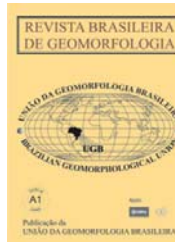




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 15, nº 3 (2014)



### GEODÉSIA DE PRECISÃO APLICADA À ANÁLISE DA EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DE CURTO PRAZO NA ILHA BARREIRA DO CORTA CACHORRO, LITORAL DO RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL

### PRECISION GEODESY APPLIED TO THE ANALYSIS OF THE SHORT-TERM MORPHODYNAMIC EVOLUTION IN CORTA CACHORRO BARRIER ISLAND, COAST OF RIO GRANDE DO NORTE, NORTHEAST BRAZIL

**André Luis Silva dos Santos**

*Departamento Acadêmico de Informática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.*

*Av. getulio Vargas, 05 - Monte Castelo, São Luis/MA, Cep: 65062-610, Brasil.*

*E-mail: andresantos@ifma.edu.br*

**Venerando Eustáquio Amaro**

*Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.*

*Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal/RN, Cep: 59078-970, Brasil.*

*E-mail: amaro@geologia.ufrn.br*

**Marcelo Soares Teles Santos**

*Centro de Formação em Ciências, Tecnologias e Inovação, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.*

*Av. Alberto Passos, 294 - Centro, Cruz das Almas/BA, Cep: 44380-000, Brasil.*

*E-mail: mstsantos@yahoo.com.br*

#### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

21/03/2014

Data de Aprovação:

30/06/2014

#### Palavras-chave:

Ilha Barreira, Morfodinâmica, Linha de Costa, Modelo Digital de Elevação.

#### Keywords:

Barrier Island, Morphodynamics, Coastline, Digital Elevation Model.

#### Resumo:

Este trabalho apresenta uma análise multitemporal da evolução da morfodinâmica sazonal da ilha barreira do Corta Cachorro localizada no Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN), Nordeste do Brasil, área de alta sensibilidade ambiental e sob a influência de atividades socioeconômicas como o da indústria petrolífera, eólica, salineira e carcinicultura. A metodologia consistiu na comparação de Linhas de Costa e Modelos Digitais de Elevação da ilha barreira, em escala trimestral, para obtenção de áreas e volumes de erosão/acreção e do fluxograma do balanço sedimentar. A análise dos mapas permitiu ainda identificar a orientação do transporte de sedimentos na LC e as implicações no balanço sedimentar. Os resultados mostraram que a ilha barreira apresentou balanço planimétrico positivo com 176.013m<sup>2</sup> de acreção, mas, no entanto, o balanço volumétrico foi negativo em -554.367m<sup>3</sup> de erosão. Isso demonstra que, apesar do ganho planimétrico, a ilha barreira tem sofrido redução no volume de sedimentos em escala sazonal de curta duração.

## Abstract:

This paper reports the multitemporal analysis about the seasonal morphodynamics of Corta Cachorro barrier island, located on the Northeastern coast of Rio Grande do Norte (RN), in Brazilian Northeast, which is an area of high environmental sensitivity on the influence of the oil, windy energy and salt industries, as well as the shrimp farming. The methodology has been based on the comparison of Coastlines and Digital Elevation Models of the barrier island, on trimestral scale, to obtain erosion/accretion areas and volumes and the sand sediment balance flowchart. The map analysis has also allowed identifying the orientation of the sediment transport on the Coastline and the consequences on the sediment balance. The results demonstrate that the barrier island has had a positive planimetric balance, with 176.013m<sup>2</sup> of accretion; however, its volumetric balance has been negative, with -554.367m<sup>3</sup> of erosion. In spite of the planimetric gain, the mentioned data evidences that the barrier island has suffered a reduction of its sediment volume on short-term seasonal scale.

## 1. Introdução

A área de estudo é marcada por ilhas barreiras e esporões arenosos instalados em águas costeiras de plataforma continental rasa, em interação com forçantes hidrodinâmicas e eólicas que promovem ambiente de alta energia e, portanto, de alta instabilidade morfológica costeira. As intensas variações na morfologia das ilhas barreiras são evidentes nas mudanças das linhas de costa e dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) em curtos intervalos de tempo (SOUTO *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2012a; SANTOS *et al.*, 2012b).

As ilhas barreiras são cordões arenosos longos e estreitos que se formam pelo crescimento de pontais arenosos paralelos a subparalelos à costa, que pela ação contínua de forçantes hidrodinâmicas sofrem desligamento do continente, com relevante função de proteção de lagunas e estuários da ação das ondas e correntes de deriva (DAVIS, 1994, WOODROFFE, 2003). A área de estudo é um sistema dominado por energia mista com influência tanto de marés quanto de ondas, de acordo com a classificação de Hayes (1979). Dessa forma, as ilhas barreiras, são muito susceptíveis aos processos de erosão/acreção influenciados pelas condicionantes meteoceanográficas (ondas, correntes, marés e ventos) e, possivelmente, do arranjo estrutural definidor da geometria do litoral. Assim, tais condições favorecem a instabilidade sedimentar na faixa costeira, ocasionando modificações da linha de costa em intervalos temporais de curto à longo prazo. Na costa norte do Rio Grande do Norte (RN) o sistema de ilhas barreiras encontra-se especificamente limitado ao padrão direcional do sistema de falhas de Carnaubais (NE) e Afonso Bezerra (NW), que controlam a sedimentação mais recente da Baía Potiguar, como a deposição dos sedimentos costeiros da

região (FONSECA, 1996; VITAL *et al.*, 2003; VITAL *et al.*, 2006 e SOUTO, 2009).

A ilha barreira do Corta Cachorro (doravante apenas ICC) é um exemplo deste tipo de feição costeira, com configuração alternando ciclos de esporão arenoso, ou seja, ligado ao continente pela praia de Soledade, e de ilha barreira promovida pela abertura de canais de maré. Sua conformação geográfica abriga o estuário do rio Casqueira, que possui as margens ocupadas por importante reserva de manguezal, da ação direta das forçantes de mar aberto.

A ICC está inserida numa área de grande relevância ecossistêmica nesse setor setentrional do RN, tendo sido objeto de diversos trabalhos de monitoramento ambiental, principalmente com o uso de Geotecnologias (SOUTO *et al.*, 2004; CHAVES 2005; GRIGIO *et al.*, 2005; NACIMENTO, 2009; SOUTO, 2009; AMARO *et al.*, 2012). Em décadas anteriores, a ICC correspondia a uma barra arenosa conjugada à praia de Soledade e o rompimento de tal barra ocorreu no verão de 2006. Quando interligado ao continente pela praia de Soledade, a indústria petrolífera implantou um poço de exploração, que foi abandonado devido à abertura do canal de maré, dando início à atual conformação de ilha barreira. No entanto, a intensa dinâmica sedimentar no sistema de ilhas barreiras da região é fonte de sérios problemas às atividades socioeconômicas instaladas, além de se configurar como um agravante potencial de futuros problemas ambientais devido às alterações nos ecossistemas de alta sensibilidade ambiental tais como manguezais, dunas móveis e estuários.

Nascimento (2009), realizando uma análise multitemporal por imagens de satélites e fotografias aéreas verticais, demonstrou que em 1967 já havia no local

uma ilha barreira, pois um segmento estava separado da praia de Soledade por um canal de maré. Por volta de 1976-1977, devido ao grande aporte sedimentar, ocorreu o fechamento do canal de maré e a ilha barreira foi reintegrada ao continente. O autor indicou um recuo de 145 m da linha de costa para sul, e acreção de leste para oeste de 360m. Entre 1977 e 2006, os intensos processos erosivos causaram o recuo da linha de costa, carreando os sedimentos para o interior do estuário, onde foram transportados pelos canais de maré, o que resultou no adelgaçamento da barra arenosa e o favorecimento da abertura do canal de maré conhecido informalmente como canal do Arrombado. Com o rompimento ocorrido em 2006, quando definitivamente a ICC se separou da praia de Soledade, o canal alcançou a largura de 400 m em 2007. Em contraposição, a acreção no limite oeste da ilha barreira teve aumento de 970 m no mesmo intervalo de tempo. No período de 2007 a 2010 houve o alargamento do canal do Arrombado para cerca de 796m, o recuo de 58 m de linha de costa da ICC e a acreção 340 m para oeste.

