
RESPOSTAS MORFODINÂMICAS E FISIGRÁFICAS DA ZONA COSTEIRA AO NORTE DA BACIA DE CAMPOS FRENTE À EVENTOS DE TEMPESTADE

Morphodynamic and Physiographic Response on the Northern Sector of Campos Basin Coastline facing Storm Events

Mayte Gomes Ribeiro
Bacharel em Geografia na UFF – Campos dos Goytacazes – RJ
maytegomes@id.uff.br

Tayná Batista Gomes
Bacharel em Geografia na UFF – Campos dos Goytacazes – RJ
taynagomes@id.uff.br

Eduardo Manuel Rosa Bulhões
Professor Adjunto no Departamento de Geografia da UFF – Campos dos Goytacazes – RJ
eduardobulhoes@id.uff.br

Artigo recebido em 22/06/2015 e aceito para publicação em 20/05/2016

DOI: 10.12957/tamoios.2016.16832

RESUMO

As barreiras arenosas no litoral norte fluminense estão distribuídas com tipologias e orientações distintas, relativas às principais direções de incidência de ondas oceânicas atuantes no litoral fluminense. A capacidade de resiliência destas feições quando submetidas a eventos de ondas de tempestade está associada ao estoque pretérito de sedimentos. Este estudo objetiva avaliar a vulnerabilidade física da zona costeira norte da Bacia de Campos a partir dos impactos de ondas de tempestade na dinâmica de praia, envolvendo erosão costeira e transporte de sedimentos. Simulações de ondas extremas para a Bacia de Campos permitiram avaliar o comportamento ao longo de diferentes trechos do litoral. Dados morfológicos permitiram identificar as áreas mais ou menos vulneráveis à erosão costeira. As áreas mais vulneráveis estão relacionadas ao *déficit* de sedimentos induzidos por transporte longitudinal e onde a altura média da barreira arenosa é inferior a 3 metros. As áreas menos vulneráveis são àquelas onde a barreira arenosa prograda em resposta a incorporação atual de sedimentos. A posição sul do município de São João da Barra recebe as maiores ondulações, independente das direções de incidência; o município de São Francisco de Itabapoana é abrigado em relação as ondulações mais fortes em função do aspecto embaiado da linha de costa.

Palavras-Chave: Ondas de Tempestade, Clima de Ondas, Norte Fluminense.

ABSTRACT

The morphology of North Fluminense coastal zone is characterized by the presence of sandy barriers with different typologies concerning the storm waves directions. The resilience of these coastal features when subjected to storm wave events is associated with established stock of coastal sediments according to the dynamic and evolutionary characteristics of the coastal plain during Late Quaternary. The objective of this paper is the evaluation of the physical vulnerability of the northern coastal zone on Campos Basin, from the point of view of storm waves impact on the beach dynamics, involving coastal erosion and sand transport. Simulations of extreme ocean waves performed for Campos Basin and their behavior were evaluated considering selected points along the coast. Morphological data were used to identify areas more or less vulnerable to coastal erosion. Results show that most vulnerable areas are related to the deficit of sediment transport and areas where the sand barrier rises lower than 3 meters. Least vulnerable areas are associated with progradation of the sandy barrier that suffers current incorporation of sediments. Southern position of São João da Barra receives the largest wave energy in any propagation directions and the coast of São Francisco do Itabapoana is protected from the strong swells due to the embayed aspect of the coastline.

Keywords: storm waves, wave climate, north Rio de Janeiro coast

Introdução

No litoral norte do estado do Rio de Janeiro a geomorfologia costeira é caracterizada por barreiras arenosas distribuídas espacialmente com morfologia e orientações distintas, relativas às principais direções de incidência de ondas oceânicas que incidem entre nor-nordeste e su-sudoeste representativas de condições de tempo bom e de tempestade, respectivamente (Souza *et al.* 2015). A resiliência deste litoral quando submetido a eventos de tempestade, está associada principalmente ao estoque pretérito de sedimentos, tanto da zona subaérea quanto da zona submarina, o que depende da dinâmica e evolução da planície costeira no Quaternário tardio.

As respostas atuais destes ambientes a eventos severos de tempestades oceânicas vêm sendo verificadas através da comparação das condições morfológicas usuais com resultados morfológicos em condições de tempestade (Bulhões *et al.* 2010; Fernandez *et al.* 2011; Bulhões *et al.* 2014) e posterior recuperação. Tais comparações são possíveis utilizando uma série de informações como o monitoramento de perfis topográficos transversais à costa, envolvendo a porção emersa e submersa do prisma praial, com dados de levantamentos sistemáticos de ordem mensal a trimestral, dependendo do número de observações já realizadas.

É importante também a avaliação do estoque de sedimentos disponível para ser mobilizado em direção e a partir da praia, e com isto, garantir proteção à retroterra e às instalações urbanas ou industriais adjacentes. Fernandez *et al.* (2015) resgatam exemplos nacionais e internacionais de trabalhos nesta temática. Uma vez detectadas as condições normais e extremas da dinâmica costeira, simulações de cenários envolvendo eventos excepcionais devem servir de norteammento para o planejamento e para a tomada de decisão sobre a expansão das áreas de ocupação e zoneamento de usos e atividades junto à costa. Os principais efeitos morfológicos destes impactos na zona costeira podem ser previstos (Dolan e Davis, 1992; Sallenger, 2000 e Morton e Sallenger, 2003) observando as alterações morfológicas nas praias, nas dunas frontais, abertura de barras lagunares, rotação de praias, depósitos de sobrelavagem, formação de terraços e leques de transposição e agradação, dentre outros, usualmente utilizados no dimensionamento de estruturas de proteção à costa, sobretudo quando as instalações envolvidas são de grande porte e envolvem elevadas quantias de investimentos. A instabilidade, ou seja, as flutuações na condição de equilíbrio (Mattos e Perez Filho, 2004) do sistema praia/antepraia, é o conceito utilizado para se explicar os efeitos de alteração que sofre uma determinada porção da linha de costa que, por sua vez, reflete a dinâmica dos mecanismos de transporte transversal e longitudinal de sedimentos e dos processos de atenuação ou amplificação das ondas. Estas últimas tornam-se então responsáveis pela exposição de determinado segmento da linha de costa frente aos eventos extremos de tempestades oceânicas.

Área de Estudo

O litoral Norte Fluminense se destaca como um segmento do litoral brasileiro em que processos erosivos são particularmente catastróficos, como na localidade de Atafona (São João da Barra-RJ), localizada na borda sul de contato do Rio Paraíba do Sul com o oceano (Figura 1). Os efeitos erosivos documentados mostram que 183 construções em 14 quadras foram destruídas (Ribeiro, 2005b) por processos de realinhamento da linha de costa, associados provavelmente às discordâncias erosivas identificadas em sua evolução recente (Dias e Gorini, 1980). Outras áreas destacadas na Figura 1 apresentam evidências de erosão costeira, como em Barra do Açu onde se observam na paisagem feições de erosão e acumulação evidentes em áreas urbanizadas; Ao sul da orla de Farol de São Thomé, em Campos dos Goytacazes, na localidade conhecida como 1o Pier. Ao longo do litoral de São Francisco de Itabapoana, as localidades de Manguinhos e Guriri apresentam aspectos de erosão costeira associadas ao recuo erosivo de falésias do grupo Barreiras.

Os municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana estão localizados na porção norte do compartimento geomorfológico da Baía de Campos (Muehe,

1998). A linha de costa que delimita a planície costeira ao longo destes municípios é aqui definida como área de estudo (Figura 1).

