



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA**

TESE DE DOUTORADO

**MODELAGEM DO CLIMA DE ONDAS E SEUS EFEITOS
SOBRE AS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS COSTEIRAS NO
LITORAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE**

Autora:

MARIA DE FÁTIMA ALVES DE MATOS

Orientador:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (DG/PPGG/UFRN)

Co-Orientadoras:

Ada Cristina Scudelari (UFRN)

Conceição Juana E. M. Fortes (LNEC/PT)

Tese n.º38/PPGG.

Natal – RN, Novembro de 2013.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA**

TESE DE DOUTORADO

**MODELAGEM DO CLIMA DE ONDAS E SEUS EFEITOS
SOBRE AS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS COSTEIRAS NO
LITORAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE**

Autora:

MARIA DE FÁTIMA ALVES DE MATOS

Tese apresentada em 25 de novembro de dois mil e treze, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN como requisito a obtenção do Título de Doutora em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

**Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (DG/PPGG/UFRN) – Presidente/Orientador
PhD. Luis Roberto Takiyama (IEPA/AP) – Examinador Externo
Prof. Dr. Pedro S. Pereira (UFPE) – Examinador Externo
Profa. Dra. Helenice Vital (DG/PPGG/ DG/PPGG UFRN) – Examinador Interno
Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral (DG/PPGG UFRN) – Examinador Interno
PhD. Conceição Juana E. M. Fortes (LNEC/Portugal) – Examinador Externo**

Natal – RN, Novembro de 2013.

Esta Tese de Doutorado foi desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, no contexto do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG, e foi sendo financiada pelas fontes de fomento:

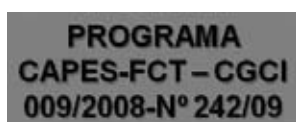
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Programa financiadora;

Programa CAPES/FCT-CGCI-009/2008 N°242/09, por meio do Projeto “AMIGOS DE BOUSSINESQ – Construção de uma Base de Pesquisa e Conhecimento em Engenharia Costeira entre Brasil e Portugal”;

Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e PETROBRAS por meio da REDE 05-PETROMAR/CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq;

Projeto HIDROSEMA “Monitoramento das Mudanças Ambientais e da Influência da Forçantes Hidrodinâmicas na Morfodinâmica Praial no Campo de Serra-Macau na Bacia Potiguar”;

Projeto MOLECO “Monitoramento das Mudanças de Longo Prazo e da Poluição”.



Dedico esta Tese

À Odete Silveira (*in memoriam*).

“Fiz a escalada da montanha da vida removendo pedras e plantando flores”. Com as palavras de Cora Coralina (a poeta que você tanto admirava) eu escalei muito além do que poderíamos ter sonhado.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço às fontes financiadoras, que sem o apoio deles não poderia desenvolver esse trabalho: a CAPES, pela concessão da bolsa durante o doutorado.

A REDE 05-PETROMAR/CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq, no âmbito os projetos cooperativos HIDROSEMA e MOLECO.

À Rede Amigos de Boussinesq (Construção de uma Base de Pesquisa e Conhecimento em Engenharia Costeira entre Brasil e Portugal) e a CAPES/FCT (Fundação para Ciência e Tecnologia), pelo financiamento concedido durante o doutorado-sanduíche no Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal, através dos Projetos PTD/ECM/73145, PTD/AMB/67450/2006 e PTDC/ECM/67411/2006.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG/UFRN por me receber nesta instituição.

Faço todas as honras e agradecimentos a meu magnífico orientador, Venerando Amaro, pessoa por qual tenho muito respeito, consideração e carinho. Obrigada por todo apoio, confiança, atenção e os incentivos na carreira acadêmica e profissional, que iniciou ainda no mestrado e dura por todos esses anos, e tenho certeza que essa amizade continuará por longa data, ainda que do ponto de vista da escala geológica é curto, mais valeu por toda essa vida.

Agradeço a minha co-orientadora Ada Cristina Scudelari, por toda a paciência mais, sobretudo, por ter acreditado que eu poderia levar adiante este projeto, e não mediu os esforços para contribuir.

Obrigada a minha co-orientadora, Juana Fortes, por toda atenção e dedicação dada durante a permanência em Portugal, todo o apoio no LNEC em termos de estrutura e orientação. E pelos momentos de descontração juntamente com toda a malta, muito obrigada.

À Nilda, pessoa tão querida, obrigada por toda sua dedicação, atenção e carinho conosco, realmente é a nossa “Guardiã”.

À Profa. Maria Helena e a Sônia, por todo o apoio e respeito, mas, sobretudo, pelo convívio durante esses 6 anos, desde o início quando cheguei para fazer o mestrado, muito obrigada de coração por todo o cuidado e carinho que sempre recebi de vocês.

Agradeço muito a meus amigos, Luciana, Vítor e Caio, pelo companheirismo, amizade, apoio e toda a ajuda que sempre recebi de vocês, sobretudo, obrigada pelos momentos de descontração, pelas brincadeiras e todo carinho.

Agradeço muito a colaboração e apoio e todas as ajudas que sugiram nessa fase final de meus colegas e amigos do GEOPRO, em especial a Débora, Lívian, Mattheus, Rodolpho e Ranyere, muito, muito obrigada por toda a atenção dada.

Aos Professores Hilário Bezerra, Marcela Marques, Ricardo Amaral e Vanildo pelas agradáveis e descontraídas conversas.

À Profa. Helenice Vital por toda atenção, apoio e estrutura manifestada sempre que precisei.

À Fátima do Laboratório de Sedimentologia pelo encanto de pessoa e profissional que é, pelas confortantes conversas da vida, entretanto, confesso que é também minha salvadora sempre que necessitei de café.

Ao amigo Canindé, uma pessoa de grande respeito e consideração, obrigada por todo o apoio nas campanhas de campo, muito do desenvolvimento desse trabalho foi de sua contribuição.

Aos meus amigos Bruno, André Luis, Edson, pelo bom convívio e amizade conquistada.

A toda malta do LNEC, Ana Mendonça, Sara, Adriana, Diogo, Gonçalo, Joel, Gil, Euclides, Jorge, Ruben, Mariana, Ana Rilo, Patrícia, Pedro, Rui, João, foram grandes amizades conquistadas durante minhas estadias em Portugal, sendo fundamental para a adaptação e desenvolvimento do meu trabalho, sobretudo, a sensação e conforto de se sentir em casa.

As minhas mais recentes amizades conquistadas Renata e Mikaelle, um encanto de pessoas.

À minha querida família, eu deixo o meu mais singelo sentimento de gratidão e amor supremo, que mesmo distante honrou e respeitou minhas decisões de carreira profissional, me deixando à vontade para seguir a vida, muito obrigada.

RESUMO

Esta tese apresenta os resultados da aplicação do modelo numérico SWAN – *Simulating WAves Nearshore*, de terceira geração, que a simula propagação e dissipação da energia das ondas do mar, na plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte, com vista a determinar o clima de ondas, calibrar e validar o modelo e aferir suas potencialidades e limitações para a região de interesse. Após a validação do clima de ondas os resultados foram integrados com as informações do relevo submarino e morfologia em planta dos sistemas de praias e ilhas barreiras. Nesta segunda fase, o objetivo foi analisar a evolução da onda e sua interação com o fundo marinho raso a partir de três perfis transversais de orientação de N para S, distribuídos conforme as paralelas longitudinais, $X = 774000\text{-W}$, 783000-W e 800000-W . Posteriormente, extraíram-se os valores direcionais de ondas e ventos ao longo de todos os meses compreendidos entre novembro de 2010 a novembro de 2012, para analisar a incidência destas forçantes sobre a movimentação de área para entender o comportamento das variações morfológicas de acordo com a variabilidade temporal anual. Com base nos resultados da modelagem e da sua integração com os dados correlacionados e das variações planimétricas dos sistemas praias de Soledade e Minhoto e das ilhas barreiras Ponta do Tubarão e Barra do Fernandes, obteve-se as seguintes conclusões: o SWAN conseguiu reproduzir e determinar o clima de ondas para o litoral setentrional do RN, os resultados mostram tendência semelhante com as medidas nas variações temporais de altura significativa (H_S , m) e período médio de onda (T_{med} , s), entretanto, os resultados paramétricos das estatísticas mostraram-se baixos para as estimativas dos valores máximos, na maioria dos períodos analisados em comparação os dados do PT 01 e PT 02 (pontos de medição), com alternância das alturas significativas de ondas, em alguns momentos sobrestimado com a sobreposição ocasional de episódios de ondulação. Ao analisar a distribuição espacial do clima de ondas e sua interação com a compartimentação submarina, concluiu-se que há interação da propagação da onda com o fundo, evidenciando alteração nas alturas significativas sempre quando esta interage com as feições de fundo (rochas praias, dunas longitudinais simétricas e assimétricas, paleocanal, dentre outros) existentes nas regiões das zonas da plataforma externa, média e interna. E finalmente notou-se que especialmente as ilhas de Ponta do Tubarão e Barra do Fernandes, estão mais sujeitas a incidência das ondas, causando o recuo da linha de costa; o estudo das áreas de estabilidade permitiu identificar as regiões mais instáveis, corroborando com o senso de que a maior amplitude de variação indica maior instabilidade e conseqüente sensibilidade aos processos hidrodinâmicos atuantes na região costeira, seja esta variação positiva ou negativa.

ABSTRACT

This thesis presents the results of application of SWAN – Simulating WAVes Nearshore numerical model, OF third generation, which simulates the propagation and dissipation of energy from sea waves, on the north continental shelf at Rio Grande do Norte, to determine the wave climate, calibrate and validate the model, and assess their potential and limitations for the region of interest. After validation of the wave climate, the results were integrated with information from the submarine relief, and plant morphology of beaches and barrier islands systems. On the second phase, the objective was to analyze the evolution of the wave and its interaction with the shallow seabed, from three transverse profiles orientation from N to S, distributed according to the parallel longitudinal, $X = 774000\text{-W}$, 783000-W e 800000-W . Subsequently, it was were extracted the values of directional waves and winds through all the months between november 2010 to november 2012, to analyze the impact of these forces on the movement area, and then understand the behavior of the morphological variations according to temporal year variability. Based on the results of modeling and its integration with correlated data, and planimetric variations of Soledade and Minhoto beach systems and Ponta do Tubarão and Barra do Fernandes barrier islands systems, it was obtained the following conclusions: SWAN could reproduce and determine the wave climate on the north continental shelf at RN, the results show a similar trend for the measurements of temporal variations of significant height (H_S , m) and the mean wave period (T_{med} , s); however, the results of parametric statistics were low for the estimates of the maximum values in most of the analyzed periods compared data of PT 1 and PT 2 (measurement points), with alternation of significant wave heights, at times overrated with occasional overlap of swell episodes. By analyzing the spatial distribution of the wave climate and its interaction with the underwater compartmentalization, it was concluded that there is interaction of wave propagation with the seafloor, showing change in significant heights whenever it interacts with the seafloor features (beachrocks, symmetric and asymmetric longitudinal dunes, paleochannel, among others) in the regions of outer, middle and inner shelf. And finally, it is concluded that the study of the stability areas allows identifications of the most unstable regions, confirming that the greatest range of variation indicates greater instability and consequent sensitivity to hydrodynamic processes operating in the coastal region, with positive or negative variation, especially at Ponta do Tubarão and Barra do Fernandes barrier islands systems, where they are more susceptible to waves impacts, as evidenced in retreat of the shoreline.

Keywords: Numeric modeling, shallow seabed, morphological processes, Rio Grande do Norte.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE ABREVIACÕES.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Considerações Gerais da Área de Estudo.....	7
1.2.1 Contextualização geológica e geomorfológica da Plataforma Continental Setentrional do Litoral do Rio Grande do Norte.....	7
1.2.2 Aspectos da Sedimentologia da Plataforma Continental Setentrional do Litoral do Rio Grande do Norte.....	12
1.2.3 Caracterização Hidrodinâmica da Área de Estudo.....	14
1.2.4 Aspectos Climatológicos e Meteoceanográfica.....	15
2 O MODELO SWAN.....	20
2.1 Estruturação Matemática do Modelo.....	21
2.1.1 Equação do Balanço de Energia.....	21
2.1.2 Os Termos de Propagação.....	23
2.1.3 Forçamento pelo Campo de Ventos.....	24
2.1.4 Interação não linear das ondas.....	26
2.1.5 Rebentação Parcial (<i>WHITECAPPING</i>).....	27
2.1.6 Atrito de Fundo.....	28
2.1.7 Rebentação Induzida pelo Fundo.....	29
2.2. Implementação Numérica.....	30
2.2.1 Considerações Gerais.....	30
2.2.2 Propagação no Espaço Geográfico Espectral.....	32

2.2.3 Geração, Dissipação e Interações não Lineares Onda-Onda.....	34
2.3 Procedimentos de Pré e Pós Processamento.....	35
2.3.1 Sistema Operacional de Previsão da Ondulação em Portos – SOPRO.....	36
3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.....	38
3.1 Introdução.....	38
3.2 Batimetria.....	37
3.3 Dados de Ondas <i>in situ</i>	41
3.4 Dados de Maré.....	44
3.5 Dados de Ventos.....	46
3.6 Dados da Agitação ao Largo.....	48
3.7 Levantamento da Linha de Costa.....	52
4 ANÁLISE COMPARATIVA DA AGITAÇÃO OBTIDA COM O MODELO NUMÉRICO (SWAN) NA MODELAGEM DE ONDAS DO LITORAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL E DADOS DE CAMPO.....	55
5 DETERMINAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS DO LITORAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE, UTILIZANDO MODELAGEM NUMÉRICA (SWAN) E DADOS CORRELACIONADOS.....	72
6 AVALIAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS ATRAVÉS MODELAGEM NUMÉRICA E SUA INTERAÇÃO COM O FUNDO MARINHO RASO DA PLATAFORMA CONTINENTAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE.....	104
7 INFLUÊNCIA DAS FORÇANTES METEOCEANOGRÁFICAS NA DINÂMICA MORFOLÓGICA DO SISTEMA PRAIAL E ILHAS BARREIRAS, DO LITORAL SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.....	146
8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	176
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182
APÊNDICES.....	196

LISTA DE ABREVIACOES

A - parcela linear de energia transferida pelo vento

a_i - amplitude para cada frequência

\bar{a}_i^2 - média quadrática das amplitudes de ondas medidas nas diferentes frequências f_i

B - parcela exponencial da energia transferida pelo vento

B_r - limite de confiança experimental relativo  expressão da rebentao parcial,
 $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$

B_k - parâmetro relativo  expressão da rebentao parcial, $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$

c - celeridade da onda, coeficiente de atrito de fundo

C_b - coeficiente do termo de atrito de fundo

C_D - coeficiente de arrastamento

C_{ds} - parâmetro ajustável da equao do coeficiente de declividade, Γ

c_g - velocidade de grupo

$c_{g,x}, c_{g,y}$ - velocidade de grupo no domínio do espaço $x - y$

$c_{g,\theta}$ - velocidade de grupo no domínio da direo

$c_{g,\sigma}$ - velocidade de grupo no domínio da frequência relativa

D_{tot} - taxa média de dissipao da energia por unidade de rea

E - densidade de energia

E_{tot} - energia total

$E(\sigma, \theta)$ - espectro bidirecional de variância

$E(\sigma)$ - espectro unidirecional de variância

F - funo de distribuio de Rayleigh

f - frequência

f_{min} - limite mínimo da frequência

f_{max} - limite máximo da frequência

f_p - frequência de pico espectral

g - aceleração da gravidade
 h - profundidade relativa ao nível médio
 H - altura da onda
 $H_{máx}$ - altura máxima para qual não se dá rebentação
 H_{m_0} - altura significativa estimada no domínio espectral
 H_{rms} - altura média quadrática da onda
 $H_s, H_{1/3}$ - altura significativa no domínio do tempo
 k - número da onda
 \bar{k} - número de onda médio
 \vec{k} - vetor número de onda
 L - comprimento de onda
 m - deslocamento na perpendicular
 m_n - momento espectral de ordem n
 m_0 - momento espectral de ordem zero
 m_2 - momento espectral de ordem dois
 M - número de componentes
 N - densidade de ação; número de componentes
 p - parâmetro ajustável da equação do coeficiente de declividade Γ
 p_a - pressão atmosférica
 Q_b - parcela de ondas sujeitas à rebentação
 s - deslocamento na direção de propagação
 \bar{s} - valor médio da declividade da onda
 \bar{s}_{PM} - valor de \bar{s} para o espectro de Pierson-Moskowitz
 $S(\sigma, \theta)$ - termos fonte e sumidouro da equação de balanço espectral
 $S_{in}(\sigma, \theta)$ - termo forçador devido ao vento
 $S_{nl}(\sigma, \theta)$ - termo forçador devido às interações não lineares

$S_{ds}(\sigma, \theta)$ - termo forçador devido à dissipação

$S_{ds,w}(\sigma, \theta)$ - parcela de dissipação de energia relativa à rebentação parcial (*whitecapping*)

$S_{ds,br}(\sigma, \theta)$ - parcela de dissipação de energia relativa à rebentação induzida pelo fundo

$S_{ds,b}(\sigma, \theta)$ - parcela de dissipação de energia relativa ao atrito de fundo

t - tempo

T - período de onda

$T_{m_{01}}$ - período médio definido com os momentos espectrais m_0 e m_1

$T_{m_{02}}$ - período médio definido com os momentos espectrais m_0 e m_2

U_{10} - valor de velocidade do vento a 10m de elevação

\vec{u} - vetor velocidade da corrente

u_* - velocidade de atrito

x, y - coordenadas horizontais

z - coordenada vertical

\vec{v} - campo de velocidade associado ao campo de ondas

ω - frequência angular absoluta

α - constante de Philips

ε_i - é a fase aleatória para frequência f_i

γ - parâmetro de elevação de pico, parâmetro de rebentação

η - elevação da superfície livre

θ - direção

$\langle \eta^2 \rangle$ - variância da elevação da superfície do oceano

ρ_w - massa específica da água do mar

σ - frequência intrínseca ou relativa, coeficiente de assimetria

$\bar{\sigma}$ - frequência relativa média

Γ - coeficiente de declividade da onda

$\phi(x, y, z, t)$ - potencial de velocidades

ϕ - coeficiente que depende de parâmetros integrais do espectro das ondas

δ – parâmetro ajustável da equação do coeficiente de declividade, Γ

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O uso e a ocupação da zona costeira defrontam-se com ambiente de interface entre o continente, o oceano e a atmosfera. Portanto, as feições morfológicas encontradas nestas regiões representam a resposta da integração das contribuições dos agentes oriundos dos processos continentais, oceânicos e atmosféricos. Esta resposta se dá continuamente no tempo e está sujeita as variações de agentes motrizes e passivos de origem natural e/ou antrópica (ROSMAN et al., 2007). Sendo assim, o conflito existente entre os interesses de uso e ocupação da zona costeira, confrontado à dinâmica morfológica instalada, conduz à execução de intervenções para proteção destas áreas e o sucesso destas ações depende da compreensão dos fenômenos presentes na região onde serão implantadas. Sabidamente os processos físicos nestas zonas são fruto da superposição de efeitos de ondas, correntes, marés, ventos, configuração morfológica da costa (linha de costa, declividade dos taludes, materiais constituintes), entre outros fatores. Conseqüentemente, o processo de transformação de ondas geradas ao largo até a zona costeira tem implicações importantes no transporte de sedimentos, afetando assim diretamente a morfologia costeira. Desta forma, o conhecimento detalhado da agitação marítima presente nestas zonas é de fundamental importância. Uma maneira de se determinar a agitação marítima é basear-se em dados de campo, cuja obtenção é uma tarefa difícil pelos equipamentos, meios humanos e financeiros que envolvem. Além disso, numa dada região de estudo, os dados quando existentes são pontuais e assim, com pouca representatividade espacial. A obtenção de dados que permitam uma adequada representação espacial e temporal do clima de ondas esbarra em dificuldades operacionais e econômicas, uma vez que exigem longos períodos de medição com ampla espacialização de estações de medição.

A modelação numérica do fenômeno, aliada às observações de campo, aparece como alternativa significativa para a caracterização da agitação marítima, uma vez que permite prever as características do clima de ondas de dada região e, sobretudo, permite sua análise a curto, médio e longo prazo. Constituindo, portanto, uma importante ferramenta de gestão costeira, especialmente em regiões costeiras e carentes de observações *in situ*, que descrevam a agitação marítima em detalhe, como é o caso da costa nordeste do Brasil e da maioria das zonas costeiras do mundo.

Porém, qualquer modelo numérico de propagação ou geração de ondas é baseado em aproximações e hipóteses, o que faz com que apresentem limitações na descrição precisa das ondas na zona em estudo. Mais ainda, a maioria dos modelos envolve uma série de parâmetros que têm que ser calibrados para cada caso de estudo, reforçando a importância de aliar a modelação numérica a observações de campo.

O litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN), entre os municípios de Macau e Guamaré, é a área de interesse deste trabalho, pois abriga uma região de grande interesse socioeconômico, onde os conflitos de uso e ocupação da zona costeira e os aspectos ambientais e da morfodinâmica costeira estão potencializados (Figura 1.1).

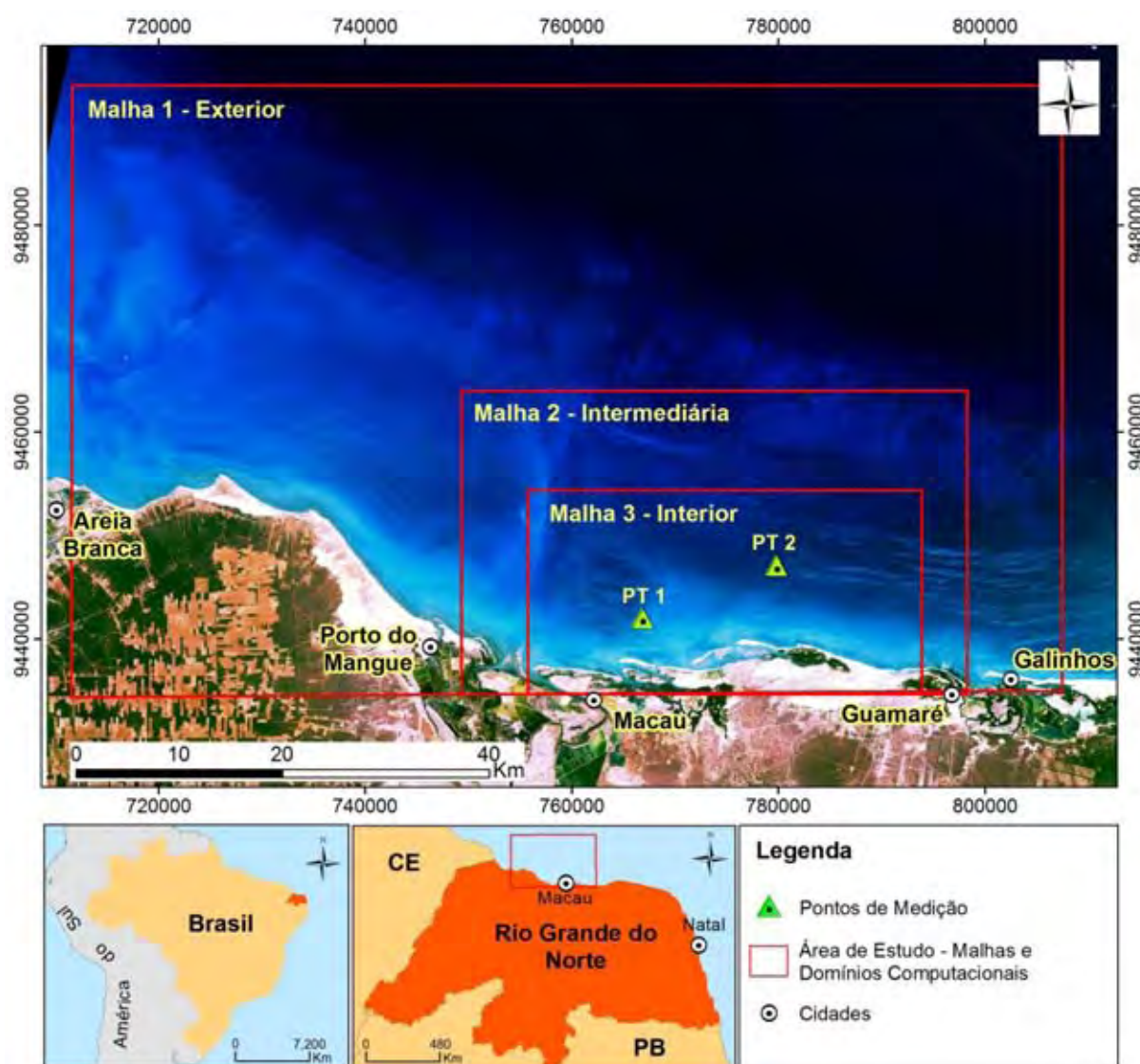


Figura 1.1. Mapa de localização da área de estudo, indicando a área da modelagem com as malhas e domínios computacionais e os pontos referentes às medições.