O uso de sistemas *Global Navigation Satellite System* (GNSS, ou Sistema Global de Navegação por Satélite) para estudos de mudanças geomorfológicas têm sido amplamente utilizados e contribui com a melhoria significativa do monitoramento dos processos morfológicos de curto prazo em diversos setores das zonas costeiras. Os estudos têm utilizado a tecnologia GNSS para o monitoramento costeiro em litorais arenosos para o levantamento multitemporal de linha de costa (LC) com a geração de MDE para análise da evolução morfodinâmica costeira. Rocha *et al.* (2009) realizaram a adaptação de um monociclo não motorizado para transportar um receptor *Ground Positioning System* (GPS) no método de posicionamento cinemático e acompanharam a evolução da LC na praia de Sauaçi (Alagoas). Tanajura *et al.* (2011) realizaram um monitoramento temporal da LC na Ilha do Mel, (Paraná), com uso do GPS no método cinemático em *Real Time Kinematic* (RTK). Huang *et al.* (2012) estudaram a praia de Renkerry (Irlanda), também utilizando GPS-RTK. Mills *et al.* (2005) utilizaram a integração de geotecnologias combinando dados de aerofotogrametria com levantamentos por GNSS utilizando uma caminhonete para o levantamento cinemático na Baía Filey (Inglaterra), com a integração dos MDE e comparação com perfis adquiridos com Estação Total.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos na zona costeira do RN, incluindo a ilha de Corta Cachorro, para o entendimento da dinâmica costeira e análises multitemporais decadais de linha de costa com uso de Sensoriamento Remoto (NASCIMENTO, 2009; SOUTO, 2004; SOUTO *et al.*, 2006; AMARO *et al.*, 2012), além de estudos e prognóstico baseados na análise estatística das posições históricas da LC (FRANCO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2011a). Neste contexto de monitoramento costeiro por tecnologias GNSS foi implantada por Santos; Amaro (2011) a Rede GNSS do Litoral Setentrional do RN - RGLS (Figura 2) - uma rede geodésica para monitoramento planimétrico da linha de costa (LC) e altimétrico para geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) de praias e ilhas barreiras entre os municípios de Macau e Guamaré. Recentemente, levantamentos geodésicos interanuais foram usados na melhoria da precisão dos mapeamentos e do detalhamento morfológico no entorno da área de estudo, abrangendo as praias de Minhoto e de Soledade e as ilhas barreiras da Ponta do Tubarão e Fernandez (SANTOS; AMARO, 2011; SANTOS *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2012a; SANTOS *et al.*, 2012b; SANTOS, 2014).

Segundo Santos; Amaro (2011), o mapeamento da morfodinâmica costeira tem a intenção de representar a morfologia e sua variação temporal, nas componentes planialtimétrica, servindo como ferramenta estratégica ao entendimento e análise dos processos costeiros (erosão, acreção e transporte sedimentar) em episódios de curta duração, acompanhando as flutuações sazonais. O uso do levantamento geodésico tem como vantagem o monitoramento de extensas áreas costeiras em curto intervalo de tempo e com alta precisão e acurácia, sendo por este motivo muito apropriado para estudo da morfologia praial e da complexidade da dinâmica costeira permitindo o cálculo de áreas e volumes, de erosão ou acreção, através da comparação dos MDE georreferenciados e obtidos sistematicamente ao longo do tempo. Estudos dessa natureza subsidiam a elaboração de modelos prognósticos da linha de costa, auxiliando com dados sobre a sua localização e sobre as mudanças morfológicas no contexto emerso da praia, nos estudos sobre os efeitos da elevação do nível relativo do mar, de fenômenos climáticos globais e das interações antropogênicas em áreas de intensa dinâmica costeira (AMARO *et al.*, 2012).

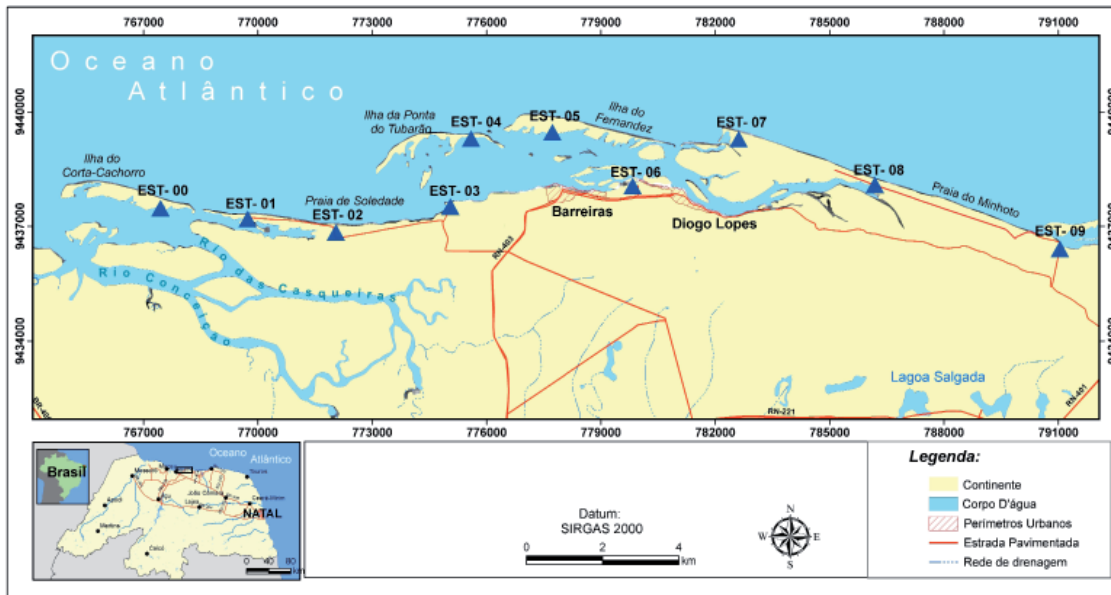


Figura 1 - Mapa com a localização da área de estudo e distribuição espacial das 10 estações da RGLS (EST-00 a EST-09).

Neste contexto, se insere este trabalho que tem como objetivo ampliar o entendimento das modificações da linha de costa e altimétricas na ilha barreira de Corta Cachorro, relativas ao comportamento da erosão/deposição de sedimentos, observados em intervalo de 12 meses com levantamentos GNSS trimestrais entre agosto de 2011 a novembro de 2012.

## 2. Caracterização da Área de Estudo

### 2.1 Localização

A área de estudo situa-se na porção setentrional do RN, entre os municípios de Macau e Guamaré,

envolvendo os distritos de Barreiras e Diogo Lopes, limitada pelas coordenadas UTM (Zona 24 Sul, Datum – SIRGAS2000) 760.652 e 779.000mE e UTM 9.441.000 e 9.432.851mN, que distam cerca de 185 km de Natal. Estão inseridas nesta área importantes atividades socioeconômicas em reconhecido conflito quanto à ocupação do solo, devido à reconhecida alta sensibilidade ambiental dos ambientes, tais como a indústria salineira, a eólica, a carcinicultura e em especial à indústria do petróleo, que tem instaladas os campos de Macau e Serra em zona de intermaré.

O Município de Macau possui população estimada em 27.132 habitantes, com taxa de urbanização

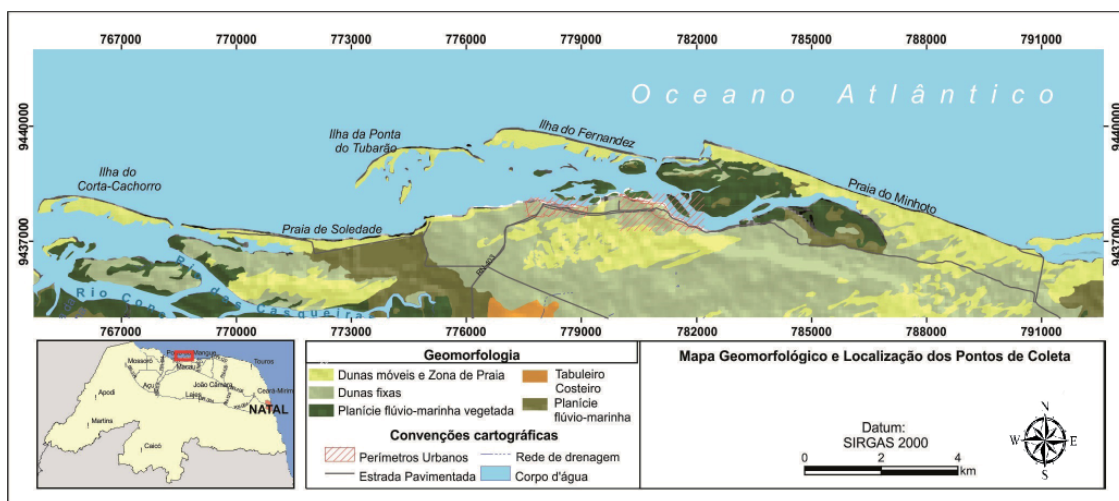


Figura 2 - Mapa Geomorfológico da área de estudo com a localização da ilha de Corta Cachorro a oeste.

de 72,4%, possuindo três comunidades com características rurais: Diogo Lopes, Barreiras e Sertãozinho, abrangendo cerca de 1.640 famílias. A área territorial do município equivale a 788 km<sup>2</sup>. Macau é considerado o quinto município do RN em atividades econômicas contribuindo com 3,2% do produto interno bruto, sendo as principais atividades em ordem de relevância: a produção petrolífera (óleo e gás), a extração de sal (28,5% da produção nacional) a pesca (8,5% das capturas de pescado do RN) e a carcinicultura (IDEMA, 1998; IBGE, 2012). Dos campos de Macau e Serra instalados na área de estudo o escoamento da produção de petróleo e gás é conduzido através de dutos até o Polo Petrolífero no Município de Guamaré.

## 2.2 Aspectos fisiográficos

O Clima da região é semiárido do tipo BSW'h<sup>1</sup>, de acordo com a classificação climática de Köppen, com altas temperaturas e poucas chuvas dividido em duas estações bem definidas (Nimer, 1989), S: seca (verão) e chuvosa (inverno). A estação chuvosa é curta com duração de 4 meses (fevereiro a maio) e a estação seca varia de 7 a 8 meses (junho a janeiro) com umidade média relativa anual de 68%. A temperatura média anual é de 27,2°C, ultrapassando os 40°C no verão. A precipitação pluviométrica média é de 537,5 mm (IDEMA, 1998).

