



Caracterização físico-química e avaliação das concentrações de elementos maiores e traços em sedimentos areno-lamosos do estuário de Diogo Lopes, litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

Sérgio Tadeu Praxedes de Lima Dantas⁽¹⁾ & Venerando Eustáquio Amaro^(1,2)

Recebido em 11 de dezembro de 2011 / Aceito em 24 de janeiro de 2012

Resumo

Neste trabalho foi realizada a caracterização físico-química de bancos areno-lamosos do Estuário de Diogo Lopes, bem como a avaliação das concentrações de elementos maiores e traços nos sedimentos marginais de manguezal; como forma de subsidiar as medidas mitigadoras relacionadas à contenção dos processos erosivos na área de estudo. Através de imagens de sensores remotos, foi possível realizar uma analogia entre as principais respostas espectrais dos bancos areno-lamosos com áreas vegetadas (manguezal), indicando a possibilidade de se fazer uma reestruturação da área, contribuindo assim com o monitoramento ambiental desse ecossistema. Dessa forma, a estratégia metodológica adotada permitiu estabelecer que, para dezembro/2008, existiam ao menos 1.013 ha de área de bancos areno-lamosos, sendo que desses cerca de 89 ha foram analisados através da caracterização físico-química e verificada a viabilidade de serem empregados no reflorestamento, para a implantação de flora típica de manguezal local. A aplicação desta estratégia metodológica permitiu uma melhor compreensão das atividades físico-químicas das feições e assim permitiu a análise da eficiência/capacidade de zonas úmidas para reflorestamento com espécies típicas de mangue, que significaria uma redução na ação erosiva que impacta os campos de exploração de hidrocarbonetos de Macau e Serra, Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Bancos Areno-lamosos, Sensoriamento Remoto, Manguezais.

Abstract

In this research was held the physicochemical characterization of Diogo Lopes Estuary sand-muddy banks, as well as the assessment of major and trace elements concentrations in sediments of mangrove fringe; as a way of subsidizing the mitigating measures related to the containment of erosive processes in the study area. Through remote sensing images it was possible to make an analogy between the spectral characteristics of wetlands and vegetation areas (mangrove), showing the possibility to do a restoration of that area, contributing to the environmental monitoring of that ecosystem. Thus, the methodological strategy has established to December/2008 an area about 1,013 ha of sand-muddy banks, which of these approximately 89 ha viable to be used in a reforestation with the typical mangrove flora. The methodological approach allowed a better understanding of the features physicochemical activities and as a result it allows to the efficiency/capability analysis of sand-muddy banks to reforestation with typical mangrove species, which means a consequent reduction of the erosive action that impacts hydrocarbons exploitation oil fields of Macau and Serra, Potiguar Basin, Northeast Brazil.

Keywords: Sand-muddy banks, Remote Sensing, Mangrove.

(1) Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo (PPGCEP), Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Campus Universitário, CEP 59079-570 Natal (RN). Bolsista CAPES. E-mail: sergiotdantas@uol.com.br; (2) Laboratório de Geoprocessamento, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (RN), Brasil. E-mail: amaro@geologia.ufrn.br

1. Introdução

Na faixa litorânea do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, no Município de Macau, estão localizadas as comunidades Barreiras e Diogo Lopes, os campos petrolíferos de Macau e Serra, além do Parque Eólico de Macau, localizados em terrenos geológicos da Bacia Potiguar.

Nos últimos anos, essa área tem sido alvo de constantes estudos de avaliação e monitoramento ambiental (Amaro *et al.*, 2002; Nascimento, 2009; Dantas *et al.*, 2011), decorrentes da alta sensibilidade ambiental da zona costeira em relação ao tipo de uso e ocupação (indústria do petróleo, salinidade, carcinicultura, parques eólicos, pesca artesanal, entre outras), que oferecem riscos à manutenção do equilíbrio ecológico da região.

A conformação litorânea é caracterizada por intensos processos continentais e marinhos construtivos e destrutivos, ocasionando erosão/acrescimento e situações de instabilidade morfológica da linha de costa. Trata-se da interação entre os processos do meio físico, das condições climáticas, das variações do nível do mar, da natureza das seqüências geológicas, das atividades neotectônicas e do déficit no suprimento de sedimentos carregados pelos rios da região (Nascimento, 2009; Santos, 2011). Com isso, a elevada dinâmica costeira oferece riscos também à produção e exploração sustentável dos campos petrolíferos presentes na área, sobretudo quanto ao derramamento acidental de óleo.

Sendo assim, a proposição dessa pesquisa foi baseada no estudo de Nascimento (2009) que sugeriu alternativas do emprego de técnicas sustentáveis, que utilizam componentes naturais como areia e vegetação, como pressuposto de restabelecimento das defesas naturais dos terrenos para contenção de impactos provocados por agentes dinâmicos diversos (ondas, correntes, marés, ventos). Logo, através da observação da evolução natural da deposição de bancos arenolamosos de planícies flúvio-marinhas, Nascimento

(2009) sugeriu a implantação (e o reflorestamento) de vegetação de manguezal típica local na área situada a leste dos campos petrolíferos de Macau e Serra.

Como conjectura, os bancos arenolamosos, depois de estabilizados criariam condições físico-químicas e biológicas favoráveis à instalação de florestas de manguezal que conteriam o efeito de ondas e correntes na linha de costa e promoveriam a estabilização, ou até o deslocamento para longe da costa, do canal de maré que condiciona o efeito erosivo sobre os campos de exploração de Macau e Serra (Nascimento, 2009; Santos, 2011).

Portanto, o principal objetivo desta pesquisa foi realizar uma caracterização físico-química de bancos arenolamosos, além de avaliar a concentração de elementos maiores e traços em sedimentos marginais de manguezal (bancos arenolamosos), correlacionando-os com a presença antrópica. Dessa forma, esse estudo vem a somar-se aos esforços em busca de medidas mitigadoras e recuperadoras, como a restauração ecológica através de plantio de manguezal local, configurando uma proteção natural para a linha de costa e consequente redução da ação erosiva.

1.1. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Estuário de Diogo Lopes, Município de Macau, microrregião salinizada do litoral setentrional do Rio Grande do Norte. Esta área está localizada através das coordenadas UTM (Zona 24-Sul) nos meridianos 9.432.825,46 mN e 9.442.160,02 mN e nos paralelos 764.626,18 mE e 787.855,11 mE (Fig. 1). Os principais acessos são através da rodovia federal BR-406 que liga Macau a Natal e da rodovia estadual RN-118, entre as cidades de Macau e Açú; além da RN-403, que interliga a rodovia às comunidades Barreiras e Diogo Lopes.

1.2. Caracterização da Área de Estudo *Aspectos Geológicos*

A geologia/geomorfologia da área se

desenvolve sob (sedimentos) superfícies rochosas do terció-quaternário da Bacia Potiguar (Fig. 2), situada no extremo leste da margem continental brasileira, abrangendo parte dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará e suas respectivas plataformas continentais, ao longo de aproximadamente 48.000 km², sendo que 21.500 km² estão na porção emersa e 26.500 km² na porção submersa (Pessoa Neto *et al.*, 2007).

