

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

EXAME DE QUALIFICAÇÃO PARA TESE DE DOUTORADO

**“GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE MANGUEZAIS DO
NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ: O EXEMPLO DO
ESTUÁRIO DO RIO MARAPANIM”**

DOUTORANDO: JOSÉ FRANCISCO BERRÊDO

ORIENTADOR: Dr. MARCONDES LIMA DA COSTA

BELÉM-PARÁ

Setembro de 2003

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE MANGUEZAIS DO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ: O EXEMPLO DO ESTUÁRIO DO RIO MARAPANIM.

TESE APRESENTADA POR

JOSÉ FRANCISCO BERRÊDO REIS DA SILVA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **20 / 01 / 2006**

Comitê de Tese

MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)

CARLOS EDUARDO DE REZENDE

MARIA THEREZA RIBEIRO DA COSTA PROST

SAMBASIVA RAO PATCHINEELAM

WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA

Belém

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Silva, José Francisco Berrêdo Reis da

Geoquímica dos sedimentos de manguezais do Nordeste do Estado do Pará: o exemplo do estuário do Rio Marapanim. / José Francisco Berrêdo Reis da Silva; orientador, Marcondes Lima da Costa. - 2005

198f. : il

Tese (Doutorado em Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2005.

1.Manguezais 2. Clima tropical 3. Costa Norte 4.Água intersticial 5. Mineralogia 6.Amazônia I. Costa, Marcondes Lima da, orient. II Título.

CDD 20. ed.: 538.42098115

APRESENTAÇÃO

O presente texto destina-se à banca de exame de qualificação de doutoramento, constituída pela Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará. As informações aqui reunidas visam fornecer uma visão geral do desenvolvimento da tese, principais obstáculos e perspectivas. O texto define a problemática, metodologias de abordagem, de aquisição e tratamento analítico dos dados, buscando-se uma interpretação preliminar e breve conclusão face aos resultados obtidos.

A parte inicial trata da localização da área, aspectos da sazonalidade do clima tropical úmido, a vegetação da região costeira e fatores oceanográficos e hidrodinâmicos (ondas, ventos, marés e correntes). A seguir, faz-se uma exposição tão minuciosa quanto possível da metodologia utilizada nas coletas e nas análises de águas e sedimentos. O ambiente natural da área de estudo é descrito através da geomorfologia, da estratigrafia (incluindo a geologia) e da evolução tectônica da área. O estuário é analisado especificamente sob esta abordagem, incluindo a vegetação local dominante.

O texto relata os aspectos da geologia da área fonte e dos sedimentos holocênicos. A utilização do sensoriamento remoto permite a interpretação do desenvolvimento da rede de drenagem e da geomorfologia da planície lamosa. A hidroquímica descreve o comportamento e a distribuição espacial e temporal dos parâmetros físico-químicos e químicos das águas superficiais e o desenvolvimento da cunha salina no estuário do rio Marapanim. O desenvolvimento e a maturidade dos sedimentos são discutidos conjuntamente com a morfologia e a evolução hidrológica. Tais fatores propiciam o cenário para a discussão sobre a evolução da composição química e físico-química das águas intersticiais e a neoformação mineral nos sedimentos lamosos.

RESUMO

A pesquisa visa compreender os processos e a extensão das transformações geoquímicas e mineralógicas em sedimentos de manguezais, resultante das transições águas continentais-águas oceânicas, no estuário do rio Marapanim, na costa nordeste paraense. O clima, a topografia, amplitude de marés e a evaporação, são os fatores responsáveis pela direção e a circulação interna das águas nos sedimentos de manguezal, fato já descrito em outras regiões submetidas à diferentes condições climáticas. Em contato com fases minerais ricas em ferro e argilo-minerais, originários provavelmente dos sedimentos, lateritos e oxissolos da Formação Barreiras, além de abundante matéria orgânica, as hidrocirculações intersticiais modificam suas características químicas sob diferentes condições de pH, Eh e salinidade, originando novas fases minerais através da dissolução e precipitação.

1 - INTRODUÇÃO

Os manguezais constituem um ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho, ocupando costas tropicais e subtropicais do planeta às margens dos oceanos e dos estuários, na zona entremarés; ocupam também zonas inundáveis pouco profundas dos deltas e lagunas, podendo ocasionalmente crescer em regiões onde a maré não intervém e mesmo nas zonas em conexão com água doce (FEEMA, 1979; Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1995; Baltzer, 1982a). Os manguezais desenvolvem-se sob os climas variados de zona quente e sob climas de transição, úmidos ou áridos, em direção à climas temperados (Baltzer, op cit.).

Em razão de sua origem variada e da mistura produzida pela circulação, as águas doces, superficiais, mostram diversas transições com a água do mar, notadamente na salinidade, nível de nutrientes, turbidez, etc. Da mesma forma, as águas de subsuperfície migram lentamente nos sedimentos de mangue, formando uma cunha de origem marinha, flúvio-marinha ou continental (Baltzer, 1982a).

As transições correspondentes às águas superficiais são principalmente comandadas pelo meio exterior ao manguezal, dependendo da geomorfologia que rege a frequência de imersão pelas marés e, por conseqüência, a importância relativa dos aportes de água e da evaporação (marés, enchentes, precipitações e escoamento). Este tipo de transição é importante porque é a causa principal da fixação da vegetação de mangues que se desenvolve geralmente acompanhando a construção dos pântanos.

Na águas de subsuperfície, as transições resultam em parte de fatores exteriores ao manguezal, dos seres vivos e de seus acúmulos como matéria orgânica (vegetais, microorganismos, fauna, etc.) porém, neste caso, o mangue é que rege a transição para a organização dos acúmulos da matéria orgânica com a permeabilidade e as condições geoquímicas que elas produzem quando a água migra lentamente através de diferentes condições de pH, Eh e salinidade, proporcionando a formação de diferentes compostos.

2 - JUSTIFICATIVA

Os manguezais desenvolvem-se segundo um plano que favorece a circulação interna das águas (intersticiais), cujo sentido da circulação depende do clima e da natureza físico-química da cunha salina que se desenvolve nos sedimentos (Baltzer, 1982b). A hidrocirculação, conduz a uma evolução química das águas e a reações entre a matéria orgânica acumulada e fases minerais dos sedimentos, associada a processos de evaporação e amplitude de marés.

Pesquisas realizadas sob condições climáticas variadas têm evidenciado a ação de águas intersticiais atuando na dissolução e precipitação de fases minerais ligadas à sedimentos altamente orgânicos e bioturbados (Purser et al. 1982; Baltzer, 1969; 1975; 1994). Em clima equatorial, trabalhos desenvolvidos em Camarões, Indonésia e Guiana Francesa (Baltzer, 1982a; Baltzer et al. 1995), reúnem evidências que demonstram que estes processos também ocorrem em clima úmido. Na costa norte brasileira, cita-se os trabalhos de Michalopoulos & Aller (1995) e Michalopoulos et al. (2000), em sedimentos lamosos da costa do Amapá; na costa nordeste do Pará, Costa et al. (submetido) e Silva et al. (2002), em sedimentos de manguezais da costa nordeste do Estado do Pará.

A formação de minerais autigênicos, em manguezais, é um reflexo do clima regional e determina normalmente o ambiente químico do meio, desde que existam condições apropriadas, como fluxo lento e disponibilidade de cátions, ânions e matéria orgânica. No estuário do rio Marapanim, observou-se que a cunha salina, intersticial aos sedimentos, é concentrada em superfície por processos evaporíticos desenvolvidos nos períodos secos, sendo diluída nos período mais úmidos, acompanhada por gradientes elevados de pH e Eh, os quais estão em íntima associação com a topografia, aspectos botânicos e nível de marés, sob a influência marcante e característica do clima (Berrêdo et al., 2000).

Através do exposto, acredita-se que o estuário do rio Marapanim seja um sítio extremamente favorável para se investigar os efeitos diagenéticos das hidrocirculações costeiras sobre os sedimentos de manguezais e principais ciclos biogeoquímicos, tendo em vista que: a) a região em questão está sujeita a um regime de macromarés semi-diurnas, com ecossistemas de manguezais situados em posição limítrofe à formações sedimentares ferruginosas do Terciário (Formação Barreiras), que servem como área-fonte de quartzo e minerais argilosos, principalmente caulinita e óxidos-hidróxidos de ferro, para os sedimentos holocênicos que

constituem os manguezais; b) o clima é altamente úmido, com temperaturas relativamente elevadas, alternando períodos de fortes chuvas e estiagem intensa. Tais fatores, associados à suave morfologia, asseguram a diferenciação lateral e vertical registrada nos sedimentos e a implantação da exuberante vegetação de manguezais.

A principal problemática é, portanto, demonstrar o papel exercido pela transição água continental-água oceânica, no estuário do rio Marapanim, enfatizando a influência dos vários aspectos da hidrocirculação costeira (incluindo as marés), da morfologia e do clima, sobre os processos de formação e de transformações geoquímicas e mineralógicas e o desenvolvimento e a maturação dos sedimentos lamosos, associados às características botânicas.

2.1 - ÁREA DE ESTUDO

2.1.1 - Localização da área

O estuário do rio Marapanim está localizado na costa nordeste do Estado do Pará, em um setor costeiro da Amazônia paraense, parte integrante do litoral de submersão dos estados do Pará e Maranhão, situado à leste da desembocadura do rio Amazonas e limitado pelas coordenadas: 00° 32' 30" S / 00° 52' 30" S e 47° 28' 45" W / 47° 45' 00" W (Figura 1).

O acesso à área a partir de Belém, é feito pela rodovia federal BR-316, até a cidade de Castanhal. A partir daí, através das rodovias estaduais PA-136 e PA-318, até a cidade de Marapanim, onde foi montado o laboratório de campo. O deslocamento para as coletas foi facilitado pela utilização de um barco a motor de popa, tipo “voadeira”, que possibilitou o deslocamento rápido entre grandes distâncias, além de facilitar o acesso aos pontos de coleta em maré baixa.

2.1.2 - Clima

A região está situada em baixa latitude, cujo clima caracteriza-se por calor e umidade constantes, destacando-se os altos índices pluviométricos, com fortes pancadas de chuva. O clima é o tropical chuvoso, que sofre influência do tipo climático Am (na classificação de Köppen), com moderada estação seca (pluviometria inferior a 60 mm) e precipitação excessiva durante alguns meses (Martorano et al. 1993). Este comportamento confere marcante sazonalidade às chuvas da região, podendo-se distinguir claramente duas estações neste setor da costa: uma mais chuvosa, ocorrendo entre janeiro a maio e outra, menos chuvosa, de junho (final do período chuvoso) a dezembro (final do período de estiagem).

As precipitações pluviométricas (médias anuais) variam entre 2500 a 3000 mm (SUDAM, 1984) e a temperatura média anual situa-se em torno de 27,7 ° C, com umidade relativa do ar entre 80 a 85 %, intimamente associada ao regime de precipitação pluviométrica (SUDAM op cit. ; Martorano et al. op. cit.).

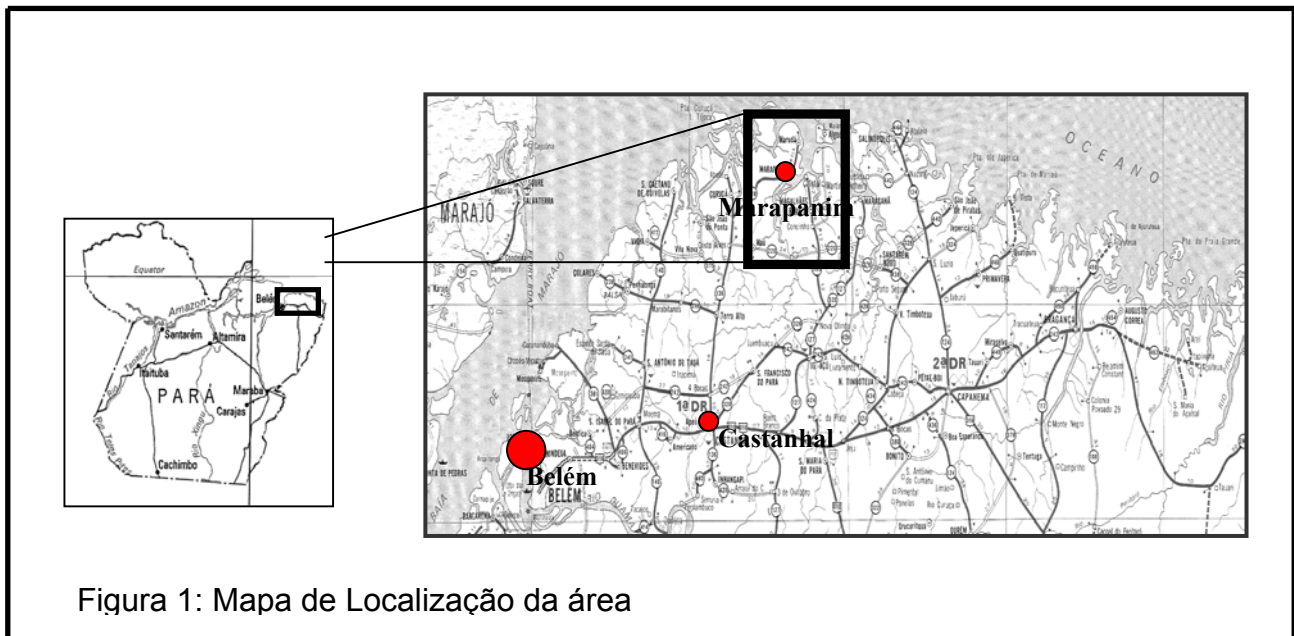


Figura 1: Mapa de Localização da área

2.1.3 - Cobertura Vegetal

Compreende principalmente a vegetação pioneira (Góes Filho et al., 1973) e as florestas secundárias (Costa et al., 1977).

2.1.3.1 - Florestas Secundárias

Representadas pela “Vegetação de Capoeira”, encontram-se reduzidas a pequenas áreas, no Planalto Costeiro, desenvolvendo-se em latossolos ou sedimentos terciários da Formação Barreiras, em terrenos topograficamente altos, formando extensas capoeiras

2.1.3.2 - Formações Pioneiras

São representativas dos terrenos quaternários e encontram-se em íntima associação com as feições morfoestratigráficas dos diferentes ambientes deposicionais e suas condições físico químicas (Silva, 1998). Consideradas como a primeira fase do estágio evolutivo nas regiões ecológicas, são constituídas por mangues, restingas e campos naturais (Prost, 2001). Suas espécies ocupam os depósitos sedimentares resultantes de processos estuarinos ou marinhos.

A vegetação que sofre a influência marinha abrange tanto as faixas de depósitos arenosos das restingas (praias e dunas), como os depósitos argilosos, associados às planícies de marés lamosas onde se estabelecem os manguezais (Santos, 1996).

A restinga, bem caracterizada na foz do rio Marapanim por Bastos (1996), é representada por uma vegetação que se desenvolve nas áreas arenosas, predominando a cobertura arbustiva, que contribui para a fixação desses sedimentos. De acordo com Bastos (op cit.) foram descritas em detalhe as seguintes formações vegetais: halófilas, psamófila reptante, brejo herbáceo, campo entre dunas, vegetação de dunas, formação arbustiva aberta e mata não inundável.

Os campos naturais (Prost, 2001) ou, “vegetação de pântanos” (Silva, 1998), caracterizam a vegetação aberta, fisionomicamente distinta da vegetação mais exuberante. De acordo com Silva (op cit.), essa vegetação é encontrada em dois ambientes característicos: a) pântanos de água salobra, sob a influência de córregos de maré e b) pântanos de água doce, em áreas que

margeiam cursos fluviais. Há ainda, a “vegetação de lagos”, típica de zonas periodicamente cobertas por águas pluviais.

Tabela 1: Principais espécies de vegetação da costa paraense

	UNIDADE BOTÂNICA	ESPÉCIE
	Capoeira	<i>Vismia spp</i> (lacre); <i>Byrsonima Crispa</i> (muruci do mato); <i>Cecropia spp</i> (imbaúba); <i>Maximiliana regia</i> (inajá); <i>Astrocaryum vulgare</i> (tucumã); <i>Matayba sp.</i> ; <i>Tapirira guianensis</i> e <i>Guetarda sp.</i> ;
	Praias e Dunas	<i>Anacardium occidentale</i> (caju); <i>Chysobalanus icaco</i> (ajurú); <i>Byrsonima crassifolia</i> (muruci); <i>Gramineae</i> e <i>cyperaceal</i> ;
	Pântanos de água salobra	Aizoaceae (<i>Sesuvium portulacastrum</i> L.); Amaryllidaceae (<i>Bomarea edulis</i> Herb.); Cyperaceae (<i>Eleocharis caribae</i> Blake, <i>Fimbristilis spadicea</i> Vahl); Gramineae (<i>Paspalum vaginatum</i> Swartz); Pteridaceae (<i>Acrostichum aureum</i> L.);
	Pântanos de água doce	Cyperaceae (<i>Fimbristylis capillaris</i> Kunth e <i>Fimbristylis</i> sp.); Gentianaceae (<i>Nymphoides indica</i> L. O. Ktze.); Lycopodiaceae (<i>Lycopodium cernuum</i> L.);
	Vegetação de lagos	<i>Montrichardia arborescens</i> (aninga); <i>Pistia</i> (aguapé ou mururés)
	Vegetação de mangue	<i>Rhizophora mangle</i> ; <i>Avicennia germinans</i> ; <i>Laguncularia racemosa</i> ; <i>Spartina alterniflora</i> (gramineae);
	(Zona de transição)	<i>Achroscopicum aurium</i> ; <i>Eutherpe oleraceae</i>

2.1.4. - Aspectos oceanográficos e hidrodinâmicos

A integração de dados geológicos, geoquímicos e geomorfológicos é tarefa árdua pela quase inexistência de estudos e medições dos parâmetros hidrodinâmicos e oceanográficos neste setor costeiro. Assim, os dados apresentados, que dão suporte às interpretações desta pesquisa originam-se, em grande parte, na estação de Salinópolis (Fundeadoiro de Salinópolis), localizada a 35 km da área de estudo, bem como de observações de campo.

2.1.4.1 - Ventos

Os ventos exercem papel fundamental na formação de ondas e, conseqüentemente, no transporte e retrabalhamento dos sedimentos litorâneos (Prost, 1988). Os ventos alísios de NE são os responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma interna em direção à costa, soprando continuamente durante o ano (principalmente entre dezembro e março), quando somam-se aos alísios de SE (DHN, 1986), contribuindo para minimizar os efeitos da radiação solar de 244.16 W/m^2 (Carvalho, 1977).

Os alísios de NE deslocam-se a partir da plataforma norte em direção oeste, com velocidade de 5 a 10 m/s, atingindo 6,22 m/s na ilha de Algodoal, localizada na foz do estuário (Carvalho op cit.). Estes ventos geram “trends” de ondas incidentes que, associadas à morfologia de fundo, dão origem a correntes de deriva litorânea para noroeste (Picaut apud Geyer et al. , 1991).

2.1.4.2 - Ondas

Apesar da inexistência de dados sobre a altura, freqüência, etc, das ondas incidentes, observações de campo realizadas por Silva (1998) indicam que, a despeito da forte imposição das correntes de marés, as ondas geradas através dos ventos desempenham importante papel na dinâmica do estuário do rio Marapanim, propiciando a mistura das águas e a ressuspensão dos sedimentos de fundo e das margens, originando fortes processos erosivos. Prost (1998) registra ainda, que os setores mais externos do estuário (face oceânica da ilha de Algodoal), evidenciam a

frente de ondas produzida pelos ventos alísios que chegam a costa em ângulo de 45°, dando origem à correntes litorâneas paralelas à costa, responsáveis pelo trânsito costeiro.

2.1.4.3 - Marés

2.1.4.3.1 - Maré Dinâmica

É a maré produzida principalmente pela força de atração da lua e do sol sobre a massa d'água oceânica, originando a variação periódica do nível da água do mar, acompanhada por correntes horizontais (Franco apud Pinheiro 1987). Cerca de 6h e 12 minutos separam cada preamar da baixamar, em estreita relação com o ciclo lunar. As maiores marés mensais coincidem com as posições de lua nova ou cheia, em conjunção ou oposição entre o sol e a lua (marés de sizígia). As marés de menor amplitude (quadraturas), acompanham as posições de quarto minguante e crescente, quando o sol e a lua formam ângulo de 90° entre sí.

As marés podem ser classificadas como macro-marés, quando sua amplitude for maior que 4m; meso-marés, para amplitudes entre 2 e 4m; e micro-marés, com amplitudes menores que 2m (Davies, 1977). Na costa nordeste do Estado do Pará as marés são do tipo macro-maré, de natureza semi-diurna, com amplitude máxima de 5,5m (dados do Fundeadouro de Salinópolis), amplitude média de 4,8m na maré de sizígia e 2,5m no período de quadratura (DHN, 1994).

Como agente geológico, as marés desempenham importante papel no transporte de sedimentos no litoral paraense e sua influência se faz sentir cerca de 8 a 10 milhas da linha da costa (DHN, op cit.). Observações de campo dão conta de que a maré dinâmica atinge cerca de 70 km acima do rio Marapanim (Silva, 1988).

