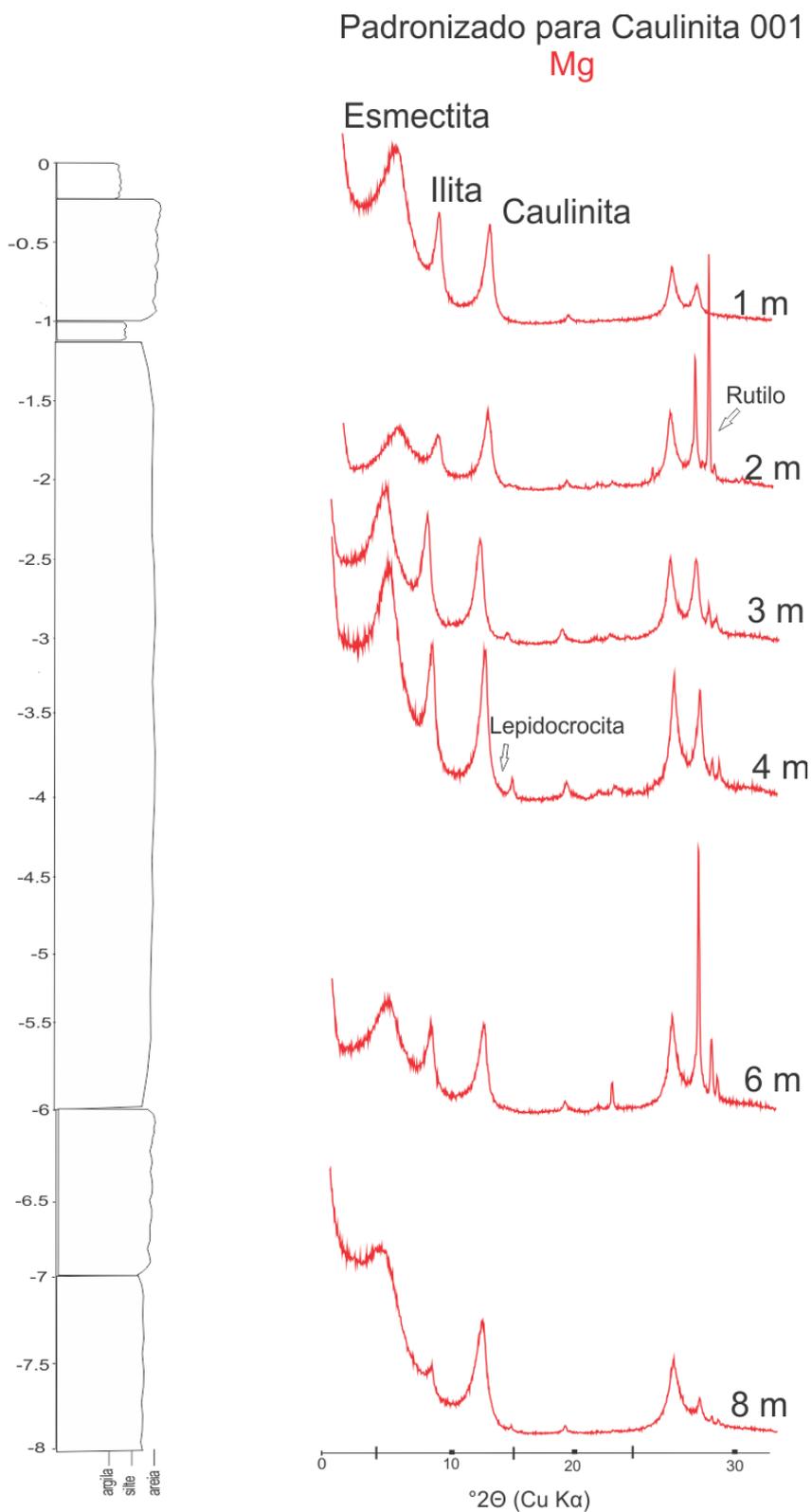
Figura 45. Descrição litológica e drx da fração argila dos testemunhos sedimentar CORE 1.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Para melhor identificação dos sedimentos provenientes do rio Acaraú, foram coletadas amostras no leito do rio, distantes cerca de 15 km da cidade de Bela Cruz. Foram coletados sedimentos em cima de um terraço, quando a vazão do rio Acaraú está elevada e outra amostragem para as condições baixo fluxo hídrico.

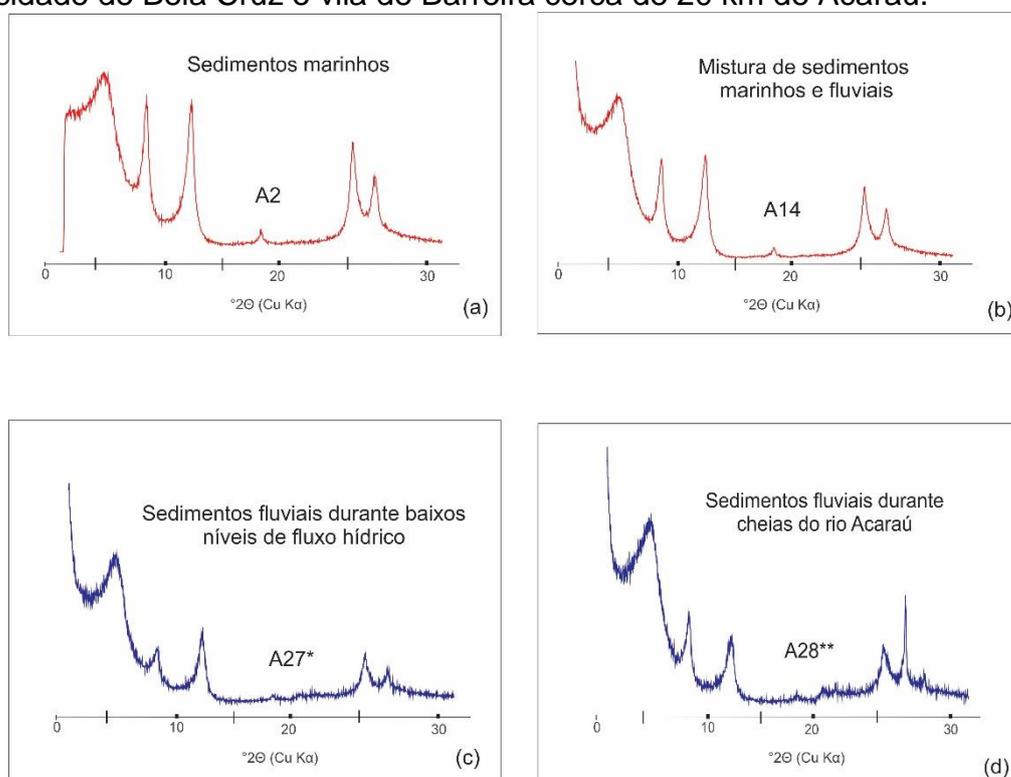
Figura 46. Descrição litológica e drx da fração argila do testemunho sedimentar CORE 2



Fonte: Próprio autor, 2016.

O rio Acaraú, em condições de baixo fluxo transporta sedimentos cuja fração $<2\mu\text{m}$ é formada por baixos teores de esmectita e illita em comparação a quantidade mais elevadas de caulinita (Figura 47). Sedimentos transportados durante menor escoamento de água do rio são ricos em baixa carga de esmectita e também de illita. A caulinita está presente em quantidades médias (Figura 47-c). Os sedimentos provenientes do mar são ricos em esmectita de alta carga, contêm pequenos valores de illitas e maiores quantidades de caulinita (Figura 47-a).

Figura 47. XRD das frações finas ($<2\ \mu\text{m}$) de sedimentos de superfície próximo a cidade de Bela Cruz e vila de Barreira cerca de 20 km de Acaraú.



*Amostra coletada no rio Acaraú na ponte da cidade de Bela Cruz ~15Km ao sul da amostra A26.

** Amosta coletada no mesmo local da A27 mas no topo de um terraço de 3 metros de altura acima do nível baixo da água.

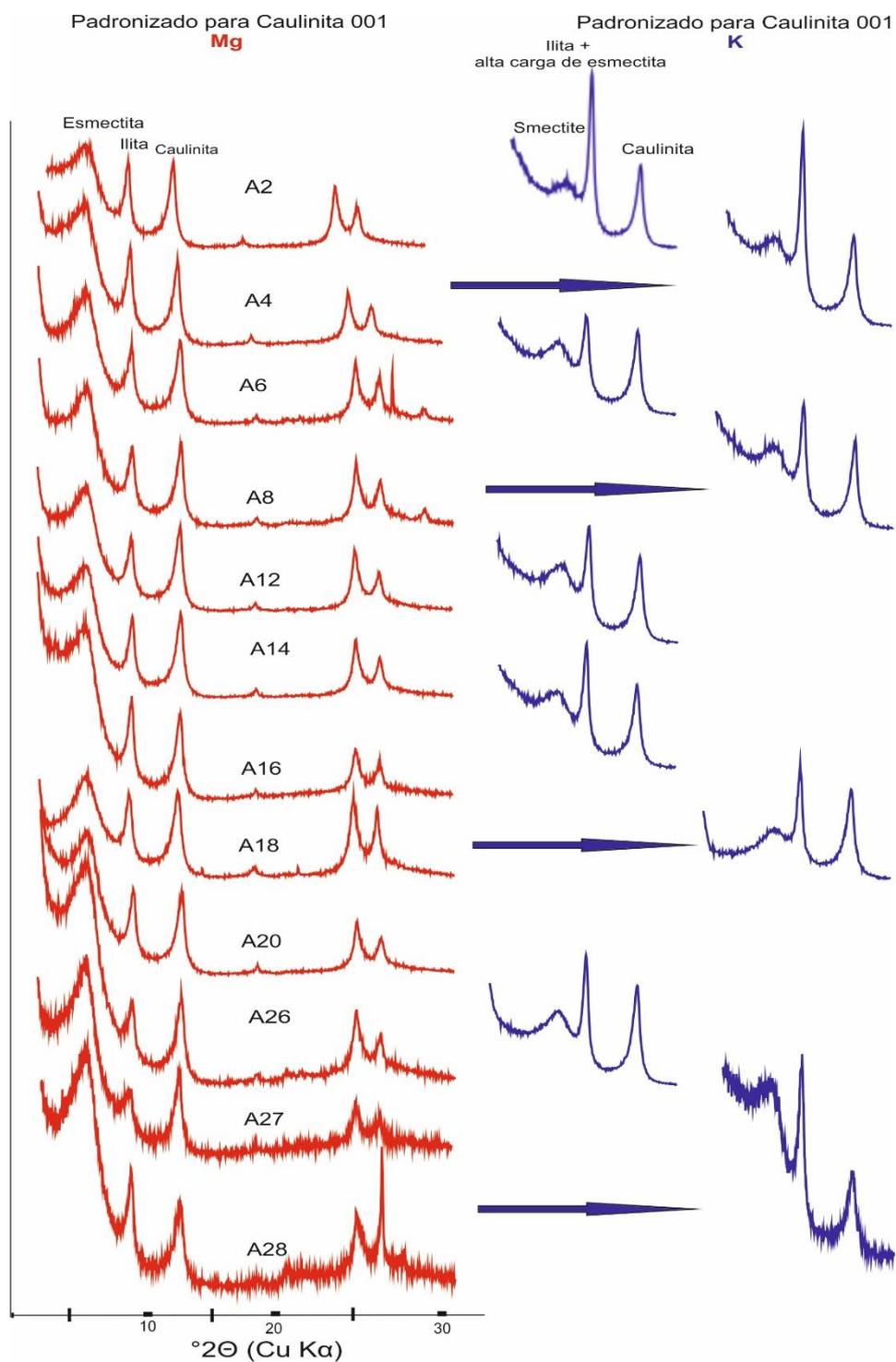
Fonte: Próprio autor, 2016.

A distribuição de minerais argilosos no estuário é devida aos processos de mistura estuarinos, conforme observado na amostra. A entrada de sedimentos do rio Acaraú é caracterizada por pequena carga de esmectita,

exemplo da amostra A27 tomada do topo de um terraço 3 m acima da água de baixo nível (Figura 47-d). Esses minerais de argila de proveniência fluvial são misturados com um segundo conjunto mineral de argila de origem marinha, contendo maiores teores de esmectita, exemplo da amostra A2 (Figura 47-a). Os minerais de argila no conjunto marinho são derivados principalmente de sedimentos terciários e / ou recentes pelo retrabalhamento de material de fundo ou pela corrente de maré, além da erosão de ondas de afloramentos costeiros.

A associação mineral de argila é uma proveniência claramente marinha. É óbvio que a partir do mar entra uma associação de minerais de argila cuja fração de $<2 \mu\text{m}$ é caracterizada por uma esmectita com uma grande proporção de redes de alta carga, que podemos chamar de "esmectita de alta carga". Quando tratada com Mg^{2+} , não há diferença para a esmectita de baixa carga a ser observada, mas quando tratada com K^+ as redes se alteram para distâncias menores. Elas são gerados pelo menor raio de K^+ em comparação com o de Mg^{2+} . A esmectita de alta carga é geralmente formada a partir de mica-illita, a esmectita de baixa carga é normalmente formada em solos tropicais e é o principal componente dos solos da planície amazônica em áreas com baixo sistema de drenagem (IRION, 1984) (Figura 48).

Figura 48. DRX das amostras superficiais do estuário Acaraú tratadas com Mg e K.



Fonte: Próprio autor, 2016.

O testemunho CORE 2 mostra variações relativamente grandes. Em 8 m com sedimentos fluviais do rio Acaraú. Esses sedimentos devem ter sido depositados quando o nível do mar era mais baixo e ainda não havia a formação do manguezal. Porém, em 6 m abaixo da superfície, o mangue e os respectivos sedimentos marinhos atingiram essa área superior.

No CORE 2, a presença de quartzo, rutilo e dos teores de sedimentos finos, provam um longo período de intemperismo, condições semelhantes são observadas em 4 m de profundidade, onde adicionalmente, o argilomineral lepidocrocita ocorre, indicando o desenvolvimento de solo. Em 3 m de profundidade a condição não mudou, mas em 2 m novas sequências mineralógicas ocorrem. O pico de caulinita é significativamente maior do que o pico de illita e esmectita, quando comparada com a amostra da profundidade inferior. A Lepidocrocita é um mineral com a fórmula $\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ que se forma na superfície durante a alteração (degradação) em solos. Normalmente é um neoformação, por conseguinte a presença de Lepidocrocita em um perfil demonstra a formação de solo. Já o rutilo (TiO_2), surge como um mineral acessório em rochas metamórficas e em consequência como produto dos processos erosivos. Rutilo é considerado a forma mais estável do óxido de titânio e se enriquece durante a alteração das rochas, especialmente em solos tropicais.

Picos elevados de rutilo mostram que o material passou por um período de pedogênese. A amostra mais próxima a superfície é novamente uma mistura de sedimentos marinhos e de material derivado do rio - altos valores de esmectita. Finalmente, o CORE 1 não exhibe qualquer alteração significativa. Seus sedimentos são uma mistura de mar e de sedimentos fluviais.

O clima semiárido ao longo da costa do Ceará é responsável por condições excepcionais em que o sedimento marinho penetra no vale fluvial a distâncias superiores a 10 km. As variações sazonais na região em estudo demonstram mudanças nos processos de sedimentação nos estuários do semiárido.

Esse fato é claramente explicado quando se supõe que o recente aumento do nível do mar é representativo do aumento geral dos níveis do mar

ao longo da maior parte da costa do Ceará desde cerca de 7.000 anos atrás e que o nível do mar durante o Holoceno não foi mais alto do que o atual (IRION et al., 2012). Os resultados corroboram com as observações para a zona costeira entre São Luís e a Amazônia, onde a curva do nível do mar não atingiu níveis mais altos durante o Holoceno (MOERNER et al., 1999). Cohen et al. (2005) concluíram, a partir de estudos sobre sedimentos em manguezais em Bragança-PA, que o nível do mar no Holoceno não atingiu mais do que 0,6 m acima do nível atual.

5.2.2 Proveniência de sedimentos para o estuário do rio Coreaú

Os estuários atuais são feições resultantes da transgressão holocênica que afogou vales fluviais. Estes se caracterizam por encontrar o mar por um só canal e por ser geologicamente diferenciado pelos seus aspectos sedimentológicos e hidrológicos (MORAIS, 1996).