As unidades geológicas presentes na área são de idade Cenozóica e correspondem aos arenitos das formações Tibau e Barreiras, Depósitos Flúvio-Marinheiros, Depósitos de Mangue, Depósitos

Eólicos Vegetados, Depósitos Eólicos Não-vegetados e Depósitos Litorâneos de Praia (Valentim da Silva & Amaro 2008).

A Formação Tibau pode ser observada na porção NE, na base da Falésia de Chico Martins, bem como nas proximidades da comunidade Barreiras, sendo sobreposta pela Formação Barreiras (avermelhada) que, por sua vez, é sobreposta pela Formação Potengi (alaranjada). A granulometria dos sedimentos da Formação Tibau consiste na fração areia grossa, com grãos calcíferos dolomitizados, concreções ferrosas e grânulos de quartzo (Souto, 2002).

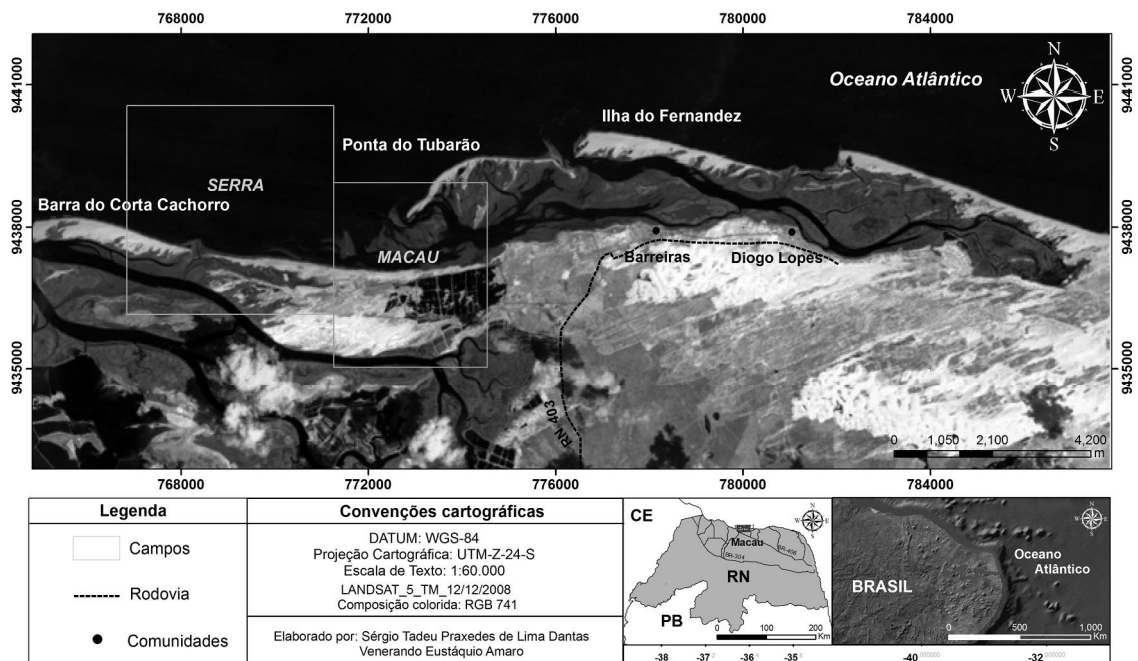


Fig. 1- Mapa de localização da área de estudo com os principais acessos ao Estuário de Diogo Lopes, Município de Macau/RN, e feições geográficas características, além dos Campos de Exploração de Petróleo e Gás Natural de Macau e Serra.

Segundo Pessoa Neto *et al.* (2007), a sequência siliciclástica denominada Formação Barreiras teve sua deposição iniciada no Mioceno. Os arenitos grossos a conglomeráticos de cores avermelhada, amarela e roxa, bastante intemperizados que constituem a Formação Barreiras ocorrem em grande parte da área, em cortes de estradas e falésias. Também ocorrem arenitos finos amarelados com caulinita, epidoto, quartzo, turmalina e plagioclásio e na forma de laterita. Os grãos são subarredondados e pobremente selecionados e o sistema deposicional desta unidade é do tipo

fluvial entrelaçado.

Os depósitos flúvio-marinhos correspondem às áreas úmidas inundáveis que estão submetidas à influência da maré nas regiões abrigadas por esporões arenosos (*spits*) e ilhas barreiras (Valentim da Silva & Amaro, 2008). São compostos por sedimentos nas frações granulométricas areia fina e silte, pobremente selecionados, com alto teor de carbonato de cálcio e matéria orgânica. São observadas nestes depósitos uma intensa ocupação por carcinicultura e salinas, além da ocorrência dos

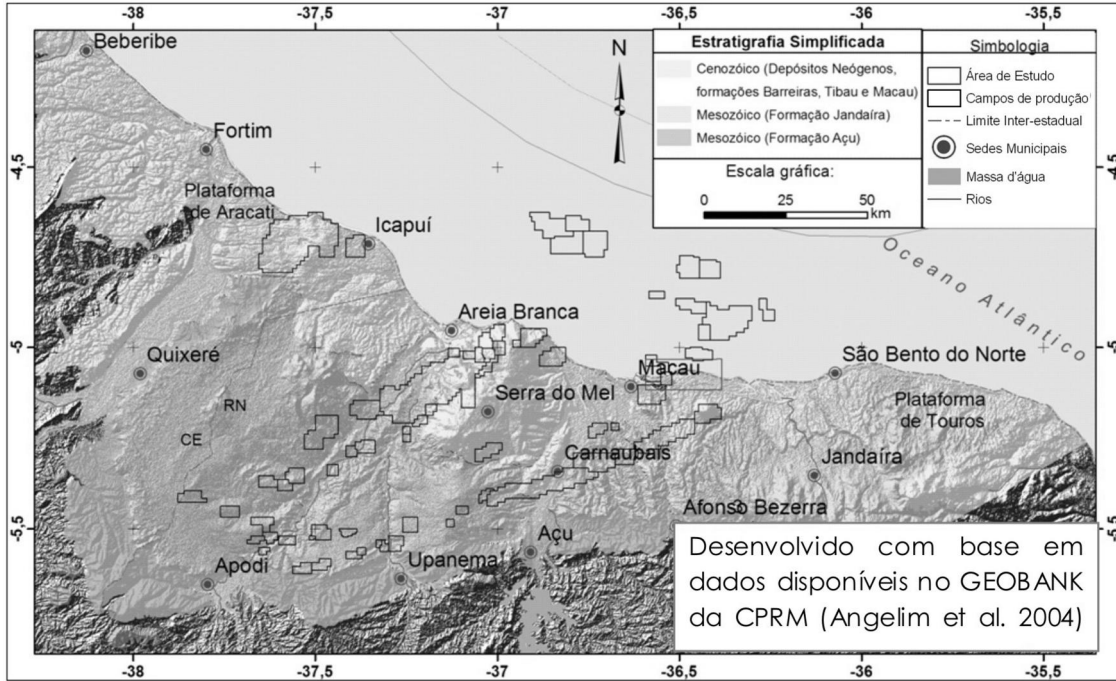


Fig. 2 - Mapa geológico da região de estudo. Modificado de Valentim da Silva & Amaro (2008).

