



Revista de Gestão Costeira Integrada -
Journal of Integrated Coastal Zone
Management

E-ISSN: 1646-8872

rgci.editor@gmail.com

Associação Portuguesa dos Recursos
Hídricos

Amaro, Venerando Eustáquio; Bezerra de Araújo, Armando
Análise Multitemporal da Morfodinâmica da Região Costeira Setentrional do Nordeste do
Brasil Entre os Municípios de Grossos e Tibau, Estado do Rio Grande do Norte
Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management,
vol. 8, núm. 2, 2008, pp. 77-100
Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos
Lisboa, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340124007>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Análise Multitemporal da Morfodinâmica da Região Costeira Setentrional do Nordeste do Brasil Entre os Municípios de Grossos e Tibau, Estado do Rio Grande do Norte *

Multitemporal Morphodynamic Analysis of the Northern Coastal Region of Northeast Brazil Between Grossos and Tibau Cities, Rio Grande do Norte State

Venerando Eustáquio Amaro^{1, 2}, Armando Bezerra de Araújo²

RESUMO

A área estudada está localizada no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, mais precisamente na região à oeste do estuário do Rio Apodi-Mossoró, englobando os municípios de Tibau, Grossos e parte de Município de Mossoró. Geologicamente esta área é constituída por litotipos da Bacia Potiguar, representados por sedimentos cretáceos, terciários e quaternários. É caracterizada pela intensa ação de processos costeiros (transporte eólico e litorâneo, erosão generalizada, alterações no balanço de sedimentos e modificações na linha de costa) responsáveis por sua instabilidade morfológica, além da intensa interferência antrópica, destacando-se a presença da indústria petrolífera. Pode-se ainda citar a exploração salinera e a forte tendência de expansão da carcinicultura. Este trabalho objetivou a análise multitemporal da morfodinâmica costeira da região por meio do reconhecimento de feições de campo, perfis de praia e da interpretação de imagens de sensores orbitais de diferentes datas das ultimas quatro décadas. Esta análise se deu através de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de mapas temáticos dos recursos naturais e da evolução da linha de costa. Tais técnicas constituem importantes ferramentas ao gerenciamento ambiental, denotando as tendências das variações antrópicas e naturais, possibilitando o planejamento adequado para o desenvolvimento da região, onde

¹ Autor correspondente: amaro@geologia.ufrn.br, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, C.P. 1584, CEP 59078-970, Natal/RN, Brasil.

² Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil.

* Submissão - 21 Julho 2008; Avaliação e Decisão - 10 Setembro 2008; Recepção da versão revista - 9 Outubro 2008; Disponibilização on-line - 17 Novembro 2008

medidas poderão ser apontadas para minimizar possíveis impactos ambientais causados por interferências antrópicas na região, principalmente àquelas relacionadas às atividades industriais.

Palavras-Chave: Mudanças costeiras, morfodinâmica, geoprocessamento.

ABSTRACT

The study area is located in the northern coast of Rio Grande do Norte State, precisely to the west of Apodi-Mossoró River estuary including the cities of Tibau, Grossos and Mossoró. Geologically, this area is composed by rocks of Potiguar basin, represented by Cretaceous, Tertiary and Quaternary sediments. It is characterized by the intense action of coastal processes (Aeolian and coastal transport, generalized erosion, alteration in the sediments balance and coastline change), responsible for its morphological instability, beyond the intense anthropic interference, being distinguished the oil industry. It also can be cited the salt exploration industry and the expansion trend of shrimp farms. The goal of this work is the multitemporal analysis of the coastal morphodynamic of the region by recognition of terrain features, beach profiles and the interpretation of remote sensing images of the last four decades. This analysis was achieved by geoprocessing techniques for the elaboration of thematic maps of the natural resources and the evolution of the shoreline. Such techniques comprise significant tools for environment management denoting the trends of the anthropic and natural variations, making possible the planning adjusted for the development of the region, where measured they could be pointed to minimize potential environmental impacts caused by anthropic interference on the region, mainly those related to industrial activities.

Keywords: Coastal changes, morphodynamic, geoprocessing.

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Norte (RN) é atualmente o maior produtor petrolífero *onshore* do território brasileiro. Esta faixa costeira nordestina possui duas zonas ambientais distintas: a terrestre e a marítima, caracterizadas como unidades homogêneas quando se trata dos recursos naturais. Incluso nestes ambientes encontram-se os municípios de Mossoró, Tibau e Grossos, todos localizados na porção mais a oeste do litoral setentrional. Esta região apresenta uma extensa exploração petrolífera (com o maior campo de exploração da Bacia Potiguar - o Campo Exploratório de Canto do Amaro) e com ampla expansão das atividades de carcinicultura em substituição à tradicional, e ainda economicamente importante, indústria salineira.

Os processos costeiros sejam eles construtivos (deposicionais) ou destrutivos (erosionais) que afetam o litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte são de alta intensidade. Tais processos estão associados ao baixo aporte sedimentar e às correntes de interferência oriunda da Foz do Rio Apodi-Mossoró, o que resulta numa instabilidade morfodinâmica de extensa faixa costeira, que o distingue como um “sistema aberto” de carga sedimentar desbalanceada.

Por estes motivos, a preocupação com estudos de análise evolutiva da morfodinâmica costeira têm sido cada vez maior, sobretudo como subsídio às decisões político-governamentais. Este fato denota que apenas entendendo e quantificando estes processos morfodinâmicos relacionados à dinâmica geoambiental, pode-se contribuir consistentemente ao conhecimento e planejamento de uso e ocupação do solo adequado à região, principalmente quando se trata de uma região relevante no aspecto econômico e ambientalmente sensível no contexto regional.

Este artigo apresenta o resultado do monitoramento morfodinâmico de trecho da faixa costeira entre os municípios costeiros de Grossos e Tibau/RN. Para tanto, foi efetuada a avaliação da dinâmica ambiental da região costeira adjacente à foz do Rio Apodi-Mossoró nas últimas quatro décadas, possibilitando identificar e avaliar no contexto espaço-temporal áreas de riscos ambientais decorrentes dos processos de ocupação humana e das atividades industriais de exploração do meio ambiente (petróleo, gás, sal e carcinicultura). Especificamente, é apresentada uma metodologia rápida e precisa de elaboração de cartas temáticas demonstrativas da evolução morfodinâmica e dos riscos ambientais.

O monitoramento da dinâmica costeira foi importante na avaliação das alterações ambientais

ocorridas nas últimas décadas e na análise de tendências futuras, oferecendo contribuições ao planejamento do desenvolvimento sustentável da região, com destaque às indicações para minimizar possíveis impactos ambientais causados por atividades naturais ou antrópicas desenvolvidas na região.

2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E SÓCIO-ECONÔMICA

A região Nordeste do Brasil representa em área cerca de 18,3% de todo o território brasileiro. A área de estudo com aproximadamente 2418,7km² está inserida nos domínios do Estado do Rio Grande do Norte, definido pelos municípios de Mossoró, Tibau do Norte e Grossos, limitada pelas coordenadas 04°50' e 05°10' de latitude Sul e 37°00' e 37° 15' de longitude Oeste, distando cerca de 280km de Natal, capital do RN (Figura 1).

Estes municípios estão inseridos na Microrregião de Mossoró segundo a classificação do IBGE (1991), e na Zona Homogênea Mossoroense de acordo com a Divisão do Planejamento do Estado do RN. Esta área denota um importante marcador da transição entre as sub-regiões agreste e sertão (Marinho & Noronha, 1993). A Microrregião de Mossoró é um dos principais impulsionadores socioeconômicos do RN, decorrente da exploração petrolífera, indústria do cimento, salinicultura, carcinicultura e fruticultura irrigada em seu território.

2.1. Aspectos Geológicos

A área em estudo está geologicamente inserida na Bacia Potiguar que abrange uma área total de 48.000km² entre os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará, dos quais 26.500km² distribuídos entre as capitais de Natal e Fortaleza, e cerca de 21.500km²



Figura 1 - Localização da área de estudo no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.
Figure 1 - Study area location in the Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil.

constituem a plataforma e o talude continental. A Bacia Potiguar representa um rifte intracontinental em sua porção emersa e uma bacia do tipo *pull-apart* em sua porção submersa (Neves, 1987). Esta bacia registrou os processos que culminaram com a separação entre os continentes Sulamericano e Africano, e a formação do Oceano Atlântico Equatorial. Os estágios tectônicos e deposicionais da evolução geológica da Bacia Potiguar foram subdivididos em quatro principais megassequências e grupos de sequências com sedimentações correlatas: Megassequência Mesozóica Rifte (Formação Pendências), Grupo de Sequências Mesozóicas Transicionais (formações Pescada e Alagamar), Grupo de Sequências Mesozóicas Flúvio-marinhas Transgressivas (formações Açú, Ponta do Mel, Ubarana e Jandaíra) e Grupo de Sequências Mesozóicas Fluvio-marinhas Regressivas (formações Guamaré, Tibau e Barreiras, Figura 2a). No Quaternário, os sedimentos constituídos por depósitos de dunas fixas e móveis (Figura 2b), de planície de maré, de praias (Figura 2c), aluvionares, colúvios e cascalheiras complementam o último grupo de sequências estratigráficas (Silva & Nogueira, 1995).



Figura 2 (a) - Falésia localizada na porção nordeste da área, composta pelas Formações Tibau (localizada na base, de coloração esbranquiçada-amarelada) e Grupo Barreiras (no topo, de coloração avermelhada). Foto do Autor em 31.05.2003.

Figure 2 (a) - Hill located in the northeast portion of the area, composed of the Tibau Formation (located in the base, of white-yellowish colors) and Barreiras Group (on the top, of red color). Photo of author on 05.31.2003.



Figura 2 (b) - Aspecto geral dos campos de dunas móveis recentes (A) e depressões interdunares com vegetação rasteira e por vezes lagoas intermitentes (B), comuns à área estudada. Foto obtida através de sobrevôo em aeronave de baixa altitude em 17/11/2001. Autora: Helenice Vital.

Figure 2 (b) - General aspect of the recent mobile dune fields (A) and interdune depressions with vegetation and intermittent lagoons (B). Photo took from aircraft on 11.17.2001. Author: Helenice Vital.



Figura 2 (c) - Aspecto geral dos depósitos de praias recentes da área estudada. Foto do Autor em 25.10.2003.

Figure 2 (c) - General aspect of the recent beach deposits of the study area. Photo of Author on 10.25.2003.

Araripe & Feijó (1994) destacam três unidades litoestratigráficas na Bacia Potiguar, da base para o topo: Grupo Areia Branca, Grupo Apodi, e Grupo Agulhas. As unidades geológicas de maior ocorrência na área de estudo são a Formação Jandaíra, o Grupo Barreiras comumente associado ao Grupo Agulhas e

os sedimentos recentes. A individualização das diferentes unidades geológicas que compõem a área de estudo se deu através da análise de dados pré-existentes, dados coletados em campo e dados de sensores remotos orbitais e aéreos (Figura 3).

