

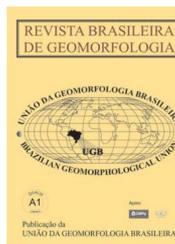


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, n° 4 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i4.814>



MODELAGENS DE CLIMA DE ONDAS E TRANSPORTE SEDIMENTAR UTILIZANDO O SMC-BRASIL: APLICAÇÕES PARA A PRAIA DO FORTE, LITORAL NORTE DO ESTADO DA BAHIA

MODELLING WAVE CLIMATE AND SEDIMENT TRANSPORT USING THE SMC-BRASIL: APPLICATIONS FOR THE PRAIA DO FORTE, NORTH COAST OF THE STATE OF BAHIA

Iracema Reimão Silva

*Departamento de Oceanografia, Universidade Federal da Bahia
Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Salvador, Bahia. CEP: 40.170-020. Brasil
Email: iracema@pq.cnpq.br*

Júnia Kacelenbogen Guimarães

*Departamento de Geografia, Universidade Federal da Bahia
Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Salvador, Bahia. CEP: 40.170-020. Brasil
Email: jkg@ufba.br*

Abílio Carlos da Silva Pinto Bittencourt

*Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia
Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Salvador, Bahia. CEP: 40.170-020. Brasil
Email: abilio@pq.cnpq.br*

Tais Kalil Rodrigues

*Departamento de Geografia, Universidade Federal da Sergipe
Av. Marechal Rondon, s/n, São Cristóvão, Sergipe. CEP 49100-000. Brasil
Email: tkalilr@yahoo.com.br*

Gerson Fernandino de Andrade Neto

*Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia
Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Salvador, Bahia. CEP: 40.170-020. Brasil
Email: gerson.fernandino@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
13/03/2016
Aceito (Accepted):
30/09/2016

Palavras-chave:

Transporte Sedimentar; Erosão
Costeira; Cota de Inundação.

Resumo:

A vulnerabilidade dos ambientes costeiros, muitas vezes ampliada por atividades antropogênicas, e a possibilidade de alterações climáticas, com uma maior incidência de eventos climáticos extremos, tornam cada vez mais necessários estudos e ferramentas que ajudem no entendimento sobre o balanço sedimentar e as variações no comportamento da linha de costa. Neste sentido, o Sistema de Modelagem Costeiro (SMC-Brasil) executa diferentes modelos numéricos, que permitem realizar análises em curto, médio e longo prazo de uma praia, contribuindo para estudos e planos de gestão litorâneos. Esta pesquisa teve como

Keywords:

Sediment Transport; Coastal Erosion; Inundation Level.

objetivo compreender a dinâmica litorânea da Praia do Forte – litoral norte do estado da Bahia – utilizando o SMC-Brasil, e avaliar a sua vulnerabilidade a eventos oceanográficos extremos. A análise estatística de ondas para a área de estudo, em termos de condições médias e extremas, realizada para águas

intermediárias, indicou um predomínio das ondas vindas de ESE, com altura significativa de 1,3m e de 2,6m para condições de tempestade, com período de pico de 7s e 10s, respectivamente. A partir deste ponto foi realizada a modelagem do clima de ondas em águas rasas, analisado em três pontos ao longo do litoral da Praia do Forte, indicando predominância das ondas de SE e SSE, com alturas, para situações de meia maré, variando de 0,5 a 1,2m. O transporte de sedimentos, calculado em três perfis perpendiculares à linha de costa, associados a cada um dos pontos, indicou uma zona de convergência entre a Praia do Castelo (Ponto 1) e a Praia do Eco Resort (Ponto 2) e um aumento na magnitude do transporte nesta última (Ponto 2), de quase oito vezes em relação à Praia do Porto (Ponto 3), tornando essa região mais vulnerável a processos erosivos. A estimativa da cota de inundação, considerando o nível de base igual a zero, com períodos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos, indicou em geral, níveis entre 2,5 e 3,0m para os perfis 1 e 2 e entre 2,0 e 2,5m para o perfil 3. A combinação de eventos de tempestades com marés meteorológicas positivas, marés astronômicas de sizígia e valores extremos de espraiamento de onda, pode resultar em situações de alto risco para ecossistemas e propriedades, com grandes impactos para o litoral estudado, que atualmente já apresenta erosão costeira em suas praias.

Abstract:

The natural vulnerability of coastal environments, often increased by human activities, and the possibility of climate changes that could lead to higher incidence of extreme climatic events, make studies and tools that help understanding the sedimentary balance and the variations in the behavior of the coastline increasingly necessary. In this sense, the Coastal Modeling System (SMC-Brasil) processes different numerical models, which allow analyses in short-, medium- and long-terms on beaches, contributing to coastal studies and management plans. The present study had the objective of understanding the coastal dynamics of Praia do Forte beach, using the software SMC-Brasil, and evaluating its vulnerability to extreme oceanographic events. The statistical analysis of waves for the study area, regarding mean and extreme conditions, performed for intermediate waters, indicated a predominance of waves from ESE, with mean wave heights of 1.3 m, and 2.6 m for storm conditions, with periods of 7 s and 10 s, respectively. Wave climate in shallow waters was modelled in three points along the coast. Waves from SE and SSE predominated, with heights, for mid-tide situations, ranging from 0.5 to 1.2 m. Sediment transport, calculated in three profiles perpendicular to the coast, associated with each point, indicated a convergence zone between the Castelo beach (Point 1) and the Eco Resort beach (Point 2) and a higher magnitude of transport in point 2, making this area more vulnerable to erosive processes. The estimate of inundation level, based on the analysis of extreme values by annual maximum, with return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 200 years, indicated, in general, levels between 2.5 and 3.0 m for profiles 1 and 2 and between 2.0 and 2.5 m for profile 3. The combination of storm events with positive meteorological tides, astronomical spring tides and extreme run-up values, can result in high-risk situations for ecosystems and properties, with great impacts on the studied coast, which currently presents high vulnerability to coastal erosion.

1. Introdução

As alterações da paisagem costeira motivadas, em geral, por uma demanda turística cada vez maior (CORIOLANO, 2006), e os empreendimentos realizados ao longo do litoral, em geral, não levam em conta os processos costeiros atuantes na área, a sua evolução e dinâmica, e as limitações impostas pelas variações na configuração

da linha de costa. Além disso, algumas características geomorfológicas e hidrodinâmicas das praias podem representar uma alta vulnerabilidade a riscos naturais (CALLIARI *et al.*, 2010), associados, por exemplo, a eventos extremos. Assim, é essencial o conhecimento dessas características, bem como a elaboração de modelos preditivos quanto às repercussões desses eventos ao longo da linha de costa.

A definição do clima de ondas permite a identificação das variações no nível de energia das ondas e de seu poder de ataque ao longo de uma linha de costa. As ondas apresentam um maior poder erosivo onde ocorrem com maiores alturas e uma menor capacidade erosional nos locais onde há uma diminuição na energia das mesmas e, portanto, menores alturas (BITTENCOURT *et al.*, 2010). Assim, é de grande relevância a avaliação da distribuição de energia das ondas ao longo da costa, já que estas são as principais responsáveis pelo transporte de sedimentos litorâneos e pelos processos erosivos e de acumulação (GRIGGS; TRENHAILE, 1994). Essa distribuição está, fundamentalmente, relacionada ao processo de refração, que constitui o principal mecanismo controlador das mudanças na altura das ondas ao longo da costa (SILVA *et al.*, 2007). Adicionalmente, processos de difração ao longo de estruturas, como, por exemplo, os recifes de corais e afloramentos do embasamento cristalino, também contribuem para alterações nas alturas das ondas ao longo da costa. Ademais, deve-se considerar que as variações na configuração da linha de costa, sua evolução e dinâmica, dependem também das condições de marés e correntes costeiras. Considerando também as condições morfológicas locais e o nível de uso e urbanização do litoral, conhecimentos sobre o balanço sedimentar e as variações no comportamento da linha de costa são essenciais na elaboração de planos de gestão, visando o uso adequado da região costeira (SILVA *et al.*, 2003).

Estes estudos tornam-se cada vez mais necessários frente às incertezas relacionadas às mudanças climáticas. A possibilidade de alterações climáticas, com uma maior incidência de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007; DOUGLAS; PERTIER, 2002; TRONIS, 2004; WALSH *et al.*, 2004; MARENGO, 2008; DINIZ; RESENDE, 2014), ainda que não seja um consenso científico (OLIVEIRA; VECCHIA, 2009; CASAGRANDE *et al.*, 2011; MOLION, 2008; MIRANDA; ARAÚJO, 2014), pode representar uma grave ameaça ambiental e social, especialmente para os municípios litorâneos. Segundo ZEE *et al.* (2012), esses eventos climáticos representam as forças com maior poder de destruição da zona costeira e, de acordo com o IPCC (2007), alguns desses eventos têm aumentado significativamente em frequência e magnitude nos últimos 50 anos, provocando importantes mudanças na climatologia das tempestades, da agitação marítima e das marés meteorológicas.