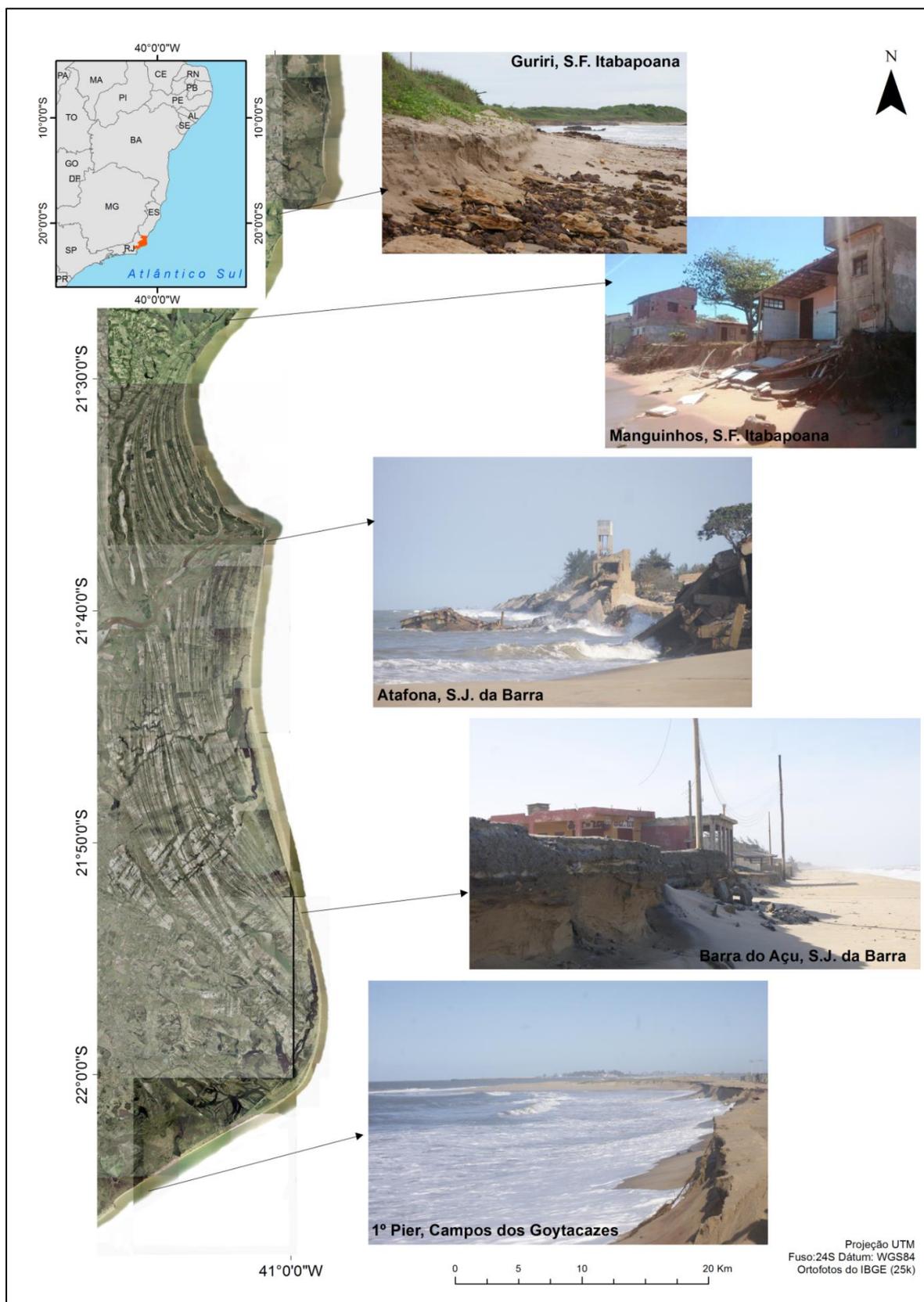


Figura 1. Área de Estudo e Aspectos da Erosão Costeira em Posições Seleccionadas.

Em termos geomorfológicos a área de estudo é caracterizada pela presença de uma planície costeira desenvolvida a partir de processos de sedimentação flúviomarinha, sendo classificada por Dias e Kjerfve (2009), como a planície sedimentar da Baixada Fluminense. Segundo os autores, toda a zona costeira entre Macaé (RJ) e Guaxindiba (em São Francisco do Itabapoana - RJ) é caracterizada por planícies arenosas de grandes larguras, compostas por cristas de praia de diferentes idades, paralelas ou semiparalelas à costa. A principal fonte de sedimentos para o litoral é o rio Paraíba do Sul que se estende por aproximados 1.400 km de sudoeste a nordeste, é o principal rio da região sudeste do Brasil, com numerosas barragens e complexos industriais, cuja vazão média varia entre 600 - 900 m³ s⁻¹. Adicionalmente, a sedimentação do rio Itabapoana e a erosão das falésias sedimentares esculpidas sobre o grupo Barreiras nesta porção do litoral contribuem localmente com o aporte de sedimentos.

De acordo com Dias (1981) a planície costeira associada à progradação da foz do Rio Paraíba do Sul pode ser subcompartimentada em porção norte e sul. Ao norte da foz (entre São João da Barra e São Francisco do Itabapoana), os depósitos sedimentares são mais recentes associados à regressão holocênica do nível do mar nos últimos 5.500 anos. Adicionalmente, os depósitos terciários do Grupo Barreiras limitam a projeção ao norte da planície flúviomarinha. Já ao Sul da foz (entre São João da Barra e Macaé), destacam-se os depósitos sedimentares mais antigos, pleistocênicos, associados à regressão ocorrida entre 123 e 18 mil anos AP usualmente separados por lagoas costeiras dos depósitos holocênicos recentes, sobre os quais está posicionada a zona costeira do município de Campos dos Goytacazes, justamente na protuberante feição do antigo delta, o que flexiona e expõe a zona costeira fluminense para sua posição mais setentrional.

O formato deltaico da borda oceânica da planície costeira, as discordâncias dos feixes de cristas de praia, as características morfométricas da barreira arenosa holocênica e as marcas erosivas dispostas por vários segmentos deste litoral são evidências da ação mecânica das ondas no retrabalhamento dos sedimentos disponíveis. Atuam através de mecanismos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos de forma transversal e longitudinal à costa. Estes mecanismos são resultantes das oscilações dos estados de mar, cuja hidrodinâmica complexa envolve oscilações de marés e predominância de determinados sistemas meteorológicos, e vêm sendo descritos por autores como Parente (1999) e Pinho (2003). Autores como Cassar e Neves (1993), Bastos e Silva (2000), Machado (2009), Souza (2011), Souza *et al.* (2015) dentre outros apontam efeitos destas oscilações hidrodinâmicas para explicar mecanismos de alteração na linha de costa.

De acordo com Bastos e Silva (2000) a altura média das ondas está compreendida entre 1,6 e 2,0 m com frequência maior das direções nordeste e leste e as ondulações com alturas significativas superiores a 3,0 m são oriundas das direções sul e sudoeste. Os resultados de Pinho (2003) para ondas ao largo apontam estatística semelhante. Este arranjo na distribuição da incidência das ondulações promove o transporte de sedimentos tanto para norte, quanto para sul, e também de forma transversal (costa adentro, costa afora) ao perfil praiial, sendo estas as fontes das areias médias e grossas que recobrem a faixa costeira da área de estudo e os siltes e argilas que recobrem a porção submarina proximal (Murillo *et al.*, 2007). Souza e Bulhões (2011) extraíram dados de reanálise do modelo NWW3 (NOAA, *Wave Watch III*) para calcular estatística básica de ondas ao largo da baía de Campos (Figura 2).

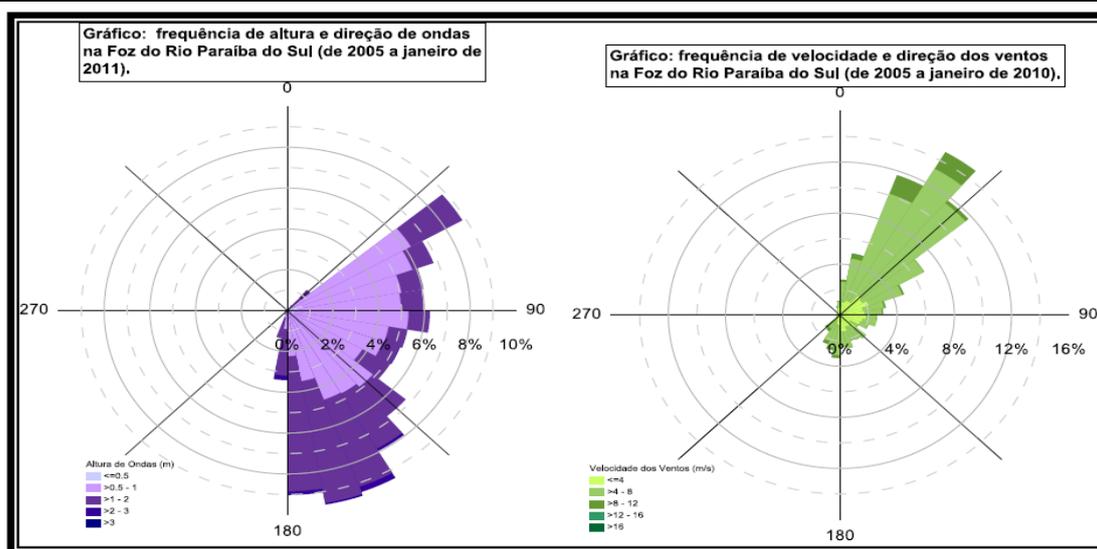


Figura 2. Clima de Ondas e Ventos representativo para a porção oceânica ao largo do litoral Norte Fluminense. Fonte: Souza e Bulhões (2011)

Adicionalmente, de acordo com Cassar e Neves (1993) há uma inversão do transporte litorâneo (Figura 3) na porção sul do litoral da área de estudo, por ocorrência de ondas fortes do quadrante Sul e Sudeste que acabam por convergir os fluxos na zona mais protuberante do litoral, formando o Cabo de São Thomé, um cabo arenoso em forma de megacúspide.



Figura 3. Planície costeira do rio Paraíba do Sul com principais praias. Sentido do transporte litorâneo segundo Cassar & Neves (1993). Extraído de Muehe (2006).

Cabe ressaltar que o tema deriva litorânea na área de estudo suscitou muitas discussões e discordâncias, desde o início da década de 80. Para estas discussões vide Dias e Gorini (1980), Dias (1981), Dominguez *et al.* (1983), Martin *et al.* (1984), Cassar e Neves (1993) e ainda as contribuições mais recentes de Bastos e Silva (2000), Gonçalves e Silva (2005), Machado (2009), Rocha (2009) e Souza (2011), dentre outros.

Sob o ponto de vista morfodinâmico, trata-se de um ambiente exposto às ondas oceânicas de tempestade, composto por areias siliciclásticas de granulometria média e grossa e perfis de praia

que variam entre o refletivo (ao sul) e intermediário ao norte. Tais mudanças nas características morfodinâmicas ao longo deste litoral se fazem em função da mudança na orientação da linha de costa, no padrão de incidência das ondas e por consequência na energia que as mesmas dispensam na costa (PGI, 2015).

Alguns poucos estudos são relativos à vulnerabilidade e à adaptabilidade destes ambientes frente à dinâmica de ondas oceânicas e frente às prováveis alterações no padrão magnitude/frequência destes eventos. Esforços recentes foram feitos por Rocha (2009) na avaliação de perfis transversais à praia no litoral de São João da Barra e aplicações ao gerenciamento costeiro e por Machado (2009) e Souza (2011) na análise da entrada de ondas nas adjacências da foz do rio Paraíba do Sul, sendo o primeiro com ênfase no transporte de sedimentos e o segundo com ênfase em pontos de convergência de ortogonais de onda, investigando as áreas potencialmente mais energéticas.