2.1.4.3.2 - Maré Salina

A maré salina representa a penetração das águas salgadas (de origem oceânica) continente adentro, em sentido oposto ao fluxo das águas fluviais. A importância da maré salina reflete-se em sua participação direta nos processos físico-químicos, biológicos e oceanográficos. Esta maré define o tipo de estuário e reflete o padrão de circulação das águas (Schubel, 1971).

As oscilações de marés, morfologia do estuário, vazão fluvial, evaporação e a precipitação pluviométrica interagem com a penetração da maré salina (Ottmann (1968). De acordo com Berrêdo et al. (1997), a penetração das águas salgadas faz-se sentir até a localidade de Marudazinho, setor meandrante do estuário, em período de estiagem e descargas menores de água doce, apresentando os valores mais elevados (35×10^{-3}), próximos à desembocadura do rio, setor do funil estuarino. Estes valores decaem significativamente no período chuvoso, com o aumento da descarga de água doce (fluvial e pluvial).

2.1.4.4 - Correntes

As correntes induzidas pela maré são as mais atuantes na costa nordeste do Pará (Silva, 1998). São produzidas pelas variações nas amplitudes de marés. As marés de sizígia apresentam as maiores velocidades, atingindo 2,8 nós (1,43 m/s) enquanto que, nas marés de quadratura, a velocidade máxima é de 1,48 nós (DHN, 1994). Essas correntes são responsáveis pelo transporte dos sedimentos no litoral e pela formação de bancos arenosos perpendiculares à linha de costa (EL-Robrini et al., 1992).

No estuário do rio Marapanim, as correntes induzidas pelo fluxo do rio são restritas ao setor meandrante, com menor influência no funil estuarino, quando comparadas às correntes induzidas pela maré (Silva op cit.).

3 - METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE

3.1 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM

Com base nos objetivos propostos, foram escolhidos dois setores para investigação: setor A) localizado no final do Funil Estuarino, definido por uma estrutura lobular da planície lamosa, sobre a qual a vegetação de mangue se desenvolveu. Neste local, as águas superficiais e intersticiais possuem salinidade elevada, com incipiente zonação da vegetação, constituída por tipos maduros mas, também, grande número de espécies jovens (Figura 2). O setor B) localizado no limite sul do Funil Estuarino, possui características salobras, com vegetação predominantemente madura (Figura 2).

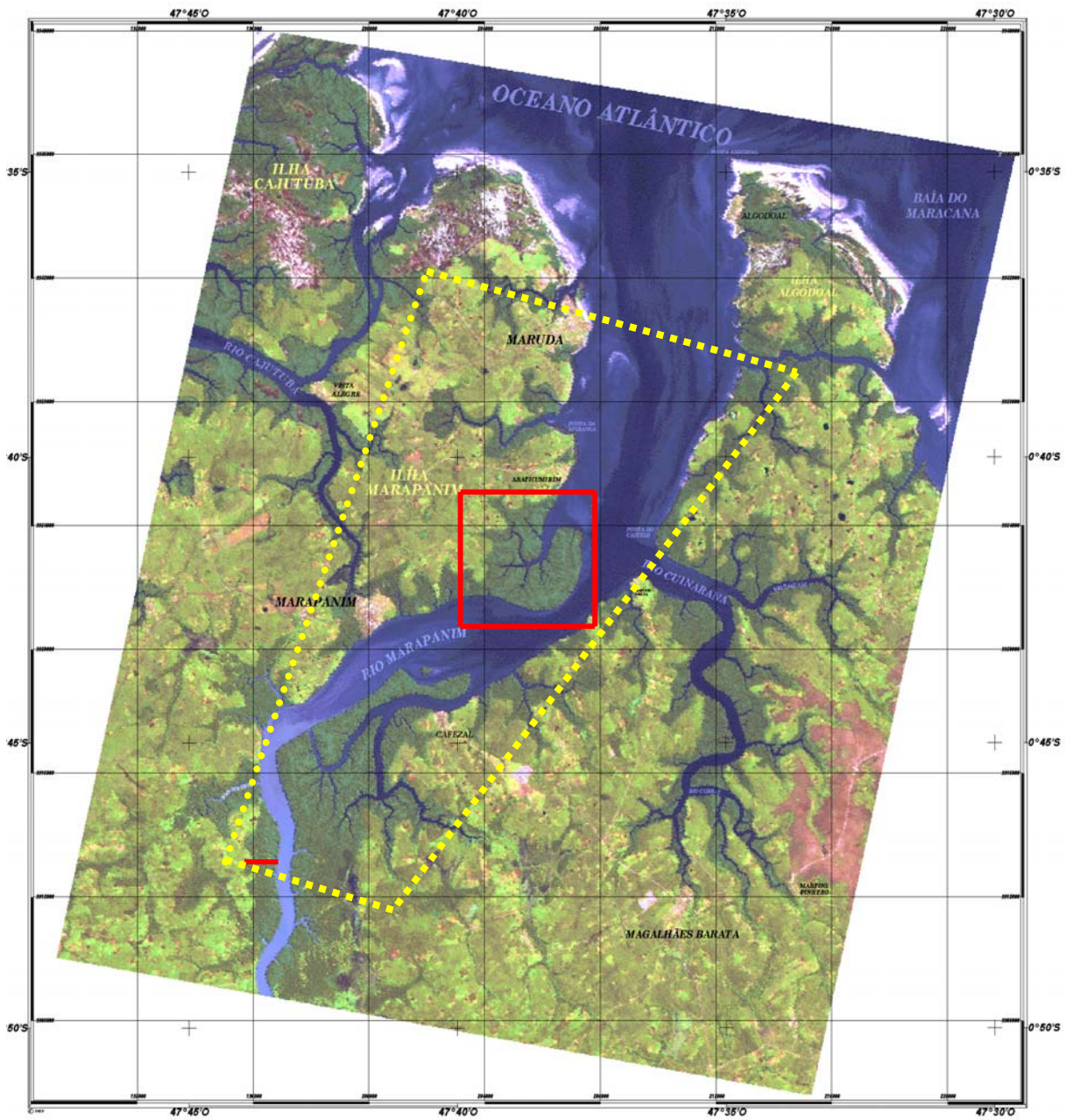


Figura 2: Localização das áreas de estudo

ESCALA 1:100.000

3.2 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Para o estabelecimento dos perfis e a espacialização dos resultados, foi utilizada a base cartográfica elaborada por Faure (1999), obtida de imagens de satélite georeferenciadas e fotografias aéreas em escala de 1:70.000 (pertencentes à CPRM), elaboradas e impressas no laboratório de sensoriamento remoto do Museu Paraense Emílio Goeldi, Unidade de Análises Espaciais (UAS).

3.3 - TRANSECTOS (PERFIS TOPOGRÁFICOS)

A pesquisa adotou o conceito de toposequência, convencionalmente utilizado para relatar padrões zonados (bióticos e abióticos), típicos à microtopografia de planície de marés. Este procedimento requer medidas precisas, obtidas através de um nível automático (AX-1 Nikon), trena, régua em escala métrica, bússula de campo e GPS.

A inexistência de dados maregráficos nesta região, condicionou o posicionamento inicial dos perfis na maré mais baixa (quadratura), para evidenciar o nível mais baixo da planície lamosa. Sobre os perfis topográficos, foram analisados os padrões hidrológicos (níveis de maré), sedimentológicos, geoquímicos e fitossociológicos (espécies, altura, distribuição da vegetação etc.), constituindo a base para a interpretação dos dados gerados.

3.4 - AMOSTRAGEM E MEDIÇÕES NOS SEDIMENTOS

De acordo com a interpretação dos dados da base cartográfica, que levam em conta sobretudo, a análise da rede de drenagem, a morfologia e informações realidade-terreno sobre tipos e distribuição da vegetação de mangue, foram selecionados os pontos de amostragem para sedimento, os quais foram plotados sobre os perfis topográficos. As amostragens foram realizadas no final do período chuvoso (junho/2002) e, no final do período seco (novembro/2002), com coletas extras em abril/2003, junho/2003 e novembro/2003, sob o regime de marés de quadratura e sizígia.

Os pontos de amostragem, distanciados entre si de 100m, foram marcados com placas de alumínio e denominados seqüencialmente em ordem alfabética a partir do rio Marapanim, nivel-

base dos perfis topográficos. As amostras foram obtidas até a profundidade máxima de dois metros; em alguns pontos de coleta contudo, tornou-se impossível a retirada da coluna completa de sedimentos, devido à natureza extremamente fluída apresentada pelo material lamoso.

As amostragens de sedimento foram realizadas utilizando-se dois trados de lama, especiais para obtenção de amostras lamosas não perturbadas (figura 3). No trado tipo A, foram coletadas amostras destinadas às análises físicas (granulometria), físico-químicas (determinação do pH/Eh e salinidade intersticial), químicas (análise química total) e mineralógicas por difração de raios-x e microscopia eletrônica.



(A) (B)
Figura 3 (A,B): Equipamentos utilizados para amostragem dos sedimentos lamosos

As amostras destinadas às análises físicas e físico-químicas foram envoltas em papel de alumínio e, em seguida, em folhas de calhas plásticas utilizadas comumente como telhas. As amostras destinadas à análise química total, obtidas a 15-20 cm em distância horizontal da coleta para análise física, foram rapidamente envoltas em filme de polietileno para atenuação de trocas com o meio externo oxidante e mantidas sob refrigeração até o laboratório, sendo imediatamente congeladas.

As análises físico-químicas foram efetuadas poucas horas após as coletas, em laboratório de campo, consistindo na determinação da salinidade intersticial, do pH e medidas do potencial de oxi-redução, Eh (mV).

As amostras foram coletadas em intervalos de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, a partir daí, em intervalos de 20 cm até a profundidade máxima de 2 m. A salinidade intersticial foi medida com um refratômetro de campo (ATAGO), mediante a extração, sob pressão, de um pequeno volume (gotas) de água intersticial. Medidas de pH e Eh (mV), foram feitas *in situ* através da inserção direta (nos sedimentos), de eletrodo de vidro (pH) e eletrodo de platina (Eh) de alta precisão (Garrels & Christ, 1965; Baltzer, 1982 b; Marius, 1985).

Após as medições físico-químicas, as colunas de sedimentos foram seccionadas, ao longo do comprimento, possibilitando a descrição macroscópica (cor, com a carta de Munsell, aspectos mineralógicos, textura e estruturas físicas e biogênicas), registro fotográfico e a sub-amostragem. Para este procedimento, foi utilizada uma “faca osmótica” ligada a uma bateria de 12 V. O funcionamento desta “faca”, baseia-se nas propriedades das moléculas de água serem atraídas para o polo negativo, quando uma corrente elétrica é aplicada a mesma, formando uma película de água em volta da lâmina, cortando facilmente os sedimentos lamosos.

Amostragens especiais, para a obtenção de amostras com a mínima interferência de oxigênio, foram realizadas com o trado tipo B (figura 3), que possibilita que uma coluna de 75 cm de sedimento seja coletada diretamente em um tubo de acrílico de 2,4 cm de diâmetro interno. As extremidades do tubo são tampadas, orientadas e o tubo inteiro é mantido resfriado até o laboratório, quando os procedimentos de extração sob atmosfera inerte (nitrogênio) são efetuados. Ressalta-se, que este tipo de trado é inconveniente para sedimentos algo siltosos/arenosos, podendo-se utilizar o trado tipo A, com as devidas precauções.

3.5 - ANÁLISES NOS SEDIMENTOS

Análises granulométricas - As frações arenosas e argilosas estão sendo separadas e determinadas quantitativamente. Estas análises serão correlacionadas com os parâmetros físicos, químicos, mineralógicos e fitossociológicos da vegetação. Cálculos dos parâmetros estatísticos (mediana, média, selecionamento, assimetria e curtose), construção de histogramas e classificação textural, serão realizados com o software SEDGRA. Estas análises estão sendo realizadas no Centro de Geociências da UFPa.

Análises mineralógicas por Difração de Raios-x - Estão sendo realizadas no Centro de Geociências da UFPa., através do difratômetro de raios-x Philips, modelo PW 3710, com ânodo de cobre ajustado a 45 kV e 40 mA, 2θ entre 5 e 65° e 0,02°.

As amostras foram secas em baixa temperatura (no laboratório), pulverizadas em grau de ágata e submetidas à identificação difratométrica pelo método de amostra total (pó) e, de argilo-minerais em lâminas orientadas através do método “pipett-on-glass”, descrito em Thorez (1976). Para cada amostra, foram preparadas três tipos de lâminas: normal, etileno-glicol e sob aquecimento a 550 ° C. Os resultados foram comparados ao ICDD, através do software APD.

Análises no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) - A micromorfologia dos minerais e a morfologia de restos biológicos e carapaças de diatomáceas, foi observada pelo microscópio eletrônico (MEV), do Museu Paraense Emílio Goeldi: um equipamento LEO 1450 VP, com Sistema de Energia Dispersiva (EDS 500 DP). As amostras foram dispersas com uma gota de água deionizada, e fixadas a uma plataforma metálica através de uma fita de carbono EMITEC K550 (3×10^{-1} bar e 25 mA).

Determinação da Matéria Orgânica - Realizada em amostras secas em temperatura ambiente (28 °C), por via úmida, segundo metodologia desenvolvida por Loring & Rantala (1992), para sedimentos marinhos argilosos. Estas análises foram realizadas para validar as medições de Eh (mV), podendo auxiliar nas interpretações sobre a distribuição da vegetação.

Composição química total dos sedimentos - As amostras estão sendo analisadas no Centro de Geociências da UFPa./MPEG. A sílica total por gravimetria e o alumínio e o titânio, por via úmida; o ferro total (complexometria com orto-fenantrolina) e fósforo total (via úmida); o cálcio, magnésio, sódio e potássio, por absorção atômica de chama.

Determinação da sílica biogênica - Será analisada nos sedimentos após sucessivas extrações com NaOH 0,1 N, de acordo com o método desenvolvido por De Master (1981). A sílica biogênica é importante para auxiliar na identificação e distribuição espacial de regiões do manguezal enriquecidas em sílica reativa e, portanto, mais favoráveis a transformações diagenéticas.

3.6 - COLETA E ANÁLISE QUÍMICA DE ÁGUAS INTERSTICIAIS E DE SUPERFÍCIE:

A extração da água intersticial do sedimento, permite medir e interpretar relações água intersticial-sedimento, pela análise da solução e fases sólidas de um mesmo local, podendo-se identificar reações de equilíbrio entre minerais e água, por conseguinte, mudanças diagenéticas na mineralogia e modificações na química do sedimento.

A extração da água intersticial está sendo realizada por centrifugação sob alta rotação. Opcionalmente, utiliza-se uma prensa hidráulica, adaptada para operar em atmosfera inerte. A utilização da centrífuga contudo, agiliza a extração, minimizando o tempo coleta-análise.

Estão sendo determinados os teores de alcalinidade total por Gran (Grasshoff 1993); sulfetos totais dissolvidos (Cline, 1969); ferro total dissolvido (ortofenantrolina), após filtração em membrana de 0,22 μm ; sulfato (turbidimetria com sulfato de bário); cloreto (volumetria com nitrato de prata); ortofosfato, amônia e silicatos (Carmouze 1994); K^+ , Na^+ , Mg^{++} e Ca^{++} (absorção atômica de chama). Nestas amostras, são ainda medidas a salinidade ($\times 10^{-3}$), pH, Eh (mV) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Amostragens das águas superficiais, são realizadas concomitantemente ao longo do estuário, medindo-se a salinidade, pH e Eh (mV), e analisados os mesmos parâmetros físico-químicos definidos para as águas intersticiais segundo Grasshoff (1993).

Os fatores hidrológicos, marés e sazonalidade climática, poderão determinar variações temporais nos constituintes químicos e na estabilidade e formação de compostos, por este motivo, as amostragens para águas intersticiais e águas de superfície serão feitas em marés de enchente e de vazante (sizígia e quadratura), em período de chuva (março, maio e junho) e de estiagem (setembro e novembro), acompanhando a subamostragem dos sedimentos.

3.7 - LEVANTAMENTO FLORÍSTICO

Através de interpretações preliminares e constatações prévias de realidade-terreno, orientou-se os transectos transversalmente à linha de costa, interceptando o padrão aproximado NS de distribuição da zonation da vegetação, buscando-se retratar a mais extrema transição ou características que influenciam a distribuição e estimam a posição sucessional de diferentes

espécies. Neste perfil, será realizado o levantamento florístico, utilizando-se métodos fitosociológicos, de acordo com o tipo de vegetação.

Os dados obtidos com os números de indivíduos, alturas e diâmetros das árvores, são analisados através do programa FITOPAC 1, gerando informações tais como: densidade relativa, dominância relativa, frequência relativa índice de valor de importância, etc., além de outros julgados de interesse. Este levantamento deverá ser feito em campanha específica, em período de estiagem.

4 - CENÁRIO REGIONAL DA COSTA NORDESTE DO PARÁ

4.1 - GEOMORFOLOGIA

Uma costa de “rias”, de direção preferencial NW-SE, formada por vales parcialmente submersos pela subida do nível relativo do mar durante o Holoceno, constitui marcante característica morfológica do litoral paraense, constituído pela foz dos rios que deságuam no Oceano Atlântico (Barbosa & Pinto, 1973).

De acordo com os autores supracitados, o litoral paraense se enquadra geomorfologicamente em duas unidades: a) “Litoral de Rias” e, b) “Planalto Rebaixado da Amazônia”. Na unidade “Litoral de Rias”, estão as planícies litorânea e fluvial, esculpidas em sedimentos holocênicos, que agrupam formas como praias, dunas, planícies de marés e planícies estuarinas. Na região de Planalto, encontram-se os sedimentos terciários da Formação Barreiras, de relevo dissecado, com falésias que bordejam todo o litoral.

Franzinelli (1982; 1992), caracterizou o segmento da costa compreendido entre a Baía de Marajó (Pará) e a Baía de São Marcos (Maranhão), como uma costa embaiada, de submersão contínua, transgressiva alta. Segundo o autor, especificamente entre a Baía de Marajó e a Baía de Pirabas, onde o Planalto Costeiro (Zona dos Platôs, segundo Costa et al., 1977), é recortado pelas baías, constitui-se um setor caracterizado por baixos terraços, esculpidos na Formação Barreiras, os quais formam falésias ativas que atingem o Oceano Atlântico. A esse relevo, associam-se os depósitos de manguezais estudados, dispostos ao longo dos rios e canais de maré que penetram continente adentro.

Para a morfologia dos sedimentos quaternários, a Unidade Morfoestrutural Litoral de “Rias” de Barbosa & Pinto (1973), correlaciona-se à Planície Aluvionar de Costa et al. (1977) e às unidades geomorfológicas Planície Costeira Baixa (manguezais) e Planície Arenosa (praias, dunas) de Senna et al. (1991) e Senna (1993).

Importantes contribuições à morfoestratigrafia holocênica da costa do Pará, região do rio Marapanim, cabem a Santos (1996) e Silva (1998), por suas pesquisas desenvolvidas no estuário do rio homônimo. Santos (op cit.), definiu para as planícies costeiras de Algodal e Marudá, foz do rio Marapanim, a seguinte compartimentação geomorfológica: a) relevo de Planalto Costeiro, que engloba falésias e Plataforma de Abrasão e, b) Canal Estuarino, cordões praia-duna, planícies de maré, praias, dunas, pântanos salinos e cheniers. Por outro lado, para a bacia do rio

Marapanim, Silva (op cit.) caracterizou três domínios geomorfológicos: Planície Costeira, Planície Estuarina e Planície Aluvial, definindo a evolução do estuário durante o Holoceno.

4.2 - GEOLOGIA

As principais unidades geológicas que sustentam os depósitos holocênicos são os sedimentos das formações Pirabas e Barreiras. Ocorrem também rochas pré-cambrianas, localizadas apenas à leste da Baía de Pirabas, adjacente à Planície Costeira de Bragança.

Os sedimentos da Formação Pirabas são constituídos por calcários altamente fossilíferos do Mioceno Inferior (Ferreira, 1980), além de margas, depositados em ambiente marinho raso, de águas calmas a ligeiramente agitadas. Seus afloramentos são descontínuos e afloram em baixamar, ao longo do litoral, desde a Baía de Marajó até a Bacia de Barreirinhas, no Maranhão (Ferreira et al. 1973). No estuário do rio Marapanim, afloramentos da Formação Pirabas foram localizados à 20 km da foz, às proximidades da Vila de Guarajubal, expostos em maré baixa.

Os sedimentos da Formação Barreiras (os mais freqüentes na área de estudo), estão expostos em forma de falésias ativas, em um relevo colinoso, levemente ondulado, que acompanha o litoral paraense até a cidade de São Luís (Maranhão), assentando-se sobre a Formação Pirabas (Nunes et al., 1973), bem como constituindo falésias inativas dispostas no interior da planície costeira. Esta formação é constituída por sedimentos clásticos, com litologia extremamente variável (conglomerados polimíticos com intercalações de sedimentos arenosos e argilosos), constituindo fácies sedimentares depositadas em ambientes de leque aluvial, planície de maré e fluvial (Rossetti et al., 1989). Arai et al. (1988; 1994), atribuíram idade Mioceno Inferior para esses depósitos.