Além disso, mudanças climáticas na escala de tempo de décadas ou séculos podem produzir mudanças ecológicas significativas (DOMINGUEZ; BITTENCOURT,

1994) e, neste caso, comprometer inclusive as funções ecológicas de diversos ecossistemas costeiros, gerando graves impactos à vida humana e ao meio ambiente. Um exemplo disso é a intrusão de água salgada em águas superficiais e subterrâneas e o declínio de marismas e manguezais (NICHOLS; CAZENAVE, 2010).

A vulnerabilidade do litoral brasileiro aos eventos naturais é agravada pelo seu padrão de ocupação e pela falta de planejamento territorial na maior parte de suas cidades costeiras (RIBEIRO, 2008). Segundo PEREIRA e COELHO (2013), a presença de pessoas ou bens em ambientes vulneráveis pode gerar situação de risco à vida ou às propriedades, evidenciando a dimensão social destes eventos naturais (EGLER, 1996).

No Brasil, a indisponibilidade de dados estatísticos de ondas e correntes, em séries temporais longas e contínuas, dificulta as análises dos aspectos morfodinâmicos das praias (ALMEIDA *et al.*, 2015). Para a análise estatística de ondas, o SMC (IH-CANTÁBRIA, 2013a) disponibiliza um banco de dados denominado *Downscaled Ocean Waves (DOW)*, referentes a uma série temporal de 1948 a 2008, obtida por meio de modelagem numérica com o programa *Wave Watch III (WWIII)*, utilizando a reanálise atmosférica do *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)* (IH-CANTÁBRIA, 2013a). Posteriormente, foi realizada uma validação preliminar utilizando dados de satélite e boias ao longo do litoral brasileiro (IH-CANTÁBRIA, 2013a). As séries de estados de mar, armazenadas no banco de dados do programa SMC são as condições de contorno de modelos de propagação de ondas (também incluídos no SMC), os quais permitem a propagação dessas séries até os pontos localizados na costa, e deste modo, a definição em cada ponto de um clima de ondas (CAMUS *et al.*, 2013).

Esta pesquisa teve como objetivo compreender a dinâmica litorânea da Praia do Fortee avaliar a sua vulnerabilidade a erosão costeira, utilizando o Sistema de Modelagem Costeiro (SMC-Brasil).

1.1 Sistema de Modelagem Costeiro (SMC-Brasil)

O Sistema de Modelagem Costeira (IH-CANTÁBRIA, 2013a), desenvolvido pelos pesquisadores do IH-Cantábria para o Ministério de Meio Ambiente Espanhol, é uma ferramenta que inclui um conjunto de metodologias e modelos numéricos, que permitem estudar os processos costeiros e quantificar as variações que sofre o litoral como consequência de eventos naturais ou

de atuações humanas na costa (GIOC, 2003).

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC) é estruturado em módulos:

- (i) O módulo Pré-Processo é o módulo que permite caracterizar e processar informações de entrada para os diferentes modelos numéricos;
- (ii) O módulo ACORDES (Análisis a corto plazo de playas) contém as ferramentas numéricas que permitem analisar a morfodinâmica de um sistema costeiro, em uma escala espaço-temporal de curto prazo;
- (iii) O módulo ARPA (Análisis a largo plazo de playas) permite analisar a morfodinâmica de praias em uma escala espaço-temporal de médio e longo prazo;
- (iv) O módulo de Modelagem de Terreno permite modificar os contornos do fundo (batimetria) e laterais (estruturas), o qual é fundamental para avaliar diferentes cenários de um projeto de engenharia;
- (v) O módulo TIC (Tutor de Engenharia de Costas) apresenta o apoio teórico, conceitual e de informação básica para os diferentes modelos numéricos do sistema (GONZÁLEZ *et al.*, 2007).

Posteriormente, esse sistema foi adaptado e transferido para a administração pública brasileira através do projeto intitulado “Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro”. A versão brasileira inclui novos desenvolvimentos, graças aos avanços científicos na engenharia costeira e aos avanços informáticos nos últimos anos que permitiram criar uma versão mais avançada e prática. O SMC-Brasil 3.0 é composto por duas ferramentas numéricas, o SMC e o SMC-TOOLS.

- O SMC-TOOLS permite acessar o módulo IH-DATA, que inclui as bases de dados das cartas náuticas do litoral brasileiro (imagens, dados de batimetrias no formato XYZ), dados de ondas (com série de 60 anos, de 1948 a 2008) e dados de nível do mar (maré astronômica e meteorológica). Esses dados estimados das características dos estados de agitação e nível do mar, chamados de dados *Global Ocean Waves* (GOW), são resultado do processo de reanálise que consiste na simulação numérica das condições das ondas durante um longo período sobre a superfície dos oceanos do planeta utilizando como forçante a circulação atmosférica global (ventos e campos de pressão). Dentro desta ferramenta (SMC-TOOLS), os dados de ondas podem ser caracterizados através de uma análise estatística de suas variáveis ambientais, a partir do módulo IH-AMEVA. Também é possível

avaliar o transporte de sedimentos e fluxo médio de energia e a cota de inundação utilizando o módulo IH-DYNAMICS.

- O SMC reúne uma série de modelos numéricos que permitem analisar a estabilidade de uma praia e inclui dois módulos: o módulo de análise de curto prazo de praia (ACORDES), formado pelos programas MOPLA e PETRA e o módulo de análise de médio e longo prazo da praia (ARPA), formado pelo modelo de praia em equilíbrio.

O programa MOPLA, utilizado no presente estudo, permite simular no litoral a propagação das ondas (agitação) desde profundidades indefinidas até à linha de costa. Calcula também as correntes induzidas na zona de rebentação e simula a evolução morfodinâmica de uma praia. No que diz respeito à propagação das ondas é possível simular a propagação desde grandes profundidades até à linha de costa incluindo os efeitos da refração, empolamento, difração e dissipação por quebra ou espraçamento. Quanto às correntes, o módulo MOPLA permite caracterizar a sua circulação em praias e determinar o campo de correntes para o cálculo do transporte de sedimentos. No âmbito da evolução morfológica de uma praia, o programa calcula o transporte inicial de sedimentos devido às ondas e às correntes, determina zonas de sedimentação e erosão de uma praia, e prevê a evolução bidimensional e horizontal de uma praia quando submetida a um qualquer evento de ondas. O módulo MOPLA é constituído pelos modelos OLUCA (modelo parabólico de propagação de ondas), o modelo COPLA (modelo de correntes em praias induzidas pela quebra de ondas), e o modelo EROS (modelo de erosão-acreção e de evolução da batimetria em praias)(GIOC, 2003).

Apesar de ser uma ferramenta recente, alguns estudos já validaram o SMC-Brasil em trechos do litoral brasileiro. Um dos estudos piloto do SMC-Brasil foi desenvolvido por Luca (2011), testando esta ferramenta numérica e seu banco de dados para a Praia de Massaguaçu, litoral de São Paulo. Almeida (2013) aplicou esta ferramenta para estudar a dinâmica litorânea e a evolução da zona costeira da Praia de Piçarras, no litoral de Santa Catarina. Rodriguez (2014) utilizou o SMC-Brasil para modelar o clima de ondas e o transporte sedimentar das praias de Aracaju. No litoral do Rio Grande do Norte, na Praia de Ponta Negra, Almeida *et al.* (2015) aplicaram o SMC-Brasil para a modelagem do clima de ondas local, contribuindo para a gestão e planejamento de uso desta

praia. Desta forma, a atual pesquisa representa uma oportunidade de testar e aplicar o SMC-Brasil para a Praia do Forte, um dos trechos de maior demanda turística do litoral da Bahia.

Este artigo está estruturado em três capítulos, além desta introdução. O próximo capítulo descreve a área de estudo, em seguida são apresentados e discutidos os principais resultados das características observadas em campo na praia estudada, da análise estatística de ondas e marés, do clima de ondas em águas rasas, do transporte sedimentar e da cota de inundação. Posteriormente são apresentadas as conclusões, que resumem os principais

resultados encontrados, e as referências bibliográficas citadas no texto.