A Figura 3 mostra a precipitação acumulada mensal entre os anos de 2010 e 2012 comparada à Normal Climatológica da região entre 1961-1990. A média mensal da precipitação para o período de 2011 e 2012 foi de 22,9 mm, com valores máximos de 186,8 mm (maio de 2011). Nos anos estudados ocorreram valores mensais mínimos de 0,0 mm, sendo 2012 o ano com

maior número de meses com este valor (de agosto a dezembro), marcando a pior seca dos últimos 40 anos para a região.

Devido às características climáticas, os principais rios da região são intermitentes, com fluxo apenas durante período chuvoso (março a maio); a partir do início do período seco (junho), o fluxo dos rios diminui continuamente, chegando a inexistir no mês de maior temperatura anual (geralmente novembro) e permanece assim até fevereiro (NASCIMENTO, 2009; SOUTO, 2009). Este cenário colabora para o reduzido aporte de sedimentos à plataforma continental adjacente nesse período.

Os ventos alísios da região são relevantes na dinâmica dessa zona costeira por condicionar formação de ondas e correntes que influenciam os processos morfodinâmicos de erosão e acreção nas praias (AMARO; ARAUJO, 2008). Os ventos alísios são influenciados pela ZCIT, e ocorrem em duas direções principais: ventos brandos de ESE e ventos mais fortes de direção ENE. De acordo com as informações obtidas da estação meteorológica de Macau-RN A317 (INMET, 2012), a velocidade média dos ventos, durante o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012 (Figura 4a e 4b) foi de  $4,81 \pm 2,0$  m/s, com direções variando predominantemente entre NE, E e SE. As maiores médias de velocidade dos ventos ocorreram nos meses de agosto a novembro, com picos de velocidade em setembro ( $6,5 \pm 2,0$  m/s), e predominância dos ventos de E (agosto e setembro) e NE (outubro e novembro). Os meses de janeiro a maio apresentaram as menores médias de velocidade, com mínima de  $3,4 \pm 1,6$  m/s em abril de 2011 (MATOS *et. al.*, 2013).

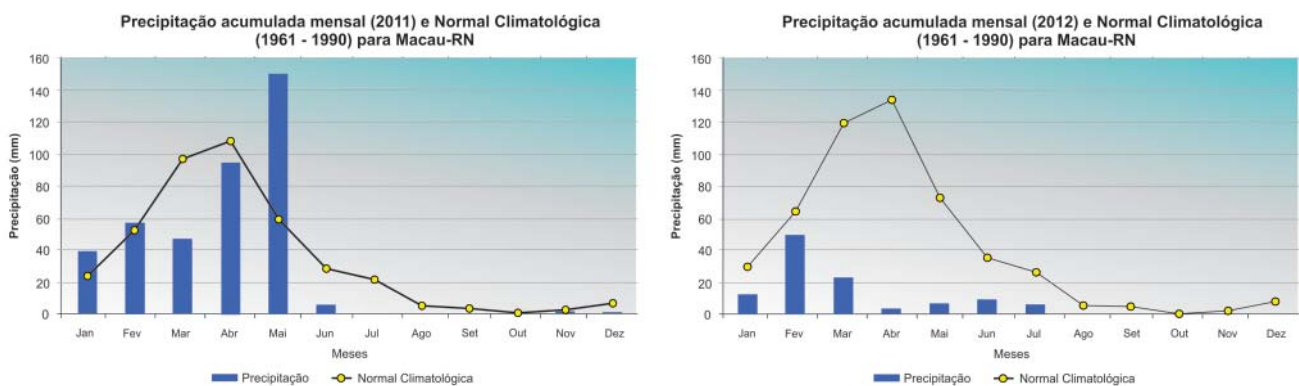


Figura 3 – Precipitação na região de Macau-RN 2009 a 2012 e a Normal Climatológica. Fonte: INMET

<sup>1</sup>Clima semi-árido quente

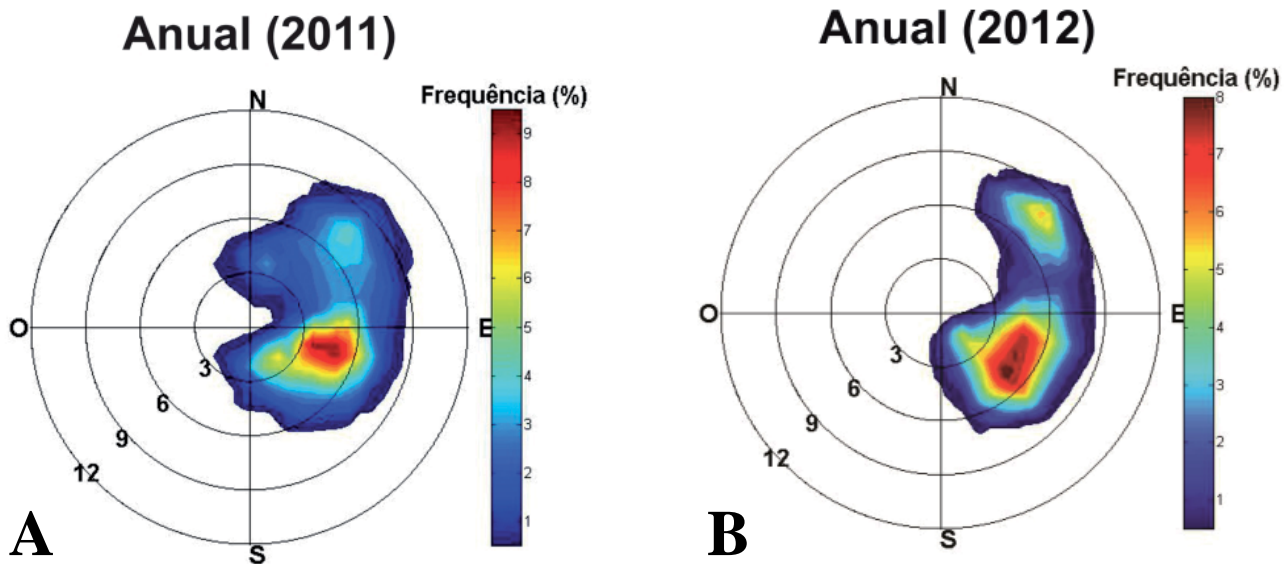


Figura 4 - Espectrogramas polares mostrando o padrão de distribuição dos ventos ao longo dos meses nos anos de 2011 e 2012, da estação meteorológica de Macau-RN A317. Fonte: INMET.

A partir dos dados da estação meteorológica observa-se que, de modo geral, a partir de abril ou maio, os ventos são predominantemente de SE, migrando para E durante agosto e em meados de setembro, migram para NE.

Na área de estudo as ondas são predominantemente nordeste (NE), mas podem variar conforme a morfologia da própria linha de costa. Os processos hidrodinâmicos atuantes são dominados por ondas de energia moderada junto à costa e acompanham as principais direções dos ventos dominantes (NE-E), com alturas de 50 a 118 cm e período entre 4 e 8 segundos (MATOS *et al.*, 2011). Lima *et al.* (2012) mediram ondas de NE com período médio ( $T_p$ ) de 8,05s e altura significativa ( $H_s$ ) de 0,89m, podendo chegar a períodos de 22,85s e 2,2m de altura. De novembro de 2010 a janeiro de 2011, maior coleta contínua de dados efetuado pelos autores, foi observado o período médio de 10,17s, com máximas de 17,29s e mínimo de 4,01s. Esses resultados são consistentes com os apresentados por Matos *et al.* (2013) em modelagens da agitação marítima com o modelo SWAN em que os autores conseguiram modelar o comportamento das ondas a partir dos resultados do modelo de previsão da agitação marítima WAVEWATCH-III, encontrando valores muito semelhantes aos parâmetros obtidos *in situ*. De dezembro de 2010 a fevereiro de 2011, eles observaram ondas com alturas significativas

médias variando de 0,74 m a 1,15 m e períodos médios em torno de 11 segundos.

O regime é de mesomares semidiurnas, com máxima de 2,9 m durante marés de sizígia (preamar) e mínima de 0,43 m durante a maré de quadratura (baixamar), conforme Vital *et al.* (2008). Lima *et al.* (2012) observaram que as correntes de maré vazante são predominantemente de SW com velocidade média de 0,10 m/s, enquanto as correntes de maré enchente são de NW com velocidade média de 0,12 m/s. As maiores velocidades de correntes (até 0,37 m/s) ocorrem durante as marés de sizígia nos meses em que os ventos sopram de NE, certamente influenciando nas maiores intensidades das marés enchentes, que atingem de fevereiro a abril e de setembro a outubro as maiores amplitudes médias (0,94 m), como sugere Lima *et al.* (2012). A corrente litorânea é a responsável pelo transporte de sedimentos em suspensão oriundos do retrabalhamento por ondas dos ambientes litorâneos, importantes nos processos de erosão/acreção das praias arenosas abertas ao continente e nas ilhas barreiras/espórões arenosos.