Esta região abriga o Polo Petrolífero de Guamaré, bases exploratórias de hidrocarbonetos, fazendas de produção de sal, fazendas de camarão e, mais recentemente, extensos parques da indústria eólica, todos instalados em contexto geomorfológico de pontões arenosos, ilhas barreiras e estuários ocupados por manguezais. O RN atende como o maior produtor de sal e figura entre os dois maiores produtores de camarão do Brasil. A dinâmica costeira instalada confere intensa instabilidade morfológica, articulada pelos processos de erosão e acreção sedimentar na linha de costa, resultantes das ações constantes de ondas e ventos alísios, além do quadro das preocupações com a variação do nível do mar, das condições climáticas da natureza, das atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carregados pelos rios e oceano, que controlam o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea (SOUTO et al., 2006; RIOS e AMARO, 2012; FRANCO et al., 2012, AMARO et al. 2012, entre outros).

Com o intuito de minimizar os conflitos inerentes ao uso e ocupação do solo e a vulnerabilidade ambiental da região, além de garantir o sucesso de intervenções que se façam necessárias à proteção dos terrenos costeiros e marinhos, há a necessidade da compreensão do clima de ondas da região, além de sua interação com as transformações inerentes aos processos geológicos e hidrodinâmicos desde a plataforma continental externa até a praia, onde as mudanças são mais evidentes no contexto das variações de linha de costa.

De acordo com o que se segue no Brasil e no mundo, nesta região de interesse há grande carência de dados. Neste contexto, não se dispõe de informações/medições de ondas em águas profundas na altura deste litoral e medições de ondas próximas à costa existem em caráter intermitente, por períodos esporádicos ao longo dos últimos anos (TABOSA et al., 2002; SILVEIRA, 2002; LIMA et al., 2002, 2006; CHAVES, 2006). Sendo assim, a alternativa para se conhecer este clima de ondas, em curto, médio e longo prazo de tempo é através da modelação numérica aliada às observações esporádicas em campo.

Existem vários modelos de geração e/ou propagação de ondas que de maneira geral resultam na determinação das características das ondas que incidem na região (altura, período médio, direção média, dentre outras). Um exemplo deste tipo de modelo e também um dos mais utilizados na geração e previsão da agitação marítima é o modelo SWAN, acrônimo de Simulating WAVes Nearshore (BOOIJ et al., 1999), que permite simular a geração e a evolução do espectro direcional desde a zona de geração ao largo até à zona costeira (RIS et al., 1994; BOOIJ et al., 1996, 1999; HOLTHUIJSEN et al., 2003, ROGERS et al., 2006). No presente trabalho, este modelo numérico foi empregado no estudo do clima de ondas na região da plataforma continental setentrional do RN.

Nesse contexto, esse litoral se destaca por possuir atividades socioeconômicas como a produção de petróleo e gás natural em terra e mar, no contexto geológico da Bacia Potiguar, que é altamente relevante na produção nacional e somente nessa região as bases exploratórias de hidrocarbonetos ocorrem instaladas em zonas de praia, sob a ação contínua das ondas, correntes, marés e ventos. Estudos recentes apontam que esta região, como os demais estuários da região setentrional do RN, apresenta elevada vulnerabilidade ambiental e natural (GRIGIO et al., 2009; BOORI e AMARO, 2010; 2011), estando mantida assim sob o alto risco ambiental diante de aspectos naturais e da exploração econômica (BOORI e AMARO, 2011).

Desta maneira, quanto ao ambiente marinho e costeiro, modelos de propagação de ondas são imprescindíveis para o entendimento do ambiente estudado com o fim de prevenção e mitigação de problemas oriundos, por exemplo, de vazamentos de óleo. E se tornam importantes ferramentas para o gerenciamento costeiro e para estudos de propagação e agitação de ondas marítimas em zonas costeiras. Os modelos numéricos integram e extrapolam informações a partir de medições e descrevem a hidrodinâmica e processos de dispersão de constituintes, minimizando gastos, otimizando as redes de monitoramento e permitindo a definição de estratégias de ação, ou mesmo favorecendo simulações de alterações na geometria das zonas costeiras. A aplicação dos modelos numéricos tem sido usada extensivamente nas últimas décadas para responder questões relativas à hidrodinâmica e a qualidade das águas em zonas costeiras, estuários, lagos, lagoas, baías e reservatórios.

Em muitos casos a definição de um modelo hidrodinâmico ou numérico a ser usado é justificado pela escolha do modelo a ser utilizado em cada caso levando em consideração os principais efeitos e as limitações de cada modelo (FORTES et al., 2004), ou ainda pelas condições de natureza técnica e econômica para a realização da coleta de dados em campo. A interação entre dados de campo e a modelagem matemática resulta na possibilidade concreta da reprodução das condições reais do sistema por parte do modelo (ARAÚJO e JORGENSEN, 1988).

Desta forma, o objetivo principal desta tese é a modelagem do clima de ondas quanto à sua propagação e dissipação na zona litorânea, além de investigar seus efeitos sobre as feições morfológicas da plataforma continental setentrional do RN. Como objetivos específicos, pretende-se corroborar com os temas que se seguem:

- Aplicar e validar o modelo numérico SWAN quanto à determinação do clima de ondas;
- Aferir as potencialidades e limitações do modelo para a região de interesse;

- Investigar a interação entre a evolução do regime de onda com o fundo marinho raso da plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte;
- Relacionar o efeito de forçantes meteoceanográficas (ondas e ventos) sobre as amplitudes de variações planimétricas do sistema praial adjacente e sistema de ilhas barreiras.

A inerente relação entre as ondas incidentes em um corpo d'água e sua morfologia transcorre por diversas situações de causa e efeito, já que a ação das ondas contribui em esculpir tanto a forma de fundo quanto a face de praia, simultaneamente quando esta é afetada por essa forma. Assim, um estudo que sugere analisar o papel da ação das ondas na dinâmica costeira, deve partir de alguns questionamentos que servirão como base de discussão:

- Quais seriam os fenômenos físicos controladores dos parâmetros da ondulação incidente neste litoral?
- As ondas incidentes na zona costeira do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte podem ser consideradas o mecanismo de relevantes nos processos morfológicos atuantes nesta costa?
- Os resultados obtidos com a aplicação do SWAN referentes aos padrões de ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte permitem identificar as áreas mais susceptíveis aos processos erosivos e /ou deposicional?

Para alcançar estes objetivos foram implementadas metodologias computacionais, configuradas para as características ambientais da área de interesse. A calibração e validação do modelo foram feitas utilizando-se dados de diferentes naturezas, a saber: condições de agitação ao largo oriundas do modelo de escala oceânica WW III, contorno batimétrico derivados da carta náutica regional da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN), variação do nível da maré da estação maregráfica de Guamaré, campos de ventos da estação meteorológica de Macau, medições pontuais de ondas por meio de dois perfiladores acústicos alocados junto à costa, em duas estações de medições denominadas de PT 1 e PT 2 indicados nas Figuras 1, onde se obteve condições do clima de ondas para os parâmetros: de alturas significativas, HS (m), período médio, Tmed (s) e direção média, DIR (°), para o período de: novembro a dezembro de 2010, Janeiro a maio e outubro a dezembro de 2011 e, janeiro a dezembro de 2012. Onde nos anexos encontram-se todo o resumo para cada

ciclo de 12 horas dos dados obtidos pelo Modelo WW III, SWAN, dos ventos transformados e das variações da curva de maré.

Os dados resultantes da modelagem de ondas foram integrados com as variações de planimétricas das faixas de praias de Soledade e Minhoto e das ilhas barreiras Ponta do Tubarão e Barra do Fernandes.

Portanto, a tese apresenta-se estruturada em sete capítulos conforme os capítulos a seguir:

- Capítulo 1 aborda a justificativa da tese indicando os motivos para desenvolver este trabalho, também faz uma breve caracterização da área de estudo, os objetivos geral e específico. Posteriormente, aborda as considerações gerais da área de estudo, relacionando os aspectos geológicos-geomorfológicos, uma caracterização hidrodinâmica e meteoceanográfica da plataforma continental;
- Capítulo 2 apresenta uma breve descrição conceitual do modelo de ondas SWAN, das principais definições formulações empregadas pelo modelo;
- Capítulo 3 apresenta a estratégia metodológica aplicada na elaboração desta Tese, destacando a descrição
- Os Capítulo 4 e 5, respectivamente, abordam os aspectos da modelagem realizada para o litoral setentrional do Rio Grande do Norte, a configuração do modelo, os procedimentos metodológicos e a comparação com dados *in situ*. Contudo, a diferença entre os dois é que no Capítulo 3, a modelagem é feita para um conjunto de dados entre dezembro de 2010 a fevereiro de 2011, onde os dados de entrada como os dados de ventos e maré são considerados constantes e não passaram por nenhuma transformação de correção, i.e., são as informações originais das estação meteorológica de Macau e da estação maregráfica de Guimarães. No Capítulo 4, a modelagem é feita para o período de novembro a dezembro de 2010, janeiro a maio e outubro a dezembro de 2011 e, janeiro a dezembro de 2012, os dados de ventos e maré foram corrigidos. Os dados de ventos por serem de terra foram transformados para uma referencial correspondente em mar, e os dados de maré por serem informações do estuário, foram corrigidos para uma correspondente da linha de praia;
- Capítulo 6 – aborda os resultados da modelagem somente para cada período de medição em relação aos dados obtidos das duas estações de coletas denominadas de PT 1 e PT 2, indicadas na Figura 1. Em seguida, efetua-se sempre uma descrição comparativa por meio das estatísticas dos resultados, e analisa-se a relação entre a

evolução do regime de onda com o fundo marinho raso e a propagação em águas rasas para três perfis longitudinais;

- Capítulo 7 apresenta uma discussão dos dados meteoceanográficos, com os dados resultantes das variações planimétricas e discute sua relação sobre tais variações sazonais;
- Capítulo 8 apresenta as considerações finais da tese.

1.2 Considerações Gerais da Área de Estudo

1.2.1 Contextualização Geológico-Geomorfológica da Plataforma Continental Setentrional do Rio Grande do Norte

A área de estudo corresponde à porção submersa da Bacia Potiguar no extremo nordeste do Brasil (Figura 1.2). A Bacia Potiguar está instalada sobre o embasamento cristalino da Província Borborema (ALMEIDA et al., 1977), que ocorre nos limites a sul e oeste. Os limites da Bacia Potiguar são feitos a noroeste com a Bacia do Ceará, no Alto de Fortaleza, a sudeste com a Bacia Pernambuco-Paraíba, no Alto de Touros, e a leste e a norte com Oceano Atlântico, uma vez que se prolonga até a cota batimétrica de -2.000 m.

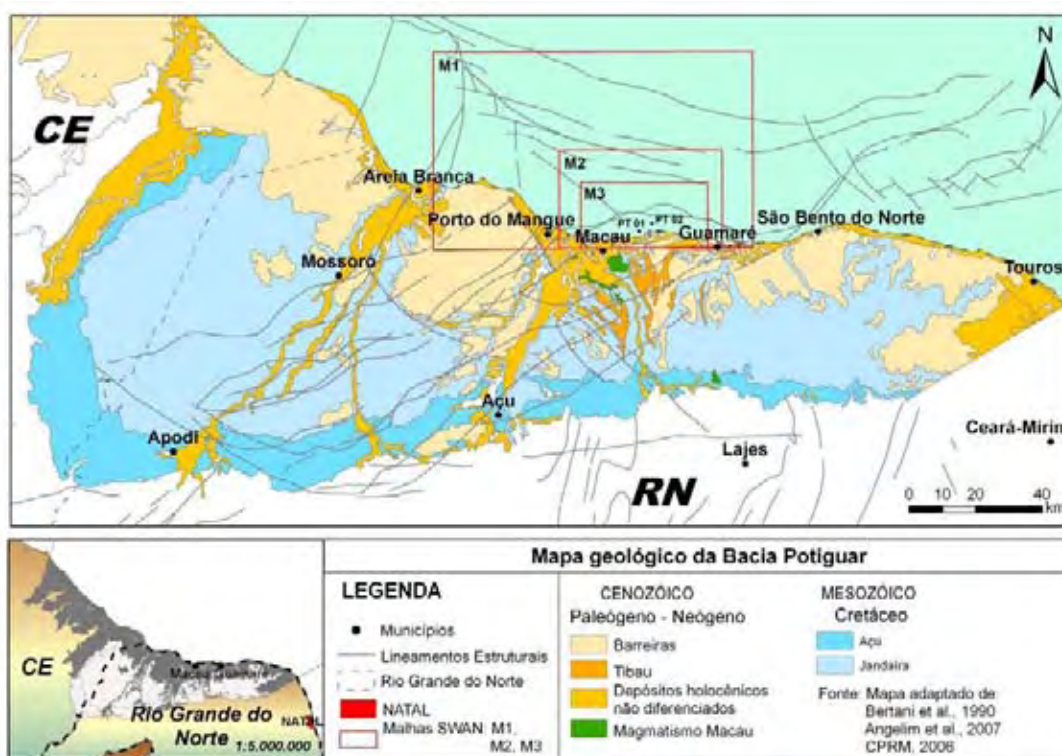


Figura 1.2. Mapa geológico e arcabouço estrutural da Bacia Potiguar, RN (Modificado de BERTANI et al., 1990; ANGELIM et al., 2006; CPRM, 2013), destacando a área de estudo.

Neste arranjo, a Bacia Potiguar abrange uma área de aproximadamente 48.000 km², sendo 21.500 km² locada na porção emersa e 26.500 km² na porção submersa (PESSOA NETO et al. 2007). Souza (1982), Araripe e Feijó (1994), Soares et al. (1999), Pessoa Neto (1999) e Pessoa Neto et al. (2007), descreveram as unidades geológicas, marcadas por tectônica do tipo *pull-apart* na porção submersa e do tipo *rifte* na porção emersa, com idades mesozóicas e cenozóicas.

A atividade exploratória nesta bacia experimentou dois notáveis incrementos, na década de 70 em mar e na década de 80 em terra, como consequência da descoberta de volumes significativos de hidrocarbonetos (ARARIPE e FEIJÓ, 1994).

A plataforma continental do RN representa um sistema misto (carbonato-siliclástico), altamente dinâmico e formado por dois diferentes setores, um setor oriental que se estende desde o rio Sagi até o Alto de Touros e outro setor setentrional que se estende do Alto de Touros até a cidade de Tibau (VITAL et al., 2010). O setor setentrional consiste na atual exposição imersa da Bacia Potiguar, de geometria estreita (médias de 40 km de largura). O talude continental é relativamente paralelo à linha de costa atual e apresenta uma quebra acentuada a partir de profundidades de 40 a 50 m (VITAL et al., 2010).

O registro estratigráfico desta bacia inclui três supersequências: uma Supersequência Rife, depositada no Cretáceo Inferior; uma Supersequência Pós-rife, depositada durante o Andar Alagoas; e uma Supersequência Drifte, depositada entre o Albiano e o Recente. Esta última supersequência compreende toda a sedimentação marinha ocorrida a partir do Albiano Inferior até o Recente. Esta última pode ser dividida em dois conjuntos de sequências: as Sequências Marinhas Transgressivas, de idade Eoalbio – Eocampaniano, e as Sequências Marinhas Regressivas, de idade Neocampaniano – Holoceno (PESSOA NETO et al, 2007). Esta plataforma continental tem experimentado estágios regressivos e transgressivos desde o Pleistoceno até tempos recentes (SCHWARZER et al., 2007). Estes autores, ao analisar perfis sismoestratigráficos na região identificaram uma linha de reflectância forte e contínua em todos os perfis, denominada Horizonte I, representando uma superfície de subsidência do nível do mar. Esta reflectância separa os depósitos do Pleistoceno dos depósitos iniciais do Holoceno. Uma fase de regressão, ou, pelo menos, de estagnação, é indicada por rebaixamento do nível do mar, estruturas sigmoidais em retrabalhados dos materiais fluviais, e provável efeito de atividade tectônica ao final do Pleistoceno/início do Holoceno.

O Cenozóico é marcado por sedimentação continental, transicional e marinha rasa, sendo representado, respectivamente da base para o topo pelas unidades litológicas terciárias a quaternárias que compõem o arcabouço geológico da área de estudo são, da base para o topo:

Formação Tibau, Formação Barreiras, Formação Potengi e Depósitos Holocênicos (ANGELIM et al., 2006).

A Formação Tibau compreende arenitos calcíferos grossos compostos por grãos dolomitizados, concreções ferrosas e grânulos de quartzo. São formados em sistemas de leques costeiros e pelo preenchimento de vales incisos, podendo ocorrer interdigitados com as formações Guamaré e Barreira. (ARARIPE e FEIJÓ, 1994; PESSOA NETO et al., 2007). Na área de estudo, as rochas dessa formação afloram na Falésia de Chico Martins.

A Formação Barreira é constituída por arenitos grossos a conglomeráticos de coloração avermelhada, amarela e roxa. Podem ocorrer como arenitos laterizados, finos e amarelados contendo caulinita, plagioclásio, epidoto, turmalina e quartzo em sua composição. O contato com a Formação Tibau é marcado pela mudança na coloração (esbranquiçada na Formação Tibau e amarelada na Formação Barreiras).

Formação Potengi é composta por sedimentos que estão estratigraficamente sobrepostos aos da Formação Barreiras e visivelmente abaixo das dunas, tendo ocorrências restritas à região do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, especificamente entre as cidades de Macau e Galinhos. Na Formação Potengi, os litotipos encontram-se imediatamente abaixo dos sedimentos dunares e sobrepostos às rochas da Formação Barreiras (CAMPOS e SILVA, 1966; 1983). São constituídos por sedimentos areno-quartzosos litificados e/ou inconsolidados de cor avermelhada a marrom, com pouca argila e grânulos de limonita.

Os Depósitos Holocênicos situam-se na zona costeira, recobrimdo as unidades mais antigas ao longo da costa. São compostos, predominantemente, por sedimentos provenientes dos processos deposicionais atuantes nos dias atuais (leques aluviais, sedimentos de praia, dunas móveis, aluviões, manguezais e coberturas arenosas) (STATTEGGER et al., 2006). Os sedimentos quaternários mapeados ao longo da costa do Rio Grande do Norte compreendem depósitos eólicos (dunas ativas e inativas e lençóis de areia inativos), e marinhos (depósitos regressivos pleistocênicos, rochas praias holocênicas e depósitos de planície de maré atual) (BARRETO et al., 2004), classificados em:

1) Depósitos de Intermaré – São lamas cinza-esverdeadas, bioturbadas, contendo restos vegetais em estado de decomposição e constituídas, basicamente, por areia e silte pobremente selecionados. Ocorrem em áreas inundáveis durante as marés médias altas e baixas (ANGELIM et al., 2006);

2) Depósitos de Supramaré – Correspondem a depósitos compostos por sedimentos pobremente selecionados nas frações areia fina a silte. Possuem alto teor de carbonato de cálcio e matéria orgânica, ocorrendo em áreas inundáveis durante as marés de sizígia, desta

forma, ficam em exposição subaérea por longo período tempo, o que favorece o crescimento da vegetação de mangue (DANTAS, 2009). Estes depósitos também ocorrem concentradas nas áreas dos estuários, nos manguezais e margem dos rios e canais (DANTAS e AMARO, 2012);

3) Depósitos Eólicos Vegetados – Conforme Angelim et al. (2006), esses depósitos são compostos de areias quartzosas de granulação fina a média, bem selecionadas, com presença de silte e argila. Estes depósitos ocorrem associados a dunas eólicas do tipo barcanas, barcanóides e parabólicas fixadas por cobertura vegetal (quixabeiras), impedindo, dessa forma, a migração dos sedimentos;

4) Depósitos Eólicos Não-Vegetados e Depósitos de Praia - São dunas móveis constituídas por areias esbranquiçadas de granulometria fina a média e bem selecionadas, ocorrendo sobrepostas aos depósitos eólicos vegetados ou recobrimdo ilhas barreiras. Segundo Barreto et al. (2004), o contato entre os depósitos eólicos vegetados e os não-vegetados é evidenciado por uma mudança brusca na coloração e textura das dunas. Os depósitos mais representativos se encontram nos campos de dunas de Diogo Lopes e Barreiras. A geometria do tipo barcana é reflexo dos processos eólicos atuantes na região, em que os ventos de NE são mais intensos e condicionam a migração das dunas para NW. Os depósitos de praia consistem em areias quartzosas bem selecionadas e de granulação fina a grossa, podendo ocorrer fragmentos de conchas de bivalves e/ou minerais pesados. Estes depósitos ocorrem na zona de estirâncio, apresentando marcas de onda, de correntes e de interferência, assim como bioturbações. Estes depósitos estão submetidos a um constante retrabalhamento devido à ação dos processos costeiros marinhos e eólicos (ANGELIM et al., 2006).

As rochas praias que afloram ao longo de toda a costa do RN e apresentam idades que variam do Holoceno médio até o presente (BARRETO et al., 2004). As rochas praias estão descontinuamente expostas ao longo das costas oriental e setentrional do RN. Alguns corpos se distribuem até 8 km, paralelamente à costa, enquanto que outros não ultrapassam alguns metros de comprimento. Variam em espessura de alguns centímetros a aproximadamente 3 m e, em largura, de 2 a 50 m. As linhas de rochas praias estudadas por Vieira (2005) são parte integrante da sedimentação quaternária da Bacia Potiguar. A maior parte das rochas praias do RN é composta por camadas tabulares que mergulham suavemente, em uma declividade inferior a 10°, em direção ao oceano (VIEIRA, 2005). As rochas praias do nordeste brasileiro apresentam muitas estruturas sedimentares similares às, então denominadas, restingas do litoral sudeste do Brasil, como, por exemplo, os mergulhos suaves (1 a 3°) em direção ao mar

e as estratificações cruzadas planares e acanaladas (BIGARELA, 1975; CABRAL NETO, 2011).

A plataforma interna se estende até a cota de 15 m, a intermediária está entre 15 e 25 m de profundidade e a externa se estende desde a profundidade de 25 m até a quebra da plataforma (VITAL et al., 2010). Diversas feições de fundo marinho ocorrem desde escalas decimétricas a quilométricas, encontradas desde as porções mais rasas da plataforma (GOMES e VITAL, 2010) e indicam processos de retrabalhamento, claramente observadas por meio de imagens de satélite e equipamentos hidroacústicos (VITAL et al. 2010).