4.2 - EVOLUÇÃO TECTÔNICA

O arcabouço estrutural da região envolve rochas cristalinas (Pré-Cambriano), associadas com o evento de abertura do Atlântico Equatorial, durante a evolução tectônica das placas Africana e Sul-Americana (Aranha et al., 1988). Parte da costa nordeste do Estado do Pará pertence a uma plataforma estável (Plataforma Bragantina), individualizada durante o Terciário,

de subsidência variável até o Mioceno Inferior, quando foram depositados os sedimentos das formações Pirabas e Barreiras (Almaraz, 1977).

A configuração atual do litoral paraense está associada a movimentos tectônicos do Mio-Plioceno e do Pleistoceno Médio-Holoceno, associada a falhamentos os quais controlam as orientações das principais “rias” da região, bem como as “rias” que penetravam por grandes extensões, e que também influenciaram na deposição das formações Pirabas e Barreiras. Esses movimentos prolongaram-se até o Pleistoceno Médio e Superior, quando ocorreram novos movimentos tectônicos, que modificaram o sistema de drenagem, as unidades de relevo e orientaram os rios do litoral norte do Brasil (Borges et al. 1995 a e b).

A configuração do sistema de drenagem atual é bastante influenciado pela tectônica da região (Costa et al. 1991). De acordo com esses autores, a alternância de trechos de rios fortemente sinuosos com trechos de baixa sinuosidade, é um reflexo da modificação do relevo provocado pela dinâmica terrestre. É o que comprova Cunha (1991), segundo o qual as áreas estruturalmente mais altas interagem com a hidrografia, ocasionando o novo desenho dos cursos dos rios, aparecimento de terraços erosivos, estreitamento das planícies de inundação e a diminuição do índice de sinuosidade na drenagem.

5 - O ESTUÁRIO DO RIO MARAPANIM

Pela sua posição geográfica, a costa nordeste do Estado do Pará situa-se no centro de grandes sistemas de circulação atmosférica e oceânica tropical que, juntamente com a descarga hídrica e sedimentar do rio Amazonas, exercem influência direta na dinâmica costeira atual (Prost, 1997).

Um dos mais importantes mecanismos regionais que atuam sobre a dispersão amazônica, a Zona Intertropical de Convergência (ZIC), é que determina o regime pluviométrico entre o Pará e Guianas, resultado de seu deslocamento anual e da dominância sazonal dos alísios de nordeste ou dos alísios de sudeste, que atingem a linha de costa paraense, soprando constante e moderadamente.

De acordo com a época do ano, a energia do meio costeiro é modificada e, com ela, os parâmetros abióticos (agitação do mar, direção das ondas, velocidade e taxa de acúmulo dos sedimentos em suspensão, etc.). As precipitações pluviométricas condicionam, no Pará, uma sazonalidade marcante, já mencionada anteriormente, a evolução da vegetação, características dos espaços palustres, alimentação das bacias vertentes e os efeitos das transições água doce-água salgada. Conjugado com a ação eólica e marinha e, com a insolação e a evaporação, tais períodos introduzem variações nos processos costeiros, como a ação e a energia das ondas, modelado das áreas internas, etc. (Prost, op. cit.).

5.1 - CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E SEDIMENTOLÓGICAS

O estuário do rio Marapanim apresenta morfologia estuarina em forma de funil, com alta razão largura/profundidade. Dentro do funil, os canais de maré apresentam baixa sinuosidade. A largura da seção estuarina diminui gradativamente à montante, cedendo lugar a um padrão de canal sinuoso, com maior meandramento no limite superior de influência da maré, quando torna-se mais retilíneo (Silva & Mendes, 2001).

Neste estuário, as águas são extremamente bem misturadas, sendo mais significativo o gradiente da salinidade lateral, devido a mistura das águas e sentidos diferenciados das marés de enchente e vazante.

O estuário do rio Marapanim apresenta foz em livre conexão com o mar, baixo relevo, sendo dominado por macro-marés (> 5 metros) semi-diurnas, combinadas localmente com a ação de ondas. A maré salina penetra cerca de 62 km estuário adentro, no período de estiagem e, 42 km durante o período das chuvas.

O estuário foi compartimentado em quatro domínios geomorfológicos, com base em suas características morfológicas, sedimentológicas, estratigráficas, topográficas, vegetação típica e processos físicos dominantes (Silva, 1998). Os domínios identificados foram denominados como: a) Planalto Costeiro b) Planície Costeira; c) Planície Estuarina e d) Planície Aluvial . De grande importância para esta pesquisa, são os depósitos sedimentares do Planalto Costeiro, representados pelas falésias das formações Barreiras que, devido sua grande extensão areal e localização no estuário constituem-se, provavelmente, na principal área-fonte para os sedimentos holocênicos que constituem os manguezais. A Planície Estuarina, por sua vez, abriga os principais depósitos (arenosos e lamosos), sobre os quais instalam-se os manguezais.

5.1.1 - Planalto Costeiro

Apresenta uma superfície plana, formando tabuleiros com vertentes retilíneas e íngremes, às vezes suavemente ondulada, constituindo colinas elevadas (24 metros de altura). É sustentado pelos sedimentos da Formação Barreiras. A Formação Barreiras faz contato com a Planície Costeira em forma de falésias ativas e também recuadas (inativas), protegidas por depósitos da Planície Costeira. Nas planícies Estuarina e Aluvial, margeiam os depósitos de manguezais, pântanos salinos e de água doce, formando terraços com cerca de 10 metros de altura.

Intensos processos erosivos atuam sobre as falésias ativas, provocando o escavamento da base das falésias e o desmoronamento da sua parte frontal. Isto origina blocos decimétricos a métricos na base das falésias, os quais funcionando como barreiras protetoras para esta unidade.

5.1.2 – Planície Costeira

Corresponde aos depósitos arenosos e argilosos pleistocênicos e holocênicos. É limitada à sul pelo Planalto Costeiro e a Planície Estuarina e, a norte, pelo Oceano Atlântico. Neste domínio, destacam-se sete a oito unidades morfológicas definidas por Santos (1996) e redefinidas

por Silva (1998), localizadas na foz do estuário, constituídos pela Planície de Cristas de Praia, Paleoduna, Duna Costeira Atual, Pântano Salino, Planície de Maré, Praia Flecha-Barreira, Lago e Paleo Córrego de Maré, detalhadas por estes autores.

5.1.3 – Planície Estuarina

Limita-se ao norte pela Planície Costeira, sob o domínio dos processos marinhos e, a sul, pela Planície Aluvial, no limite superior da maré salina (aproximadamente 64 km da foz). É margeada pelo Planalto Costeiro e ocupa aproximadamente 180 km². Está dividida em 3 unidades morfológicas: Canal Estuarino, Canal de Maré e Planície de Inundação.

5.1.3.1 – Canal Estuarino

A morfologia reflete a influência das marés dinâmica e salina ao longo do canal estuarino. O Canal Estuarino foi compartimentado em 4 padrões morfológicos: a) Funil Estuarino, b) Segmento Meandrante Sinuoso, c) Segmento Meandrante em Cúspide e, d) Canal de Curso Superior. Destes padrões, o Funil Estuarino é o mais importante, por abrigar as áreas de estudo; os demais situam-se rio acima, após esta unidade e, portanto, fora dos interesses da pesquisa, com exceções. As referidas unidades são detalhadamente descritas em Silva (1998).

a) O Funil Estuarino

Corresponde à foz do estuário (zona mais distal), com uma abertura de 8 km de largura, afunilando-se em direção ao continente, onde observa-se curva típica, com configuração tipo “dog leg”. Neste setor, a profundidade varia de 6 m em frente à cidade de Marudá a 9 m em frente à cidade de Marapanim; na estiagem, a salinidade das águas corresponde a 35×10^{-3} em Marudá e 24×10^{-3} em Marapanim. Associada a esta morfologia ocorrem depósitos de planície de maré lamosa e barra de maré (arenosa e lamosa), descritos abaixo:

- A Planície de Maré Lamosa ocorre margeando o funil estuarino e córregos de maré. São limitados internamente pelo Planalto Costeiro e, externamente, por barras de maré arenosas.
- A Barra Arenosa de Maré constitui corpos longitudinais, alongados segundo o fluxo de maré, com no máximo 6 km de comprimento e 1 km de largura. São areno-argilosas na base e

arenosas ou argilosas em direção ao topo, no interior do funil estuarino, evidenciando uma diminuição de energia das correntes de maré. As barras não são vegetadas e encontram-se emersas na maré vazante.

- A Barra Lamosa de Maré, ocorre na parte mais interna do funil estuarino, formando ilhas. É constituída por sequências arenosas na base e lamosas no topo, tipicamente vegetada por espécies de mangue, descritas mais adiante. Um exemplo, é a curva em “dog leg”, localizada no lado oposto a entrada do canal de maré de Cuiarana, em frente à localidade de Cafezal.

b) Segmento Meandrante Sinuoso

Onde ocorrem meandros com sinuosidade regular, formando curvas amplas, com diâmetro em torno de 2 km e profundidade média de 7m. Os depósitos relacionados a este segmento são: planície de maré lamosa, barra em pontal lamosa e dique marginal.

Dentre os depósitos mencionados, destaca-se os diques marginais, que constituem áreas elevadas, lineares, margeando canais meandrantés e o próprio rio Marapanim. Elas podem atingir 80 cm de altura acima dos depósitos de planície lamosa, dispostos adjacente aos diques, em áreas mais deprimidas. Os diques constituem importante feição, por interferirem na circulação das águas superficiais e, conseqüentemente, nos processos de sedimentação e evolução dos sedimentos de mangue, conforme será mencionado posteriormente.

c) Segmento Meandrante em Cúspide

Os meandros são angulosos, irregulares, com curvas menores (aproximadamente 800m de diâmetro). A profundidade atinge 15m e a salinidade 8×10^{-3} no verão e 0×10^{-3} no período chuvoso. Os principais depósitos são: barra em pontal, planície de maré lamosa e diques marginais.

d) Canal de Curso Superior

Corresponde ao segmento mais proximal do canal estuarino, com forma retilínea, curvas localizadas, com meandros abandonados. Neste trecho, a profundidade é de 7m, as correntes fluviais são dominantes em relação às correntes de maré e abriga diques marginais.

5.1.3.2 – Canais de Maré

Constituem canais secundários, influenciados pela maré. São de grande importância nos processos de sedimentação interna dos manguezais, transporte de nutrientes e oxigênio. Ocorrem ao longo das planícies Costeira e Estuarina, com formas sinuosas, bifurcadas, rasos, com no máximo 5 km de comprimento e 800m de largura. O fundo é arenoso na parte mais externa da planície estuarina e lamoso na parte interna desta.

5.1.3.3 – Planície de Inundação

Corresponde à área inundada pelos canais de maré e cursos fluviais. Limitam-se na parte interna pelo Planalto Costeiro e, na parte externa, pela planície de maré lamosa. Associado a essas áreas encontram-se pântanos salinos e de água doce.

5.1.4 – Planície Aluvial

Área periodicamente inundada pelas águas provenientes do transbordamento do canal meandrante. Situa-se predominantemente sobre os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras e é limitada pela Planície Estuarina, limite da maré salina, atingindo 40 km² de área.

Nesta unidade, reconhece-se várias feições: canal meandrante (com meandros abandonados), depósitos de canal (depósitos de fundo de canal), depósitos de margem de canal (diques marginais, depósitos de recobrimento, planície de inundação, com pântanos de água doce e lagoa) e depósitos de preenchimento de canal.

6 – OS MANGUEZAIS

6.1 - VEGETAÇÃO

São raras e escassas as informações disponíveis sobre a estrutura e distribuição da vegetação ao longo do estuário do rio Marapanim. A maior parte das descrições resultam de levantamentos localizados, principalmente no Funil Estuarino, e deste trabalho.

Análises de cenas de satélite mostram que a área de abrangência dos manguezais no estuário é de cerca de 130 km² (Faure, 1999). Os manguezais da Planície Costeira desenvolvem feições retrogradacionais por encontrarem-se sujeitos à ação das correntes de maré, enquanto que os da parte mais interna progradam através de frentes acrescionárias (Silva, 1998).

As principais espécies arbóreas são: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Lagunculária racemosa*; em zonas de acreção (principalmente na foz do estuário), ocorre a *Spartina brasiliensis*. A vegetação é constituída por árvores de porte elevado (25 a 30m) em geral, distribuídas em bosques mistos formando mosaicos, sendo raras e tênues as zonações vegetais. As zonações são mais comuns no Funil Estuarino, associadas à morfologia das barras lamosas de maré e à planície de maré lamosa.

Nas zonas de planície lamosa, de sedimentos jovens, é comum a fixação da *Spartina brasiliensis*, contribuindo para a estabilização do terreno com matéria orgânica, *Lagunculária racemosa*. Em zonas mais antigas, situadas à montante do rio,

Os manguezais são tipicamente de intermaré, bem desenvolvidos e densos no funil estuarino e setor misto do estuário, estreitando-se à montante (Vila de São Vicente), passando a manguezais senis. Na zona transicional, ou seja, na região onde a salinidade se aproxima de zero, os manguezais são sucedidos por vegetação de várzea e cipós, caracterizada pela presença do *Achroscopicum aureum* e *Eutherpe oleraceae*, entre outras, definindo um limite geobotânico para o estuário. Esta substituição gradual da vegetação de mangue se dá em resposta à desassalinização do meio, à maior influência fluvial e a modificações litológicas decorrentes do maior percentual de silte e areia na constituição dos sedimentos.

6.2 - SEDIMENTOS

São representados pelos sedimentos dos setores A e B na Figura 2, colonizados pela vegetação de mangue. Estes sedimentos são constituídos de fases minerais e matéria orgânica, associadas aos processos não simultâneos de sedimentação e instalação da vegetação de mangue. O quartzo e argilo-minerais (caulinita), são os principais minerais herdados da área-fonte (Formação Barreiras e latossolos). Ocorrem também minerais autigênicos, representados principalmente pela esmectita e feldspatos, sulfetos (pirita), sulfatos (gipso) e halita.

A fase orgânica resulta do acúmulo e da decomposição da vegetação pioneira que coloniza os sedimentos, raízes e restos de vegetação (folhas, troncos e galhos), que se sucedem no terreno de mangue, além de algas e restos de animais.

As frústulas de diatomáceas, de proveniência fluvial ou marinha, são abundantes nestes sedimentos. Com a morte dos organismos, as carapaças se quebram ou são dissolvidas quimicamente, enriquecendo os sedimentos dos manguezais com a sílica proveniente de sua decomposição, a qual junta-se ao ciclo da sílica nos processos costeiros. As diatomáceas estão sendo estudadas pelo grupo de plâncton da Universidade Federal do Pará.

Os sedimentos lamosos são predominantemente síltico-argilosos (> 80 %), com quantidades menores de areia (< 20 %) que aumentam com a profundidade, evidenciando, no caso do setor A, a transição para a barra arenosa que serve como base para os sedimentos de mangue sotopostos.

Os sedimentos de mangue são bastante homogêneos, quase sem estrutura sedimentar, ocorrendo em alguns casos, estrutura flaser na base, típica de correntes de marés. Observa-se contudo, variações na textura, que apresenta características diferentes em função do nível topográfico que o sedimento se encontra no terreno, assinalando variações no grau de maturidade física e química.

A descrição da textura dos sedimentos, bem como as medições físico-químicas (pH, Eh e salinidade intersticial) realizadas logo após a amostragem, são de grande importância para a interpretação do início de processos pedogenéticos que se desenvolvem após a sedimentação. A textura é descrita através da granulometria, cor, consistência, presença e penetração das raízes, fibras ou carapaças de organismos (Marius, 1985). As cores da matriz e das manchas também são

importantes para a caracterização dos sedimentos de mangue, fornecendo informações sobre a intensidade dos processos de oxidação-redução (Marius op. cit.).

Em zonas nas quais os manguezais permanecem mais tempo emersos, como nos diques marginais e zonas topograficamente positivas, os sedimentos são normalmente oxidados (Eh entre 0 a + 200 mV) e ácidos na porção superior (20 a 40 cm); eles apresentam coloração marrom amarelada na matriz (10YR 6/3) e aspecto de mosqueamento marrom escuro, proporcionado pelo recobrimento dos grãos de quartzo por óxido de ferro. Nesta porções, a matéria orgânica total situa-se entre 3 a 4 %, com raízes grossas (5 mm de diâmetro), em geral, quase totalmente decompostas. A zona de oxidação passa gradativamente à zona de redução, dada pela coloração cinza clara a cinza escura dos sedimentos, que refletem o aumento da matéria orgânica e de sulfetos.

Em transição lateral com estes sedimentos, os manguezais podem apresentar zonas mais baixas, facilmente inundáveis o ano todo, com maiores teores de matéria orgânica (6 %); são redutores (Eh de aproximadamente - 300 mV) e fracamente ácidos (pH entre 6,49 a 6,75, tendendo a alcalinos em profundidade). Estes sedimentos apresentam cor cinza clara a cinza escura (2,5Y 5/1 a 10YR 4/1); é comum a presença de restos vegetais não totalmente decompostos, bem como de raízes vivas, finas (milimétricas), em todo o perfil. Nos perfis analisados, restos de *Rhizophora sp.* (raízes) demonstram seu predomínio absoluto neste tipo de sedimento.

O teor em água ou a perda por processos de evapotranspiração, modificam as propriedades físicas do sedimento, as quais podem ser úteis para a caracterização dos processos atuantes nos manguezais. No setor A, realizou-se uma série de amostragens para determinar o conteúdo de água destes sedimentos e correlacioná-los com a variação sazonal das chuvas. Como resultado, observou-se que no final do período úmido, os sedimentos das zonas mais elevadas, oxidados, apresentaram teor em água variando entre 50 a 55% e os de zonas deprimidas, redutoras, com teores de água entre 62 a 70 %.

7 - REDE DE DRENAGEM

A interpretação da rede de drenagem fornece inúmeros subsídios sobre a geomorfologia e a geologia de determinada região, desempenhando a função de fator-guia (Oliveira, 1999). São fatores importantes para o estudo de uma bacia hidrográfica, o escoamento canalizado à topografia, a cobertura vegetal, o tipo de solo, as rochas, suas texturas e estruturas (Howard, 1967).

A bacia de drenagem do rio Marapanim é alongada, com cerca de 2.224 km² de área e inúmeras sub-bacias, contribuindo para um elevado grau hierárquico. A bacia possui baixa densidade de drenagem (1,3 km/km²) e textura grosseira, sob a influência dos sedimentos permeáveis da Formação Barreiras, de grande extensão no Planalto Costeiro (Oliveira, 1999).

O rio Marapanim constitui-se em um canal aluvial do tipo meandrante, com extensão de aproximadamente 140 km, cujas nascentes estão situadas nos domínios do Planalto Costeiro, Município de Castanhal (Figura 4). Este rio desemboca na costa nordeste do Estado do Pará, onde desenvolve foz estuarina do tipo afunilada, com aproximadamente 8 km de largura máxima. O rio Marapanim é geneticamente classificado como Conseqüente, de 5^a ordem, influenciado pela inclinação do terreno, com cotas topográficas em torno de 24 m e desembocadura na linha de costa, quando atinge baixa topografia e forte influência das marés.

A distribuição espacial da rede de drenagem evidencia dois grandes padrões: o dendrítico e o subdendrítico.

O padrão subdendrítico desenvolve-se nos terrenos de domínio geomorfológico do Planalto Costeiro, onde predominam os sedimentos da Formação Barreiras. A rede de drenagem, nestes setores, caracteriza-se pela ocorrência de cursos d'água mistos, extensos e espaçados, denotando alta hierarquia, com fraca assimetria e angularidade média, distribuindo-se de forma multidirecional ordenada. Neste padrão, foram identificadas também formas anômalas, representadas por meandros comprimidos e trechos levemente retilíneos, meandros abandonados e intensa ação erosiva nas margens.

O desenvolvimento do padrão subdendrítico sobre o Planalto Costeiro deve-se, principalmente, a maior permeabilidade dos sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, que possuem grande capacidade de infiltração.

O padrão dendrítico desenvolve-se sobre a unidade Planície Lamosa, onde predominam sedimentos inconsolidados, siltico-argilosos, colonizados preferencialmente pela vegetação de

mangue. Nesses setores, a rede de drenagem é muito densa, com vários pequenos canais desenvolvendo-se de forma multidirecional desordenada, com predominância de segmentos curvilíneos, de forte assimetria e baixa angularidade.

Nesta unidade geomorfológica, a configuração da rede de drenagem igualmente reflete a natureza do substrato geológico sobretudo, sua baixa capacidade de infiltração que, associada a baixa declividade do terreno, permite o escoamento superficial das águas, propiciando o desenvolvimento de um padrão constituído por inúmeros e pequenos canais de primeira ordem, dispostos em várias direções, influenciados pelo fluxo de maré (Figura 4).

A ampliação da imagem de satélite (Figura 4), destaca os setores A e B, escolhidos para estudo na bacia de drenagem do rio Marapanim. Observa-se na ampliação (setor A), que a esperada suavidade do relevo cede lugar a uma inclinação acentuada no terreno, evidenciada pelos sentidos opostos tomados pela rede de drenagem e o seu entalhamento incisivo nos sedimentos.