Diversos estudos sobre o potencial energético e sobre a caracterização direcional do espectro de ondas foram elaborados para a Baía de Campos, sobretudo visando subsidiar operações *offshore* da empresa Petrobras S.A. Normalmente estes estudos utilizam dados medidos por bóias ou radares oceânicos. Alguns autores como Candella (1997); Violante-Carvalho (1998); Parente (1999); Pinho (2003); Campos (2009); dentre outros, ligados ao grupo de pesquisa em Engenharia Oceânica da COPPE-UFRJ publicaram trabalhos sobre o potencial destas ondas e as classificaram de acordo com o espectro direcional. Por melhor e mais úteis que estas informações sejam, refletem especificamente agitação oceânica ao largo da zona costeira, que pode comprometer as operações de exploração, carga, descarga e transporte de hidrocarbonetos. Já os impactos morfológicos na linha de costa, dependem ainda da exposição desta, dos processos de propagação das ondas para águas rasas, da presença de obstáculos e características morfológicas do fundo submarino e dos efeitos de convergência e divergência de energia de ondas que são direcionadas à costa. Fernandez *et al.* 2015 apresentam exemplos pontuais destes estudos no Brasil e no mundo. Para a área de estudo em questão o trabalho recente de Souza *et al.* (2015) indica áreas potenciais à problemas de erosão costeira com base em análise direcional de ondas de tempestade propagadas para a costa norte fluminense.

Objetivos

O objetivo geral deste estudo consiste na avaliação da vulnerabilidade da zona costeira entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana (porção norte da Baía de Campos), sob o ponto de vista dos impactos de ondas de tempestade na dinâmica de praia, envolvendo erosão costeira e transporte residual de sedimentos.

Os objetivos específicos são: **a)** elaborar cenários de tempestades mais severas sob o ponto de vista das mudanças climáticas e simular as condições de ondas que atingirão a linha de costa; e **b)** avaliar os impactos potenciais na morfologia costeira.

Materiais e Métodos

A metodologia adotada consiste na compilação de dados de ondas e ventos ao largo do litoral da Baía de Campos, entre os anos de 2003 e 2013, alimentado com informações diárias do modelo GFS¹ (atmosférico) e NWW3 (oceânico) espaçadas de 3 em 3 horas. Foram também compiladas informações batimétricas a partir de levantamentos realizados pela Marinha do Brasil na década de 80 e atualizações posteriores (2007), dados estes disponibilizados na forma de Cartas Náuticas (CN) e Folhas de Bordo (FB), para compor a base de dados do modelo de propagação de ondas em águas rasas.

Por fim, simulações de propagação de ondas para águas rasas foram elaboradas objetivando constituir cenários de ondas utilizando valores extremos de modelos estatísticos de ondas retorno em 100 anos, estes extraídos dos resultados de Campos (2009).

Ondas em Águas Profundas

Os resultados gerados pelo do modelo *NWW3* resultam da equação de conservação da energia espectral que inclui geração de energia pelo vento, dissipação devido à quebra de ondas em alto mar e à fricção com o fundo, refração, advecção e interações não lineares. O modelo considera ainda as variações espaço-temporais no campo de ondas. As simulações geram dados de previsão para até 120 horas utilizando dados de vento a 10 metros acima da superfície, espaçamento de grade de 1° , cobrindo o trecho do oceano entre as latitudes 78° Sul a 78° Norte. A saída é dada em 36 direções para ondas com período entre 1 e 25 segundos (Tolman, 1999). O modelo é adequado especificamente para profundidades menores que 200m. Diante disto, foram elaboradas simulações em refração de ondas para as águas rasas ($< 200\text{m}$) utilizando como dados de entrada as informações geradas por este modelo.

Campos (2009) avaliou as condições de ondas na Bacia de Campos que pudessem estatisticamente indicar o período de onda retorno em 100 anos. O autor utilizou dados do modelo *NWW3* e dados da bóia oceânica de propriedade da Petrobrás S.A. O autor avaliou as condições do modelo sob a influência de ciclones e anticiclones e concluiu que os extremos de ondas para a Bacia de Campos são oriundos de ciclones extratropicais que impulsionam ondas de sudoeste com valores para o período de retorno de 100 anos de 9,54 m (dados da bóia oceânica) e de 9,34 m, quando da utilização dos dados do modelo (Figura 4).

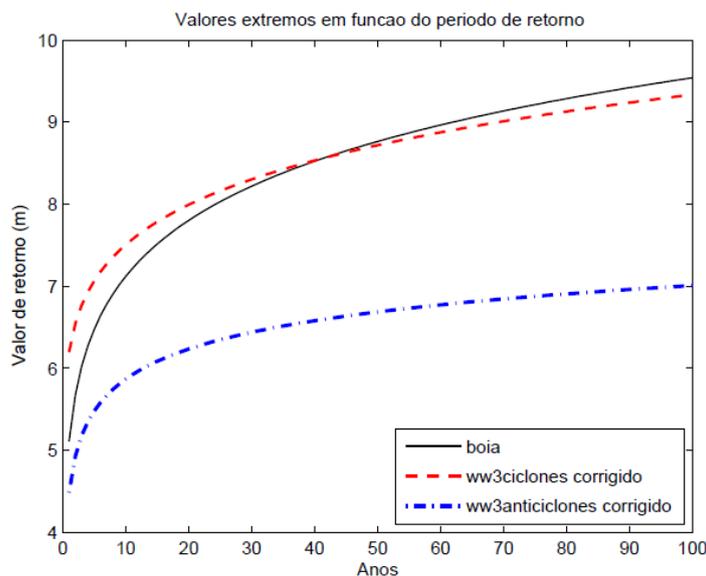


Figura 4. Valores extremos corrigidos para período de retorno até 100 anos. Extraído de Campos, 2009.

Sterl e Caires (2005) utilizaram dados gerados pelo *KNMI/ERA-40 Wave Atlas* para águas profundas, simulados para todo o litoral global e estimam o valor da onda-retorno e do vento-retorno em 100 anos. Para tal, os autores usaram projeções com o modelo WAM, o método estatístico POT e ainda, correções lineares com os dados de bóias oceânicas e satélites visando excluir os efeitos de sub e sobre estimacão dos valores de Altura Significativa de Ondas (H_s) e Período de Pico (T_p). As informações direcionadas para o Atlântico Sul podem ser extraídas para as condições de H_s e velocidade do vento à 10 metros da superfície (U_{10}). Para o litoral sudeste brasileiro podem-se extrair os valores entre 6,5 e 9,5 metros para H_s (resultado semelhante ao de Campos, 2009) e os valores entre 17 e 23,5 m/s para U_{10} . Este modelo não inclui a passagem de ciclones tropicais o que certamente projetaria valores de ventos com velocidades maiores, resultando em H_s também maiores.

Batimetria da Plataforma Continental e da Zona Costeira

Foi realizada a construção da malha batimétrica da plataforma continental adjacente à foz do rio Paraíba do Sul, através da vetorização da Carta Náutica 1400 - do Rio Doce ao Cabo de São Tomé - da década de 1980 e da Carta Náutica 1550 – Baía de Campos, atualizada em 2007. As informações da malha batimétrica da plataforma continental nas imediações da foz do rio Paraíba do Sul foram utilizadas para a construção de uma malha flexível e de batimetria interpolada através do programa *Mike 21*. No total 1.200 pontos com informações de profundidade foram ajustados a um *datum* comum e interpolados utilizando o método Vizinheiro Natural conforme sugerido por Bulhões e Drumond (2012) como um estimador eficiente para dados batimétricos.

Simulações de Ondas em Águas Rasas

A modelagem de ondas tem como objetivo simular, no tempo e no espaço, as condições em alto mar e sua respectiva alteração a partir da plataforma continental em direção à costa. O módulo SW (*Spectral Waves*) do pacote de modelagem Mike21 é um modelo oceânico de terceira geração baseado em malhas irregulares. O referido modelo, simula o crescimento, o decaimento e a transformação de ondas do tipo vagas e do tipo marulhos, tanto para áreas costeiras quanto para alto mar. Resolve a equação do balanço de energia de ondas formuladas tanto no plano de coordenadas cartesianas quanto no plano esférico. Em cada elemento o campo de ondas é representado em duas dimensões. A integração no tempo é resolvida com base no fracionamento em passos no tempo (*time steps*), onde cada “passo” definido no tempo pelo usuário é utilizado para resolver as equações governantes de propagação do espectro de ondas (DHI, 2015).

A aplicação mais comum do módulo de ondas espectrais é para simular clima de ondas em áreas oceânicas e costeiras, tanto para prognósticos quanto para diagnósticos. A modelagem simultânea nas escalas regional e local permite gerar saídas para um ponto específico, para uma linha ou para uma área definida geograficamente.

Parametrização das características morfológicas e morfodinâmicas das barreiras costeiras e seus respectivos impactos associados a efeitos de tempestades

Foram utilizados 79 perfis topobatimétricos de praia adquiridos em três diferentes posições no município de São João da Barra, publicados por Rocha (2009). Foram também avaliados os dados morfológicos de 21 perfis realizados por Bastos e Silva (2000) em 5 posições entre Atafona e Barra do Furado. Para o município de Campos dos Goytacazes foram levantados 20 perfis topográficos em três posições. Para o município de São Francisco do Itabapoana foram realizados levantamentos de campo em vinte posições selecionadas ao longo do litoral. No entanto, não existem resultados comparativos para uma mesma posição. Adicionalmente, 50 amostras de sedimentos foram coletadas em todos os pontos nas posições de berma e face de praia.