2. Área de Estudo

A localidade de Praia do Forte, com cerca de 8 km de extensão, está inserida no município de Mata de São João, no Litoral Norte do Estado da Bahia (Figura 1), distando aproximadamente 70 km a Nordeste de Salvador. Esse trecho costeiro representa um importante destino turístico, especialmente por suas características ecológicas, paisagísticas e culturais (Foto 1).

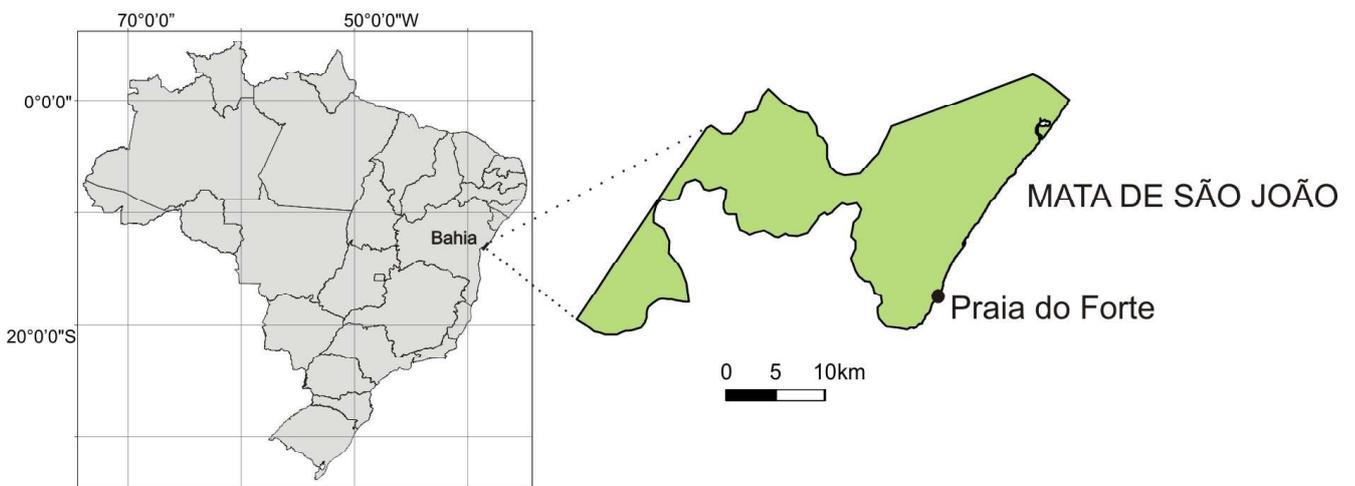


Figura 1 - Localização da Praia do Forte no município de Mata de São João, Litoral Norte da Bahia.



Foto 1 - Praia do Forte, onde normalmente se concentra o maior número de usuários.

A área de estudo está delimitada, na sua parte mais interna, por depósitos semiconsolidados da Formação Barreiras (MARTIN *et al.*, 1980a), de idade miocênica (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999). Na planície costeira são encontrados depósitos quaternários representados fundamentalmente por terraços marinhos arenosos pleistocênicos e holocênicos, dunas frontais e manguezais, bem como bancos de

arenitos de praia (Foto 2) (MARTIN *et al.*, 1980b) (Figura 2). Além disso, são também encontrados na área de estudo bancos de recifes de coral com topos horizontais em duas situações: a) adjacentes à praia, em águas muito rasas, que ficam descobertos na baixa mar (Foto 3) (Figura 2) e b) distantes da praia, cerca de 1 a 3 km, em profundidades de 5 a 20m (KIKUCHI; LEÃO, 1998).

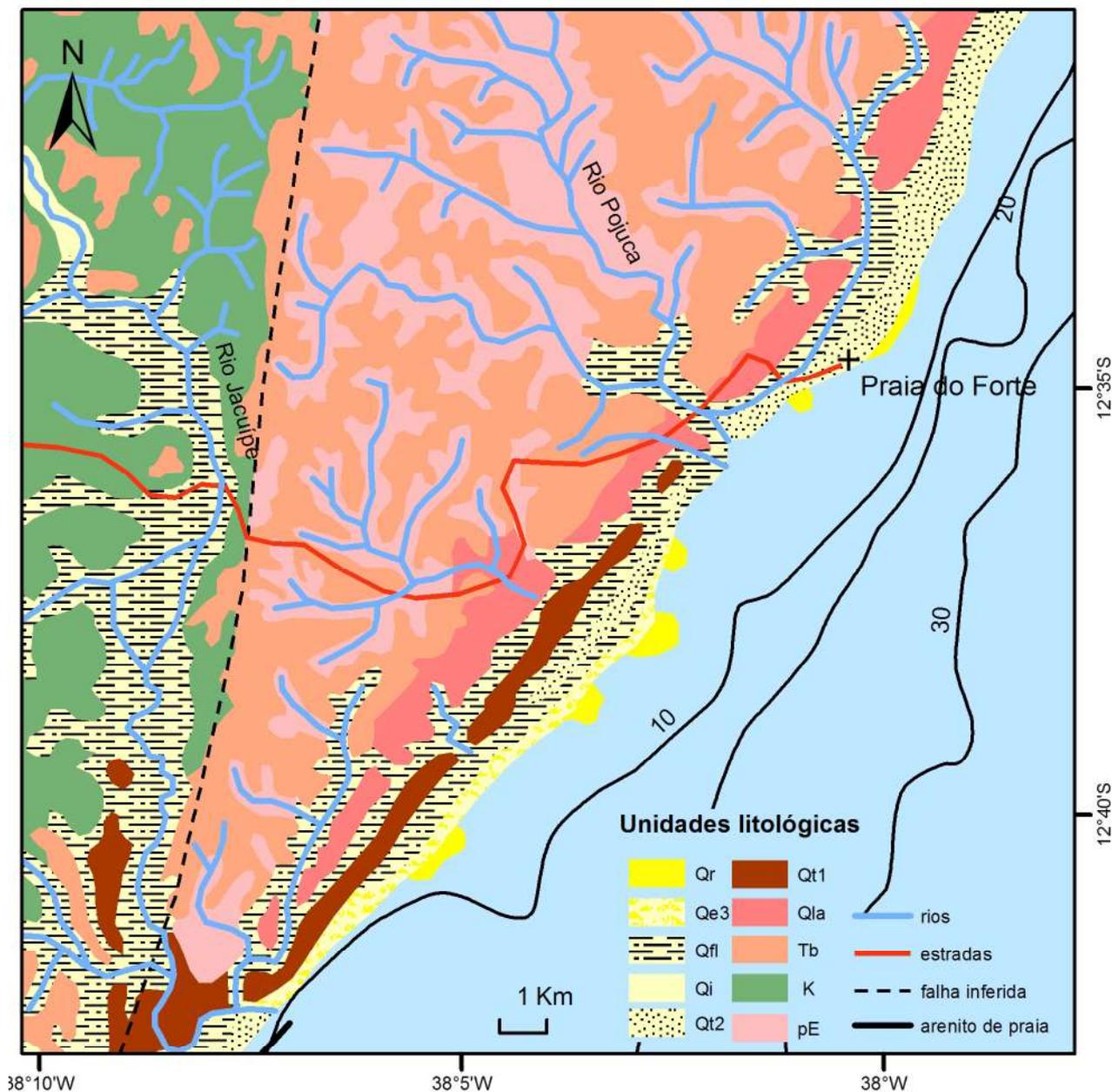


Figura 2 - Principais unidades geológicas encontradas na área de estudo: Qi - Quaternário indiferenciado; Qe3 - Dunas litorâneas atuais; Qfl - Depósitos flúvio-lagunares; Qt2 - Areias litorâneas, bem selecionadas, com conchas marinhas e tubos fósseis de Callianassa (Holoceno); Qr - recifes de corais e algas coralinas; Qt1 - Areias litorâneas, bem selecionadas, com tubos fósseis de Callianassa (Pleistoceno); Qla - Depósitos de leques aluviais coalescentes; Tb - Formação Barreiras (Plioceno); K - Sedimentos continentais (Mesozóico); pE - Complexo cristalino (Pré-Cambriano). (Fonte: MARTIN *et al.*, 1980b).



Foto 2 - Afloramento de bancos de arenito.



Foto 3 - Bancos de recifes de corais adjacentes à praia.

A Praia do Fortelocaliza-se no contexto de uma Zona de Proteção Rigorosa da Área de Proteção Ambiental do Litoral Norte do Estado da Bahia em que, associado ao ecossistema praiial, ocorrem áreas de preservação de mata atlântica, além do parque histórico do Castelo do Forte Garcia D'Ávila, contribuindo para aumentar a demanda turística para essa região durante todo o ano.