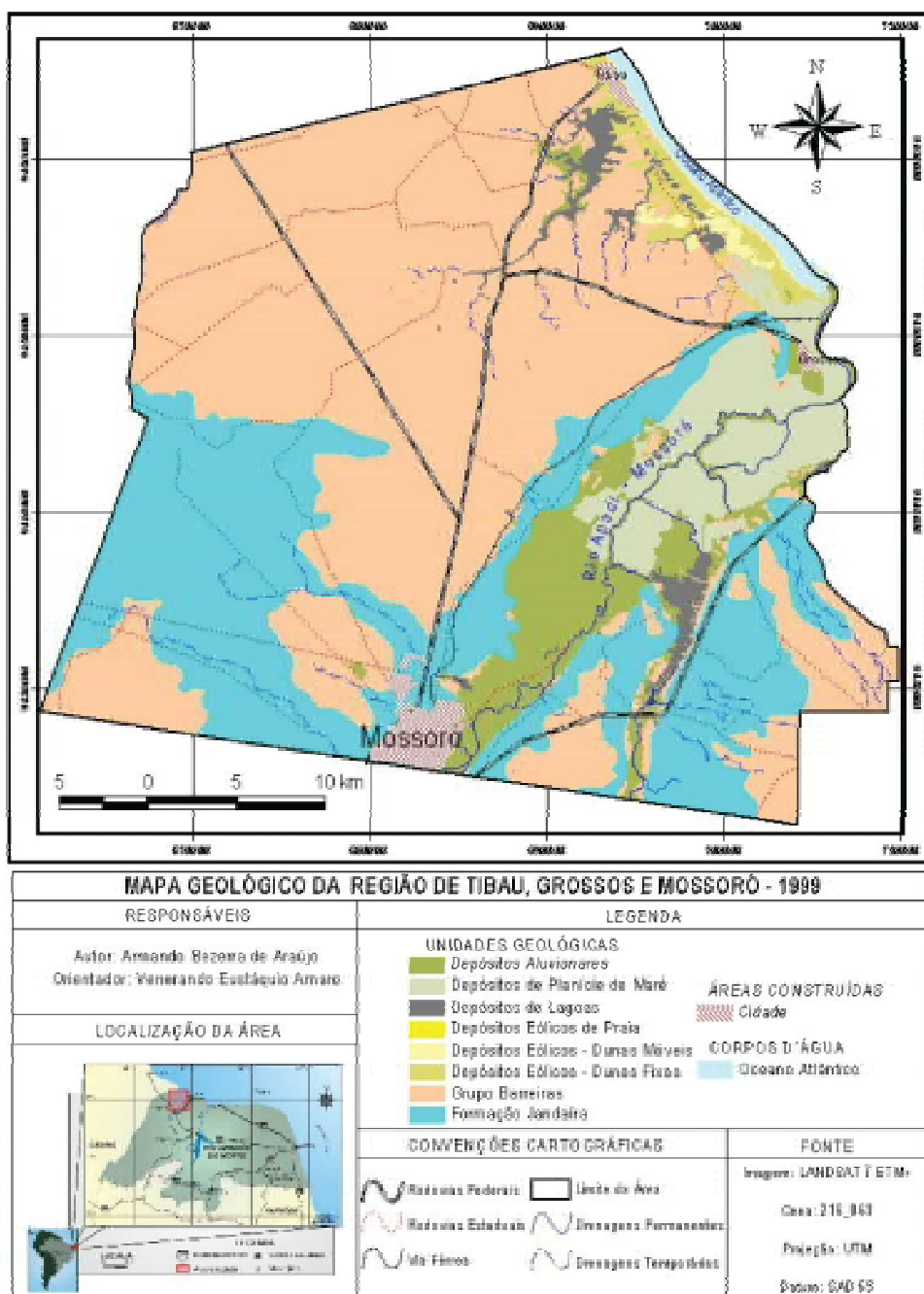


Figura 3 - Mapa de Unidades Geológicas proposto para a região estudada.

Figure 3 - Map of Geologic Units proposed for the studied region.

Esta área está inserida numa região de clima quente e semi-árido de Nimer (1972) ou BSw'h de Köppen (1948) caracterizado por apresentar duas estações pluviométricas distintas e bem definidas, representadas por um período seco mais longo (normalmente durando de 7 a 8 meses), com período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro e maio, onde as precipitações anuais têm média de 700mm, com máxima de 1.757,2mm e mínima de 145,2mm. A temperatura média anual é amena com média de 27,5°C e oscilações anuais em torno dos 5°C. A umidade relativa do ar anual média normalmente não ultrapassa os 70%, oscilando numa faixa de 20% durante o ano (IDEMA 1999). Estas variações climáticas podem ser explicadas pela movimentação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), onde os períodos de seca estão relacionados com seu afastamento da costa, provocando a ausência de chuvas e o domínio dos ventos fortes, enquanto que os períodos chuvosos são ligados ao seu deslocamento para o sul relacionando-se com ventos mais brandos.

2.3. Ventos

Os ventos são os principais responsáveis pela dinâmica costeira, onde seu papel não está apenas restrito a geração das ondas (e conseqüentemente das correntes litorâneas), mas também pela secagem de sedimentos costeiros (depositados pela ação de ondas), possibilitando o processo de transporte sedimentar eólico que, quando ocorre da praia para o continente, gera um incremento sedimentar às dunas.

A amostragem mais completa sobre os vetores de vento da região é obtida pela Estação Meteorológica de Macau, que pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para o período de 1998 a 2001, os dados obtidos evidenciam uma predominância dos ventos provenientes de ENE entre setembro e abril, e de SE de maio a agosto.

Alves *et al.* (2003) destacam que no verão há uma tendência de orientação EW e ENE das dunas localizadas no segmento costeiro de direção EW próximo à região do Cabo Calcanhar (Figura 4), o que mostra que os ventos são um dos principais responsáveis pela dinâmica costeira da região estudada.

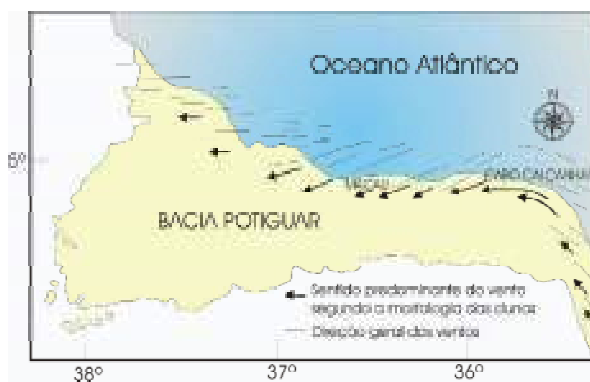


Figura 4 - Direção preferencial dos ventos ao longo da costa norte do Estado do RN. Modificado de Alves *et al.* (2003).

Figure 4 - Preferential winds direction throughout the northern coast of the RN State. Modified from Alves et al. (2003).

2.4. Ondas e Correntes

Na aproximação com a região costeira, as ondas tendem a orientar-se de acordo com a direção dos ventos dominantes (E - NE), e mostraram variações em sua altura de 0,3-0,5m, conforme a influência da batimetria, durante o período em que estes dados foram coletados para a confecção desta pesquisa.

Na plataforma continental externa do RN, a Corrente Norte do Brasil (uma ramificação da Corrente Equatorial Sul) movimenta-se com velocidades que alcançam 2,3m/s, no sentido de E para W (Silva, 1991).

A origem das correntes marinhas se dá pela combinação dos efeitos da orientação preferencial dos ventos de direção aproximada E-W e do fluxo de ondas provenientes de ENE, conduzindo a uma importante corrente de deriva litorânea (*longshore drift*) que migra para WNW com velocidades que atingem 20 a 80cm/s (Tabosa *et al.*, 2001), como indica a migração de pontais arenosos (*spits*) e canais de maré (*inlets*) presentes ao longo de todo este trecho do litoral setentrional do RN (Vital *et al.*, 2005).

2.5. Relevo

O relevo da área é plano com suaves ondulações, marcado pelos sedimentos do Grupo Barreiras, com cotas máximas em torno de 20m, quebrando a monótona morfologia plana causada pelos sedimentos recentes e calcários.

A planície flúvio-marinha é formada pelo Rio Apodi-Mossoró e corta toda a área com direção geral NNE, onde a ação direta dos processos costeiros (marés, ventos, ondas, correntes) e ação antrópica representam agentes modeladores do relevo. A desembocadura em delta possui uma ampla região de várzea, permitindo a penetração marinha no fluxo de marés. As regiões mais próximas ao litoral encontram-se quase completamente ocupadas por tanques de salinas, atualmente mostrando ampla tendência à substituição por viveiros de camarão.

A zona litorânea é formada por planícies de maré com manguezais associados, restingas, praias e campos de dunas, constantemente remobilizadas por processos eólicos, eventualmente causando assoreamento de lagoas e rios.

Os campos de dunas são orientados preferencialmente na direção geral NE (Figura 2b), conforme os ventos dominantes, e chegam a atingir cotas de até 15m. Já os cordões de pontais arenosos (restingas) se orientam nas direções EW e NW, acompanhando o fluxo preferencial das correntes de deriva litorânea de E para W, e a orientação geral predominante de EW e NW da linha de costa na região.

2.6. Aspectos Sócio-econômicos

As atividades econômicas de maior destaque na região, assim como em todo o estado do RN, são: a extração de petróleo e gás natural, a produção do sal marinho, a fruticultura, a carcinicultura e a pesca artesanal. A carcinicultura representa atividade de maior tendência atual à expansão, ocupando áreas anteriormente utilizadas na extração de sal (Amaro, 2002). A substituição de salinas por viveiros de produção de camarão exige do poder público muita agilidade na gestão e organização do uso dos frágeis ecossistemas estuarinos. Os estuários do RN são responsáveis pela manutenção de importantes funções ecológicas e de estrutura das comunidades costeiras, o que evidencia a necessidade de se identificar as fontes de degradação e contaminação desses ambientes (Amaro, 2002). No litoral setentrional do RN o desenvolvimento das atividades econômicas mais produtivas ocorre nas proximidades dos leitos dos rios componentes das bacias hidrográficas dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu, e nas imediações

da zona costeira.

De acordo com os levantamentos realizados pelo IBGE (2000) o Município de Mossoró tem um total de 213.841 habitantes distribuídos ao longo de uma área municipal de 2.099,8km², resultando numa densidade de 101,8 habitantes por km², abaixo da média de densidade do RN, que é de 1.153,0 habitantes por km². Há predominância da população urbana (93% do total) sobre a população rural (7% do total), com uma alta taxa de urbanização (93,10%), o que corrobora com os dados de taxa de crescimento populacional no período entre 1990-2000 de 1,234, o que indica tendência de gradativa diminuição da população rural.

O Município de Tibau do Norte conta com um total de 3.197 habitantes distribuídos numa área de 170,2km², implicando numa densidade demográfica de 18,8 habitantes por km² (abaixo da média estadual). Cerca de 84% dos habitantes locais residem em área urbana, enquanto que os outros 16% da população têm suas residências firmadas em áreas rurais, onde as tendências de crescimento se dão de forma similar ao Município de Mossoró.

O Município de Grossos tem um total de 8.249 habitantes distribuídos numa área de 138,3km², o que resulta numa densidade demográfica de 59,6 habitantes por km², com 76% dessa população firmada em áreas urbanas e 24% em áreas rurais; suas tendências de crescimento quanto aos aspectos populacionais não puderam ser observadas, devido ao fato deste município ter sido criado apenas no ano de 1997. No âmbito geral os rendimentos nominais mensais dos responsáveis por domicílio é baixo, mesmo sendo relativamente bom se comparado a outros municípios do estado, sendo isso reflexo do baixo grau de escolaridade. No Município de Mossoró 13% não têm rendimento e 54% recebem até dois salários mínimos, em Grossos este índice chega a 19% sem rendimentos e 60,6% com até dois salários mínimos e em Tibau 14% não têm renda alguma e 63% dos responsáveis por domicílios particulares permanentes recebem até dois salários mínimos.

Aspectos relacionados ao abastecimento de água e destino do lixo mostram que os três municípios são essencialmente abastecidos pela rede e tem a maioria do lixo urbano destinado a aterros sanitários.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram adotadas técnicas de geoprocessamento para a análise de produtos de sensoriamento remoto em caráter multitemporal (sensores remotos orbitais de resolução alta a moderada, e produtos aeroportados) para a distinção e individualização de unidades de paisagem de variadas datas, culminando na elaboração de mapas temáticos, que associados aos dados de campo, resultaram na análise multitemporal da morfodinâmica costeira. Este tipo de estudo possibilitou o mapeamento das tendências de evolução e a quantificação da dinâmica costeira construtiva e/ou destrutiva para este trecho litorâneo, além de determinar áreas susceptíveis (ou até já danificadas) pelos intensos processos costeiros atuantes.