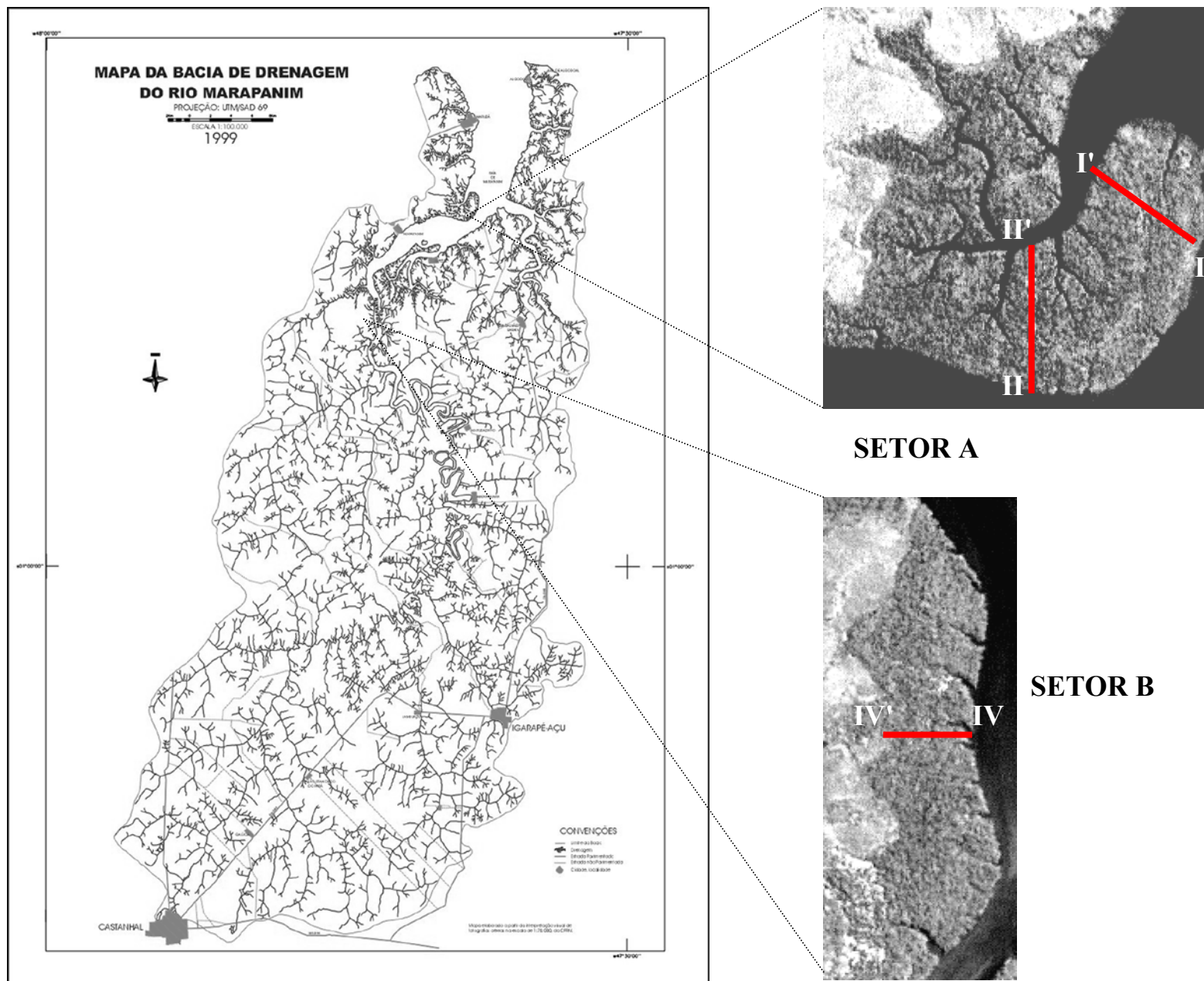


Figura 4: Bacia de drenagem do rio Marapanim. No detalhe, os setores A e B, áreas de estudo.

8 - HIDROQUÍMICA

Os parâmetros físico-químicos e químicos, são sensíveis às transições de marés e a sazonalidade climática da região (Berredo & Costa, 2002). As tabelas 5 e 6 apresentam as médias dos parâmetros físico-químicos e químicos analisados em novembro de 2002 e, no mês de chuvas intensas (março de 2003).

Tabela 5: Valores médios dos parâmetros analisados no período de estiagem (novembro/dezembro)

Param.	T ° C	Ph	S X 10 ⁻³	Cl ⁻ meq/l	AT meq/l	SO ₄ ⁼ mM/l	H ₄ SiO ₄ μM/l	PO ₄ ⁻³ μM/l	Na ⁺ Meq/l	Mg ⁺² meq/l	Ca ⁺² meq/l	K ⁺ meq/l	OD Mg/l
Enchente	28,5	7,9	28,9	415,5	1,72	21,5	81,4	2,64	624,7	177,7	169,4	7,25	7,28
Vazante	28,1	7,75	28,7	426,8	1,65	22	79,6	3,22	688	177,4	123,7	6,07	7,26

AT: Alcalinidade Total Salin.: Salinidade

OD: Oxigênio dissolvido

Tabela 6: Valores médios dos parâmetros analisados no período chuvoso (março)

Param.	T ° C	Ph	S X 10 ⁻³	Cl ⁻ meq/l	AT meq/l	SO ₄ ⁼ mM/l	H ₄ SiO ₄ μM/l	PO ₄ ⁻³ μM/l	Na ⁺ Meq/l	Mg ⁺² meq/l	Ca ⁺² meq/l	K ⁺ meq/l	OD Mg/l
Enchente	27,2	5,74	2,5	0,03	0,49	1,53	88,84	0,49	43,65	5,08	1,06	0,46	-
Vazante	27,5	6,54	2,52	0,04	0,6	1,53	88,51	0,51	53,18	6,89	1,59	0,78	-

AT: Alcalinidade Total S: Salinidade

OD: Oxigênio dissolvido

As variações temporais dos parâmetros físico-químicos e químicos, indicam que os fluxos do rio Marapanim obedecem à sazonalidade da região tropical, cujas vazões refletem os períodos das chuvas e de estiagem. Os ventos que sopram no período de estiagem, por sua vez, redistribuem continuamente a carga de sedimentos em suspensão, com rápida decantação próximo à desembocadura do rio.

O período de baixa precipitação pluvial, por exemplo, caracteriza-se pelo domínio das correntes de marés nos estuários, com maior penetração das águas salgadas. Isto é indicado pela elevação da salinidade das águas ao longo do ciclo hidrológico da região costeira, segundo um gradiente longitudinal negativo, estabelecido em direção ao interior do estuário, (Figura 5), (Berrêdo et al. 1997). Ao final do período (novembro-dezembro), a salinidade atinge sua amplitude máxima, próximo à média da água do mar (35 X 10⁻³), concentrando-se na saída do Funil Estuarino, nos domínios do Planalto Costeiro, onde os processos são eminentemente marinhos.

A salinidade das águas é, portanto, fortemente influenciada pela elevação da temperatura, pelo aumento da intensidade dos ventos no período de estiagem e, pelas chuvas. As flutuações da salinidade ao longo do ano, evidenciam o papel das variações sazonais atuando no equilíbrio salino das águas costeiras e, também, na desassalinização dos sedimentos de mangue (Berrêdo & Costa, 2002).

A diminuição da salinidade na zona de transição (sob a influência das águas doces), é uma importante característica do estuário do rio Marapanim porque, aparentemente, condiciona a distribuição da vegetação de manguezais ao longo do estuário.

ESTUÁRIO DO RIO MARAPANIM

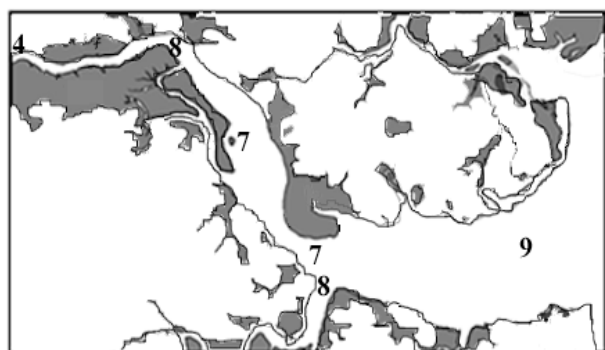


FIGURA : DISTRIBUIÇÃO DA SALINIDADE (ABRIL)

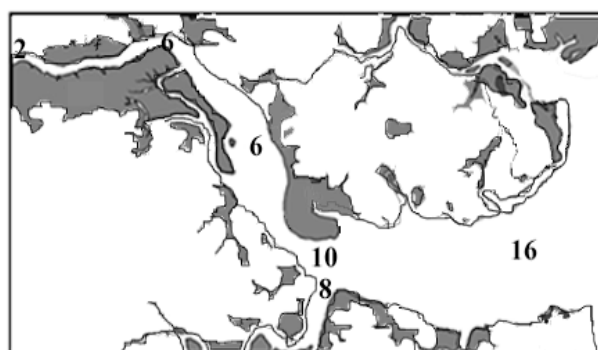


FIGURA : DISTRIBUIÇÃO DA SALINIDADE (JUNHO)

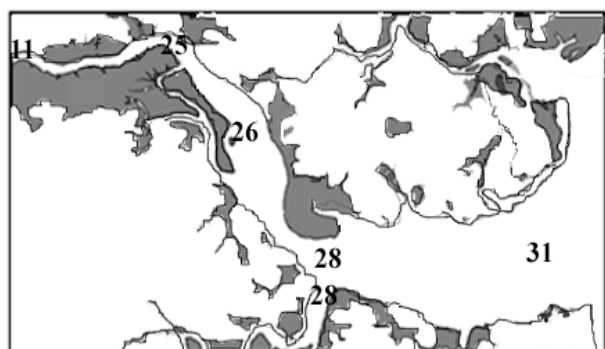


FIGURA : DISTRIBUIÇÃO DA SALINIDADE (SETEMBRO)

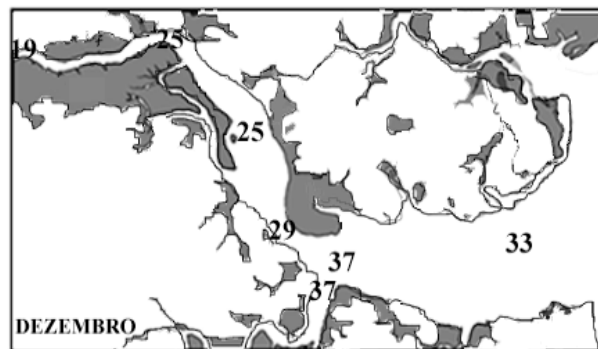


FIGURA : DISTRIBUIÇÃO DA SALINIDADE (DEZEMBRO)

A temperatura oscila entre 26° a 29°C, influenciada pela evaporação nos períodos de estiagem, efeito amenizado, contudo, quando os alísios de sudeste sopram mais fortemente ou, nas mudanças de maré.

O pH indica condições alcalinas no período de estiagem (7,31 a 7,99), principalmente na foz do rio; no período chuvoso, as águas são acidificadas rio acima (4,40 a 6,59), sendo mais ácidas na enchente, devido ao contato com os produtos de decomposição da serrapilheira (ácidos orgânicos), liberados nas marés de vazante. Os teores de oxigênio dissolvido (2,89 a 9,5 mg/l), indicam a circulação e a renovação das águas no estuário, auxiliado pelos ventos abundantes e a amplitude das marés. A diminuição dos teores de oxigênio em direção à foz, na maré vazante, indica o consumo de oxigênio nos processos de oxidação da matéria orgânica, evidenciado pelos valores mais ácidos de pH.

Os teores da alcalinidade (0,21 a 2,28 meq/l) e do sulfato (4 a 25 mM/l), são mais elevados na foz do estuário, diminuindo continuamente em direção ao interior, devido a maior influência das águas ácidas do rio. A sílica possui maiores teores no período chuvoso (38 a 111 μ M/l), indicando a intensa lixiviação da área-fonte. A estes teores, junta-se a contribuição da sílica biogênica, produzida pela decomposição das diatomáceas identificadas nos sedimentos. Os teores da sílica tendem a declinar em direção à foz do estuário.

O ortofosfato é mais elevado no período de estiagem, com média aproximadamente 5 vezes maior que os valores encontrados no período chuvoso (0,11 a 1 mM/l). Na estiagem, estes teores elevam-se em direção à foz; já no período chuvoso, o comportamento é o inverso. Observou-se um aumento dos teores do fosfato em regiões de águas ácidas, provavelmente controlado pelos processos de oxi-redução do ferro (Ovalle et al. 1987).

As concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ são mais elevadas no período seco, concentrando-se principalmente na foz do estuário, decrescendo em direção ao interior. Em ambos os períodos, estes cátions mantêm a relação: $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ (% meq/l), com quantidades equivalentes de cada elemento na maré de enchente e na vazante de cada período à exceção do Ca^{2+} . No período chuvoso, a diluição de Ca^{2+} , Na^+ e K^+ é acentuada, com predominância relativa do sódio (aproximadamente 80 % meq/l).

9 - EVOLUÇÃO DA CUNHA SALINA

A intrusão da água do mar no estuário, origina uma cunha salina, intersticial nos sedimentos, que se desenvolve próximo e obliquamente à superfície do terreno (Figura 6). A figura descreve esquematicamente o comportamento da cunha salina e do perfil de oxidação que se estabelece sob os sedimentos dispostos ao longo do estuário. A linha contínua representa a zona de oscilação máxima da salinidade intersticial, entre o período de estiagem e o final do período chuvoso. Do mesmo modo, a linha tracejada representa a amplitude da oxidação ("frente de oxidação") neste intervalo sazonal.

O perfil de oxidação desenvolve-se a partir da superfície do terreno, foz do estuário (T13), aprofundando-se lateralmente em direção à terra firme (T20), demonstrando uma interdependência entre os processos de oxidação e de desassalinização dos sedimentos com o afastamento da desembocadura do estuário.

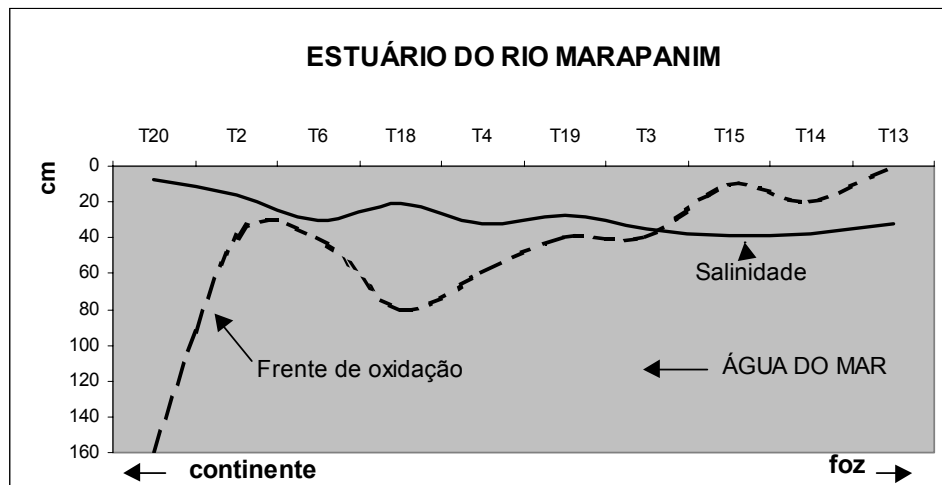


Figura 6: Representação da cunha salina e frente de oxidação nos sedimentos do estuário do rio Marapanim.

A cunha salina é diluída pelas águas doces (de subsuperfície e pluviais) no período úmido e, também, nos limites da margem continental. No período de estiagem, a evaporação atua sobre a cunha salina, provocando o movimento capilar da água intersticial e a sua concentração, próximo à superfície do terreno.

A influência dos fatores climáticos (sazonalidade das chuvas e aumento da temperatura) e hidrológicos (vazão do rio) sobre os sedimentos, pode ser observado através da distribuição da salinidade intersticial (Figura 7). Observa-se, que a salinidade intersticial concentra-se na foz do estuário, diluindo-se em direção ao continente, devido às fortes vazões do rio Marapanim. A configuração assumida pelas isolinhas demonstra a influência das águas doces do rio e, também, o movimento intersticial das águas estuarinas nos sedimentos.

Os sedimentos sofrem a influência das águas do rio ou das marés, impedindo que a salinidade ultrapasse os valores máximos das águas de enchente. Credita-se este efeito de diluição à localização das amostragens próximo às margens do rio. Por outro lado, o final do período das chuvas registra notável diluição na salinidade intersticial, nos primeiros centímetros do topo dos sedimentos.

Os fatores climáticos também interferem nos comportamentos do pH e do Eh; no final da estiagem, os sedimentos são fracamente ácidos (pH em torno de 6) no Funil Estuarino e extremamente ácidos (pH entre 4 a 5) nos sedimentos próximos à zona de várzea. Estes valores correspondem à variações no potencial de oxidação (Eh entre 0 a + 300 mV). Ao final do período úmido prevalecem condições redutoras, em sedimentos fracamente ácidos a alcalinos.

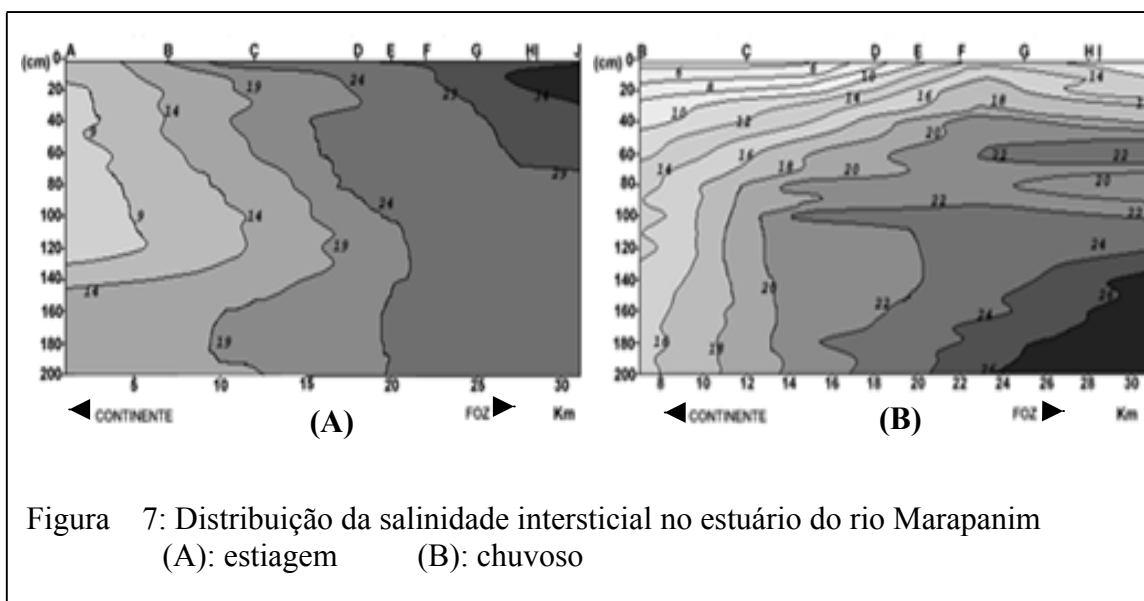


Figura 7: Distribuição da salinidade intersticial no estuário do rio Marapanim
(A): estiagem (B): chuvoso

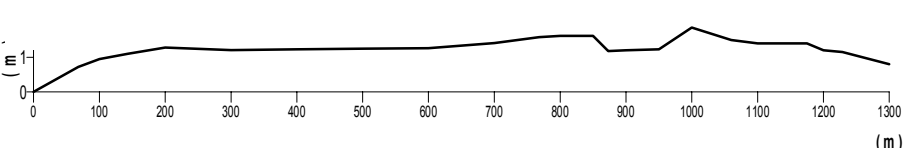
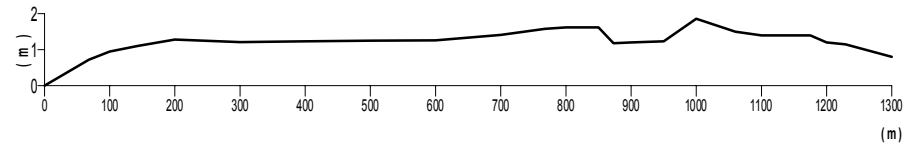
Nas amostragens realizadas ao longo do estuário, as variações dos parâmetros físico-químicos apresentam apenas relações generalizadas com a morfologia do estuário, sua declividade em relação à foz e a inundação das marés. Nos perfis realizados nos setores A e B porém, as medidas contínuas, sobre um levantamento topográfico detalhado, põem em evidência as relações espaciais intrínsecas entre as variáveis climáticas (pluviometria e temperatura) e geoquímicas, com a morfologia e as variações da maré (figuras 8,9,10,11,12 e 13).

No setor A, a contribuição de águas doces do rio é menor, com fluxos de subsuperfície nos contatos com a terra firme; o setor B, contudo, pertence à zona de maior influência fluvial. Com a diminuição das chuvas, prevalecem as águas salgadas no setor A; a evaporação eleva a salinidade intersticial acima da salinidade normal da água do mar (35×10^{-3}), atingindo 40×10^{-3} nas zonas altas. No setor B, os mesmos efeitos são observados porém, em menor intensidade, a salinidade atinge valor máximo de 31×10^{-3} , comprovando a diluição das águas fluviais.