Sob o gerenciamento da Fundação Garcia D'Ávila, são abrigados diversos projetos de preservação ambiental, como o Projeto Tamar, Projeto Baleia Jubarte, Reserva Ecológica Sapiranga e outros projetos de conservação do patrimônio natural, histórico e cultural, considerados como um modelo de desenvolvimento turístico sustentável. Por outro lado, é importante destacar que o intenso

uso de suas praias e a presença de construções na linha de costa geram significativos impactos, como erosão costeira (através do favorecimento da reflexão das ondas nas construções fixas e o impedimento do livre recuo da faixa arenosa), retirada de vegetação, impermeabilização dos terraços arenosos, dentre outros, comprometendo a qualidade ambiental deste trecho costeiro (SILVA *et al.*, 2012).

Além dos seus atrativos naturais, culturais e históricos, a grande demanda turística dessa região é ainda mais favorecida por dois grandes resorts a beira-mar – Tivoli Eco Resort e Iberostar Praia do Forte. Contudo, a erosão costeira tem sido uma importante restrição ao uso recreacional de suas praias, especialmente durante os períodos de maré alta (SILVA *et al.*, 2012). As construções fixas impedem o livre recuo da faixa arenosa e, onde não há um suprimento suficiente de sedimentos, a praia recreativa desaparece durante a maré alta. Desta forma, o processo de erosão costeira, em vários trechos da Praia do Forte, diminui a capacidade de acomodação dos usuários e a qualidade recreacional desta praia.

Assim, esta pesquisa se justifica pela necessidade de compreender a dinâmica sedimentar e o processo de erosão costeira que ocorre na Praia do Forte, gerando dados que subsidiem os planos de gestão e uso desta praia, na tentativa de evitar o comprometimento de novos trechos do litoral e minimizar os impactos nos trechos já afetados pela erosão.

3. Materiais e Métodos

Foram realizados levantamentos de campo ao longo da linha de costa em períodos de inverno e verão, com o objetivo de observar indicadores de erosão (escarpas erosivas, coqueiros caídos ou com raízes expostas, danos a construções, dentre outros), características morfodinâmicas da face da praia (declividade, largura e granulometria do sedimento) e a presença de estruturas naturais e antropogênicas na antepraia, pós-praia e face da praia.

A modelagem de ondas utilizou a base de dados batimétricos obtida a partir do módulo IH-DATA do SMC-TOOLS, um dos módulos do SMC-Brasil, que utiliza dados batimétricos fornecidos pelas cartas náuticas brasileiras (IH-CANTÁBRIA, 2013a).

A análise estatística de ondas para a área de estudo, em termos de condições médias e extremas, foi realizada para o ponto de latitude -12.615°S (607605m) e longitude -37.972°W (8605225m), com cota batimétrica

de $19,1\text{m}$, utilizando o módulo AMEVA do SMC-Brasil. Assim, foram analisadas e representadas graficamente as formações sobre alturas de ondas, maré meteorológica (sobre-elevação do nível do mar causado por agentes meteorológicos como vento e pressão atmosférica), maré astronômica, períodos de pico e direções de ondas.

A partir do programa MOPLA do SMC-Brasil foram realizados a propagação de ondas e o transporte de sedimentos em três pontos na zona de surfe, localizados ao longo da praia do Forte (P1: $12^{\circ}35'13,3''\text{S}/38^{\circ}01'10,4''\text{W}$; P2: $12^{\circ}34'55''\text{S}/38^{\circ}00'41''\text{W}$; P3: $12^{\circ}34'51''\text{S}/38^{\circ}00'14,6''\text{W}$), aos quais foram associados perfis perpendiculares à costa, para a avaliação do ponto de quebra das ondas e da evolução da arrebentação. Estes três pontos foram escolhidos pela sua localização geográfica, em aberturas ou canais entre os bancos de recifes de coral, e por se tratar de locais com alta vulnerabilidade à erosão costeira, especialmente os pontos 2 e 3.

A partir do pré-processo de modelagem foram identificadas as frentes-de-onda de ocorrência mais frequente para a região, sendo então criadas duas malhas para a propagação de ondas vindas dos quadrantes de leste (E) e de sudeste (SE), com espaçamento de $25 \times 25\text{m}$. Ainda a partir do programa MOPLA foram realizadas as propagações destas frentes-de-onda até a linha de costa, sendo considerados 9 casos de propagação, em situações de meia maré (valor médio de oscilação), com situações de altura significativa e direção média de ondas de ocorrência mais comum (de acordo com a série histórica considerada) em águas intermediárias, passando pelo ponto escolhido. Para o cálculo do transporte foram considerados os seguintes parâmetros: tamanho médio do sedimento ($D50 = 0,2\text{mm}$), peso específico do sedimento ($Rho-s = 2650 \text{kg/m}^3$) e porosidade do sedimento ($n = 0,4$).

Para o cálculo do sentido do transporte efetivo para cada perfil foi considerada a média anual de toda a série temporal de ondas (1948 a 2008), com base no Coastal Engineering Research Center (CERC, 1984), calculado pelo módulo MOPLA do SMC-Brasil.

Para o cálculo da cota de inundação, o programa utiliza, além da já mencionada série temporal de ondas, duas outras séries temporais, também disponibilizadas, para o mesmo período de anos e com a mesma resolução temporal: as séries de maré astronômica e de maré meteorológica. A série de maré astronômica foi obtida a partir das constantes harmônicas retiradas do modelo global de marés TPXO da Universidade de Oregon (IH-CANTÁ-

BRIA, 2013b). A série de maré meteorológica foi obtida através de simulação numérica com base em campos de pressão atmosférica e ventos (IH-CANTÁBRIA, 2013b). A cota de inundação é obtida pelo somatório das marés astronômica e meteorológica (que representam o nível do mar no qual se propagam as ondas) com o espraioamento, considerando para este cálculo tanto a altura da onda como o perfil da praia estudada (IHCANTÁBRIA, 2013a). A partir do cálculo da cota de inundação para toda a série temporal, calculou-se o período de retorno dos valores máximos anuais de cota de inundação, utilizando a curva de distribuição de probabilidade GEV (*Generalized Extreme Values*) (IHCANTÁBRIA, 2013a). Essa curva representa a distribuição de probabilidade aplicada aos valores extremos (valores máximos anuais) para cada ano da série temporal estudada.

4. Resultados e Discussões

4.1 Características gerais da praia

A partir dos levantamentos em campo, foram encontradas larguras da face da praia variando de 4 a 10m, durante períodos de maré baixa, e declividades entre 5

e 8°. A granulometria do sedimento praial está na faixa de areia média e é comum a presença de sedimentos de origem bioclástica e de algas ao longo das praias.

No trecho conhecido como Praia do Castelo – em referência à sua proximidade com o Castelo Garcia D’Avila – no limite sul entre Praia do Forte e Imbassaí (Figura 3), não foi observado nenhum indicativo de erosão costeira. Esse trecho está localizado entre duas pequenas desembocaduras fluviais e não apresenta características de déficit de sedimentos. A partir deste trecho, na praia adjacente ao Tivoli Eco Resort, conhecida localmente como Praia do Eco Resort, por cerca de 600m não foram observadas evidências de erosão costeira, contudo, a partir daí a linha de costa faz inflexão para leste (direção aproximadamente leste-oeste)(Figura 3) e apresenta escarpa erosiva (Foto 4) e ausência de praia arenosa durante os períodos de maré alta. Seguindo para norte existe uma pequena enseada, conhecida como Praia do Porto, sem evidências de erosão. A partir daí, nas proximidades da sede do Projeto Tamar, as construções estão localizadas muito próximas à linha de costa, ainda na zona de pós-praia, e sofrem intensamente os processos erosivos (Foto 5).



Figura 3 - Localização dos principais trechos sob erosão no litoral da Praia do Forte.



Foto 4 - Escarpa erosiva na Praia do Eco Resort, localidade de Praia do Forte.



Foto 5 - Sacos de areia para contenção da erosão na sede do Projeto Tamar, ao norte da Praia do Porto, localidade de Praia do Forte.

4.2 Estatística de Ondas e Marés

A partir das análises estatísticas geradas com o SMC-Brasil, para o ponto escolhido, com cota de 19,1m, é possível observar que as ondas provenientes de ESE e as de SE representam, respectivamente, 72% e 28% das ondas incidentes neste ponto (Tabela 1). A

Tabela 1 apresenta também os parâmetros de altura de onda significativa e período de pico para as ondas em condições medianas e de tempestade.