O rio Coreaú desenvolveu ao longo do tempo o processo de migração de sua embocadura devido ao transporte litorâneo de sedimentos, o que veio a gerar a atual conformação da região estuarina. Seu leito também veio apresentando migrações, sendo esta divagação responsável pela formação da grande bacia de sedimentação e alagação que corresponde, atualmente, ao seu estuário (PITOMBEIRA, 1976). As embocaduras dos rios do litoral de acordo com Moraes & Fonteles (2000) possuem tendência a migrar para noroeste empurrado claramente pela corrente de deriva litorânea.

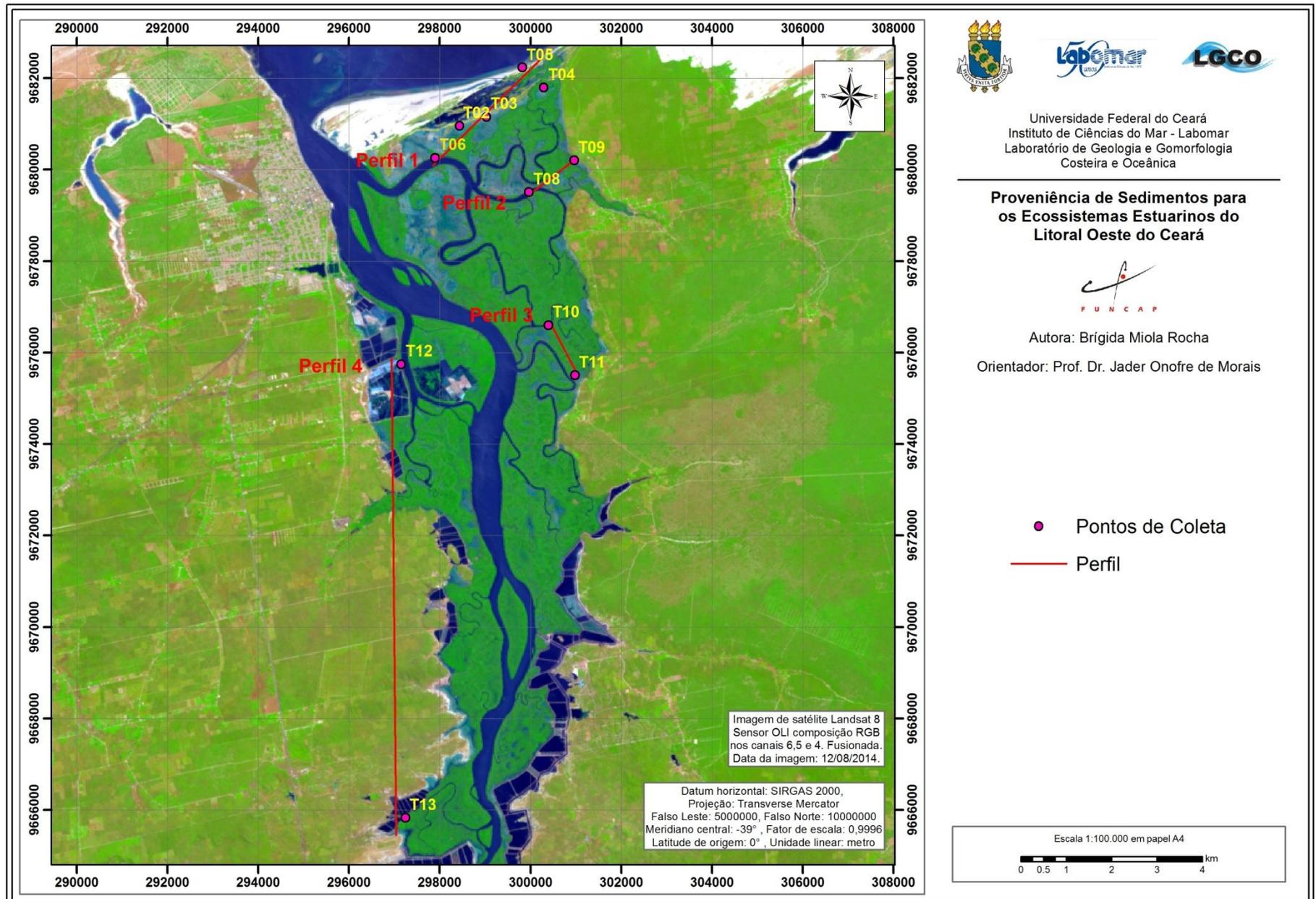
Do Holoceno para os dias atuais, o rio Coreaú atingiu estabilidade geofisiográfica, pois conforme Pitombeira (1976) a desembocadura migrou de sua posição primitiva que se dispunha a leste, até chegar a sua atual configuração. Ao deslocar-se para oeste da sua posição original sua embocadura passou a assumir novos posicionamentos a cada momento. Sua ponta a barlamar avançava seguindo a direção da corrente de deriva litorânea, configurando o atual panorama de restinga arenosa sedimentada. Esta sedimentação possibilitou a separação da área de alagamento do estuário

(manguezal), do local com mar aberto. A foz ao se deparar a oeste com afloramentos rochosos resistentes a erosão não encontrou mais condições para migrar para outras áreas, fazendo com que hoje uma das extremidades da embocadura chamada Ilha do Amor, tenha estabilidade quanto a sua morfodinâmica.

A vazão de grandes rios, a exemplo do Coreaú, age como um espigão hidráulico, já que este apresenta tendência de acumulação de sedimentos arenosos na margem direita de suas desembocaduras, fazendo praia progradar contiguamente e retrabalhar os sedimentos em direção a pós-praia, gerando a formação de bermas, ante dunas e dunas. Já a jusante, normalmente confere-se os processos erosivos (MORAIS & FONTELES, 2000).

A partir dos testemunhos sedimentares obtidos no estuário do Coreaú, foram confeccionadas colunas estratigráficas com escala granulométrica simplificada dos testemunhos sedimentares, organizados em 4 perfis (Figura 49)

Figura 49. Localização dos testemunhos sedimentares e perfis no estuário do rio Coreaú.



- **PERFIL 1**

Rodrigues (2014) em um estudo sobre mudança de sedimentação no estuário do rio Coreaú, identificou oito associações de fácies, as quais foram relacionadas com os seguintes ambientes: Canal fluvial, Baía estuarina, Delta de cabeceira fluvial, Paleodunas, Barra Arenosa de Submaré, Planície de maré lamosa/Manguezal, Apicum e Praia arenosa/Dunas. Através dos testemunhos coletados neste estudo, também foram identificados nos testemunhos, sedimentos característicos (litologicamente) destes ambientes, de acordo com a descrição e correlação feitas pela autora.

No perfil 1, encontram-se os testemunhos T02, T03, T04 e T05 e T06 (Figura 50). Os testemunhos T02 e T03 foram coletados na área de apicum, que recobre áreas mais baixas entre a planície de maré lamosa e a terra firme, contornando assim, grande parte do estuário do rio Coreaú. Desenvolvem-se entre o nível da maré alta de sizígia e de quadratura. Em função da alta salinidade do solo, estas áreas não possuem vegetação arbustiva (Figura 51), apresentando no máximo uma cobertura herbácea esparsa de *Sesuvium portulacastrum* e *Batis marítima* (Mochel & Castro 2003). Durante a estação seca formam salinas naturais pelo processo de eflorescência, que é a cristalização de sais na superfície do solo a partir da forte evaporação.

Figura 50. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 1.

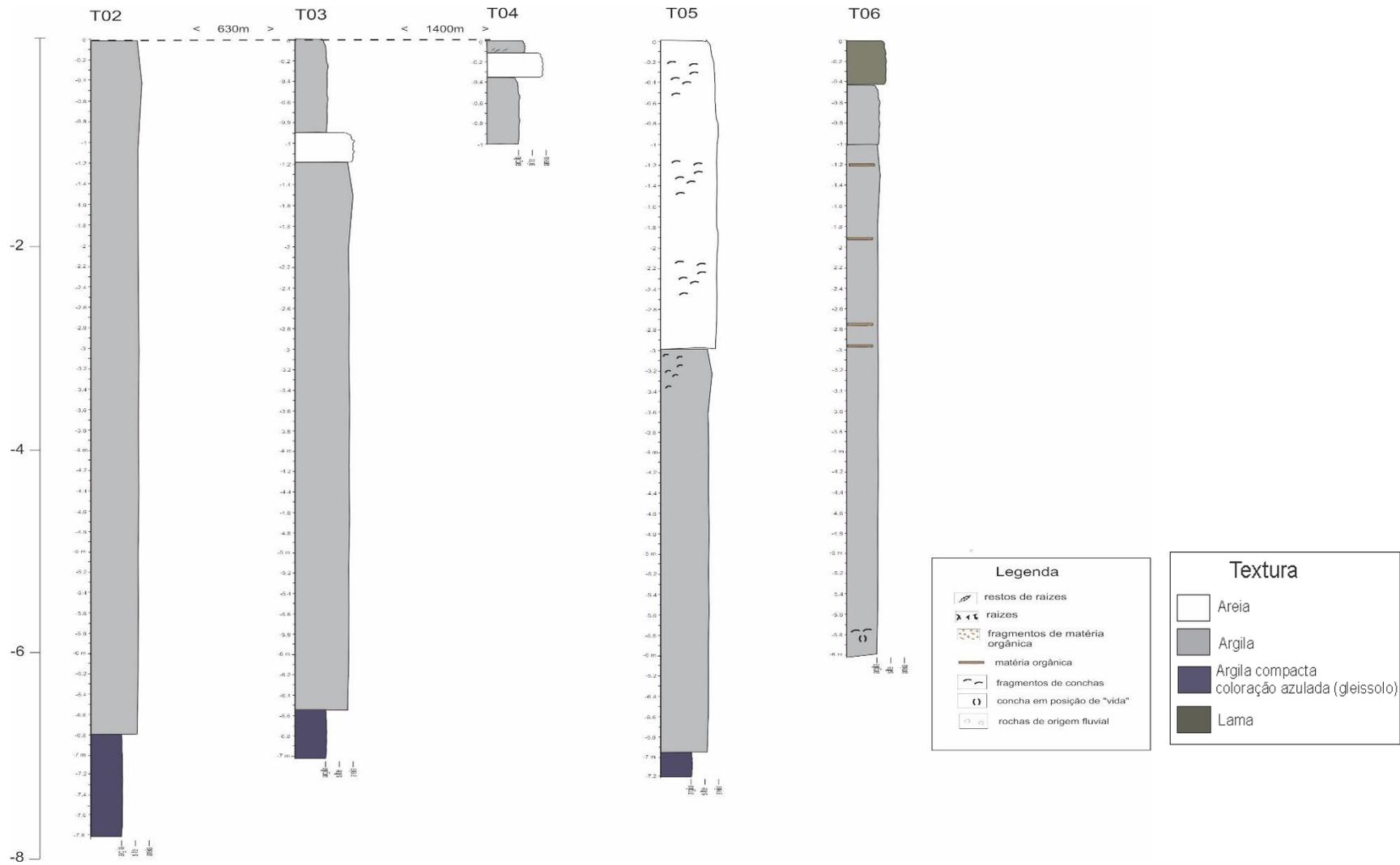


Figura 51. Área de apicum no estuário do rio Coreaú.



Fonte: Próprio Autor (2016).

Litologicamente são constituídos de lama+areia fina com cristais de sais desenvolvidos, e coloração acinzentada nos primeiros 2 m. A granulometria lama e areia fina permanece até aproximadamente 6,5 m nos testemunhos T02 e T03 até a litologia mudar para uma argila espessa e de coloração azulada.

Nesta unidade podemos observar características de solo gleissolo. Estes solos caracterizam-se pela gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbico, com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do terreno por longo período ou durante o ano todo. O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio causada pelo encharcamento. Provoca, também, a redução e solubilização de ferro, promovendo translocação e reprecipitação dos seus compostos. São encontrados comumente nas várzeas, nas proximidades das desembocaduras dos rios, sob a influência de águas marinhas, são solos oriundos de

acumulações flúvio-marinhas e constituem-se de sedimentos argilo-siltosos e arenosos.

Para a verificação deste mesmo solo, foi retirado o testemunho T05, na zona de praia, nos primeiros 3 m de profundidade, foi identificado predominância de sedimentos arenosos, característicos do sistema praial/duna (Rodrigues, 2014). Após esta profundidade predomina a fração lamosa. E a partir de 6,8 m novamente surge a argila espessa com coloração azulada.

Este sedimento pode estar associado à antiga posição do leito do rio Coreaú, sendo este característico do Delta de cabeceira fluvial. Segundo Pitombeira (1976), o rio Coreaú teve a mudança de posicionamento do leito por causa da sedimentação presente nos vários períodos de transgressão marinha, quando foram sendo afogados tanto o rio como as lagoas costeiras, potencializando a confluência de sedimentos para dentro do sistema, ocasionando retenção sedimentar no encontro dos rios de menor ordem com o coletor principal.

Mediante a atuação da corrente longitudinal houve a tendência de migração da foz do rio Coreaú sempre do sentido leste para oeste, mas que a antiga desembocadura ainda permanece preservada. O total deslocado do antigo posicionamento para onde se encontra a atual embocadura mede aproximadamente 5,9 km de distância, desenvolvendo-se ao longo da área formada campo de dunas móveis, planícies de inundações, manguezais e outros sistemas (FARRAPEIRA, 2013)

O testemunho T04, possui apenas 1 m de profundidade e possui nos 10 primeiros centímetros predomínio de fração lamosa, porém após apresenta uma camada de 20 cm de fração arenosa, característica do sistema praia/dunas. E então novamente o predomínio de lama até sua base.

O testemunho T06 apresenta, nos primeiros 40 cm a fração lamosa, fragmentos de raízes, lentes de matéria orgânica e fragmentos de conchas de táxons marinhos e salobros. Segundo Rodrigues (2014), esta é uma fácies característica de Planície de maré lamosa/manguezal. Este depósito superficial está colonizado por espécies típicas de manguezal: *Rydhophora mangle*,

Avicennia germinans e *Conocarpus erecta* (Figura 52), também reconhecidos por Meireles & Silva (2002).

Figura 52. Ponto de coleta do testemunho T06, caracterizando as espécies típicas de manguezal.



Fonte: Próprio autor, 2016.

- **Perfil 2**

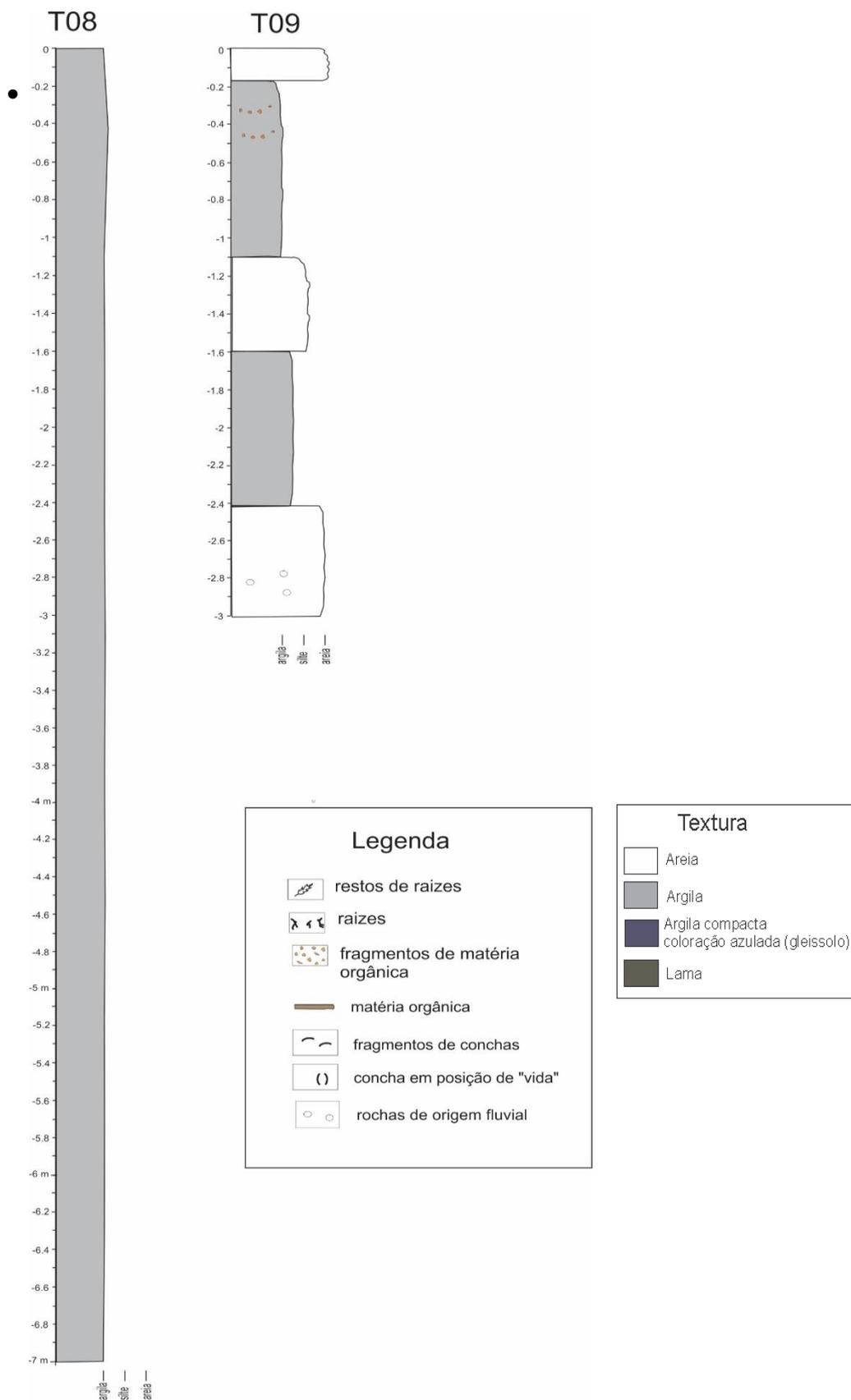
Para este perfil, encontram-se descritos os testemunhos T08 e T09, ambos localizados na área de manguezal do estuário. T08 apresenta total homogeneidade em sua litologia, sendo composto em sua totalidade de fração lamosa, este está localizado na planície lamosa (manguezal) do canal fluvial, na margem direita da foz do rio Coreauá (Figura 53).