Tomando-se como exemplo o perfil II, obteve-se um fator de concentração da salinidade (quociente entre a salinidade do período de estiagem e o período úmido) acima de 3 nas áreas mais elevadas e, um fator menor que 2 nas regiões mais baixas. Observa-se, que os maiores valores da salinidade aparecem em íntima associação com os pontos mais elevados do terreno, demonstrando o efeito positivo da morfologia sobre a evaporação superficial dos sedimentos.

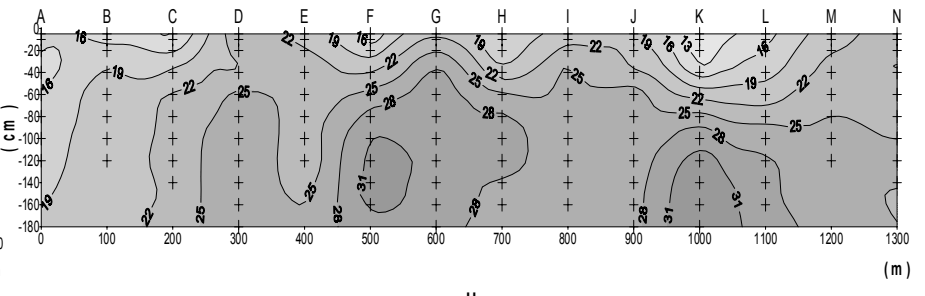
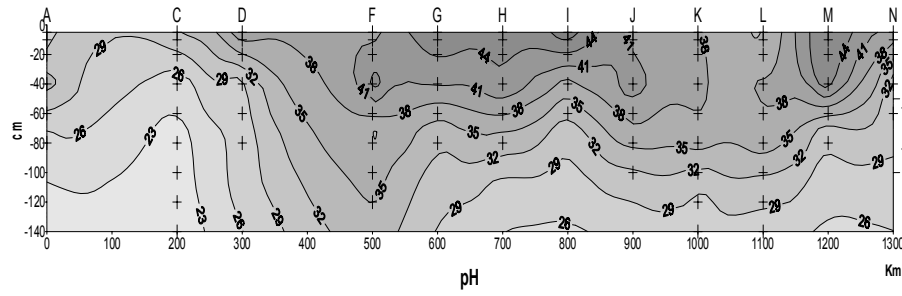
Novamente nota-se a subordinação da variação dos parâmetros físico-químicos à morfologia e aos fatores climáticos: as zonas mais elevadas correspondem a sedimentos oxidados e ácidos ao longo do perfil. O período de estiagem mostra sua intensidade através do aprofundamento do perfil de oxidação (Eh entre 0 e 150 mV), correspondendo a variações no pH entre 5 e 6, provavelmente relacionado a oxidação de sulfetos (figuras 10 e 11).

O estudo das águas intersticiais, conduzido em diferentes períodos do ano, sob condições de marés variadas, provavelmente fornecerá os subsídios necessários para a interpretação desses processos.



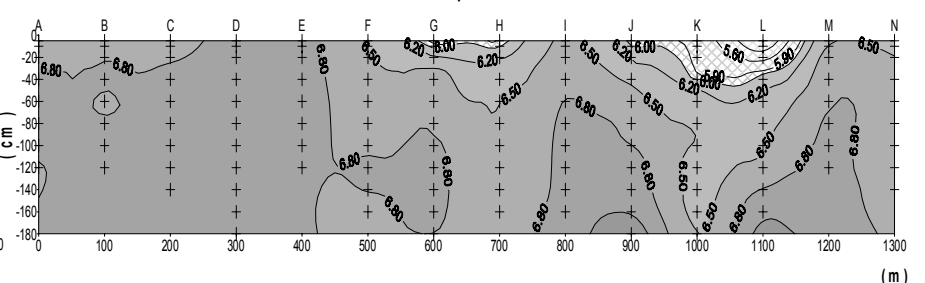
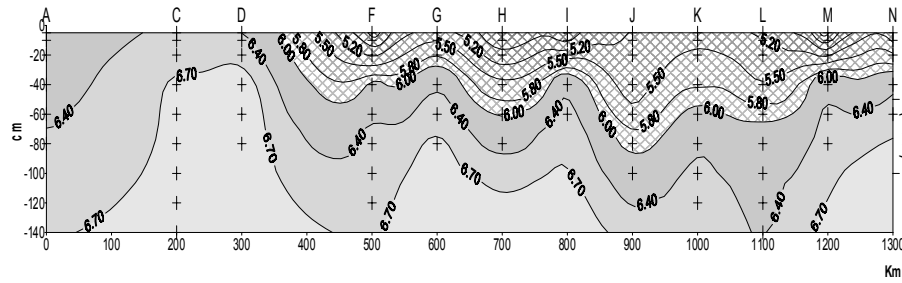
Salinidade Intersticial

Salinidade intersticial



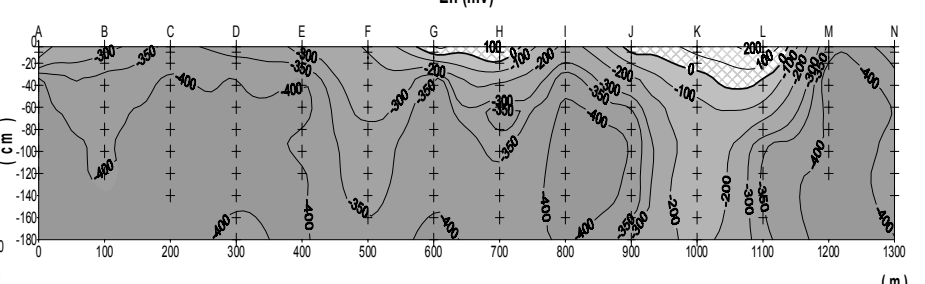
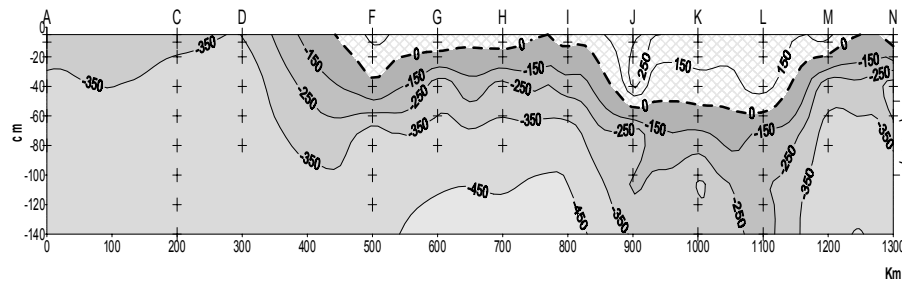
pH

pH



Eh (mV)

Eh (mV)



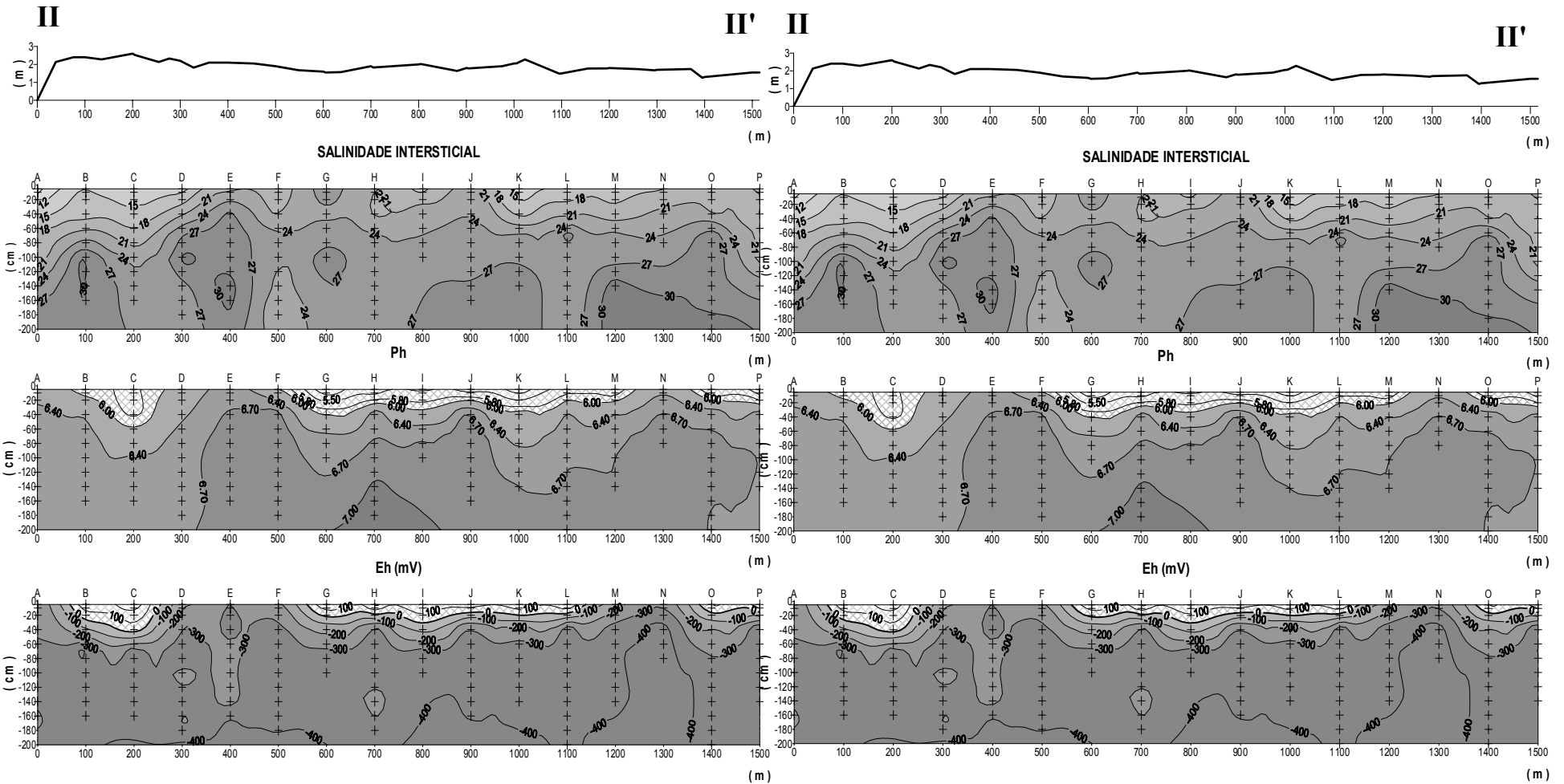
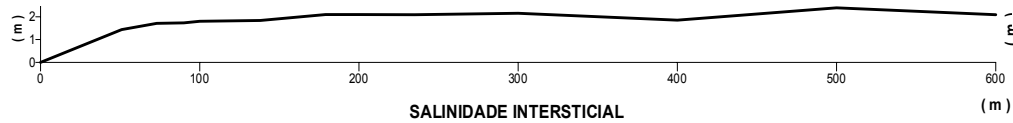
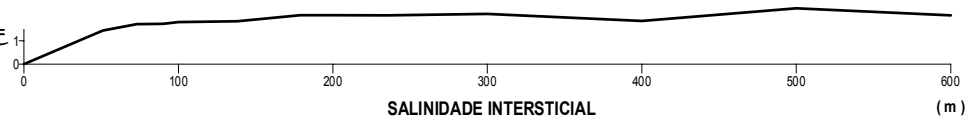


Figura 10: Perfil II - Comportamento da salinidade intersticial, pH e Eh (mV) no final do período de estiagem.

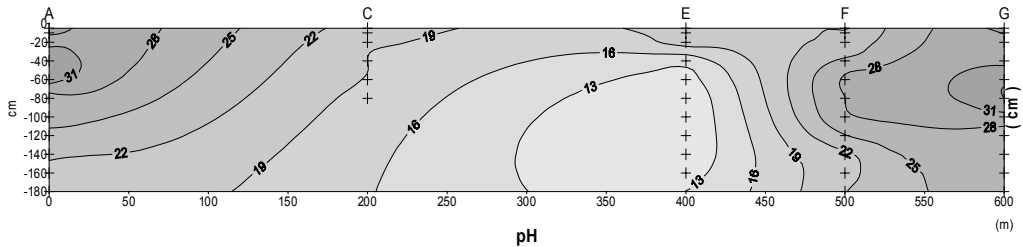
Figura 11: Perfil II - Comportamento da salinidade intersticial, pH e Eh (mV) no final do período chuvoso.



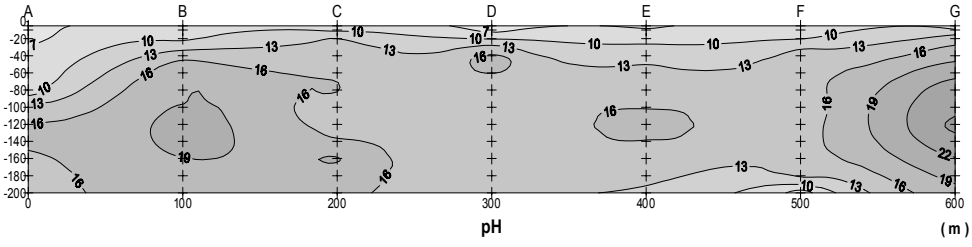
SALINIDADE INTERSTICIAL



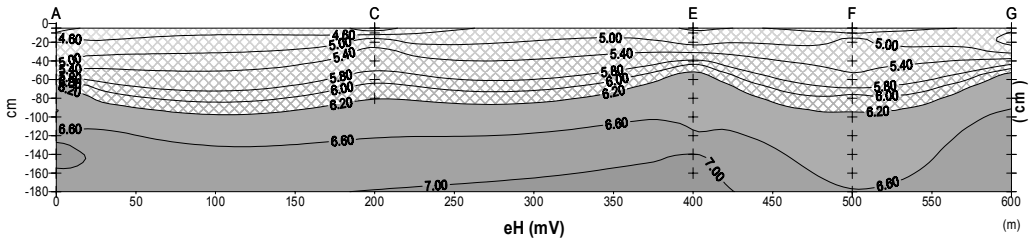
SALINIDADE INTERSTICIAL



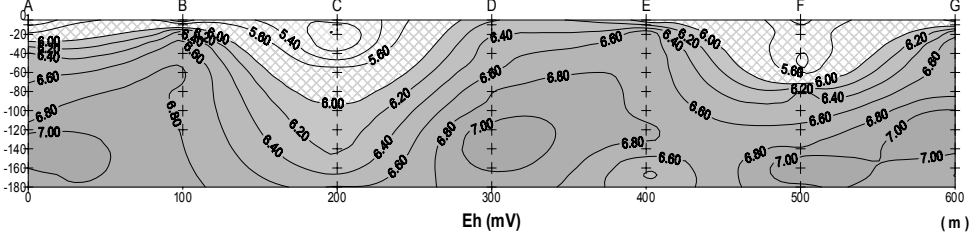
pH



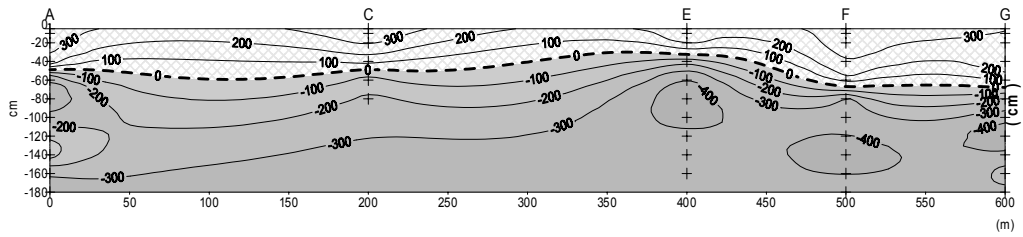
pH



eH (mV)

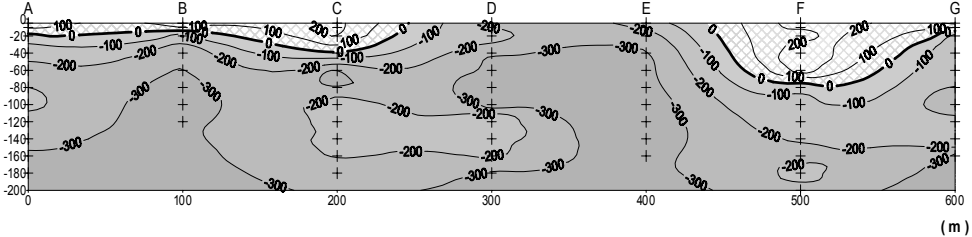


Eh (mV)



cm

(m)



(m)

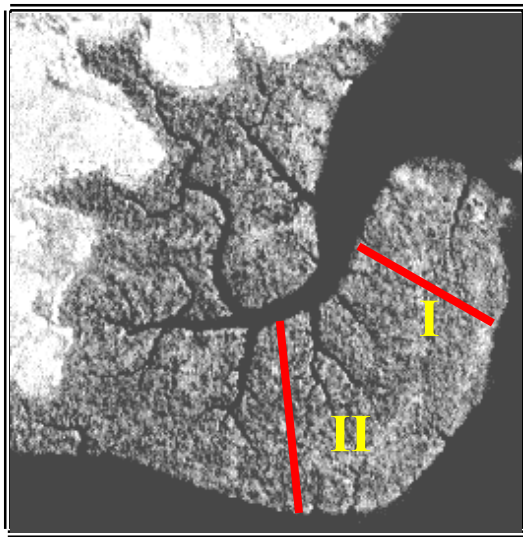
10 – MORFOLOGIA, EVOLUÇÃO HIDROLÓGICA E GEOQUÍMICA

Os diferentes condicionantes climáticos (principalmente pluviometria e temperatura) e morfológicos nas áreas de manguezais, explicam o progressivo e contínuo desenvolvimento dos sedimentos e suas diferenciações, por sua vez, intimamente dependentes do regime hídrico, composição da água de subsuperfície e da periodicidade de inundação. Assim, as transformações físicas (perda em água, aeração, oxidação, estruturação) e químicas (diminuição da salinidade, desaturação, lixiviação e evolução das formas do ferro) dos sedimentos, acontecem simultaneamente (Turenne, 1997).

Na área de estudo (setor A), a figura 14 B (obtida por contraste da figura 14 A), destaca os padrões diferenciados de drenagem, associados às características morfológicas evidenciadas nos perfis topográficos I e II.

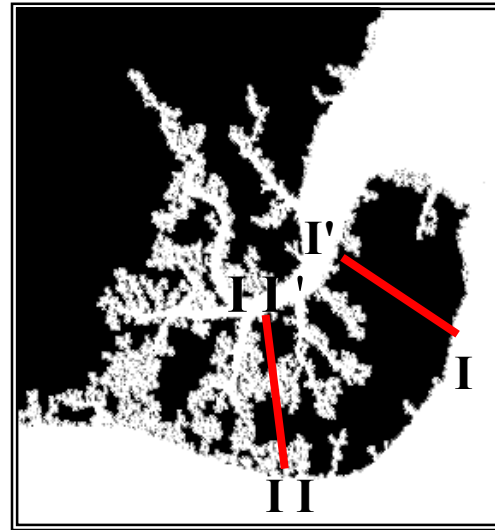
Os padrões de drenagem identificam claramente duas áreas: (a) a primeira, de textura lisa, que corresponde a uma acreção lamosa recente, onde os manguezais são densos e relativamente jovens e (b) a segunda, adjacente, com textura rugosa, dendrítica, exibindo canais profundos e hierarquizados, desenvolvidos sobre terrenos topograficamente mais elevados. A rede de drenagem põe em evidência um ressalte topográfico, que forma um divisor de águas entre as duas áreas. Devido a tais configurações, considera-se hipoteticamente as duas áreas como cronologicamente distintas.

Para testar a hipótese, foram feitas sondagens verticais (máximo de 2 m) e levantamentos topográficos representado nos perfis I e II e IV (figura 14).