A altura de onda significativa em condições de tempestade para as ondas de ESE foi de 2,56m e, para as de SE, de 2,63m. Para as condições medianas, a altura

de onda significativa foi de 1,33m para ondas provenientes de ESE e de 1,41m para ondas provenientes de SE (Tabela 1).

O valor máximo para o período de pico para as condições de tempestade foram de 10,52s para ondas de tempestade provenientes de ESE e de 12,08s para ondas de SE. Para as condições medianas, o período de pico foi de 7,16s e de 6,83s, respectivamente, para ondas provenientes de ESE e SE (Tabela 1).

O regime de marés na região é do tipo mesomare-semi-diurna, com duas marés altas e duas baixas a cada dia. A modelagem feita com o SMC mostrou, como era esperado, que o regime de oscilação do nível do mar

é principalmente governado pela maré astronômica, com oscilações (para condições de meia maré) entre $\pm 1,25$ m, enquanto que as marés meteorológicas oscilam entre $\pm 0,2$ m.

Para a região da Praia do Forte, na cota batimétrica de 19,1m, com um período de retorno de 10 anos, por exemplo, a altura de onda significativa é de 2,9m (Figura 4), com um período de pico de, aproximadamente, 13,5 s (Figura 5). Para este mesmo período de retorno, os valores das marés meteorológica (MM)(Figura 6) e astronômica (MA)(Figura 7) se manteriam praticamente iguais às médias estimadas, com 0,20e 1,25m, respectivamente.

Tabela 1: Caracterização das estatísticas de ondas do ponto P1: altura de onda significativa (Hs50%); o período de pico para as condições medianas (Tp50%); altura de onda em condições de tempestade (Hs12) e períodos de pico para as condições de tempestade (Tp12).

Direção	Probalidade (%)	Hs50% (m)	Tp50% (s)	Hs12 (m)	Tp12 (s)
E	0,09	1,03	7,14	1,53	8,77
ESE	72	1,33	7,16	2,56	10,52
SE	28	1,41	6,83	2,63	12,08
SSE	0,01	1,09	7,80	1,41	10,82

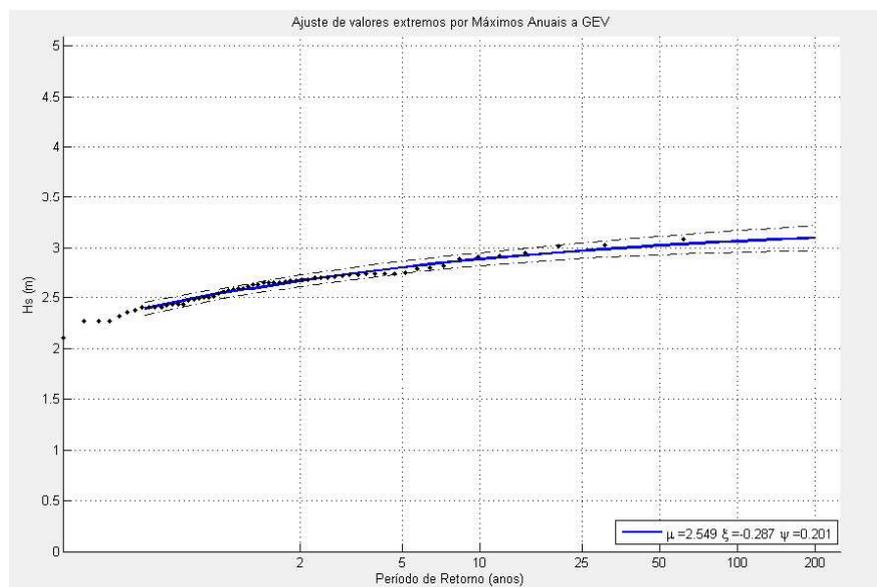


Figura 4 - Valores extremos das alturas de ondas significativas com período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos na região marinha da Praia do Forte. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno das alturas de ondas. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

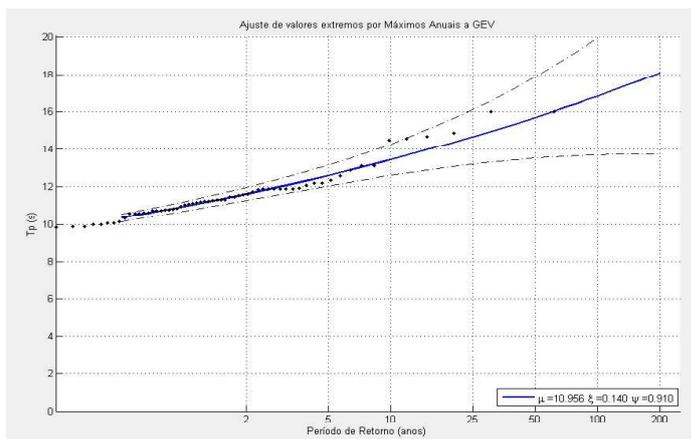


Figura 5 - Valores extremos dos períodos de ondas de pico com período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos na região marinha da Praia do Forte. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno dos períodos de ondas. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

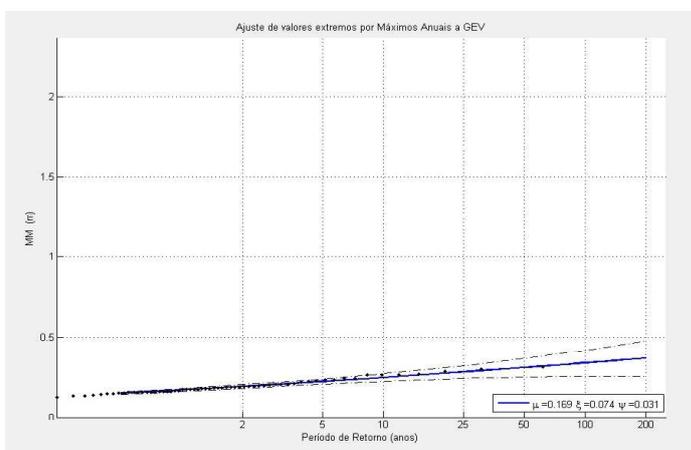


Figura 6 - Valores extremos das marés meteorológicas com período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos na região marinha da Praia do Forte. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno das marés meteorológicas. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

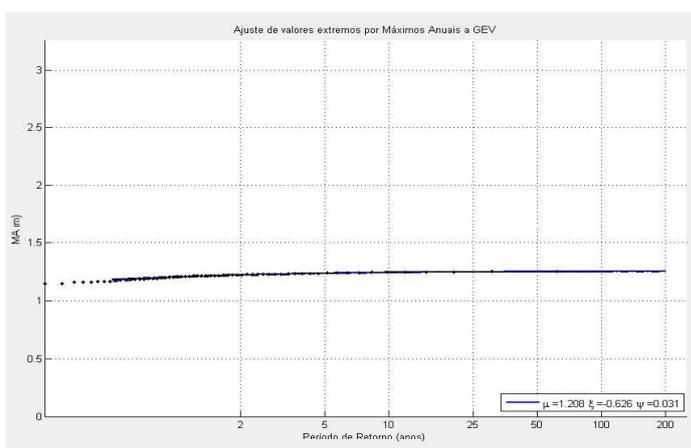


Figura 7 - Valores extremos das marés astronômicas com período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos na região marinha da Praia do Forte. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno das marés astronômicas. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

4.3 Clima de Ondas em pontos selecionados ao longo do litoral

A propagação das ondas em águas rasas considerou nove casos, com situações de altura significativa, períodos de pico e direção média de ondas de ocorrência mais comum (de acordo com a série histórica considerada) (Tabela 2), passando pelo ponto escolhido, com cota de 19,1m, em duas malhas, para ondas vindas de E e SE.

Foram selecionados 3 pontos ao longo do litoral estudado (Figura 8) para a avaliação do clima de ondas em águas rasas, em condições médias e de tempestade. De acordo com os resultados encontrados (Tabela 3), os pontos 1 e 3 apresentaram direção de propagação das ondas predominantemente de sudeste, com probabilidade de ocorrência de 99% e 98%, respectivamente. Já no

ponto 2, a direção predominante foi de sul-sudeste, com 60% de probabilidade de ocorrência, com as ondas de sudeste apresentando um percentual de 39%. Nos pontos 1 e 3 as alturas de ondas significativas apresentaram valores de 0,77 e 0,52m, para condições medianas, e de 0,86 e 0,64 m, para condições de tempestade, respectivamente (Tabela 3). No ponto 2 as alturas foram de 0,99 e 1,05m, para condições medianas, e de 1,1 e 1,2m, para condições de tempestade. O fluxo médio de energia também foi maior no ponto 2, em relação aos demais. As condições de tempestade foram definidas a partir do método *Generalized Extreme Values (GEV)* – um tipo de distribuição de probabilidade contínua desenvolvida dentro da teoria do valor extremo (PINHEIRO, 2013) – considerando valores máximos anuais para a série de dados analisada (1948 a 2008).