Geoprocessamento

As imagens orbitais utilizadas para a avaliação da evolução da linha de costa correspondem à Cena 216/063 dos satélites LANDSAT 5-TM (das datas 01/Ago/1986 e 09/Ago/1989) e LANDSAT 7 ETM + (de 13/Ago/1999, 2001 e 2002), e a Cena 726_730 do SPOT HRVIR (de 14/Junho/1996). Também foram utilizadas imagens de alta resolução do satélite IKONOS de 2001. Contou-se ainda com fotografias aéreas, em escala de 1:40.000, do ano de 1969. As imagens de sensores orbitais foram submetidas a diversas técnicas de processamento digital de imagens no programa ER MAPPER v.7.1, com georreferenciamento na projeção UTM - S24 e Datum SAD-69, como base para elaboração dos mapas temáticos no ArcView v.8.3, utilizado junto com o *software* Surfer v.8.0 para cálculos de volume. Um sobrevôo de helicóptero foi realizado no dia 17/Novembro/2001, a uma altitude de 100m, que possibilitou a confirmação das unidades de paisagem previamente identificadas nos produtos de sensoriamento remoto. Após a elaboração dos mapas da linha de costa na escala de 1:50.000 das datas supracitadas, sua comparação resultou em mapas índices comparativos para quantificação dos processos morfodinâmicos costeiros dos períodos entre 1969 e 1986, 1986 e 1989, 1989 e 1999, 1999 e 2001, 2001 e 2002 e 1969 e 2002.

Perfis de Praia

O trecho da Praia de Manuelas, onde foram instalados três perfis de praia perpendicularmente à linha de costa, foi selecionado por apresentar mudanças consideráveis da linha de costa, com base na análise de produtos de sensoriamento remoto multitemporais. Na definição dos perfis foi utilizado o nivelamento topográfico com o nível N1025 - AUSJENA, mira topográfica de 4m de comprimento, trena e piquetes. A coleta de dados nestes perfis foi realizada em doze ocasiões entre Maio/2003 e Outubro/2004, em momentos de baixa-mar das marés de sizígia (lua nova), visando condições extremas das marés. O levantamento foi baseado em ponto inicial fixo (marco topográfico) locado no início do pós-praia e se estendeu até cerca de 25m a partir da linha d'água (pós-praia). Os dados referentes às correntes (direção e velocidade) e às ondas (altura, período e ângulos de incidência sobre a linha de costa) foram coletados por estimativa visual na zona de arrebentação nos mesmos locais e períodos de realização dos Perfis Manuelas I e II. Estes dados foram coletados em períodos de preamar das marés de sizígia, tendo-se o cuidado do registro dos horários de início e término de coleta, e altura da maré no momento e local da observação, conforme técnica aceita pela comunidade científica.

A instalação dos perfis de praia teve o objetivo de dar suporte à elaboração dos mapas da dinâmica comparada, visto que permitem avaliar a quantidade de material remanejado durante o período de monitoramento, possibilitando o cálculo aproximado do volume de areia deslocada por processos deposicionais e/ou erosionais, através de análises gráficas das variações ao longo de cada perfil.

Nesta análise foi utilizada a modelagem matemática do perfil, considerando para tal a largura de 1 metro. Tendo em vista que a variação lateral do perfil é muito sutil, esta largura de 1 metro é pertinente e serve para facilitar o cálculo de volume, além de melhorar a visualização tridimensional dos mesmos. Na modelagem foi utilizado o *software* Surfer v.8 e o método matemático de interpolação escolhido foi a krigagem. A análise dos perfis levou em consideração as variações de volume encontradas ao longo dos períodos analisados. Para tanto, os limites dos perfis foram relacionados ao marco (ponto inicial) e à menor

largura da zona de estirâncio encontrada na comparação dos períodos de um mesmo perfil. A análise quantitativa foi baseada na comparação volumétrica de areia existente em cada perfil, ao longo dos períodos analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de imagens de satélites de sensoriamento remoto e o uso de técnicas de geoprocessamento é um dos meios que se dispõe hoje para acelerar a detecção das modificações geoambientais, reduzir custos dos mapeamentos temáticos, além de otimizar a recuperação de informações de caráter socioeconômico-ambiental (Grigio *et al.*, 2006).

Quantificação da Morfodinâmica Costeira

A Tabela 1 mostra o comparativo entre regiões afetadas por processos erosivos e/ou deposicionais de todos os períodos analisados, com base nos produtos de sensoriamento remoto.

Na Tabela 1, o campo “*Diferença entre Áreas*” denota o tipo de processo dominante (“-” para processo erosivo e “+” para processo deposicional), seguido do valor da área em m². Para uma melhor visualização destes processos, a área foi compartimentada em quatro porções, denominadas de A, B, C e D, estando a porção A mais a oeste e a porção D mais a leste (Figura 5).

Para o período compreendido entre os anos de 1969 e 1986, observou-se na variação espaço-temporal a predominância do fator erosivo (Figura 6).

Na análise deste intervalo foram detectados trechos críticos quanto ao recuo da linha de costa, com máximos atingidos em quase 200m e com média aproximada em 130m. Os maiores recuos foram observados na porção extremo noroeste da área estudada, chegando aos 205m na Porção A da área (Figura 7).

Vale salientar que, apesar dos erros contidos no geoprocessamento de imagens digitais (p. ex.: erros de georreferenciamento, distorção das fotos aéreas, etc.) na ordem inferior a igual o tamanho do pixel, considera-se que a quantificação de 200m de recuo de linha de costa expõe trechos de praia ativamente expostas aos processos dinâmicos costeiros, sujeitas no futuro, a catástrofes ambientais e sociais que causariam danos principalmente à comunidade pesqueira e turística da região.

Na análise entre os anos de 1986 e 1989 foi definido como período com dominância do efeito deposicional com cerca de 67% (863.872,4 m²) das áreas afetadas (Figura 8). Neste período a linha de costa chega a avançar 110m em seu ponto máximo (Porção D da área - Figura 9) e tem recuos discretos e localizados médios de 30m (Porções C e D).

Tabela 1 - Quantificação de áreas resultantes (m²) dos tipos de processos costeiros atuantes (erosivo ou deposicional) em períodos específicos.

Table 1 - Quantification of resultant areas (m²) of the types of operating coastal processes (erosive or depositional) in specific periods.

Período	Áreas Afectadas por Processos Erosivos (m ²)	% Processos Erosivos	Áreas Afectadas por Processos Depositionais (m ²)	% Processos Depositionais	Diferença entre Áreas (m ²)
1969-1986	2.328.253,186	93,21	169.654,708	6,79	-2.158.598,478
1986-1989	105.247,004	33,21	863.872,406	66,79	758.625,402
1989-1996	611.513,871	86,05	99.172,069	13,95	-512.341,80
1996-1999	377.329,511	79,63	96.523,105	20,37	-280.806,41
1999-2001	135.764,966	29,67	321.880,054	70,33	186.115,09
2001-2002	167.487,888	42,05	230.818,424	57,95	63.330,54
1969-2002	2.108.752,780	91,23	202.744,507	8,77	-1.906.008,27

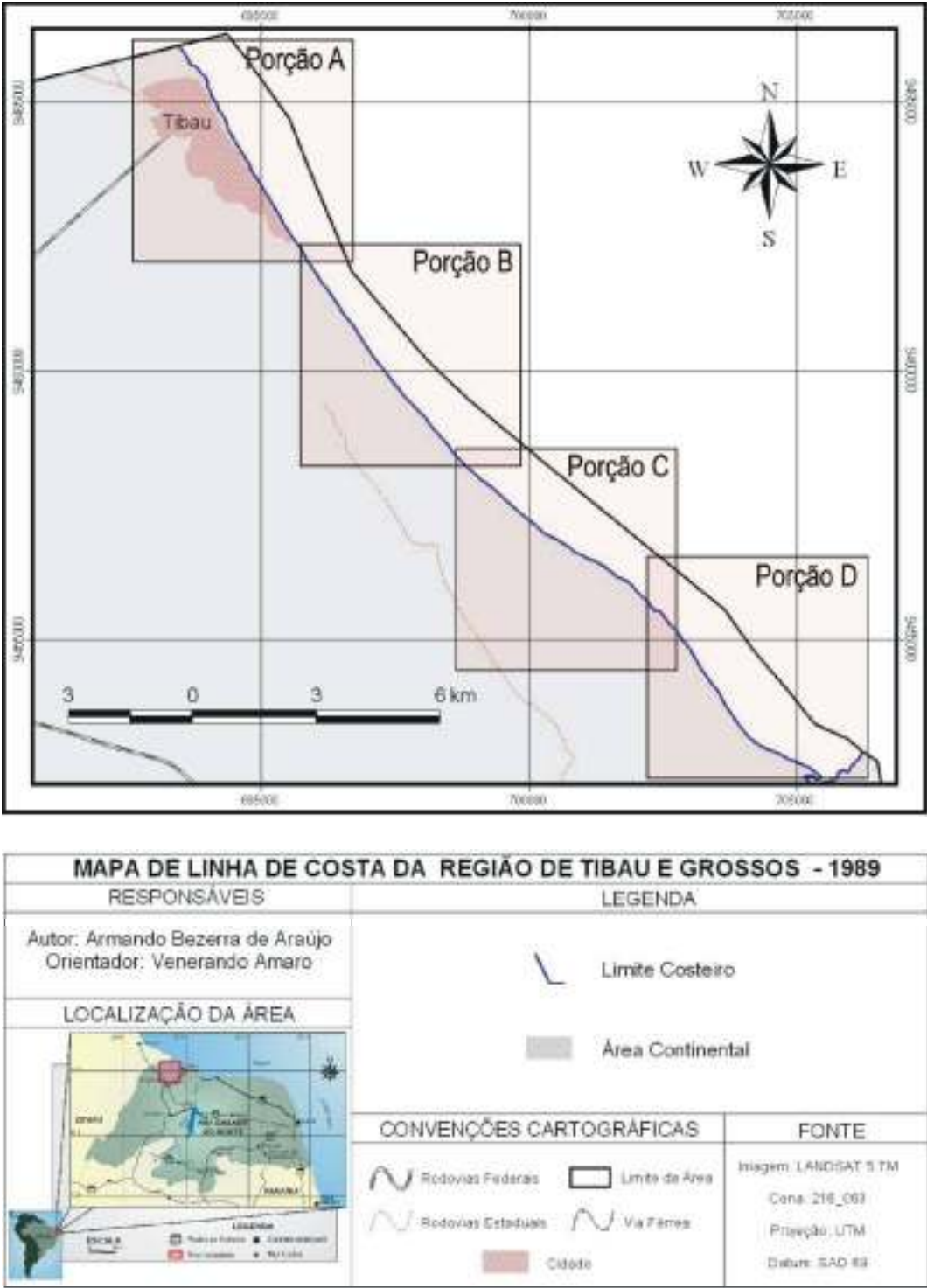


Figura 5 - Compartimentos da área para uma melhor visualização das mudanças da linha de praia baseada em imagens de sensoriamento remoto e dados de campo.
Figure 5 - Compartments of the area for one better visualization of the changes of the beach line based on remote sensing images and field data.