### 3. Materiais e Métodos

A metodologia baseou-se nas seguintes etapas: (1) levantamento planialtimétrico trimestral da linha de costa e da morfologia interna da ilha barreira; (2)

geração de mapas de linha de costa e modelos digitais de elevação; (3) cálculo das variações sedimentares em área e volume ocorridas durante os intervalos dos levantamentos; e (4) análise e interpretação das variações temporais na representação da dinâmica costeira.

### 3.1 Metodologia Geodésica

Os levantamentos geodésicos foram realizados trimestralmente entre agosto de 2011 e novembro de 2012, levando-se em consideração os parâmetros dinâmicos costeiros, tais como ondas, ventos, correntes e marés. A aquisição de dados foi realizada em duas etapas, como sugere Santos *et al.* (2011): (i) Levantamento da LC, que define o limite externo do modelo, e (ii) levantamento das superfícies que definem a área interna da ilha barreira. No levantamento da linha de costa foram coletados pontos topográficos na interface mar/terra, entendido como o alcance máximo da linha d'água na maré de quadratura em preamar, ou seja, o limite do espraiamento das ondas na face de praia (SOUTO, 2009). No levantamento das superfícies de praia, os pontos planialtimétricos foram obtidos em perfis representativos das feições geomorfológicas encontradas na ilha barreira: face de praia emersa, crista de berma, berma e campos de dunas (BAPTISTA *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2012).

A coleta de dados utilizou o método de posicionamento relativo cinemático do GNSS, no qual dois receptores coletam dados simultaneamente durante determinado intervalo de tempo: um instalado na estação de referência (estação base, de coordenadas geodésicas e altitudes ortométricas conhecidas) e o outro nos pontos de interesse (estações móveis), como estabelece Monico (2008). Como estação de referência foi utilizada a estação EST-00 da RGLS (SANTOS; AMARO, 2011), que permitiu o uso de linhas de base curtas nos posicionamentos, fator essencial na obtenção de alta precisão no método relativo cinemático. Os receptores utilizados foram dos modelos Trimble 5700 na estação de referência e Trimble R3 nas estações móveis. O receptor Trimble 5700 rastreia observações da fase da onda portadora nas frequências L1 e L2, com precisão nominal de 3 mm + 0,5 ppm na horizontal e de 5 mm + 0,5 ppm na vertical, enquanto o receptor Trimble R3 na frequência L1, com precisão nominal horizontal de

5 mm + 1 ppm e vertical de 5 mm + 2 ppm. O aumento na produtividade dos levantamentos e para permitir a modelagem digital de elevação de extensas áreas costeiras em curto intervalo de tempo, o receptor móvel foi acoplado a um quadriciclo motorizado e a coleta foi realizada em intervalos de gravação de 1s.

### 3.2 Processamento dos dados

O processamento de dados consistiu em duas etapas: 1) determinação das coordenadas geodésicas; e 2) determinação das altitudes ortométricas. As coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude geométrica) e os erros padrões dos pontos levantados em campo foram obtidos nos processamentos dos dados GNSS com o programa Topcon Tools V. 7.1. Somente a solução fixa (fixação das ambiguidades como inteiros) foi admitida, com o uso de efemérides precisas e um nível de confiança de 68%, sendo admitidos somente vetores com desvios padrões menores do que 10 cm. As coordenadas foram determinadas diretamente em relação ao sistema SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). As altitudes ortométricas, referenciadas ao nível médio dos mares do SGB, foram obtidas a partir das altitudes geométricas, referenciadas ao elipsóide de revolução adotado no sistema SIRGAS2000. Esse procedimento foi realizado com o uso de aplicativo desenvolvido por Santos *et al.* (2011), que calcula a altitude ortométrica de um ponto de interesse a partir de estação de referência com coordenadas geodésicas e altitude ortométrica conhecida, além do uso do modelo geoidal MAPGEO2004 (IBGE, 2012).

### 3.3 Variações de LC e MDE

A linha de costa foi representada através de mapas com a visualização geral das formas, dimensões e geometria geradas pela união dos pontos geodésicos coletados em campo ao longo da linha limite terra/mar. A geração do mapa de LC foi realizada com auxílio do programa Topograph V. 3.78, da Chair Pointer Tecnologia. Na geração dos MDE foi utilizada a interpolação por triangulação do modelo *Triangulated Irregular Network* (TIN), que consiste em uma estrutura em que pontos cotados com distribuição irregular (ou regular)

são conectados por uma rede de arestas que formam triângulos não-sobrepostos e entre eles os valores são interpolados linearmente. Os pontos foram conectados de acordo com a triangulação de Delaunay, que usa o critério da maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (MATOS, 2005; ZANARDI, 2006; AMARO et al., 2013) utilizando o software ArcGIS V. 9.3 da ESRI.

O cálculo da variação da LC foi realizado por meio de transectos estabelecidos ao longo da costa em distâncias regulares e perpendiculares a uma linha base paralela à LC atual. A subtração entre dois transectos de LC temporalmente diferentes determina se há recuo (valores negativos, portanto erosão) ou avanço (valores positivos, portanto acreção). Os cálculos das variações das LC por transectos foram realizados no modo semiautomático, com auxílio do programa Topograph versão 3.78. As variações do relevo foram calculadas pelo método da álgebra de mapas através da diferença volumétrica entre dois MDE, ou seja, pela subtração entre os mesmos utilizando o ArcGIS V. 9.3 da ESRI.

#### 4. Resultados e Discussão

No processamento de dados GNSS da estação de referência EST-00 da RGLS, que atua no modo relativo estático, foram obtidas as coordenadas geodésicas (9437474,977 mN, 767443,225 mE, -3,415 m em h) e os respectivos erros padrões (1,6 cm em N, 2,8 cm em E, 4,5 cm em h). As coordenadas foram apresentadas no sistema geodésico de referência SIRGAS2000 e no sistema de projeção UTM (MC=-39). Nos levantamentos de LC e superfícies de praia, no modo relativo cinemático, os erros padrões estimados nos processamentos de dados GPS foram de  $0,011 \pm 0,001$  m em N,  $0,022 \pm 0,002$  m em E, e  $0,020 \pm 0,001$  m em h, ou seja, precisão centimétrica. Além da precisão destacou-se a alta densidade e a boa distribuição espacial dos pontos amostrais. Para o mês de novembro de 2011, por exemplo, foram levantadas a área de 866.211,08m<sup>2</sup> e o perímetro de 12.947.19 m com 6.366 pontos amostrais em 02h e 02min, resultando em densidades de 52,18 pontos/minuto ou 73,49 pontos/hectare. A alta produtividade na aquisição de dados foi possível devido à utilização do veículo quadriciclo associado ao posicionamento relati-

vo cinemático com intervalo de gravação de dados de 1s, adequados quanto aos parâmetros utilizados, tais como duração da sessão, comprimento da linha de base, tipo de receptores e método de aquisição e processamento (SEEBER, 1993; MONICO, 2008).

#### 4.1 Variações das LC

A Figura 5 apresenta as variações superficiais da linha de costa da ICC. Para melhor entendimento e análise das variações espaciais, as LC foram comparimentadas nos segmentos: praia exposta no segmento BE, canais de maré nos segmentos AB e EF. A Figura 5A apresenta o mapa de áreas de erosão/acreção/estabilidade, representativas dos trechos de recuo/avanços/estabilidade da LC, respectivamente, acumulados ao longo do período monitorado. A linha de costa da ilha barreira possui forma predominante de arcs côncavos, orientadas aproximadamente na direção EW e com dois trechos de inflexão, a leste e a oeste. A Figura 5B mostra a variação trimestral da linha de costa, importante para o entendimento e reconhecimento dos processos costeiros sazonais ocorridos ao longo do ano, pois permite visualizar temporalmente onde ocorrem com maior e/ou menor intensidade, ao longo da ilha. A Figura 5C apresenta os valores médios das variações de LC em função do intervalo de monitoramento (I1, I2, I3 e I4) e do tipo de segmento costeiro (praia exposta e canal de maré).

Os locais onde houve maior alteração foram o setor oeste, onde há acreção, com depósito de sedimentos carregados pela deriva litorânea, que atua no sentido leste para oeste, e no setor leste da ilha, onde o canal é modificado constantemente pela ação das forçantes de maré enchente e vazante. Nota-se que no terceiro intervalo de monitoramento (fevereiro a maio) houve uma grande alteração (pico marcado no gráfico) em forma de erosão, justamente porque todo o segmento EF no setor leste da ilha barreira foi totalmente erodido. As resultantes mostram um recuo nas praias expostas por conta da alta energia das ondas que nesse intervalo mobilizaram sedimentos nas LC das praias expostas e, provavelmente, os colocaram em suspensão, o que permitiu que a corrente de deriva litorânea transportasse os sedimentos de leste para oeste.