Os resultados morfológicos, a sobreposição de levantamentos e a aquisição de parâmetros observacionais para um mesmo ponto permitiram uma categorização morfodinâmica da zona costeira.

Resultados e Discussão

Os principais resultados sobre o clima de ondas na área em questão estão sumarizados na Tabela I. Dados de reanálise compilados entre 2003 e 2013 apontam que a média da altura significativa de ondas é de 1,74m, a direção média é de 137,5°N, ou seja, Sudeste. A média do período de pico de ondas foi de 8,7s e, para os dados de vento, a direção média é leste e a média da velocidade de 9,4 nós. Em relação à direção de ondas e ventos, o valor da média esconde que em 27,7% do período as ondas são provenientes de sul e 7,2% de su-sudoeste representando as condições de tempestade conforme descrito recentemente por Souza *et al.* (2015). Quanto aos

ventos, há o nítido predomínio da direção nordeste (21,7%), seguido por direções próximas a saber: nor-nordeste (19,3%) e leste nordeste (12,9%) o que somados representam 54% dos ventos ao longo do período, usualmente coincidindo com as condições de Bom Tempo, descritas por Pinho (2003).

A partir do diagnóstico das condições extremas dentro de um período retorno de 100 anos (Campos, 2009) para a altura significativa das ondulações na Baía de Campos, foram realizadas cinco simulações utilizando os valores de Hs. 9,5m e vento a U10 de 25 m/s. A variação para o espectro direcional foi feita de acordo com as direções mais comuns de incidência de ondas avaliadas para a baía de Campos, que foram a) nordeste (45°); b) leste (90°); c) sudeste (135°); d) sul (180°); e e) sudoeste (225°). Os dados de saída foram para a área da Baía de Campos (Figura 6) e para posições de modelagem selecionados ao longo do litoral (Tabela II e Gráfico 1) a seguir e espacializados conforme a Figura 5.

Tabela I – Estatística básica de ondas e ventos para o litoral da Baía de Campos entre 2003 e 2013.

Estatística Descritiva Básica	Dados Globais de 3 em 3 horas entre 2003 e 2013				
	Altura Sign. Ondas (m)	Direção Média de Ondas (°N)	Período de Ondas (s)	Velocidade do Vento (nós)	Direção Média do Vento (°N)
Média	1,74	137,6°(Sudeste)	8,7	9,39	94,9° (Leste)
Mínimo	0,1	-	3	0	-
Máximo	5,6	-	19	27	-
Desvio Padrão	0,71	45°		4	85°
Direção de Entrada de Ondas	Dados Gerais 2003 a 2013 (%)	Direção de Entrada de Ventos	Dados Gerais 2003 a 2013 (%)		
NNE	0,08	N	6,4		
NE	1,61	NNE	19,3		
ENE	11,74	NE	21,78		
E	13,84	ENE	12,9		
ESE	12,37	E	6,44		
SE	12,18	ESE	4,03		
SSE	12,69	SE	3,5		
S	27,69	SSE	3,41		
SSW	7,24	S	3,58		
SW	0,41	SSW	4,94		
WSW	0,08	SW	5,86		
		WSW	3,92		
		W	0,95		
		WNW	0,38		
		NW	0,64		
		NNW	1,92		

Fonte: Modelo NWW3

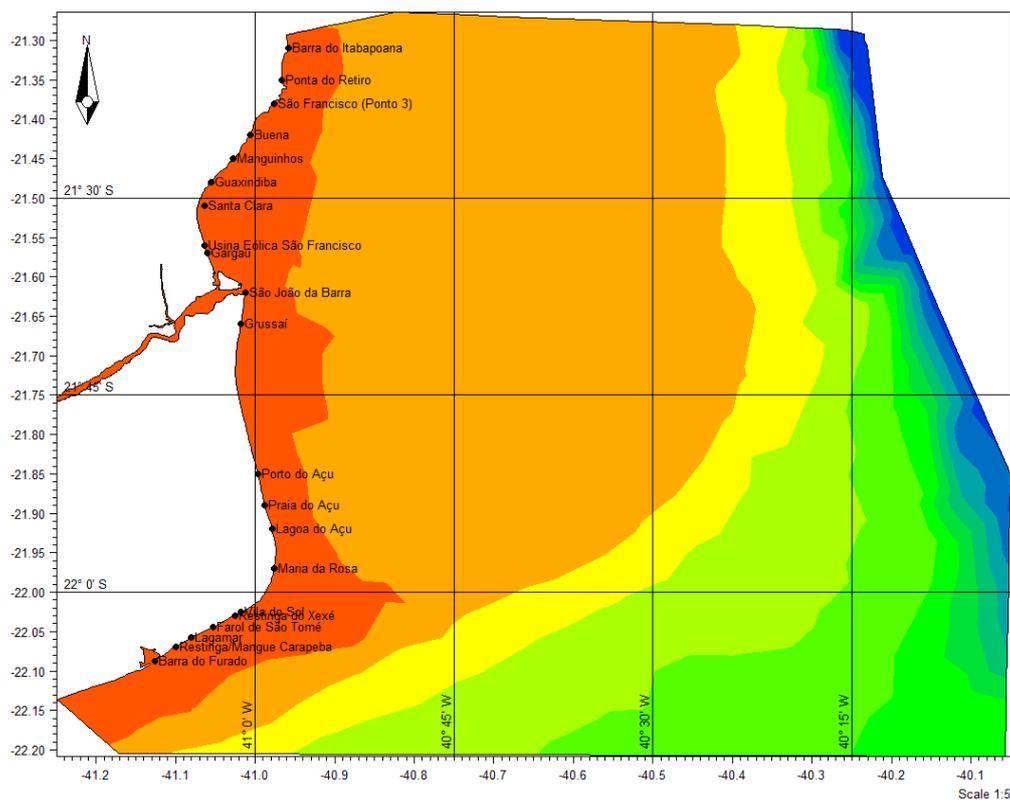


Figura 5 - Posições de Modelagem.

Tabela II – Resultados das Simulações de Ondas, por espectro direcional, para cada uma das estações de modelagem selecionadas ao longo do litoral entre Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana.

Localidade	Posição Geográfica (dec. Graus)		Ondas de Nordeste		Ondas de Leste		Ondas de Sudeste		Ondas de Sul		Ondas de Sudoeste	
	Long	Lat	H max	MWD	H max	MWD	H max	MWD	H max	MWD	H max	MWD
Barra do Itabapoana	-40,958	-21,31	2,67	72	2,88	96	2,93	115	2,97	122	2,37	135
Ponta do Retiro	-40,966	-21,35	3,4	69	3,69	95	3,64	116	3,38	126	2,14	133
São Francisco (Ponto 3)	-40,9767	-21,38	2,87	82	3,56	101	3,68	123	3,64	140	2,71	162
Buena	-41,0065	-21,42	3,33	73	3,78	98	3,82	123	3,67	143	2,6	165
Manguinhos	-41,027398	-21,45	3,23	73	3,73	97	3,74	122	3,47	142	2,28	162
Guaxindiba	-41,055	-21,48	3,06	73	3,55	97	3,58	123	3,27	144	2,12	165
Santa Clara	-41,072	-21,51	3,21	70	3,61	95	3,56	120	2,98	136	1,63	147
Usina Eólica São Francisco	-41,0638	-21,56	3,65	60	3,83	88	3,55	113	2,71	124	1,43	133
Gargaú	-41,05992	-21,57	3,66	59	3,78	87	3,42	111	2,53	121	1,3	127
São João da Barra (Atafona)	-41,012	-21,62	4	60	4,16	87	4	117	3,76	135	2,14	147
Grussaí	-41,0182	-21,66	3,85	62	4,01	91	3,96	122	3,77	141	2,36	154
Porto do Açú	-40,9966	-21,85	5,07	57	5,36	88	5,11	116	4,27	130	2,43	138
Praia do Açú	-40,9882	-21,89	4,89	57	5,07	88	4,86	116	4,3	131	2,59	139
Lagoa do Açú	-40,979	-21,92	4,81	56	4,95	87	4,76	117	4,3	131	2,69	143
Maria da Rosa	-40,9762	-21,97	3,86	62	3,96	90	3,89	117	3,78	131	2,86	148
Vila do Sol	-41,0178	-22,026	2,68	96	3,45	127	3,85	148	4,02	159	3,64	179
Restinga do Xexé	-41,0255	-22,03	2,67	96	3,61	127	4,07	148	4,27	159	3,86	179
Farol de São Tomé	-41,053	-22,046	3	100	4,1	128	4,43	146	4,59	159	3,98	179
Lagamar	-41,08	-22,058	3,12	100	4,18	124	4,4	142	4,49	156	3,87	176
Restinga/Mangue Carapeba	-41,1	-22,069	3,16	100	4,12	126	4,36	143	4,46	155	3,81	176
Barra do Furado	-41,126	-22,087	3,22	105	4,14	129	4,34	143	4,4	154	3,57	176

Fonte: Simulações do modelo Mike 21 SW.