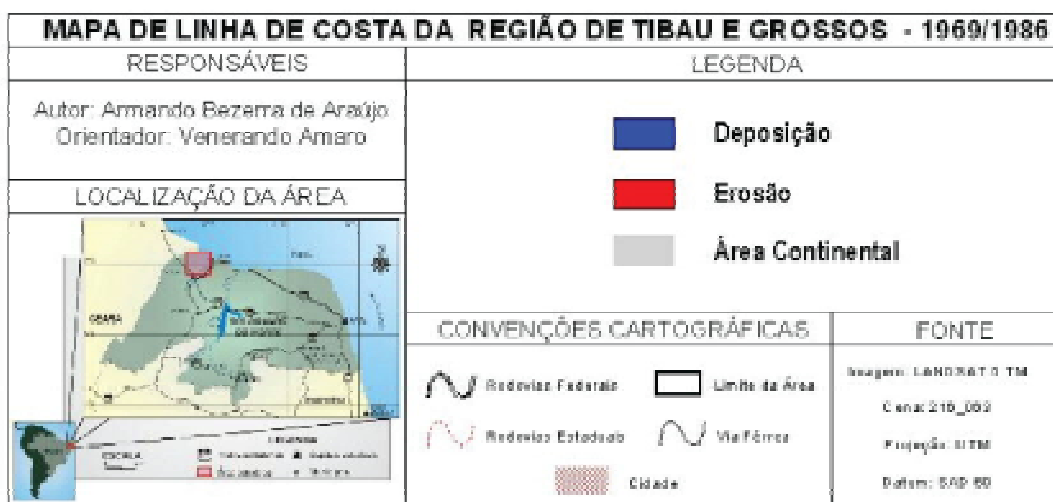
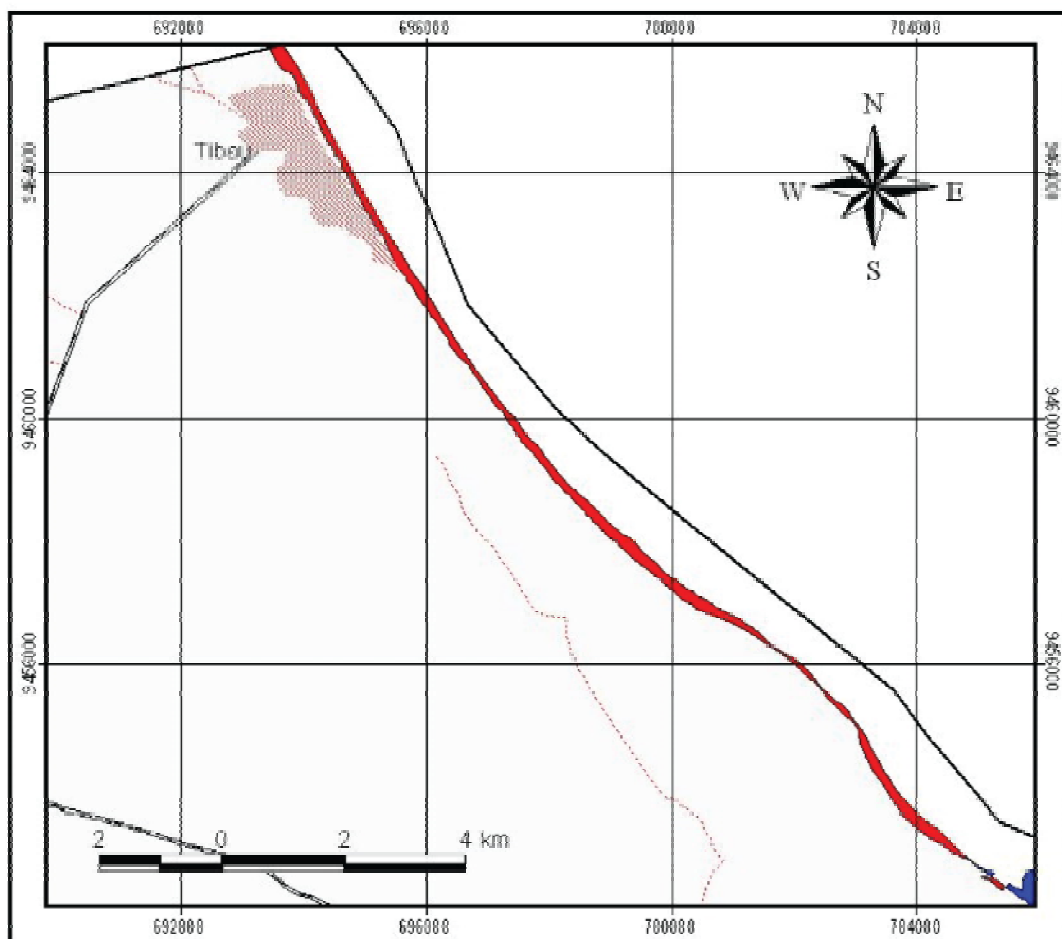


Figura 6 - Mapa da Dinâmica comparada entre os anos de 1969 e 1986.

Figure 6 - Map of the compared dynamics between the years 1969 and 1986.

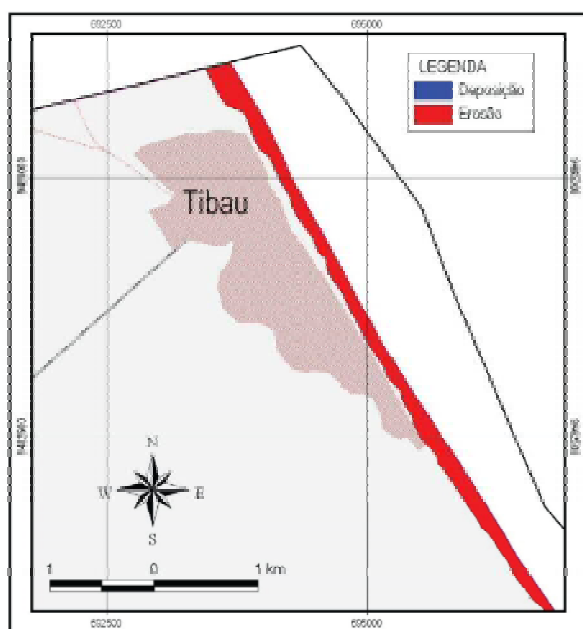


Figura 7 - Detalhe da erosão proeminente exposta na Porção A da área estudada no período entre 1969 e 1986.

Figure 7 - Detailed of prominent erosion in the Portion A of the study area on the period between 1969 and 1986.

Os resultados obtidos para o período entre 1989 e 1996 mostraram a dominância do processo erosivo se comparado ao processo deposicional. Cerca de 611.513,871m² de área (aproximadamente 86% da área de influência direta dos processos costeiros) foi diminuída/erodida ao longo deste período, enquanto que apenas 99.172,069m² de sedimentos foram depositados (cerca de aproximadamente 14% da área de influência direta dos processos costeiros estudados, Figura 10). Apenas a Porção D apresentou domínio do efeito deposicional (com médias de 40m de avanço), porém todas as outras porções mostraram 50m de erosão em média.

Ao comparar-se o período entre 1996 e 1999, observou-se resultados semelhantes, mas com a diminuição na intensidade do processo erosivo em comparação ao deposicional, uma vez que a área erodida é menor quando comparada à do período anterior, entre os anos de 1986 e 1989 (Figura 11).

A tendência ao aumento da acreção é confirmada na análise do período entre 1999 e 2001 (Figura 12),

onde os resultados obtidos mostraram a dominância do processo deposicional sobre o erosivo, configurando cerca de 70% das áreas afetadas pelos processos estudados (cerca de 321.880m²).

Estes resultados foram principalmente observados nas porções A e D, onde se observou avanços de até 90m (Porção D, Figura 13). Merece destaque também a formação de uma feição de *spit* exposta na Porção C construída neste período e denotando um avanço costeiro local de cerca de 70m (Figura 14).

Esta tendência também foi observada no período subsequente entre 2001 e 2002. No entanto, conforme um processo cíclico os processos erosionais crescem mais uma vez, apesar da dominância de áreas de acreção para este período, com cerca de 56% das áreas afetadas pelos processos estudados (Figura 15). Um fato importante de se ressaltar é a migração da estrutura observada no intervalo temporal anterior (1999 - 2001). No período atual, esta estrutura foi acrescida ao continente e formou uma região particular, localizada na Porção C, onde o processo deposicional ganha destaque acentuado, com um avanço médio da linha de costa de 110m (Figura 16).

Apesar do crescimento de processos deposicionais na análise das imagens mais recentes (1996, 1999, 2001 e 2002), quando comparado o período compreendido entre 1969 e 2002, obteve-se uma resposta considerável quanto à quantidade erosiva mensurada (cerca de 2.108.752,8m²). Estes dados indicaram que mesmo com a retomada da acreção em algumas porções, no âmbito geral ocorreu a dominância do processo erosivo, que em algumas porções chegou a atingir 200m de recuo da linha de costa, com valores médios de 50 a 100m de recuo quando analisado para o período (1969 a 2002).

No contexto regional, estes resultados mostraram uma forte tendência erosiva predominante sobre a deposicional, corroborando a tendência regional de todo o litoral setentrional do RN, assim como observado por Souto *et al.* (2006) em uma área próxima a Macau, na foz do Rio Piranhas-Açu. Tal situação pôde ser facilmente constatada em campo, onde o relato de moradores indicou um avanço para o continente da linha de costa em cerca de 30m nos últimos 15 anos. Além disso, observaram-se construções completamente afetadas, e algumas demolidas pela força das ondas e das marés, no

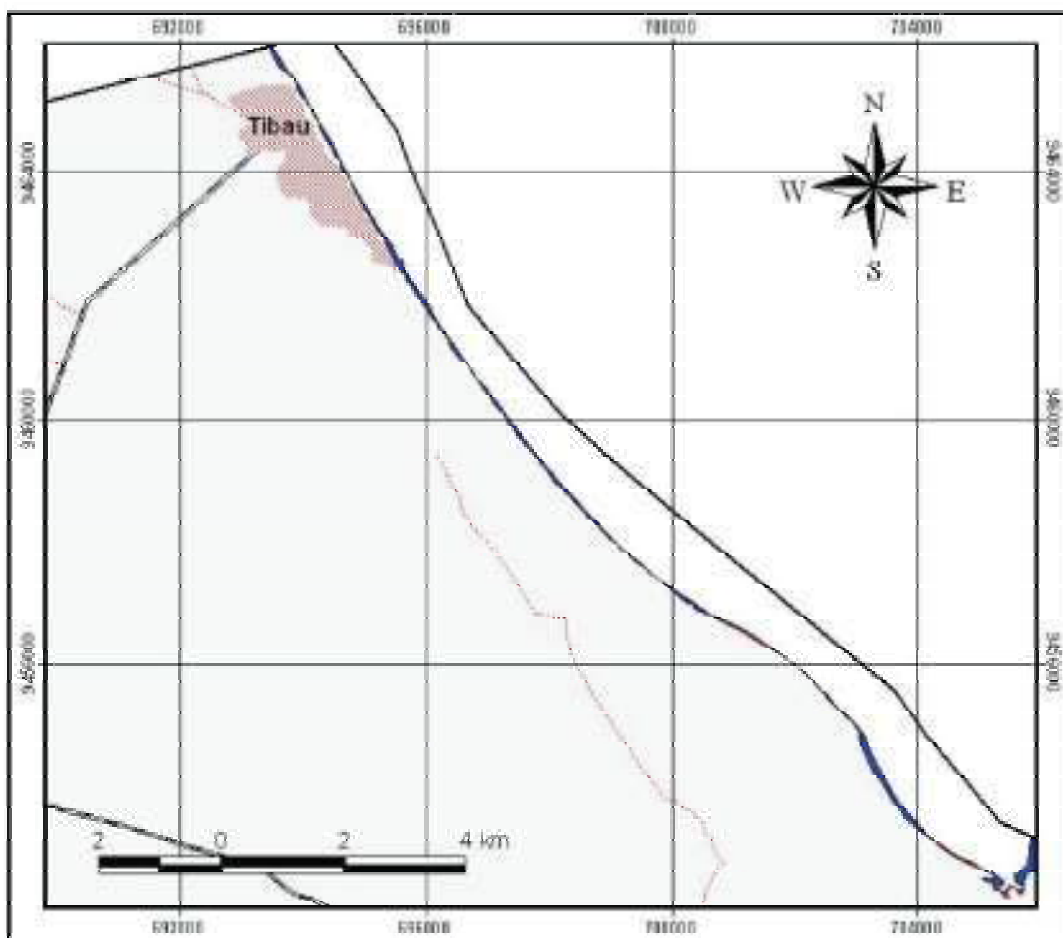


Figura 8 - Mapa da Dinâmica comparada entre os anos de 1986 e 1989.