Vital et al. (2005), utilizando de imagens multiespectrais (Figura 1.3) LANDSAT 7-ETM+ reconheceram e caracterizaram as diferentes feições submersas de grande escala, tais como:

- 1) Fundo homogêneo e plano em águas mais rasas que 10 m;
- 2) Campos de dunas longitudinais subaquosas muito grandes encontrados entre 1,5 e 12 km costa afora, em geral assimétricas e apresentando entre 2 a 3,5 m de altura (RÖBER, 2001). Próximo à costa as dunas subaquosas longitudinais são aproximadamente lineares e estão orientadas na direção ENE-WSW (250°), com cerca de 12 km de comprimento. Porém, no sentido costa afora as dunas subaquosas apresentam extensão de mais de 20 km, estando separadas uma das outras por uma distância mais ou menos uniforme de 1 a 1,5 km e com 300 a 500 m de largura. As dunas subaquosas longitudinais podem ser subdivididas em bem visíveis a leste (em frente à Guamaré-Galinhos) e menos visíveis a oeste (direção a Macau);
- 3) Campos de dunas transversais muito grandes, as quais apresentam orientação NE-SW, extensão da ordem de 5 a 10 km, 300 a 400 m de largura e altura média de 3 m. São observadas a profundidades maiores que 10 m;
- 4) Recifes, linha continua costa afora que bordejia as dunas transversais e separa-as de área mais profundas, onde não há penetração dos sensores remotos;
- 5) Vale inciso do rio Açu (ou paleocanal do rio Açu), em frente a Macau, marcado por uma margem leste relativamente íngreme e pronunciada (24:100), e uma margem oeste com um declive suave, sendo a profundidade do canal principal de 18 m em relação ao fundo ao redor (SCHWARZER et al., 2006);
- 6) Talude continental, a partir de onde ocorre pouca penetração da luz e, assim, a baixa identificação pelos sensores remotos.

A análise integrada entre o tipo de sedimentos e as morfologias do fundo marinho associado permitiu melhor delimitação das fácies sedimentológicas que compõem a cobertura sedimentar da plataforma.

As principais feições submarinas observadas por Gomes e Vital (2010) foram dunas subaquáticas, constituídas pelos campos de dunas de Galinhos a oeste e dunas longitudinais em frente a Diogo Lopes; campo de dunas longitudinais na plataforma interna; vales incisos do Rio Açú e do Rio Apodi-Mossoró; dunas transversais na plataforma média; rochas praias; e corpo arenoso marinho raso isolado na porção leste da área, conhecido como Coroa das Lavadeiras (Figura 1.3). Este vem a ser um alto em forma de curva paralelo à linha de costa, com mudança de direção do seu contorno oeste para a direção sudeste. Por vezes estes corpos sobrepõem-se a linhas de rochas praias (VITAL et al., 2008; GOMES e VITAL, 2010).

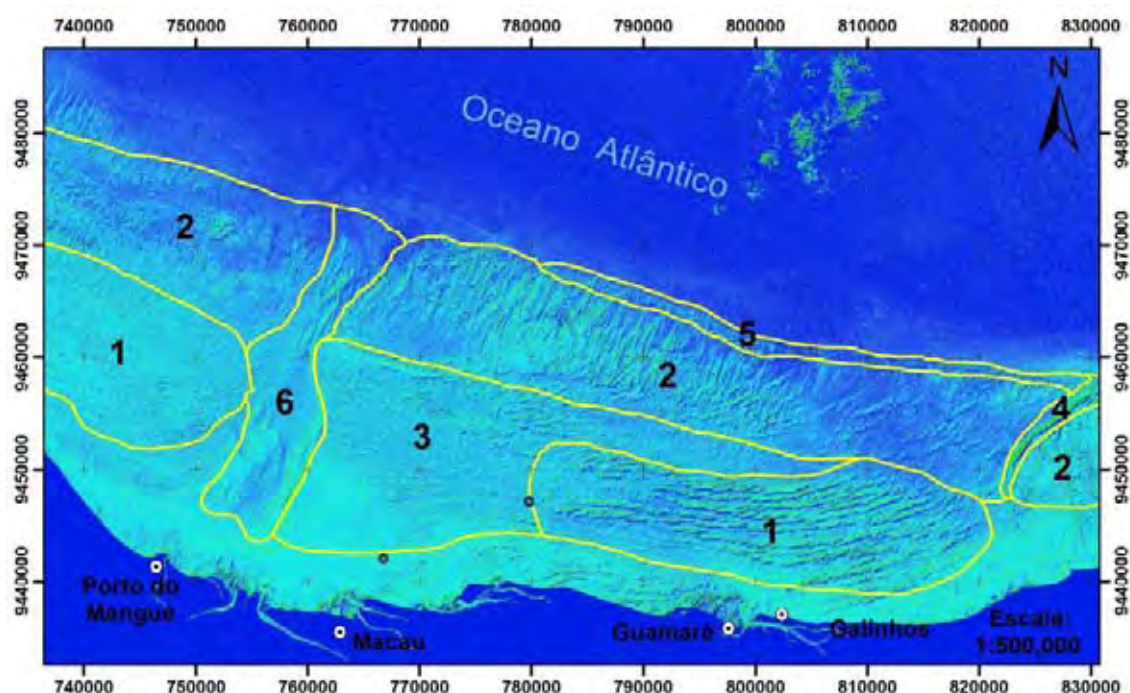


Figura 1.3. Mapa das feições submarina (adaptado de FERREIRA, 2009), destacando as principais formas de fundo do Litoral Setentrional do RN (GOMES e VITAL, 2010): 1) campos de dunas longitudinais simétricas e assimétricas; 2) campos de dunas transversais; 3) dunas subaquáticas longitudinais paralelas às costa; 4) corpos arenosos marinho raso isolados, conhecido como Coroa das Lavadeiras; 5) linhas de rochas praias; 6) Paleocanal do Rio Açú.

1.2.2 Aspectos da Sedimentologia da Plataforma Continental Setentrional do Rio Grande do Norte

Vital et al. (2005) reconheceram as principais fácies sedimentares distintas da plataforma interna setentrional do Rio Grande do Norte entre Macau e Guamaré, das quais as 6 principais foram mapeadas e estão descritas a seguir (Figura 1.4).

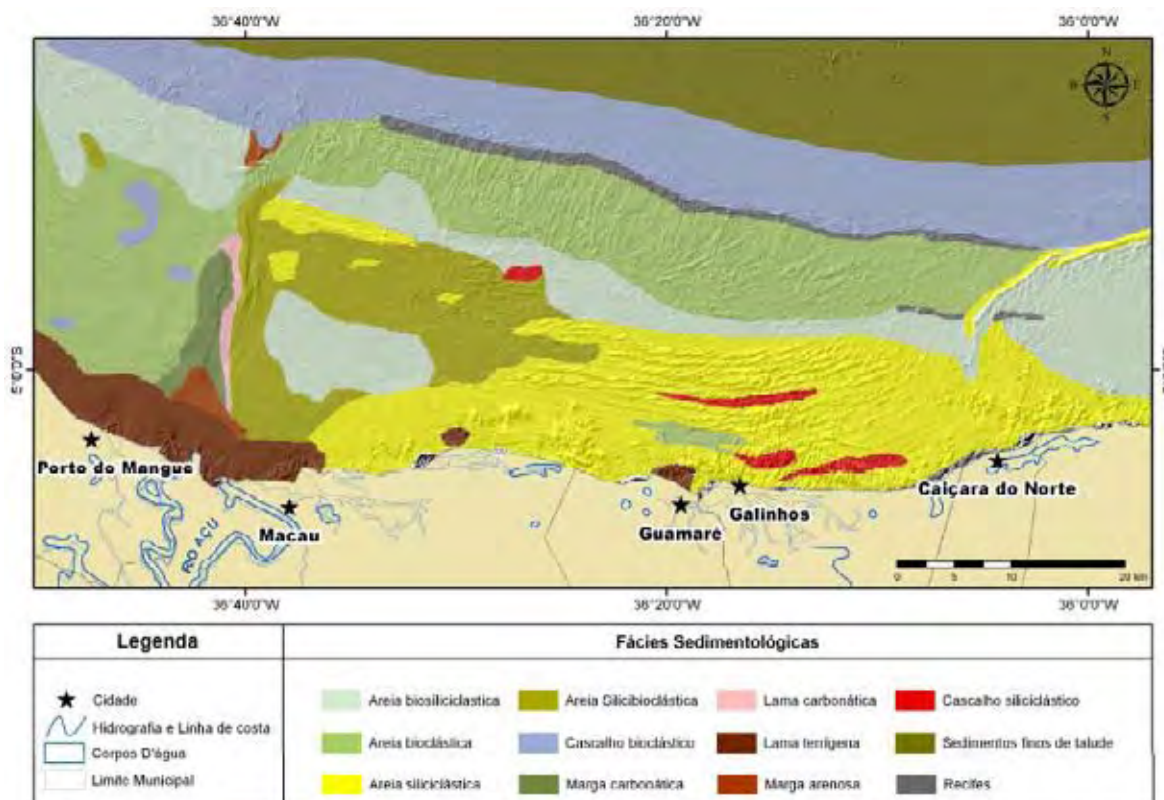


Figura 1.4. Carta sedimentológica da plataforma continental (FERREIRA, 2009; adaptado de VITAL et al., 2008).

1) A fácies areia siliciclástica ocorre ao longo da costa em áreas de fundo submarino onde as formas de fundo são bem desenvolvidas, as dunas longitudinais com 2 a 3,5 m de altura. Os sedimentos desta fácies apresentam granulometria variando de areia média a grossa, os grãos são moderadamente a pobremente selecionados, variando de subangulosos a arredondados com grau de esfericidade predominando nas classes esférica a muito esférica;

2) A fácies lama terrígena está limitada às proximidades da desembocadura dos rios e/ou braços de mar existentes na região, sendo mais proeminente na porção a E do rio Açú. A fácies marga arenosa, lama calcária e marga calcária ocorrem preenchendo o paleocanal submerso;

3) A fácies de areia biosiliciclástica ocorre na região ao largo entre a foz do rio Açú e a Ponta do Tubarão em fundo plano e ocorre também em uma faixa contínua a costa afora, acompanhando a isóbata de 10 m;

4) A fácies areia silicibioclástica ocorre preferencialmente costa afora, circundando a fácies areia biosiliciclástica, próximo à foz do rio Açú;

5) As areias bioclásticas ocorrem, em geral, como uma faixa contínua após a areia biosiliciclástica, diferenciando-se da mesma apenas pela maior profundidade, enquanto areias

bioclásticas com grânulo e cascalhos concentram-se nas partes mais profundas entre as formas de fundo. Na carta sedimentológica estas duas fácies são representadas apenas pela fácies areia bioclástica;

6) O cascalho bioclástico ocorre preferencialmente em profundidades maiores de 25 m. O cascalho siliciclástico e, em menor proporção, o cascalho bioclástico ocorrem na forma de bolsões em áreas mais rasas em fundo submarino plano. Neste caso, estes cascalhos talvez estejam associados a depósitos residuais formados por correntes de marés de alta velocidade. Os cascalhos do fundo provavelmente são reliquias de uma superfície erosional mais antiga que foi formada durante nível de mar baixo no Pleistoceno.

1.2.3 Caracterização Hidrodinâmica da Área de Estudo

A plataforma está sujeita a ação da Corrente Sul Equatorial, combinada a ventos alísios fortes e variação de maré moderada a alta e/ou ondas (VITAL et al., 2010). Embora estudos hidrodinâmicos sistemáticos sejam ausentes na plataforma continental norte, dados recentes registram localmente correntes de marés de altas velocidades, da ordem de 100 cm/s (VITAL et al., 2005).

As principais correntes marítimas que margeiam a costa do RN são a Corrente do Brasil, que acompanha o litoral do RN ao Rio Grande do Sul, direção norte-sul, com temperatura média de 22° C e a Corrente Equatorial que vai do Rio Grande do Norte ao Amapá, com direção leste-oeste e temperatura média de 25° C. Estas correntes influenciam o clima em todo o litoral brasileiro (ROSSO, 2007).

A maré local é semidiurna, onde o nível médio (Z_0) estabelecido é 139 cm acima do RN (Nível de Redução) com médias de preamares de sizígia de 234 cm acima do RN, média de preamares de quadratura de 221 cm, média de baixa-mares de sizígia de 43 cm abaixo do RN e média das baixa-mares de quadratura de 56 cm (MATOS et al., 2011).

Lima et al. (2012) mediram ondas de NE com período médio (T_{med}) de 6,05 s e altura significativa (HS) de 0,89 m, podendo chegar a períodos de 8 s e 2,2 m de altura. Esses autores ainda observaram que as correntes de maré vazante são predominantemente para o de SW com velocidade média de 0,10 m/s, enquanto as correntes de maré enchente (mais intensas) são de NW a NE, com velocidade média de 0,12 m/s. As maiores velocidades de correntes (até 0,37 m/s) ocorrem durante as marés de sizígia durante os meses que os ventos

sopram de NE, certamente influenciando nas maiores intensidades das marés enchente, que atingem de fevereiro a abril e de setembro a outubro as maiores amplitudes médias (0,94 m).

As ondas de maiores períodos propagam-se entre o intervalo de 05h00 e 08h00, com médias máximas de 6,67 s e 7,84 s, sendo as mais frequentes as ondas com períodos médios entre 4,3 s e 5,5 s na região mais próxima à costa. Na região mais distante da costa, os maiores períodos médios variam em horários de 05h00 e 10h00, com valores entre 6,9 s e 8,1s, sendo os períodos médios mais frequentes entre 3,3 s e 4,5 s. Tais valores indicam que as ondas são predominantemente geradas por ventos locais (MATOS et al., 2011).

Os valores médios direcionais indicaram que as ondas mais frequentes são as de direções entre 179° a 269°, predominantemente de SW, seguidas das direções NW, com valores entre 269° a 359° no ponto mais próximo à costa e, no mais distante, 78% das direções médias variaram entre 0,15° a 90°, caracterizando as ondas neste ponto predominantemente de NE (MATOS et al., 2011).

1.2.4 Aspectos Climatológicos e Meteoceanográficos

O clima da região é semiárido quente, correspondente ao Clima Tropical Equatorial definido por Nimer (1972) e ao Clima Muito Quente e Semiárido do Tipo SW'h de Köppen (VIANELLO e ALVES, 1991). Com exceção dos anos de 1924, 1974 e 1985, a precipitação pluviométrica anual é inferior a 750 mm. Os períodos de estiagem duram de 7 a 8 meses, normalmente de junho a janeiro, enquanto de fevereiro a maio é definida uma estação chuvosa (período úmido). Os maiores índices de precipitação ocorrem de março a meados de maio e o período de secas mais rigorosas ocorre entre agosto e dezembro, quando a precipitação média não ultrapassa 15 mm.

Para realizar uma análise dos componentes climáticos, foram computadas as médias mensais de temperatura, umidade e pluviosidade da estação meteorológica de Macau/RN entre os anos de 2002 e 2012, perfazendo uma década de análises (INMET, 2012). A temperatura entre os anos de 2002 a 2012 apresentou amplitude 4,8 °C, variando de mínimo de 16°C e máximo de 30,8 °C. Esta máxima temperatura foi registrada em setembro de 2011, período de ocorrência do fenômeno *El Niño* de intensidade fraca (INPE, 2012). A menor temperatura foi verificada em julho de 2009, também sob as condições de *El Niño* de fraca intensidade (INPE, 2012), com média decadal de 27,9 °C, valor mediano e modal de 28,0 °C (INMET, 2012).

A média mensal da precipitação para o período de 2002 a 2012 foi de 49,9 mm, com valores máximo 332,9 mm (janeiro de 2006) e mínimo de 0,0 mm (todos os anos), ou seja, amplitude de 332,9 mm. Todos os anos analisados apresentaram dados mensais mínimos de 0,0 mm, significando que em todos os meses e anos houve dias sem chuva na área estudada.

Considerando o clima apenas para o período monitorado, a temperatura média foi de 28,4 °C, a amplitude foi de 3,6 °C, correspondendo ao valor máximo de 30,8 °C e mínimo de 27,2 °C. A mediana e a moda apresentaram valores muito próximos, de 27,8 °C e 27,7 °C, respectivamente. Em relação aos dados de umidade, o valor médio foi de 72,2 %, com máximo de 99,3 % e mínimo de 47,2 %. Não houve valor modal e a mediana foi de 67,5 %. Quanto aos dados de precipitação, o valor médio foi de 18,8 mm, o valor mínimo foi de 0 mm e o máximo de 83,2 mm. A mediana teve o valor de 6,5 mm e o valor modal foi de 0 mm. Os dados de temperatura e umidade apresentaram forte correlação negativa (-0,7) para este período, indicando que se comportaram de modo dependente e inversamente proporcional.

Os dados de velocidade e direção dos ventos foram obtidos a partir do INMET (2012) para os anos de 2002 a 2012 (Figura 1.5) e verificou-se que a velocidade média dos ventos durante a década foi de 4,9 m/s, com valor mínimo de 4,2 m/s e máximo de 6,7 m/s, significando uma amplitude de 2,2 m/s. O valor mediano foi de 4,9 m/s e não houve valor modal. Enquanto as direções médias variaram de um mínimo valor de 85° a um máximo de 141,5°, correspondendo aos ventos de NE e SE peculiares à área, com a direção média e mediana de 111,6° e 112°, respectivamente.

Os ventos de NE são mais fortes e guiam a deriva litorânea, os ventos de E são de intensidade intermediária, enquanto os ventos de SE são os mais fracos (LIMA et al., 2012). Estes autores verificaram que as maiores médias de velocidade dos ventos ocorreram nos meses de agosto a novembro, com picos de velocidade em setembro (6,5 ± 2,0 m/s), com predominância dos ventos de E (agosto e setembro) e NE (outubro e novembro). Os meses de janeiro a maio apresentaram as menores médias de velocidade, com mínima de 3,4 ± 1,6 m/s em abril de 2011.

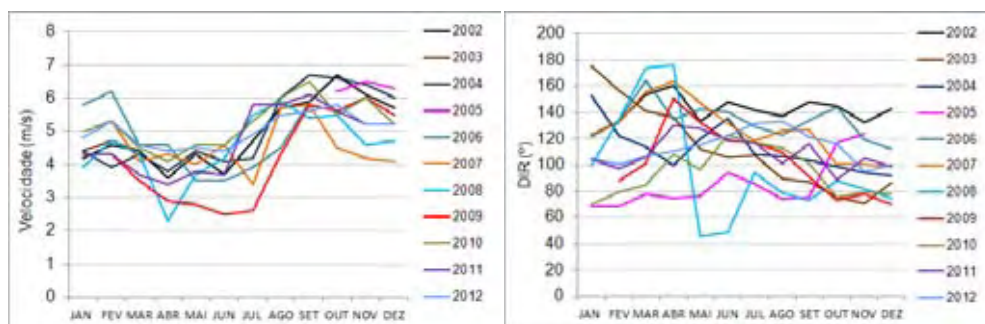


Figura 1.5. Médias mensais anuais das velocidades e direções preferenciais dos ventos.

O fenômeno *El Niño/La Niña* caracterizam-se pelo aquecimento/esfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico tropical central e do leste e constitui o fenômeno de interação oceano-atmosfera conhecido como ENOS (*El Niño* Oscilação Sul). No Brasil, as regiões que apresentam sinais consistentes de *El Niño* são o Nordeste, a Amazônia, que mostram tendência para secas, e o sul do Brasil, com tendência a mais chuvas. Particularmente sobre o Brasil, uma das regiões mais significativamente influenciadas pelas circulações atmosféricas e oceânicas do Atlântico Tropical é a região Nordeste. *La Niña*, fenômeno oposto ao *El Niño*, ocorre com menor frequência. Durante os episódios de *La Niña*, os ventos alísios no Pacífico são mais intensos que a média climatológica. O fenômeno *El Niño* pode ser caracterizado como cíclico, mas não possui um período estritamente regular, reaparecendo no intervalo de 2 a 7 anos (MARENGO, 2007).

O ENOS é um dos principais fenômenos responsáveis pelas flutuações interanuais de precipitação na região. As condições secas no nordeste brasileiro em anos de ocorrência de *El Niño* são explicadas pela componente leste-oeste do ENOS. Nos últimos anos tem sido de larga aceitação que a variabilidade de temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical seja, de fato, determinante das anomalias de precipitação do Nordeste brasileiro, enquanto o ENOS, em certas ocasiões, pode reforçá-las e, em outras, enfraquecê-las (CAVALCANTI et al., 2009).

As condições oceânicas e atmosféricas sobre o Atlântico Tropical influem fortemente na variabilidade interanual do clima sobre a América Tropical. O padrão espacial predominante do ciclo anual e da variabilidade interanual das TSM e ventos à superfície sobre o Atlântico apresentam uma estrutura norte-sul mais pronunciada do que a estrutura leste-oeste. A estrutura norte-sul das anomalias de TSM observadas no Atlântico é conhecida como o dipolo do Atlântico Tropical (Figura 1.6). O padrão dipolo no Atlântico Tropical propicia a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais impactam fortemente na posição latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), modulando a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica sobre o Atlântico equatorial, parte norte do nordeste até a parte central da Amazônia (CAVALCANTI et al., 2009) (Figura 1.6).

A combinação das circulações atmosféricas anômalas induzidas pelas distribuições espaciais de TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical afetam o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico, influenciando a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e norte da América do Sul (MARENGO, 2007).

O clima na área de estudo apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente na precipitação, com alguns anos extremamente secos e outros extremamente

chuvosos. Está sob a influência dos Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e do Atlântico Norte (ASAN) e do cavado equatorial. Os ventos de baixos níveis associados aos sistemas de pressão são os Alísios de sudeste, na borda norte do ASAS, e de nordeste, na borda sul do ASAN, os quais apresentam velocidades médias de 6,7 cm/s, com amplitude entre 2,6-13,4 cm/s. No eixo do cavado equatorial está a ZCIT, cujas variações em posição e intensidade estão diretamente relacionadas às alterações nas posições e intensidades do ASAS e do ASAN. De modo que a ZCIT no Atlântico está na região de convergência dos alísios de nordeste e sudeste, apresentando movimentos ascendentes, baixas pressões, nebulosidade e chuvas abundantes, e segue as regiões onde a TSM é mais elevada. Esses são os principais fatores dinâmicos que determinam a precipitação sazonal da região (CAVALCANTI et al., 2009).

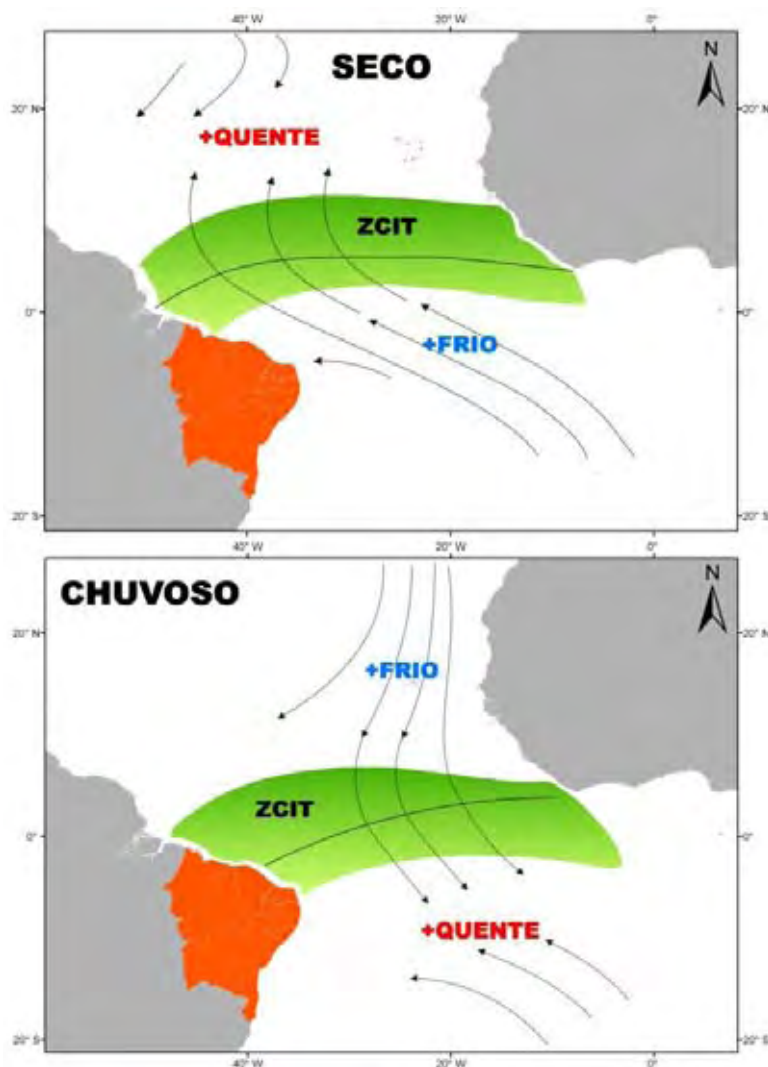


Figura 1.6. Deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico Equatorial, em relação à costa do Nordeste do Brasil.