T09 apresentou do topo até 20 cm uma maior quantidade de areia, após essa camada o testemunho passa a apresentar maiores teores das frações mais finas (silte e argila) com porcentagens de até 94%. A partir de 2 m de

profundidade voltou a predominar a fração areia, porém em alguns pontos essa fração era de quase 50% e a de lama também cerca de 50%. A base do testemunho, também apresentou maior fração arenosa, porém com a presença de cascalho. Percebe-se que ocorre uma intensa alteração na granulometria ao longo do testemunho T09 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 Coreau alterações na dinâmica deposicional dos sedimentos.

Rodrigues (2014) em seu estudo associou os depósitos encontrados no estuário do Coreau como característicos de estuário misto, ou seja, estuários dominados por ondas e marés. Esta análise revelou a ocorrência de depósitos fluviais cobertos gradacionalmente por depósitos de influência marinha, que provavelmente ocorreu no interior de um sistema estuarino. Ainda segundo a autora, na atualidade, este estuário ainda apresenta esta dualidade, voltando a apresentar característica de planície de maré, em grande parte controlada pelas variações de mesomaré semidiurna, mas com características também de estuários controlados por ondas.

Figura 53. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 2.

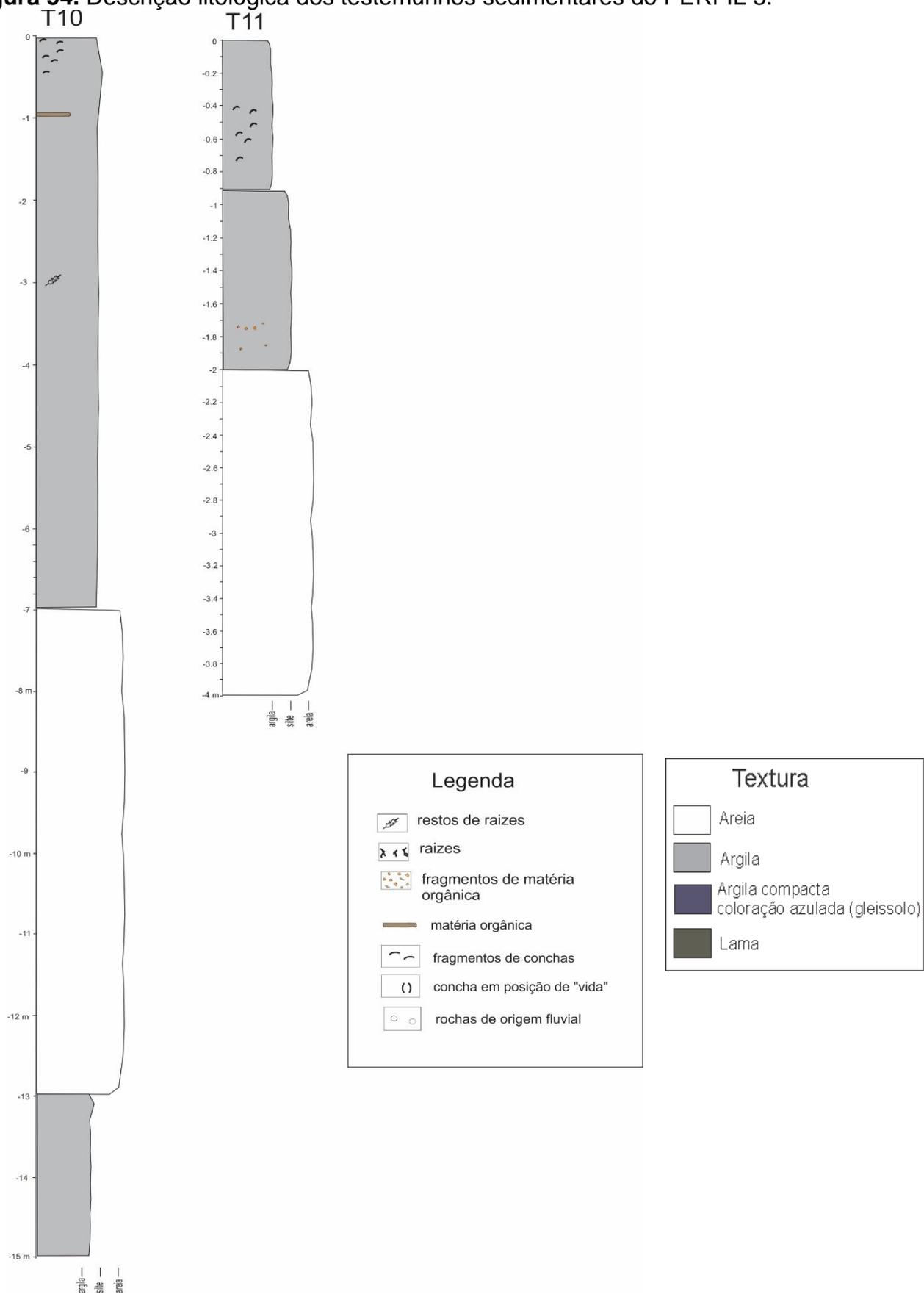


Neste perfil encontram-se descritos os testemunhos T10 e T11 (Figura 54). T10 possui 15 m de profundidade, apresenta total homogeneidade em sua litologia, sendo composto em sua totalidade de fração lamosa, este está localizado na planície lamosa (manguezal) do canal fluvial, na margem direita da foz do rio Coreau. T10 apresenta em seu topo(até 40 cm de profundidade) a presença de fragmentos de conchas calcárias, a fração lamosa tem predomínio até 7 m de profundidade, a partir daí, os teores de areia aumentam até 13 m e então novamente há predomínio de lama até a base do testemunho (15m). Nesse testemunho os sedimentos mostram aproximadamente a mesma configuração, sendo os sedimentos mais superficiais ligeiramente mais finos que os sedimentos mais profundos.

T 11, coletado a cerca de 7 km de distância de T10, apresenta em 1 m de profundidade o predomínio da fração lamosa, com a presença de cascalhos e fragmentos de conchas calcárias. Em 2 m observa-se pontos de matéria orgânica e a presença de areia e há o predomínio da fração arenosa até a base do testemunho. T11 localiza-se próximo a pequenos canais, conectados á fazendas de carcinicultura, ou seja, locais que apresentam rápida taxa de sedimentação. Estas duas influências podem ter contribuído com um maior aporte de sedimentos finos lançados próximo as áreas de coleta.

Rodrigues (2014) verificou que há maior sedimentação na margem direita do rio Coreau em relação à margem esquerda e que este fato deve-se a proximidade das coletas aos canais dos rios ou a liberação de resíduos provenientes de tanques de carcinicultura. Ainda segundo a autora, em relação as influências naturais, deve-se levar em consideração também as anomalias climáticas, que podem influenciar no aumento rápido da deposição (ex.: La Niña), assim como outros fatores importantes como a maré, vazão, vento e corrente.

Figura 54. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 3.



- **Perfil 4**

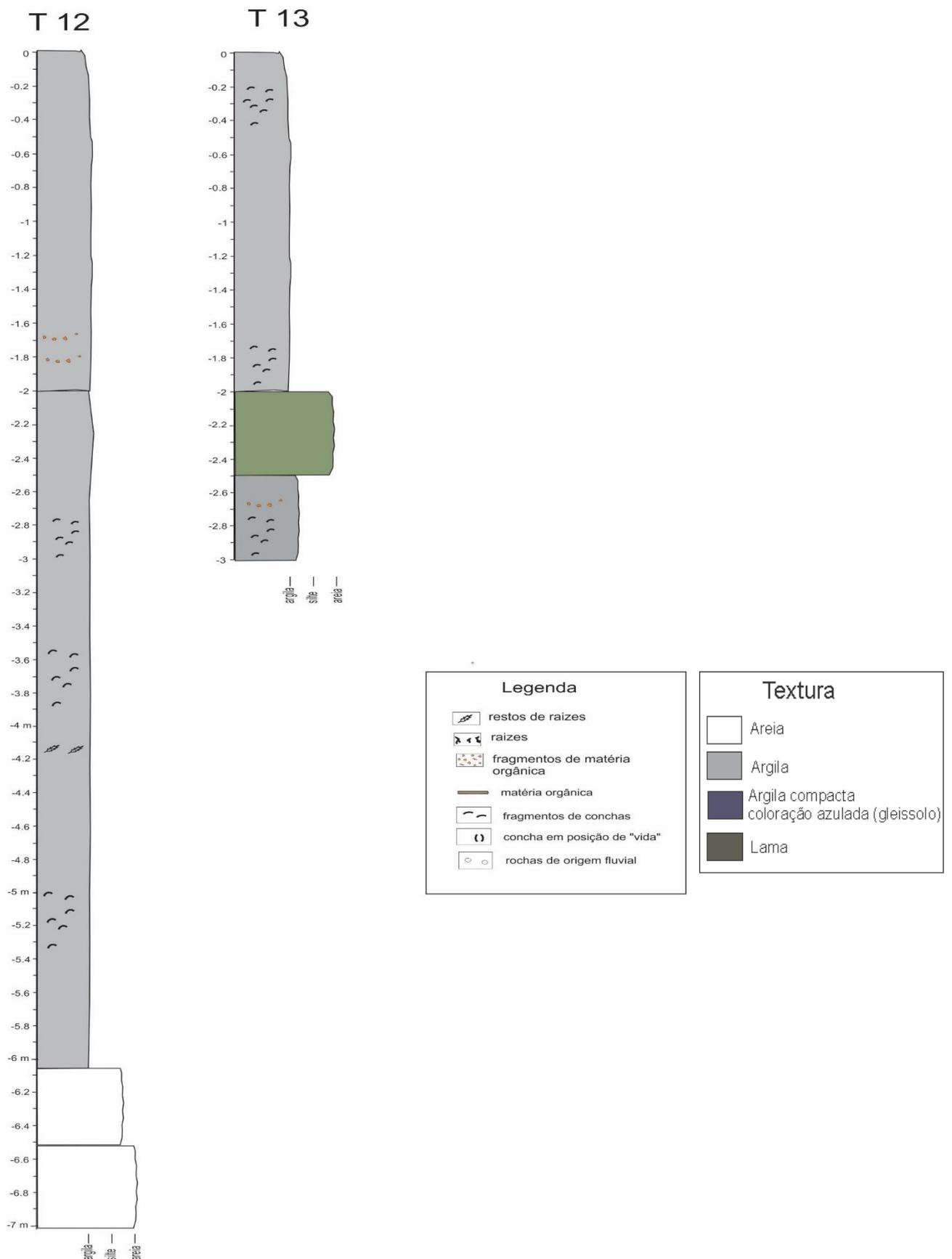
Para o perfil 4 temos os testemunhos T12 e T13 (Figura 55) , ambos localizados na margem esquerda da foz do rio Coreaú. T13 encontra-se cerca de 10 km a sul de T12, no limite do estuário. Ambos os testemunhos foram coletados próximos à fazendas de carcinicultura. Esta influência pode ter contribuído com um maior aporte de sedimentos lançados próximo as áreas coletadas, sem contar com a liberação indiscriminada de matéria orgânica nos rios em qualquer período. Os testemunhos apresentam uma grande concentração de sedimentos lamosos e restos de conchas ao longo de todo o perfil estudado.

No testemunho T13 foi possível perceber a intercalação lama e areia ao longo do perfil, marcado pelas cores claras (areia) e escuras (lama). No testemunho T12, nota-se uma lente de areia entre a profundidade de 6 e 7 m e uma grande quantidade de lama ao longo de todo o perfil, apresentando também restos de conchas e pontos de matéria orgânica.

T13 é representada em sua constituição por lama maciça e depósitos heterolíticos com fragmentos de vegetação e ao longo de todo perfil, fragmentos de conchas.

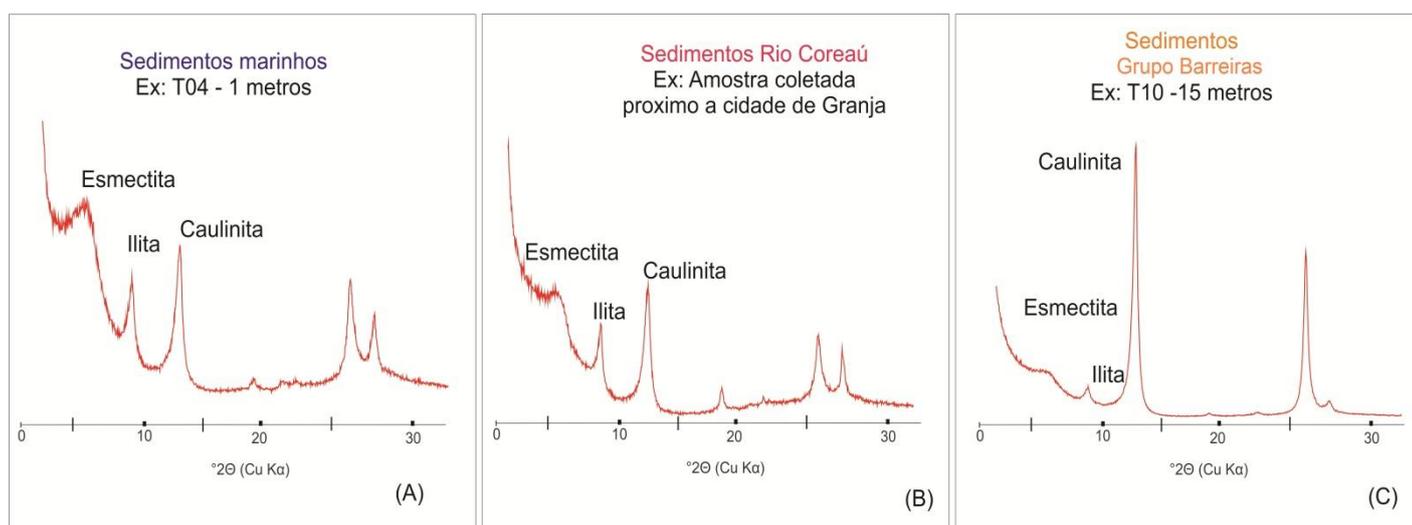
A sedimentação em T12 ainda depende da variação da maré alcançada, enquanto que em T13 em direção à montante do rio a influência vai ser controlada pela erosão fluvial. A litologia encontrada nesses testemunhos (T12 e T13) correspondem aos resultados encontrados por Rodrigues (2014), que os correlaciona com os ambientes Baía estuarina e Canal Fluvial.