Figure 8 - Map of the compared dynamics between the years of 1986 and 1989.

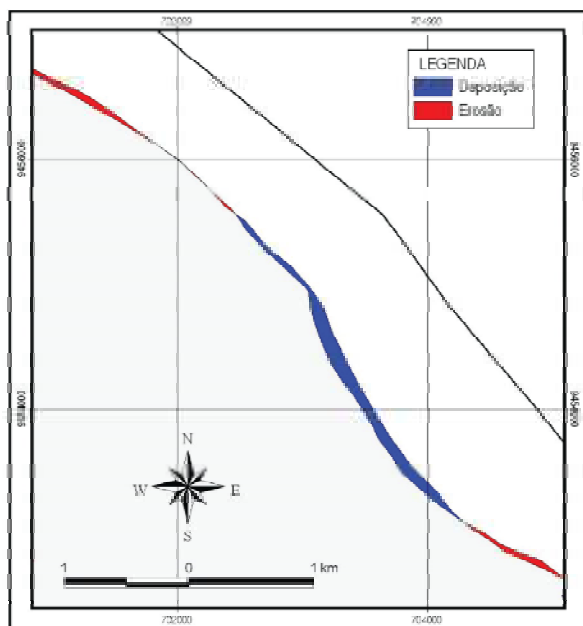


Figura 9 - Detalhe da Porção D da área estudada expondo a região com maior efeito deposicional e as regiões com discreto efeito erosivo. Período entre 1986 e 1989.

Figure 9 - Detail of the Portion D of the study area, displaying the region with higher depositional effect and the region with discrete erosive effect. Period between 1986 and 1989.

entanto, em sua construção, estas distavam pelo menos de 30 a 50m da linha d'água da maré cheia, a cerca de 15 a 20 anos atrás (Figura 17a e 17b). A dominância do contexto erosivo nos últimos 20-30 anos para o trecho litorâneo setentrional do RN, em que estão inseridos os estuários Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró, está relacionada à intensificação do uso e ocupação desordenada das áreas estuarinas e seus entornos ocorrido nas últimas quatro décadas, com o aumento das atividades econômicas, sobretudo agrícola (fruticultura irrigada e plantações de subsistência), salineira, cerâmica e da carcinicultura (Amaro *et al.*, 2002). Além disso, enfatiza-se o crescimento urbano nas proximidades dos corpos d'água, destacando-se a cidade de Mossoró como principal pólo de atração populacional do Oeste do RN, e a ampliação dos assentamentos rurais (Rocha, 2005). Estes fatores, aliados à instalação de várias barragens nos principais cursos d'água desses estuários, interferem no fluxo sedimentar estuarino,

com aumento na retenção de sedimentos continentais, conseqüente assoreamento dos leitos dos rios e diminuição no aporte sedimentar na plataforma continental.

Perfis de Praia

A localização dos três perfis na Praia de Manueas, sendo então denominados de perfis Manueas I, Manueas II e Manueas III, pode ser encontrada na Figura 18. A análise dos dados dos perfis de praia visou esclarecer, por meio da correlação com os dados de campo, o observado na análise das imagens. Esta correlação atemporal se fez necessária, pelo fato de que não existiu coleta dos dados nos períodos relativos à aquisição das imagens pretéritas. Além disso, esta correlação pode ser justificada pelo fato de que foi observada, no geral, uma tendência predominantemente erosiva, o que pode se refletir nos dados de campo. Os dados volumétricos dos perfis analisados são apresentados na Tabela 2.

PERFIL MANUEAS I

Este perfil foi alocado nas proximidades da foz do Rio Apodi e expõe um estirâncio relativamente largo, com cerca de 400m em seus períodos de maior exposição (Janeiro/2004). A análise multitemporal deste perfil possibilitou a identificação das variações volumétricas ao longo dos períodos analisados (Prancha I). Esta análise expõe uma tendência, discreta, porém constante (exceção do mês de Dezembro/2003) de um processo que diminui o volume de areia das seções praias, sobretudo na zona de estirâncio. No balanço global (do primeiro e do último período) foi observada uma redução do volume de areia de 486.472,9m².

PERFIL MANUEAS II

Este perfil foi instalado na porção intermediária da seção costeira estudada em estirâncio com média de 160m de exposição (Prancha II). Diferente do Perfil Manueas I, este perfil possibilitou a identificação de variações volumétricas que expõem uma tendência difusa, por vezes com acréscimos de areia e outras com decréscimo. No entanto, quando é analisado o balanço global (do primeiro e do último período), é observada uma redução do volume de areia de 113.032,3m².

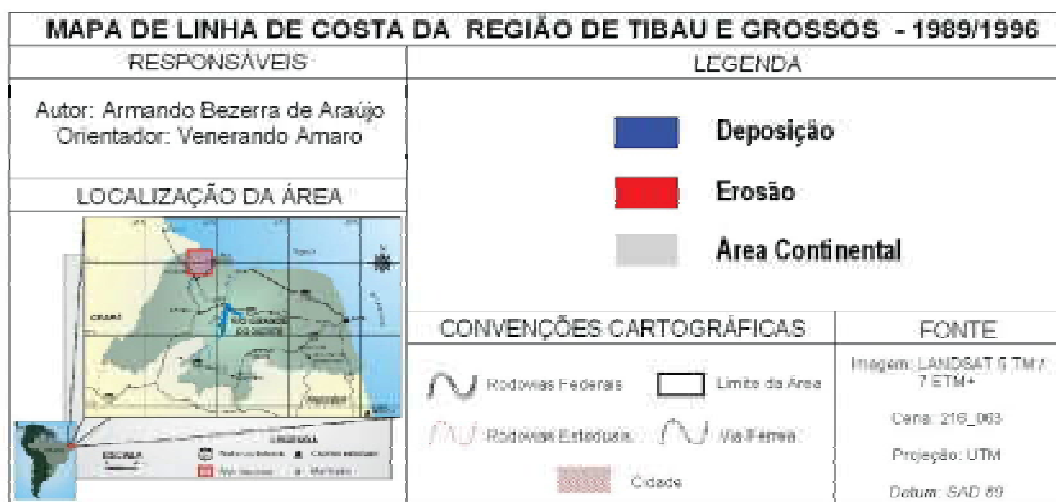
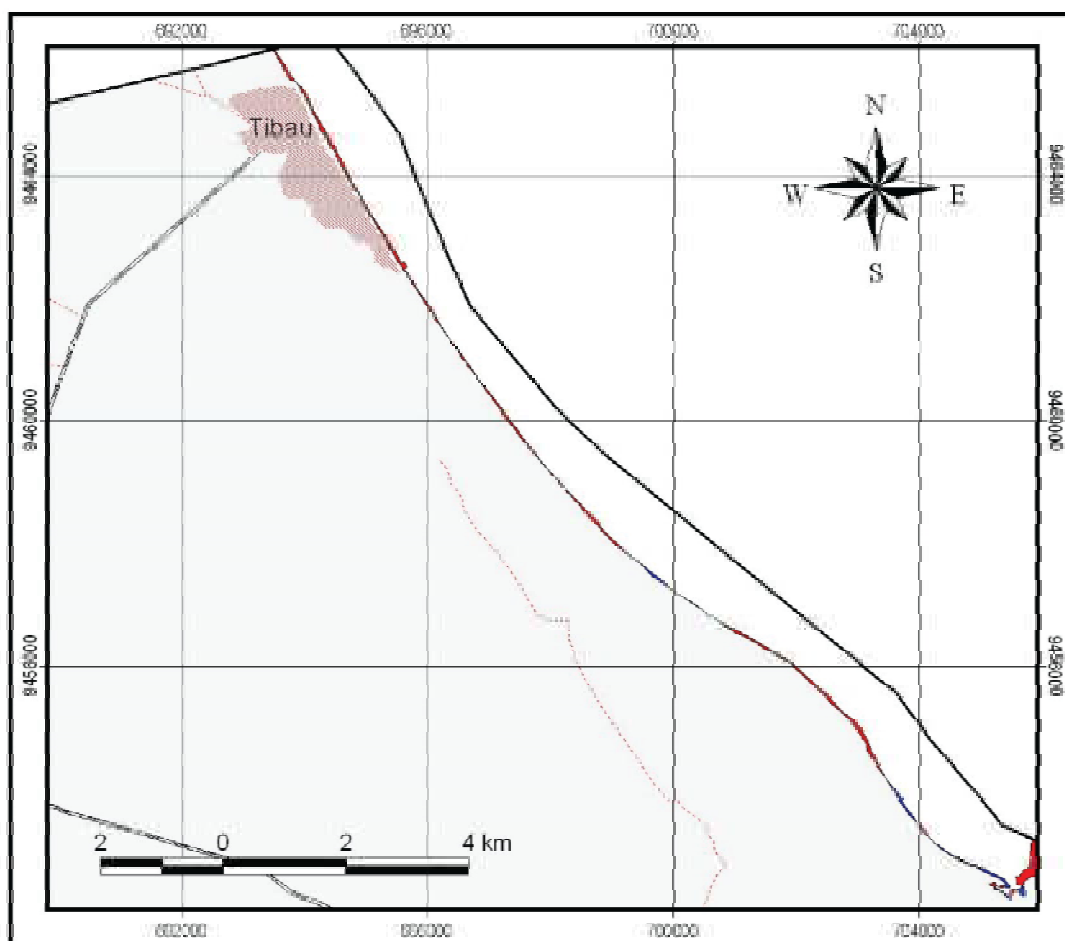


Figura 10 - Mapa da dinâmica comparada entre os anos de 1989 e 1996.

Figure 10 - Map of the compared dynamics between the years of 1989 and 1996.