Amaro e Ferreira (2012) encontraram concentrações médias de clorofila-*a* de 0,84 mg/m³ na plataforma continental setentrional, variando entre 0,1 a 5,63 mg/m³ para o ano de 2009 e média de 0,77 mg/m³, com mínima de 0,07 mg/m³ e máxima de 2,27 mg/m³, para o ano de 2010. Estas concentrações estão dispostas em uma faixa de até 15 km de distância da linha de costa, correspondente a profundidade de 10 m. Enquanto que no talude continental, esses autores observaram para o ano de 2009, a concentração média de clorofila-*a* é de 0,17 mg/m³, com variação máxima e mínima de, respectivamente, 1,13 e 0,03 mg/m³ e para 2010 média de concentrações de 0,11 mg/m³, com mínimo e máximo respectivos de 0,03 e 1,05 mg/m³. Estas baixas concentrações de clorofila-*a* a partir da profundidade de 30 m são correlacionável com o limite da quebra da plataforma, de águas oligotróficas.

Ainda Amaro e Ferreira (2012) mostraram que média da TSM na plataforma variou de 27,9°C a 28,7°C, com média de 28,3°C. As águas relativamente mais frias foram encontradas mais próximas da costa e permanece sobre a plataforma a oeste do estuário do rio Açu.

Ferreira (2009) em estudo sobre o monitoramento ambiental por meio de dados meteocanográficos na costa setentrional do Rio Grande do Norte, identificou que a concentração do material particulado em suspensão (MPS) da plataforma apresentou média de 2,06 mg/m³, sendo a mínima concentração de 0,25 e a máxima de 10,7 mg/m³. Os valores mais elevados de sedimentos em suspensão ocorrem numa faixa com no máximo 8 km de largura paralela à costa. O mesmo autor encontrou para o valor médio de clorofila-*a* 0,197 mg/m³ e para valores máximo e mínimo de, respectivamente 0,840 e 0,01 mg/m³.

Capítulo 2

2. O MODELO SWAN

O SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) (BOOIJ et al., 1999), desenvolvido na Universidade Técnica de Delft (TUDelft), Holanda, é um modelo numérico de terceira geração que permite obter os parâmetros caracterizadores da agitação marítima em águas pouco profundas.

O SWAN, baseado na equação de balanço espectral de variância (BOOIJ et al., 1999), surge da necessidade de complementar os modelos de terceira geração desenvolvidos, essencialmente, para aplicações operacionais em águas profundas. O modelo propaga, no domínio geográfico, o espectro direcional e, conseqüentemente, calcula a evolução das ondas geradas pelo vento em zonas costeiras.

A formulação matemática do modelo envolve não só os fenômenos de geração, dissipação e interação não linear entre quatro ondas características, por exemplo, do modelo WAM (KOMEN et al., 1994), como também os processos existentes em águas pouco profundas, como a dissipação devido ao atrito do fundo, interação não linear entre três ondas e rebentação induzida pela diminuição de profundidade.

A propagação de agitação é feita através de esquemas numéricos implícitos nos espaços espectral e geográfico e pode ser realizado em modo estacionário ou não estacionário. Para tanto, é necessário fornecer ao modelo uma malha batimétrica e uma computacional, que podem ser descritas em coordenadas cartesianas ou esféricas, juntamente condições de fronteira e outros parâmetros de cálculo. Complementarmente podem ser introduzidos outros tipos de dados para melhorar a modelagem, como as informações de ventos e correntes. Estes campos estes que poderão ser variáveis no espaço e/ou no tempo. Na Figura 2.1, encontra-se uma estrutura com as múltiplas malhas passíveis de serem utilizadas no modelo SWAN.

Ainda há hipótese de se implementar um sistema de malhas encaixadas, no qual as malhas exteriores de menor resolução, servem de condição de fronteira para as malhas interiores, melhorando os resultados a obtidos na malha interior e poupando tempo de computação, em comparação com uma corrida de apenas uma malha de alta resolução em todo o domínio.

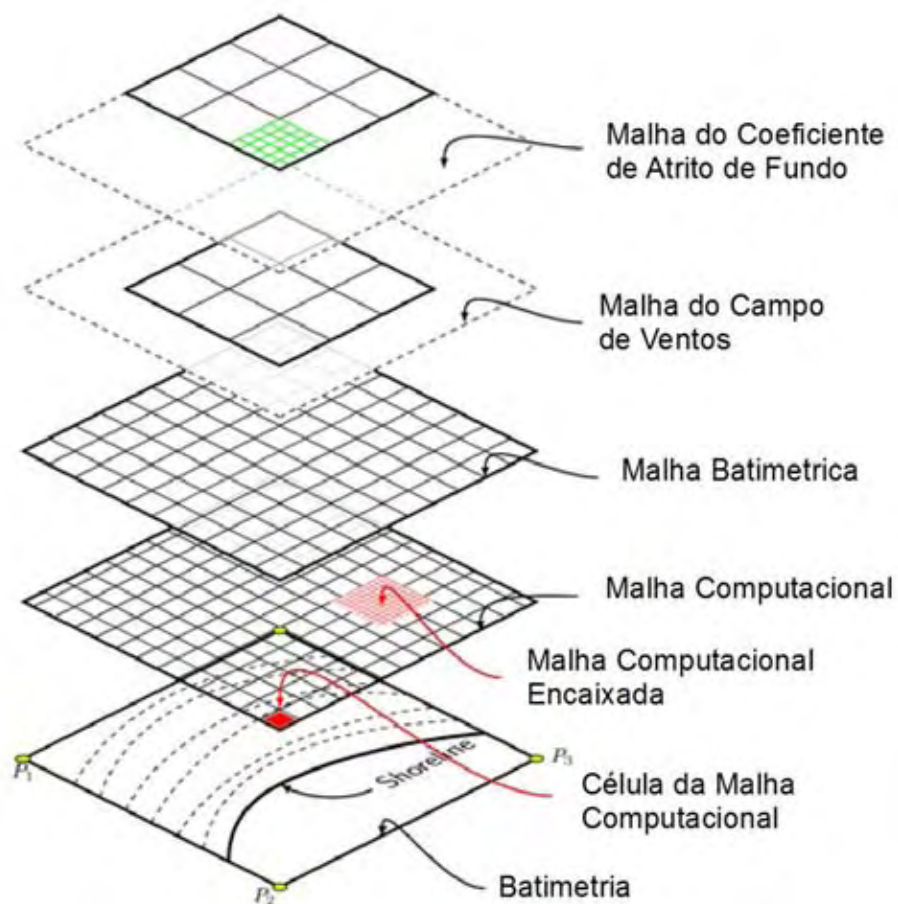


Figura 2.1. Ilustração de várias malhas que podem ser usadas no SWAN.

2.1 Estrutura Matemática do Modelo

2.1.1 Equação do Balanço de Energia

O espectro de variância caracteriza satisfatoriamente a superfície livre do mar em termos estatísticos. A equação do balanço da energia espectral $E(f, \theta; x, y, t)$ (Equação 2.1) é formulada em coordenadas Eulerianas, a saber:

$$\frac{\partial E(f, \theta; x, y, t)}{\partial t} + \frac{\partial c_{g,x} E(f, \theta; x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial c_{g,y} E(f, \theta; x, y, t)}{\partial y} + \frac{\partial c_{\theta} E(f, \theta; x, y, t)}{\partial \theta} = S(f, \theta; x, y, t) \quad (\text{Equação 2.1})$$

O fenômeno do empolamento é incluído a partir da velocidade de grupo em função da profundidade. A refração é expressa pela taxa de velocidade de mudança de direção $c_{\theta,ref}$, não sendo considerada a difração.

Ao considerar correntes marítimas é necessário ponderar a transferência de energia entre as ondas e as correntes e os efeitos associados a este fenômeno, definindo-se a densidade de ação $N(\vec{x}, t, \sigma, \theta)$, no espaço \vec{x} e no tempo t , grandeza que se conserva na presença de correntes, o que não acontece à energia, a saber:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (\text{Equação 2.2})$$

onde σ é a frequência relativa e θ a direção da onda.

Deste modo, a equação do balanço da ação de onda, definida para coordenadas cartesianas, é expressa por:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial t} + \frac{\partial c_{g,x} N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial c_{g,y} N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial y} + \frac{\partial c_{\theta} N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial \theta} \\ + \frac{\partial c_{\sigma} N(\sigma, \theta; x, y, t)}{\partial \sigma} = \frac{S(\sigma, \theta; x, y, t)}{\sigma} \end{aligned} \quad (\text{Equação 2.3})$$

No lado esquerdo da igualdade, os termos referem-se à parte cinemática da equação. O primeiro termo representa a taxa de variação local da densidade de ação de onda no tempo, o segundo e terceiro representam a propagação da ação no espaço geográfico (com velocidades de propagação $c_{g,x}$ e $c_{g,y}$), o quarto termo remete à refração induzida pelas correntes e a variação de profundidade, o quinto termo define a alteração da frequência relativa devido a variações na profundidade e nas correntes, sendo nulo na ausência de correntes. As quantidades c_{θ} e c_{σ} representam as velocidades de propagação no espaço espectral.

O termo $S(\sigma, \theta)$ no lado direito da equação engloba todas as fontes e sumidouros associados aos fenômenos físicos que geram, dissipam ou redistribuem a energia da onda e pode ser decomposto (Equação 2.4) na geração de energia devido ao vento $S_{in}(\sigma, \theta)$ nas interações não lineares $S_{nl}(\sigma, \theta)$ e na dissipação da energia $S_{diss}(\sigma, \theta)$.

$$S(\sigma, \theta) = S_{in}(\sigma, \theta) + S_{nl}(\sigma, \theta) + S_{diss}(\sigma, \theta) \quad (\text{Equação 2.4})$$

O termo $S_{diss}(\sigma, \theta)$ descreve ainda três fenômenos: o atrito do fundo $S_{diss,b}(\sigma, \theta)$, a rebentação induzida pela diminuição da profundidade $S_{diss,br}(\sigma, \theta)$, e a rebentação parcial $S_{diss,w}(\sigma, \theta)$.

2.1.2 Os termos de Propagação

Quando a onda oceânica se propaga desde a zona de geração até ao local onde se dissipa a energia, normalmente em zonas costeiras, a variação da profundidade do fundo oceânico e outros fatores ambientais afetam sobremaneira vários aspectos e caracterizam a agitação marítima pela diminuição do comprimento de onda e da velocidade de propagação com o fundo raso, como pode ser verificado pela relação de dispersão $\sigma^2 = gk \tanh(kh)$. Na sua propagação a onda está sujeita a tais fenômenos como empolamento, refração, difração, interação ondas/correntes e rebentação. Para o cálculo da refração, recorre-se à aproximação Euleriana que discretiza o espaço geográfico em várias células. Esta aproximação requer o valor da velocidade de mudança de direção da onda.

Como as ondas são afetadas na sua direção, frequência e amplitude quando se propagam num meio com presença de correntes marítimas, quer sejam de maré ou longitudinais, entre outras, a teoria linear é necessária para a análise deste novo meio, sendo válida desde que se considerem profundidade e correntes como constantes no espaço e no tempo. Portanto, a frequência absoluta ω (Equação 2.5) resulta da soma de duas parcelas: a frequência relativa e o produto do número de onda k com o vetor representativo da velocidade da corrente \vec{u} .

$$\omega = \sigma + \vec{k} \cdot \vec{u} \quad (\text{Equação 2.5})$$

onde σ é a frequência que figura na relação com a dispersão (Equação 2.7).

Sob tais premissas, considera-se tanto as frequências relativas como absolutas também sendo constantes. Analogamente, as frequências variam junto às mudanças na profundidade ou velocidade.

Tendo em conta a presença de correntes no meio marítimo, são adotadas as seguintes expressões no modelo SWAN (Equações 2.6 a 2.8) para as velocidades de propagação da

energia da onda $c_g + \vec{u}$, c_θ e c_σ no espaço x, y , com espaço definido por θ e espaço da frequência relativa, σ :

$$\frac{dx}{dt} = c_g + \vec{u} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sin(2kh)} \right] \frac{\sigma \vec{k}}{|\vec{k}|^2} + \vec{u} \quad (\text{Equação 2.6})$$

$$\frac{d\theta}{dt} = c_\theta = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial m} + \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial m} \right] \quad (\text{Equação 2.7})$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = c_\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial h} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u} \nabla h \right) - c_g \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial s} \quad (\text{Equação 2.8})$$

onde s é o deslocamento na direção de propagação, h a profundidade e m o deslocamento na perpendicular.

O operador $\frac{d}{dt}$ refere-se à derivada total no espaço da propagação da energia da onda.

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (C_g + \vec{u}) \nabla_{\vec{x}} \quad (\text{Equação 2.9})$$

2.1.3 Forçamento pelo Campo de Ventos

Dois tipos de aproximação descrevem os mecanismos de transferência da energia do vento para a superfície livre do mar: um considerando um crescimento da energia da onda linear no tempo, enquanto outro defendendo o crescimento exponencial (RIS, 1997). Com base nas teorias acima mencionadas, descreve-se o efeito do vento na superfície livre como um mecanismo de realimentação expresso por:

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (\text{Equação 2.10})$$

O termo A insere flutuações da pressão atmosférica induzidas pelo vento. A segunda parcela da adição aponta ao crescimento exponencial da energia. Ambos dependem da frequência e direção da onda, da velocidade e da direção do vento.

Na Figura 2.2 é representado em espectro o efeito da transferência de energia devido ao forçamento de um campo de ventos.

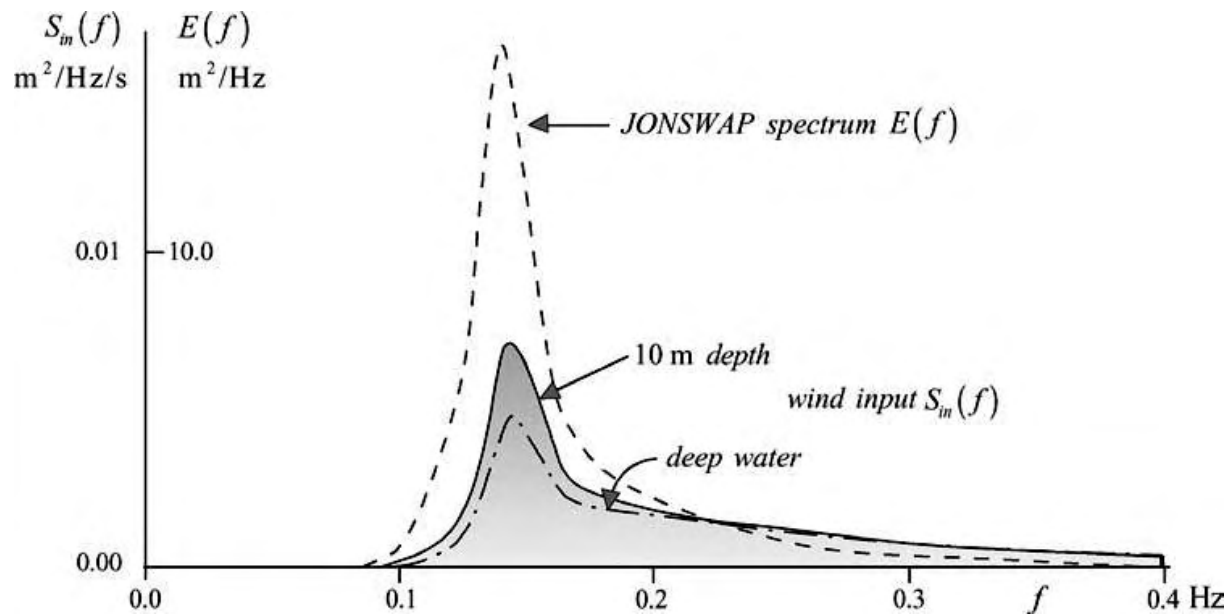


Figura 2.1. Espectro do efeito do termo fonte relativo a forçamento de um campo de ventos. Holthuijsen 2007.

O modelo SWAN converte os valores de entrada do campo de ventos medidos a 10 m de elevação U_{10} na velocidade de atrito u_* , através da seguinte expressão:

$$u_*^2 = C_D U_{10}^2 \quad (\text{Equação 2.11})$$

A expressão do coeficiente de arrastamento C_D é inserida no SWAN da seguinte maneira (HOLTHUIJSEN, 2007).

$$C_D = \begin{cases} 1,2875 * 10^{-3} & \text{para } U_{10} < 7,5 \text{ m/s;} \\ (0,8 + 0,065U_{10}) * 10^{-3} & \text{para } U_{10} \geq 7,5 \text{ m/s;} \end{cases} \quad (\text{Equação 2.12})$$

2.1.4 Interação não linear das Ondas

É importante considerar as interações ressonantes não lineares a quatro ondas em águas profundas, pois as mesmas dominam a evolução do espectro (RIS, 1997) verificando-se a transferência de energia do pico do espectro para frequências mais baixas e parcialmente para frequências mais elevadas, o que atribui ao fenômeno um papel importante na redistribuição de energia do espectro. Na Figura 2.3 estão representados os efeitos das interações referidas na reconfiguração do espectro de variância.

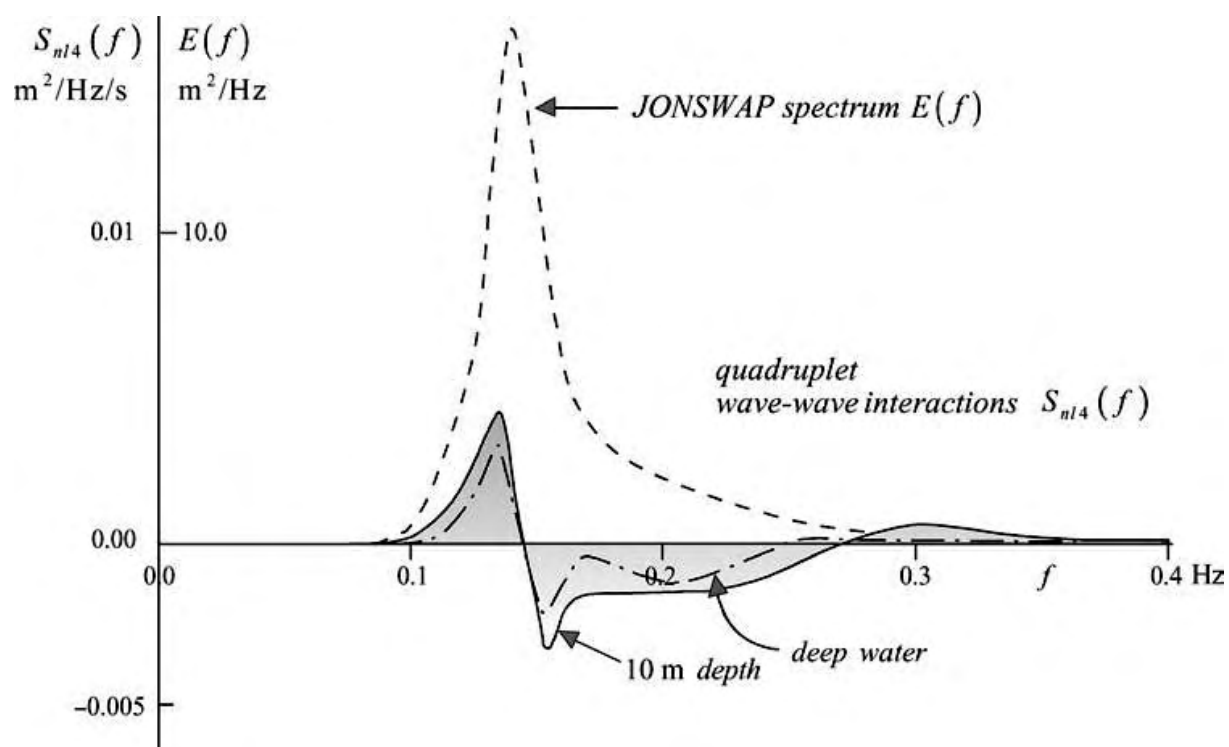


Figura 2.3. Representação do efeito das interações ressonantes não lineares a quatro ondas em águas profundas (HOLTHUIJSEN, 2007).

O cálculo dessas interações envolve uma integral de Boltzman (KOMEN et al., 1994) para o qual são utilizadas aproximações, *e.g.* *Discrete Interaction Approximation* (DIA), (ROGERS et al., 2003).

Em locais mais rasos, as interações não lineares quase ressonantes a três ondas transferem energia das frequências mais baixas para as mais altas, tendo como resultado super harmônicas (SWAN Team, 2008, Figura 2.4). Este processo pode ser realizado em distâncias muito curtas, influenciando consideravelmente a configuração do espectro. O modelo SWAN

trabalha com o termo relativo às interações não lineares de três ondas, $S_{nl3}(\sigma, \theta)$, através da aproximação *Lumped Triad Approximation* (LTA), (ELDEBERKY, 1996).

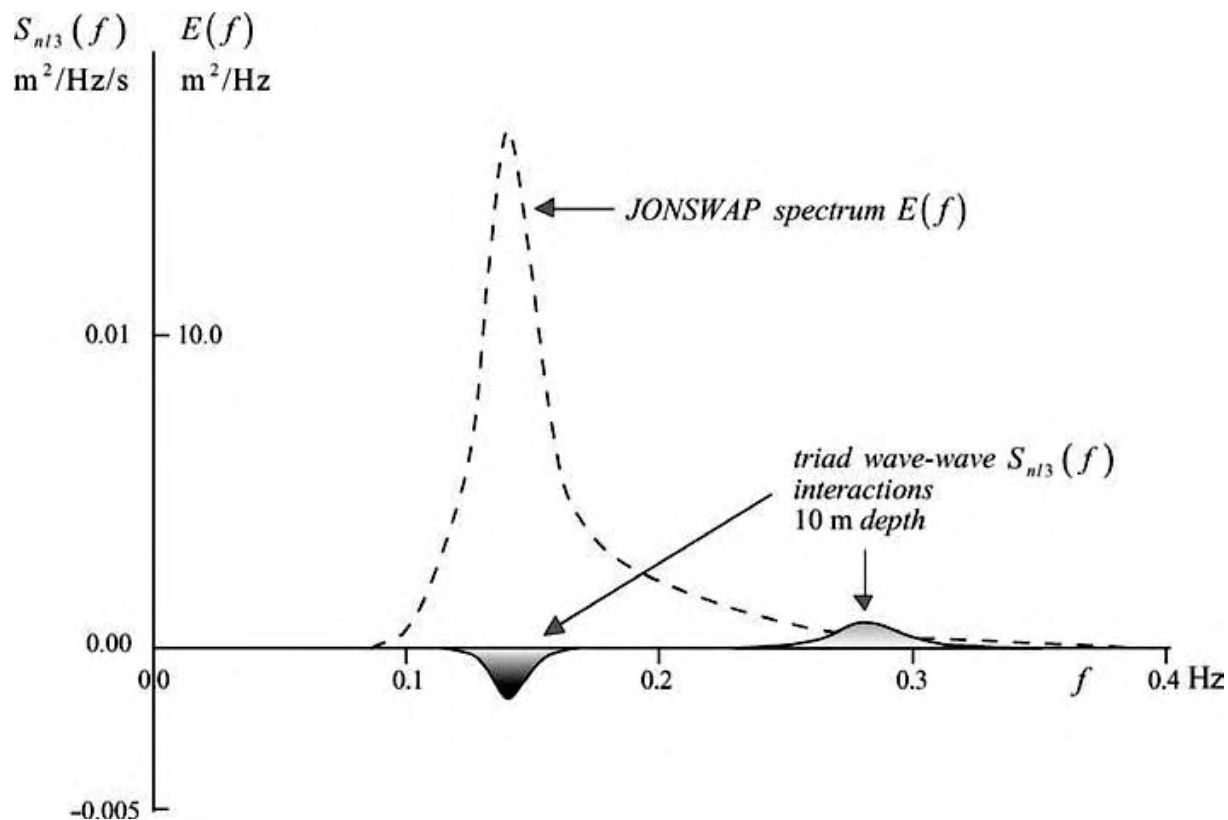


Figura 2.4. Representação do efeito das interações não lineares a três ondas no espectro de variância (HOLTHUIJSEN, 2007).