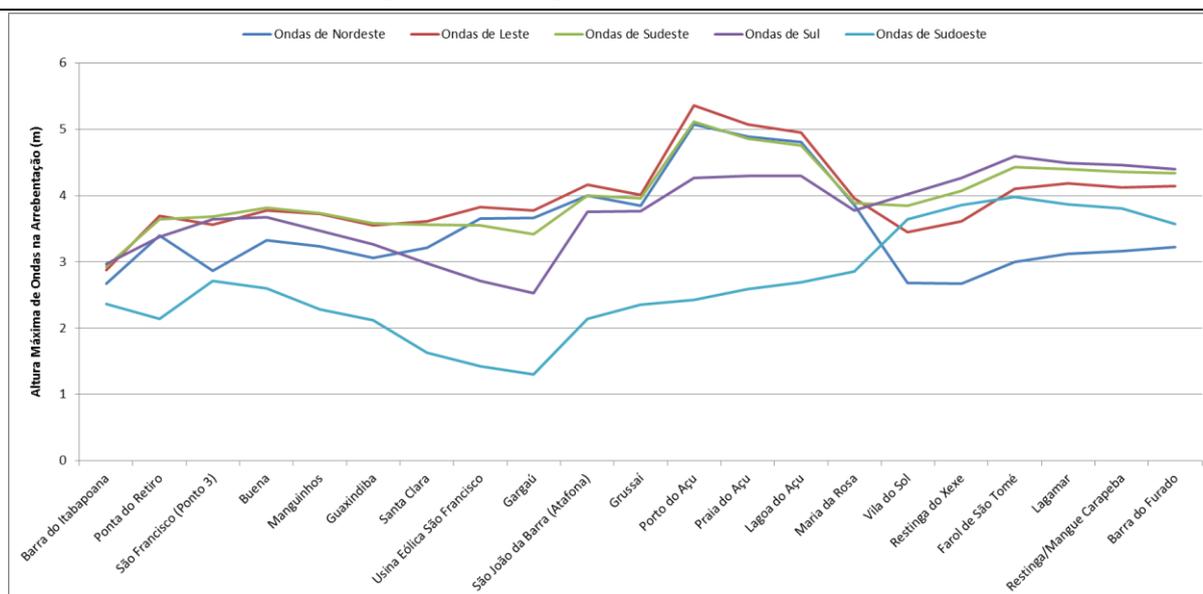


Gráfico 1 - Resultados das Simulações de Ondas evidenciando a altura máxima na zona de arrebentação, por espectro direcional, para cada um dos pontos selecionados ao longo do litoral entre Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana.

Os resultados para a Bacia de Campos com ondas extremas provenientes da direção nordeste (Figura 6a) mostram duas principais áreas de “sombra” que atenuam as ondulações mais fortes, que são o segmento ao norte da foz do rio Paraíba do Sul, no município de São Francisco do Itabapoana e ao sul do Cabo de São Thomé, onde perderiam energia atingindo a linha de costa com alturas significativas inferiores a 3 metros. Ainda para esta direção de propagação a área que receberia maior energia de ondas é o segmento entre Grussaí e a Lagoa do Açú, no município de São João da Barra. A posição Porto do Açú receberia as maiores ondulações (5,07 m) e a posição Restinga do Xexé receberia as menores ondulações (2,67 m).

As ondulações provenientes da direção Leste (Figura 6b) atingem frontalmente o segmento da área de estudo que se estende desde o Cabo de São Tomé até a extremidade norte da área de estudo. Como o segmento ao norte da foz do rio Paraíba do Sul apresenta aspecto embaiado, as maiores alturas máximas de ondas na arrebentação estariam concentradas ao longo do litoral de São João da Barra. A posição Porto do Açú, receberia as maiores alturas máximas, com 5,63 metros, mesmo considerando as demais direções de propagação.

Tanto as ondulações provenientes de nordeste quanto de leste estão associadas à ocorrência dos ventos do quadrante nordeste (Figura 2), que por sua vez ocorrem em função da posição do anticiclone semiestacionário do Atlântico Sul. Este padrão de circulação representa as condições de tempo bom para a Bacia de Campos, já descritas em Pinho (2003). Para este autor as condições médias de tempo bom são caracterizadas por ondas com períodos entre 6 a 7 segundos e altura média entre 1,5 a 2,0 metros.

As figuras 6c, 6d e 6e representam as condições quando da passagem de sistemas ciclônicos ao largo do litoral sudeste brasileiro, conforme descritos por Campos (2009). Para a área de estudo estas figuras representam respectivamente as simulações para ondas de sudeste, sul e sudoeste, que de acordo com Pinho (2003) caracterizam as condições de mau tempo, que ocorrem com períodos superiores a 12s, e ondulações com alturas significativas entre 2,5 e 5 metros. No Gráfico 01 as mesmas estão representadas pelas cores verde, lilás e azul claro. O ponto comum entre elas é a diminuição das alturas máximas de ondas na zona costeira da Bacia de Campos. Neste sentido cabe destacar que as ondulações de sudeste concentram a maior parte da energia também no litoral de São João da Barra e a altura máxima simulada foi de 5,11 m na posição Porto do Açú. Já a posição Farol de São Thomé recebe as maiores alturas máximas de ondas provenientes de sul e de sudoeste.

As menores ondulações para todas as direções ocorrem no município de São Francisco do Itabapoana em função do aspecto embaiado da linha de costa.

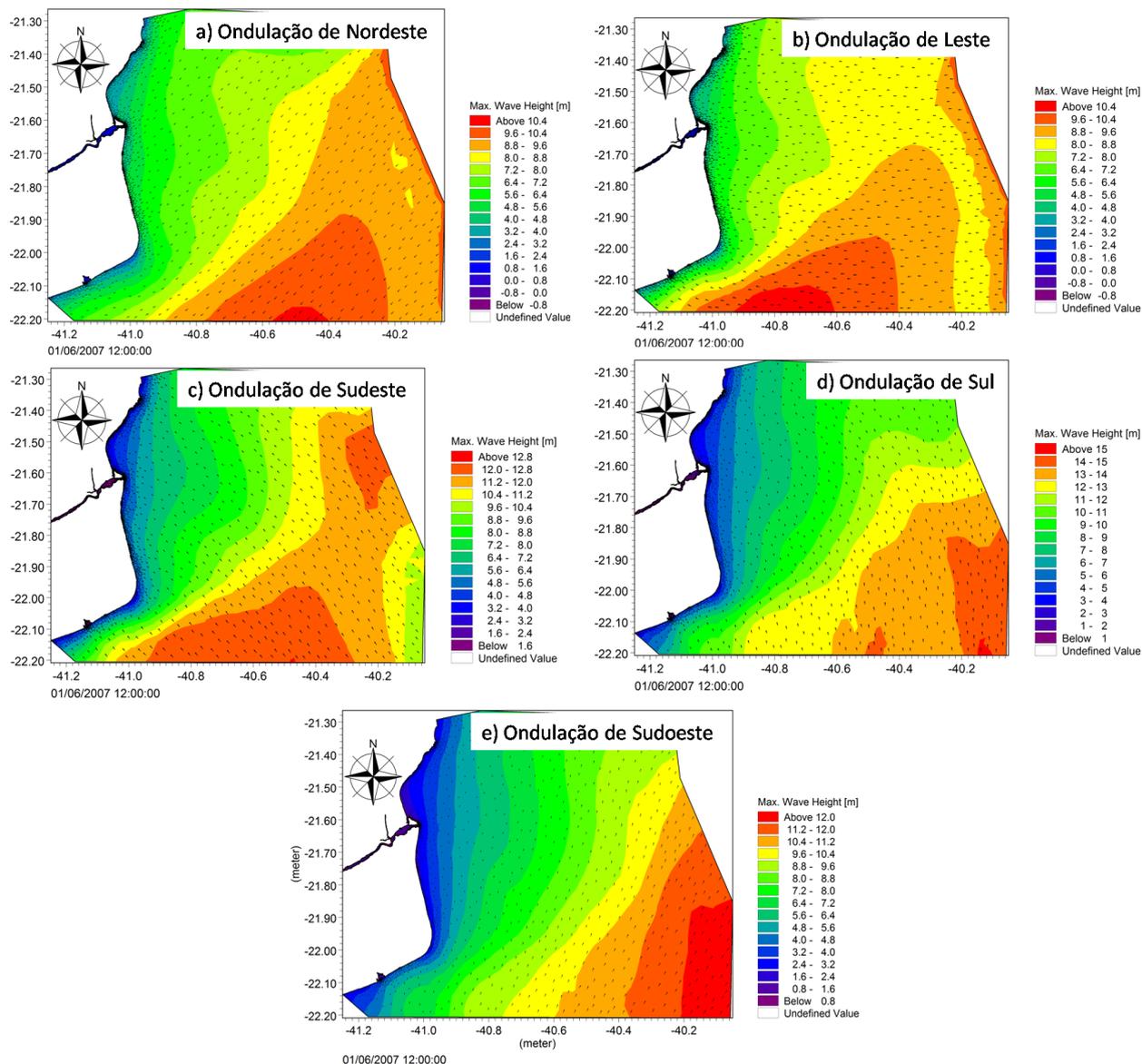


Figura 6. Mapas das simulações em propagação de ondas para águas rasas a Baía de Campos. Fonte: Módulo SW – Mike 21.

Os principais resultados morfológicos estão reunidos na Figura 7 a seguir. De uma forma geral a barreira arenosa frontal da área de estudo se eleva a cotas médias de 4 metros com exceção de São João da Barra no contato com a margem sul do rio Paraíba do Sul, onde há ocorrência de dunas frontais, conforme descritas por Bastos e Silva (2000), Ribeiro (2005a), Ribeiro *et al.* (2007) e Moulton *et al.* (2013).