Figura 55. Descrição litológica dos testemunhos sedimentares do PERFIL 4.



A distribuição mineralógica realizadas nos testemunhos T04, T08, T10, T11 e T13 onde os resultados das análises mineralógicas são levadas em consideração, ocorrem três tipos principais de sequências de argilominerais: os sedimentos com procedências marinhas apresentam uma alta carga de esmectita (Figura 56-A), os sedimentos que são fornecidos pelo rio Coreaú mostram conteúdo elevado de caulinita e esmectita, os conteúdos de esmectita são provavelmente formados a partir da illita ou muscovita (Figura 56-B), Já a terceira sequência apresenta um pico muito elevado de caulinita em contraste com esmectita e illita, esses são sedimentos provenientes do Grupo Barreiras (Figura 56 -C)

Figura 56. Exemplos DRX da proveniência de sedimentos para o estuário do rio Coreaú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

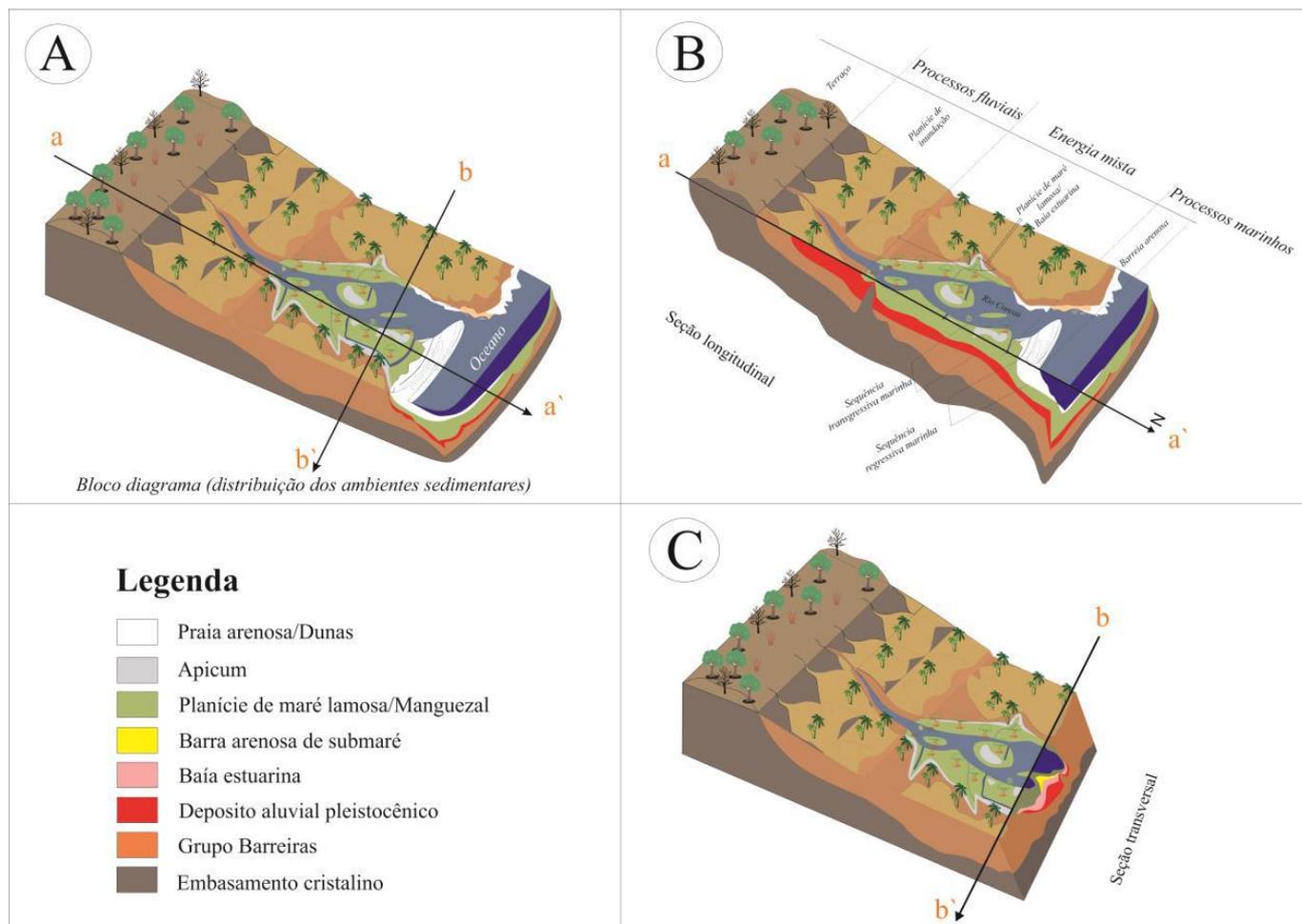
Os resultados de argilominerais para o estuário do rio Coreaú, demonstram uma alternância de proveniência de sedimentos fluviais e marinhos para o estuário ao longo de seu preenchimento. Sendo a influência de sedimentos marinhos presentes em maior quantidade. Verifica-se que maior parte dos drx analisados demonstram semelhança com os drx de amostras marinhas, somente no testemunho T13, para a amostra mais superficial (topo do testemunho) demonstra um drx semelhante a amostra proveniente do rio Coreaú.

Como os sedimentos offshore possuem uma Idêntica associação à dos minerais de argila mesmo nos sedimentos dos testemunhos mais profundos, associa-se que são transportados para o estuário a partir do mar. Quando o fluxo de água do rio Coreau é maior, novos sedimentos provenientes do rio Coreau, foram depositados durante inundações sazonais, como ocorre atualmente. Maior parte dos sedimentos que preenchem o estuário do Coreau tem proveniência marinha.

Segundo Rodrigues (2014), o preenchimento do estuário do rio Coreau, parte da deposição de sedimentos arenosos de granulometria grossa a cascalho preenchendo os vales formados no Grupo Barreiras, indicando um sistema fluvial, misturado em seu topo por fragmentos de conchas, marcados pela interação com sedimentos marinhos caracterizando um nível de mar alto, depositando sedimentos lamosos a arenosos, seguidos pela deposição de areia média, referente a deposição de delta de cabeceira fluvial, quando o nível do mar voltou a descer.

Estes sedimentos foram sobrepostos por sedimentos finos de proveniência litorânea/eólica de características dunares, em que posteriormente foram recobertos por sedimentos lamosos a arenosos, característicos de Baía estuarina, após um novo aumento no nível do mar e em condições mais calmas, foram depositados sedimentos lamosos característicos de planície de maré lamosa/manguezal, estes sedimentos foram sobrepostos pela deposição de sedimentos arenosos provenientes da dinâmica costeira, formando praias arenosas e dunas, que se interligam cobrindo grande parte da foz do rio Coreau (Figura 57).

Figura 57. Preenchimento do estuário do rio Coreaú.



Fonte: Rodrigues, 2014.

Rodrigues (2014) ao estudar o preenchimento do estuário do rio Coreaú identificou 3 estágios de preenchimento do vale inciso do rio Coreaú, partindo-se do princípio que o nível do mar subiu rapidamente entre 20.000 e 7.000 anos A.P. (1º estágio) e a taxa de variação, desde então, tem sido mais gradual. Em resposta à mudança do nível do mar, a sedimentação e a organização estratigráfica do vale inciso do rio Coreaú apresentou dois padrões diferentes: pré 7.000 anos A.P., período em que o nível do mar estava subindo rapidamente, estágio em que foram depositados os deltas de cabeceira fluvial e pós 7.000 anos A.P., período de crescimento lento ou estável do nível do mar em que foram depositados sedimentos representativos de baía estuarina (7.000 a 4.000 A.P. – 2 estágio). O 3º estágio compreende o intervalo de 4.000 presente, em que o nível do mar se torna mais estável e regressivo, ocorrendo

a progradação do manguezal em direção a foz. A autora não faz associação no 3º estágio a um nível de mar mais alto neste período que o presente, em seu estudo.

Vasconcelos (2014), também ao estudar a região litorânea oeste do Ceará, identificou que as variações do nível do mar são interpretadas como respostas a alterações no padrão de circulação marinha e não excluem também possíveis perturbações tectônicas na bacia da margem continental.

Porém, estudos feitos por Irion et al. (2012) na vila de Jericoacara, descreveram indicadores do nível relativo do mar (nrm) em 1 km de costa. Estes autores concluíram que o nível do mar mais alto que o atual durante os últimos 7.000 anos não ocorreu para o segmento costeiro estudado, uma vez que ao longo da costa não foram encontrados rochas praias acima do nível da maré sizígia. Os mesmo autores ainda concluem que estas observações coincidem com descrições realizadas durante viagens de campo ao longo de 500 km de comprimento de costa entre Ponta Grossa e da fronteira com o Piauí não são observados rochas praias acima do nível do mar atual.

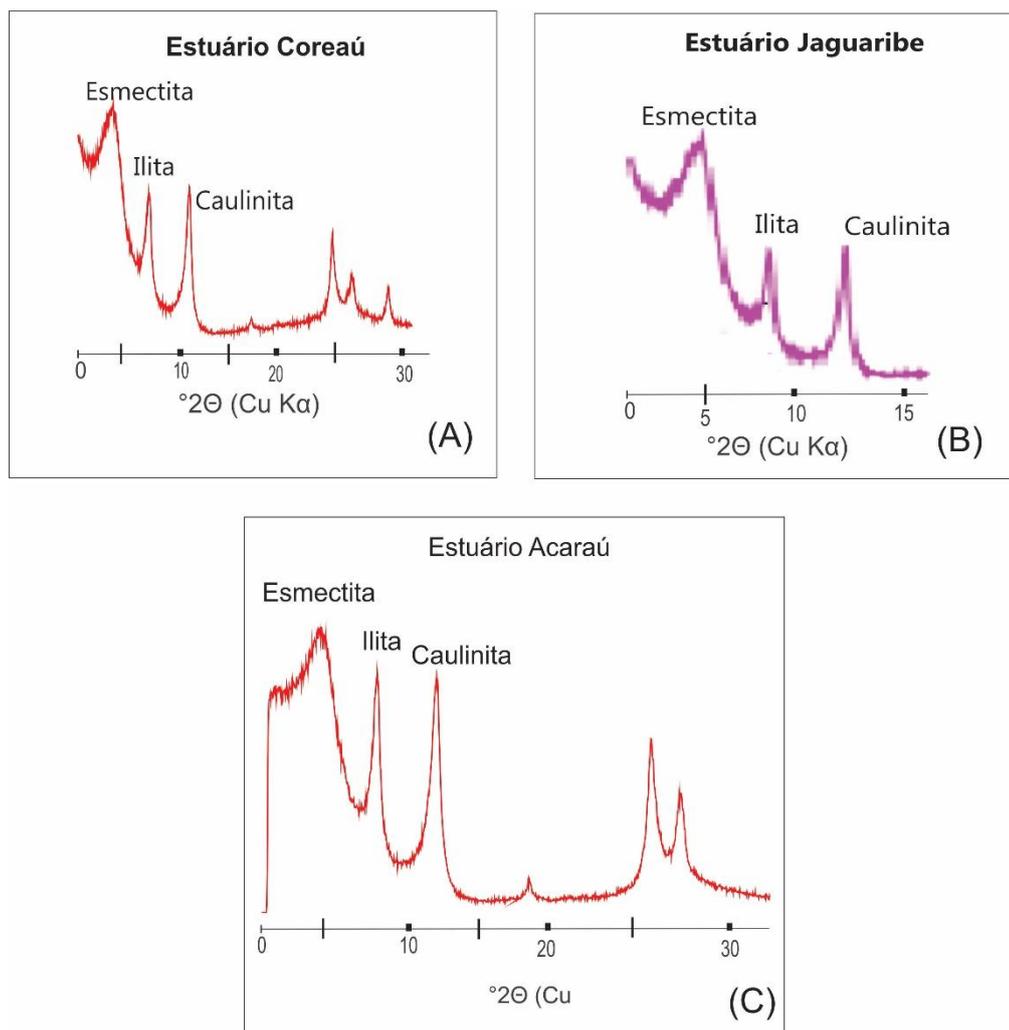
Através dos resultados de argilominerais nos dois estuários estudados, verifica-se uma semelhança em sua distribuição mineralógica e também a influência do clima semi-arido. Nos estuários do Acaraú e Coreaú os sedimentos marinhos tem influência em até cerca de 10 km a sul do estuário, porém este fato não está associado a variações de um nível de mar mais alto.

Os estuários do Acaraú e Coreaú estão localizados na costa semiárida do Nordeste do Brasil, onde a extensão dos manguezais é limitada pela sedimentação do vento e pelo clima quente e seco que pode limitar o desenvolvimento dos estuários.

Outro fato que tem influencia na proveniência de sedimentos na costa Cearense é o transporte de sedimentos de leste-oeste pelas correntes marinhas. Na costa entre a foz dos estuários do Jaguaribe e do Coreaú, há uma distribuição similar de conteúdo de esmectita, ilita e caulinita, sendo esses transportados pela corrente norte do Brasil. Este perfil mineralógico característico da argila também está documentado por Morais et al. (2006) para

sedimentos offshore a leste da foz do rio Jaguaribe, que são transportados ao longo da costa pela corrente Norte do Brasil em direção à plataforma amazônica (Figura 58).

Figura 58. (A) Diagramas de difração de raios X de frações finas (<2 μm) do estuário do Coreaú. (B) Diagramas de difração de raios X de frações argilosas estuário do Jaguaribe, costa leste do Ceará- (Irion et al., 2014 in prep.) (C) Diagramas de difração de raios X de frações argilosas do estuário do Acaraú.



Fonte: Próprio autor, 2016.

As distribuições mineralógicas nos estuários Coreaú e Acaraú mostram-se semelhantes em suas sequências, bem como o preenchimento dos estuários por sedimentos marinhos e fluviais. A costa cearense tem se mostrado diferente das outras com relação as variações de nível do mar durante o Quaternário, observando-se que não existem indicadores do nível de mar acima do atual no trecho estudado durante o Holoceno e que as mesmas

variáveis que até hoje controlam os processos costeiros no estado são praticamente as mesmas que atuavam no passado.

O clima constitui uma das mais importantes variáveis controladoras dos processos costeiros, dentre os seus elementos merece destaque a variação anual dos totais pluviométricos e regime dos ventos. O clima regional da zona litorânea faz parte do domínio do clima semi-árido predominante no Nordeste brasileiro, marcado por dois períodos definidos – um seco, longo e outro úmido, curto e irregular (MORAIS, 2006). Este fato é observado atualmente nos estuários do Coreaú e Acaraú, onde verifica-se a intensidade de proveniência de sedimentos marinhos para os estuários em virtude da baixa carga hídrica dos seus rios, que deixam de carrear sedimentos fluviais para o mar e conseqüentemente os estuários.

Além disso, outros atuantes como as barragens fazem com que a dinâmica de sedimentos fluviais para a costa seja menor. O Estado do Ceará possui mais de 3500 barragens maiores que 5 ha, que significa que em todo o estado, os fluxos fluviais são virtualmente bloqueados por reservatórios. As represas reduziram o fluxo de água doce durante a estação chuvosa, 80% para os estuários de Timonha, Malcozinhado e Acaraú (MORAIS & PINHEIRO, 2011). A diminuição do fluxo resultou no assoreamento de vales e impede a transporte de sedimentos para a costa durante a estação chuvosa, aumentando assim a erosão (PINHEIRO et al., 2016).

Outra influência de sedimentos na costa cearense, caracterizado também pelas sequencias de argilominerais identificados nos estuários estudados, são as correntes de deriva litorânea. O estado do Ceará é bordejado pelas águas salinas e oxigenadas da corrente Norte Brasileira, um ramo da corrente Sul Equatorial que se bifurca ao largo do nordeste do Brasil, sazonalmente entre as cidades de Recife e Salvador. Portanto a Corrente Norte Brasileira é o ramo noroeste ou ascendente da Corrente Sul Equatorial. A corrente Norte do Brasil com velocidade de 1 a 2 nós, corre paralela a costa do Ceará e seria corresponsável pelas correntes litorâneas em direção noroeste. No entanto, a corrente longitudinal é primariamente derivada da ação dos ventos alísios e da incidência das ondas na linha de costa (MORAIS, 2006).