Tabela 2: Alturas de onda significativas, períodos de pico e direção média de ondas na cota batimétrica de 19,1m em cada caso modelado

Casos	Alturas significativas e direções médias na cota de 19,1m		
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)
1	1,36	8,65	104,6
2	2,61	10,02	117,3
3	3,12	8,83	122,1
4	3,46	10,38	122,6
5	2,54	9,16	138,1
6	1,56	7,07	139,3
7	2,51	6,38	143,7
8	1,65	5,96	150,9
9	1,78	5,79	160,2

Tabela 3: Localização, cota batimétrica, fluxo de energia, alturas significativas (medianas e de tempestade), direção média e probabilidade de ondas para os 03 pontos escolhidos ao longo do litoral da Praia do Forte.

Pontos	Cota batimétrica (m)	Fluxo médio de energia [J/(ms)]	Direção média e probabilidade das ondas	Hs50% (m)	Hs12 (m)
01	1,63	2860,66	SE 99%	0,77	0,86
02	2,52	6189,83	SE 39% SSE 60%	0,99 1,05	1,1 1,2
03	1,33	1271,95	SE 98%	0,52	0,64

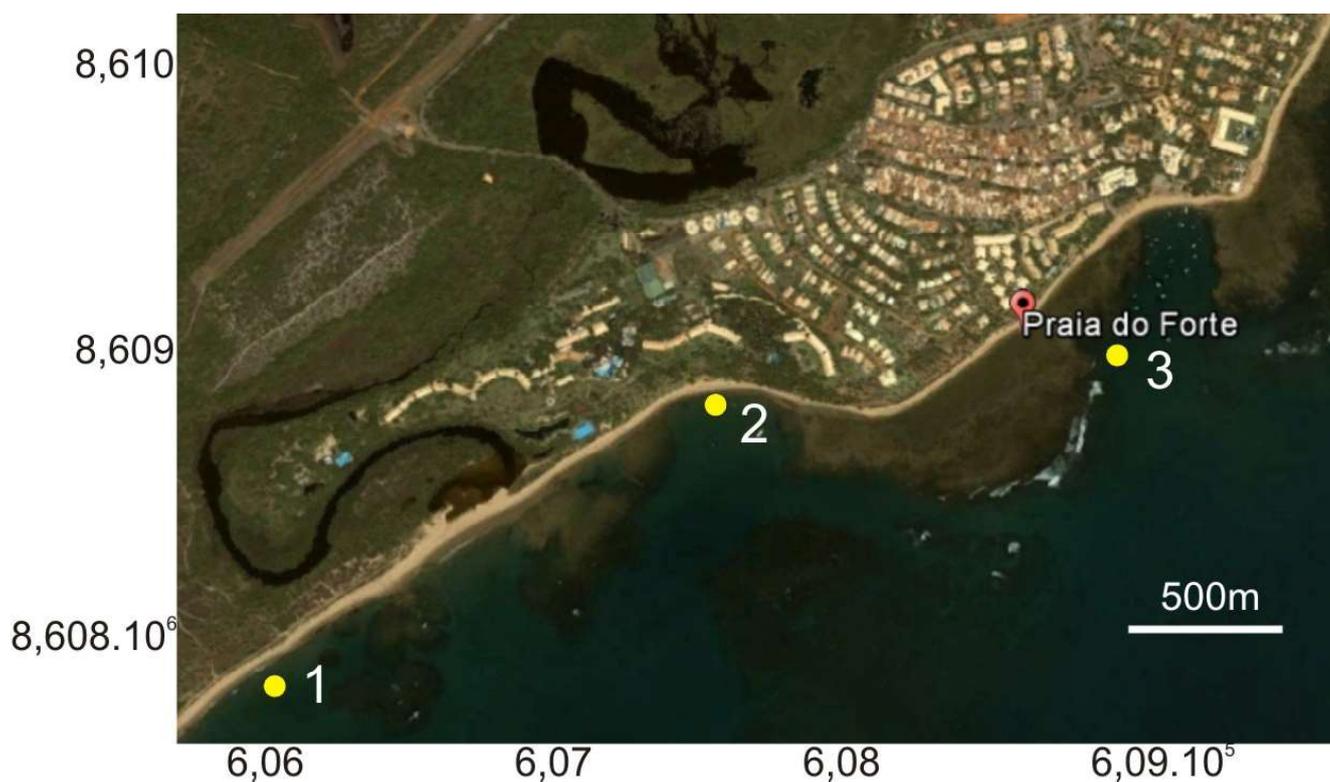


Figura 8 - Pontos de interesse modelados para a área de estudo.

A maior incidência das ondas de SE e SSE, ainda que com pequenas alturas, favorece os processos erosivos nas situações em que se encontram alinhadas com as aberturas existentes na estrutura recifal adjacente à Praia do Forte, recifes estes que protegem parcialmente esse litoral da ação das ondas. O ponto 2, localizado mais próximo à vila e ao trecho mais frequentado desta praia (Foto 1), merece atenção especial por apresentar maiores alturas de ondas e maior fluxo de energia.

4.4 Transporte de Sedimentos

Considerando uma maré média de 1,22m, foram elaborados três perfis costa-afora perpendiculares à linha de costa, passando pelos pontos de interesse utilizados para modelagem do clima de ondas (Figura 8).

O perfil 2 apresenta uma maior declividade com relação aos demais. É possível, por exemplo, observar nos perfis 1 e 3 que a cota batimétrica, a uma distância de 700m da linha de costa é de, aproximadamente, 3,5m, enquanto que no perfil 2 é de, aproximadamente, 9,5m (Figura 9). Além disso, o perfil 2 apresenta um maior fluxo de energia em relação aos perfis 1 e 3 (Tabela 4).

De uma maneira geral, nos três perfis, o fluxo de

energia é da antepraia para o sistema praial, com sentido aproximado de SE para NW (Tabela 4) (transporte transversal à costa), apresentando maiores valores no ponto 2.

Para o cálculo do volume de transporte de sedimentos o modelo considera que a quantidade de areia transportada é proporcional à energia das ondas ao longo da costa, de acordo com CERC (1984). No litoral próximo aos pontos 2 e 3, e seus respectivos perfis, ocorre uma alteração do padrão geral do transporte longitudinal, que na região, devido à forte influência das ondas de SE, é de uma maneira geral de S para N ou de SE para NE, como é observado no perfil 1 (Figura 9). Em decorrência da direção da linha de costa, nos perfis 2 e 3 o transporte longitudinal tem sentido predominante de E para W, formando uma pequena zona de convergência entre os pontos 1 e 2 (Figura 10). Tanto o fluxo de energia como o transporte apresentaram valores superiores no ponto 2, indicando um maior poder de transporte e de erosão neste ponto. Efetivamente, é comum a ocorrência de coqueiros com raízes expostas neste trecho do litoral (Foto 3), como observado e documentado nos trabalhos de campo.

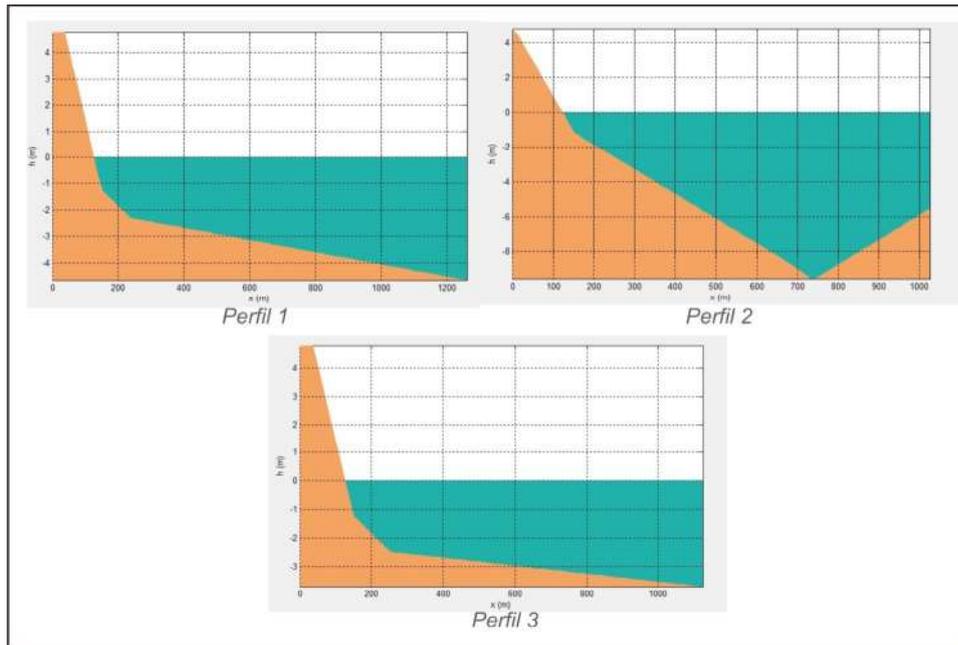


Figura 9 - Perfis no litoral da Praia do Forte perpendiculares à costa.