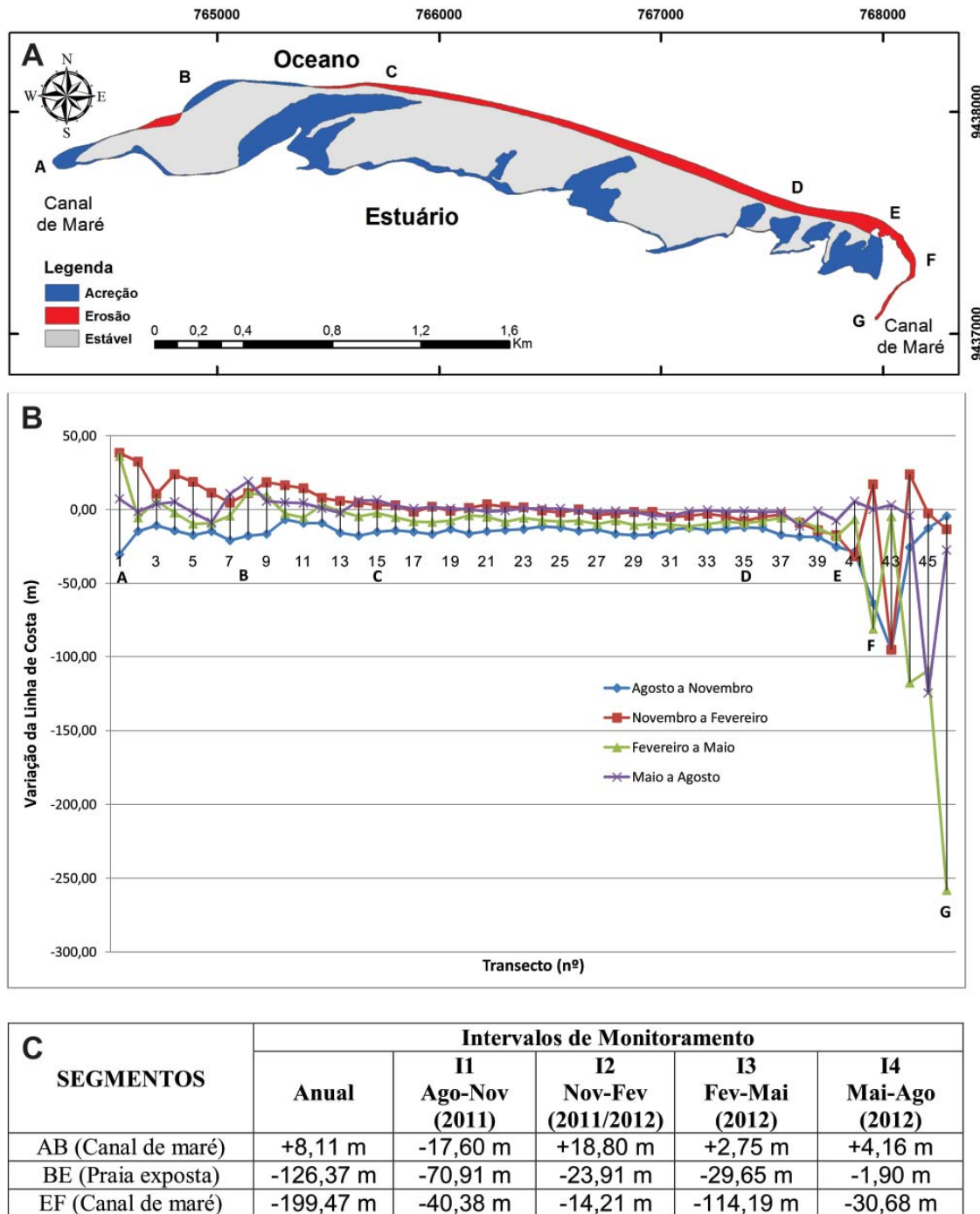


Figura 5 - Dinâmica costeira trimestral da Ilha de Corta Cachorro ao longo do ano de monitoramento (Agosto/2011 a Agosto/2012): A) Mapa de erosão/acreção /estabilidade acumulados ao longo do ano; B) Variações da linha de costa nos quatro intervalos trimestrais de monitoramento; C) Valores médios das variações de linha de costa em função do intervalo de monitoramento e do tipo de segmento costeiro. O setor Norte (ponto A ao G) é parte do canal de maré e praia exposta enquanto o setor Sul (ponto G ao A) é o estuário do canal de maré.

A Figura 6 mostra o resultado da erosão na linha de costa da ilha barreira de Corta Cachorro com fotografias das feições em campo que exibem a escarpa

em berma (Figura 6A) que desaparece no levantamento subsequente (Figura 6B), confirmando com os resultados visualizados nas Figuras 4A, 4B e 4C.



Figura 6 - Mudança da morfologia da praia exposta e variação da LC durante o período de monitoramento. As escarpas em berma da Figura 6a não existem na Figura 6b.

#### 4.2 Variações dos MDE

A Figura 7 representa o MDE da ICC, com curvas de nível em equidistância de 0,5 m. O relevo da área é relativamente plano, com a maioria das altitudes concentradas entre 1,0 e 3,0 m, ou seja, amplitudes de 2,0 m (76,9 % das altitudes tiveram valores entre 1,0 e 3,0 m, 2,3 % inferiores a 1,0 m e 22,2 % superiores a 3,0 m). No trecho analisado nota-se um padrão na distribuição do relevo que variou principalmente em função do grau de exposição das LC às ondas de mar aberto. A margem norte (praia exposta às ondas de mar aberto) apresentou as maiores altitudes, enquanto a margem sul (estuário abrigado) as menores altitudes. Nas praias expostas, esse

padrão de relevo ocorreu porque as ondas de alta energia ocorridas no período do levantamento avançaram em direção ao continente, erodiram a praia e atingiram feições morfológicas que antes eram do pós-praia, como a berma e as dunas frontais. No entanto, nas áreas estuarinas, a ausência das ondas de mar aberto provocou pouca variação horizontal nas LC e criou um ambiente com altitudes mais baixas. O modelo permitiu a identificação das principais feições morfológicas típicas de zonas de praia, tais como os perfis planos horizontais e inclinados da face de praia emersa, as bermas, as cristas de bermas, as dunas frontais, depressões e elevações, além de feições morfológicas em erosão.

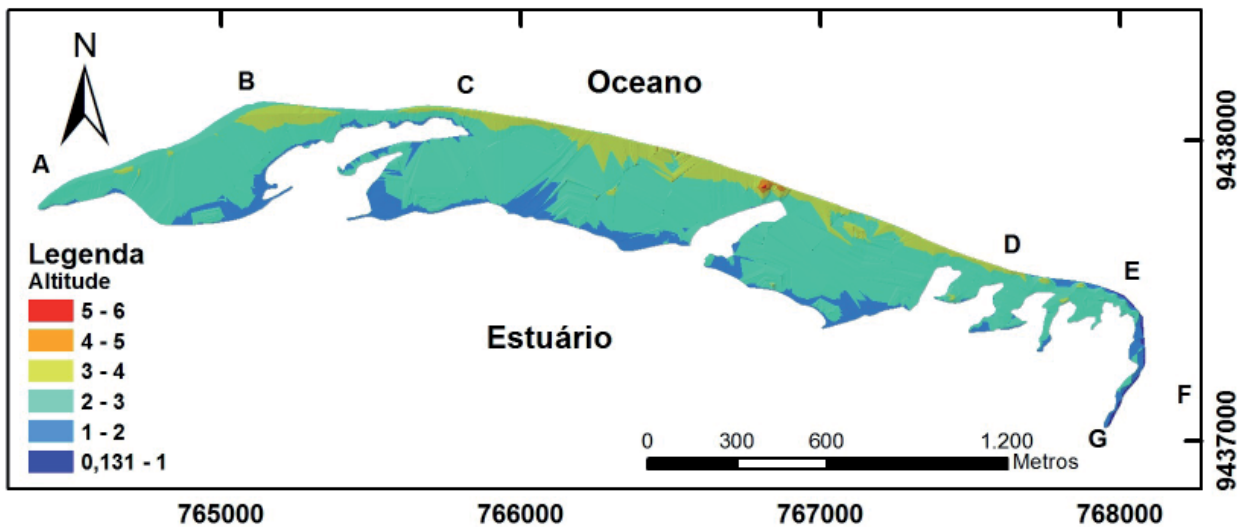


Figura 7 - Modelo Digital de Elevação (MDE) da ICC para o mês de Novembro de 2011.

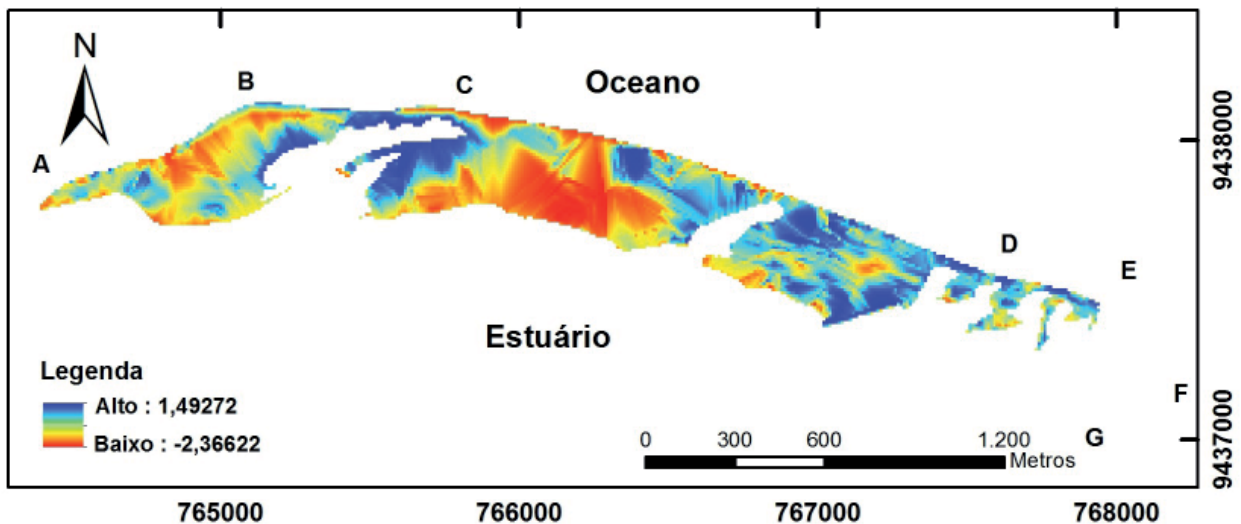


Figura 8 - Variação volumétrica entre os MDE de Novembro/2011 e Novembro/2012 da ICC. As zonas em vermelho indicam erosão e em azul acreção.