2.1.5 Rebentação Parcial (*WHITECAPPING*)

A rebentação parcial ou *whitecapping* depende da declividade da onda e no modelo SWAN, analogamente aos modelos de terceira geração, o efeito sobre o espectro de variância (Figura 2.5) é calculado através da seguinte expressão (RIS, 1997; SWAN TEAM, 2008):

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \sigma_m \frac{k}{k_m} E(\sigma, \theta) \quad (\text{Equação 2.13})$$

onde o coeficiente Γ representa o coeficiente de declividade, k é o número de onda e σ_m e k_m representam, respectivamente, a frequência média e o número de onda médio (WAMDI GROUP, 1988).

O valor de Γ é estimado através da equação de balanço de energia para um estado completo de desenvolvimento, dependendo, consequentemente do tipo de formulação usada

para a representação dos ventos. Como para este fim são utilizadas duas expressões, o coeficiente Γ também vai assumir dois diferentes valores, sendo utilizado no SWAN a formulação dada por Komen et al. (1984) (MULLIGAN et al., 2008) e mais recentemente a proposta por Westhuysen et al. (2007) uma formulação diferente para a dissipação de energia por rebentação parcial no SWAN, a qual é baseada na aproximação não linear desenvolvida por Alves e Banner (2003), que apresenta um caráter local, devido a dependência da declividade local e não da declividade média estendida a todo o espectro:

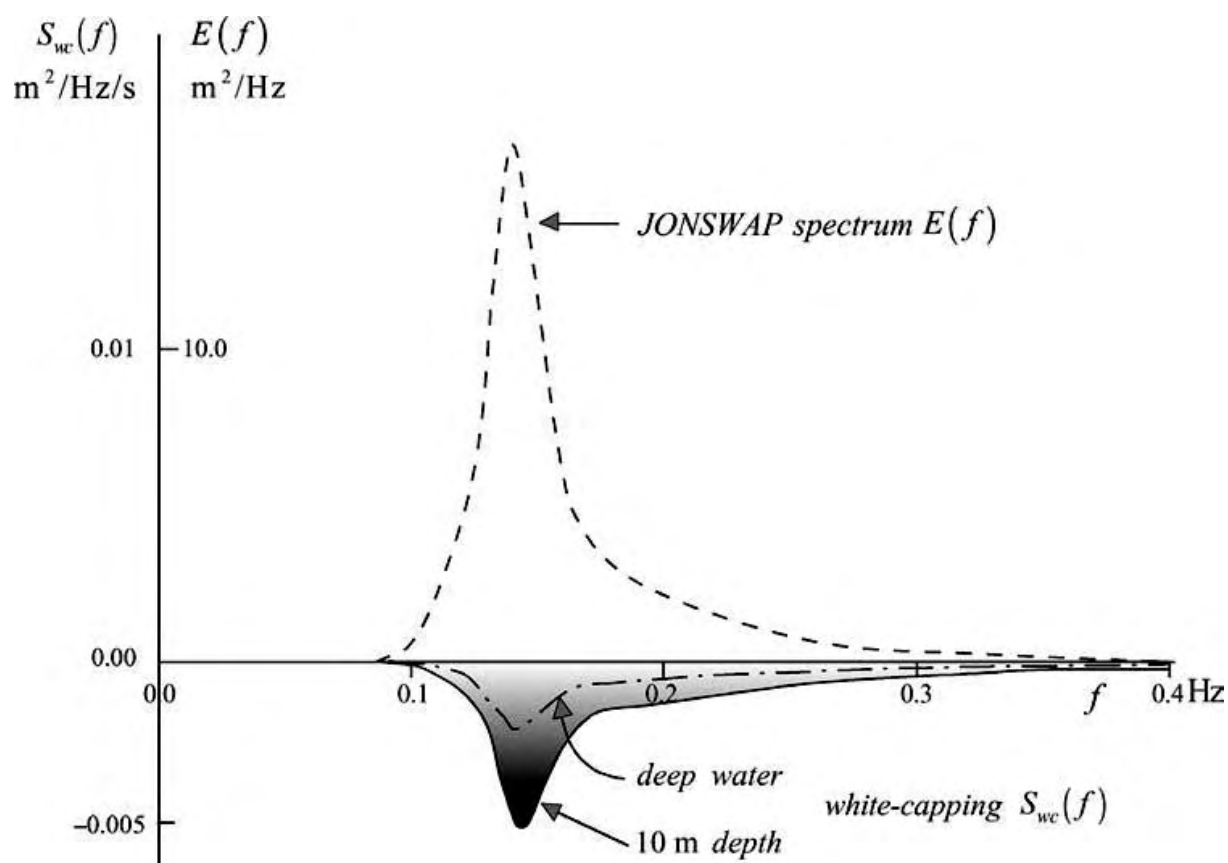


Figura 2.5. Efeito da rebentação parcial no espectro de variância (HOLTHUIJSEN, 2007).

2.1.6 Atrito de Fundo

Este parâmetro de dissipação de energia é resultado das interações da coluna líquida com o fundo (Figura 2.6). Pode ser introduzido no SWAN por uma de três formulações distintas, baseadas na Equação 2.14. Estas três formulações possuem um valor de coeficiente de atrito de fundo c , distinto, por omissão. No entanto, este valor omissão. No entanto, este valor por omissão pode ser alterado no código de entrada.

$$S_{ds,b} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sin^2 kh} E(\sigma, \theta) \quad (\text{Equação 2.14})$$

onde C_b é um coeficiente inerente ao atrito de fundo.

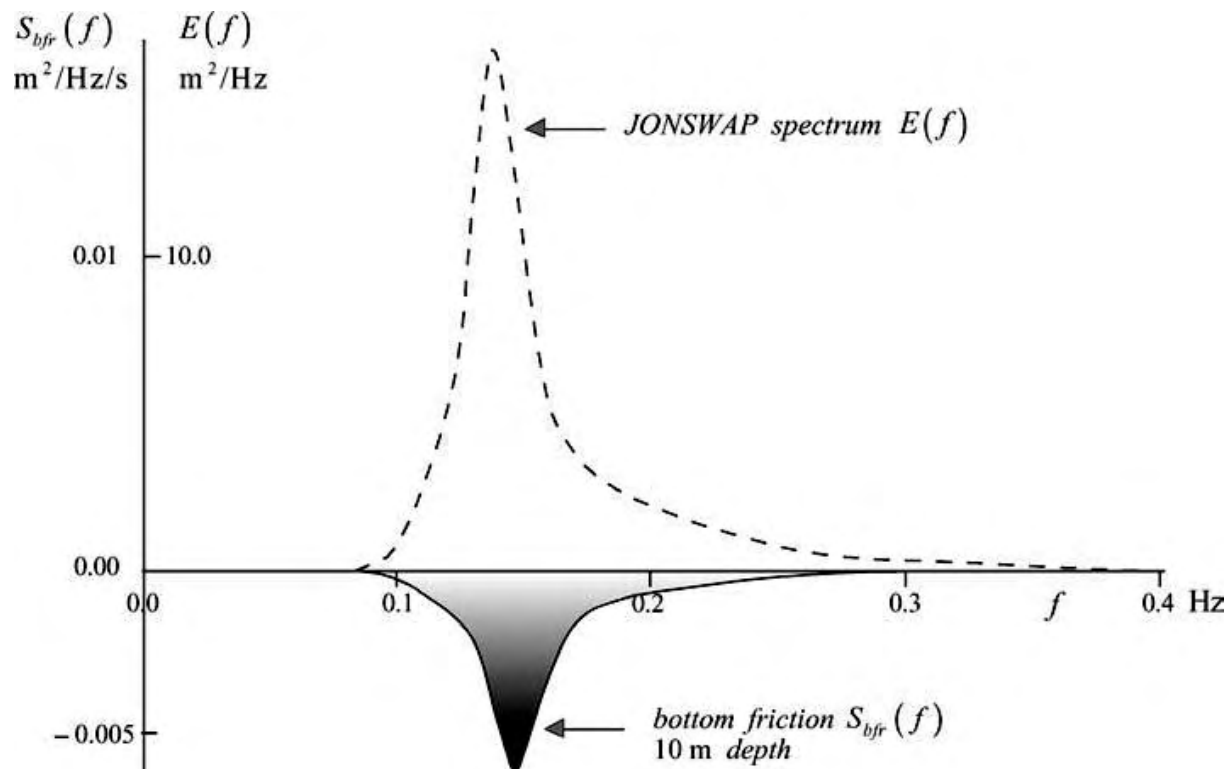


Figura 2.6. Efeito do atrito de fundo em águas rasas no espectro de variância. Holthuijsen 2007.

2.1.7 Rebentação Induzida pelo Fundo

À medida que a profundidade diminui, a energia da onda concentra-se continuamente até promover a sua rebentação, dissipando rapidamente energia (Figura 2.7). Tal fenômeno é representado no modelo SWAN como se segue:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (\text{Equação 2.15})$$

sendo D_{tot} a taxa média de dissipação de energia da onda, por unidade horizontal de superfície (RIS, 1997).

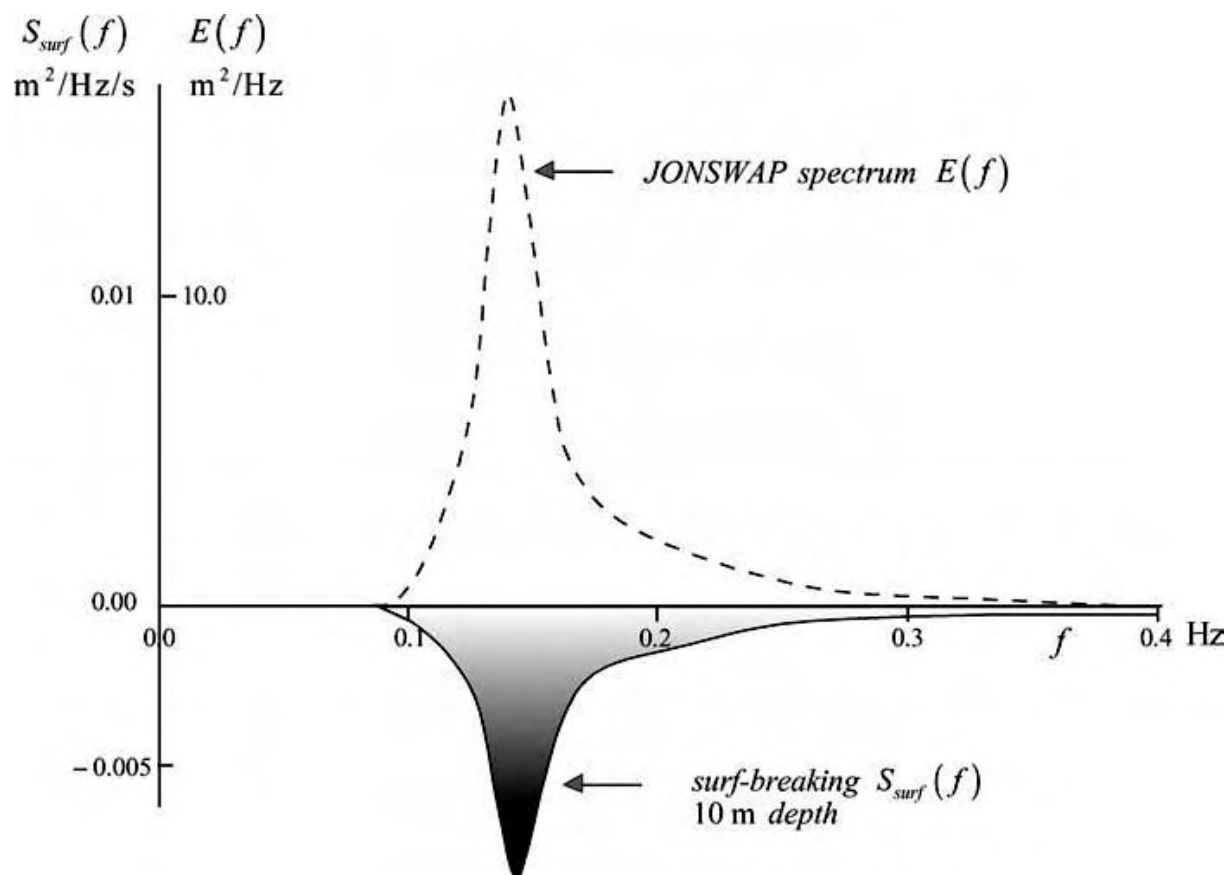


Figura 2.7. Representação do efeito da rebentação induzida pelo fundo no espectro de variância (HOLTHUIJSEN, 2007).

2.2 Implementação Numérica

2.2.1 Considerações Gerais

Por ser um modelo de terceira geração que calcula as interações quádruplas não lineares onda-onda, no SWAN o espectro desenvolve-se livremente sem qualquer imposição de forma *a priori* (HOLTHUIJSEN, 2007), propagando o espectro a partir das condições de fronteira, vento, batimetria e correntes, baseado na equação de balanço espectral (BOOIJ et al., 1999) com exatidão condicionada pelas aproximações numéricas dos fenômenos físicos.

Tal implica a utilização de múltiplas escalas de tempo que conferem uma dificuldade acrescida para os modelos de terceira geração, decorrendo a necessidade de distinguir os erros numéricos dos erros derivados da modelagem dos processos físicos.

A escolha dos esquemas numéricos para a propagação das ondas através do espaço geográfico é de extrema importância, sendo que devem satisfazer critérios de estabilidade, consistência e convergência (SMITH, 1978) dentro de um tempo de cálculo que seja viável. Para aplicações em águas rasas, o intervalo de tempo utilizado deveria ser muito pequeno, tornando os cálculos economicamente inviáveis. Tal implicação é derivada do critério de Courant-Fredrichs-Levy (CFL), que afirma que a energia da onda, num passo temporal, não se pode propagar nas direções x e y através de mais do que uma célula geográfica Δx e Δy , ou, limitado as velocidades de propagação no espaço numérico a seguir:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{C_{g,x}}; \Delta t \leq \frac{\Delta y}{C_{g,y}} \quad (\text{Equação 2.16})$$

No modelo SWAN a equação do balanço de ação (Equação 2.3) é integrada através de esquemas numéricos implícitos, pelo método de diferenças finitas, no tempo, espaço geográfico e espaço espectral, a despeito dos modelos baseados em esquemas explícitos e de diferenças finitas em águas profundas.

O tempo é discretizado a um intervalo Δt constante para integrar simultaneamente os termos relativos à propagação das ondas e os termos fonte $S(\sigma, \theta)$. O espaço geográfico é descrito por uma malha retangular definida por células Δx e Δy constantes nas direções x e y respectivamente. O espaço espectral é discretizado através de uma resolução constante direcional $\Delta \theta$ e de frequência relativa $\Delta \sigma / \sigma$.

No ambiente do SWAN, é possível limitar os valores das direções relativas à origem das componentes das ondas para se obter uma solução mais econômica. É comum impor dois valores limite fixos para as frequências, inferior f_{\min} e superior f_{\max} , tipicamente presentes na agitação, sendo f_{\min} igual a 0,04 Hz e f_{\max} igual a 1 Hz. Neste intervalo, o espectro desenvolve-se livremente sendo o conjunto das frequências descritas por uma distribuição logarítmica. Para valores menores que f_{\min} as densidades espectrais são assumidas com valor nulo. Para valores superiores a f_{\max} é imposto no espectro uma forma do tipo f^m para que se calculem as interações não lineares entre as ondas nas frequências mais elevadas. O SWAN adota o valor de m mediante a formulação escolhida para o termo associado ao forçamento por vento.

2.2.2 Propagação no Espaço Geográfico e Espectral

O esquema numérico utilizado pelo SWAN é implícito e resolve pelo método de diferenças finitas as derivadas parciais relacionadas ao processo de propagação no espaço de frequência e direção.

Verificou-se empiricamente, através do modelo de segunda geração HISWA (HOLTHUIJSEN et al., 1989), que para zonas costeiras, modelos baseados na equação de balanço espectral (Equação 2.3) podem ser associados, para a propagação no espaço geográfico, a esquemas numéricos implícitos de primeira ordem de diferenças regressivas, denominados “*upwind schemes*” (HOLTHUIJSEN, 2007).

$$\frac{\partial C_{g,y}N(\sigma, \theta)}{\partial y} \cong \left[\frac{[C_y N]_i - [C_y N]_{i-1}}{\Delta y} \right]_{t+1} \quad (\text{Equação 2.17})$$

$$\frac{\partial C_{g,x}N(\sigma, \theta)}{\partial x} \cong \left[\frac{[C_x N]_i - [C_x N]_{i-1}}{\Delta x} \right]_{t+1} \quad (\text{Equação 2.18})$$

Nesse esquema, o espaço direcional é decomposto em quatro quadrantes a cada ponto do espaço geográfico (Figura 2.8). Os cálculos são realizados em cada quadrante independentemente dos restantes, com exceção da ação de energia que se move através das fronteiras entre eles, levando-se em consideração a transferência de energia ou de ação que se dá entre as componentes das ondas oriundas de diferentes direções. Depois de cumpridas as quatro fases, a energia da onda é propagada no total do domínio geográfico.

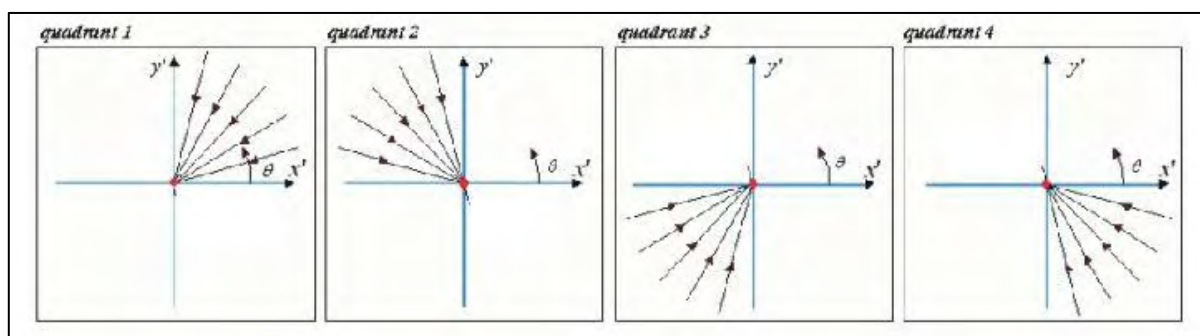


Figura 2.8. Solução utilizada no modelo SWAN para propagação da energia das ondas no espaço geográfico (HOLTHUIJSEN, 2007).

Tal como na propagação no espaço geográfico, o critério de CFL também se aplica ao espaço espectral, não excedendo a unidade, de modo a seguir-se um critério de estabilidade nas aproximações numéricas feitas, respeitando o critério de exatidão esperado do esquema numérico. Para isso, o SWAN adota uma combinação entre um esquema de segunda ordem de diferenças centradas, com maior rapidez de cálculo, e um esquema de primeira ordem de diferenças regressivas, a saber:

$$\frac{\partial C_{\sigma}N(\sigma, \theta)}{\partial \sigma} \cong \left[\frac{(1 + \mu)(C_{\sigma}N)_{i_{\sigma+1}} - 2\mu(C_{\sigma}N)_{i_{\sigma}} - (1 - \mu)(C_{\sigma}N)_{i_{\sigma-1}}}{2\Delta\sigma} \right]_{t+1} \quad (\text{Equação 2.19})$$

$$\frac{\partial C_{\theta}N(\sigma, \theta)}{\partial \theta} \cong \left[\frac{(1 + \nu)(C_{\theta}N)_{i_{\theta+1}} - 2\nu(C_{\theta}N)_{i_{\theta}} - (1 - \nu)(C_{\theta}N)_{i_{\theta-1}}}{2\Delta\theta} \right]_{t+1} \quad (\text{Equação 2.20})$$

O modelo SWAN apresenta três alternativas na escolha do esquema numérico implícito a usar para o processo de propagação das ondas no espaço geográfico e espectral, escolhidas mediante critérios de tempo de processamento e precisão mínima dos resultados, a saber:

- O esquema de primeira ordem de diferenças retardadas *Backward Space, Backward Time* (BSBT), aplicado para condições estacionárias ou não estacionárias – em casos de fronteiras abertas, obstáculos ou costas, é sempre utilizado;
- O esquema de segunda ordem S&L (STELLING e LEENDERTSE, 1992), usado para condições não estacionárias;
- O esquema de segunda ordem *Second ORDER, UPwind* (SORDUP) (ROGERS et al., 2002), utilizado para condições estacionárias.

Os esquemas S&L e SORDUP possibilitam cálculos com maior precisão ao substituírem os termos que representam a propagação no espaço geográfico por outras expressões dentro das integrações.

2.2.3 Geração, Dissipação e Interações não Lineares Onda-Onda

As aproximações numéricas para os termos fonte $S(\sigma, \theta)$ são em geral implícitas, podendo o cálculo ser realizado com um esquema explícito em alguns casos.

O parâmetro A , descrito na Equação 2.10, relativo ao crescimento linear da energia da onda, não depende da forma do espectro e pode ser direta e explicitamente integrado pelos valores conhecidos das características do vento, velocidade e direção. Os outros termos, responsáveis pela transferência de energia das ondas, dependem da densidade de energia e são descritos por $S = \phi E$, onde ϕ é um coeficiente resultante dos parâmetros integrais das ondas. O SWAN integra a geração da onda pelo vento e as interações não lineares a três e quatro ondas quando positivas explicitamente de forma a alcançar um modelo mais estável. O esquema explícito então utilizado é descrito pelo termo fonte no nível n e pela interação do nível anterior da densidade de energia E^{n-1}

$$S^n \approx \phi^{n-1} E^{n-1} \quad (\text{Equação 2.21})$$

Os sumidouros, rebentação parcial, atrito de fundo, rebentação induzida pelo fundo e interações não lineares de três e quatro ondas quando negativas requerem um esquema implícito de modo a obter um modelo incondicionalmente estável. O SWAN subdivide tais termos consoantes caso forem fortemente ou ligeiramente não lineares.

A rebentação induzida pela diminuição da profundidade é um fenômeno fortemente linear, pelo que é estimada no nível n da interação, com uma aproximação linear do nível anterior $n - 1$, a saber:

$$S^n \approx \phi^{n-1} E^n + \left(\frac{\partial S}{\partial E} \right)^{n-1} (E^n - E^{n-1}) \quad (\text{Equação 2.22})$$

Os restantes termos negativos, onde os efeitos não lineares são mais fracos, são integrados de uma forma análoga:

$$S^n \approx \phi^{n-1} E^{n-1} + \left(\frac{S}{E} \right)^{n-1} (E^n - E^{n-1}) \quad (\text{Equação 2.23})$$

com $S = \phi E$, a expressão fica reduzida a:

$$S^n \approx \emptyset^{n-1} E^n$$

(Equação 2.24)

2.3 Procedimentos de Pré e Pós-Processamento

Os arquivos de entrada com dados de batimetria e parâmetros de configuração do modelo devem ser inseridos para iniciar o cálculo com o modelo SWAN. Estes parâmetros estão relacionados com as condições de fronteira, a definição do domínio geográfico, espectral e temporal (caso se introduza o modo não estacionário), os fenômenos físicos a considerar nos cálculos e o tipo de saída de dados. De forma a integrar numericamente a equação do balanço de ação, o usuário deve fornecer também as condições de fronteira no espaço geográfico e espectral da malha.