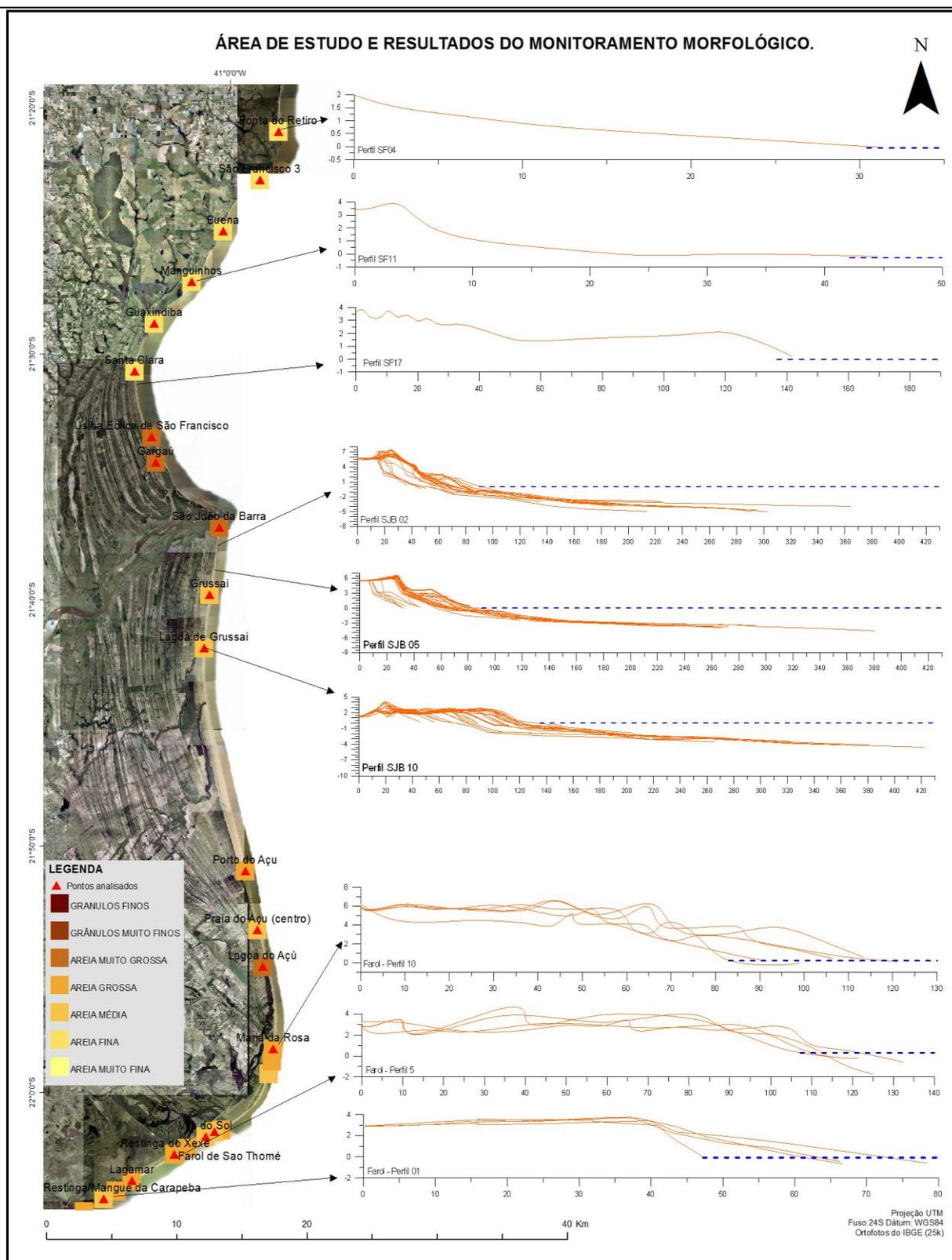


Figura 7. Área de Estudo incluindo posições de monitoramento, diâmetro mediano dos sedimentos coletados na face da praia e principais resultados do monitoramento morfológico por perfis de praia. Perfis SJB02, SJB05 e SJB10 - dados de Rocha (2009) levantados entre 2005 e 2011. Os demais perfis são apresentados de forma inédita neste trabalho.

Acerca das características morfodinâmicas ao norte da desembocadura do rio Paraíba do Sul, nenhum estudo foi encontrado para a discussão. Os resultados iniciais aqui apresentados indicam perfis com maior e menor estoque de sedimentos, variando entre o refletivo ao sul e o dissipativo ao norte. Os de maior estoque, refletivos, estão associados à incorporação de bancos arenosos

submersos às praias, conforme descrito por Vasconcelos *et al.* (2007), representados pelo perfil SF17 na Figura 7 e correspondente ao segmento entre as posições Santa Clara e Gargaú, borda norte da planície costeira do rio Paraíba do Sul. Desta posição para o norte, encontram-se sistemas de falésias ativas, o que indica perfis em erosão, conforme indicados pelos perfis SF04 e SF11 (Figura 7). A sedimentação associada à baixa energia desta porção do litoral permite a deposição de areias finas e muito finas que serão incorporadas às dunas frontais (Figura 8).



Figura 8. Praia com característica dissipativa e dunas frontais baixas no litoral de São Francisco do Itabapoana. Perfil SF11.

Os resultados morfológicos para a área de estudo ao sul da foz do rio Paraíba do Sul, na caracterização de aspectos morfodinâmicos corroboram com o descrito pela literatura específica, sobretudo com o trabalho de Bastos e Silva (2000). As praias intermediárias podem ser evidenciadas por um aspecto móvel e adaptativo do perfil emerso (perfil SJB 02, SJB 05, Farol Perfil 10 e Farol Perfil 05 - Figura 7) frente à dinâmica de erosão/sedimentação promovida por ondas e pelo aspecto de mobilização de sedimentos por ação eólica (Bastos e Silva, 2000 e Moulton *et al.* 2013), formando dunas móveis que se espessam até a cota de 11 metros. Neste contexto, praias intermediárias como estas sofrem elevada variação volumétrica em resposta às forçantes ondas e marés, o que cria uma condição de instabilidade morfológica, nesta área com tendências de erosão costeira (Figura 9 e Figura 10) conforme indicado pelos resultados elevados para o parâmetro "índice de mobilidade" descrito em Bastos e Silva (2000).

As condições morfodinâmicas no perfil SJB 10 (Figura 6), mais ao sul, nas proximidades da posição lagoa de Grussaí, são típicas de praias com características dissipativas. O baixo gradiente da zona de surfe é resultante de uma área de acréscimo de sedimentos e resultante de um processo de progradação da linha de costa, conforme mapeado por Ribeiro (2005b) e por Rocha (2009). Nesta posição a praia apresenta largura de 140 metros sendo a maior quando comparada a todo o resto da área de estudo. Os resultados granulométricos aqui levantados para a área de estudo, também corroboram o descrito pela autora supracitada, sendo de areias com granulometria média.

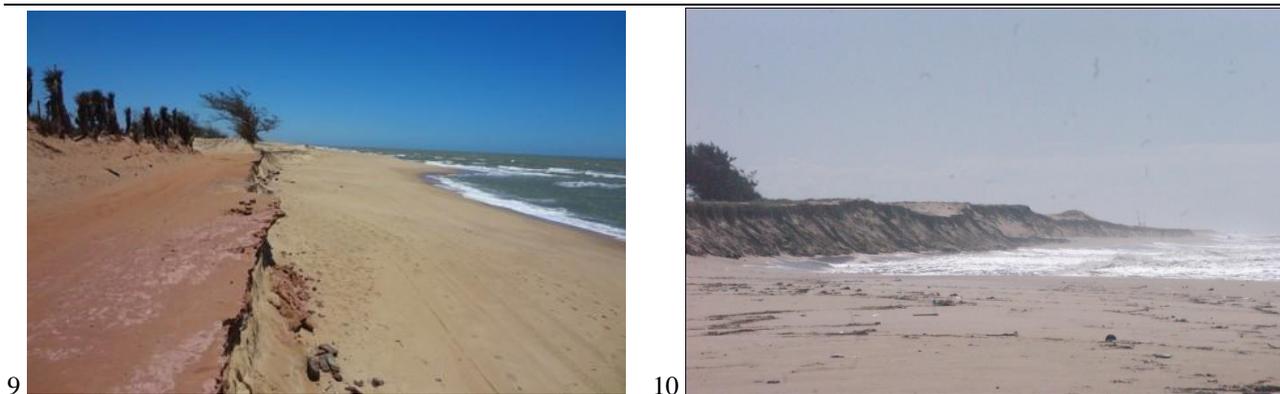


Figura 9. Evidência pontual de erosão costeira sobre estrada vicinal posicionada na porção ativa da praia na posição Farol Perfil 10. **Figura 10.** Evidência pontual de erosão de duna frontal posicionada na porção ativa da praia na posição Farol Perfil 10.

Na localidade de Farol de São Thomé (Farol Perfil 10), já no limite norte da orla costeira do município de Campos dos Goytacazes e nas proximidades da posição Maria da Rosa (Figura 5) o levantamento morfológico indica um perfil típico de acumulação, com projeção da linha de costa e das curvas batimétricas em direção ao oceano. De acordo com o modelo de Cassar e Neves (1993) e Gonçalves e Silva (2005) ao sul do cabo de São Tomé, há transporte residual para o Norte e ao norte do Cabo de São Thomé o residual de transporte é para o Sul, sendo então esta posição uma área de convergência de transporte de sedimentos. Os sedimentos da praia são constituídos basicamente de areias médias, cujo desvio padrão indicou sedimentos mal selecionados e curtose do tipo muito platicúrtica, o que indica, de acordo com resultados de Ponçano *et al.* (1976), Machado (2007) e Bulhões (2011) mistura de granulometrias distintas ou área de deposição. Neste sentido o estágio morfodinâmico foi calculado como de praia intermediária e este resultado está de acordo com o levantado por Bastos e Silva (2000) para uma área 3km ao norte desta localidade.