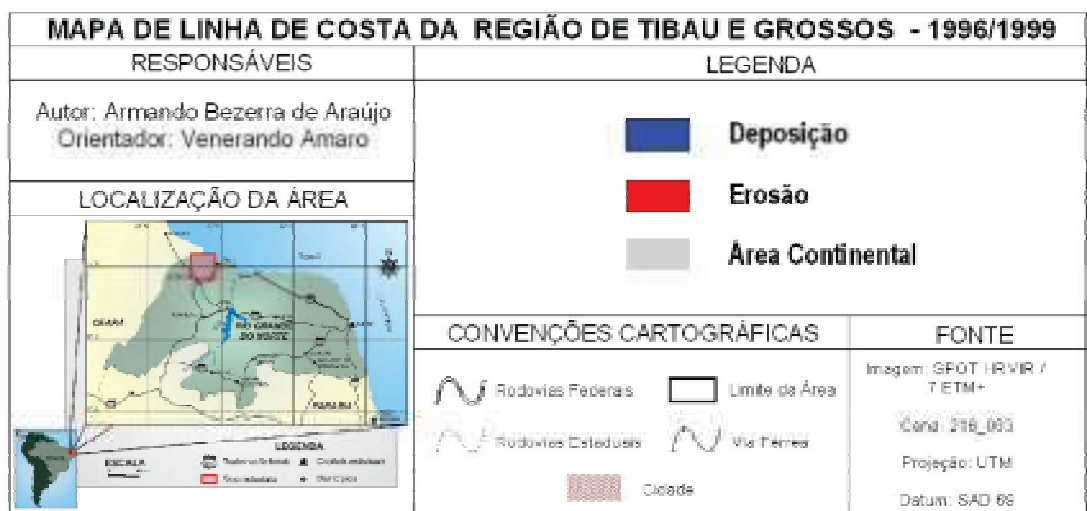
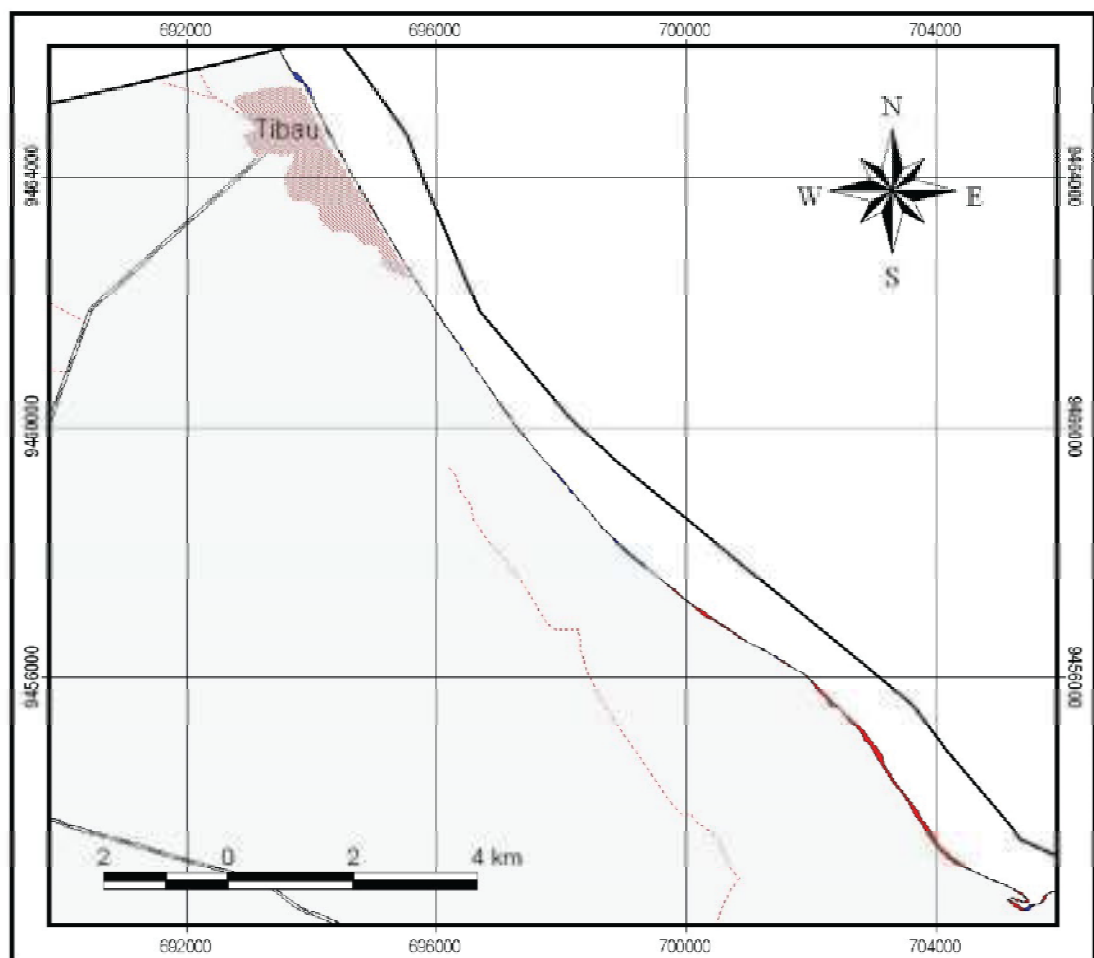


Figura 11 - Mapa da dinâmica comparada entre os anos de 1996 e 1999.

Figure 11 - Map of the compared dynamics between the years 1996 and 1999.

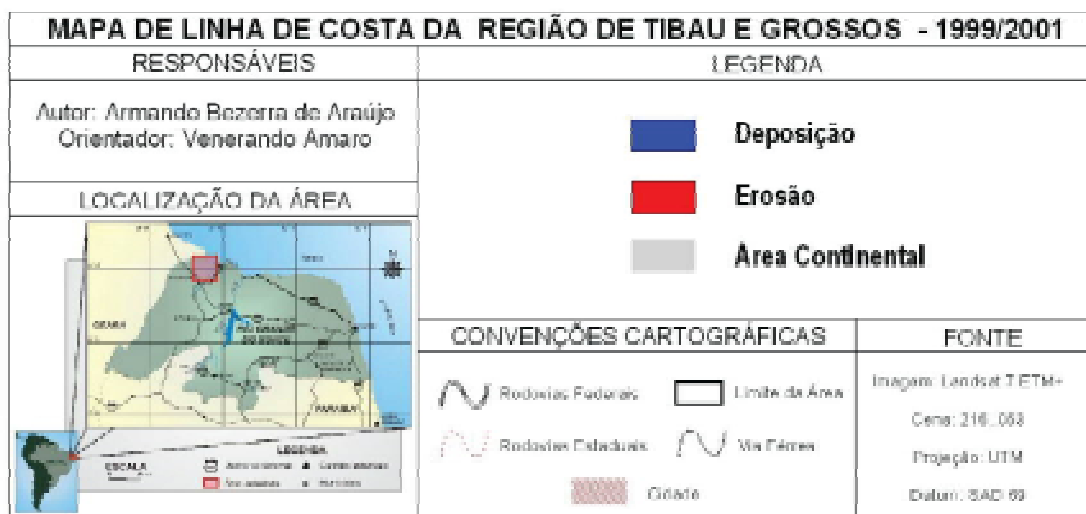
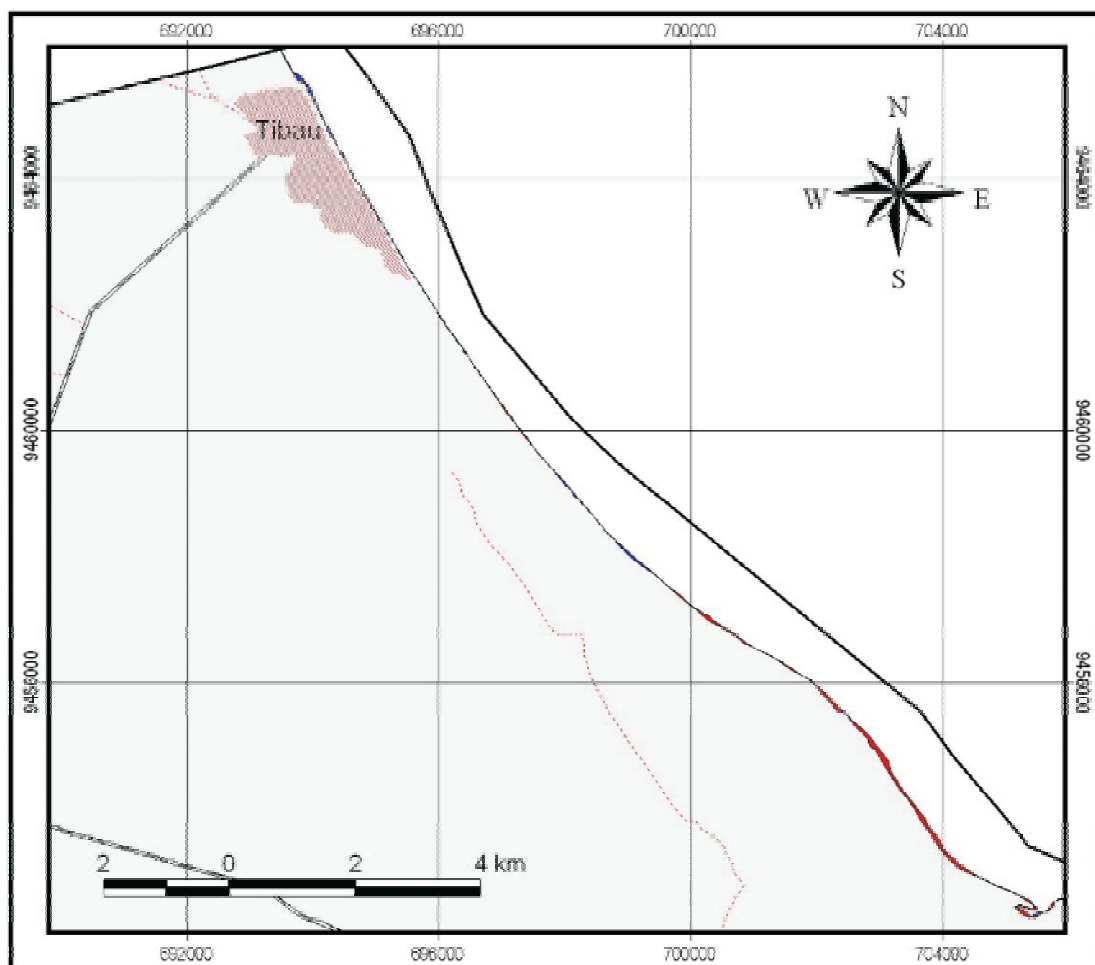


Figura 12 - Mapa da dinâmica comparada entre os anos de 1999 e 2001.

Figure 12 - Map of the compared dynamics between the years 1999 and 2001.

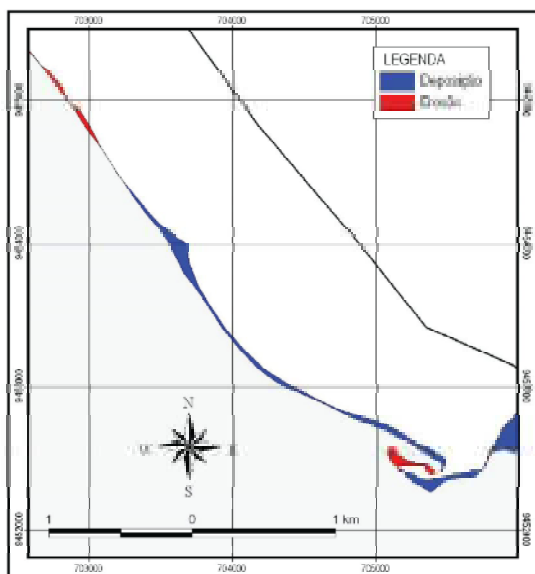


Figura 13 - Detalhe da Porção D da área de estudo entre os anos de 1999 e 2001, expondo a dominância deposicional sobre a erosiva.

Figure 13 - Detail of the Portion D of the study area between years 1999 and 2001, displaying the region with higher depositional effect.

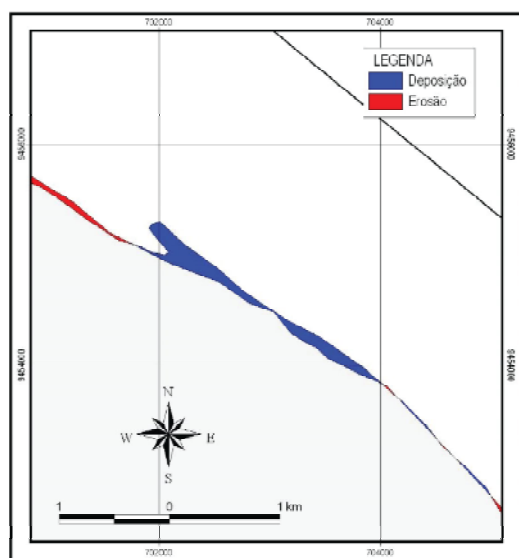


Figura 14 - Detalhe da Porção C da área estudada entre os anos de 1999 e 2001, expondo a formação de um esporão arenoso.

Figure 14 - Detail of the Portion C of the study area between years 1999 and 2001, displaying a sandy spit formation.

PERFIL MANUELAS III

Este perfil foi localizado na porção a NW da seção costeira estudada, expondo um estirâncio com média de 160m (Prancha III). Na análise volumétrica deste perfil de praia se destacou, em relação aos outros dois perfis, pois apesar de ser o de menor extensão foi o que mostrou, em seu balanço global, a maior variação volumétrica de areia em sua seção. A redução observada do volume de areia foi de 924.550,7m².