As grandes marés também são responsáveis por levarem sedimentos continente adentro. Os estuários tem influências de sedimentos marinhos mesmo em distâncias grandes, como o Acaraú, cerca de 10 km à sul da sua foz. A ação das marés representa um papel relevante na morfodinâmica e hidrodinâmica costeira, principalmente no sentido de ampliar a área de ataque das ondas, gerando correntes em estuários, canais lagunares e em águas rasas próximas à costa, além de apresentar importância para o transporte de sedimentos (MORAIS, 2006).

5.3 Carreadores geoquímicos de poluentes para os ambientes estuarinos

Os estuários 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 hidrogeoquímicas bastante peculiares e áreas abrigadas com altas taxas de sedimentação e elevados teores de matéria orgânica, favorecendo assim a acumulação de poluentes. As concentrações de metais traços, por exemplo, 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, os ecossistemas estuarinos 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).

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, 2001).

Diante disso, apresenta-se também nesta tese a distribuição dos principais carreadores geoquímicos de metais-traço nos sedimentos superficiais do estuário do Acaraú, como Carbonato de Cálcio (CaCO_3), Matéria Orgânica (M.O) e argilominerais (esmectita, illita e caulinita) os principais grupos identificados no estuário do Acaraú, afim de identificar que em alguns pontos de coletas podem ocorrer maior ou menor troca de elementos do sedimento para a coluna de água de acordo com a capacidade de troca catiônica desses carreadores visto na literatura.

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 et al., 2002).

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 & MARINS, 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).

Aproximadamente na década de 80 a pressão sobre os ambientes naturais que compõe a região estuarina do rio Acaraú deu-se início. Primeiramente com as atividades relacionadas a pesca da lagosta e o fluxo de embarcações que faziam porto em Acaraú, posteriormente com expansão urbana, desmatamento da vegetação de mangue e introdução da carcinicultura, que ocorre somente em meados dos anos 1990 (PESSOA, 2015)

Através de imagens multitemporais dos últimos 29 anos, Pessoa (2015) analisou a evolução do uso e ocupação do estuário do Acaraú. As classes correspondem as áreas de mangue, os tanques de carcinicultura, os

agroecossistemas que abrigam as atividades de agricultura irrigada e de subsistência, além dos corpos hídricos e das feições de dunas e faixa praial. No intervalo de 29 anos que corresponde ao período analisado, foram observadas significativas alterações nesse ambiente. As áreas de mangue sofreram redução de 75,86% nos últimos 29 anos observados. O autor atribui que vários fatores podem ter contribuído para a redução espacial do manguezal. No intervalo observado pode ser comprovado que houve expansão urbana, a cidade avançou sobre alguns setores do mangue também o desmatamento para a retirada de madeira.

A expansão da carcinicultura e dos agroecossistemas, assim como as alterações hidroclimáticas ocorridas nos últimos 40 anos certamente também influenciaram neste processo. No município de Acaraú de 2001 a 2014, ou seja, em 13 anos o aumento da área produtora desta atividade foi da ordem de mais 700% (PESSOA, 2015).

A região estuarina do rio Acaraú é marcada por diversas atividades relacionadas a exploração dos recursos naturais, as quais podem culminar em alterações ao meio ambiente. Pessoa (2015) identificou as principais atividades ou ações geradoras de impacto que contribuem de alguma maneira para a degradação do ambiente, que podem promover algum tipo de impacto de forma direta e indireta no estuário do rio Acaraú (Figuras 59 e 60).

Uma das problemáticas mais relevantes percebidas é a questão dos efluentes domésticos e a sua destinação e tratamento final. Estes efluentes não se dispersam de forma isolada ou pontual, a sua disposição inadequada pode ser observada em várias ruas das cidades de Cruz e Acaraú, independentemente do tipo de residências, e em alguns casos são lançados diretamente no rio (PESSOA, 2015).

Figura 59. Atividades antrópicas exercidas ao longo do estuário do rio Acaraú.



Fonte: Pessoa (2015).

Dentre as ações e atividades impactantes identificadas pelo autor na região estuarina podem ser citados o lazer e turismo, o lançamento de esgotos, a ocupação de áreas de preservação permanente - APP, as atividades comerciais, as atividades portuárias e de navegação, a carcinicultura, a mineração e cultivo de coco, a agricultura de subsistência, agroindústria, energia eólica, a produção e ocorrência difusa de resíduos sólidos em vários setores no estuário e também em áreas próximas.

Figura 60. Atividades antrópicas exercidas ao longo do estuário do rio Acaraú.



Fonte: Pessoa (2015).

Foram analisados os teores dos principais carreadores geoquímicos de poluentes nos sedimentos superficiais do estuário do rio Acaraú, afim de localizar possíveis fontes poluentes para o ambiente estuarino e locais os quais esses poluentes tem maior capacidade de acumulação dentro do estuário. Para isso, foram feitos mapas de distribuição dos teores de matéria orgânica, carbonato de cálcio e argilominerais (esmectita, illita e caulinita) no estuário do Acaraú. Para os valores de M.O. e de CaCO_3 , foram interpolados 26 pontos amostrais, já na interpolação da esmectita, illita e caulinita, foram utilizados 10 pontos. Tais amostras foram distribuídas ao longo do estuário, da sua foz até o limite do estuário, situado na ponte sob o rio Acaraú, na cidade de Cruz-CE.

- **Matéria Orgânica**

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).

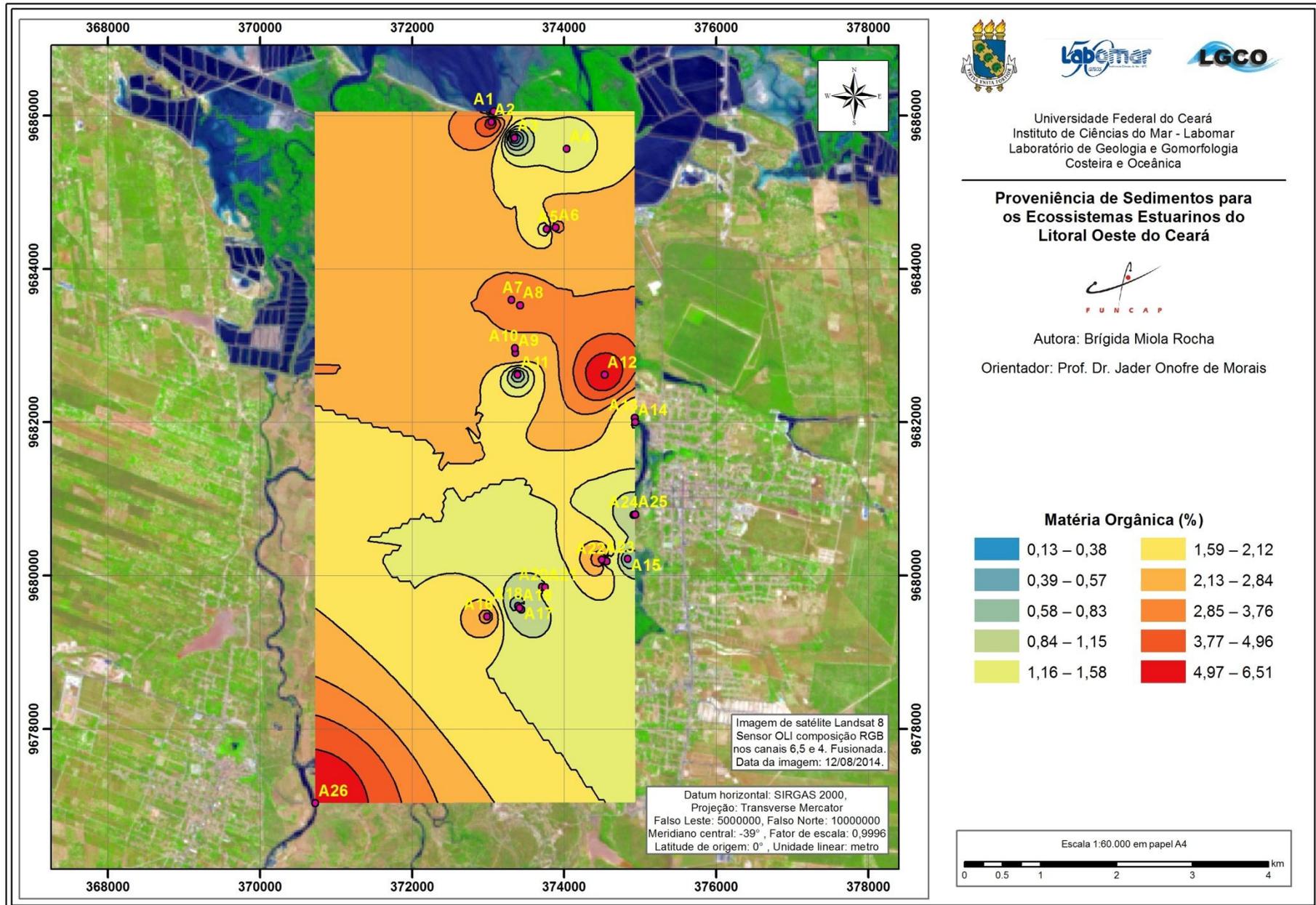
Os teores de M.O. no sedimentos do estuário do Acaraú variaram de 0,1 a 6,5% com uma média de 2,15%. De acordo com Wetzel (1983), os principais componentes que constituem os sedimentos são a matéria orgânica em vários estados de decomposição, partículas minerais, incluindo argilas, carbonatos e silicatos não argilosos, e uma componente inorgânica de origem biogênica, como certas formas de carbonato. Os constituintes orgânicos são bastante sensíveis aos diversos fatores que condicionam os processos de deposição, assumindo a matéria orgânica, portanto, um caráter esclarecedor quando combinada com algumas das propriedades composicionais dos sedimentos.

Verifica-se uma acumulação maior de M.O. nos extremos do estuários, na foz e no limite (próxima a ponte da cidade de Cruz), onde foi coletado o sedimento (Figura 61). Esses dois pontos são caracterizados por uma grande quantidade de sedimentos finos (silte e argila) o que justifica tais elevados

teores de M.O. Pettijohn (1975) afirma que a acumulação de matéria orgânica em sedimentos é fortemente dependente da quantidade em argila depositada devido ao processo de adsorção. Trask (1939 *apud* Tyson, 1995) acrescenta, também, que o conteúdo orgânico de sedimentos das margens continentais geralmente aumenta quando os grãos que os constituem tornam-se mais finos. Isso ocorre porque as argilas concentram, comumente, cerca de duas vezes mais matéria orgânica que siltes, e cerca de quatro vezes mais matéria orgânica que as areias muito finas.

O conteúdo orgânico, dessa forma, pode ser diretamente correlacionado com a mediana, com o diâmetro médio e, principalmente, com a porcentagem de argila do sedimento. Entretanto, fatores naturais, tais como a disponibilidade de nutrientes e/ou outros decorrentes da ação humana, vão influenciar em um maior teor de matéria orgânica em argilas. Este fato pode ser verificado no estuário do Acaraú, uma vez que altas concentrações de M.O. são acumuladas próximo as regiões que sofrem influencia da zona urbana e atividades antrópicas, no caso de Acaraú, carcinicultura e a região portuária

Figura 61. Mapa de distribuição dos teores de M.O. nos sedimentos do estuário do Acaraú.



- **Carbonato de Cálcio**

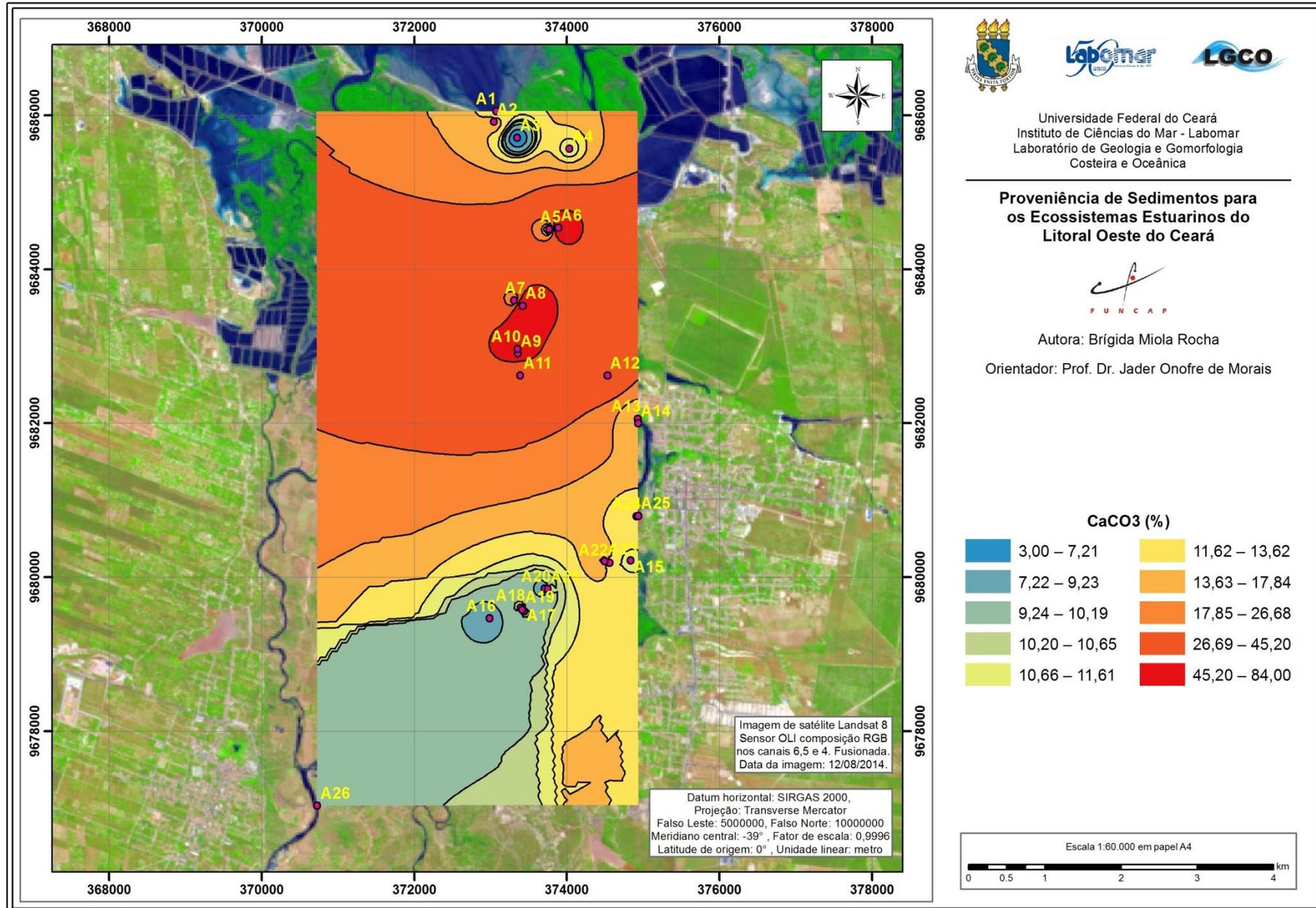
Os teores de CaCO_3 nos sedimentos do estuário do Acaraú variaram de 3 a 84% com uma média de 21%. Os teores de carbonato de cálcio não obedecem a uma relação direta apenas com uma fração granulométrica específica, mas com uma fonte disponível, como a ocorrência de algas calcárias e fragmentos de conchas (Figura 62). Segundo Lana (1996), os sedimentos carbonáticos possuem teores de CaCO_3 em geral acima de 75% e, texturalmente, apresentam predomínio de areia e cascalho sobre a fração lama e são provenientes da desintegração de organismos de maior porte.

Segundo Saliot (1994), a sedimentação de carbonatos é produzida por organismos marinhos. As maiores concentrações obtidas nos sedimentos no meio do estuário e também em localidades do estuário que ficam próximos à fazendas de carcinicultura, esses teores mais elevados podem estar associados ao acúmulo de fragmentos de conchas que apresentam alto teor de CaCO_3 . Possivelmente, também, essas variações são decorrentes das oscilações dos níveis de marés que carregam sedimentos carbonáticos oriundos da plataforma e através dos processos de organismos que fixam o CaCO_3 dissolvido na água para desenvolver seus processos de calcificação.