Notadamente ocorre ampla variabilidade na largura da praia, também descrito pelos autores supracitados, o que coloca em risco estruturas dimensionadas junto ao perfil ativo, conforme exemplo da Figura 9.

Seguindo para o sul, na localidade de Vila do Sol, o Perfil Farol 05 (Figura 7) apresenta condições semelhantes ao anterior, porém neste sentido há uma gradual redução da largura do perfil ativo na porção emersa que se estende por aproximados 100 metros. Esta condição é coincidente com o levantado por Bastos e Silva (2000) para perfis levantados nos anos de 1989, 1990 e 1995. De acordo com estes autores a declividade do pós-praia é suave e contrasta com o elevado gradiente da face praial, o mesmo foi observado nos levantamentos feitos ao longo deste estudo. Para Bastos e Silva (2000) as areias são de granulometria grossa a muito grossa. Os sedimentos coletados neste trabalho para a área de estudo foram classificados como areias médias. A característica morfodinâmica aqui inferida em cinco levantamentos resultou em três deles como praias intermediárias e em outros dois como praias refletivas. Estas mesmas características foram indicadas por Bastos e Silva (2000).

Em termos de estabilidade, de acordo com Bastos e Silva (2000) há uma tendência de elevada mobilidade horizontal do Perfil Farol 05 como uma resposta frente à eventos de tempestade. Neste sentido, foram mapeadas condições de ondas entre 2,6 e 4,2 metros quando considerando apenas as condições extremas, sendo as ondulações provenientes de Sul as mais efetivas em termos de mobilização do perfil ativo.

Por fim, o Perfil Farol 01 (Figura 7) representa o segmento Sul da orla do município de Campos dos Goytacazes na fronteira com o município de Quissamã e às margens do canal das Flechas e do guia corrente associado. Essa obra de engenharia (Figura 11) finalizada no início da década de 80 vem desencadeando um recuo erosivo da linha de costa ao norte e agradação por deposição devido à retenção de sedimentos ao sul. Este desalinhamento em planta entre a posição

ao sul e ao norte do guia-corrente é de aproximados 290 m. O recuo erosivo, ao norte, ocorre ao longo de um segmento de aproximados 7 km entre a posição Barra do Furado e a posição Lagamar. Em todo este segmento existem indícios de transposição de ondas (Figura 12) e erosão costeira (Figura 1 - Localidade 1º Píer). A redução do transporte longitudinal ocorre nesta área cuja resultante é de sul para norte (Figura 3) conforme Cassar e Neves (1993) e a estimativa destes autores para este residual de transporte é que sejam 2.900 m³ de sedimentos transportados ao dia, sobretudo entre junho e agosto.

Quanto às características do perfil supracitado, a sobreposição dos levantamentos morfológicos mostra a projeção vertical do topo da barreira arenosa que atinge 4 metros, mesmo assim há evidências de transposição de ondas sobre a barreira arenosa (Figura 12) e são observados leques de transposição à retaguarda, efeitos estes resultantes do empilhamento de água durante eventos de tempestade.

A declividade da face voltada para o mar indica características refletivas para a praia, onde as ondas dispersam sua energia diretamente na face da praia. A variabilidade da porção mais elevada do perfil praiado demonstra até o alcance dos efeitos das ondas de tempestade modificando a morfologia do perfil transversal. No pós-praia há inclinação suave em direção à retroterra, aonde ocorre uma área de mangue, vinculada a canais de maré no reverso da barreira arenosa. Quanto às características dos sedimentos, estes foram classificados como areias grossas, o que corrobora com as características de declividade e morfodinâmica tipicamente de praias refletivas.



Figura 11. Resultante do realinhamento da linha de costa três décadas após a construção do guia corrente. Foto: Roberto Moraes. **Figura 12.** Transposição de Ondas no Perfil Farol 01.

Conclusões

O objetivo geral traçado neste trabalho foi de avaliar a vulnerabilidade física da zona costeira ao longo dos municípios de São Francisco do Itabapoana, São João da Barra e Campos dos Goytacazes frente à entrada de ondas de tempestade. Para tal, foram conduzidas simulações de ondas oceânicas, utilizando dados de entrada valores extremos em 100 anos para a Baía de Campos, para as cinco principais direções de entrada de ondas nesta porção do litoral fluminense. Os dados de saída do modelo foram para altura máxima de ondas na zona de arrebentação. Estes resultados indicaram que o litoral do município de São João da Barra receberia as maiores ondulações e estas estariam localizadas na área do Açú, mais especificamente na posição Porto do Açú, conforme delimitado como ponto de análise na Figura 5. A direção que expunha mais esta porção do litoral foi a leste, seguida pela direção sudeste. Para o município de Campos dos Goytacazes as ondulações propagadas desde Sul, seguida das ondulações de sudeste são as mais energéticas, atingindo até 4,6 metros para a posição Farol de São Thomé. Já o litoral do município de São Francisco do Itabapoana está mais exposto às ondulações de sudeste e de leste, porém, pelo aspecto embaiado da linha de costa, e também pela menor declividade da zona submarina, tende a apresentar as menores alturas de ondas na zona de arrebentação, sendo as de sudoeste as menos energéticas.

Quanto aos dados morfológicos levantados no campo e resgatados de estudos pretéritos a zona costeira ao longo destes municípios apresenta áreas de erosão, de estabilidade e de acumulação. As áreas de erosão obviamente são as mais vulneráveis por já apresentarem um estoque deficitário de sedimentos na porção emersa. Este é o caso da localidade de Atafona (Figura 01), no segmento logo ao sul da foz do rio Paraíba do Sul onde um processo de erosão costeira se dá em função da concentração de energia de ondas e disponibilização dos sedimentos para a deriva litorânea (majoritariamente para sul) e para a construção de dunas frontais que em algumas posições triplicam a dimensão vertical da barreira arenosa, atingindo até 11 metros.

Outra área de erosão ocorre justamente aonde o modelo de ondas indica as maiores alturas máximas junto à zona de arrebentação para toda a área de estudo. Esta posição está refere-se à posição Porto do Açú (Figura 5), na porção sul do litoral de São João da Barra. O processo erosivo se dá pela menor elevação da barreira arenosa nesta área do litoral (aprox. 3 metros) o que permite que as ondas de tempestade se transponham sobre a barreira arenosa, alcançando as áreas residenciais (Figura 1). A terceira posição de erosão é ao sul da faixa costeira do município de Campos dos Goytacazes. Nesta área o processo erosivo ocorre em função do *déficit* de sedimentos que estão retidos à montante (sul) do guia corrente da Barra do Furado (Figura 11), cabendo ressaltar que o residual do transporte litorâneo para esta área é de sul para norte. A altura da barreira frontal nesta área também é menor (< 4,0 m) o que possibilita a transposição de ondas de tempestade (Figura 1 - 1º Píer e Figura 12). Há evidências também de erosão costeira no município de São Francisco do Itabapoana (Figura 1 nas localidades indicadas como Guriri e Manguinhos) aonde o recuo de falésias ativas é evidência na paisagem e aonde a concavidade acentuada dos perfis entre a área identificada como Manguinhos e Ponta do Retiro (Figura 7) indicam perfis de praia em erosão.

As áreas de acumulação e, portanto, menos vulneráveis aos eventos de tempestade ao longo deste litoral são majoritariamente três. A primeira está localizada na porção sul do município de São Francisco do Itabapoana, aonde as barreiras arenosas em formato de barras submersas são transportadas em direção ao continente e acabam por se acoplar à praia emersa resultando na construção atual da planície de crista de praia, conforme resultados de Vasconcelos *et al.* (2007). A segunda área de acumulação, detectada por Ribeiro (2005b) e Rocha (2009), ocorre vinculada ao transporte de sedimentos, em direção sul, desde a localidade de Atafona até a localidade de Grussaí, em São João da Barra. Nesta última localidade os sedimentos passam a ser incorporados à praia emersa, evidenciado um perfil de acumulação e faixa de praia maior que 140 metros. A terceira área de acresção da faixa costeira ocorre na zona protuberante do Cabo de São Thomé. Nesta localidade a convergência de fluxos de transporte litorâneo vindos de norte e vindos de sul somado à proteção que um banco arenoso, fixo e submerso promove perfis típicos de acumulação sedimentar com elevado estoque de sedimentos na porção emersa e barreira frontal com altura superior a 5 metros.

Por fim, as áreas de estabilidade se dão em função do transporte longitudinal de sedimentos para toda as demais áreas ao longo deste litoral. O transporte longitudinal de sedimentos - cujas fontes principais são sedimentação fluvial e falésias sedimentares ativas - e suas resultantes é o principal elemento modelador da dinâmica costeira ao longo deste litoral.

Nota

1 – *Global Forecast System* – principal modelo global de previsão do tempo atmosférico

Agradecimentos

A primeira autora agradece ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da UFF/CNPq. O segundo autor agradece à PROAES UFF pela concessão de bolsas de desenvolvimento acadêmico entre 2013 e 2015. O terceiro autor agradece à FAPERJ pela concessão dos recursos para aquisição de material permanente. Os autores agradecem aos revisores pelas

sugestões e aos alunos de iniciação científica que participaram das etapas desta pesquisa sendo eles: Luca Lammle, Stéphanie Klotz, Carolina Cidade e Jéssica Souza.