Estes dados, apesar de relativos a um período curto quando comparado ao período das imagens analisadas, foram condizentes com os resultados obtidos para as imagens.

Em todos os perfis de praia analisados foi observada uma redução do volume arenoso. Esta diminuição implica provavelmente numa relativa elevação do nível do mar, aqui marcada pelo avanço da linha de costa em direção ao continente, conforme constatado na análise espacial por meio de imagens de sensores remotos para as quatro décadas analisadas.

5. CONCLUSÕES

O uso de geotecnologias na análise da evolução morfodinâmica de faixa litorânea no Nordeste do Brasil constitui uma ferramenta essencial, uma vez que propiciam a recuperação georreferenciada das informações em curto intervalo de tempo e sem a necessidade de amplos gastos com atividades de campo e laboratório. Além disso, permitem recuperar tais informações com confiabilidade para diversas aplicações por parte da comunidade técnica e científica, fornecendo subsídios às políticas públicas de planejamento e de gestão da zona costeira e do meio ambiente.

Para este trecho do litoral setentrional do RN, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e análise espacial em sistema de informações geográficas aplicadas à análise multitemporal das variações morfodinâmicas da faixa costeira mostrou grande eficiência, conciliando praticidade e precisão, reduzindo assim o tempo de análise e os custos com levantamentos de campo. Esta análise quantitativa revelou que o período compreendido entre os anos de 1969 e 2002 no geral apresentou uma forte tendência de perda de área, ou seja, de avanço da linha de costa em direção ao continente.

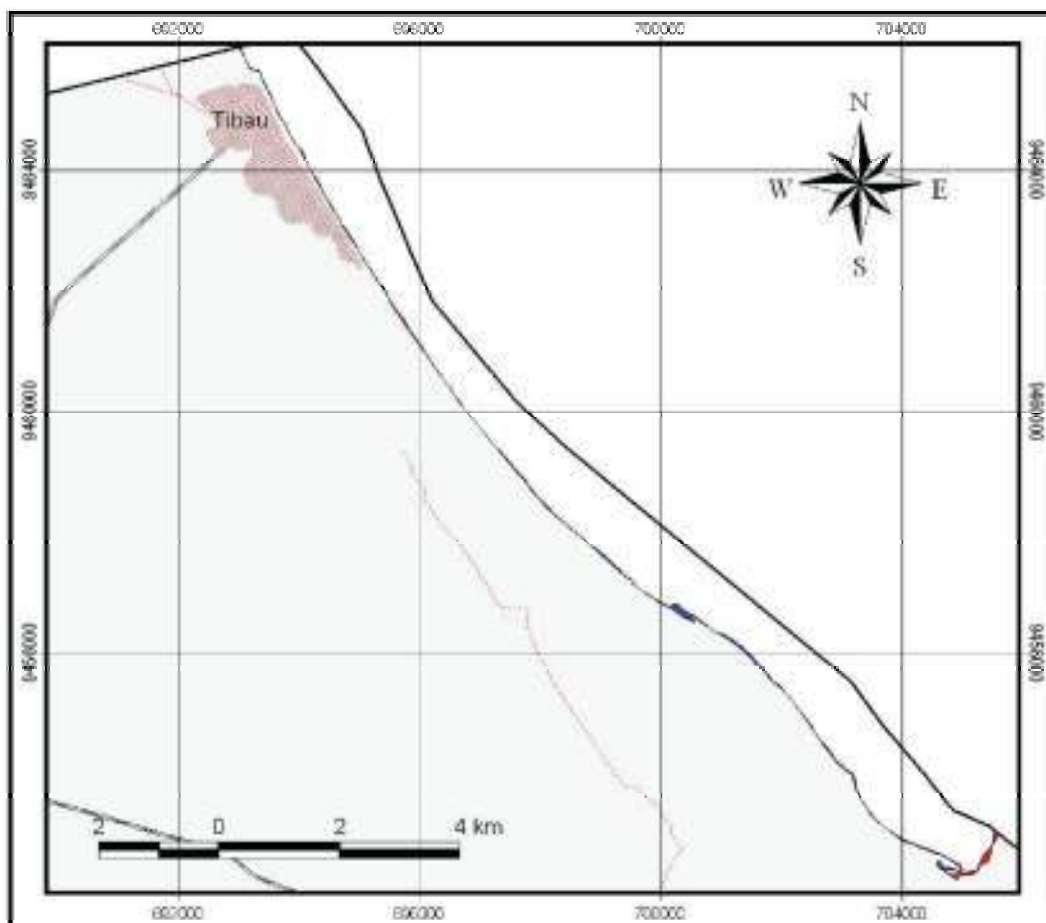


Figura 15- Mapa da dinâmica comparada entre os anos de 2001 e 2002.

Figure 15 - Map of the compared dynamics between the years 2001 and 2002.

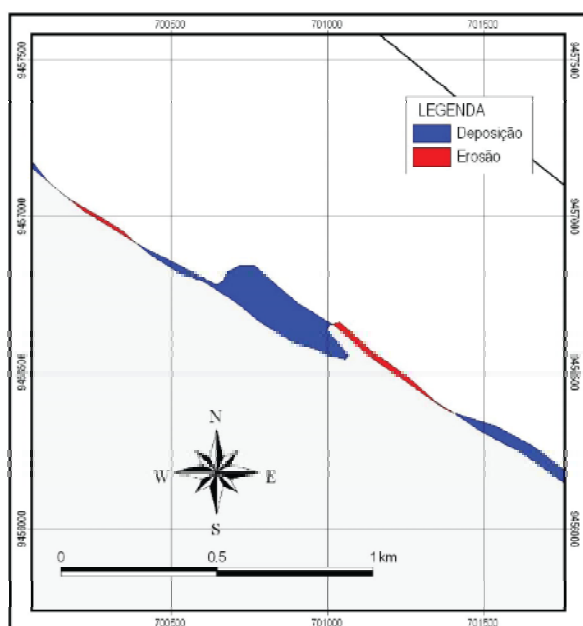


Figura 16 - Detalhe da Porção C da área de estudo no período entre os anos de 2001 e 2002, denotando migração e continentalização do esporão arenoso e avanço local de cerca de 110m da linha de costa.

Figure 16 - Detail of the Portion C of the study area between years 2001 and 2002, displaying the sandy spit migration and local increase of 110 m of the shoreline.

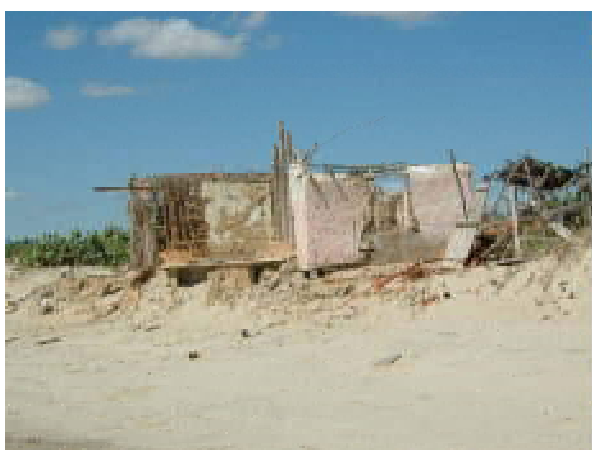


Figura 17 (a) - Ruínas de uma casa localizada nas proximidades do Perfil Manueles II, resultado do efeito erosivo na linha de praia em 2001.

Figure 17 (a) - Houses in ruin located near Manueles II beach profile showing the erosive effect in 2001.



Figura 17 (b) - Ruínas de uma casa localizada nas proximidades do Perfil Manueles II, resultado do efeito erosivo na linha de praia em 2003.

Figure 17 (b) - Houses in ruin located near Manueles II beach profile showing the erosive effect in 2003.

O conjunto de processos responsável por esta intensa dinâmica é formado pela ação dos ventos, ondas, correntes e marés, que geram como consequência o acentuado efeito erosivo costeiro, no balanço sedimentar na evolução costeira. Dentre todos os fatores, os ventos são os mais importantes, uma vez que são os responsáveis pela geração das ondas e por consequência das correntes litorâneas, além de serem a principal força na retirada dos sedimentos de praia e carreamento em direção ao continente para formação dos campos de dunas móveis. A orientação da resultante preferencial dos ventos é bem marcada pela orientação desses campos de dunas móveis locais, e sua consequente interiorização marcada pelo sentido de migração preferencialmente para SW.

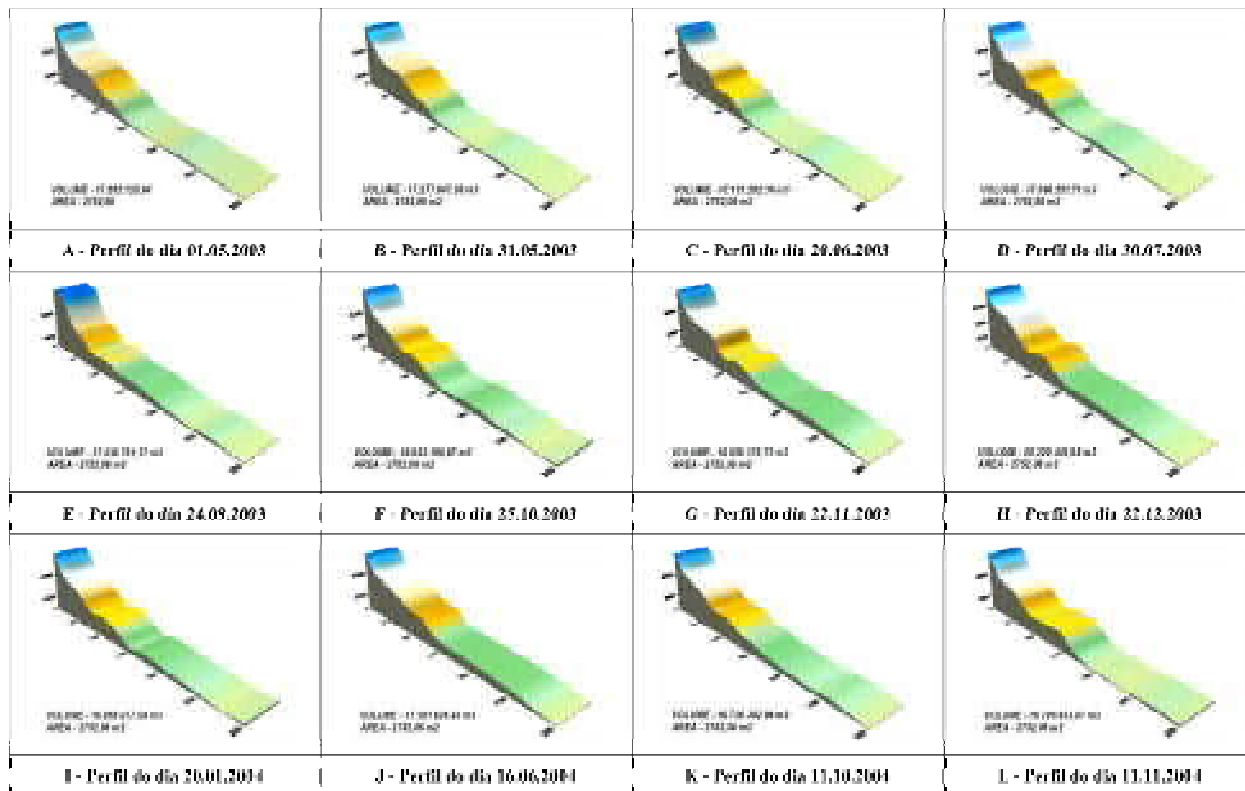
O avanço da linha de costa na direção do continente pode estar também relacionado ao atual quadro de ocupação do estuário do Rio Apodi-Mossoró, que tem ocorrido de modo desordenado, e deve ter interferido, no decorrer das últimas quatro décadas, no fluxo sedimentar estuarino e da plataforma continental. Além disso, os extensos períodos de seca pelo qual passa a região Nordeste do Brasil, aliada à ostensiva construção de barragens nos principais afluentes do estuário, influenciam



Tabela 2- Comparação dos dados volumétricos dos perfis de praia ao longo dos períodos estudados.
Table 2 - Comparison of the volumetric data of the beach profiles throughout the studied periods.