(A)

SETOR
A



(B)

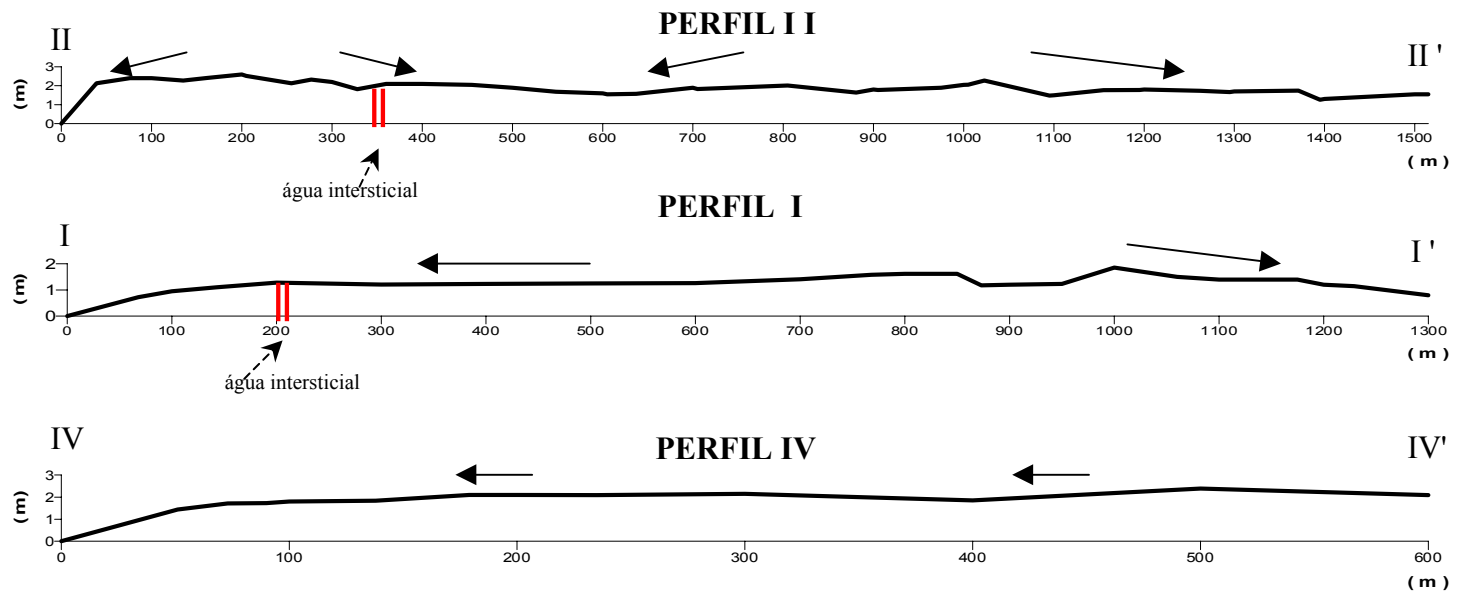
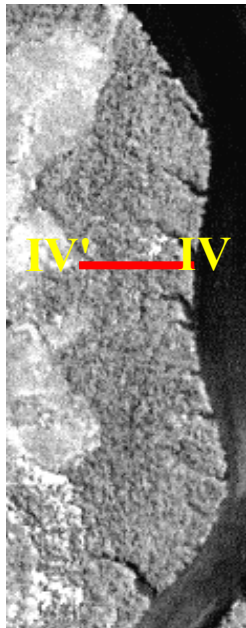


Figura 14: Detalhes dos setores A e B (perfis I, II e IV) na imagem de satélite

—> direção do escoamento

No Perfil I, os mangues jovens estendem-se por aproximadamente 600 m, entre os quais há abundância de tênues canais de maré (não visíveis na imagem). São setores de acreção, topograficamente mais baixos, onde as marés estão sempre presentes, mesmo em momentos de quadratura (Figura 15). No Perfil II, ao contrário, existem zonas mais elevadas, de extensão variada (entre 0 e 300 m e após 900 m); os canais de maré são mais profundos e mais hierarquizados, os sedimentos mais desenvolvidos fisicamente, coexistindo com mangues mais maduros e estruturalmente bem diferenciados (Figura 16 A, B). Sob estas condições, as características geoquímicas (pH, Eh e salinidade intersticial) parecem evoluir rapidamente; os sedimentos apresentam texturas distintas, conforme demonstrado pelas descrições das sondagens verticais realizadas em diferentes setores sobre os perfis topográficos. Assim, admite-se que a hierarquização dos canais de maré e a topografia concorrem para a evolução dos sedimentos e a diversidade da cobertura vegetal.

Nas zonas mais antigas, mais susceptíveis às oscilações sazonais (período de chuvas e de estiagem) e às trocas com o meio atmosférico, os sedimentos são oxidados na porção superior, até 40 cm de profundidade, com Eh (+200 a +300 mV), pH ácido (entre 4 e 5), e salinidade intersticial com valores ao redor de 50×10^{-3} , influenciados pela intensa evaporação nos períodos de estiagem (Figura 17B). Na zona oxidada (Figura 16B), os sedimentos apresentam cor marrom-amarelada (10YR 6/3) e textura de mosqueamento, provocado por fases oxidadas de ferro recobrando grãos de quartzo. A matéria orgânica total situa-se em torno de 3%. Neste local, a *Avicennia germinans*, sobressai-se em pontos mais elevados do terreno, embora exista o predomínio total da *Rhizophora mangle* em locais adjacentes, um pouco mais baixos e úmidos (Figura 17 A).

Nos terrenos mais jovens, a baixa declividade favorece a permanência das águas o ano todo. Em consequência, os sedimentos são predominantemente redutores (Eh em torno de - 300 mV), fracamente ácidos a neutros (pH em torno de 6), com salinidade abaixo de 40×10^{-3} no período de estiagem. A sua coloração é cinza-clara a cinza-escura (2.5Y 5/1 a 10YR 4/1) (Figura 15), evidenciando o aumento do teor de matéria orgânica (4 a 6%). Nestes setores encontramos apenas a *Rhizophora mangle*.

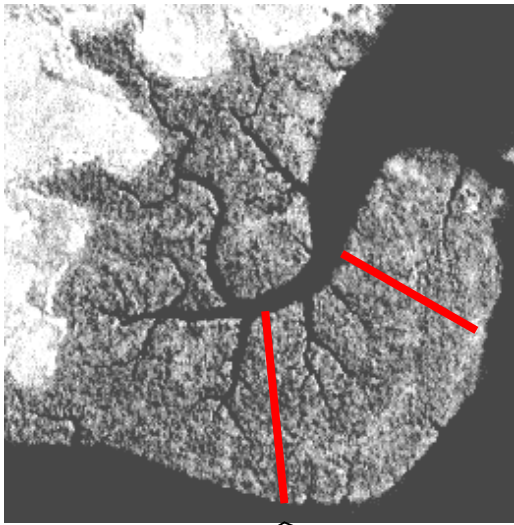


Figura 15:Entrada do Perfil I (sob maré alta)

Perfilagem vetical no Perfil I

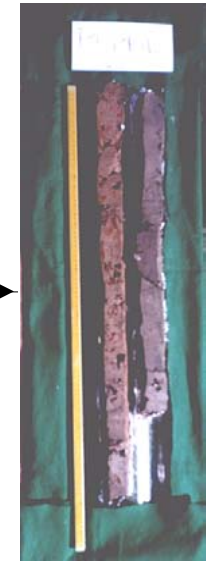


Figura 16A: Entrada do Perfil II (maré baixa)

Figura 16B: Incisão em "V" em canal de maré (aproximadamente 3 m de desnível)

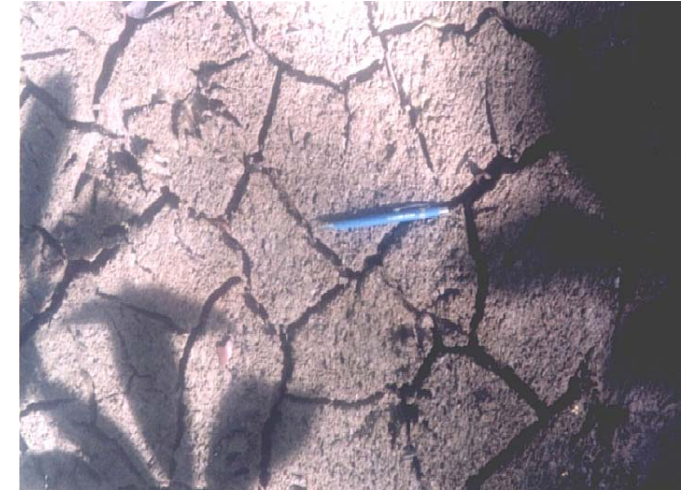
Perfilagem vertical no Perfil II



PERFIL II



(A)



(B)

Figura 17: Entrada do Perfil II - A) posicionamento da *Avicennia sp* e da *Rhizophora sp* (B) efeito da evaporação sobre o desenvolvimento dos sedimentos

10 - ÁGUAS INTERSTICIAIS

A oxidação da matéria orgânica é uma das reações mais importantes que ocorrem na diagênese de sedimentos marinhos lamosos (Berner, 1971). Os sedimentos depositados em condições oxidantes, passam ao estado anóxico, como resultado da ação de bactérias redutoras do sulfato de origem marinha, que utilizam a matéria orgânica sedimentar como substrato, produzindo sulfetos dissolvidos (Berner, 1984). Este processo leva a mudanças na concentração e na distribuição temporal e espacial das espécies químicas dissolvidas, promovendo a dissolução óxi-hidroxidos férricos) e a neoformação mineral (argilominerais, sulfetos, etc.) (Bertolin et al., 1995).

Para os objetivos da pesquisa, foram escolhidos dois pontos de amostragem localizados no setor A (Figura 14), representativos dos processos de oxiredução que ocorrem nos manguezais do estuário do rio Marapanim. Adotou-se a Área I (localizada a 200 m do rio Marapanim, no perfil I), como representativa de terrenos mais jovens e inundados periodicamente. Comparativamente, escolheu-se a Área II (situada a 400 m respectivamente, no perfil II), representativa de terrenos mais antigos, morfologicamente mais altos. As duas áreas caracterizam-se por sedimentos síltico-argilosos, redutores, colonizados por *Rhizophora sp.*, situadas em terreno úmido.

Para expressar as condições físico-químicas e químicas da água intersticial em contato com os sedimentos, foram feitas medidas do pH, Eh, salinidade e, análises químicas de sulfeto total dissolvido, alcalinidade total, amônia, ortofosfato, sulfato, cloreto e ferro total, além de sódio, potássio, cálcio e magnésio. As figuras 18, 19, 20, 21 e 22, mostram os resultados das amostragens realizadas no período chuvoso, sob diferentes marés: março/2003 e maio/2003 (maré de sizígia) e junho/2003, (maré de quadratura); outras amostragens serão realizadas em setembro (sizígia) e novembro (quadratura).

Nos períodos mais chuvosos (março e maio), a salinidade da superfície dos sedimentos (0 cm) manteve-se abaixo de 10×10^{-3} (figuras 18C e 19C). No final do período chuvoso (junho), o aumento da salinidade da superfície para valores próximos de 20×10^{-3} já indica ligeira elevação na evaporação, provocada pela diminuição das chuvas e por mais tempo de exposição atmosférica dos sedimentos na maré de quadratura. Segundo as

observações de campo, estas marés não recobrem totalmente os manguezais, permanecendo porções emersas por pelo menos 5 dias.

Os valores de pH situam-se entre 7 e 8 nas profundidades consideradas (0-10 cm, 30-40 cm e 55-65 cm), apresentando-se mais alcalinos nas profundidades de 40 e 65 cm. Observa-se uma tendência à diminuição do pH na profundidade de 0-10 cm em ambas as áreas (figuras 18A e 19A). Nesta profundidade, o Eh (mV) é oxidante, ou fracamente redutor, tornando-se bastante redutor em profundidade (figuras 18B e 19B).

Constata-se através dos gráficos, que existe uma diminuição acentuada da alcalinidade, amônia, ortofosfato e sulfetos dissolvidos na água intersticial, no intervalo de 0-10 cm (figuras 20,21 e 22). Tal fato assemelha-se ao identificado em sedimentos de “salt marshes”, estando associado a processos de natureza química (precipitação, reações de oxidação) ou biológica (crescimento das raízes, algas ou micróbios), (Lord & Church, 1983).

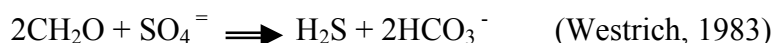
O intervalo de 0-10 cm apresenta um comportamento diferenciado do restante do perfil, aparentemente sensível aos fatores externos. Provavelmente, a exposição atmosférica um pouco mais prolongada durante marés de quadratura e a diminuição das chuvas, provoquem a oxidação dos sulfetos presentes, processo descrito pela reação:



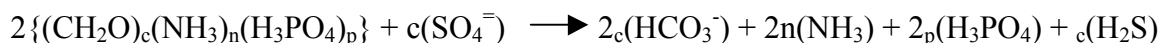
De acordo com a equação acima, o sulfato deveria ser mais elevado na água intersticial analisada nesta profundidade, o que no entanto não se observa nos gráficos (figuras 22 A e B). Por outro lado, as concentrações de $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ são reduzidas a zero nesta profundidade e o pH torna-se fracamente ácido, confirmando a ação dos processos oxidativos.

Nos intervalos seguintes (30-40 cm e 55-65 cm), observa-se o aumento da alcalinidade total com a profundidade (maio), acompanhada de teores elevados de sulfetos ($\Sigma\text{H}_2\text{S}$) (figuras 20A,21B; 22A e B). Os teores da alcalinidade e sulfetos são fortemente correlacionados (r : 0,71 e 0,96) entre si, em todas os intervalos considerados e, também, com o pH (r : 0.79 e 0.93), indicando o aumento da reserva alcalina em profundidade e as características extremamente redutoras do meio.

As relações da alcalinidade com os sulfetos e os parâmetros físico-químicos concordam com as observações de que a degradação da matéria orgânica nos manguezais é responsável pelo meio redutor, pela transformação do sulfato em sulfetos e pela formação de gás carbônico, acarretando no aumento da alcalinidade ou da "reserva alcalina" das águas intersticiais (Baltzer, 1982b). O processo geral pode ser adequadamente representado pela reação:



A amônia e o ortofosfato apresentam o mesmo comportamento da alcalinidade e dos sulfetos, aumentando suas concentrações a partir dos intervalos de 30-40 cm e 55-65 cm (figuras 21 A e B). Estes compostos possuem fortes correlações com $\sum\text{H}_2\text{S}$, pH e alcalinidade total, demonstrando sua origem a partir da decomposição da matéria orgânica, conforme descrito pela equação de Lord & Church (1983), modificada de Richards (1965):



onde c, n, p, representam a razão C:N:P de decomposição da matéria orgânica.

A liberação do fósforo para as águas intersticiais pode acontecer pela degradação da matéria orgânica mas, também, pela redução de compostos de ferro aos quais liga-se por adsorção (Sherman et al., 1998; Song & Müller, 1999). No ambiente redutor, o Fe^{3+} passa a Fe^{2+} , liberando o P (Howarth et al. 1995). O comportamento químico das águas intersticiais analisadas indica que o fósforo é liberado e o ferro provavelmente é aprisionado pelos sulfetos dissolvidos, daí as correlações negativas verificadas entre o PO_4^- com o ferro dissolvido ($-0.50 < r < -1$) e, do ferro dissolvido com os sulfetos dissolvidos ($-0,49 < r < -0,75$); esta última correlação, sugere a intensa dinâmica do ferro dissolvido com os sulfetos.

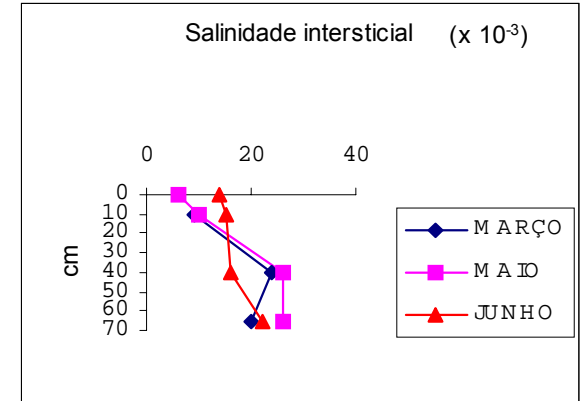
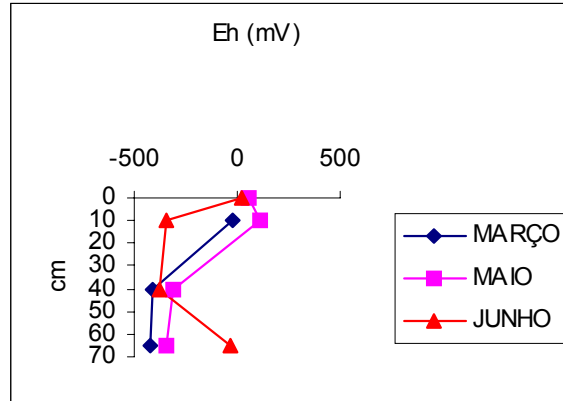
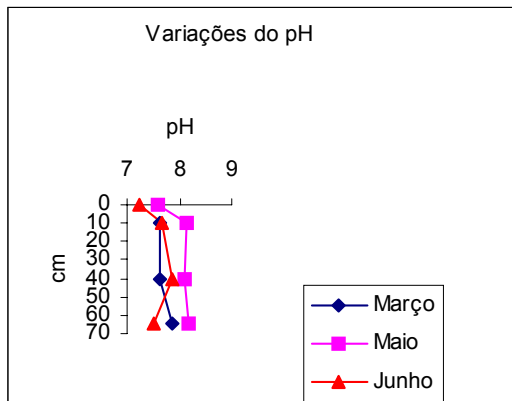
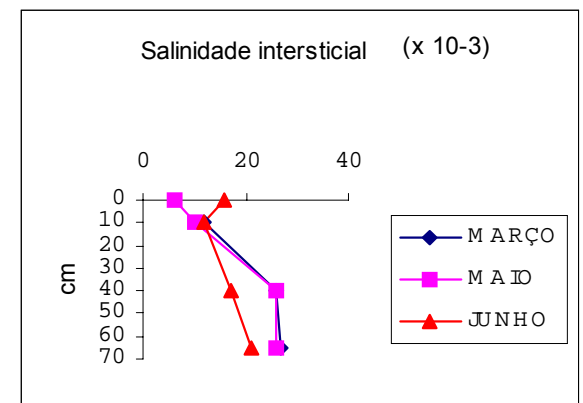
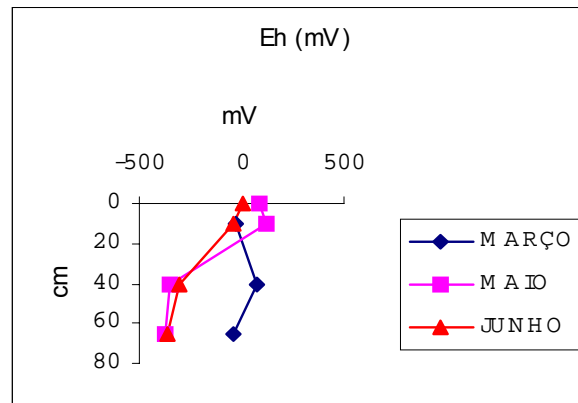
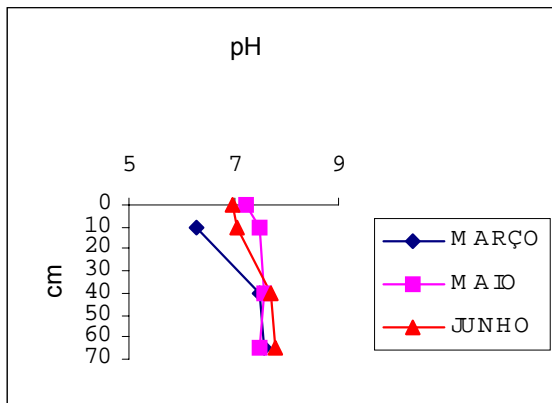


Figura 18 (A,B,C): ÁREA II – Distribuição do pH, Eh (mV) e salinidade intersticial



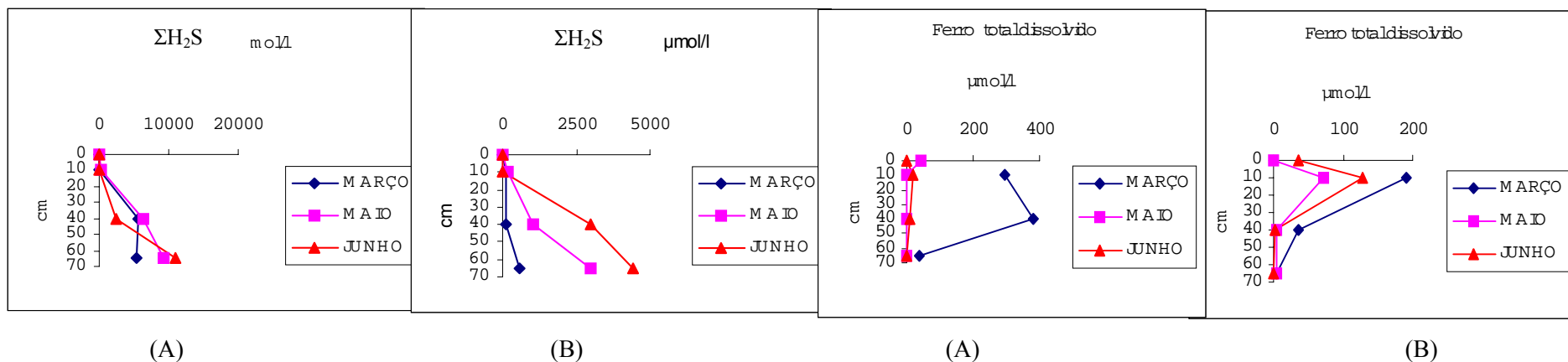


Figura 20 (A,B): Variações de ΣH_2S e ferro total dissolvido em (A) Área II e (B) Área I