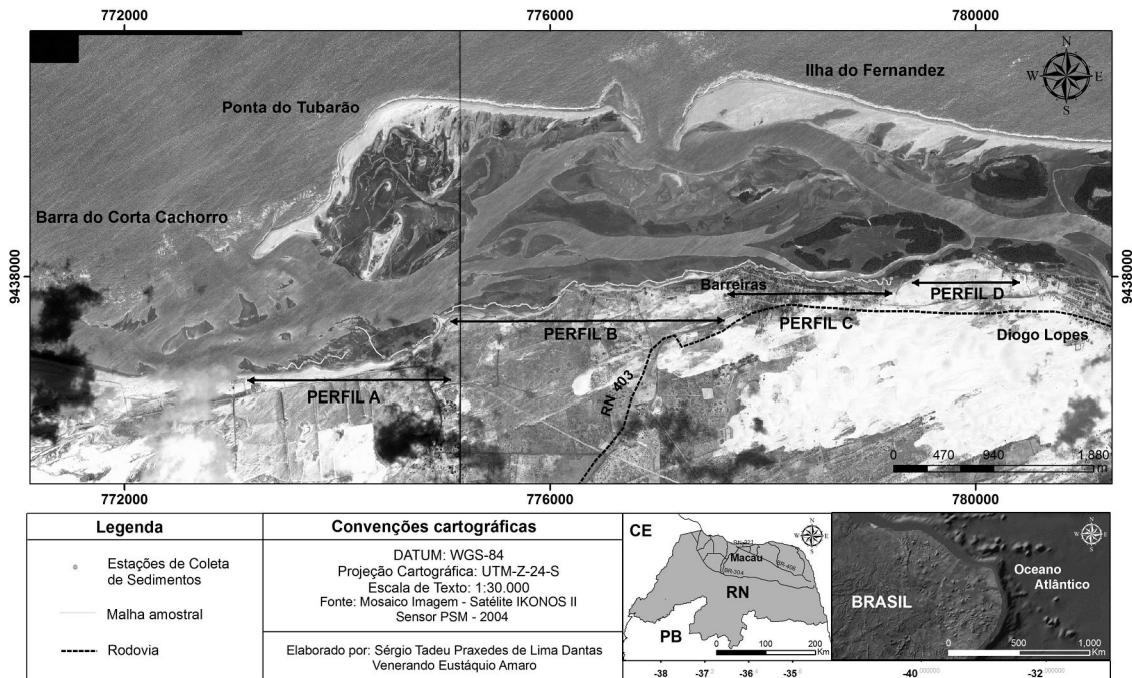


Fig. 3 - Carta imagem colorida RGB do satélite IKONOS-II de 2004 da área de estudo, adjacente à comunidades Barreiras e Diogo Lopes, Município de Macau/RN, indicando a malha e os pontos amostrais empregados nesse trabalho.

bancos areno-lamosos total ou parcialmente submersos, que são de grande valia para o contexto morfodinâmico e para o desenvolvimento desse estudo, que busca entender a estabilidade destas áreas e alternativas mitigadoras ao processo erosivo

presente.

Os depósitos de manguezais encontram-se ao longo das margens de canais flúvio-marinhos e em regiões protegidas pelos esporões arenosos e ilhas barreiras. Diz respeito às zonas infra, inter e

supramarés, localizadas na planície estuarina, como se pode observar na região da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual da Ponta do Tubarão (RDSEPT) e na região da Ilha Barreira do Corta Cachorro.

Os depósitos de dunas fixas são constituídos por sedimentos eólicos, onde predominam grãos de quartzo com granulometria que varia de fina a média, bem selecionados e arredondados, e parcialmente por silte e argilas pedogenéticas, desenvolvendo as formações eólicas, fixas por vegetação, que impede seu deslocamento (Angelim *et al.*, 2006).

As dunas móveis, depósitos eólicos não-vegetados, são constituídas por areias esbranquiçadas de coloração fina a média, bem selecionadas, sobrepostas aos depósitos eólicos vegetados, ou recobrimo ilhas barreiras. Os sedimentos possuem frações de areias predominantemente quartzosas variando de fina a média, com presença de grãos bem arredondados a subarredondados, bem selecionados.

Os depósitos litorâneos de praia ocorrem na faixa litorânea em contato direto com o oceano e são constituídos por areias quartzosas ricas em bioclastos, formando ilhas barreiras, esporões e bancos areno-lamosos (Valentim da Silva & Amaro, 2008).

Aspectos Fisiográficos

O clima da área em estudo é caracterizado como semi-árido, de altas temperaturas e escassez de chuva, definido por duas estações, uma estação seca com período mais longo (variando de 7 a 8 meses) e uma estação de inverno com período chuvoso curto, normalmente nos meses de fevereiro a maio (IDEMA, 1999). A região de Macau apresenta elevadas temperaturas durante todo o ano, com uma média anual de 26,8°C. Mensalmente, podem-se observar entre 25°C, no mês de julho, e máxima de 28,6°C, em fevereiro (Chaves *et al.*, 2006). Com relação aos ventos da região, estes se tornam um dos principais responsáveis pela dinâmica costeira. A orientação dos campos de dunas retrata a direção predominante dos ventos na região costeira que são influenciados pelos ventos alísios provenientes de NE, onde é possível destacar o campo de dunas móveis de Diogo Lopes (Fig. 3).

Ao se aproximarem da zona costeira, o fluxo das ondas apresenta a mesma direção dos ventos dominantes (NE-E). Segundo Chaves & Vital (2001), a altura das ondas varia entre 0,125 a 0,722 m, com máximas e mínimas nos meses de novembro e maio, respectivamente.

Já as correntes superficiais na região apresentam velocidades máximas de 1,103 m/s e mínimas de 0,171 m/s para W, nos meses de novembro e maio, respectivamente (Chaves & Vital, 2001) e variam com um ângulo de incidência do *trend* de ondas, em relação à linha de costa, numa média de 0,637 m/s. Estas correntes são responsáveis pelo transporte de sedimentos em suspensão oriundos da ação do retrabalhamento das ondas ao longo do litoral.

2. Materiais e Métodos

2.1. Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento

O emprego de técnicas de geoprocessamento visou a identificação e discriminação das feições geomorfológicas como os bancos areno-lamosos, sua relação com as áreas de manguezal, além de destacar a ação antrópica na área de estudo e toda a região estuarina adjacente às comunidades de Barreiras e Diogo Lopes.

As atividades de geoprocessamento e a elaboração de mapas temáticos envolveram o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto de resolução moderada e alta (Tab. 1) do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO/UFRN) e a integração de dados em estrutura de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para o estudo, foram utilizados os softwares *Er Mapper 7.1*[®] e o *Arc Gis 9.3*.

Com o objetivo de realce dos bancos areno-lamosos para realização da análise multitemporal entre 2000 e 2008, utilizou-se técnicas como a Análise por Principais Componentes (PC), Decorrelação (D) e filtragem espacial, com base na covariância entre as bandas, visando pela interpretação visual das imagens resultantes proporcionar melhores realces dos lineamentos e contatos entre as unidades.

Tabela 1: Relação das imagens utilizadas, data, resolução espacial e altura de maré.