A Figura 8 apresenta a variação volumétrica ocorrida na ICC para o intervalo trimestral de monitoramento entre novembro de 2011 e novembro de 2012. As seguintes convenções foram utilizadas: valores negativos representam perda altimétrica (erosão) e valores positivos representam ganhos altimétricos (acreção). Assim, no decorrer do período de monitoramento houve acúmulo de sedimentos na região central da ilha barreira, principalmente no setor sul, promovido pelo transporte eólico, como também houve acúmulo na porção oeste da ilha barreira, ocasionando pela deriva

litorânea que carrega os sedimentos de leste para oeste. Na porção leste da ilha houve perda excessiva de sedimentos tanto no interior como ao longo da linha de costa e região do estuário, conforme a Figura 9. Esta indica que de novembro de 2011 a fevereiro de 2012 há uma grande queda no volume de sedimentos da ilha barreira, continuando a remoção até meados de maio de 2012, retomando o acúmulo de agosto a novembro de 2012, mas mesmo assim ainda abaixo do volume inicialmente medido.

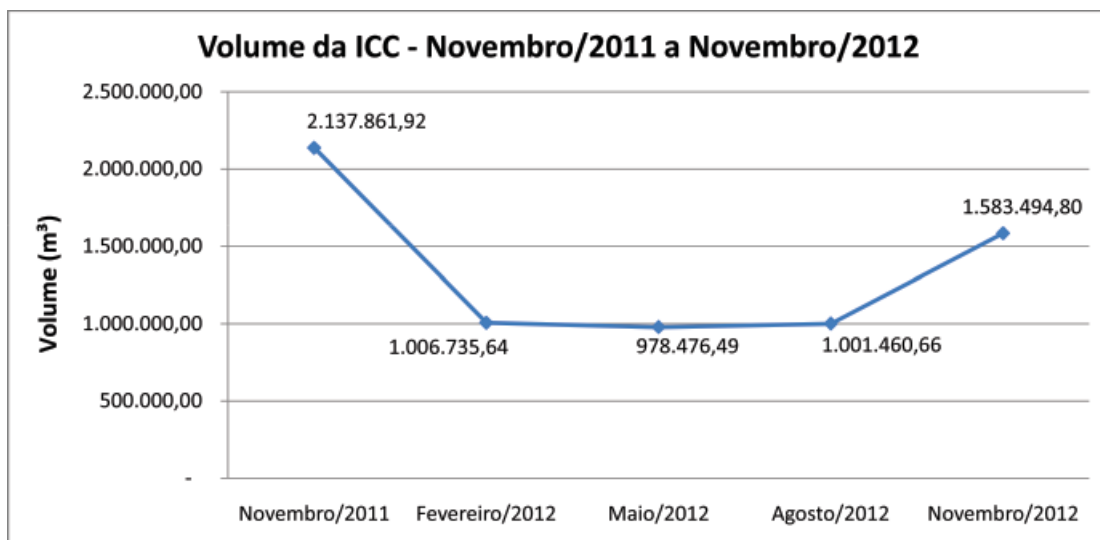


Figura 9 - Volume em m³ para o período de monitoramento: Novembro/2011 a Novembro/2012 indicando inicialmente a erosão volumétrica e a acreção a partir de Agosto/2012.

A Figura 10 exibe, através de fotografias tomadas à época dos levantamentos, as mudanças morfológicas ocorridas na ICC. Na Figura 10A a escarpa de berma com cerca de 1,0 m de altura e na Figura 10B, no le-

vantamento subsequente, a berma possui cerca de 50 cm de altura. Estas fotos foram tomadas na região do ponto C indicadas na Figura 7a, que mostra a erosão ocorrida na LC naquele setor.



Figura 10 - Evidências das mudanças morfológicas ocorrida na ICC.

#### 4.3 Balanço sedimentar

A partir dos mapas de erosão/acreção obtiveram-se os quantitativos das variações volumétricas no intervalo monitorado, representado através do fluxograma que mostra os valores de acreção e/ou erosão, permitindo o cálculo e análise do balanço sedimentar. O balanço em cada intervalo é a soma dos volumes de erosão e acreção, considerando o sinal da variação. O balanço global é a soma dos volumes em todos os intervalos de monitoramento. A Figura 11 ilustra o fluxograma do balanço volumétrico da ICC.

Na análise do avanço e recuo da LC tem-se um balanço positivo de +176.013 m<sup>3</sup>. Porém o balanço sedimentar volumétrico para o mesmo período é negativo com -554.367 m<sup>3</sup>. Isto implica que apesar do ganho em área a ilha sofreu erosão.

#### 4.4 Influência das forças meteoceanográficas

A intensa dinâmica costeira, que promove a erosão/acreção sedimentar na área de estudo, é responsável pela modificação morfológica de curto prazo na ICC, o que interfere nas atividades antrópicas localizadas na zona de praia, principalmente nas áreas dos campos petrolíferos de Macau e Serra. Lima *et al.* (2012) realizaram estudo de caso sobre a influência das forças

meteoceanográficas sobre a morfodinâmica na região, observando as mudanças ocorridas no pós-praia (berma) e face de praia da ICC correlacionando estas mudanças à velocidade dos ventos, precipitação e direção/velocidade das correntes de maré para o período de estudo (novembro de 2011 a agosto de 2012), visualizadas na Figura 12. Em novembro de 2011, a face da praia é caracterizada pela presença da berma com uma inclinação suave e a crista da berma bem acentuada. Em fevereiro de 2012, em decorrência da atuação dos ventos de NE e incidências das ondas, ocorre maior transporte de sedimentos na direção paralela e transversal à costa, tornando a berma mais suave com ausência da crista e na face da praia a inclinação mais ascendente. Para o mês de maio de 2012, o comportamento da praia é muito diferente do que se observou no mês de novembro de 2011, com o desaparecimento da berma.

Para o período estudado, a velocidade média dos ventos foi de 4,8 m/s, variando entre NE, E e SE e com maiores médias entre agosto e novembro (período de menor precipitação), enquanto as menores velocidades ocorrem entre janeiro e maio (período de maior precipitação). Nesta ilha barreira, os sedimentos são acumulados nas porções mais próximas do estuário (Figura 8). Quando há predominância dos ventos de SE, os sedimentos são carregados para o oceano com auxílio da

## Balanço Sedimentar Volumétrico

### Corta Cachorro

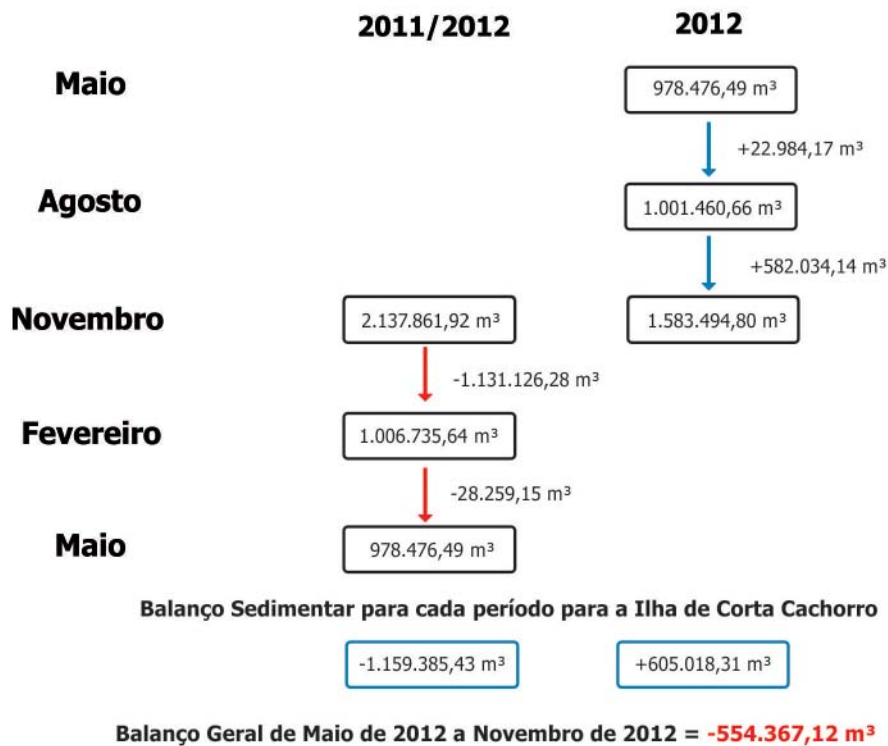


Figura 11 - Fluxograma indicativo do balanço sedimentar volumétrico para a Ilha de Corta Cachorro nos quatro intervalos trimestrais de monitoramento (Novembro-2011/Novembro/2012), indicando quanto houve de erosão e acreção.