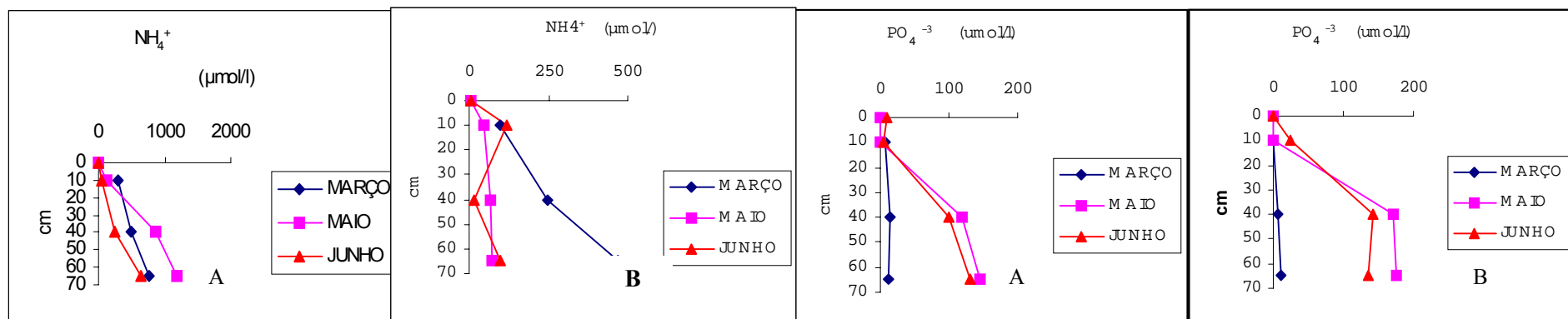


Figura 21 (A,B): Variações da amônia e ortofosfato em (A) Área II e (B) Área I

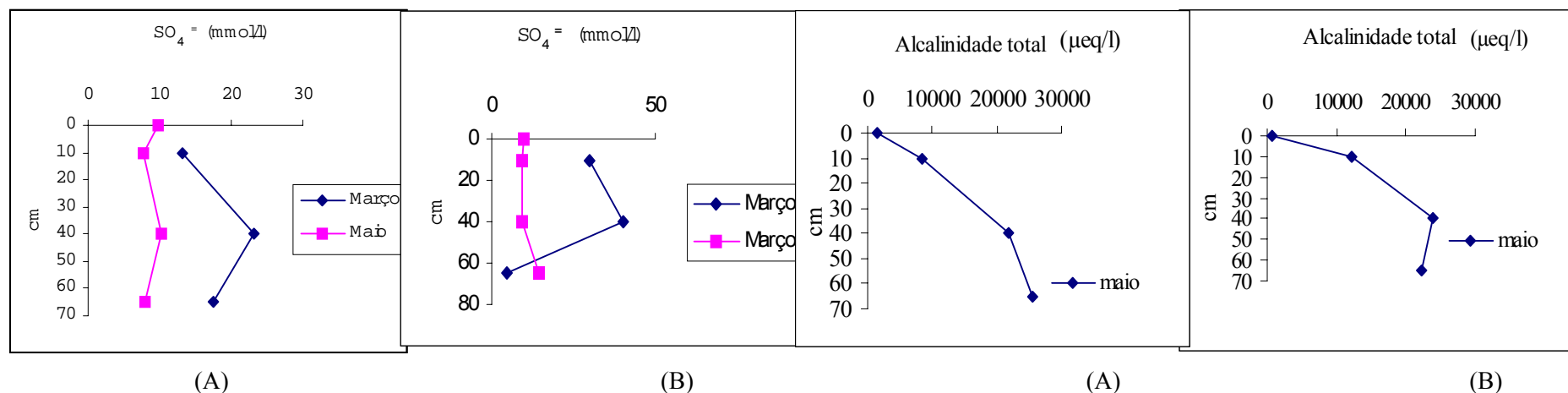


Figura 22 (A,B): Variações do $SO_4^{=}$ e Alcalinidade total em (A) Área II e (B) Área I

12 - NEOFORMAÇÃO MINERAL

A ocorrência de processos diagenéticos precoces, caracterizados pela autigênese de fases minerais sulfetadas, evaporíticas e aluminossilicatadas, tem sido registrada em vários manguezais do mundo, sob diferentes condições climáticas e geomorfológicas (Baltzer, 1982b; Baltzer et al., 1995). Na costa norte brasileira, cita-se os trabalhos de Michalopoulos & Aller (1995) e Michalopoulos et al. (2000), em sedimentos lamosos da costa do Amapá, além de Costa et al. (submetido) e Silva et al. (2002), em sedimentos de manguezais da costa nordeste do Estado do Pará.

No estuário do rio Marapanim, a dinâmica da sedimentação costeira, condicionada pelo clima, morfologia do substrato lamoso e o regime de marés, determina a lenta migração da água intersticial por sedimentos siltico-argilosos (>80 %), com diferentes características físico-químicas (salinidade intersticial, pH e Eh), teores de matéria orgânica, e concentração de nutrientes. Estas condições dos sedimentos, favorecem a dissolução de minerais herdados da área fonte, que reagem com os produtos de decomposição da matéria orgânica e material biogênico (diatomáceas), propiciando a geração de novas fases minerais.

A principal evidência da neoformação mineral nos sedimentos analisados origina-se da comparação direta com a mineralogia da área fonte. Ela contrasta com a composição mineralógica dos sedimentos dos manguezais os quais possuem, dentre outros, a esmectita e os feldspatos-K. A esmectita e os feldspatos-K apresentam-se apenas como possíveis ocorrências nos sedimentos da Formação Barreiras (área fonte), o que praticamente confirma sua origem autigênica nos sedimentos lamosos.

As neoformações identificadas nos manguezais do rio Marapanim, resultam da decomposição orgânica e mineral dos constituintes dos sedimentos. O material original provém em grande parte dos sedimentos da Formação Barreiras, trazidos pelos rios da bacia vertente. Além dos detritos orgânicos (restos vegetais, carapaças, etc.), minerais (quartzo, argilo-minerais, hematita e goethita), os sedimentos são enriquecidos em diatomáceas trazidas pelo rio Marapanim e águas das marés de enchente, as quais estão presentes em quantidades variáveis.

As diatomáceas destes sedimentos estão sendo analisadas pelo Grupo de Plâncton da Universidade Federal do Pará. As primeiras observações indicam uma diminuição no número de carapaças em profundidade (Daniela Santana, comunicação pessoal). Observações ao microscópio eletrônico confirmam as informações, mostrando que as diatomáceas encontram-se em estado de conservação variável, apresentando-se por vezes bem conservadas ou fragmentadas por ataques mecânicos ou, ainda, com sinais de decomposição química (figuras 23 e 24). As diatomáceas, ou melhor, a sílica biogênica reativa (Berner, 1980), junta-se à sílica trazida pelos rios, participando ativamente dos processos diagenéticos nos sedimentos (Baltzer, 1975; Van Cappellen & Qiu, 1997).

Para comprovar a hipótese de que a neoformação de minerais está associada à sílica biogênica (Baltzer, op. cit., Michalopoulos et al. 2000), procedeu-se à extração da sílica biogênica dos sedimentos de mangue, esperando-se com isto, identificar os locais de maior concentração de sílica reativa e, conseqüentemente, mais favoráveis à formação de minerais.

Os resultados obtidos através de cinco amostragens verticais do Perfil II, indicaram a concentração da sílica biogênica (12 a 25 %) na parte superior dos sedimentos (50 - 60 cm); estes valores declinam em profundidade, atingindo cerca de 4%. Por outro lado, a esmectita é relativamente mais concentrada nos níveis superiores dos sedimentos, associada a quantidades menores de caulinita. Em profundidade, ocorre a diminuição percentual da esmectita (e seu grau de cristalinidade), e o aumento na quantidade da caulinita (Figura 25); observou-se também a diminuição nas reflexões de feldspato-K

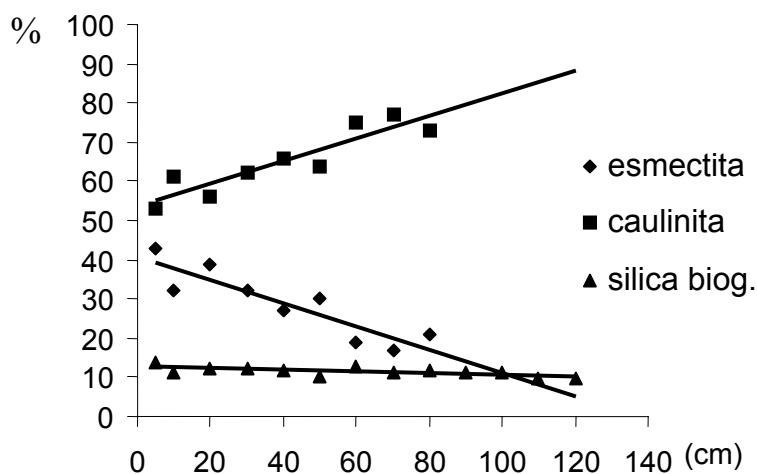
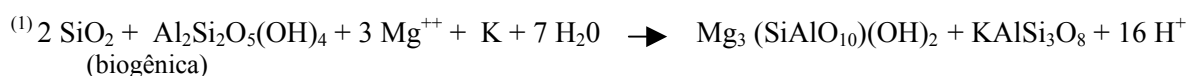


Figura 25: Correlação dos teores de esmectita, caulinita e sílica biogênica (%).

A formação da esmectita e do feldspato-K pode ser explicada pela alteração da caolinita em contato com a sílica biogênica (Costa et al, submetido). A neoformação da esmectita a partir da caolinita de baixa cristalinidade (picos de reflexão em 4.2-4.5 Å) é uma hipótese para explicar a presença de esmectita nos sedimentos de manguezais (Costa et al. op cit.).

A equação (1) simplifica o processo de neoformação dos argilominerais nos manguezais:

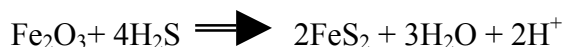


Resultados semelhantes foram obtidos por Michalopoulos et al. (2000), em sedimentos lamosos da costa do Estado do Amapá. Segundo estes autores, as frústulas de diatomáceas são substituídas total ou parcialmente por material aluminossilicato, pobremente cristalino ou microcristalino, rico em ferro e potássio, cuja fonte, dentre outras, proviria da dissolução de aluminossilicatos detríticos.

Os sedimentos de manguezais também propiciam a geração de fases sulfetadas, principalmente pirita (FeS_2), normalmente encontradas em ambientes costeiros lamosos, além de minerais cuja gênese reflete a intensidade dos processos de evaporação, representadas por halita e gipso.

A formação de sulfetos de ferro está ligada às condições fortemente redutoras nos sedimentos e a presença de hematita e goethita, minerais herdados provavelmente da Formação Barreiras. A pirita forma-se, via de regra, da reação de minerais detríticos (conteúdo de óxidos-hidróxidos férricos), com o H_2S formado pela sulfato redução bacteriana da matéria orgânica (Berner, 1984). O processo é limitado pelas taxas de decomposição da matéria orgânica, pelo sulfato dissolvido e pelas concentrações de ferro reativo (Berner, op. cit.), que vai depender do mineral primário de ferro.

O processo geral pode ser genericamente representado pela reação:



Os resultados obtidos pela análise por raios-x e microscopia eletrônica, confirmam que a pirita (FeS_2) é o principal sulfeto de ferro identificado. Provavelmente, também ocorre a greigita (Fe_3S_4), necessitando-se ainda de confirmação.

As mesmas amostras submetidas ao raio-x, foram observadas ao microscópio eletrônico de varredura. Os óxidos de ferro, observados envolvendo grãos de quartzo e não identificados pela difração de raio-x, aparecem em diminutos cristais quando analisados com o detector de elétrons retroespalhados.

A pirita apresenta-se comumente como cristais isolados, octaédricos ou em agrupamentos de forma framboidal (figuras 26 e 27). Observou-se que os framboides apresentam um diâmetro médio em torno de 5 μm nas amostras de 0–10 cm, aumentando para 18 μm em maiores profundidades, com características redutoras.

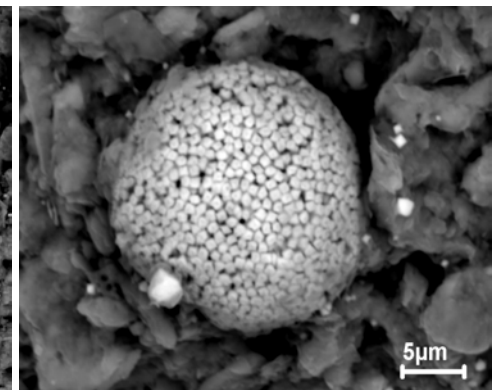
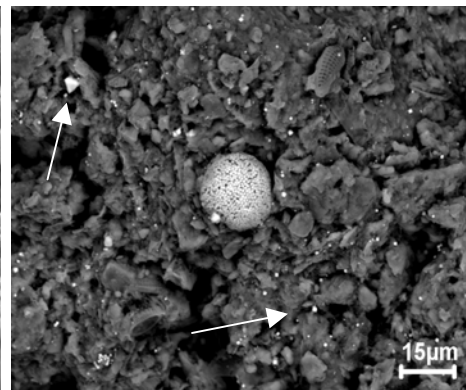
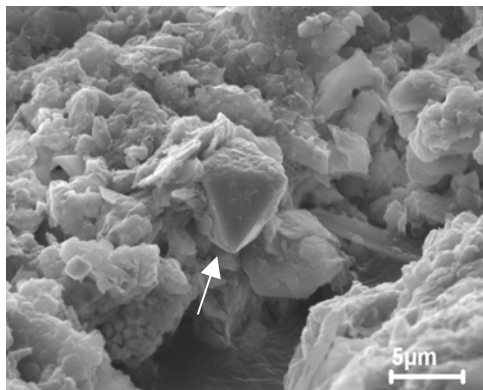
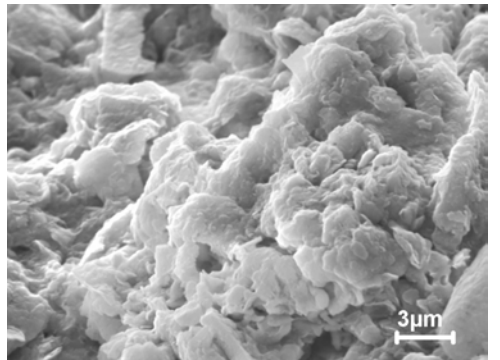
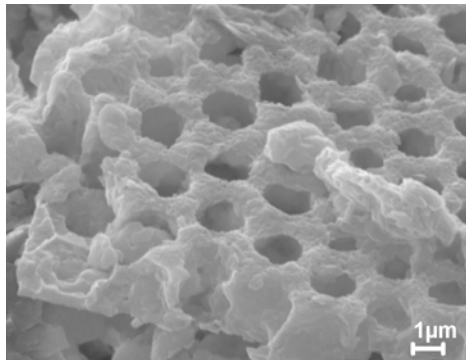
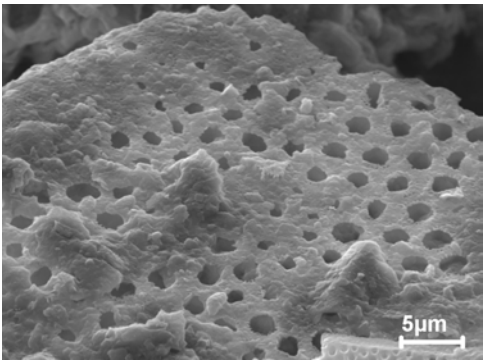
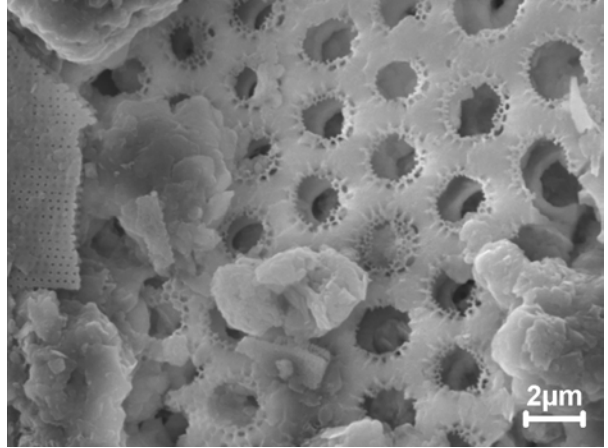
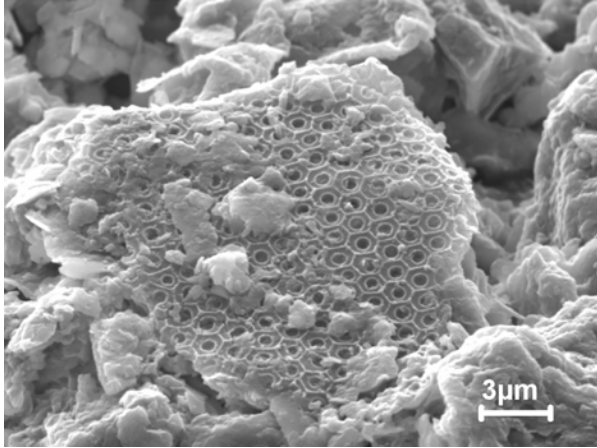
As observações microscópicas revelam a quase ausência da pirita próximo à superfície dos sedimentos (0-10 cm); quando a pirita ocorre nesta profundidade, os cristais são perceptíveis apenas com a detecção por elétrons retroespalhados. Em lugares mais elevados no terreno, os sedimentos são oxidados e mais ácidos, praticamente não se identifica sulfetos. A pirita aparece somente a partir de 50-60 cm, na zona redutora.

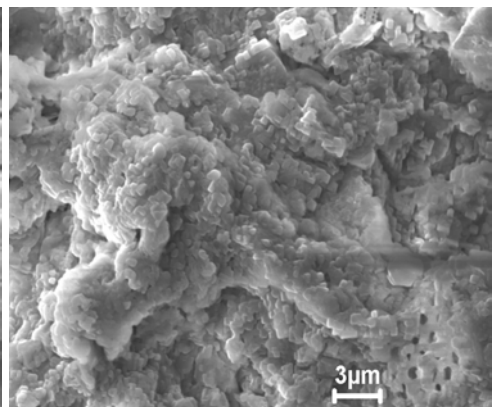
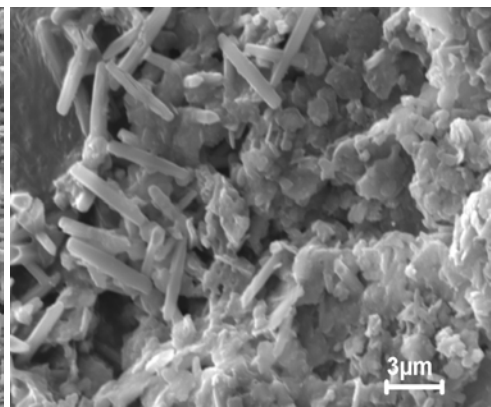
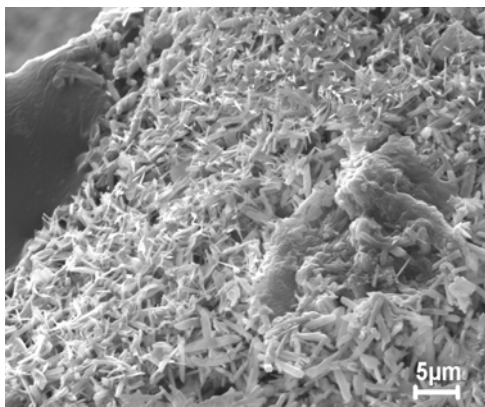
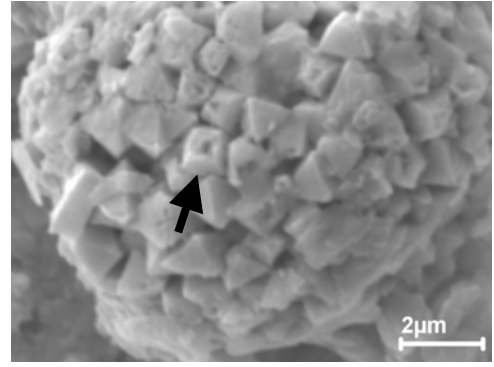
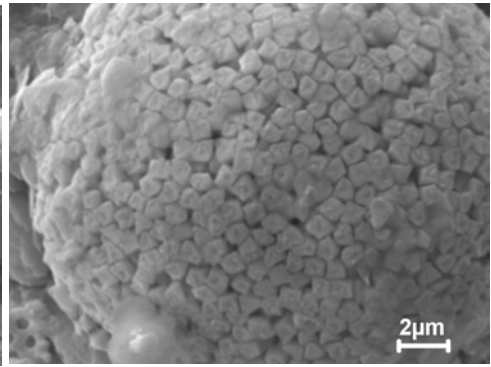
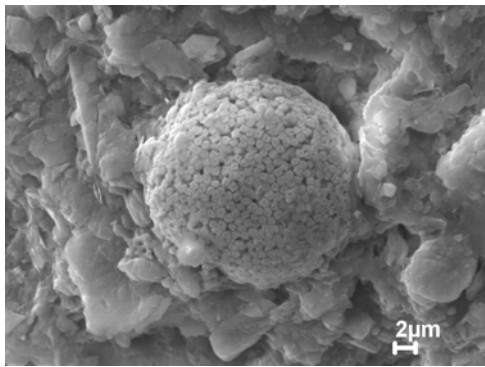
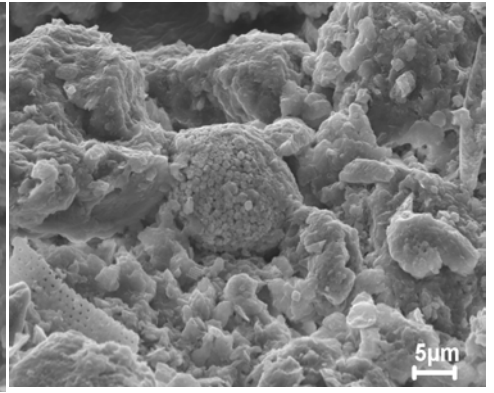
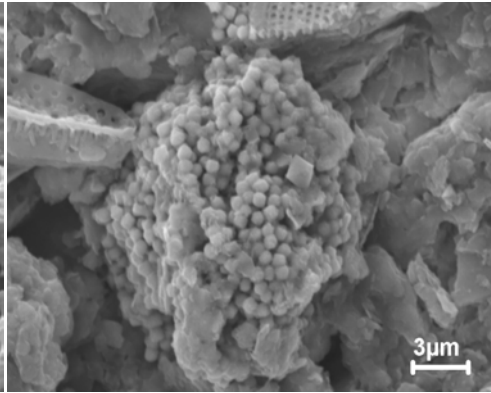
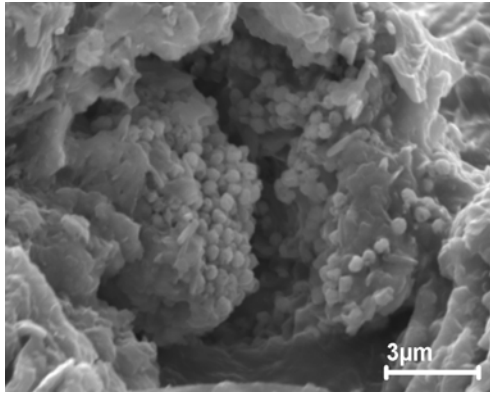
Nos sedimentos úmidos, tipicamente redutores, a pirita aparece a partir de 40-50 cm. A ausência de pirita nesta profundidade, parece confirmar a oxidação dos sulfetos nos níveis mais superiores dos sedimentos lamosos. O processo de oxidação reflete-se nas análises das águas intersticiais através de valores de pH mais ácidos e Eh oxidante. Na ampliação da Figura 28, os cristais de pirita mostram visíveis sinais de corrosão.