Tipo de Sensor	Data e Hora*	Resolução Espacial	Hora/Altura de Maré
Landsat 5-TM	13/Jun/2000 - 12:11:09	30 m	-
Landsat 5-TM	19/Jun/2008 - 12:22:24	30 m	11h51min/0,3 m
Landsat 5-TM	12/Dez/2008 - 12:18:59	30 m	10h49min/0,4 m
IKONOS-II PSM	2004	4 m	-

* Data e hora de passagem do satélite (aquisição da imagem pelo sensor).

2.2. Levantamento Amostral de Sedimentos

A área foi dividida de acordo com a pré-visualização nas imagens orbitais e diferenciação em campo dos diferentes tipos de sedimentos, variando de arenosos, areno-argilosos e argilosos; com ou sem a presença antrópica e/ou de vegetação típica de manguezal. Dessa forma, a área foi dividida em 4 perfis onde foram situadas 29 estações de coleta de sedimentos, distribuídos da seguinte forma (Fig. 3):

- **Perfil A:** Perfil localizado entre a estação coletora do Campo Macau e a Falésia de Chico Martins, com 8 estações de coleta de sedimentos (onde encontra-se a área piloto de plantio sugerida por Nascimento, 2009).
- **Perfil B:** Perfil localizado entre a Falésia Chico Martins e a comunidade Barreiras, com grande extensão de bancos areno-lamosos, apresentando 6 estações de coleta.
- **Perfil C:** Perfil localizado na área adjacente à comunidade Barreiras, possuindo 9 estações de coleta, estabelecido para se verificar a influência de contaminação sobre os bancos por elementos maiores e traços oriundos da presença antrópica.
- **Perfil D:** Perfil localizado em áreas marginais de vegetação de manguezal adensada e protegida; foram situadas 6 estações de coleta utilizadas como testemunhos. As amostragens realizadas foram simples, para revelar-se a variabilidade que pode ocorrer em pequenas extensões de área vegetada com manguezal.

Em cada um desses ambientes, compostos por sedimentos de planície de maré, sedimentos com presença antrópica e sedimentos marginais de manguezal, as amostras foram coletadas manualmente na camada superficial (0-20 cm), no período de maré baixa. Essa profundidade se justifica por ser nela onde está concentrada a maioria dos nutrientes necessários à fixação de diferentes

espécies vegetais.

2.3 Análises Laboratoriais de Sedimentos

Depois de homogêneas, as amostras foram transferidas para recipientes plásticos com tampa de rosca e colocadas em caixas térmicas com gelo até a chegada ao laboratório, sendo armazenadas em freezer com temperatura em torno de 4°C até se iniciarem os procedimentos de pré-tratamento e análises físico-químicas no Laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), conforme as recomendações da EMBRAPA (1997).

Extração de Elementos Maiores e Traços

Para a extração total dos elementos, foi utilizada a metodologia USEPA 3051a (2007). Após completar a extração, os frascos contendo os líquidos digeridos foram transferidos para suportes numerados e colocados dentro da capela.

Em seguida, as amostras extraídas foram diluídas para 25 mL com água tipo Milli-Q e filtradas direto para os frascos de polietileno, sendo posteriormente levados ao ICP-OES (Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma de Argônio Induzido) onde as concentrações dos elementos Al, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sr, V e Zn foram analisadas.

Para esta pesquisa, os teores de elementos maiores e traços nas amostras de sedimentos tiveram como referência os “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2005), bem como o material certificado de referência da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

3. Resultados e Discussões

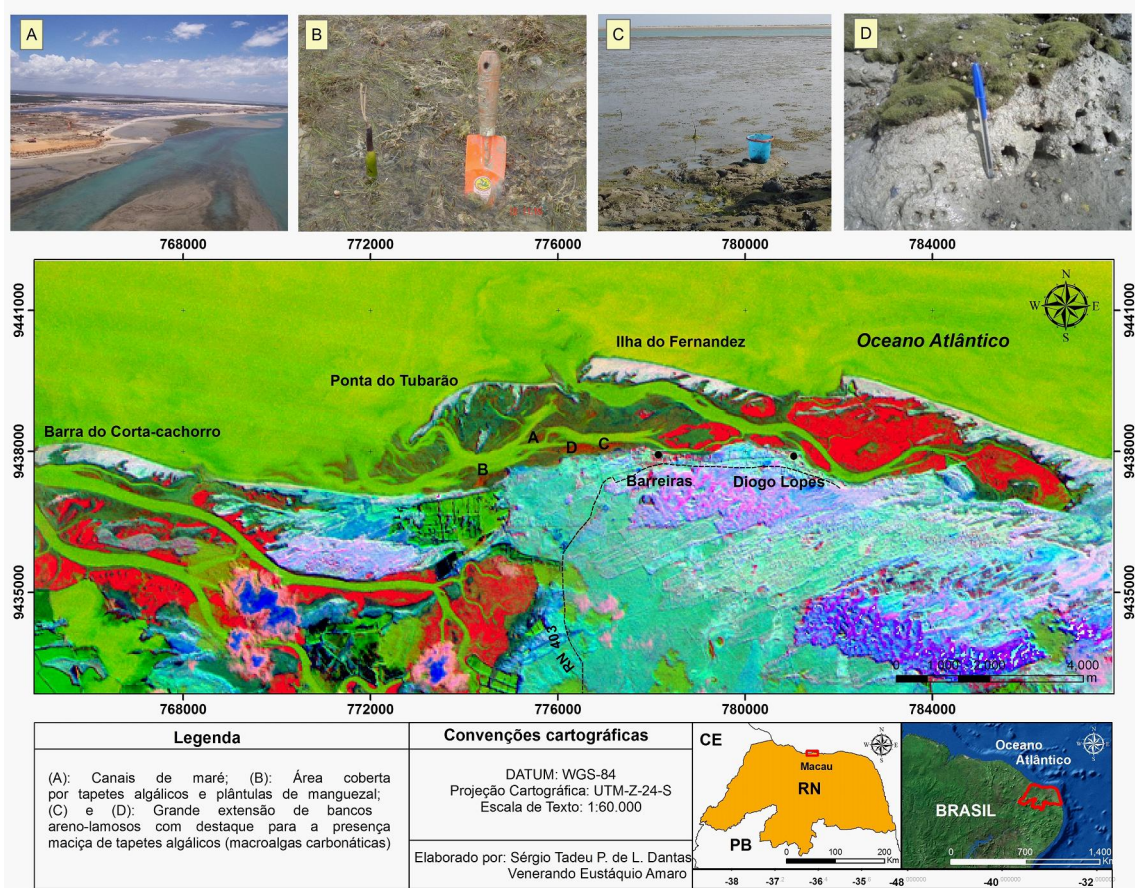


Fig. 4 - Composição colorida R(PC5) G(PC3/PC4) B (Banda 5) da imagem do Landsat 5-TM de 12/12/2008, onde observa-se nos bancos areno-lamosos, áreas com vegetação rasteira e tapetes algálicos.