Figura 12 - Mudanças na morfologia da zona de praia na Ilha do Corta Cachorro em decorrência da atuação das forças hidrodinâmicas e meteoceanográficas durante o período de novembro de 2011 a maio de 2012.

deriva litorânea, favorecendo a acreção neste setor. Em algumas porções da ilha ocorre a transposição das ondas, carreando os sedimentos para sul. A combinação desses processos fez com que a ICC migrasse cerca de 120 m para sul e crescesse cerca de 535m para oeste entre 2011 e 2012 (Figura 5A e Figura 12C). Em novembro de 2011, observou-se bermas acentuadas, devido à incidência de

ondas. Em maio de 2012, as bermas desapareceram, tornando a face de praia mais inclinada.

Santos; Amaro (2011) definiram períodos de mapeamento de acordo com o entendimento de ciclos de construção e destruição das praias (Figura 13), associadas à sazonalidade dos componentes meteoceanográficos (precipitação, direção e intensidade dos ventos,

marés e deriva litorânea). A partir deste entendimento foi definido que o intervalo construtivo é de fevereiro a agosto, devido à combinação de período chuvoso, ventos brandos de SE e marés de baixa energia que corroboram para a deposição de sedimentos ao longo das praias e ilhas barreiras. De agosto a fevereiro há um intervalo destrutivo com a erosão intensa ao longo da

costa devido aos fatores de período seco, com ventos fortes de ENE que, alinhados às marés com direção NE amplificam a erosão, fazendo com que os sedimentos da LC sejam retirados pela ação das ondas e transportados pela corrente de deriva litorânea e/ou depositados ao sul das praias e ilhas barreiras, por conta da transposição das ondas.



Figura 13 - Intervalos de monitoramento e padrão de dinâmica sedimentar da área de estudo, de acordo com informações obtidas em Souto (2009) e Nascimento (2009) e aplicado por Santos (2011). Intervalo construtivo de fevereiro a agosto e intervalo destrutivo de Agosto a novembro. Os intervalos construtivos são característicos de ventos (SE) e ondas (NE) de baixa energia e os destrutivos de ventos (ENE) e ondas (NE) de alta energia. Fonte: Adaptado de Santos; Amaro (2012).

Na análise da evolução morfológica da ICC nota-se que os levantamentos se iniciaram em pleno período destrutivo (novembro de 2011) e nos levantamentos subsequentes constata-se uma intensa erosão, inclusive no mês de maio de 2012 (Figura 7). Esta erosão não corrobora com o ciclo definido por Santo; Amaro (2011), pois 2011 foi um ano em que predominaram os efeitos meteoclimatológicos decorrentes de *La Niña* (Figura 14), com período chuvoso de janeiro a maio (Figura 3A), e em 2012 ocorre maior influência do fenômeno *El Niño* (Figura 14), com período seco durante todo o ano. Contudo, a partir de agosto de 2012 há uma inversão deste ciclo com um incremento do volume de sedimentos (Figura 9), inclusive em novembro de 2012, contrariando o ciclo dos intervalos de monitoramento que deveria ter um aumento ainda maior da erosão por conta do *El Niño* (Figura 14). Assim, em ano de domínio de *La Niña*, que contribuiria para um acúmulo de

sedimentos, ocorre alta taxa de erosão e no período de *El Niño*, com seca intensa e baixo aporte sedimentar, há ganho de sedimentos.

Muito provavelmente a explicação para esta inversão se dá pela intervenção realizada na Praia de Minhoto, a leste a ICC, por ação da indústria petrolífera no lançamento de emissários marítimos para ampliação da Refinaria Clara Camarão, no Município de Guamaré, a partir de julho de 2012. A intervenção revolveu intensamente setores da praia e do fundo submarino favorecendo o carreamento de sedimentos suspensos na coluna d'água pela corrente de deriva de leste para oeste, ampliando a deposição nas ilhas barreiras do Fernandez, da Ponta do Tubarão, na praia de Soledade e na ICC, alterando o cenário esperado de erosão costeira.

Outros fatores podem ainda corroborar, como a combinação de ventos e ondas para cada período de estação chuvosa e seca (Quadro 1, Figura 3), para o

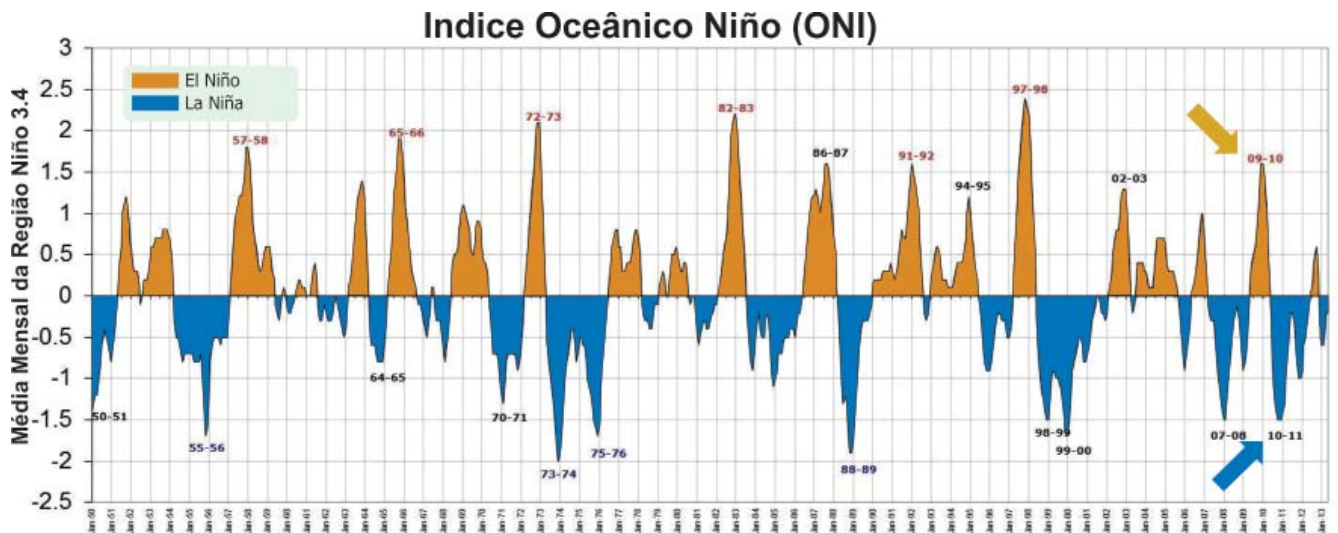


Figura 14 - Influência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña no controle da precipitação na região de Macau-RN. Secas (2010 e 2012) estão associadas à anomalia de aquecimento, enquanto os períodos chuvosos (2009 e 2011) relacionam-se ao resfriamento das águas do Pacífico. Fonte: NOAA.

**Quadro 1 - Compilação dos períodos de atuação de ventos e ondas durante as estações associadas aos ciclos de construção e destruição.**

Número	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Estação	Seca				Chuvas				Seca			
Ventos	ESE			SE			E		ENE			
Ondas	Direção NE - Nordeste											
Intervalo	D	Construtivo						Destrutivo				

cenário de destruição devido à quantidade reduzida de sedimentos disponíveis na área, pois com baixa precipitação há menor disponibilidade de sedimentos carreados pelos rios para a plataforma continental, alterando a morfologia e a dinâmica da zona costeira com o aumento do processo erosivo.

**5. Conclusões**

Este trabalho apresentou a análise multitemporal da morfodinâmica sazonal da ICC instalada em setor costeiro de alta sensibilidade ambiental e sob a influência de atividades antrópicas, dentre elas a da indústria petrolífera. Os métodos envolveram o uso de técnicas geodésicas de mapeamento de precisão aos problemas da dinâmica costeira de curto prazo, com levantamentos planialtimétricos de LC e MDE, coletados trimestralmente entre novembro de 2011 a novembro de 2012.

A análise dos resultados permitiu identificar as variações das LC em áreas de recuo e deposição, permitindo o entendimento sobre a orientação do transporte sedimentar e a análise do balanço sedimentar. Os resultados mostram que a ICC teve um balanço planimétrico positivo com 176.013m<sup>2</sup> de acreção, mas o balanço volumétrico foi negativo em -554.367m<sup>3</sup> de erosão. Isso implica que, apesar do ganho de área, a ICC sofre intensa erosão.

A intensa dinâmica costeira na região, controlada por forçantes meteoceanográficas (ventos, ondas, correntes, marés e chuvas) modifica a morfologia costeira e controla o processo de migração das ilhas barreiras em curto prazo, fatores estes que interferem nas atividades industriais localizadas na zona de praia, tais como as atividades nos campos petrolíferos de Serra e Macau.