Gomes & Barreto (1995) encontraram valores de CaCO_3 em sedimento de depósitos flúvio-marinhos de Parajurú (CE), variando de 0,01 a 3,8%. Segundo esses autores, o CaCO_3 provém de conchas de moluscos e algas calcárias que ocorrem na plataforma continental e no estuário. A maior concentração foi encontrada nos sedimentos sílticos argilosos de mangue e a menor em sedimentos arenosos. Silva (2004) encontrou valores de CaCO_3 em sedimentos de manguezais do estuário de Curimataú (RN), variando de 1,3 a 27,8%, embora tenha concluído que em sedimentos mais arenosos apresentam maiores percentuais de carbonato. No caso dos sedimentos do estuário do Acaraú, aparentemente há uma relação do teor de CaCO_3 com a fração granulométrica mais grossa. Apesar dos carbonatos não serem

considerados um componente eficiente na acumulação de metais traço, vários trabalhos têm mostrado que a correlação com o cálcio, obtida para sedimentos impactados por metais-traços e sedimentos ricos em carbonato, é provavelmente resultado da adsorção e co-precipitação dos metais sobre o Ca(OH)_2 e CaCO_3 em suspensão.

Figura 62. Mapa de distribuição dos teores de Carbonato de Cálcio nos sedimentos superficiais do estuário do Acaraú.



- **Argilominerais**

Sedimentos desempenham papel muito importante na avaliação da poluição de ambientes costeiros. Eles refletem a qualidade atual do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes, os quais não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais (ALLOWAY & AYRES, 1997). Além disso, os sedimentos podem agir como possíveis fontes de poluição, como por exemplo metais pesados, os quais não são permanentemente fixados por eles, podendo ser novamente disponibilizados para a coluna d'água, através de variações nas condições ambientais tais como mudanças de pH, de potencial redox, ou pela presença de quelantes orgânicos.

No estuário do rio Acaraú, a caulinita foi o argilomineral mais abundante, com valores aproximados a 50% da composição mineral dos sedimentos (Figura 63). Esta é uma característica comum para o estuário do rio Acaraú uma vez que esta recebe sedimentos provenientes do Grupo Barreiras, portanto, a possibilidade de herança das áreas fonte de sedimentos é completamente plausível. A caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) é um mineral de grande ocorrência extremamente em solos brasileiros. Possui uma morfologia hexagonal, superfície específica baixa, entre 10 – 20 m^2/g e uma CTC (Capacidade de Troca Catiônica) variando na faixa de 3 – 10 $\text{m}_{\text{eg}}/100\text{g}$, dependente do pH.

Geralmente, as argilas cauliniticas, por possuírem suas camadas presas de formas mais firmes, permitem menos substituições de Al e Si por outros íons. Devido à estas características estruturais, estas argilas possuem menor capacidade para trocas iônicas e uma menor plasticidade devido à menor capacidade de adsorver água. Contrariamente, argilas como a esmectita, cujas camadas separam-se mais facilmente e apresentam alto teor de substituições, contêm muitos íons adsorvidos e têm alta capacidade de adsorção de água, sendo muito mais plástica do que a caulinita (MILLOT, 1964).

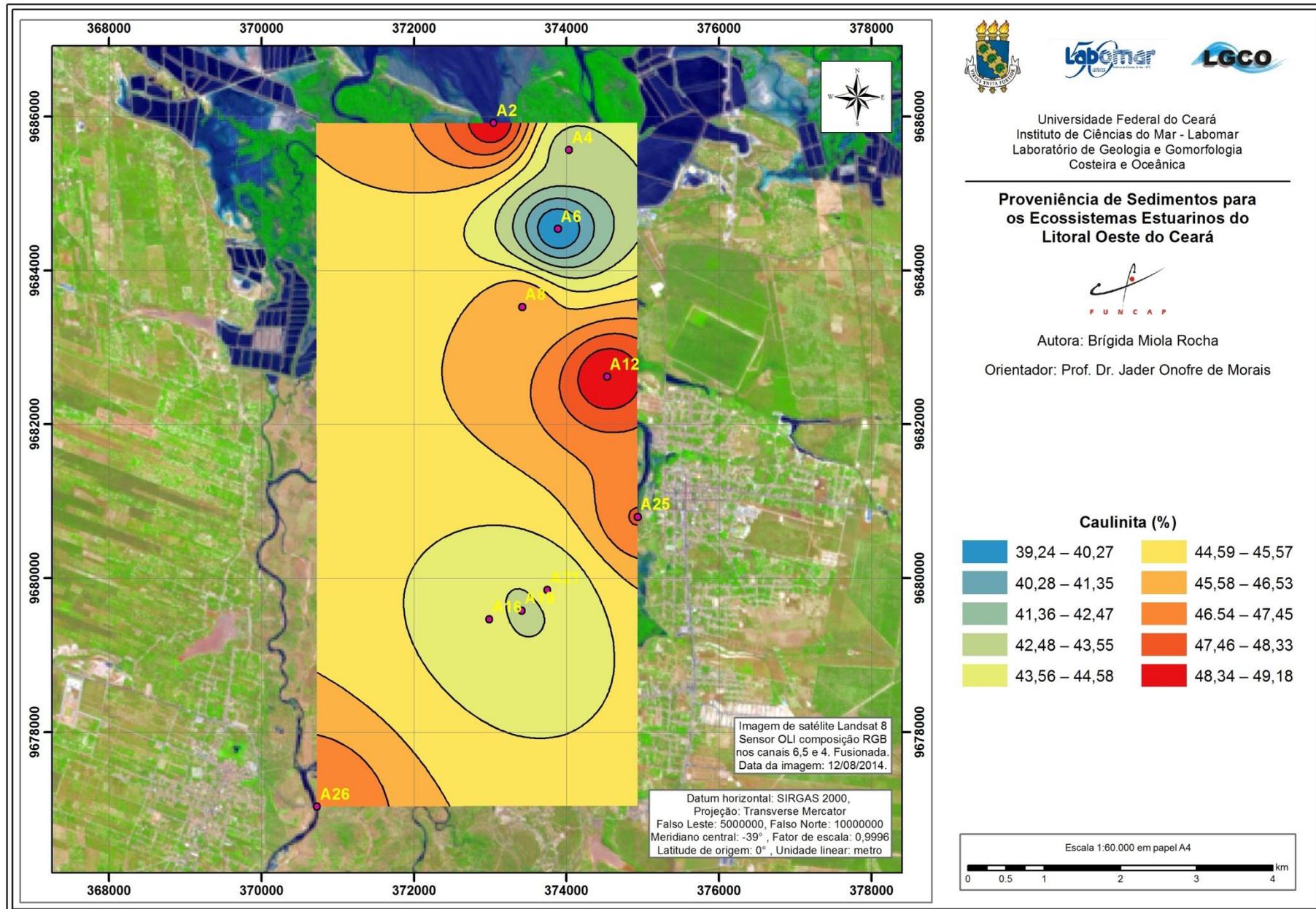
Tabela 27 mostra a capacidade de troca catiônica de diferentes argilas, sendo uma característica de grande interesse para a interpretação da distribuição de metais pesados em sedimentos.

Tabela 27. Capacidade de Troca Catiônica das argilas.

Argila	Capacidade de troca iônica (meq/100g)
Esmectita	80 – 150
Ilita	10 – 40
Caulinita	1 - 10
Clorita	< 10

Fonte: White (2001).

Os teores de caulinita encontram-se em maiores quantidades nos extremos do estuário, os quais são onde se caracterizam por possuir maiores teores de frações finas de sedimentos e também próximos às áreas urbanas. A caulinita apresenta baixa capacidade de troca catiônica, portanto com pequena troca de elementos com a coluna d'água. Provavelmente as grandes taxas de erosão de sedimentos próximos aos pontos que possuem atividades antrópicas, como o porto de Acaraú e as fazendas de carcinicultura justificam também os elevados teores de caulinita nos sedimentos da área de estudo.

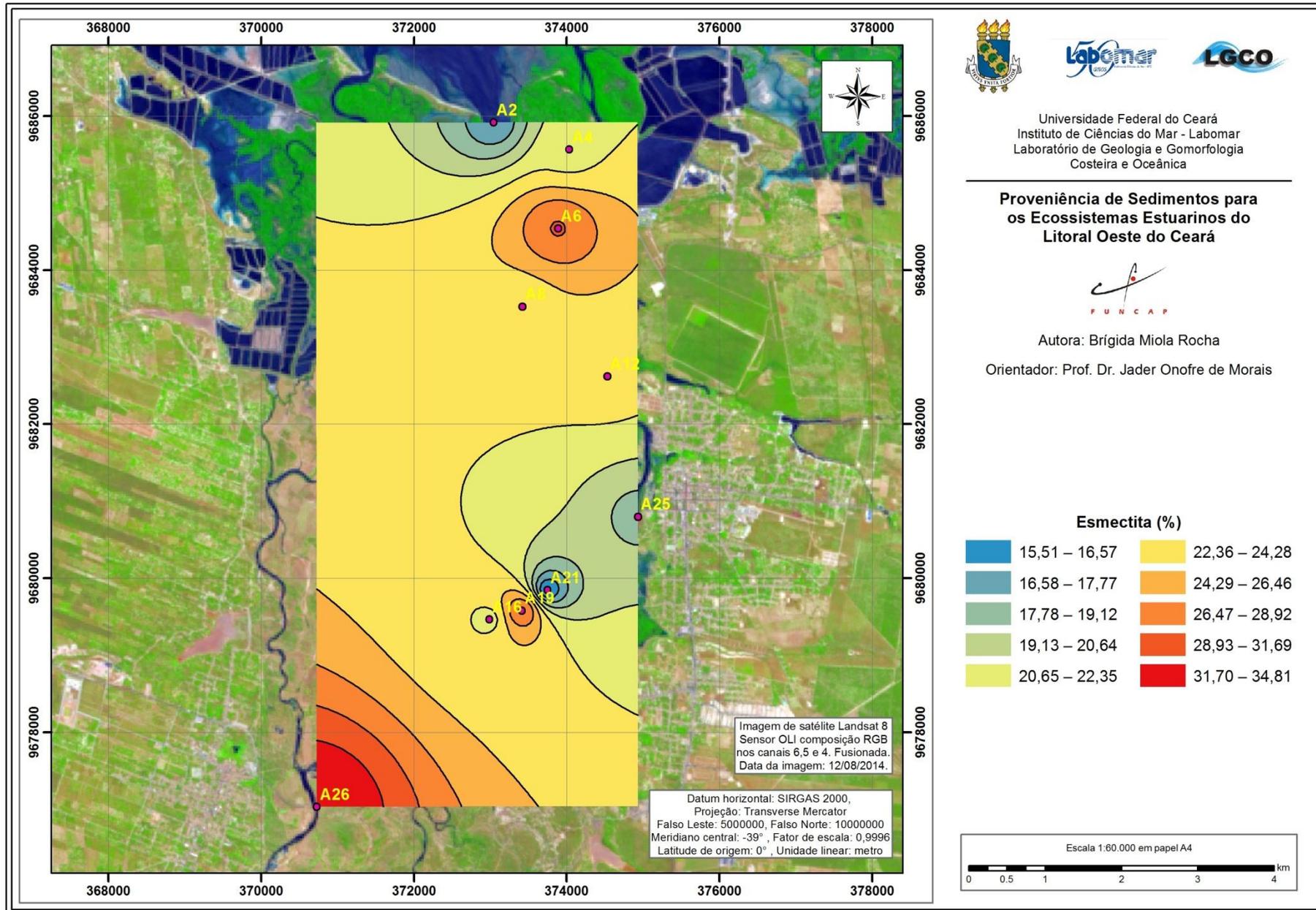


As Trilaminares as estruturas trilaminares apresentam uma lâmina octaédrica entre duas lâminas tetraédricas. Os argilominerais trilaminares são chamados 2:1. As ligações iônicas dos oxigênios apicais ligados aos Si dos tetraedros com o Al da lâmina dos octaedros dentro da unidade 2:1 que mantêm as lâminas juntas. Como estas argilas apresentam planos de oxigênio entre as unidades cristalográficas, não existe neste tipo de argilomineral pontes de hidrogênio (MUGGLER et al, 2005).

A esmectita é formada a partir de soluções básicas, sendo característica de solos de climas menos úmidos, onde as soluções do solo são ligeiramente alcalinas, e os cátions são removidos mais lentamente. Já a illita é o argilomineral mais comum em sedimentos marinhos, já que precisa de abundantes quantidades de K⁺ para se formar, o qual é bastante abundante na água do mar. Em vista disso, produtos de alteração distintos podem resultar de uma mesma rocha mãe devido à variação de fatores como clima, tempo, topografia e vegetação.

Os teores de esmectita nos sedimentos do estuário do rio Acaraú, foram mais elevados no limite sul do estuário (Figura 64), esses são sedimentos de origem fluvial, também foi observado valores elevados próximos a foz do estuário, assim, esse mineral pode ter duas origens nesse ambiente: precipitação no próprio ecossistema estuarino ou em ambiente marinho pretérito, uma vez que os manguezais já foram recobertos pela água do mar no pretérito. A esmectita é um argilomineral com alta capacidade de troca catiônica, sendo esta região um local do estuário que pode apresentar alta capacidade de retenção de metais-traço, caso estes estejam disponíveis no ambiente.

Figura 64. Mapa de distribuição dos teores de esmectita nos sedimentos superficiais do estuário Acaraú.



Já a illita é o argilomineral mais comum em sedimentos marinhos, já que precisa de abundantes quantidades de K⁺ para se formar, o qual é bastante abundante na água do mar. A illita também é muito comum em solos formados de rochas ígneas particularmente ricas em potássio, sendo considerado o argilomineral mais abundante na natureza (MILLOT, 1964).

Nos sedimentos do estuário do Acaraú, a illita apresenta grande distribuição em todo estuário, com exceção aos sedimentos ao sul, que possuem origem fluvial. A maior parte dos sedimentos do estuário são de origem marinha, o que justifica os valores deste argilomineral na área de estudo (Figura 65). Assim como a caulinita, a illita apresenta baixa CTC, sendo assim menor capacidade de retenção de metais-traço, caso estes estejam disponíveis no ambiente

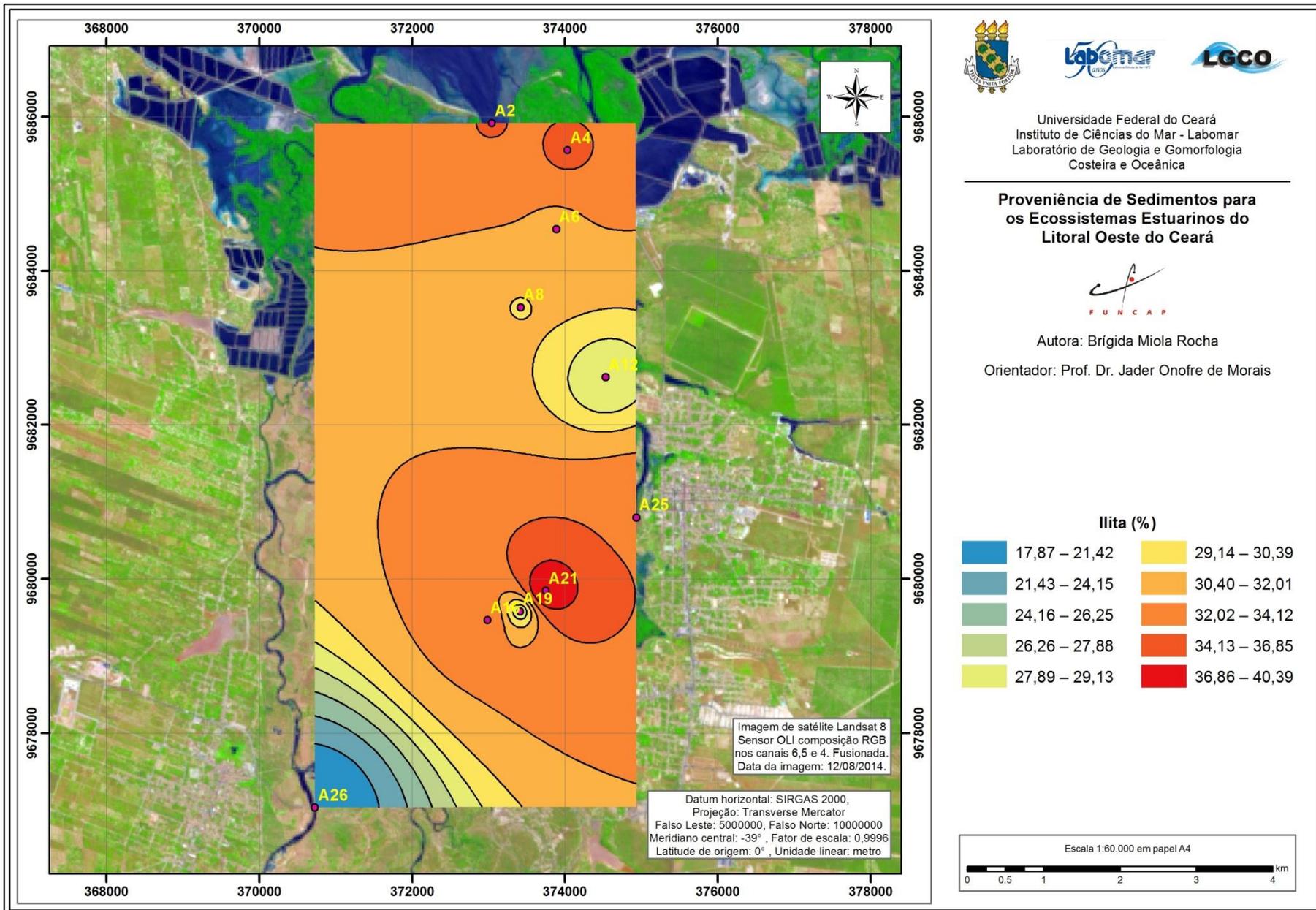
Caliani et al. (1997) identificaram illita e caulinita no sedimento de fundo do estuário de Huelva na costa espanhola, sendo que a razão entre os dois argilominerais foi diminuindo em direção à plataforma. Esta mesma relação entre os dois argilominerais foi observada por Faria e Sanchez (2001) na Baía de Guanabara, RJ. Nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe (PE) da mesma forma foram identificados os argilominerais caulinita e illita, além de quartzo, feldspato e hematita (BRAYNER et al., 2003).