3.1. Processamento Digital de Imagens Orbitais

A Figura 4, de composição R(PC5) G(PC3/PC4) B (Banda 5), revela na foto A canais de maré que ocorrem paralelos à linha de costa que influenciam no processo erosivo ali instalado; na foto B, é observada uma área coberta por tapetes algálicos e plântulas de manguezal, o que reforça a idéia em se ter uma área piloto de plantio com espécies de mangue local; nas fotos C e D se tem uma visão geral da grande extensão de bancos areno-lamosos, que também podem ser utilizados para um futuro projeto de reflorestamento, com destaque para a presença maciça de tapetes algálicos (macroalgas carbonáticas), o que contribui para elevar a fertilidade do solo local.

Para a análise multitemporal, o mapeamento realizado na imagem de 13/06/2000 resultou na detecção de área disponível de bancos areno-lamosos de cerca de 892 ha. Já para a imagem Landsat 5-TM 12/12/2008, os resultados indicam área disponível de bancos areno-lamosos com cerca

de 1.013 ha, sendo que destes, cerca de 89 ha foram avaliados *in loco* e obtidas características físico-químicas viáveis ao plantio (Fig. 5).

Quando comparadas as áreas de interesse para o plantio, percebe-se que as mesmas mantiveram-se praticamente estáveis (Fig. 5), ocorrendo inclusive um aumento da área de bancos. Este aumento proporcional de bancos areno-lamosos está associado ao transporte de sedimentos através de ações marinha e eólica; ou seja, durante este período (entre 2000 e 2008), possivelmente, foi carregado, através destas forças, apenas o material mais arenoso, composto de areias quartzosas.

Assim, quando deslocada essa parte superficial, pode-se constatar logo abaixo, extensões de bancos com granulometria mais fina e notoriamente mais estáveis quando comparados ao material de granulometria mais grossa, que facilmente é conduzido pelas presentes variáveis ambientais.

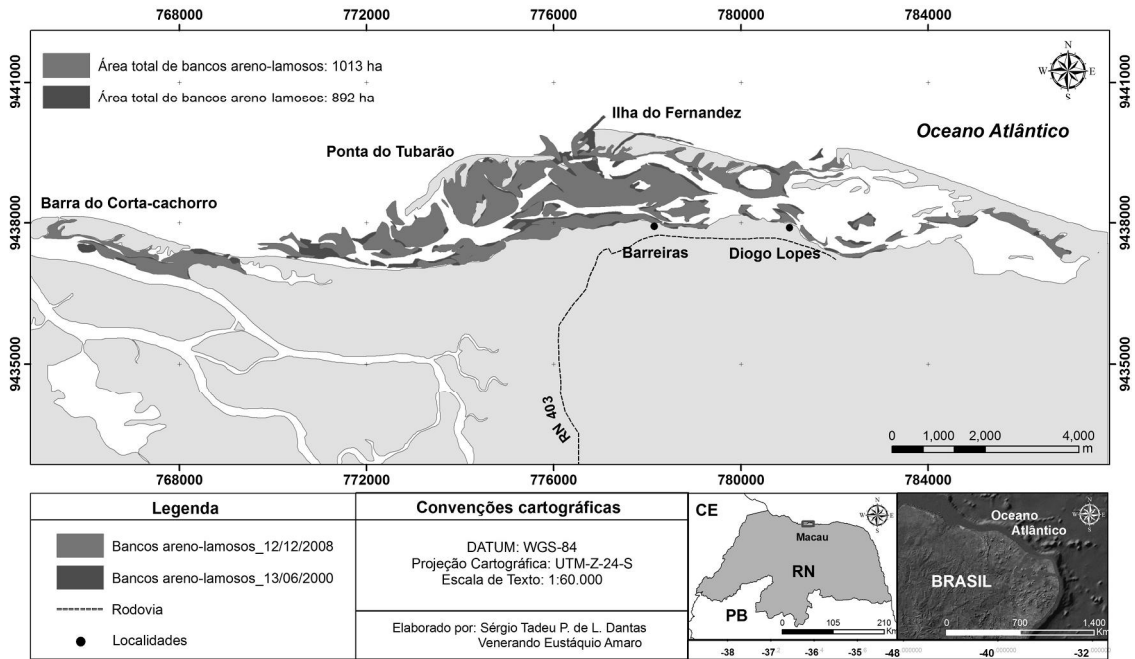


Fig. 5 - Análise Multitemporal dos bancos areno-lamosos entre os anos de 2000 e 2008, baseado na interpretação de imagens de sensoriamento remoto multiespectrais e multitemporais do Landsat 5-TM e IKONOS-II, para condições semelhantes de baixa-mar. As colorações vermelha e verde representam as áreas totais de bancos areno-lamosos nos anos de 2000 e 2008, respectivamente.

Dessa forma, o uso do geoprocessamento resultou na discriminação e quantificação das feições geomorfológicas na área de estudo, sob condições similares de baixa-mar para as imagens de sensoriamento remoto, e a relação com as áreas vegetadas por manguezal. Definiu ainda as condições da presença antrópica na área adjacente às comunidades de Barreiras e Diogo Lopes, conduzindo, portanto, a seleção dos locais mais propícios para realização dos perfis de caracterização físico-química e análise de elementos maiores e traços.

3.2. Resultados Analíticos

Para uma melhor compreensão e visualização dos dados analíticos, optou-se por gráficos e na elaboração de um sumário estatístico para cada parâmetro analisado, além da elaboração de uma tabela empírica (Tab. 2) para os Coeficientes de Variação (CV) dos elementos maiores e traços, com o objetivo de auxiliar na interpretação dos resultados.

Na elaboração dos sumários estatísticos e respectivos gráficos, os teores abaixo do limite de detecção para cada elemento (especificamente para

maiores e traços) foram substituídos pela metade do limite de detecção do método analítico (USEPA 3051a). A título de comparação, também é importante ressaltar que esse método incidiu a partir da extração com HNO_3 e granulometria $< 0,063$ mm, diferente dos demais resultados físico-químicos (CaCO_3 , M.O e fertilidade), o que implica em se ter uma idéia sobre as concentrações destes parâmetros na área em estudo.

Granulometria, Carbonato (CaCO_3) e Matéria Orgânica (MO)

A classificação textural através das diferenças dos diâmetros médios das amostras revelou que 13,79% foram classificadas como areia grossa, 22,59% como areia média, 34,48% como areia fina, 10,34% areia muito fina e 13,79% como silte. Sendo assim, a partir da análise da média é possível observar uma predominância da fração areia fina, juntamente com as frações areia muito fina e silte o que define os chamados bancos areno-lamosos, independente de qual dos perfis seja analisado. Para os teores de silte, argila e silte + argila, observa-se uma correlação positiva, onde se tem uma tendência de aumento de uma variável

Tabela 2: Resposta empírica aos diferentes valores observados na distribuição dos elementos em cada perfil.

Valor de C.V (%)	Variabilidade dos elementos	Total de elementos*
CV = 25	Muito Baixa	0
25,1 < CV > 50	Baixa	14
50,1 < CV > 100	Média	2
CV > 100,1	Alta	2

* Elementos maiores e traços, analisados através do ICP-OES.

quando a outra aumenta. Em sua maioria, os pontos onde são localizadas as maiores porcentagem de silte e argila estão nos perfis B e D, onde são encontrados também os bancos areno-lamosos com presença de algas calcárias e vegetação densa de manguezal, respectivamente (Fig. 6).