O estudo da ICC é relevante para entendimento

da dinâmica costeira da região e pela importância deste na preservação de estuários e manguezais. As ilhas barreiras e esporões arenosos atuam como barreira natural às ações das ondas e correntes de deriva sobre as praias continentais abrigadas, canais de marés e manguezais de grande importância na manutenção do equilíbrio ecossistêmico, como local favorável ao desenvolvimento de fauna e flora, propiciando a atividade pesqueira artesanal.

De qualquer forma é necessário ampliação do tempo de acompanhamento das modificações morfológicas da ICC e do conjunto de praias e ilhas barreiras da região para que se melhore o entendimento da dinâmica costeira relacionada à erosão, acreção e transporte de sedimentos, associados a coleta *in situ* de dados oceanográficos, batimétricos e meteorológicos em séries longas, que cubram as variações sazonais ao longo do ano, comparando os dados às informações prévias.

### Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada com recursos da Rede Cooperativa Norte-Nordeste de Pesquisa em “Monitoramento Ambiental de Áreas sob a Influência da Indústria Petrolífera” REDE 05 - PETROMAR (CTPETRO – FINEP/PETROBRAS/CNPq) nos subprojetos MOLECO e CRONALOG. As atividades foram desenvolvidas com o apoio logístico do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia da UFRN (GEOPRO/DG/UFRN). Nossos agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo (PPGCEP/UFRN) e ao IFMA pela concessão de Bolsa de Doutorado (PROQUALIS) ao primeiro autor.

### Referências

AMARO, V. E. ; SANTOS, A. L. S. ; SCUDELARI, A. C. ; COSTA, B. C. P. **Use of terrestrial - LiDAR for quantifying morphological changes in Ponta Negra Beach, Natal City, Northeast Brazil.** In: CoastGIS 2013 Conference: Monitoring and Adapting to Change on the Coast, Victoria, BC, Canada. CoastGIS 2013 Conference: Monitoring and Adapting to Change on the Coast, v. 1. p. 5-9. 2013.

AMARO, V.E.; ARAÚJO, A. B. 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 da Gestão Costeira Integrada**, v. 8 n. 2, p. 77-100, 2008.

AMARO, V.E.; SANTOS, M.S. T.; SOUTO, M.V.S. **Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão.** 1ª Ed. Natal, Edição dos Autores, 118p. 2012.

BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; CUNHA, T.; BERNARDES, C.; DIAS, J.A.; Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS – A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models. **Journal of Coastal Research**, v. 24, n.6, p.1516-1528, 2008.

CHAVES, M.S. **Dinâmica costeira dos campos petrolíferos Macau/Serra, Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte.** 2005. 135f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal. 2005.

DAVIS Jr, R.A. Barrier Island systems – A geologic overview. In: Davis Jr, R. (Ed.). **Geology of Holocene Barrier Island Systems.** Springer-Verlag, chap 1, p. 1-46. 1994.

FONSECA, V.P. **Estudo morfo-neotectônico na área do baixo curso do Rio Açu (Assu-Macau), Rio Grande do Norte.** 1996. 109f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG, Belo Horizonte. 1996.

FRANCO, C.G.M.; AMARO, V.E.; SOUTO, M.V.S. Prognóstico da erosão costeira no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. **Revista de Geologia (Fortaleza)**, v. 25, p. 37-54, 2012.

GRIGIO, A.M.; SOUTO, M.V.S.; CASTRO, A.F.; AMARO, V.E.; Vital, H.; DIODATO, M.A. Method of analysis of the coastline evolution based in remote sensing and geographical information system products: Guamaré District Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 42, n.2, p.412- 421, 2005.

HAYES, M. O. Barrier Island morphology as a function of tidal and wave regime. In: Leatherman, S.P. Barrier Islands. **Academic Press**, New York, p. 1-29. 1979

HUANG, J. D.; JACKSON, D.W.T.; COOPER, J. A.G. Morphological Monitoring of a High Energy Beach System Using GPS and Total Station Techniques, Runkerry, Co. Antrim, Northern Ireland. **Journal of Coastal Research**, No. 36, pp. 390-398, ISSN 0749-0208. (DOI: 10211/08-1108.1). 2002.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Informações obtidas da página do IBGE na internet:** Disponível em <www.ibge.gov.br> Acesso: 01 janeiro 2012.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN. In: **Informativo Municipal – Macau.** Natal/RN, v. 05, p;1-14. 1998.



- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Base de dados**. Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br) acesso em: out 2012.
- LIMA, F.G.F.; MATOS, M.F.A.; AMARO, V.E. **Contribuição para os Estudos Sobre Influência das Forçantes Meteoceanográficas na Morfodinâmica Costeira do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte – Brasil**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9, 2012, Rio de Janeiro, RJ, Anais... Rio de Janeiro, RJ (CD-ROM). 2012.
- MATOS, A.C.O.C. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul**. 2005. 335f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.
- MATOS, M. F. A.; AMARO, V. E. Oscillatory Coastal Wave and Currents Profile in the Northern Continental Shelf of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil. In: **International Geoscience Programme**, 5, 2011, Sidney. Abstract. Sidney: UNESCO/IUGS/Project 526, 8p, 2011.
- MATOS, M.F.A.; FORTES, C.J.E.M.; AMARO, V.E.; SCUDELARI, A.C. Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 3, p. 289-299, 2013.
- MILLS, J.P.; BUCKLEY, S.J.; MITCHELL, H.L.; CLARKE, P.J.; EDWARDS, S.J. A geomatics data integration technique for coastal change monitoring. **Earth Surface and Landforms**, 30, 651-664. (DOI: 10.1002/esp.1165) 2005.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, p.477, 2008.
- NASCIMENTO, M.C. **A erosão costeira e sua influência sobre a atividade petrolífera: alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais**. 2009. 229f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, Natal. 2009.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro, 2ª Ed., 442p. 1989.
- ROCHA, C.P.; ARAUJO, T.C.M.; MENDONÇA, F.J.B. Methodology for Shoreline location using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Brazilian Northeast. **Journal of Coastal Research**, Jul 2009, v. 25, n. 4, p. 1052-1058, 2009.
- SANTOS, A. L. S. **Monitoramento da morfologia Costeira em setores da bacia potiguar sob a influência da indústria petrolífera utilizando geodésia de precisão e laser escâner terrestre**. 2014. 150f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2014.
- SANTOS, A. L. S.; AMARO, V.E. ; SANTOS, M.S.T.; FERREIRA, A.T.S. **Varição da Linha de Costa no Litoral Setentrional do RN através de levantamentos GNSS e análise multitemporal**. In: SIMPOSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9º SINAGEO, Rio de Janeiro. 2012a.
- SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E. Rede Geodésica para o Levantamento Costeiro do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 4, p. 571-585, 2011.
- SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E.; SILVA FERREIRA, A.T.; SANTOS, A.L.S. Mapeamento de Precisão da Dinâmica Costeira de Curta Duração em Áreas de Alta Taxa de Erosão no Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia**, v. 25, HIDROSEMA-UFRN, p. 7-19, 2012b.
- SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E.; SOUTO, M. V. S. Metodologia geodésica para levantamento de Linha de Costa e Modelagem Digital de Elevação de praias arenosas em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. **Revista Brasileira de Cartografia** (Impresso), v. 63, p. 663-681, 2011.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, method and applications**. Walter de Gruyter, N. York, p.531, 1993.
- SOUTO, M.V.S. **Análise da Evolução Costeira do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Região Sob Influência da Indústria Petrolífera**. 2009. 177f. Tese (Doutorado em Geofísica e Geodinâmica). Programa de Pós-graduação de Geofísica e Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. 2009.
- SOUTO, M.V.S.; CASTRO, A.F.; GRIGIO, A.M.; AMARO, V.E.; VITAL, H. **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*, v.39, p.1618-1621, 2004.
- SOUTO, M.V.S.; GRIGIO, A.M.; CASTRO, A.F.; AMARO, V.E. 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**, Special

- Issue (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC - Brazil), Estados Unidos, v. 39, p. 1618-1621. 2006.
- TANAJURA, E.L.X. **Investigações quanto aos parâmetros que influenciam no processamento de dados GPS visando a geração do MDT do esporão arenoso da Ilha do Mel.** 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.
- VITAL, H.; AMARO, V.E. SILVEIRA, I.M. Coastal erosion on the Rio Grande do Norte State (Northeastern Brazil): Causes and factor versus effects associated Processes. **Journal of Coastal Research**, SI39:1307-1310. 2006.
- VITAL, H.; LIMA, Z.M.C.; SILVEIRA, I.M.; AMARO, V.E.; SOUTO, M.V.S. **Barrier-spit system from the northern Rio Grande do Norte State Coast, NE Brazil: A tectonic control?** Proceedings of the 3th Latin American Sedimentology Congress (Belém, PA), p.313-315. 2003.
- VITAL, H.; NETO, F. S.; PLÁCIDO Junior, J. S. Morfodinâmica de um canal de maré tropical: estudo de caso na costa Norte Rio-Grandense, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada** 8 (2): 113-126. 2008.
- WOODROFFE, C. D. **Coasts, process and evolution.** Cambridge University Press. London, 623p. 2003.
- ZANARDI, R.P. **Geração de Modelo Digital de Terreno a Partir de Par Estereoscópico do Sensor CCD do Satélite CBERS-2 e Controle de Qualidade das Informações Altimétricas.** 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2006.