Nelson (1960 in MILLOT, 1964), estudando as argilas depositadas no leito e no estuário do rio Rappahannock (Virgínia, EUA), verificou modificações mineralógicas desde o curso do rio até seu estuário. A illita se tornou cada vez mais abundante, as montmorilonitas diminuíram, ao passo que a clorita apareceu. Apesar da explicação destas modificações devido à influência da passagem água doce-água marinha ser bastante tentadora, o autor aponta para outras possibilidades, como a influência da alimentação dos tributários, ou as condições de transporte e dispersão de sedimentos no estuário.

Nos afluentes do rio de la Plata na Argentina, a illita foi encontrada como principal mineral de argila nos sedimentos de fundo, sendo que os maiores

teores foram detectados nas amostras coletadas a montante nas bacias. Já a esmectita aumentou à jusante (RONCO et al, 2001). Tais diferenças estão ligadas a áreas fonte distintas. A illita está associada a materiais eólicos, e a esmectita é um mineral típico da planície costeira (transgressão marinha do Holoceno). A caulinita, argila encontrada em menor quantidade, é um dos minerais característicos da Bacia del Plata (RONCO et al., 2001).

Figura 65. Mapa de distribuição dos teores de ilita nos sedimentos superficiais do estuário do Acaraú.



A distribuição dos principais carreadores geoquímicos de poluentes foi apresentada neste capítulo, a fim de verificar possíveis pontos ao longo do estuário do Acaraú que são mais prováveis a acumular poluentes, caso os mesmo estejam disponíveis no ambiente costeiro. Os teores de M.O. apresentaram uma distribuição correlacionada com o uso e ocupação do solo no estuário, com maiores valores próximos à zona urbana e fazendo de carcinicultura, bem como com sedimentos de granulometria fina (silte e argila).

Em áreas estuarinas, a M.O. desempenha um importante papel, quer seja em compartimento aquático ou sedimentar. Ela apresenta propriedades singulares como a complexação ou adsorção de íons traço, resultando na imobilização e redução de seus estados de valência, com mudanças nas suas propriedades químicas. Compostos organometálicos têm uma considerável importância na geoquímica ambiental, pois geralmente se associam aos argilominerais e atuam como registros dos níveis de poluição (LICHT, 2001). Os teores de CaCO_3 não apresentaram correlação com as atividades antrópicas que ocorrem ao longo do estuário do Acaraú, mas com a granulometria.

Pesquisadores como Arine (2000), Faria e Sanchez (2001), Carreira e Carreira (2003) têm demonstrado grande atenção à determinação da matéria orgânica em sedimentos, pois indica os processos geoquímicos associados ao ambiente geológico em questão. Quando transportada, a matéria orgânica agrega-se a materiais geológicos, sedimentar e forma sedimentos característicos de cursos de água e lagos. Ácidos orgânicos livres, responsáveis pelo aumento da acidez do meio aquoso e do aumento na taxa de intemperismo químico de rochas são formados por meio das interações entre a matéria orgânica com o material geológico (DIAS E LIMA, 2004).

6. CONCLUSÕES

A partir das análises de granulometria e mineralogia da fração $<2\mu\text{m}$ dos sedimentos nos estuários do Acaraú e Coreaú verificou-se que os estudos

aprofundados da assembleia mineralógica de ambientes estuarinos auxilia na compreensão dos processos de sedimentação desses ambientes e servem também como indicadores de variações do nível do mar, ajudando a compreender as fontes, os agentes transportadores, bem como os locais de deposição de sedimentos na zona costeira.

Em relação aos três objetivos propostos para o desenvolvimento desta Tese, foi possível concluir que:

Com relação à composição dos argilominerais presente nos ecossistemas estuarinos estudados observou-se condições mineralógicas semelhantes nos dois estuários. Os principais argilominerais identificados em ambos os estuários foram: esmectita, caulinita e illita. Além desses, minerais como quartzo, calcita, leptocrocita e rutilo também foram identificados. Os argilominerais encontrados nos manguezais 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, marés e ondas.

A distribuição de minerais argilosos no estuário é devida aos processos de mistura estuarinos. No estuário do Acaraú, a entrada de sedimentos do rio Acaraú é caracterizada por pequena carga de esmectita, sendo esses minerais de argila de proveniência fluvial que são misturados com um segundo conjunto mineral de argila de origem marinha, contendo maiores teores de esmectita. O clima seco ao longo da costa do Ceará é responsável por condições excepcionais em que o sedimento marinho entra nos 10 km mais baixos do rio ou do estuário do Acaraú.

No estuário do Coreaú ocorrem três tipos principais de sequências de argilominerais, sendo os sedimentos com procedências marinhas apresentam uma carga alta de esmectita, os fornecidos pelo rio Coreaú mostram conteúdo elevado de caulinita e esmectita e a terceira sequência apresenta um pico muito elevado de caulinita em contraste com esmectita e illita, esses são sedimentos provenientes do Grupo Barreiras. No estuário do Coreaú, em semelhança com o Acaraú, a maior parte dos sedimentos que preenchem esses ecossistemas tem fonte marinha.

Com os resultados aqui obtidos, conclui-se que o clima constitui uma das mais importantes variáveis controladoras das fontes de sedimentos e para os estuários, uma vez que as variações anuais dos totais pluviométricos fazem com que a maior parte do ano os rios deixem de transportar sedimentos para a zona costeira e conseqüentemente os estuários.

Além disso, atualmente, as barragens fazem com que a dinâmica de sedimentos fluviais para a costa seja menor e as grandes marés sazonais carregem mais sedimentos rio adentro. Verificou-se ainda através sequências de argilominerais identificados nos estuários estudados, que as correntes de deriva litorânea têm grande influência no transporte de sedimentos na zona costeira cearense no sentido leste-oeste, assim como foi observado por outros autores citados neste estudo. Dessa forma, as variações sazonais na região em estudo demonstram mudanças nos processos de sedimentação nos estuários do semiárido.

Com relação a influência dos argilominerais como carreadores de poluentes para os estuários, a distribuição dos principais carreadores geoquímicos de poluentes ao longo do estuário do Acaraú mostra que são mais prováveis a acumular poluentes, devido a sua alta capacidade de troca catiônica, as esmectitas, e que caso estejam em grandes teores no ambiente tem maior capacidade de retenção de metais-traço. Além disso, a M.O. demonstrou sua distribuição associada às zonas de uso e ocupação do estuário Acaraú.

Assim, esta tese, torna-se mais um dado a contribuir com estudos sobre a sedimentação e evolução costeira cearense, nordestina, assim como, sobre a influência de forçantes que atuam na zona costeira do Ceará e nos processos que de preenchimento dos estuários no Ceará.

REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C.; **Chemical Principles of Environmental Pollution**, Chapman & Hall: New York, p. 382, 1997.
- ALMEIDA, F. F. M. DE. **Geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha**. Monografia. DNPM: Divisão Geologia e Mineralogia, 1955.
- ANDRADE, E.M.; BATISTA, T.M.; TEIXEIRA, A.S.; MEIRELES, M.; SOUSA, B.F.S.. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação pelo emprego do GIS. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, p. 279-286, 2006.
- ANDRADE, G.R.P. **Argilominerais em solos de manguezais da costa brasileira**. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 2010, 189 p.
- ANDRADE, J.H.R. **Dinâmica de margens em rios semi-áridos: Aplicações metodológicas no rio Jaguaribe, CE-Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-árido, 2016, 103 p.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. 165 p.
- ARAÚJO, M.V. 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, 2011.
- ARINE, D.R. **Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por ativação neutrônica**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia associada a Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ATTERBERG, A. **Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralboden in Schweden**. Int. Mitt. f. Bodenkunde, 312-342, 1912.
- AUBRUN, A. **Mangrove Ancienne de Basse casamance (Senegal):Caracterisation – pedologie – sedimentologic**. Strasbourg. 165p. Tese de Doutorado. Université Louis Pasteur de Strasbourg, 1988.
- BARRETO, A. M. F, BEZERRA, F. H. R., SUGUIO, K, TATUMI, S. H., YEE, M., PAIVA, R. P., MUNITA, C. S. Late Pleistocene marine terrace deposits in northeastern Brazil: sea-level change and tectonic implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 179, 57-69, 2002.

- BEHLING, H., ARZ, H.W., PAZOLD, J. & WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews** 19: 981-994, 2000.
- BEHLING, H.; COSTA, M.L. Mineralogy, geochemistry and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formations 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.
- BÉRTARD, F.; CANER, L.; GUNNEL, Y.; BOURGEOM, G. Illite neof ormation in plagioclase during weathering: Evidence from semi-arid Northeast Brazil. **Geoderma**, Amsterdam. 152: 53-62, 2009.
- BEZERRA, F. H. R., BARRETO, A. M. F. & SUGUIO, K. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. **Marine Geology**, 196(1-2), 73-89, 2003.
- BIGARELLA, J. J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, 1, 75–111, 1946.
- BIGARELLA, J. J. Subsídios para o estudo das variações do nível oceânico no Quaternário Brasileiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 37, 263–278, 1965.
- BIGARELLA, J. J. SANCHES, J. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes. Praia suspensa do saco da Tambarutaca, Município de Paranaguá-PR. **Boletim Paranaense de Geografia**, 18/20, 151–175, 1966.
- BIGARELLA, J. J. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do Carbono 14. **Paleoclimas** 1, 1–22 1971.
- BISCAYE, P.E. Mineralogy and sedimentation of a recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean, adjacent seas and oceans. **Geol. Soc. Am. Bull.** 76, 803–832, 1965.
- BITTENCOURT, A. C. S. P., MARTIN, L., VILAS BOAS, G. S., FLEXOR, J. M. The marine formations of the coast of the State of Bahia. **International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. Proceeding**, São Paulo, IGCP, Project 61, 232-253, 1979.
- BOSKI, T., BEZERRA, F.H.R., PEREIRA, L., LIMA -FILHO, F.P., MAIA,, R.P., PAULINO, A.C.C., GOMES, A.I. Registro da subida pós-glacial do nível do mar no estuário do rio Potengi, RN, Brasil. In: **XIII Congresso da**

Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA - III Encontro do Quaternário Sul-americano, 13, 2011, Rio de Janeiro.

BRAYNER, F.M.M.; BARBOSA, A.M.F.; SILVA, H.K.P.; MELO, L.V. Behaviour of heavy metals in the estuarine area of the Capibaribe river in the northeast of Brazil. **Journal de Physique** IV, 107: 221-225, 2003.

BUSQUETS, T., IRION, G. & KRONCKE, I. Recent and Mid- o Late Holocene sediment transport in the Elbe estuary as revealed by mineralogical and faunistic methods. Abstract Volume, **Schriftenreihe Deutsche Geologische Gesellschaft** Vol 9, p. 59, 2005.

CALDAS, L. H. O., STATTEGGER, K., VITAL, H. Holocene sea-level history: Evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. **Marine Geology**, 228(1-4), 39-53, 2006.

CALIANI, J.C.F.; MUÑOZ, F.R.; GALÁN, E. Clay mineral and heavy metal distributions in the lower estuary of Huelva and adjacent Atlantic shelf, SW Spain. **The Science of the Total Environment**, 198: 181-200, 1997.

CAMERON, W.M.; PRITCHARD, D.W. **Estuaries**. In: The sea. Vol. (II). M.N. Hill (ed) Interscience, New York. p.306–324, 1963.

CARREIRA, R.S.; WAGENER, A.L.R. Caracterização da matéria orgânica sedimentar na Baía de Guanabara através de marcadores moleculares. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v.26, p. 79-91, 2003.

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

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

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. In: **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Editora Blucher, p. 65 – 101, 1980.

COLLINSON, J.D. The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 39, p. 194-221, 1969.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.; CURI, 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. v 1, 258 p, 1977.

COHEN, M.C.L., SOUZA FILHO, P.W.M., RUBÉN, J.L., BEHLING, H., ANGULO, R.J. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (Northern Brazil). **Wetland Ecology and Management** , 13, 433-443, 2005.

DALRYMPLE, R.W. **Tidal depositional systems**. In: Walker, R. G.; James, N. P.(eds.) Facies models: response to sea level change. *Geological Association of Canada*. p.195-218, 1992.

DALRYMPLE, R.W.; CHOI, K. Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. **Earth-Science Reviews** 81:135-174, 2007.

DAVIDSON, C.; THOMAS, R. P.; MCVEY, S. E.; PERALA, R.; LITTLEJHON, D.; URE, A. M.; **Anal. Chim. Acta**, 291, 277, 1994.

DELIBRIAS, G., LABOREL, J. Recent variations of sea-level along the Brazilian coast. **Quaternaria**, 10, 45-49, 1969.

DIAS, J. C., LIMA, W. N. Comparação de métodos para determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. **Revista científica da UFPA**, Belém, v.4, p. 1-16, 2004.

DIONNE, J.C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Z Geomorphol** 7(1):36–44, 1963.

DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soils environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, chap. 15, p. 729-788. (SSSA. Book Series, 1), 1989.

DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. S. P., LEÃO, Z. M. A. N., AZEVEDO, A. E. G.. Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, 20(1-4), 208-215, 1990.

DROPPO, I. G.; JASKOT, C.; **Environ. Sci. Technol.**, 29, 161, 1986.

DYER, K.R. **Estuaries: A Physical Introduction**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 195p 1997.

EDZWALD, J. K., UPCHURCH, J. B. AND O'MELIA, C. R.Coagulation in estuaries: **Environ. Sei. Technol.** 8, 58-63, 1974.

ELLISON JC, STODDART DR. Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: Holocene analogues and implications. **Journal of Coastal Research** 7(1): 151-165, 1991.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1999.

ESTEVEES, F. A.; **Limnologia**, Ed. Interciência: Rio de Janeiro, p. 575, 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 Coreaú - CE..** 49 p. Monografia de Graduação (Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará. 2006.

FARRAPEIRA, C.A. **Evolução paleogeográfica do baixo vale do Rio Coreaú e plataforma continental, Ceará, Brasil.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, 150 p., Fortaleza, 2013.

FAURE, G. **Principles and Applications of Geochemistry:** a comprehensive text book for geology students. 2nd ed. New York: MacMillan, 1998.

FEUILLET J.P. AND FLEISCHER, P. Estuarine circulation: controlling factor of clay mineral distribution in James river estuary, Virginia. **J. Sedim. Petrol.** 50, 267-279, 1980.

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

GODOY, M.D.P. & LACERDA, L.D. River-island morphological response to basin land-use change within the Jaguaribe River estuary, NE Brazil. **J. Coast. Res.**, v.30, n.2, p.399-410, 2013.