Os resultados de carbonato (CaCO_3) e matéria orgânica (MO) foram obtidos a partir dos dados quantificados oriundos do ataque com ácido clorídrico (HCl) a 10% e após o ataque com peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 1:1), respectivamente, dados em porcentagem (Fig. 6).

Dessa forma, nos gráficos da Figura 6A e 6B, é possível observar que as maiores porcentagens

de partículas finas do sedimento, além das maiores concentrações de CaCO_3 e MO são encontradas nos perfis B e D, onde existe a presença maciça de macroalgas carbonáticas e vegetação de manguezal, respectivamente. Isto mostra que a presença de maiores quantidades desses elementos proporciona uma melhora significativa da fertilidade do solo, com possibilidades de reestruturação da área a partir do plantio e replantio com espécies de manguezal local.

Fertilidade e Condutividade Elétrica

Na Tabela 3 estão representados os resultados relativos aos atributos avaliados na caracterização físico-química.

Tabela 3: Sumário estatístico representativo dos parâmetros relacionados à fertilidade.

Parâmetro	Mín	Máx	Média	Mediana	DP	CV
pH	7,83	8,75	8,4	8,39	0,2	2,4
CE - 1:5 dS.m ⁻¹	1,32	15,1	5,83	5,05	2,8	48,1
Ca ²⁺ - cmol _c .Kg ⁻¹	1,37	24,37	2,92	2,05	4,2	142
K ⁺ - cmol _c .Kg ⁻¹	0,6	5,71	1,63	1,2	1,1	68,9
Mg ²⁺ - cmol _c .Kg ⁻¹	3,37	160	11,55	5,62	28,6	247,9
Na ⁺ - cmol _c .Kg ⁻¹	9,25	64,51	23,58	21,42	11,6	49,4
P - mg.Kg ⁻¹	2	61	16,07	9	16,3	101,6

Parâmetros analisados na fração granulométrica < 1,00 mm.

Com relação os valores de pH apresentados na Figura 7A, todas as amostras analisadas são consideradas como sendo muito alcalinas, com valores acima da neutralidade ($\text{pH} = 7,0$), apresentando uma média elevada de $\text{pH} = 8,4$ e um coeficiente de variação de 2,4 %, o que permite afirmar que a alteração existente para cada um dos perfis é desprezível. Como esperado segundo a literatura, onde normalmente não são encontrados valores de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) para pH em água > 5,9, também não foram encontrados para as

amostras desta pesquisa, pois o alumínio pode estar precipitado na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$: $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$. Podem-se destacar também altos valores (Tab. 3) com relação à condutividade elétrica (CE) obtida a partir do extrato de saturação (Fig. 7B), demonstrando o caráter sálico dos bancos areno-lamosos, provavelmente devido a contribuição das águas marinhas.

Além disso, a maioria dos pontos analisados apresentaram valores superiores a 7 dS.m⁻¹ (Fig. 7), caracterizando o ambiente como sendo halomórfico

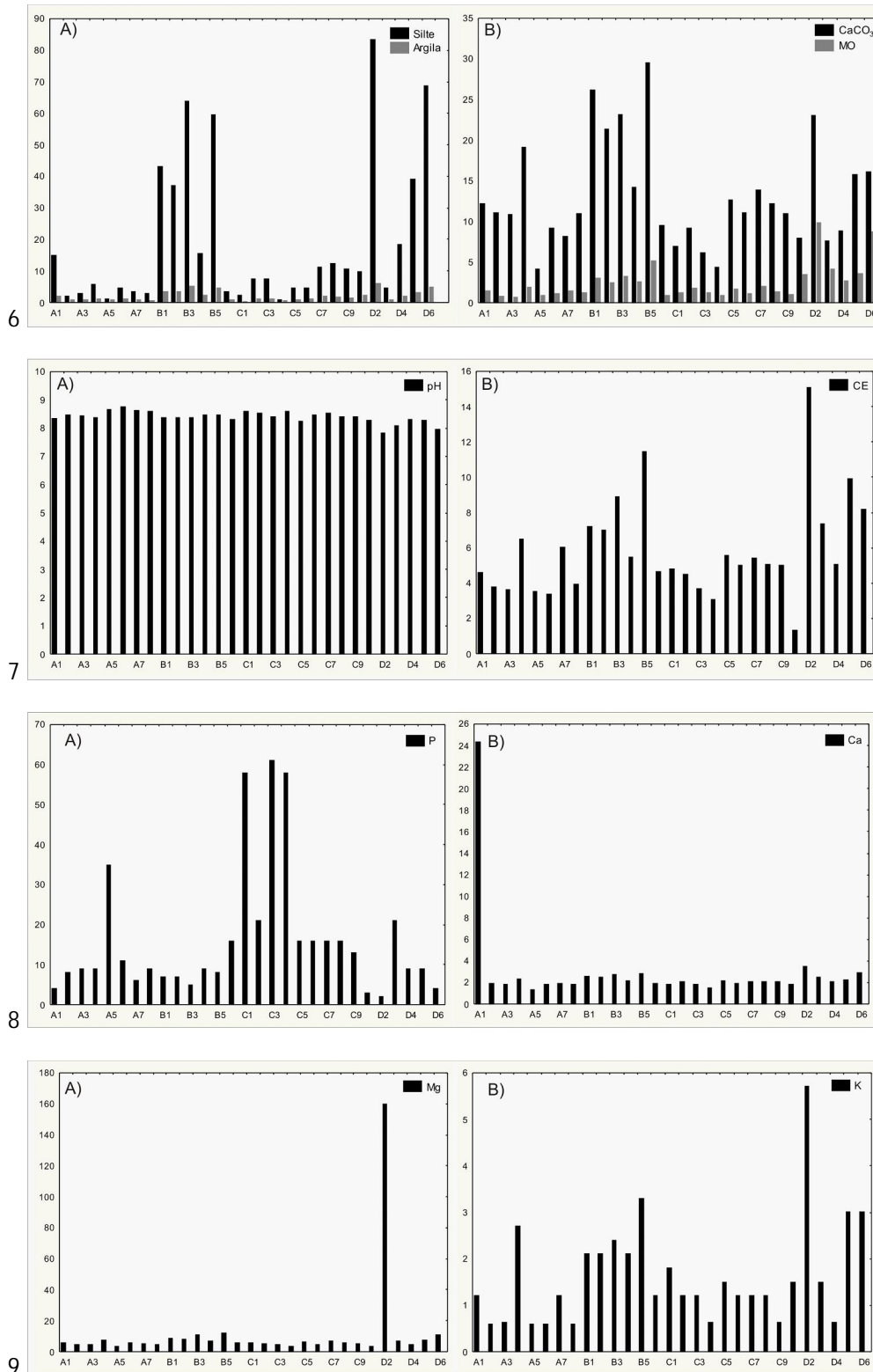


Fig. 6- A) Concentrações silte e argila; B) carbonato (CaCO_3) e matéria orgânica (M.O) ao longo dos perfis. No eixo da abcissa as letras indicam os perfis e os números as estações de amostragem em cada perfil. Fig. 7- A) Concentrações de pH (%), e B) Condutividade Elétrica (dS.m^{-1}) ao longo dos perfis. No eixo da abcissa as letras indicam os perfis e os números as estações de amostragem em cada perfil. Fig. 8 - Concentrações de P (mg.Kg^{-1}) e Ca ($\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$) ao longo dos perfis. No eixo da abcissa as letras indicam os perfis e os números as estações de amostragem em cada perfil. Fig. 9 - A) Concentrações de Mg (mg.Kg^{-1}), e B) K ($\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$) ao longo dos perfis. No eixo da abcissa as letras indicam os perfis e os números as estações de amostragem em cada perfil.