Referências

- BASTOS, A.C., SILVA, C.G. 2000. Caracterização Morfodinâmica do Litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Oceanografia*. Vol. 48. p 41-60.
- BULHÕES, E. 2011. Exposição de Praias, Clima de Ondas e Processos Físicos em Praias de Enseada: Exemplos e Aplicações em Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. UFF. Niterói. 230p.
- BULHÕES, E.; DRUMOND, M.K. 2012. Análises e Testes de Métodos de Interpolação para Dados Batimétricos e Granulométricos: Estudo de Caso em Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *CADEGEO - Cadernos de Estudos Geoambientais*. Vol.3 (1). p.1-27
- BULHÕES, E., FERNANDEZ, G.B. 2011. Analysis of Shallow Water Wave Propagation and Coastal Response in Embayed Beaches. Case Study in Cape Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 64. ICS2011Proceedings. p.2022-2026.
- BULHÕES, E., FERNANDEZ, G.B., ROCHA, T. B. 2010. Efeitos Morfológicos nas Barreiras Costeiras do Litoral Centro-Norte do Estado do Rio de Janeiro: Resultados do Evento de Tempestade de Abril de 2010. *Revista de Geografia da UFPE. Edição Especial SINAGEO 2010*. Volume 2. pp. 15-29.
- BULHÕES, E., FERNANDEZ, G.B., OLIVEIRA FILHO, S.R., PEREIRA, T.G., ROCHA, T. B. 2014. Impactos Costeiros Induzidos por Ondas de Tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*. Vol. 05 (2): 155-165.
- CAMPOS R M. 2009. Análise dos extremos de onda no Rio de Janeiro associados. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Oceânica, Departamento de Engenharia, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. 269p.
- CANDELLA, R. N. 1997. Estudo de Caso de Ondas no Atlântico Sul Através de Modelagem Numérica. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 80 p.
- CASSAR, J.C.M, NEVES, C.F. 1993. Aplicação das Rosas de Transporte Litorâneo à Costa Norte Fluminense. *RBE*, vol.11 pp. 81-103.
- DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (DHI). 2015. MIKE 21 Spectral Wave FM, Short Description. User Guide and Reference Manual. DHI Software, Denmark.
- DIAS, G.T.M. 1981. O Complexo Deltáico do Rio Paraíba do Sul. In: *Simpósio do Quaternário no Brasil. Publicação Especial*. No.2 p.58-88.
- DIAS, G.T.M., GORINI, M.A.A. 1980. Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia*. Camboriú. Vol. 1: 588-602.

- DIAS, G. T. M., KJERFVE, B. 2009. Barrier and Beach Ridge Systems of Rio de Janeiro Coast. In: S. Dillenburg; P. Hesp. (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers*. Heidelberg: Springer Verlag. v. 107, p. 225-248.
- DOLAN, R.; DAVIS, R.E. 1992. An Intensity Scale for Atlantic Northeast Storms. *Journal of Coastal Research*, Vol.8. pp. 352-364.
- DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., MARTIN, L. 1983. O Papel da Deriva Litorânea de Sedimentos Arenosos na Construção das Planícies Costeiras Associadas às Desembocaduras dos Rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 13 p. 98-115.
- FERNANDEZ, G.B. 1998. Caracterização Morfodinâmica do Prisma Praial sob Influência de Sedimentos Fluviais, no Embaiamento Rio das Ostras - Cabo Búzios, RJ. Dissertação de Mestrado. PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro. 81 p.
- FERNANDEZ, G. B., BULHÕES, E., ROCHA, T.B. 2011. Impacts of Severe Storm Occurred in April 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 64. ICS2011Proceedings. p.1850-1854.
- FERNANDEZ, G.B.; MALUF, V.; BULHÕES, E.; ROCHA, T.B.; PEREIRA, T.G.; OLIVEIRA FILHO, S.R. 2015. Impactos Morfológicos e Resiliência das Praias do Litoral do Rio de Janeiro: referência especial à morfodinâmica praial. In: PAULA, D.P. e DIAS, J.A. (orgs.) *Ressacas do Mar/Temporais e Gestão Costeira*. Capítulo II, Seção III. Editora Premium.
- GONÇALVES, C.Z., SILVA, C.G. 2005. Proveniência e Distribuição dos Minerais Pesados no Complexo Deltáico do Rio Paraíba do Sul. *Anais do X Congresso da Abequa*.Guarapari.
- MACHADO, G.M.V. 2007. Análise Morfossedimentar da Praia, Antepraia e Plataforma Continental Interna da Linha de Costa do Parque Nacional de Jurubatiba, RJ. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MACHADO, K.M. 2009. Dinâmica Sedimentar da Planície do Paraíba do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. UFF. Niterói. 61 pgs.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A. 1984. Evolução da Planície Costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) Durante o Quaternário: Influência das Flutuações do Nível do Mar. *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro.
- MATTOS, S.H.V.L.de; PEREZ FILHO, A. 2004. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: Uma Introdução ao Tema. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Ano 5. Vol.1. p. 11-18.
- MORTON, R.A.; SALLENGER, A.H. 2003. Morphological Impacts of Extreme Storm on Sandy Beaches and Barriers. *Journal of Coastal Research*, Vol.19 (3). p. 560-573
- MOULTON, M.A.B., OLIVEIRA FILHO, S., ROCHA, T.B., FERNANDEZ, G.B. 2013. Foredunes of Rio de Janeiro Coast: Genesis, Structure and Morphology. *Journal of Coastal Research*. SI. 64. Vol. 2. p. 1319-1324.
- MUEHE, D. 1998. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentação. In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S.B. (org). *Geomorfologia do Brasil*. Cap. 7. Ed. Bertrand Brasil
-

- MUEHE, D. (org) 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. MMA – Ministério do Meio Ambiente. 476p.
- MURILLO, V.; SILVA, C. G.; FERNANDEZ, G. B. 2007. Discussão sobre a Contribuição dos Sedimentos da Plataforma Continental Interna para a Formação da Planície de Cristas de Praia do Delta do rio Paraíba do Sul. In: 11o Congresso da ABEQUA, 2007, Belém. 11o Congresso da ABEQUA, 2007. v. 1. p. 1-3.
- PARENTE, C. E. 1999. Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PINHO, U. F. 2003. Caracterização dos Estados de Mar na Bacia de Campos. Dissertação de Mestrado COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 123p
- PGI – Plano de Gestão Integrada. 2015. PGI – Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima de Campos dos Goytacazes. 2015. *Plano de Intervenção na Orla do Município de Campos dos Goytacazes*. 89p. Disponibilidade Restrita.
- PONÇANO, W.L., GIMENEZ, A.F., FULFARO, V.J. 1976. Sedimentação Atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: Contribuição à Avaliação de Viabilidade Geotécnica da Implantação de um Porto. Anais do 1o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Volume 2. Rio de Janeiro (111-139).
- RIBEIRO, G.P. 2005a. Avaliação da Dinâmica do Campo de Dunas em Atafona, São João da Barra (RJ), como Requisito para Interpretação do Processo de Erosão Costeira. Monografia (especialização): UFRJ/MN/DGP / Programa de Pós-Graduação em Geologia do Quaternário. 141p.
- RIBEIRO, G.P. 2005b. Tecnologias Digitais de Geoprocessamento no Suporte à Análise Espaço Temporal em Ambiente Costeiro. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal Fluminense. 223p.
- RIBEIRO, G.P., PEREIRA, C.Q., SILVA, A.E., CASTRO, J.W.A. 2007. Análise da Configuração Espacial e Dinâmica das Dunas de Atafona, São João da Barra (RJ). In: XI Congresso Brasileiro da ABEQUA. UFPA, v1. p.1-1.
- ROCHA, T.B. 2009. Morfodinâmica Costeira e Gestão de Orla Marítima em Costa sob Influência Fluvial: Borda Meridional do Atual Delta do Rio Paraíba do Sul (RJ). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense.
- SALLENGER, A.H. 2000. Storm Impact Scale for Barrier Islands. Journal of Coastal Research. Vol.16 (3). pp. 890-895
- SOUZA, R.D. 2011. Propagação de Ondas para Águas Rasas no Litoral Norte Fluminense: Subsídios para Estudos de Erosão Costeira e Transporte de Sedimentos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. Universidade Federal Fluminense. 156p.
- SOUZA, R.D.; BULHÕES, E. 2011. Propagação de Ondas para Águas Rasas no Litoral Norte Fluminense: Subsídios para Estudos de Erosão Costeira e Transporte de Sedimentos. Anais do V SOB. Simpósio Brasileiro de Oceanografia. Santos-SP.

- SOUZA, T.A.; BULHÕES, E.; AMORIM, I.B.S. 2015. Ondas de Tempestade na Costa Norte Fluminense. *Quaternary and Environmental Geosciences*, Vol. 6 (02). pp. 10-17.
- STERL, A.; CAIRES, S. 2005. Climatology, Variability and Extrema of Ocean Waves: The Web KNMI/ERA-40 Wave Atlas. *International Journal of Climatology*. Vol. 25. pp 963-977.
- TOLMAN, H.L., 1999. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.
- VASCONCELOS, S.C.; PEREIRA, T.G.; FERNANDEZ, G.B. 2007. Barreiras Arenosas Submersas Detectadas por Sísmica de Alta Resolução ao Norte da Foz do Rio Paraíba do Sul, Litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro. *Anais do XI Congresso da ABEQUA*.
- VIOLANTE-CARVALHO, N. 1998. Investigação Sobre a Evolução do Clima de Ondas na Baía de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas. *Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro*. 133 pp.