Figura 10 - Direção e magnitude do transporte de sedimentos no litoral da Praia do Norte.

Tabela 4: Valores e direção do fluxo médio de energia nos perfis analisados ao longo da Praia do Forte

Perfil	Fluxo médio de energia [J/(ms)]	Direção do fluxo(°N)
01	4.915,68	138,25
02	12.017,75	127,46
03	1.582,22	139,40

4.5 Cota de Inundação

O nível alcançado como a combinação da ação conjunta da maré astronômica, da maré meteorológica e do espreamento das ondas é denominado de nível de inundação ou cota de inundação. A determinação deste nível e de sua probabilidade de ocorrência e período de retorno em anos é fundamental para a gestão costeira, especialmente no planejamento de medidas preventivas contra inundações ou recuperação de ecossistemas costeiros protegidos (RODRIGUES, 2014).

As figuras 11, 12 e 13 apresentam os valores das cotas de inundação e o seu período de retorno, através do ajuste de valores extremos por máximos anuais, para os perfis 1, 2 e 3, respectivamente. Os valores extremos ou máximos anuais são representados nestas figuras através de pontos, que por sua vez servem de base para a elaboração das curvas. Assim, para um período de retorno de, por exemplo, 10 anos, a partir de dados de ondas propagadas até a costa, a cota de inundação é de 2,7m no perfil 1, de 2,8m no perfil 2 e de 2,2m no perfil 3.

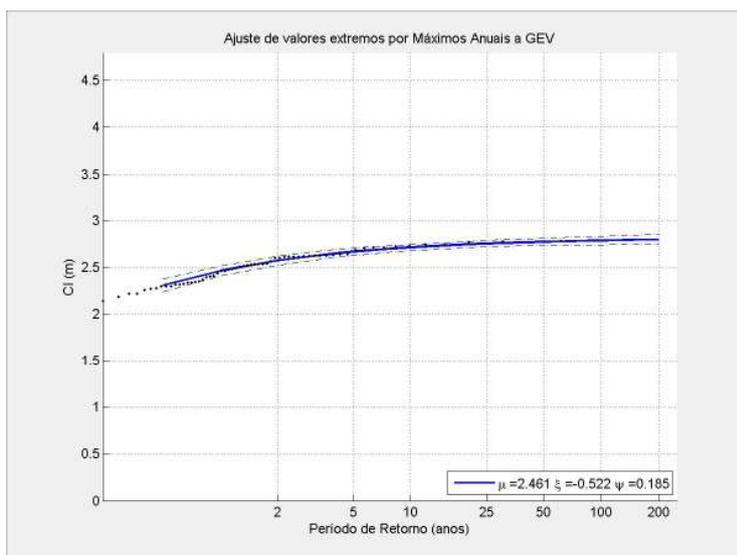


Figura 11 - Cota de inundação com períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos para o perfil 1. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno das cotas de inundação. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

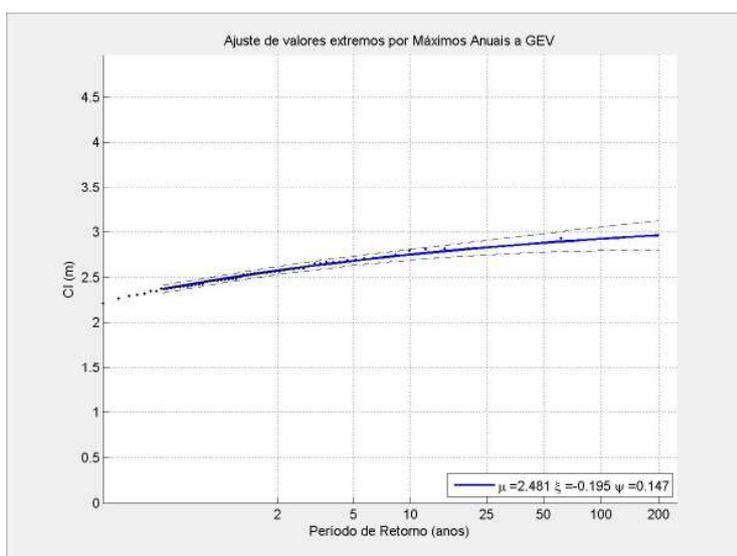


Figura 12 - Cota de inundação com períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos para o perfil 2. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno das cotas de inundação. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

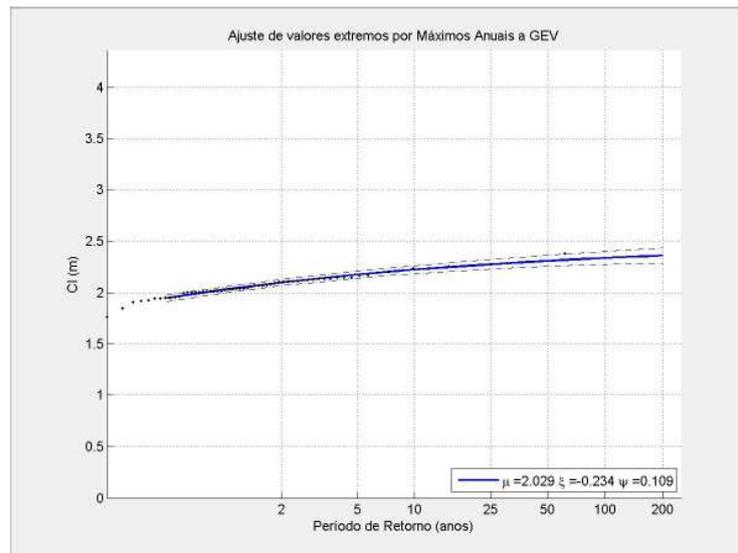


Figura 13 - Cota de inundação com períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos para o perfil 3. As letras na legenda da figura representam as variáveis utilizadas para os cálculos do período de retorno das cotas de inundação. Os pontos marcam os valores máximos anuais para a série temporal estudada.

A ocupação dos terraços arenosos, dificultando os processos de infiltração, e as alterações da dinâmica hídrica natural, com os empreendimentos instalados nas zonas úmidas, torna esta região ainda mais vulnerável à inundação. Além disso, a retirada da vegetação e alteração na morfologia das dunas frontais diminui a proteção natural à sua retaguarda.

5. Conclusões

A análise estatística de ondas em águas intermediárias, para um ponto representativo, com cota de 19,1 m, indicou um predomínio das ondas vindas de ESE, com alturas de onda significativa em condições médias de 1,3m e de 2,6m para condições de tempestade, com períodos de pico 7s e 10s, respectivamente. O regime de oscilação do nível do mar é principalmente governado pela maré astronômica, com oscilações entre $\pm 1,25$ m, enquanto que as marés meteorológicas oscilam entre $\pm 0,2$ m.

O clima de ondas em águas rasas, analisado em três pontos do litoral, indicou uma predominância das ondas de SE e SSE, com alturas de onda significativa, para condições normais e de tempestade, variando de 0,5 a 1,2m. O transporte de sedimentos, calculado em três perfis perpendiculares à linha de costa, associados a cada um dos pontos, indicou uma zona de convergência entre a Praia do Castelo (Ponto 1) e a Praia do Eco Resort (Ponto 2). Foi verificado também um aumento

na magnitude de transporte no Ponto 2, tornando essa região mais vulnerável a processos erosivos.