(meio concentrado em sais e com valores de pH entre 5,0 e 9,6; segundo a EMBRAPA (1999).

Com relação aos teores de P disponível (Fig. 8A), os mesmos são observados em baixas concentrações, com exceção de 3 amostras no perfil C que apresentam teores acima de 50 mg.Kg^{-1} , e podem estar influenciados pela presença antrópica neste perfil. Já os teores de cátions trocáveis e suas proporções relativas são variáveis ao longo de todos os perfis. Para as concentrações de Ca^{2+} trocáveis (Fig. 8B), pode-se observar que o coeficiente de variação foi de 142, onde apenas uma das amostras analisadas foi quem fez o CV elevar, sendo que as demais amostras apresentaram praticamente a mesma variação de Ca^{2+} .

Para os teores de Mg^{2+} (Fig. 9A), ocorre semelhante ao Ca^{2+} , com apenas uma amostra influenciando a elevação do coeficiente de variação. Já para as concentrações de K (Fig. 9B) e Na (Fig. 10), é observada a semelhança de variação desses dois elementos. Dessa maneira, os elevados teores em cátions trocáveis indicaram, por consequência, altos valores na capacidade de troca catiônica e alta

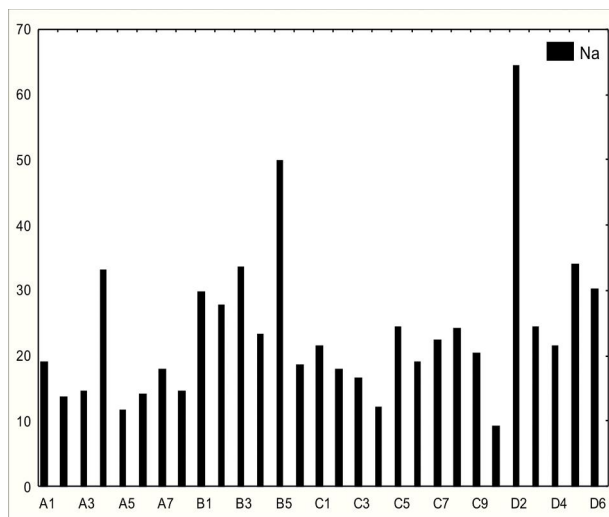


Fig. 10 - Concentrações de Na (mg.Kg^{-1}) ao longo dos perfis. No eixo da abcissa as letras indicam os perfis e os números as estações de amostragem em cada perfil.

saturação por bases; o que implica dizer que o solo apresenta uma boa fertilidade para a nutrição do manguezal existente, contribuindo com estabilidade físico-química para um futuro reflorestamento a partir de espécies de manguezal local.

Elementos Maiores e Traços

Embora considere o ecossistema manguezal como Área de Preservação Permanente (Art. 2º da Lei 4771/65) e como reserva ecológica (Resolução nº 004/85 do CONAMA), a legislação ambiental brasileira ainda não dispõe de critérios de qualidade para sedimentos em geral, bem como não existem valores de *background* para os parâmetros geoquímicos determinados com relação aos sedimentos da região em estudo. Para efeito de analogia e se ter uma idéia sobre as consequências dos teores de metais encontrados nos sedimentos da área, optou-se por utilizar os critérios estabelecidos na literatura, representados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e CETESB (2005).

De maneira geral, a partir dos dados relacionados ao Coeficiente de Variação (CV) apresentados na Tabela 4, percebe-se que não há uma variabilidade de elementos maiores e traços, que seja significativa para a maioria dos elementos, com exceção de 2 elementos que apresentaram uma média e outros 2 uma alta variabilidade, atribuídas empiricamente, de acordo com a Tabela 1. Sendo assim, as concentrações dos elementos maiores e traços apresentam-se dentro dos padrões adotados como referência para a área de estudo, sem risco de contaminação.

4. Conclusões

Os resultados obtidos apontaram a relevância do emprego de técnicas de geoprocessamento, entre elas o processamento digital aplicado às imagens de satélites tais como o Landsat 5-TM e IKONOS-II a integração de dados georreferenciados em SIG, como uma valiosa ferramenta de extração de informações destinadas às aplicações em pesquisas de monitoramento ambiental.

Os produtos resultantes das técnicas de análise por decorrelação e principais componentes apresentaram desempenhos significativos quanto à detecção e discriminação das feições de interesse, proporcionando cores contrastantes e melhor definição dos limites entre padrões espectrais das unidades geoambientais.

Tabela 4: Sumário estatístico dos resultados para elementos, maiores, menores e traços; para os quatro perfis analisados.

Elem	LD	LQ	mín	máx	CV	CETESB		NOOA		
						Ref	Interv	TEL	ERL	AET
Al	0,03	0,1	2518	18280	35,9	-	-	-	-	1,8
B	0,03	0,105	<0,03	15	136,6	-	-	-	-	-
Ba	0,02	0,075	49	675,5	92,9	75	300 - 750	130	-	48
Ca	16	52,5	47295	170800	29,9	-	-	-	-	-
Cr	0,04	0,115	6,5	55	37,3	40	150 - 400	52,3	81	62
Cu	0,04	0,135	<0,04	36,5	110,1	35	200 - 600	18,7	34	390
Fe	13,5	45,5	3881,5	31100	37,3	-	-	-	-	22
K	11	36	1107,5	6645	29,7	-	-	-	-	-
Li	0,03	0,105	3	27,5	43	-	-	-	-	-
Mg	21,5	72	5570	16240	25,1	-	-	-	-	-
Mn	0,02	0,075	31,5	201	36,2	-	-	-	-	260
Na	7	23	3564,5	37465	45,3	-	-	-	-	-
Ni	0,05	0,16	1	20,5	48,5	13	70 - 130	15,9	20,9	110
P	0,04	0,135	167	789	34	-	-	-	-	-
Pb	0,03	0,1	2,5	24	52,2	17	180 - 900	30,24	46,7	400
Sr	5	17	222,5	1567,5	36	-	-	-	-	-
V	0,03	0,095	7,5	61	42	275	-	-	-	57
Zn	0,04	0,11	14	70,5	36,7	60	4500 - 2000	124	150	410

LD: Limite de Detecção; LQ: Limite de Quantificação. CV: Coeficiente de Variação
CETESB (2005): Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Brasil. 2005.
NOAA (1999): National Oceanic and Atmospheric Administration, EUA.

TEL: concentração abaixo da qual não há risco potencial de efeitos tóxicos à biota; **ERL**: concentrações metálicas abaixo das quais efeitos adversos raramente ocorrem; **AET**: Limite de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados.