Nas fronteiras laterais, perpendiculares à linha da costa, é normal não haver informação e a densidade espectral é tida como nula nas zonas. Ao se estabelecerem estas condições laterais, os resultados vão ter sempre alguns erros inerentes à propagação destas ondas através da área computacional. A porção do domínio afetada por tal situação é dependente das condições marítimas de ondulação ou vaga, sendo a região definida pela largura da distribuição direcional da energia da onda. Numa situação de *wind sea* o ângulo será tipicamente 30° , enquanto que para o *swell* variará entre 5° e 10° (Figura 2.9, SWAN Team, 2008).

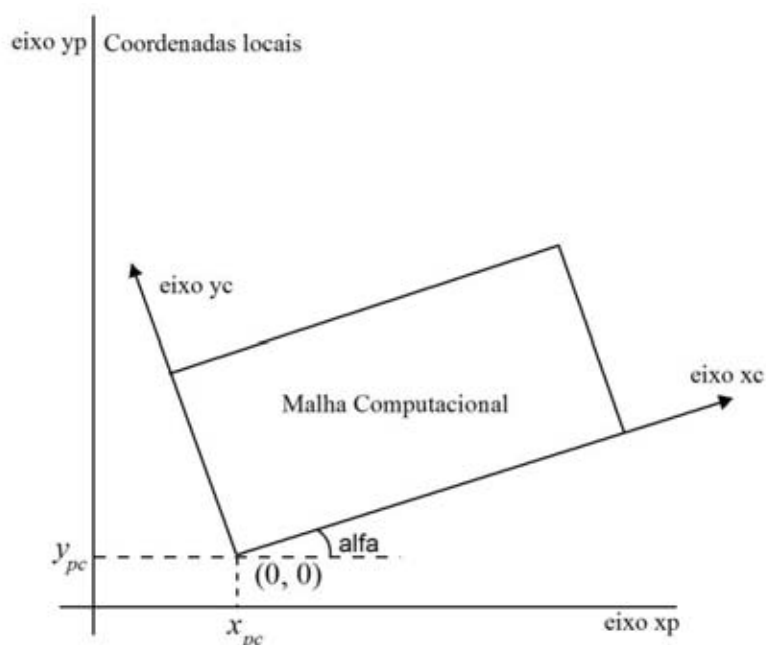


Figura 2.9. Regiões sombreadas são afetadas pelas condições de fronteira no domínio computacional. SWAN Team (2008).

Para a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo SWAN foi utilizada a ferramenta SOPRO (FORTES et al., 2007).

2.3.1 Sistema Operacional de Previsão da Ondulação em Portos - SOPRO

O SWAN, usado nesta tese, está acoplado a um sistema operacional que integra outros modelos de agitação marítima, comumente denominado de SOPRO (Figura 2.10). Foi desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia Civil de Portugal - LNEC. O SOPRO é uma aplicação informática a previsão dos efeitos da agitação marítima em estruturas de proteção costeira e no interior de portos e a simulação de manobras de navios em zonas portuárias. Trata-se de um sistema operacional em tempo real (FORTES et al., 2007).

É composto por um conjunto de bases de dados, uma interface em Access com utilizador e um conjunto de módulos de cálculo (FORTES et al., 2007) (Figura 2.11).

Destina-se a:

- A análise de dados de agitação marítima;
- Construção automática de malhas e de fronteiras para os modelos numéricos;
- A realização de estudos de propagação de agitação marítima desde o largo até ao interior de zonas abrigadas;
- Prever os efeitos da agitação marítima em estruturas de proteção costeira e no interior de portos;
- Estabelecer e transferir regimes de agitação marítima;
- Simular manobras de navios em zonas portuárias;
- Obtém automaticamente a visualização gráfica dos resultados;
- Armazena toda a informação referente aos estudos de agitação marítima

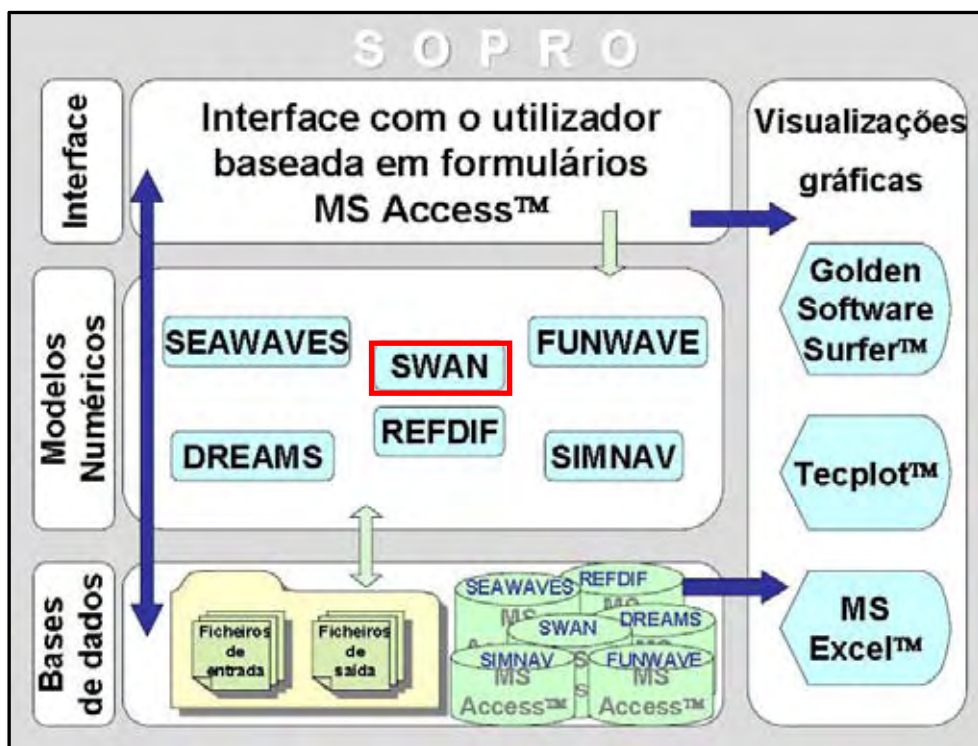


Figura 2.10. Arquitetura e fluxograma de processamento no SOPRO indicando o módulo SWAN ao centro. Bases de dados, módulos numéricos, interface de visualizações gráficas (adaptado de FORTES et al., 2007).

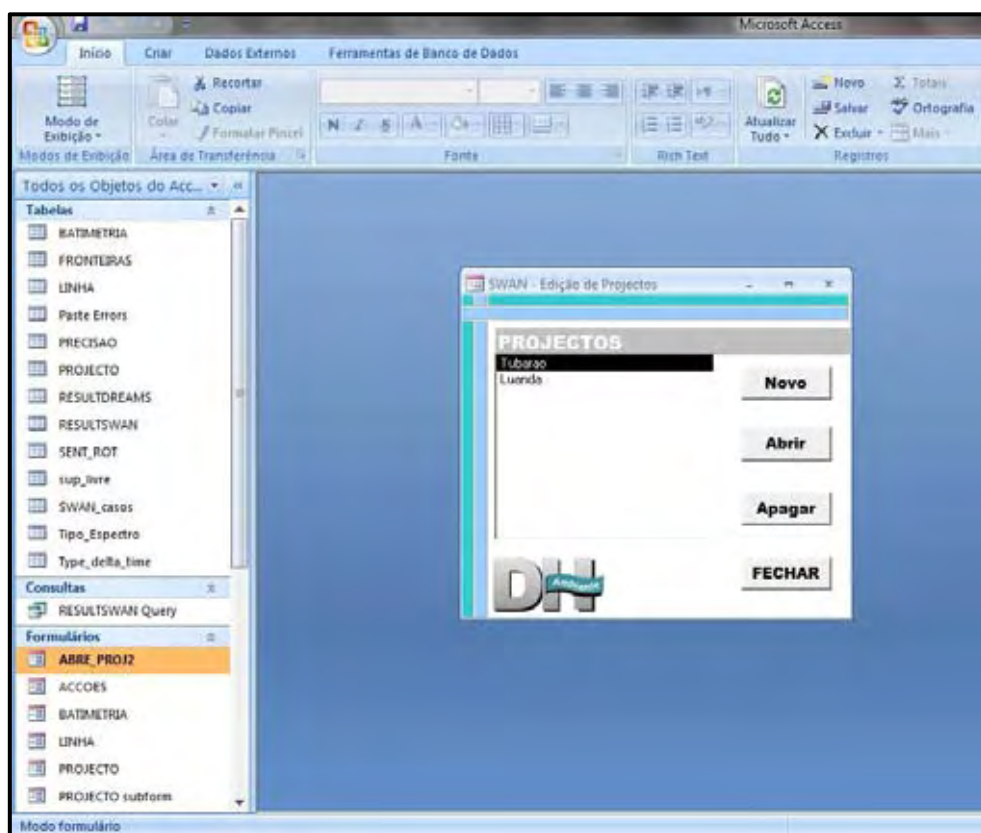


Figura 2.10. Módulo de cálculos do SWAN através da interface Access.

Capítulo 3

13. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

3.1 Introdução

A estratégia metodológica aplicada na elaboração desta Tese foi desenvolvida em conjunto com a equipe de pesquisa do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia (GEOPRO/UFRN), do Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (LARHISA/UFRN), ambos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, e do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (NPE/DHA/LNEC), e objetiva a modelagem do clima de ondas quanto à sua propagação e dissipação na zona litorânea, além de relacionar seus efeitos sobre as feições morfológicas da plataforma continental setentrional do RN.

A metodologia envolve dados batimétricos da carta náutica da DHN, dados de ondas a partir de sensores acústicos, dados de maré, dados de ventos, dados de agitação ao largo do modelo global de escala oceânica, WWIII, e os dados da linha de costa.

3.2 Batimetria

A obtenção de resultados confiáveis na aplicação da modelagem de ondas depende, essencialmente, de um conjunto de dados batimétricos coerentes. Para este trabalho, os dados batimétricos foram obtidos a partir da digitalização da carta náutica nº 720, fornecida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil, disponível diretamente por meio de seu endereço eletrônico (www.mar.mil.br/dhn/chm/cartas/cartas) em formato raster.

A versão da carta náutica nº 720 utilizada foi a de 2009, em escala 1:100.00 (4° 51'), em profundidades em metros reduzidas aproximadamente ao nível da baixa-mar média de sizígia, com altitudes em metros acima do nível médio do mar, em posições referidas ao Datum WGS 1984 e projeção Mercator (DHN, 2012). A o levantamento da carta náutica se estende a partir da área costeira do município de Areia Branca ao município de Guamaré, até o limite ao largo da isóbata de 2.130 metros de profundidade (Figura 3.1).

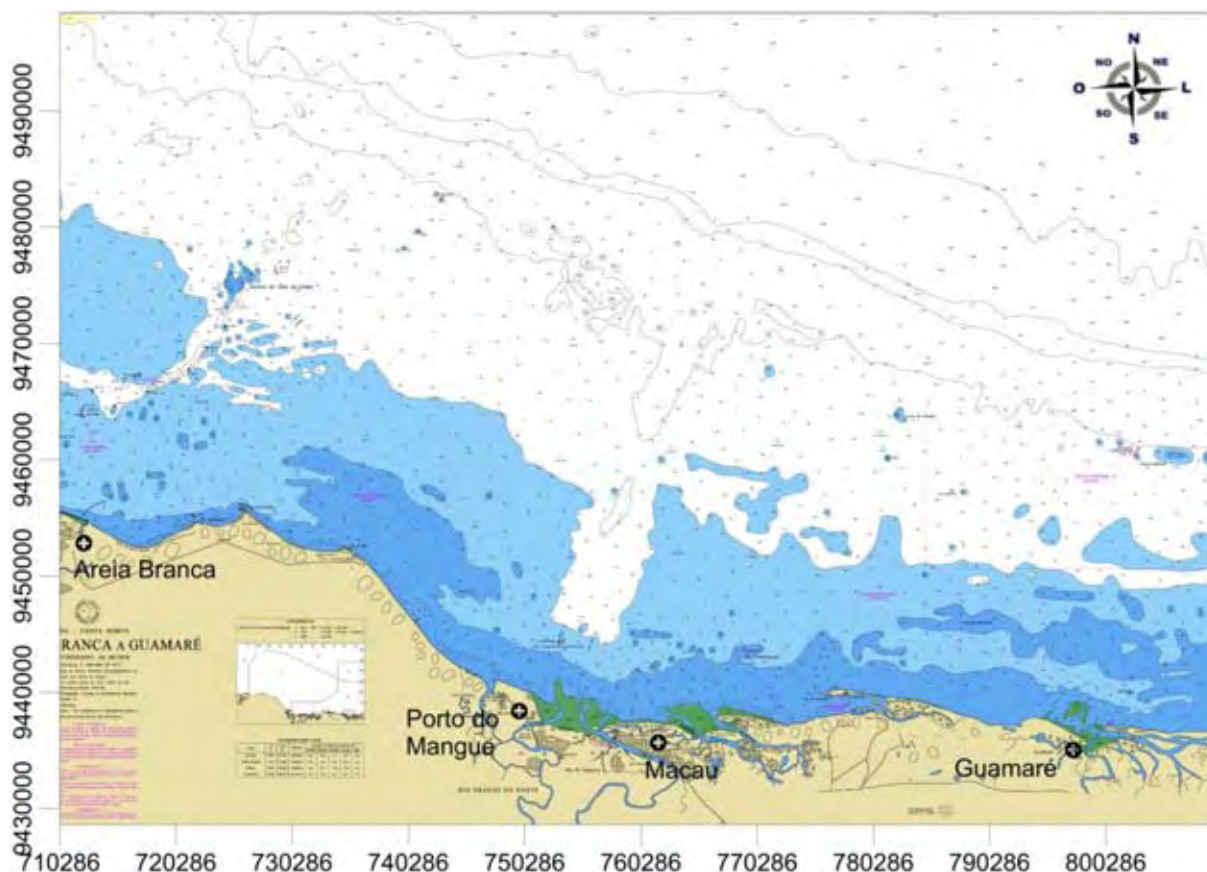


Figura 3.1. Carta náutica n. 720 referente à área do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, utilizada para a modelagem de ondas com o SWAN.

A partir da carta náutica, os dados foram digitalizados por meio do *software SURFER*[®] versão 9.0, foi gerada uma malha com 2.475 pontos digitalizados, incluindo as cotas zero da linha de costa conforme a Figura 3.2a. Em seguida, os dados foram interpolados (Figura 3.2b) para a definição do limite de contorno para entrada dos dados batimétricos no SWAN.

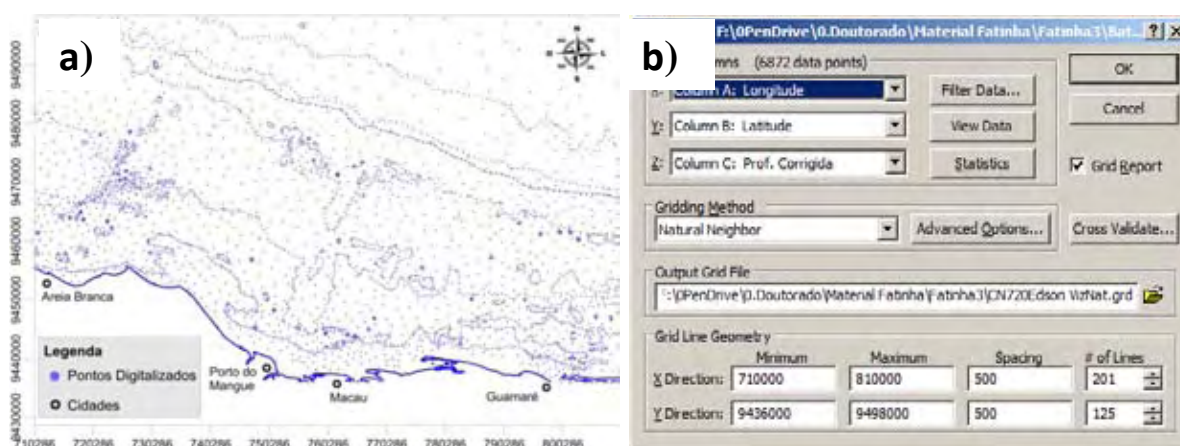


Figura 3.2. a) Mapa com os dados batimétricos digitalizados a partir da carta náutica e, b) Método interpolador do *software SURFER*[®].

Uma vez que o SWAN utiliza como o *SURFER*[®] como interface de visualização gráfica de seus resultados, o mesmo é utilizado para definir do método interpolador dos dados batimétricos, neste caso o Vizinho Natural.

A definição deste método foi baseada em Moura (2011), que testou os 12 métodos interpoladores relacionados no *software SURFER*[®] para os mesmo dados da carta náutica nº 720, resultando no mais adequado método interpolador para os dados batimétricos, sendo o que melhor reproduziu as feições de batimetria da área estudada (Figura 3.3).

Segundo Moura (2011) o método Vizinho Natural (*Natural Neighbor*), gera bons contornos para áreas que apresentam densidade variada de dados. Utiliza-se de uma média ponderada dos pontos de dados vizinhos, considerando como peso as áreas dos polígonos de Thissen2 que são usados no algoritmo de interpolador. Este método não extrapola valores de 'z' para fora do domínio.

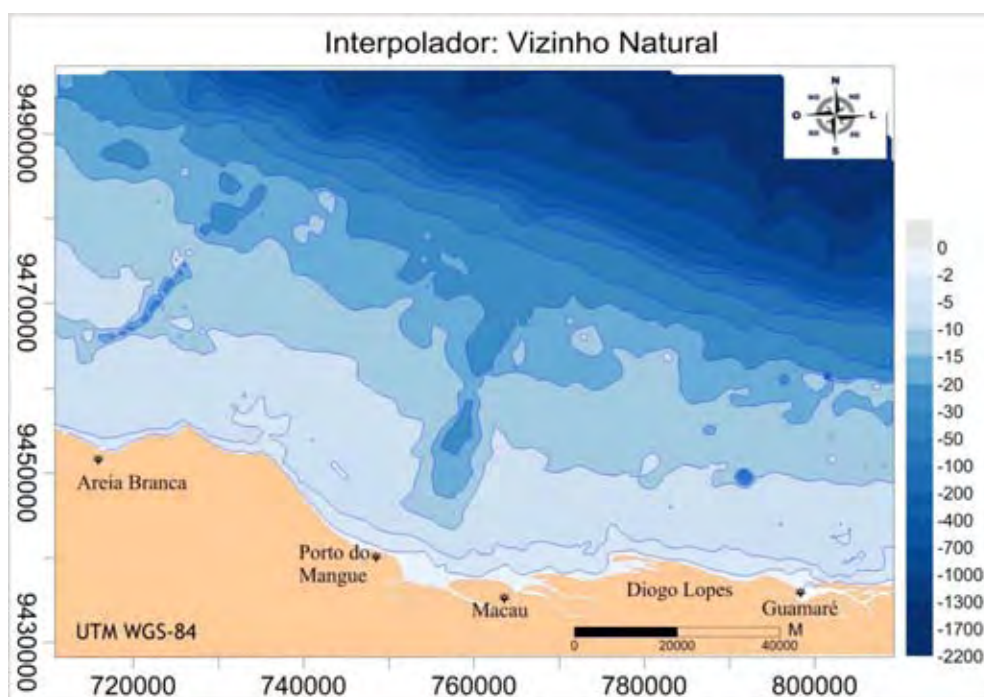


Figura 3.3. Mapa batimétrico resultante da interpolação do método vizinho natural.

Com a interpolação dos dados, foi definido os limites das malhas batimétrica de entrada para o SWAN, onde a dimensão e limite são descritos conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Limite e dimensão da malha batimétrica de entrada para o SWAN.

X	710000
Y	9436000
N° DX	200
N° DY	124
DX (m)	500
DY (m)	500

3.3 Dados de Ondas *in situ*

Foram usados três equipamentos para a aquisição dos dados de ondas, Figura 2: dois perfiladores acústicos de ondas e correntes Modelo Nortek AQUADOPP, configurado com o sensor de ângulo reto e outro perfilador acústico de ondas e corrente Modelo Nortek AWAC, cuja localização se pode ver na Figura 3. Na Tabela 1 apresentam-se as características de fundeio dos equipamentos com a localização e tipo de sensor, profundidade de fundeio e distância da linha de costa. Na Tabela 2 apresentam-se as definições e as características de aquisição dos dados. Em mais detalhe, tem-se:

- **AQUADOPP PROFILE[®]**: instrumento que mede o perfil da corrente da água utilizando a tecnologia do efeito *Doppler*. Foi projetado para aplicações típicas que incluem oceanografia de águas rasas (lâmina d'água de < 100 m) e os estudos científicos em rios, lagos e canais e podem ser instalados em estruturas fixas e fundeados em uma plataforma de atracação, em bóias ou em qualquer outra estrutura fixa. O AQUADOPP PROFILER pode ser usado em modo stand-alone com gravação de dados internos ou on-line, comunicação via telefone ou rádio modem, possui três feixes acústicos inclinado em 25° para medir a precisão do perfil da corrente, com 1 HZ para dados de onda (p, U, V) intercalados com as médias do perfil de onda, calcula a altura da onda, período e direção. O método usado pelo sensor para medir as propriedades das ondas direcionais e não-direcionais abaixo da superfície é o *PUV* (NORTEK, 2010). Sendo a combinação da medida da pressão *P* e os dois componentes horizontal e axial da velocidade orbital da onda, *U* e *V*.

- *AWACTM*: sensor adaptado para medir perfil de corrente e onda direcional em células de 1 m de espessura na coluna d'água, podendo medir em zonas de grandes profundidades, até 300 m. Mede ondas longas, de tempestade, curtas, vento ou ondas geradas por transientes locais como o tráfego de navios, entretanto, este sensor não mede em regiões abaixo de 5 metros de profundidade. O sensor é normalmente montado em um quadro na parte superior, protegido contra as severas condições meteorológicas e de navios (Figura 3.4b). Cada transdutor gera um feixe orientado a 25°. O Método da Máxima Verossimilhança – MLM, utilizado pelo sistema AWAC, é o método geral para estimar espectros de ondas direcionais (KAHMA et al., 2005; PEDERSEN et al., 2007).

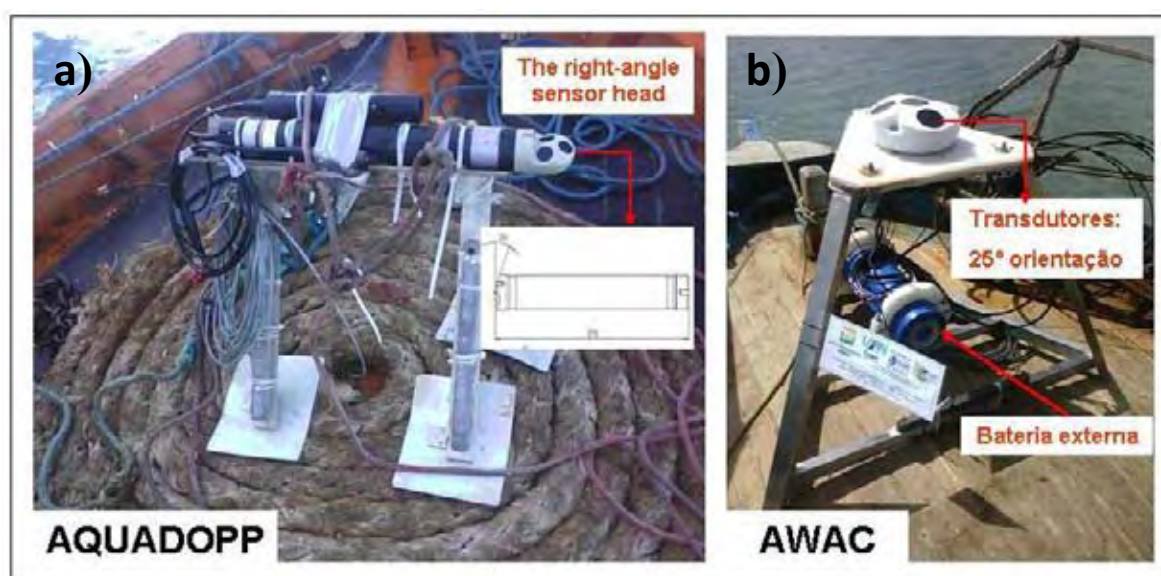


Figura 3.4. Estrutura de instalação dos sensores: a) AQUADOPP e, b) AWAC para a aquisição dos dados de ondas.