A influência da sazonalidade climática é ressaltada quando constata-se a existência de grande quantidade de minerais evaporíticos (gipso e halita) nos níveis superiores dos sedimentos, resultado da supersaturação das águas intersticiais (Figura 29, A,B, C). Nos períodos úmidos, estes minerais foram identificados em níveis situados abaixo de 40-50 cm, aparentemente como fases reliquias.

O nível freático oscila verticalmente próximo à superfície, em função da intensidade da evapotranspiração. Este processo deixa impresso nos sedimentos uma mineralogia que, embora transitória, é testemunho dos rigores climáticos e que evidencia o movimento das

águas intersticiais. Os processos evaporativos intensificam a oxidação nos sedimentos, provocando a precipitação dos óxidos de ferro que envolvem os grãos de quartzo.





13 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Este item apresenta breves considerações sobre os tópicos abordados, em ordem de aparecimento no texto.

1. A análise dos padrões de drenagem pode ser utilizada na área de estudo para distinguir diferentes níveis topográficos na planície lamosa. A esperada e aparentemente morfologia suave, cede lugar a terrenos com acentuada inclinação, associados a sedimentos maduros entalhados pela drenagem;

2. As águas do estuário do rio Marapanim são altamente sensíveis à sazonalidade dos fatores climáticos (chuvas, temperaturas, ventos, etc.). Estes fatores determinam várias transições nas águas de superfície, evidenciados pelos nutrientes, grau de turbidez, salinidade e distribuição da vegetação.

Os fatores hidrodinâmicos e climáticos, proporcionam intensa e rápida renovação das águas do estuário do rio Marapanim. As características físico-químicas e químicas das águas costeiras modificam-se ao adentrarem o estuário, bastante sensíveis à diluição por grandes volumes de água doce que descem o rio, ao alto índice pluviométrico, à oscilação marcante do clima e das marés, fatores responsáveis pelo equilíbrio salino nas águas superficiais e pelo aporte e diluição de sais nos sedimentos de mangue. As características das águas certamente são modificadas ou condicionadas à intensa atividade diagenética sulfato-redutora de decomposição da matéria orgânica nos sedimentos, evidenciado pelo comportamento do pH, do oxigênio dissolvido e pela liberação da sílica e do fosfato;

3. A intrusão da água do mar no estuário, origina uma cunha salina, intersticial nos sedimentos, que se desenvolve próximo e obliquamente à superfície do terreno, sensível à variação sazonal dos fatores climáticos. O desenvolvimento da cunha salina acompanha-se de processos de oxidação bastante desenvolvidos em zonas topograficamente mais elevadas, confirmando a existência de uma relação entre as

variáveis ambientais (pluviosidade e temperatura) e geoquímicas (pH, Eh e salinidade) com a morfologia e as variações das marés;

- 4 A morfologia do terreno, assim como a natureza, espessura e distribuição espacial dos diversos substratos condicionam, não somente as direções preferenciais da rede de drenagem mas, sobretudo, sua evolução em função da idade das zonas drenadas, reveladas pelos padrões específicos de cobertura vegetal. A suposta homogeneidade dos sedimentos de manguezal, cede lugar à transições laterais e verticais evidentes, que se manifestam desde variações no micromodelado do relevo, que condiciona a circulação das águas, na sensibilidade às variações climáticas, na maturidade física e química dos sedimentos e, conseqüentemente, em sua evolução.

Em consequência, os sedimentos de mangue são bem desenvolvidos (física, química e geoquimicamente), encontrados em áreas de sedimentação estável, topograficamente mais altas e dissecadas, com drenagem hierarquizada, associados a uma vegetação com características e estruturas correspondentes a evolução destes sedimentos. Ao contrário, as áreas mais baixas, com regime de inundação quase permanente, apresentam menor diversidade vegetal e pedológica, associadas a pequenos e densos canais de maré;

5. As águas intersticiais mantêm-se quase sempre alcalinas e fracamente oxidantes em superfície e extramente redutoras e alcalinas em profundidade, resultado da mineralização da matéria orgânica e a produção de sulfetos. A distribuição vertical dos constituintes físico-químicos e químicos, põem em evidência a região superior dos sedimentos (0-10 cm), testemunho de trocas com o meio atmosférico, oxidante. O elevação da alcalinidade das águas e das concentrações de sulfetos com o aumento da profundidade, é acompanhado da produção de amônia e da liberação de ortofosfatos. No final do período chuvoso, a menor freqüência das chuvas e das marés, aparentemente dá início a processos de oxidação que diminuem o pH e as concentrações de sulfeto tendem a zero.;

6. A ocorrência da esmectita e feldspatos-K nos sedimentos do rio Marapanim, confirma a neogênese de minerais aluminossilicatados nestes manguezais, como produto final de processos de diagênese precoce, tal qual registrado localmente e em várias regiões do mundo. Nossos resultados, indicam que tais processos são subordinados à disponibilidade de sílica biogênica, à degradação de fases cristalinas aluminossilicatadas (ex. caulinita), de origem continental e às condições geomorfológicas e físico-químicas predominantes nos sedimentos.

A autigênese de minerais sulfetados (principalmente pirita), mostra-se fortemente relacionada com o comportamento das águas intersticiais, que apresentam altas concentrações de alcalinidade, sulfetos dissolvidos, amônia e ortofato, gerados pela atividade sulfato redutora de mineralização da matéria orgânica. A rápida dinâmica do ferro parece controlada pelos processos de oxiredução, associado ao fósforo e sulfetos. Fases evaporíticas (halita e gipso) participam do movimento oscilatório do nível freático, em resposta às oscilações do clima, que intensificam os processos de oxidação;

7. A interpretação da composição química da água intersticial, certamente trará importantes subsídios para o estudo dos processos diagenéticos nos sedimentos lamosos. As afinidades demonstradas pelos constituintes dissolvidos e as condições físico-químicas das águas intersticiais com as fases sólidas presentes nos sedimentos, constituirão mais uma etapa de investigação: o estudo do equilíbrio termodinâmico das fases sólidas e fases dissolvidas.

14 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMARAZ, C.U. 1977. Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas - Estado do Pará. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, 198p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, UFRGS, 1977.
- ARAI, M. et al. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Anais. Belém, SBG. V.2, p.738-752.
- ARAI, M. et al. 1994. Novos dados sobre a estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém, 1994. Anais. SBG. Núcleo Norte, p.185-187.
- ARANHA, L.G.F. et. al. 1988. Evolução tectônica e sedimentar das bacias de Bragança-Vizeu, São Luís e Ilha Nova. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Anais. Belém, SBG. v. 6, p. 2487-2498.
- BARBOSA, G.V. & PINTO, M.N. 1973. Geomorfologia da Folha SA-23 (São Luiz) e parte da Folha SA-24 (Fortaleza). In: BRASIL. Projeto RADAM BRASIL. Folha SA-23 São Luis e parte da Folha SA-24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro. Capítulo 1, p.3-37 (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BASTOS, M.N. do C. – 1996 – Caracterização das formações vegetais da Restinga da Princesa, Ilha de Algodual – Pará. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Ciências Biológicas.261. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Curso de Pós Graduação em Ciências Biológicas. UFPA. 1996.
- BALTZER, F. 1969. Les Formations végétales associées au Delta de la Dumbea Nouvelle Calédonie). Cah. ORSTOM, Sér. Géol. I, 1, 59-84.
- BALTZER, F. 1975. Solution of silica and formation of quartz and smectite in mangrove Swamps and adjacent hypersaline marsh environments. In: Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves. 482-497p.
- BALTZER, F. 1982a. La transition eau douce-eau salée dans les mangrove. Conséquences Sédimentologiques et géochimiques. Symposium “Transition eaux douces-eaux salées Ass. Sédium. Français, Paris, 20-21 janvier 1981. Mém. Soc. Géol. Fr. Ns 144, 27-42.
- BALTZER, F. 1982b. La sédimentation et la diagenèse précoce sur les côtes à mangroves. Cah. ORSTOM, Géol. XII, p.175-189.

- BALTZER, F.1994.; KENIG, F.; BOICHARD, R.; PLAZIAT, J.-C.; PURSER, B.H. 1994. Organic matter distribution, water circulation and dolomitization beneath the Abu Dhabi Sabkha (United Arab Emirates). *Spec. Publs Int. Ass. Sediment.* 21, 409-427p.
- BERRÊDO, J.F; SALES, M.E.; PROST, M.T.; MENDES, A.C.; SENNA, C. 1997. Hidroquímica do estuário do Rio Marapanim, Nordeste do Estado do Pará - Brasil. In: WORKSHOP DO PROGRAMA INSTITUCIONAL DE ESTUDOS COSTEIROS. 1., Salinópolis, 1997. *Anais. Salinópolis, MCT/CNPq/MPEG* p. 26-26.
- BERRÊDO, J.F; MENDES, A.C; PROST, M.T.; SALES, M.E; FAURE, J.F.; LINS, A. (2000). Efeitos das hidrocirculações superficiais e de subsuperfície sobre ecossistemas de manguezais da costa nordeste do estado do Pará. V Workshop ECOLAB. Programa e resumos. Macapá, AP. Novembro de 2000. 135-139p.
- BERNER. ROBERT A. 1971. *Principles of chemical sedimentology.* Ed. McGraw-Hill Book Company. 240p.
- BERNER. ROBERT A. 1984. Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 48, pp. 605-615.
- BERRÊDO, J.F; COSTA, M.L.DA (2002). Modificações sazonais nas propriedades físico-químicas de manguezais do estuário do rio Marapanim, nordeste do Pará. VI WORKSHOP ECOLAB. *Anais. Belém, Pará-Brasil (Cd Room).*
- BORGES, M.S. et al . 1995 a. Evolução neotectônica da região nordeste do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado, 1995. *Resumos. Gramado-RS.* p. 421-422.
- BORGES, M.S. et al . 1995 b. Esculturação da paisagem do litoral norte do Brasil e sua relação com os movimentos neotectônicos do Quaternário. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTONICOS, 5., Gramado, 1995. *Resumos . Gramado-RS.* p. 423-424.
- CARMOUZE, J.-P. 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos (Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Eds Edgard Blucher Ltda e FAPESP., 253p.
- CARVALHO, J.A.F. – 1997 – Análise dos ventos e radiação solar para subsidiar projeto de sistema híbrido no Pará. <http://www.propesq.ufpe.br/conic97/ctg/RES-80059.html>
- CINTRÓN, G. & SCHAEFFER-NOVELLI. 1995. Ecology and Management of New World Mangroves. In: *Coastal Plant Communities of Latim América.* Ulrich Seeliger (Eds.) Academic Press, Inc. San Diego, Califórnia. 234-258p.
- CLINE, C.D. 1969. Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters *Limnol. Oceanog.*, v. 14, p. 454-458p.

- COSTA, J.B.S. et al. 1991. Aspectos da tectônica cenozóica na Região do Salgado, Litoral nordeste do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. Anais. Belém, SBG-Núcleo Norte, p.156-165.
- COSTA, J.L. da et al. 1977. Projeto Gurupi; Relatório Final. Belém, v.1, 258p.
- COSTA, M.L. DA.; BEHLING, H.; BERRÊDO, J.F.; SIQUEIRA, N.V.M. 2002. Mineralogical, Geochemical and Palynological Studies of Late Holocene Mangrove Sediments from Northeastern Para State, Brazil (submitted).
- CUNHA, F.M.B. 1991. Morfologia e tectonismo do Rio Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. Anais. Belém, SBG. p.193-211.
- DAVIES, J.L. 1977. Geographical variation in coastal development. New York, Hafner Publishing Company. 204p.
- DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). 1986. Roteiro da Costa Norte. Niterói-RJ. Marinha do Brasil. 152p.
- DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). 1994. Tábuas de Marés para 1994. Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros. 32. Ed. Rio de Janeiro, DHN. 196p.
- EL-ROBRINI, M. et al. 1992. Estudo sedimentológico das areias litorâneas do NE do Pará e NW do Maranhão. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO QUATERNÁRIO, 4., São Paulo, 1992. Resumos. São Paulo, SBG. V.1, p.79-80.
- FAURE, J.F.F. 1999. Manguezais do litoral paraense: Recursos naturais, uso social e indicadores de sustentabilidade – Relatório Parcial Departamento de Ecologia. Museu Paraense Emílio Goeldi. Relatório Interno. 31p.
- FEEMA. 1979. Os manguezais do Recôncavo da baía da Guanabara. Série Técnica cadernos da FEEMA/79. P1-53.
- FERREIRA, C.S. et al. 1973. Ocorrência da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) na Bacia de Barreirinhas-Maranhão. Rev. Bras. Geoc., 3: 60-67.
- FERREIRA, C.S. 1980. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) N e NE do Brasil, com as formações Chipola e Tampa da Península da Flórida, USA. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 1., Buenos Aires, 1978. Atas. Buenos Aires. V.3, p.49-55.
- FRANZINELLI, E. 1982. Contribuição à geologia da costa do Estado do Pará (entre as baías de Curuçá e Maiaú). In: SIMPÓSIO MAT. BRAS., 4., Manaus. 1982. Atas. Manaus. P.305-322.

- FRANZINELLI, E. 1992. Evolution of the geomorphology of the coast of the State of Pará, Brazil. In: PROST, MT. Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire. Paris. ORSTOM. P.203-230.
- GEYER, W.R. et al. 1991. The physical oceanography of the Amazon outflow. *Oceanography*, 4(1):8-14.
- GIBLIN, A. E. HOWARTH, R. W. 1984. Porewater evidence for a dynamic sedimentary iron cycle in salt marshes. *Limnology & oceanography* 29 (1): 47-63p.
- GÓES FILHO, L. et al. 1973. Vegetação. In: BRASIL. Projeto RADAM. Folha SA-23 (Folha São Luis) e parte da Folha SA-24 (Folha Fortaleza). MME/DNPM, v.3, p.71-72.
- GRASSHOFF K. 1983. *Methods of sea water analyses*, 2nd. Edn. Weinheim: Verlag Chemie 317p.
- HOWARTH, R.W., JENSEN, J.S., MARINO R., POSTMA, H. 1995. Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters. In: Tiesson H. (ed) *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management*. Wiley, New York, pp. 323-346.
- LORD, C.J. III, CHURCH, T.M. 1983. The geochemistry of salt marshes: sedimentary iron Diffusion, sulfate reduction, and pyritization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 47, pp, 1381-1391.
- LORING, D.H.; RANTALA, R.T.T. (1992). *Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter*. *Earth-Science Reviews*, 32, 235-283p.
- MARTORANO, L.G. et al. 1993. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather). Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 53p.
- MICHALOPOULOS, P. & ALLER, R.C. 1995. Rapid clay mineral formation in Amazon Delta sediments: Reverse Weathering and oceanic elemental cycles. *Science*, v. 270, pp. 614-617.
- MICHALOPOULOS, P.; ALLER, R.C.; REEDER, R.J. (2000). Conversion of diatoms to clays during early diagenesis in tropical, continental shelf muds. *Geology*. 28 (12):1095-1098p.
- NUNES, A. de B. et al. 1973. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA. 23 São Luís e parte da folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro p. I/1-33. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- OTTMANN, F. 1968. L'Étude des problèmes estuariens. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* (2), V.X., fasc.4, p.329-353.

- OVALLE, A.R.C, CARMOUZE, J.P, REZENDE, C.E; LACERDA, L.D.; BARROS, K.M; SILVA, C.A.R; SILVA, L.F.F.(1987). Hidroquímica de um canal de maré em ecossistema de manguezal, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. In: I Congresso Brasileiro de Geoquímica 2, 225-232.
- PINHEIRO, R.V.L. 1987. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 152p. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, UFPA, 1987.
- PROST, M.T. 1997. Evolução atual e Holocênica do litoral do nordeste do Estado do Pará (Relatório Final de Projeto de Pesquisa MPEG/CNPq, não publ.).
- PROST M.T., BASTOS M.N., FURTADO L.G., GORAYEB I., MENDES A. C., BERREDO J.F., FAURE J.F., SALES M.E., SILVA C.A., LUZ L.M., 2001 – Manguezais paraenses: Subsídios para o desenvolvimento sustentável. Reunião Especial da SBPC, 7. Manaus. CD- ROM .
- PURSER, H.B.; AZZAWI, ALM; HASSANI, AL N.H.; BALTZER, F.; HASSANO, K.M.; ORSZAG-SPERBER, F.; PLAZIAT, J.-C.; YACOUB, S.Y.; YOUNIS, W.R. - (1982). Caracteres et évolution du Complexe deltaïque Tigre-Euphrate Mém. Soc. Géol. Fr., N.S., n°144, p.207-216.
- RICHARDS, F. A. 1965. Anoxic basins and fjords. In: Chemical Oceanography 1. 611-645p.
- ROSSETTI, D.F. et al. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 2: 17-29.
- SANTOS, V.F.dos. 1996. Estratigrafia holocênica e morfodinâmica atual da planície costeira da ilha de Algodão e Marudá. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 139p. Tese (Mestrado em Geologia)-Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, UFPA, 1996.
- SCHUBEL, J.R. 1971. Classification of estuaries. In: SCHUBEL, J.R., ed. Estuarine environment: estuaries and estuarine sedimentation. Washington D.C., American Geological Institute. CapII, p.2-8.
- SENNA, C.S.F. et al. 1991. Geomorfologia. In: SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE & IBAMA. Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro. Macrozoneamento Costeiro do Estado do Pará. Belém, SECTAM/IBAMA/CRN. p.59-67. Relatório Técnico/91.
- SENNA, C.S.F. 1993. Caracterização geomorfológica da APA de Algodão-Maiandeuá. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO QUATERNÁRIO DA AMAZÔNIA, Manaus-AM, Resumos, Manaus, PICG, p.91-94.

- SHERMAN, R.E., FAHEY, T.J., HOWARTH, R.W. 1998. Soil-plant interactions in a neotropical mangroves forest: iron, phosphorus and sulfur dynamics. *Oecologia*, 115:553.
- SILVA, C.A. DA; MENDES, A C & BERRÊDO, J.F. 2002. Argilominerais da Planície Estuarina de Marapanim - NE do Pará/Brasil. VI WORKSHOP ECOLAB. Anais. Belém-Pará-Brasil (Cd Room).
- SILVA, C.A. DA. 1998. Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim-NE do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 133p. Tese (Mestrado em Geologia)-Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, UFPA, 1998.
- SONG, Y., MÜLLER, G. 1999. Sediment-water interactions in anoxic freshwater sediments Springer, Berlin. 111p.
- SUDAM - 1984 – Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira. SUDAM/PHCA. Belém. 125p.
- THOREZ, J. (1976). Practical identification of clay minerals. Belgique. G. Lelotte. 90p.
- TURENNE, J.F. (1997). L'Écosystème mangrove - Continuité et discontinuité. Reunião Ecolab, Cayenne, p. 1-7.
- VAN CAPPELLEN, P., QIU, L., 1997. Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern Ocean: I. Solubility, *Deep-sea Res. II* 44, 1109-1128.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)