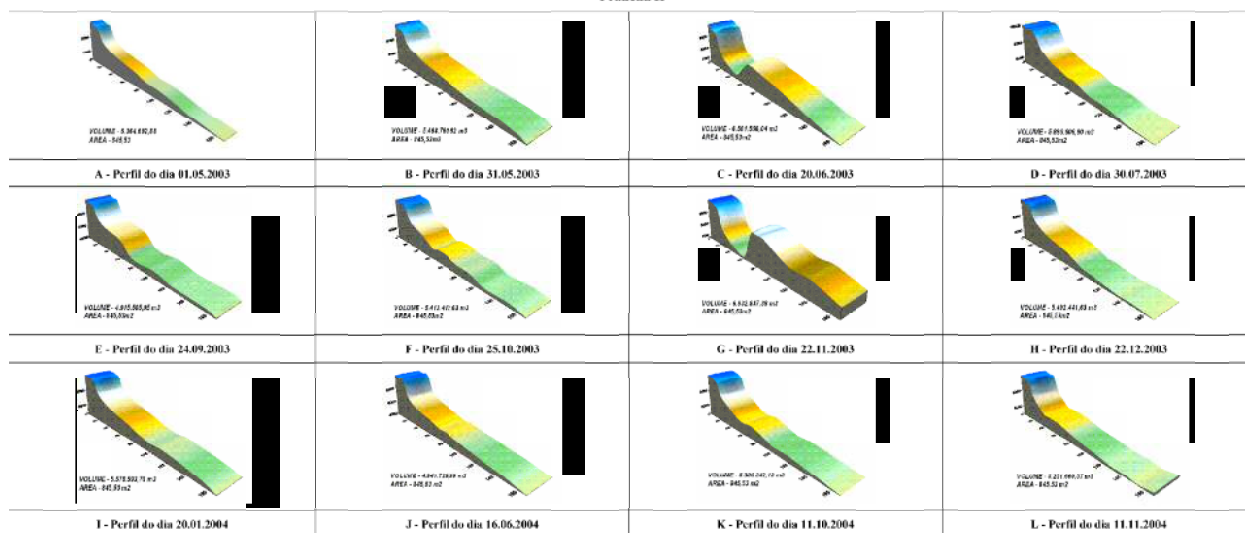
VOLUME (m³)			
Data	MANUELAS I	MANUELAS II	MANUELAS III
01.05.2003	17.282.125,9	5.364.692,9	5.377.274,9
31.05.2003	17.277.847,4	5.468.760,6	4.683.397,4
29.06.2003	17.131.202,2	6.501.556,0	4.651.792,5
30.07.2003	17.090.251,7	5.886.606,9	4.921.113,6
24.09.2003	17.436.781,3	6.501.556,0	4.819.477,5
25.10.2003	16.833.166,7	5.413.412,6	4.607.013,7
22.11.2003	16.856.378,7	6.932.837,4	4.812.517,2
22.12.2003	20.220.442,7	5.492.441,6	4.956.405,9
20.01.2004	16.855.077,5	5.578.593,8	4.483.021,8
16.06.2004	17.181.626,4	4.941.730,0	4.520.373,4
11.10.2004	16.726.382,0	5.306.342,1	4.491.132,1
11.11.2004	16.795.653,1	5.251.660,6	4.452.724,2

Prancha I

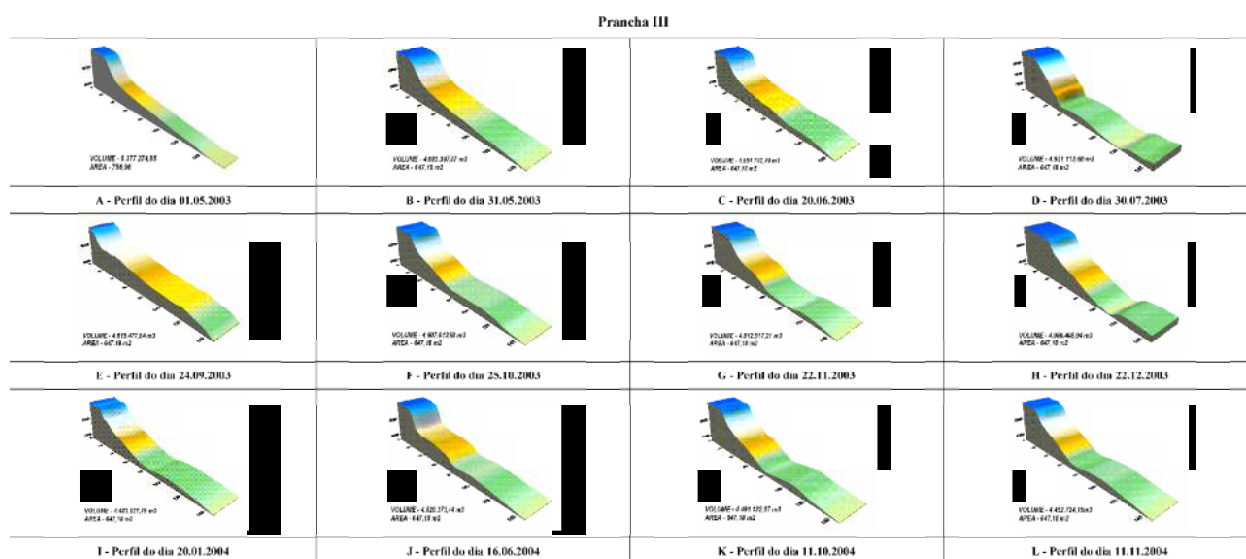


Prancha I - Análise multitemporal do perfil de praia Manueas I.
Plank I - Multitemporal analysis of the beach profile Manueas I.

Prancha II



Prancha II - Análise multitemporal do perfil de praia Manueas II.
Plank II - Multitemporal analysis of the beach profile Manueas II.



Prancha III - Análise multitemporal do perfil de praia Manueas III.

Plank III - Multitemporal analysis of the beach profile Manueas III.

diretamente na capacidade de transporte sedimentar dos rios, um dos motivos pelo qual o balanço sedimentar desta região esteja alterado, tendendo a um balanço negativo e um conseqüente recuo da linha de costa. É importante salientar que em alguns trechos a linha de costa recuou cerca de 200m (porção extremo NW da área) na análise do período de 1969 a 2001. Mesmo considerando-se os erros inerentes à metodologia comparativa e às técnicas de geoprocessamento empregadas, decorrentes das resoluções dos produtos imagens digitais e da escala do levantamento, trata-se de um montante areal e volumétrico que causa impactos ambientais e deveria gerar preocupações às autoridades responsáveis pelas políticas públicas e tomadores de decisões locais.

Um aspecto de destaque é que este estudo integrou informações apenas de caráter qualitativo e quantitativo, restritos às características de resolução das imagens de sensoriamento remoto, mas que foram, contudo, confirmadas com dados de campo, denotando áreas sob influência de processos costeiros de erosão e deposição. Assim, apesar do fato de que as observações de campo estiveram restritas a trechos da faixa litorânea, os resultados revelaram modificações erosionais e de formação de feições sedimentares (p. ex. *spits*, bancos arenosos submersos,

etc.) relevantes na caracterização da dinâmica local e regional, como comumente ocorre em outras partes do litoral setentrional do RN.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada com recursos do Projeto PETRORISCO (FINEP/CTPETRO/PETROBRAS/CNPq) da Rede Cooperativa Norte-Nordeste de Monitoramento Ambiental de Áreas sob Influência da Indústria Petrolífera (Rede 05 - PETROMAR, CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq). Os autores agradecem especialmente à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis através do Programa de Recursos Humanos (ANP/PRH-22) pela concessão de Bolsa ao segundo autor. Os autores agradecem ainda a UFRN pela disponibilização da infra-estrutura necessária ao desenvolvimento da pesquisa e aos revisores anônimos.

BIBLIOGRAFIA

- Alves, A. L., Amaro, V. E. & Vital, H. (2003) - Application of remote sensing for monitoring and evaluation of coastal morphodynamic on the northeastern coast of Brazil: the Açu River Mouth Example. *Journal of Coastal Research*, SI 35 (Brazilian sandy beaches):279-283.

- Amaro, V. E. (Coord.). (2002) - *Diagnóstico e Vulnerabilidade Ambiental dos Estuários do Litoral Norte e seus Entornos*. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente IDEMA. *Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico dos Estuários do Estado do Rio Grande do Norte e seus Entornos*, Relatório Técnico Final, 182 p., SUGERCO/IDEMA, Natal, RN, Brasil. (não publicado).
- Araripe, P. T. & Feijó, F. J. (1994) - Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 8(1):127-141.
- Grigio, A.M., Castro, A.F., Souto, M.V.S., Amaro, V.E., Vital, H. & Diodato, M. A. (2006) - Use of Remote Sensing and Geographical Information System in the Determination of the Natural and Environmental Vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (ICS 2004 Proceedings): 1427 - 1431. (disponível em http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/299_grigio.pdf)
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2000) - *Pesquisa de Informações Básicas Municipais*. Disponível em: www.ibge.gov.br. (acedido em 17.04.2003).
- IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente (1999) - *Informativos Municipais: Mossoró, Grossos e Tibau*. Secretaria de Planejamento e Finanças. Disponível em: www.idema.rn.gov.br. Acedido em 17.04.2003.
- Köppen, W. (1948) - *Climatologia: Um Estúdio de los Climas de la Tierra. Versión de Pedro R. Henrichs*. 478 p., Fondo de Cultura Económica, México.
- Marinho, A.W. & Noronha, C.H.M.M. (1993) - *Rio Grande do Norte, meu Estado*. 118p., Estudos Sociais, Editora do Brasil, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN : 8510012237)
- Neves, C.A.O. (1987) - *Análise Regional do Trinômio Geração-Migração-Acumulação de Hidrocarbonetos na Sequência Intracontinental Eocretácea da Bacia Potiguar Emersa, NE do Brasil*. Dissertação de Mestrado, 71 p., Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- Nimer, E. (1972) - Climatologia da Região Nordeste do Brasil Introdução à Climatologia Dinâmica. *Revista Brasileira de Geografia*, 34(2):3-51. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Rocha, A. P. B. (2005) - *Expansão Urbana de Mossoró: período de 1980 a 2004*. 292p., Editora EDUFRRN, Natal, RN, Brasil. (ISBN: 8572732438)
- Silva, C. G. (1991) - *Holocene Stratigraphy and Evolution of the Açu River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil*. PhD Thesis, 359 p., Duke University, Durham, NC, USA.
- Silva, R.L.C. & Noqueira, A.M.B. (1995) - Estratigrafia da Porção Emersa da Costa do Rio Grande do Norte. 1º *Simpósio Sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil*. Anais: 144-147, Recife, PE, Brasil.
- Souto, M.V.S., Castro, A.F., Grigio, A.M., Amaro, V.E. & Vital, H. (2006) - Multitemporal Analysis of Geoenvironmental Elements of the Coastal Dynamics of the Region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the Basis of Remote Sensing Products and Integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (ICS 2004 Proceedings): 1618 - 1621. (disponível em http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/340_souto.pdf)
- Tabosa, W.F., Lima, Z.M.C., Vital, H. & Guedes, I.M.G. (2001) - Monitoramento Costeiro das Praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte NE Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 28(2):383-392.
- Vital, H., Silveira, I. M. & Amaro, V. E. (2005) - Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira - Área Guamaré a Macau (NE BRASIL), Utilizando Integração de dados Geológicos e Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(3): 233-241, Rio de Janeiro.