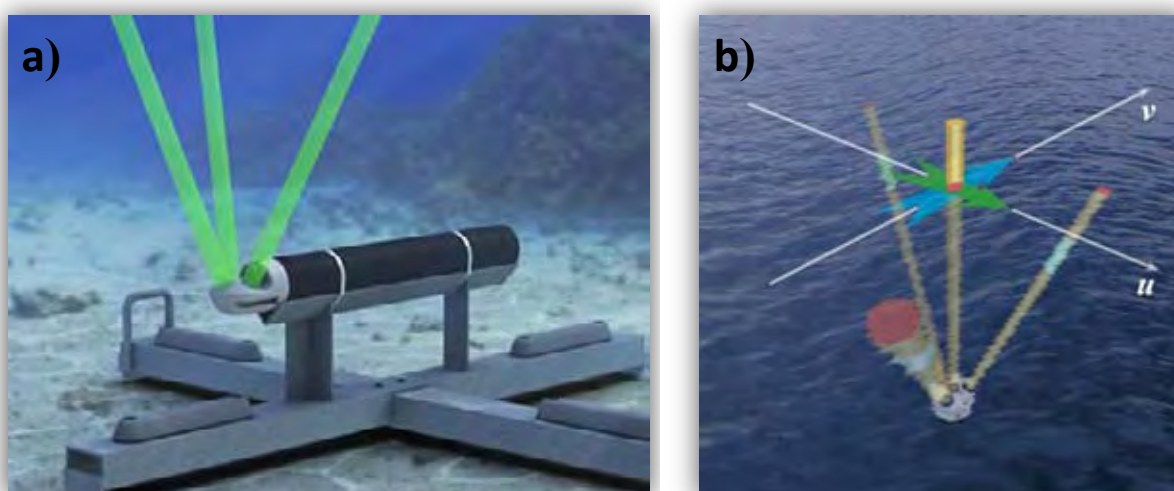


Figura 3.5. Modo de orientação dos transdutores inclinados no fundo marinho para a aquisição dos dados: a) modo de orientação do AQUADOPP PROFILE; e, b) modo de orientação do AWAC.

Estes equipamentos foram posicionados no mar em dois pontos (Figura 3.6):

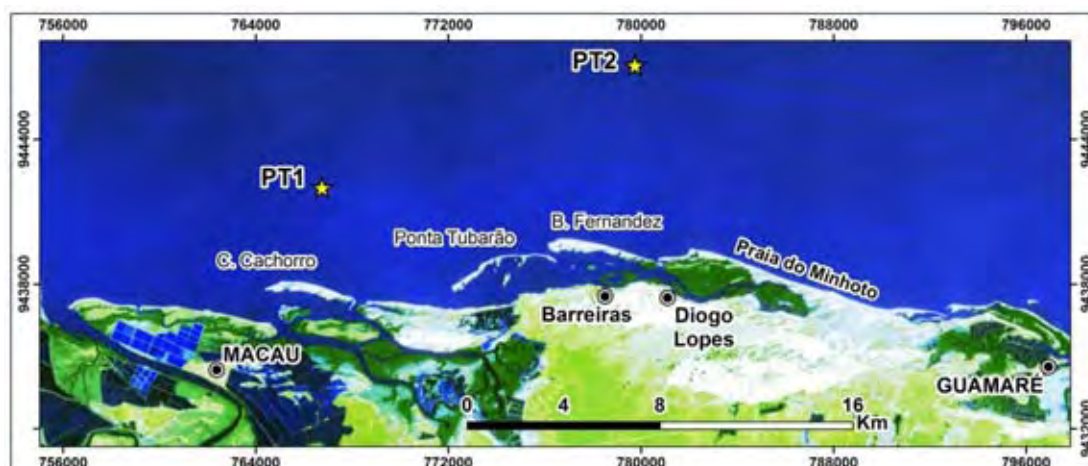


Figura 3.6. Mapa de localização do posicionamento dos sensores para as campanhas PT 1 e PT 2.

- **PT 1 (AQUADOPP PROFILE):** foi posicionado na zona frontal a praia ilha de Corta Cachorro, com uma distância de 3.6 km da linha de costa, em águas com profundidades entre 3 e 4 m e cerca de 2,5 km distante da linha de costa (Figura 3.6). Próxima da área encontra-se o campo de produção de petróleo de denominado de Serra, instalado muito próximos da linha de costa.
- **PT 2 (AWAC):** localizado a norte do esporão arenoso, chamado de Barra do Fernandez, distante cerca de 7 km da linha de costa, em profundidades de 7 e 8 metros, conforme se observa na Figura 3.6. Em função de o AWAC operar a partir de 5 metros de profundidade, este foi definido devido encontrar-se em uma zona central as ilhas barreiras e praias oceânicas.

Tabela 3.2. Definições dos locais dos fundeios para cada sensor: AQUADOPP e AWAC.

Ponto	UTMX-Z24S	UTMY- Z24S	Sensor
PT 1	766768,68	9441999,32	AQUADOPP
PT 2	779765,47	9447091,11	AWAC

Tabela 3.3. Características e definições de aquisição dos dados de ondas dos sensores: AQUADOPP e AWAC.

Sensor	Intervalo Perfil (s)	Célula (s)	Tam. Célula (m)	Média (s)	Freq. (Hz)
AQUADOPP	600	20	1	60	1
AWAC	600	20	1	60	1

O processamento dos dados é por meio do software STORM, fornecido pelo próprio fabricante dos equipamentos, e tanto o AWAC quanto o AQUADOPP, os dados podem ser tratados por este software. A Figura 3.7 mostra a janelas com uma gama de dados de ondas a partir de uma série de aquisição das campanhas do PT 1. Em seguida, os dados podem ser exportados em formatos txt para serem filtrados em planilhas de Excel as informações referentes as estimativas de ondas. Apesar do AWAC e AQUADOPP, fornecerem vários parâmetros, para este trabalho, os dados necessários foram as estimativas de altura significativa, HS (m), período médio, Tmed (s) e direção da onda, DIR (°).

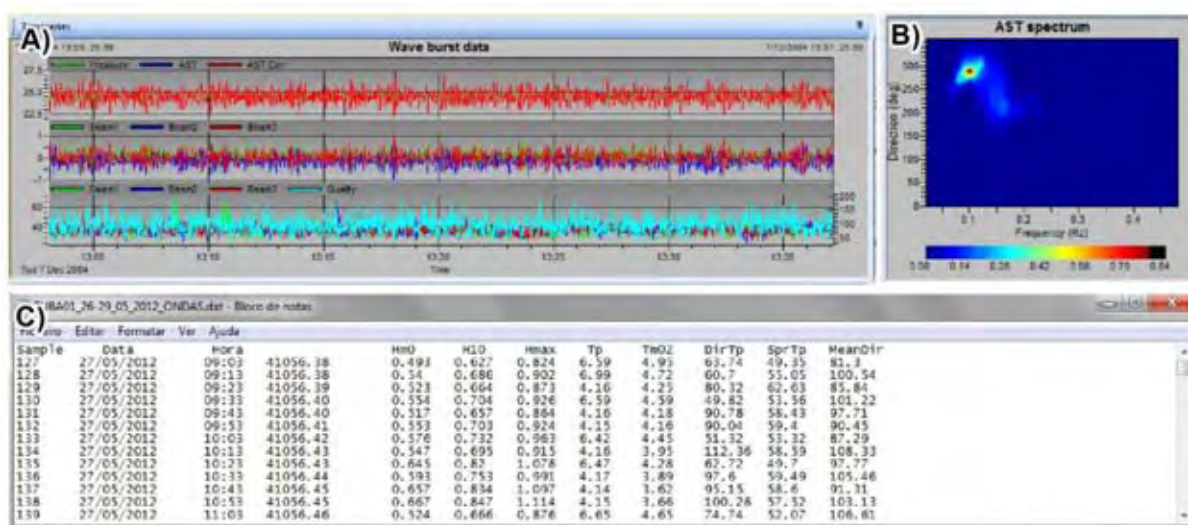


Figura 3.7. Processamento dos dados de ondas STORM (Nortek), com visualização das janelas redimensionáveis dos dados e perfis da coluna d'água (A e B), e a os dados exportados em formatos de *txt* (C).

3.4 Dados de Maré

Os dados de maré, foram adquiridos através das tábuas de marés, fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil. As observações são avaliadas e validadas, permitindo assim a inserção desses dados no sistema de maré, que calcula o nível médio (NM), a altitude da RN da estação, a semi-amplitude máxima da maré (Z_0) e o nível de redução (NR). O NR é então materializado no terreno por meio de referências de nível (RN), após medições topográficas de nivelamento geométrico (DHN, 2012).

Devido às profundidades a que se encontram os pontos de medição, que variam de 3 m a 4 m de profundidade no PT 1, e, de 7 m a 8 m de profundidade no PT 2, a variação da maré não pode ser desconsiderada (Figura 3.8).

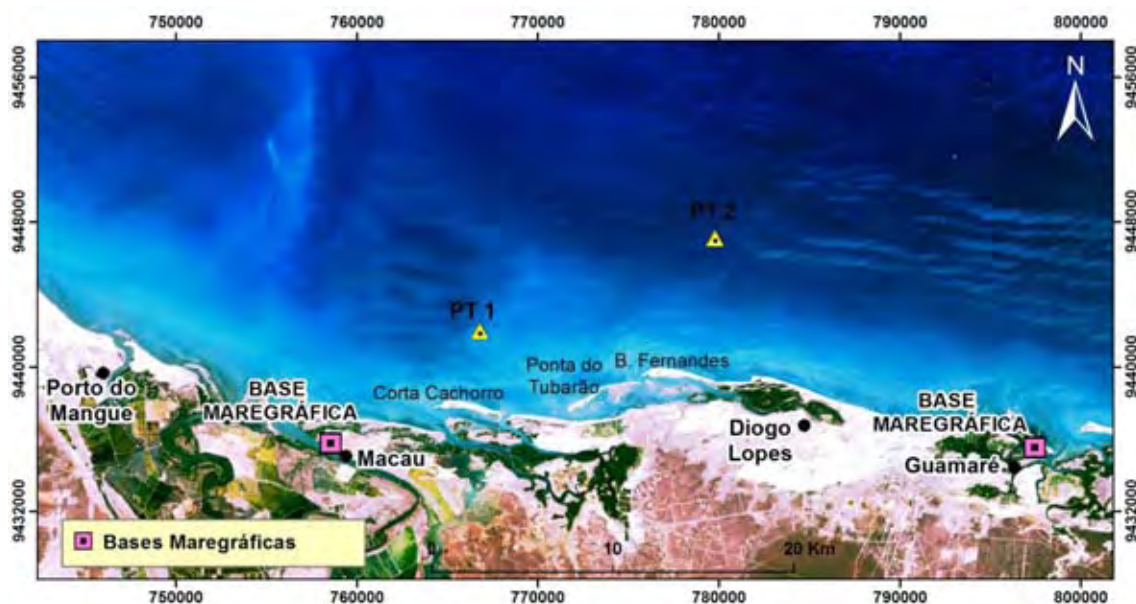


Figura 3.8. Mapa de localização das estações maregráficas de Macau e Guimarães.

Devido sua localização, no interior dos estuários, foi realizada uma transferência dos valores adaptada à linha de costa. Esta transferência foi baseada em Góis (2008), por meio do modelo hidrodinâmico SisBAHIA[®], que integra as constantes harmônicas utilizadas por Góis (2008) e posteriormente, o modelo permite exportar os valores com as colunas de data, horário e variação da maré, conforme a Figura 3.10, para refinar o desempenho do modelo SWAN.

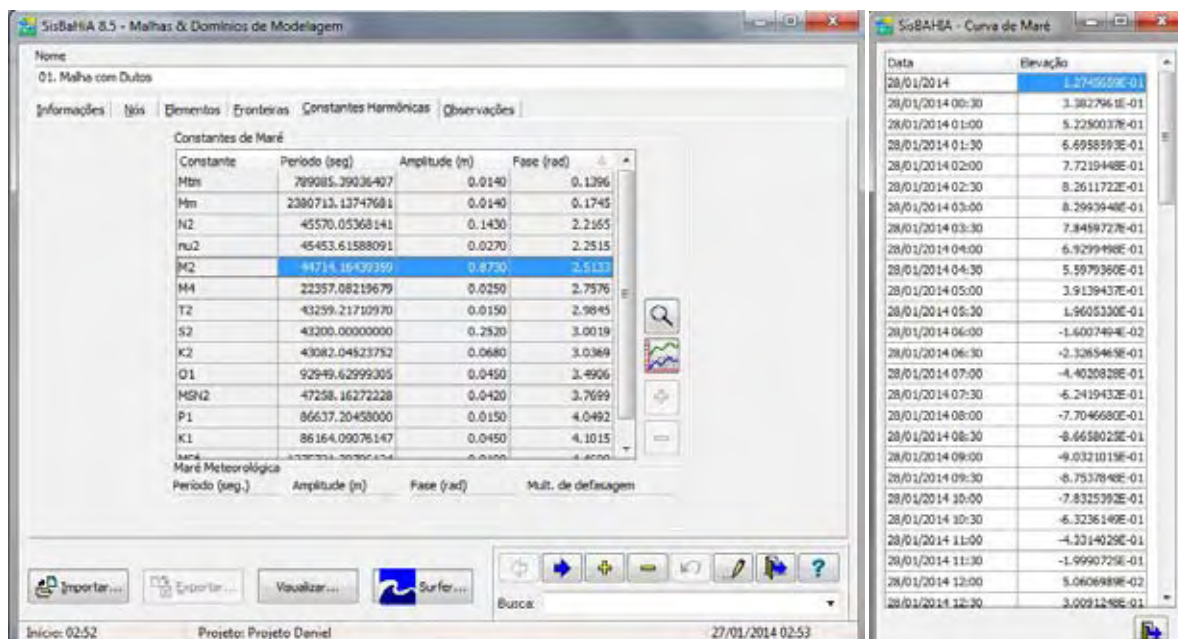


Figura 3.8. Visualização do modelo hidrodinâmico SisBAHIA[®] referentes as constantes de maré, indicando a janela das constantes harmônicas e os dados de maré mostrando data, hora e elevação.

Todos os dados obtidos foram interpolados para as mesmas condições de horários dos dados de agitação de ondas para serem introduzidos no SWAN. Em seguida, na Figura 3.9, mostra a curva da maré gerada como condição de contorno do SisBAHIA[®] para um determinado período de aquisição dos dados medidos

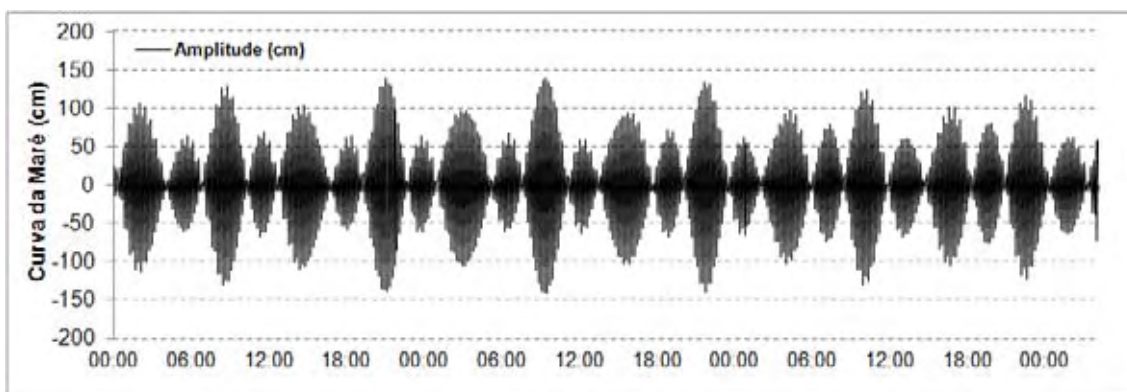


Figura 3.9. Curva da maré astronômica gerada a partir das constantes harmônicas referente à estação de Guamaré operada pela DHN.

3.5 Dados de Ventos

Os dados das características dos ventos foram adquiridos junto à estação Meteorológica de Macau de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. É uma estação meteorológica de superfície automática, é composta de uma unidade de memória central ("*data logger*"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, dentre outros parâmetros), que integra os valores observados minuto a minuto e os automaticamente a cada hora.

Os dados são fornecidos e são obtidos diretamente a partir do endereço eletrônico da própria instituição (www.inmet.gov.br).

No caso da estação Meteorológica de Macau, esta por ser a mais próxima da área de estudo, está situada em terra A situada nas coordenadas: Latitude -5.1150° e Longitude -36.7156° , a 4 metros de altitude (Figura 3.10).

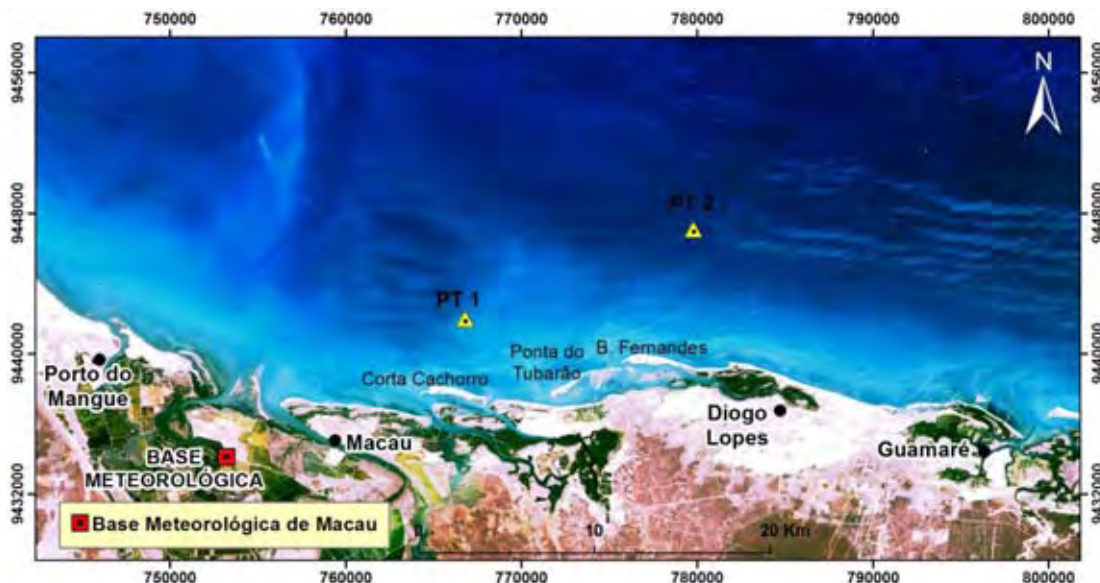


Figura 3.10. Mapa de localização das estações meteorológica de Macau, utilizada para este trabalho.

Desta estação, foi adquirida uma gama de parâmetros com informações diárias a cada hora, entretanto, apesar deste vários parâmetros, para a execução deste trabalho, foi extraído apenas as informações referentes aos dados de ventos: velocidade do vento (m/s) e direção do vento (°) (Figura 3.11).

Contudo, devido o posicionamento desta estação, conforme a Figura 3.10, distante da área de aplicação da modelagem e com altura do anemômetro a 4 metros, foi realizado uma transformado dos valores de terra para uma referencial em mar, sendo esta transformada explicada mais detalhadamente no Capítulo 5.

1	2	3	4			5			6			7			8			9			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
			Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)																
01/01/2012	0	27	27.6	27	71	71	68	21.2	21.2	21.1	1010.1	1010.2	1009.6	5.1	93	8.7	-3.54	0																		
01/01/2012	1	26.4	27	26.4	75	75	71	21.7	21.7	21.2	1010.2	1010.4	1010.1	4.8	99	8.4	-3.54	0																		
01/01/2012	2	26	26.4	26	77	77	75	21.6	21.7	21.6	1010	1010.2	1010	4.5	98	8	-3.54	0																		
01/01/2012	3	25.6	26	25.6	78	78	77	21.6	21.6	21.6	1009.7	1010	1009.7	3.8	95	8	-3.54	0																		
01/01/2012	4	25.2	25.6	25.2	81	81	78	21.6	21.6	21.6	1009.2	1009.8	1009.2	2.8	111	6.4	-3.54	0																		
01/01/2012	5	24.4	25.2	24.4	84	84	81	21.5	21.6	21.4	1009	1009.2	1008.9	2.6	119	4.2	-3.54	0																		
01/01/2012	6	23.9	24.4	23.8	86	86	83	21.4	21.5	21.3	1009.4	1009.4	1009	2.3	121	4.2	-3.54	0																		
01/01/2012	7	23.1	23.9	23.1	88	88	86	21.1	21.4	21	1009.5	1009.6	1009.4	2.1	130	3.7	-3.54	0																		
01/01/2012	8	22.7	23.1	22.7	89	89	88	20.9	21.1	20.9	1010.2	1010.2	1009.5	1.7	136	3.4	-3.54	0																		
01/01/2012	9	23.5	23.5	22.4	89	91	89	21.5	21.5	20.7	1011.2	1011.2	1010.2	2	155	1.2	95.11	0																		
01/01/2012	10	26.8	26.8	23.5	74	89	74	21.8	21.9	21.5	1011.7	1011.7	1011.2	3.7	111	6.4	707.7	0																		
01/01/2012	11	28.3	28.3	26.8	64	74	64	20.9	21.9	20.9	1011.7	1011.8	1011.6	4.9	97	8.2	1224	0																		
01/01/2012	12	30.6	30.6	28.2	53	65	52	20	21.1	19.2	1011.6	1011.8	1011.5	4.8	67	8.3	1849	0																		
01/01/2012	13	31.2	31.5	29.7	49	56	48	19.4	20.6	18.9	1010.9	1011.6	1010.9	6.2	54	9.8	2971	0																		
01/01/2012	14	31.6	32.3	31.2	51	55	47	20.3	21.3	19.1	1010.6	1010.9	1010.5	8	39	11.5	3422	0																		
01/01/2012	15	31.6	32	31	51	55	49	20.3	21.2	19.4	1010	1010.6	1009.9	8	42	11.7	3541	0																		
01/01/2012	16	31.6	32.4	31.1	49	55	49	19.5	21.2	19.5	1009.1	1010	1009.1	9.1	44	12.8	3424	0																		
01/01/2012	17	31.6	31.9	30.9	52	54	49	20.5	20.9	19.7	1008.2	1009.2	1008.2	8.3	46	13.4	3061	0																		
01/01/2012	18	30.7	31.9	30.6	56	56	49	20.8	20.9	19.1	1008	1008.2	1007.9	7.8	51	13.9	2471	0																		
01/01/2012	19	30.1	30.9	29.9	58	61	54	21	21.9	20.3	1006.4	1006.4	1008	7.9	48	12.9	1712	0																		
01/01/2012	20	28.4	30.1	28.6	66	68	58	21.7	22.3	20.8	1008.6	1008.6	1008.3	8	59	13	804.7	0																		
01/01/2012	21	27.6	28.7	27.6	72	72	66	22.1	22.4	21.3	1009.1	1009.2	1008.6	6.8	55	13	110.1	0																		
01/01/2012	22	27.1	27.6	27.1	74	74	71	22.2	22.2	21.9	1010	1010	1009.1	6.3	61	14	-1.54	0																		

Figura 3.11. Dados obtidos da estação Meteorológica de Macau para a execução dos procedimentos referentes à modelagem de ondas, destacando os dados de ventos.