GODOY, M.D.P. **Alterações nas áreas de mangue em estuários no estado do Ceará devido a mudanças no uso do solo e mudanças climáticas.** Tese de Doutorado. Instituto de Ciências do Mar-UFC, 202 p., 2015.

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

GOMES, D.F. & BARRETO, F.M.S. **Mapeamento Geológico e Geoambiental do distrito de Parajuru, Município de Beberibe – CE.** Relatório de Graduação, UFC, Fortaleza, 144p, 1995.

HILDEBRAND, H. Refractive Index Considerations in Light Scattering Particle Size Measurements in Advances in Process Control Measurements for the Ceramic Industry, A. Jillavenkatesa and G. Onoda, ed., **American Ceramic Society**, Westerville, OH p. 379, 1999.

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

HUME, T.M., NELSON, C.S. X-ray diffraction analytical procedures and some mineralogical characteristics for south Auckland region sediments and sedimentary rocks, with special reference to their clay fraction. **Occasional Report No. 10 Department of Earth Science**, University of Waikato, 33 pp, 1982.

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

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

IPECE - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E PESQUISA DO ESTADO DO CEARÁ. **Atlas escolar do Estado do Ceará**, 1a. Edição, 230 p., 2002.

IRION, G. **Clay minerals of Amazon soils**. In: Sioli, H. (Ed.), *The Amazon — Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin*. W. Junk, The Hague, pp. 537–579, 1984.

IRION, G., WUNDERLICH, F & SCHWEDHELM, E. Transport of clay minerals and anthropogenic compounds into the German Bight and the provenance of fine-grained sediments SE of Helgoland. **Journal of Geological Society** 144: 153-160; London, 1987.

IRION, G., DE MORAIS, J. O., BUNGENSTOCK, F. Holocene and Pleistocene sea-level indicators at the coast of Jericoacoara, Ceará, NE Brazil. **Quaternary Research**, 40, 1-15, 2012.

IRION, G., MORAIS, J., BUNGENSTOCK, F. AND MACHALETT, B. . **Sediment development of the Rio Jaguaribe estuary during the Holocene**. 2014. In press.

KÄMPF, N. & CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3. p.1-54, 2003.

KARMANN, I. Água: ciclo e ação geológica. In: TEIXEIRA, Wilson et. al. **Decifrando a Terra**. 2ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p.186-209.

KRAUSKOPF, K.B. **Introdução à geoquímica**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972.

LABOREL, J. Les peuplements de madre´poraires des cotes tropicales du Brésil. *Annales de l'Université D'Abidjan, Serie EII Fascicule 3, Ecologie*: 21-261, 1969.

LACERDA, L. D.; PAUL, F. C. F.; OVALLE, A. R. C.; PFEIFER, W. C.; MALN, O.; *Sci. Total Environ.*, 97/98, 525, 1990.

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

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

LACERDA, L.D. & MARINS, R.V. **River damming and changes in mangrove distribution**. *ISME/Glomis Electronic Journal* 2(1):1-4, 2002.

LACERDA, L.D.; SANTOS, J.A.; MADRID, R.M. Copper emission factors from intensive shrimp aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 52, Issue 12, p.1823-1826, 2006.

LAMAS, F.; IRIGARAY, C.; OTEO, C.; CHACON, J. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. *Engineer. Geol.*, v. 81, p. 32-41, 2005

LAMEGO, A. R. Restingas na costa do Brasil. Rio de Janeiro. **Boletim Divisão de Geologia e Mineralogia**, 96, 1–63, 1940.

LANA P.C. **Os Bentos da Costa Brasileira**. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Rio de Janeiro, 431p, 1996.

LEMES, M.J. L; FIGUEIREDO-FILHO, P.M.; PIRES, M.A.F. Influência da mineralogia dos sedimentos das Bacias hidrográficas dos rios Mogiguaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. **Quim. Nova**, Vol. 26 No. 1, 13-20, 2003.

LICHT, O.A.B. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil**. Curitiba, Univ. Fed. Paraná, Tese Doutorado, 236 p, 2001.

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

LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U.; **Quim. Nova**, 22, 104, 1999.

MAACK, R.. Espessura e sequência dos sedimentos quaternários no litoral do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, 44, 271–295, 1949.

MACHADO, I. C.; MAIO, F. D.; KIRA, C. S. & CARVALHO, M. F. H. **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, 2002.

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

MARTIN, L., SUGUIO, K. The State of São Paulo coastal marine Quaternary geology. The ancient shorelines. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, suplemento 47, 249-263, 1975.

MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J. M., BITTENCOURT, A. C. S. P., VILAS-BOAS, G. S. Le quaternaire marin brésilien (littoral pauliste, sud fluminense et bahianais). **Cahiers O.R.S.T.O.M.** (Série Géologie), 11(1), 95-124, 1979.

MARTIN, L., DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene sea-levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal Coast Research**, 19(1), 101–124, 2003.

MEADE, R.H. Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic coastal plain, **Journal of Sedimentary Petrology**: 222-234, 1969.

MEIRELES, A. J. A., MORAIS, J. O., MAIA, L. P.. Evidências de Oscilações do nível relativo do mar e variações climáticas durante o Quaternário ao longo do litoral cearense. **Revista de Ciências e Tecnologia**, UECE, Fortaleza, 1997.

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

MEIRELES, A. J. A.; VICENTE DA SILVA, E. 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, 2002.

MEIRELES, A. J. A., ARRUDA, GORAYEBE, A., THIERS. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator**, 8, 109-134, 2005.

MEUNIER, A. **Les mécanismes de l'alteration et le role des microsystemes. Etude des arènes du massif granitique de Partenay. Deux-Sèvres**. 248f. These ScT., Université. Poitiers, 1977.

MIALL, A.D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth Science Reviews**, 13:1-62, 1977.

MIALL, A.D. **The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. Springer, 1996.

MILLOT G. **Géologie des argiles**. Paris: Masson, 1964.

MIOLA, B. **Caracterização Geoquímica e Mineralógica dos sedimentos do manguezal do estuário do rio Coreaú, CE, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. 101 p., 2013.

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

MOCHEL, F.R, CASTRO, A.C.L. **Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. Laboratório de Hidrobiologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 243pp, 2003.

MOERNER, N.A., ROSSETI, D., TOÇEDO, P. Sea level changes in NE Brazil, regional eustasy and local tectonics. In: Fletcher, C.H., Matthews, J.V. (Eds.), The nonsteady state of the inner shelf and shorelines: coastal change on the time scale of decades to millennia in the Late Quaternary. : Abstracts with Programs, Inaugural Meeting of ICP Project 437 **Costal Environmental Change During Sea-level Highstands**. University of Hawaii, Honolulu, pp. 111–112, 1999.

MORAIS, J.O. **Aspectos da geologia ambiental costeira no município de Fortaleza– Ceará**. Tese (Professor Titular) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 318 p, 1980.

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, 1988, V 2. p. 581 a 591.

MORAIS, J. O. de. Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras. In: **Revista de Geologia**, v. 9, p. 191 – 242, Fortaleza, 1996.

MORAIS, J.O.; FONTELES, M. L. Fluxos interativos na elaboração da planície costeira de Itarema – Ceará. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 1, p. 63–68, 2000.

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, p. 131-154, 2006.

MORAIS DE, J.O., TINTELNOT, M., IRION, G. & SOUZA PINHEIRO, L.. Pathways of clay minerals in the coastal zone of the Brazilian continental shelf from Ceará to the mouth of the Amazon. **Geo-Marine Letters** 1: 16-22, 2006.

MORAIS J.O., PINHEIRO L.S. The effect of semi-aridity and damming on sedimentary dynamics in estuaries- Northeastern region of Brazil. **J Coastal Res** SI 64:1540–1544, 2011.

MORTIARTY, K.C. Clay minerals in southeast Indian Ocean sediments, transport mechanisms and depositional environments. **Marine geology**. 25, 149-174, 1977.

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.

MUGGLER, C.C.; CARDOSO, I.M., RESENDE, M.; FONTES, M.P.F.; ABRAHÃO, W.A.P.; CARVALHO, A.F. **Conteúdos básicos de geologia e pedologia**. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

NAIDU, A.S., MOWATT, T.C. Sources and dispersal patterns of clay minerals in surface sediments from the continental-shelf area off Alaska. **Geological Society of America Bulletin**. 94, 841–854, 1983.

NAIR, R.R., HASHIMI, N.H., PURNACHANDRA^RAO, V. Distribution and dispersal of clay minerals on the western continental shelf of India. **Marine Geology**. 50, M1–M9, 1982.

NASCIMENTO, F.R. **Degradação Ambiental e desertificação no nordeste Brasileiro: O contexto da bacia hidrográfica do rio Acaraú – Ceará**. Niterói. 308 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2006.

PERILLO, G. M. E. **Definitions and geomorphologic classification of estuaries**. In: PERILLO, G.M.E (Eds) *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Elsevier, 1996. p. 17-46.

PESSOA, P.R.S. **Análise integrada da evolução da paisagem do estuário do rio Acaraú**. Tese de Doutorado. Programa em Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual do Ceará. 135 p., 2015.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary rocks**, third edition: New York, Harper & Row, 628 p, 1975.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. **Sociedade & natureza** (UFU. Online), v. 22, p. 237-250, 2010.

PINHEIRO L.S., MORAIS J.O., MAIA L.P. **The beaches of Ceará**. In: Short, A.D., Klein, A.H.F. *The Brazilian beach systems*. Springer. Amsterdam. Vol 17. p. 175-199, 2016.

PITOMBERA, E. S. Comportamento Migratório da Embocadura e Estuário do

Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Arquivo Ciências do Mar**, 16 (2): 111-115. Dezembro, Fortaleza, 1976.

POTTER IC, CHUWEN BM, HOEKSEMA SD, ELLIOTT M. The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87: 497-500, 2010.

PRADA-GAMERO, R.M.; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, T.O Mineralogia e físico-química dos solos de Mangue do Rio Iriri no Canal de Bertiooga (Santos, SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 233-244., 2004.

PRITCHARD, D.W. **Estuarine circulation patterns**. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81, No. 717, 1955.

PRITCHARD, D.W. What is an Estuary: Physical View Point. In: Lauff, G.H. (eds). *Estuaries*. Washington, American Association for Advance of Science, p.3-5. 1967.

REISON, G.E. Transgressive barrier-island and estuarine systems. In: R.G. Walker and N.P.James (eds.). **Facies Models: Response to Sea Level Change**. **Geological Association of Canada**, p. 179-194, 1992.

RODRIGUES, S.W.P. **Detecção de mudança e sedimentação no estuário do rio Coreaú**. Tese de doutorado em Geoquímica – Universidade Federal do Pará. 124 p, 2014.

RONCO, A.; CAMILIÓN, C.; MANASSERO, M. Geochemistry of heavy metals in bottom sediments from streams of the western coast of the rio de la Plata estuary, Argentina. **Environmental Geochemistry and Health**, 23: 89- 103, 2001

SALIOT, A. **Biogéochimie organique marine**. Cours d'Océanographie Européens, I: 20p, 1994.

SALOMÃO, M. S. M. B.; MOLISANI, M. M.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E.; LACERDA, L. D.; CARVALHO, C. E. V. Particulate heavy metal transport in the lower Paraíba do Sul River basin, southeastern, Brazil. **Hydrology Proceedings**, 15: 587-593, 2001.

SALOMONS, W.; FORSTNER, U. **Metals in the Hydrocycle**, Ed. Springer-Verlag, Berlin, 1984.

SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. **Biogedynamics of Pollutants in Soils and Sediments**. Risk Assesment of Delayed and Non-Linear Responses. Heidelberg: Springer- Verlag, 352p, 1995.

SELLEY, R.C. 1996. **Applied sedimentology**. Academic Press, London (UK), 474p.

SHAW, H.F. The clay mineralogy of the recent surface sediments from the Cicilia Basin, northwestern Mediterranean. **Marine geology**, 26, M51-M58, 1978.

SHEARMAN, P. Recent Change in the Extent of Mangroves in the Northern Gulf of Papua, Papua New Guinea. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, 39:181-189, 2010.

SILVA C.G, PATCHINEELAM SM, NETO JAB, PONZI VRA. Ambientes de Sedimentação Costeira e processos Morfodinâmicos Atuantes na linha de Costa. In: Neto JAB, Ponzi VRA, Sichel SE. **Introdução à Geologia Marinha**. Editora Interciência; Rio de Janeiro, 279 p, 2004.

SILVA, M.S.P. **Especiação e concentração de metais pesados em sedimentos de florestas de manguezal do Estuário de Curimataú – RN**. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, 42p, 2004.

SOARES, H. M. V. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; MACHADO, A. A. S. C.; SILVA, J.C. G. E.; **Environ. Pollut.**, 105, 31, 1999.

SOUZA, M. J. N. **Diagnóstico Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú**. Embrapa, Fortaleza, 2005, 99p.

SOUZA-JUNIOR, V.S.; VIDAL-TORRADO, P.; TESSLER, M.G.; PESSEDA, L.C.R.; FERREIRA, T.O.; OTERO, X.L.; MACÍAS, F. Evolução quaternária, distribuição de partículas nos solos e ambientes de sedimentação em manguezais do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 753-769, 2007.

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

SUCUPIRA, P.A.P. **Indicadores de degradação ambiental dos recursos hídricos superficiais no médio e baixo vale do rio Acaraú-CE**. Ceará, Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual do Ceará, 242 p, 2006.

SUGUIO, K. **Annotated bibliography (1960-1977) on Quaternary shorelines and sea-level changes in Brazil**. Contribution of the Instituto de Geociências, USP for the Holocene Sea-Level Changes Project (IGCP Project n. 61), 1977.

SUGUIO, K & BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2º edição. Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná. Brasil. 1990.

SUGUIO, K.; BARRETO, A. M. F.; DE OLIVEIRA, P. E; BEZERRA, F. H. R., SANTIAGO-HUSSEIN, M. C. Indicators of Holocene sea level changes along the coast of the Pernambuco and Paraíba, Brazil. **Geologia USP, Série Científica**, 13(4), 141-152, 2013.

TEIXEIRA, Wilson et. al. **Decifrando a Terra**. São Paulo, Oficina deTextos, 2001.

TYSON, R.V. **Sedimentary Organic Matter**: Organic facies and palynofacies. 615p., Chapman & Hall, London, U.K. ISBN: 978-94-010-4318-2, 1995.

VAN ANDEL, T. H, LABOREL, J. Recent high sea-level stands near Recife, Brazil. **Science**, 145, 580-581, 1964.

VASCONCELOS, D.L. **Indicadores do nível relativo do mar e evolução costeira durante o holoceno tardio no litoral oeste do Ceará, NE do Brasil**. Ceará, 86 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

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 Marapanim Estuary. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 79, p. 427-438, 2010.

XAVIER, D.A.; BARCELLOS, R.L.; FIGUEIRA, R.C.L.; SCHETTINI, C.A.F. Evolução sedimentar do estuário do rio Capibaride (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. **Tropical Oceanography**, vol. 44, n.2, 74-88, 2016.

ZÖLLMER, V. AND IRION, G. Clay mineral and heavy metal distributions in the northeastern North Sea. **Marine Geology**, 111, 223-230, 1993.

WALKER, R. G.; CANT, D. G. **“Sandy fluvial systems”**. In. WALKER, R. G. ed. *Facies model*. Ontario: Geological Association of Canada, 1984.

WALKER, R.G. **Facies, facies models and modern stratigraphic concepts**. In: *Facies models: responses to sea level change*. Walker, R.G. & James, N.P. (eds). Geological Association of Canada, p.1 14, 1992.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38, 1934.

WANG, X.; LEE, X. Grain-size characteristics of the extant tidal flat sediments along the Jiangsu coast, China. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v.112, p. 105-122, 1997.

WETZEL, R. G.; **Limnology**, Sauders College Publishing: Chicago, p.540, 1983.

WHITE, A. F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils. In: WHITE, A. F.; BRANTLEY, S. L. (ed.). **Chemical weathering rates of silicate minerals**. 1º ed. *Reviews in Mineralogy*, v. 31, p. 407–461, 1995.

XIA, X.M.; LIA, Y.; YANGA, H.; WUC, C.Y.; SING, T.H.; PONG, H.K.
Observations on the size and settling velocity distributions of suspended
sediment in the Pearl River Estuary, China. **Continental Shelf Research**,
Oxford, v. 24, p. 1809–1826, 2004.