Os dados observados em campo indicam um estado de equilíbrio da linha de costa na Praia do Castelo, sem nenhuma evidência de erosão, o que corrobora os resultados da modelagem feita com o SMC, que indicou a existência de uma zona de convergência na deriva litorânea e, portanto, um local propício ao acúmulo de sedimentos. A existência de um déficit de sedimentos e a ocorrência de erosão costeira na Praia do Eco Resort, observada em campo, pode ser justificada pelo aumento na intensidade do transporte litorâneo, retirando sedimentos desta região, indicada pela modelagem, conforme dito anteriormente.

A estimativa da cota de inundação, baseada na análise dos valores extremos por máximos anuais, com períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos, indicou em geral, níveis entre 2,5 e 3,0m para os perfis 1 e 2 e entre 2,0 e 2,5m para o perfil 3.

Considerando que um aumento da frequência de eventos climáticos extremos implicará em um aumento na frequência e magnitude de ondas e marés meteorológicas maiores, é provável que ocorra um incremento nos processos de erosão costeira nos trechos mais vulneráveis do litoral da Praia do Forte, especialmente na região mais próxima à vila, onde existe um maior número de construções e outras estruturas fixas. Neste contexto, o SMC representa uma importante ferramenta de gestão,

contribuindo para a caracterização e compreensão do clima de ondas local.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa; A.C.S.P. Bittencourt e I.R. Silva agradecem também pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa e G. Fernandinopela sua Bolsa de Doutorado. Os autores agradecem ainda ao Ministério do Meio Ambiente pela disponibilização do programa SMC-Brasil.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, L. R. **Estudio de dinámica litoral y evolución de la zona sur de la Playa de Piçarras (Santa Catarina/Brasil)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Cantabria, Santander, Espanha, 2013.

ALMEIDA L.R.; AMARO, V.E.; MARCELINO, A.M.T.; SCUDELARI, A.C. Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 15, n. 2, p.135-151, 2015.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; LIVRAMENTO, F.C.; DOMINGUEZ, J.M.L.; SILVA, I.R. Tendência de longo prazo à erosão costeira num cenário perspectivo de ocupação humana: litoral norte do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 1, p.125-137, 2010.

CALLIARI, L.J.; GUEDES, R.M.C.; PEREIRA, P.S.; LÉLIS, R.F.; ANTIQUEIRA, J.A.; FIGUEIREDO, S.A.; BAZ, J. Perigos e Riscos Associados a Processos Costeiros no Sul do Litoral do Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, n. 1, p.51-63, 2010.

CAMUS, P.; MENDEZ, F.J.; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. **Coastal Engineering**, v. 72, p.56-68, 2013.

CASAGRANDE A.; SILVA JÚNIOR, P.; MENDONÇA F. Mudanças climáticas e aquecimento global: controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, p.30-44, 2011.

CERC (Coastal Engineering Research Center). **Shore Protection Manual**. Washington, U.S. Army Corps of engineers, 1984.

CORIOLOANO, L. N. M. T. A utopia da sustentabilidade no turismo. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, vol. 6, n. 2, p.320-340, 2006.

DINIZ, I.N.; RESENDE, R. **Cartilha: Mudança Global do Clima**. Pinheiros: Iniciativa Verde, 2014.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Utilização de padrões de sedimentação costeira como indicadores paleoclimáticos naturais (proxies). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n.1, p.3-12, 1994.

DOUGLAS, B. C.; PELTIER, W. R. The puzzle of global sea-level rise. **Physics Today** (March), p.35-40, 2002.

EGLER, C.A.G. Risco Ambiental como Critério de Gestão do Território: uma Aplicação à Zona Costeira Brasileira. **Revista Território**, v. 1, n.1, p.31-41, 1996.

GIOC. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. **Manual del usuario Mopla 3.0**. Cantabria: Universidad de Cantabria y Dirección General de Costas, Ministerio de Meio Ambiente, 2003.

GONZÁLEZ, M.; MEDINA, R.; GONZALEZ-ONDINA, J.; OSORIO, A.; MÉNDEZ, F.J.; GARCÍA, E. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. **Computers & Geosciences**, v. 33, n. 7, p. 916–931, 2007

GRIGGS, G.B.; TRENHAILE, A.S. **Coastal cliffs and platforms**. In: CARTER, R.W.G.; WOODDROFFE, C.D. (Orgs.). *Coastal Evolution - Late Quaternary shoreline morphodynamics*, Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

IH-CANTÁBRIA. **Ondas: Documento Temático**. IHCANTABRIA, Universidad de Cantabria/UFSC/IO-USP, 155p. 2013a.

IH-CANTÁBRIA. **Nível: Documento Temático**. IHCANTABRIA, Universidad de Cantabria/UFSC/IO-USP, 155p. 2013b.

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** SOLOMON, S.D.; QIN M.; MANNING, Z.; CHEN, M.; MARQUIS, K.B.; AVERYT, M.; TIGNOR, H.L.; MILLER (Orgs.). Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KIKUCHI, R.K.P.; LEÃO, Z.M.A.N. The effects of Holocene sea-level fluctuation on reef development and coral community structure, Northern Bahia, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n.2, p.159-171, 1998

LUCA, C.B. **Implementação de ferramentas numéricas e**

- bases de dados no SMC-Brasil e sua aplicação no estudo piloto da praia de Massaguaçu-Brasil.** 213p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Cantabria, Santander, Espanha, 2011.
- MARENCO, J.A. Águas e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p.84-96,2008.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G. S. Le Quaternaire marin brésilien (Litoral pauliste, sud fluminense et baianais). **Cahiers ORSTOM, Série Géologie**, v. XI, n. 1, p.96-125,1980a.
- MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.daS.; FLEXOR, J.M. **Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia**, escala 1:250.000. Secretaria de Minas e Energia/Coorenação da Produção Mineral, Salvador, 1980b.
- MIRANDA, L.deA.; ARAÚJO, R.deS. Mudanças climáticas: análise de dois pontos de vista. **Revista Perspectivas OnLine: Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, v. 9, n. 4, p. 47-55,2014.
- MOLION, L.C.B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, 3/4, p.7-24,2008.
- NICHOLLS, R.J.; CAZENAVE, A. Sea-level rise and its impact on coastal zones. **Science**, v. 328, p.1517-1520,2010.
- OLIVEIRA, M.J. DE; VECCHIA F. A controvérsia das mudanças climáticas e do aquecimento global antropogênico: consenso científico ou interesse político? **Revista Forum Ambiental da Alta Paulista**, v.5, p.946-962,2009.
- PEREIRA, C; COELHO, C. Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n.1, p.27-43,2013.
- PINHEIRO, E.C. **Contribuições em inferência e modelagem de valores extremos.** 155p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2013.
- RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p.297-321,2008.
- RODRIGUES, T.K. **Impacto das Mudanças Climáticas na Zona Costeira do Município de Aracaju-SE: Estudo de Caso Utilizando o SMC (Sistema de Modelagem Costeira).**2014.221f.Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2014.
- SILVA, I.R.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; SILVA, S.B.M. Uma Contribuição à Gestão Ambiental da Costa do Descobrimento (Litoral Sul do Estado da Bahia): Avaliação da Qualidade Recreacional das Praias. **Geografia**, v. 28, p. 397-413,2003.
- SILVA, I.R.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; SILVA, S.B.M. Potencial de danos econômicos face à erosão costeira, relativo às Praias da Costa do Descobrimento – Litoral Sul do estado da Bahia. **Pesquisas em Geociências**, v. 34, n.1, p.35-44,2007.
- SILVA, I.R.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DIAS, J.A.; SOUZA FILHO, J.R. Qualidade recreacional e capacidade de carga das praias do litoral norte do estado da Bahia, Brasil. **Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n.2, p.131-146,2012.
- SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A.C.R. Revisão Crítica dos Conhecimentos Geológicos sobre a Formação (Ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu Possível Significado como Testemunho de Alguns Eventos Geológicos Mundiais. **Geociências**, v. 18, p.461-479, 1999.
- TRONIS, A.A. Is global warming injecting randomness into the climate system? **EOS Transaction American Geophysics Union**, v. 85, n. 38, p.361-364,2004.
- WALSH, K.J.E.; CHURCH, H.B.J.; PITTOCK A.B.; MC INNES K.L.; JACKETT, D.R.; MC DOUGALL T.J. Using Sea Level Rise Projection for Urban Planning in Australian. **Journal of Coastal Research**, v. 20, p. 586-598,2004.
- ZEE, D. M. W.; BROTTTO, D. S.; CORREA, T.; NEHME, D. M. 2012. Subsídios para a Gestão dos Impactos das Mudanças Climáticas nas Áreas Costeiras do Rio de Janeiro - Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, Rio de Janeiro, **Anais.....**, 8, p. 120, 2012.