Por meio da interpretação visual dos produtos e da análise estatística por principais componentes foi possível destacar a composição colorida RGB R(PC5) G(PC3/PC4) B (Banda 5) da imagem Landsat 5-TM de 12/12/2008 como aquela que melhor realçou as diferenças entre as unidades geoambientais, destacando as porções arenosas, areno-lamosas, aquelas recobertas por tapetes algálicos, além da delimitação com maior precisão da geometria dos canais de maré na faixa estuarina, o que facilitou o mapeamento temático dessas áreas e a correlação entre essas unidades em caso futuro de reflorestamento da área de estudo.

A estratégia metodológica adotada permitiu estabelecer que, para Dezembro/2008, existiam cerca de 1.013 ha de área de bancos areno-lamosos, sendo que desse total cerca de 89 ha possuem a

viabilidade de serem empregados no reflorestamento, com a implantação de flora típica do manguezal local. Para ressaltar, esses 89 ha são do total de bancos areno-lamosos que foram analisados por meio de perfis de coleta de amostras e de análises físico-químicas nos sedimentos. Portanto, o estudo pode ser ampliado em pesquisas futuras para o restante da área em que não foram realizadas coletas de sedimentos.

Com relação às características granulométricas, o material analisado dos perfis apresentou um predomínio de areias nas frações finas, com grau de seleção variando de muito pobre a moderadamente selecionado. Os teores de carbonatos e *MO* mostraram quantidades significativas, principalmente de *MO*, ocorrendo fortemente correlacionadas com as frações mais finas do sedimento. Os valores de carbonatos também

foram influenciados pela origem dos sedimentos e a grande presença de crustáceos e algas calcárias, enquanto o aumento proporcional nas concentrações de *MO* foi influenciado (especialmente no perfil D) pela concentração densa de espécies típicas de manguezal.

O *pH* das amostras de sedimentos analisadas demonstrou um ambiente de caráter alcalino, apresentando um *pH* acima da neutralidade com média de 8,4 e que não demonstrou variabilidade dentro dos perfis, tomando por base seu coeficiente de variação e a análise gráfica;

A condutividade elétrica obtida a partir do extrato de saturação demonstrou o caráter sálico dos bancos areno-lamosos, possivelmente devido à contribuição das águas marinhas; além de distinguir o ambiente como sendo halomórfico (meio concentrado em sais e com valores de *pH* entre 5,0 e 9,6) de acordo com a EMBRAPA (1999);

Os elevados teores em cátions trocáveis indicaram, por consequência, altos valores na capacidade de troca catiônica e alta saturação por bases; o que implica dizer que o solo apresenta uma boa fertilidade para a nutrição do manguezal existente, bem como para uma eventual ampliação da área vegetada num futuro reflorestamento.

Os elementos maiores e traços apresentaram, de maneira geral, as maiores concentrações onde prevaleceram os sedimentos de granulometria mais fina, ressaltando a alta correlação que estes elementos possuem com as partículas finas, o que justifica a extração ter sido realizada na fração < 0,063 mm.

Dessa forma, os bancos areno-lamosos analisados nesta pesquisa possuem condições físico-químicas favoráveis ao replantio de florestas de manguezal, com preferência por espécies locais já adaptadas às condições físico-químicas do ambiente, pois possui quantidades suficientes de nutrientes essenciais ao desenvolvimento da biota e na forma assimilável. Além de que foi verificada a inexistência de contaminação por elementos maiores e traços, quando realizada a analogia com os valores de referência adotados para a pesquisa (NOAA e CETESB).

Portanto, considera-se que o presente estudo vem somar-se aos estudos para o restauração

e preservação desse ecossistema, como prerrogativa na mitigação do efeito erosivo dos processos costeiros através do reflorestamento de áreas naturais ou desativadas dos setores econômicos de uso e ocupação, tais como a carcinicultura e as salinas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio técnico e financeiro da REDE 05 – PETROMAR (CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq), por meio do suporte aos Projetos Cooperativos HIDROSSEMA e MOLECO. Ao apoio operacional das equipes do Laboratório de Geoprocessamento do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica e do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (GEOPRO/PPGG/DG/UFRN) e ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia do Petróleo da UFRN (PPGCEP/UFRN).

Referências Bibliográficas

- Amaro, V. E. Vital, H.; Alves, A. Lima, Z. M. C. L. Tabosa, W. F. Cladas, L. H. O and SOUTO, M. V. S. Application of Remote Sensing Multitemporal/ Multisensor Data Analysis and GIS Database for Coastline Change Monitoring and Nearshore Morphology Detection in Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil. *Proceedings from: 2002 Ocean Sciences*, Honolulu/ Hawaii, US, CD-ROM.
- Angelim, L.A.A.; Nesi, J.R.; Torres, H.H.F.; Medeiros, V.C.; Santos, C.A.; Veiga Júnior, J.P.; Mendes, V.A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006. 119 p.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Decisão de diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.
- Chaves M.S. & Vital H. 2001. Caracterização Geoambiental dos Parâmetros de Onda entre o trecho Praia da Ponta do Tubarão e Gamboa do Corta-Cachorro, Macau/RN. *In: ABEQUA*, 8, Imbé/RS, *Anais*, p. 55.
- Chaves, M.S.; Vital, H.; Silveira, I.M. 2006. Beach morphodynamics of the Serra oil field, northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39. p. 594-597.

- Dahdouh-Guebas, F.I.; Van Pottelbergh, J.G.; Kairo, S., Cannicci, N.; Koedam, N. (2004) – Human-impacted mangroves in Gazi (Kenya): predicting future vegetation based on retrospective remote sensing, social surveys, and tree distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 272:77-92
- Dantas, S.T.P.L.; Amaro, V.E.; Costa, B.C.P. 2011. Mangrove Reforestation as a Mesotidal Coastal Protection and Clean Development Mechanism on Macau-Serra Oil Field, Potiguar Basin, Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research*. SI 64. P.1268-1271.
- Chaves, M.S.; Vital, H.; Silveira, I.M. 2006. Beach morphodynamics of the Serra oil field, northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39. p. 594-597.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análises de solo*. 2ª Ed. rev. atual. - Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN. 1999. *Iz* Informativo Municipal – Macau. Natal-RN, v. 05, p. 1-14.
- Nascimento, M. C. A erosão costeira e sua influencia sobre a atividade petrolífera: Alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais. 2009. 222 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica e Geodinâmica). Programa de Pós-graduação de Geofísica e Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, *Screening quick Reference Tables*. Seattle USA, 12p., 1999.
- Pessoa Neto, O.C.; Soares, U.M.; Silva, J.G.F.; Roesner, E.H.; Florência, C.P.; Souza, C.A.V. 2007. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 357-369.
- Santos, M. S. T. Contribuição da Geodésia ao Monitoramento Costeiro do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Área da Indústria petrolífera. 2011. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia do Petróleo). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.
- Souto, M. V. S. *Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmicas costeira da ponta do Tubarão, Macau-RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e SIG*. 2002. 67 f. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN.
- USEPA -United States Environmental Protection Agency. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Fev 2007. 30p .
- Valentim da Silva, D.R.& Amaro, V.E. 2008. Integração entre dados ópticos e radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte. *Revista Geográfica Acadêmica*. , v.2, p. 111-123.