3.6 Dados da Agitação ao Largo

Para as condições de agitação ao largo, os dados referentes à altura significativa da onda, período médio e direção média da onda, foram obtidas através do modelo de 3ª geração WAVEWATCH III, da bóia localizada na costa nordeste do Brasil nas coordenadas: 787460,84 E/9666781,81 S, situada em águas profundas, conforme a Figura 3.12.

O WAVEWATCH III é um modelo de ondas de terceira geração desenvolvido pela NOAA/NCEP (*National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction*). O WAVEWATCH I foi desenvolvido na Delft University of Technology (TOLMAN, 1989; 1991) e o WAVEWATCH II, desenvolvido na NASA, Goddard Space Flight Center (TOLMAN, 1992). O WAVEWATCH III™, no entanto, difere de seus antecessores em muitos pontos importantes, tais como as equações que governam, a estrutura do modelo, os métodos numéricos e as parametrizações físicas. Além disso, com a versão do modelo 3.14, WAVEWATCH III™ está esquematizado em uma estrutura que permite fácil desenvolvimento de outras abordagens física e numérica para a modelagem de onda. O modelo calcula a evolução espacial e temporal do espectro bidimensional de ondas, através da equação de transporte advectivo com base na conservação da densidade espectral de energia (NWS, 2013).

O termo fonte é tipicamente representado como somatório de três processos, a entrada de energia pelo vento, interações não lineares do tipo onda-onda, e dissipação por *whitecapping*. A física do modelo inclui geração de energia, dissipação devido à quebra de ondas e fricção com o fundo, refração, advecção e interações onda-onda quádruplas. O grande avanço foi a inclusão da parametrização de interações onda-onda triplas, que dominam a propagação em águas rasas (NWS, 2013).



Figura 3.12. Localização da boia do modelo WaveWatch III, na costa norte do nordeste Brasileiro

O modelo fornece saídas binárias ou ASCII e pode se obter diretamente via a página do *National Weather Service – NWE* (www.usgoda.gov/pub/outgoing/fnmoc/models/ww3), bem como a saída para o pacote gráfico como o GrADS por meio de pós-processamento. Os pós-processadores para dados GRIB estão disponíveis, entretanto, necessitará das bibliotecas para a leitura dos GRIB.

Para simplificar a aquisição dos dados do WW III, O Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal desenvolveu uma ferramenta denominada *Wavewatch III Downloader* (Figura 3.13A) capaz de obter automaticamente os dados. Onde o mesmo fornece uma designação para a saída dos dados e em seguida, insere-se a data para aquisição e a localização da boia oceânica.

Executada estas funções, a ferramenta fornece os dados em formato *txt*, conforme indica a Figura 3.13B, com as estimativas contendo os parâmetros de onda seguintes: HS (onda significativa), T_p (período médio) e DIR (direção média para a frequência de pico), obtidas a cada 6 horas para ser inserido como os dados de agitação ao largo para forçar o modelo SWAN.

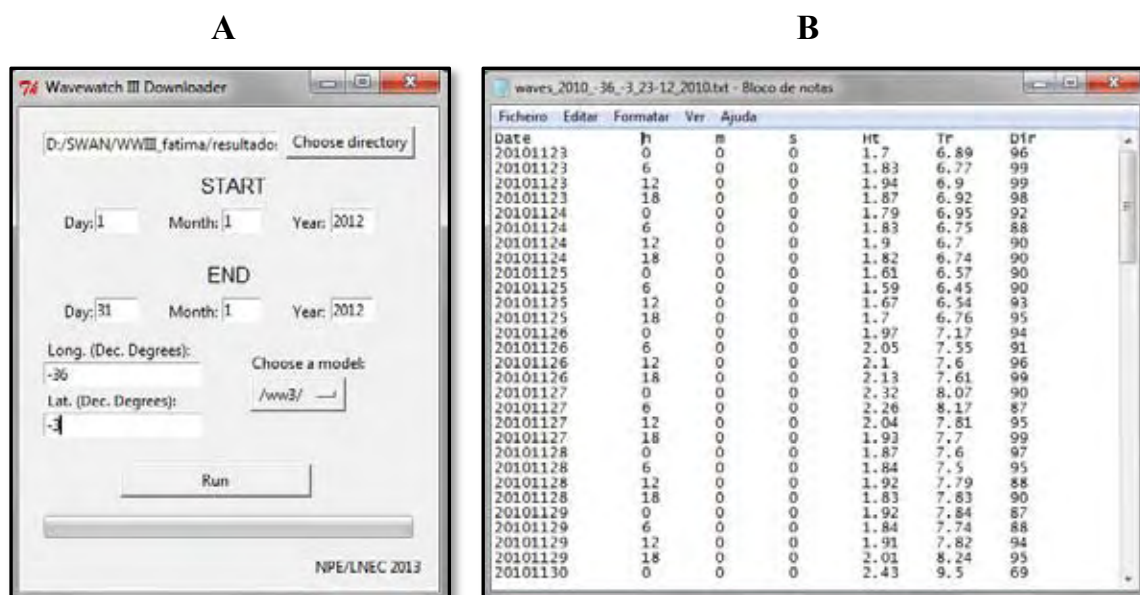


Figura 3.13. A) Modo de aquisição automática dos dados do WWIII via Wavewatch III Downloader (LNEC, 2013); B) modo de transferência dos resultados via formato *txt*, indicando os parâmetros de agitação marítima: HS (onda significativa), T_p (período médio) e DIR (direção média para a frequência de pico).

Após a aquisição das séries temporais de agitação ao largo, os dados são agrupados em arquivo em formato *.DAT* incluindo em cada coluna os parâmetros da onda conforme a Figura 3.14.

Para simplificar a orientação dos dados de entrada do SWAN assim, como os dados resultantes após as rodagens, na Figura 3.15 são mostrados em forma de organograma um resumo em relação à modelagem de ondas.

Date	Time	Hs	L	Tr	Dir	Spr	fp	p_dir	p_spr	
h	m	s	(m)	(m)	(s)	(d.N)	(deg)	(Hz)	(d.N)	
20110101	1	0	1.70	10	10	10	10	0.10384	10	-0.61
20110101	6	0	1.71	10	10	12	10	0.10121	12	0.60
20110101	12	0	2.13	10	10	8	10	0.09470	8	-0.60
20110101	18	0	2.27	10	10	358	10	0.08636	358	0.77
20110102	0	0	2.40	10	10	352	10	0.08237	352	-0.73
20110102	6	0	2.52	10	10	349	10	0.08097	349	0.65
20110102	12	0	2.74	10	10	346	10	0.08084	346	-0.66
20110102	18	0	2.78	10	10	344	10	0.08217	344	0.79
20110103	0	0	2.68	10	10	343	10	0.08410	343	-0.71
20110103	6	0	2.58	10	10	343	10	0.08628	343	0.58
20110103	12	0	2.22	10	10	344	10	0.08937	344	-0.59
20110103	18	0	2.12	10	10	345	10	0.09158	345	0.68
20110104	0	0	2.00	10	10	348	10	0.09443	348	-0.56
20110104	6	0	1.88	10	10	352	10	0.09814	352	0.39
20110104	12	0	1.91	10	10	357	10	0.10225	357	-0.42
20110104	18	0	1.62	10	10	2	10	0.10537	2	0.47
20110105	0	0	1.74	10	10	7	10	0.10811	7	-0.32

Figura 3.14. Arquivos com os dados de agitação ao largo.

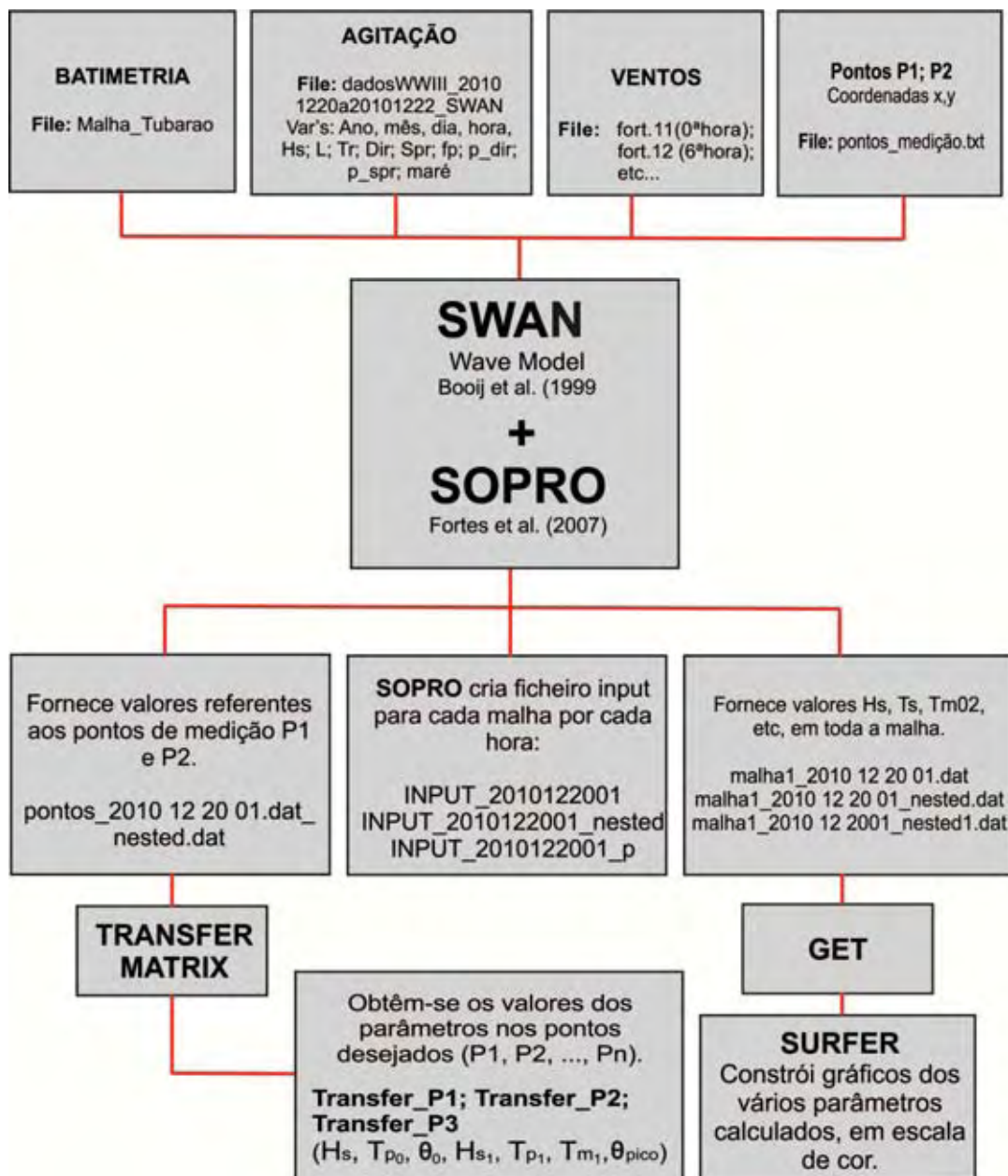


Figura 3.15. Organograma de estruturação da interface SOPRO para o módulo SWAN.

No Apêndice 1, são apresentados os arquivos de entrada, relativos aos três domínios (Malhas: exterior (M1), intermediário (M2) e interior (M3)), considerados para as aplicações do modelo SWAN para os cálculos em modo estacionário.

E no Apêndice 2, são apresentados um resumo dos dados da resultantes da modelagem, com informações diárias (de 12 em 12 hora) para todo o conjunto de meses envolvidos nas simulações.

3.7 Levantamento da Linha de Costa

O levantamento das variações planimétricas da linha de costa dos sistemas praias e ilhas barreiras, foi possível por meio da aquisição de dados planimétricos pelo GPS Geodésico do tipo L1L2, que permite obter as informações planialtimétricas em tempo real ou *Real Time Kinematic* (RTK), baseado no uso das observações de fase da portadora dos sinais do GPS/NAVSTAR, GLONASS. Os receptores utilizados foram do modelo *Trimble R3* (Figura 3.16A) que rastreiam observações da fase da onda portadora na frequência L1 e possuem precisão nominal horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 5 mm + 2 ppm. Isso implica que, para linhas de base de 3,5 km, os erros máximos estimados são de 8,5 mm na horizontal e 12 mm na vertical (AMARO et al., 2012).

O levantamento se dá pelo método relativo cinemático, no qual dois receptores coletam simultaneamente os dados durante um determinado intervalo de tempo, sendo um receptor permanece fixado em uma estação de referencia, esta denominada de estação de base de coordenadas conhecidas, enquanto outro receptor acoplado em um objeto móvel, também denominada de base móvel, segue rastreando a área de interesse (AMARO et al., 2012) (Figura 3.16B).

A acoplagem do receptor móvel em um quadriciclo, ou uma moto, por exemplo, garante vantagem e maior tempo em locais onde a maré dinâmica é de regime semidiurna (com duas preamares e duas baixa-mares) e do tipo assimétrica, ou seja, com tempo de enchente menor que o tempo da vazante.

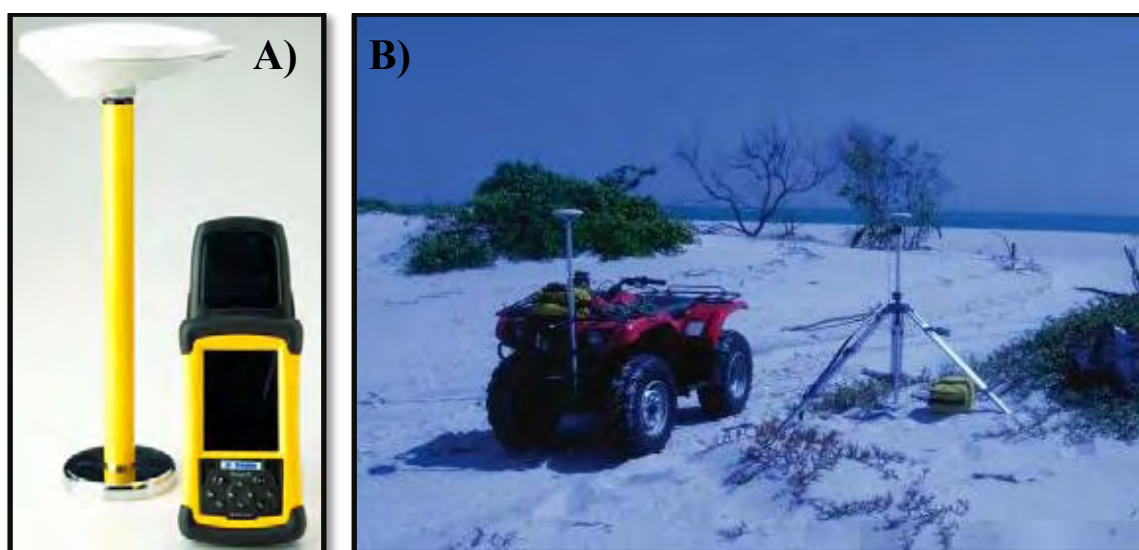


Figura 3.16. A) Modelo de receptor *Trimble R3*; B) Receptor fixado no tripé (*base*) e receptor móvel (*rover*) acoplado ao quadriciclo móvel.

Para realizar o levantamento da linha de costa dos sistemas praias e ilhas barreiras, foi necessário estabelecer o limite da linha, e esta definição foi baseada conforme Souto (2009). Sendo a linha de costa definida como o limite do espraiamento das ondas na face de praia submersa na maré em preamar, ou seja, o alcance máximo da linha d'água. No levantamento, foram coletados pontos topográficos planialtimétricos seguindo as marcas mais recentes da LC Amaro et al. (2013), indicadas tanto por sujeiras deixadas pelas marés quanto pela diferença de umidade entre areia seca e molhada (Figura 3.17).



Figura 3.17. Contato entre a areia seca e molhada marcando a linha de costa definida nos levantamentos geodésicos. A linha azul marca a linha de costa da porção da Ilha Ponta do Tubarão, exposta as ondas de mar aberto.

Nos processamentos foram fixadas as estações da RGLS (*Rede GNSS do Litoral Setentrional*) (Figura 3.18) como referências e usadas observações da fase da onda portadora (L1). As coordenadas geodésicas foram determinadas diretamente em relação ao sistema SIRGAS 2000. Todos os levantamentos foram realizados durante as fases das marés de quadratura (SANTOS et al., 2012).

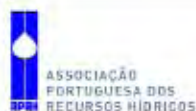


Figura 3.18. Localização das estações de referências da Rede GNSS do Litoral Setentrional (RGLS).

Para a construção dos mapas multitemporais das variações planimétricas da linha de costa, os dados depois de processados pelo software *Topcon Tools*, são inseridos numa base de dados digitais georreferenciados, via programa *ArcGis v 10.1*, onde são gerados e representados os modelos das linha de costa de cada ano, permitindo assim, a identificação e a mensuração das modificações ocorridas das linha de costa, das área de erosão/acreção, o cálculo de área e da orientação do transporte de sedimentos na linha de costa e nas superfícies praias (SANTOS et al., 2012; AMARO et al., 2012).

Capítulo 4

Artigo publicado na Revista de Gestão Costeira Integrada (ISSN: 1646-8872)



Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo *

Comparative Analysis of Agitation Obtained the Numeric Model (SWAN) in Modeling Rio Grande do Norte (Brazil) Northern Coastal Waves and Field Data

Maria de Fátima Alves de Matos ^{@,1}, Conceição Juan a E.M. Fortes ², Venerando Eustáquio Amaro ¹,
 Ada Cristina Scudeleri ¹

RESUMO

Este artigo visa apresentar as análises comparativas da agitação marítima entre as medições obtidas dos resultados da modelagem numérica, com a aplicação do modelo SWAN, e os resultados das medições *in situ* durante duas campanhas realizadas no período de 20 a 27 de dezembro de 2010 e de 15 a 22 de fevereiro de 2011, na costa do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. O estudo tem como principal objetivo, avaliar o desempenho do modelo SWAN quanto à previsão de agitação marítima, aferindo suas potencialidades e limitações para a região de interesse.

As medições *in situ* foram efetuadas em dois locais próximo da costa em profundidades de 5 e 9 m, respectivamente, onde os dados foram processados para se obter as análises espectrais e empregado as análises estatísticas do conjunto de amostragem. Nas condições de fronteira, foram considerado os estados de mar estimados (H_{m0} – altura de onde significativa, T_p – período de pico e Dir – direção média em frequência de pico) pelo modelo de escala oceânica, WAVEWATCH III, WWIII. As informações das condições de fronteira foram submetidas a um refinamento para aprimorar a aplicabilidade do modelo, onde se considerou a maré variável para os dois períodos de análise em condições de sizígia, uma vez que a amplitude da maré local chega a ultrapassar os 2 m durante as fases de sizígia. As informações foram interpoladas de hora a hora para serem introduzidas no conjunto de dados de agitação que forçam o modelo. Os valores numéricos foram obtidos para todo o domínio do cálculo, que considerou como malha exterior as dimensões da Carta Náutica 720, fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Entretanto, o modelo realizou cálculos em duas malhas de dimensões inferiores a exterior: uma intermediária e outra interior, esta última na inserção dos pontos de referência, fornecendo assim, os parâmetros de agitação marítima junto à costa. Nos cálculos com o modelo SWAN foram considerados regime estacionário, com a formulação KOMEN e coeficiente de atrito, $\epsilon=0.015 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$. Analisaram-se também as estatísticas atribuindo o índice de concordância (*ic*) dos valores medidos e valores numéricos como forma avaliativa. São apresentadas e discutidas as análises comparativas das medições

@ - Corresponding author: fatimaaalves@geologia.ufrrn.br

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia e Departamento de Engenharia Civil, Campus Universitário Lagoa Nova, C.P. 1596, CEP: 59078-970, Natal, RN, Brasil. e-mail: Matos - fatimaaalves@geologia.ufrrn.br, Amaro - amaro@geologia.ufrrn.br, Scudeleri - ada@c.ufrrn.br.

2 - Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal. e-mail: jfortes@lnece.pt

in situ com as estimativas obtidas com a modelagem numérica, que servem para a validação das simulações, assim como para quantificar as diferenças observadas para ambos os períodos estudados.

Conclui-se que, no geral, o modelo conseguiu representar razoavelmente bem a evolução da onda desde ao largo até a zona de praia. Das análises estatísticas para as alturas significativas, embora se observe semelhança no comportamento, o índice de concordância entre eles, mostrou-se abaixo de 0,5. Em ambos os casos, em comparação com as observações, houve semelhança no comportamento das alturas significativas e períodos médios, apesar de os valores medidos mostrarem-se sempre superiores aos valores numéricos. No entanto, verificou-se, para a estação do PT1, que o modelo conduz a resultados numéricos mais próximos dos medidos, este em menor profundidade.

A execução deste estudo permitiu realizar os testes quanto a capacidade do modelo SWAN de caracterizar o estado de agitação marítima em zona costeira rasa, com abrangência de escala regional de 300 km² e obtenção de resultados satisfatórios.

Palavras-Chave: Modelação numérica, modelo SWAN, ondas, Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

This article presents the comparative analysis of wave propagation between measurements obtained from the results of numerical modeling, with the application of the model SWAN (Booij et al., 1999), and the results of in situ measurements during two campaigns carried out from December 20th through December 27th 2010, and from February 15th through February 22nd 2011, on the northern coast of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. The SWAN model permits the calculation of the evolution of spectrum from the directional generation zone to the coastline. But like any numerical model is based on approximations and hypotheses, presenting therefore limitations in a accurate description of the waves in the area under study. The study's main objective is to evaluate the performance of the SWAN model regarding prediction of sea disturbance, assessing their strengths and limitations for the region of interest.

The in situ measurements were made at two locations near the shore at depths of 5m to 9m, respectively, measured with instruments AWAC and Aquadopp PROFILE, where the data were processed to obtain spectral analysis (significant wave height, H_S, period, T_{med}, and average direction, D_{med}) and employed the statistical analyzes of all data valid. In the boundary conditions, was considered the estimated sea states (H_{sp} – significant wave height, T_p – peak period and Dir – direction average peak frequency) by the model of an oceanic scale, provided WWII (Tolman 1999, 2002). The information of the boundary conditions have been subjected to a refinement to enhance the applicability of the model, where the tide variable considered for two different periods in spring tide conditions, since the amplitude of the local tide comes to exceed 2 m for phases of spring tide. The data were interpolated hourly to be introduced in the dataset agitation forcing the model. The numerical values were obtained for the entire domain of the calculation, which considered as mesh exterior dimensions of 720 Nautical Chart, provided by the Directorate of Hydrography and Navigation of the Marine of Brazil, however, the model calculations performed in two meshes smaller than outer: one intermediate and one interior; the latter in the insertion of reference points (PT1 and PT2), thereby providing the parameters of wave propagation along the coast. The formulations were considered to SWAN in stationary patterns, formulation KOMEN (1984), with a coefficient of friction $c=0.015 m^2 s^{-2}$. We also analyzed the statistics assigning the concordance index (ic) of the measured values and numeric values as a form of evaluation, as well, are presented and discussed comparative analysis of in situ measurements with the estimates obtained with the numerical modeling, which serve to validation of simulations, and to quantify the differences observed for both periods studied.

It is concluded that in general the model represented reasonably well the evolution off from the wave to the beach area. Statistical analyzes to significant heights, although there is similarity in behavior; the level of agreement between the numerical and measured was below 0.5. In both cases, compared with the observations of behavior were similar to significant heights and medium periods, although the measured values show is always higher than the numeric values. However, it is the station PT1 to the model leads to the closest numerical results measured in this shallower depth.

The execution of this study allowed for the tests and the ability of the SWAN model to characterize the state of sea waves in shallow coastal zone, with regional coverage of 300 km² and satisfactory results.

Keywords: Numeric modeling, waves, Northeastern Brazil.

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras constituem regiões, entre os continentes e os oceanos, caracterizadas pela natureza geológica dos continentes (litologias e arcabouços tectônicos) e principalmente pela energia imposta pela variação do nível médio do mar. No geral, as zonas costeiras mantêm-se em condições de equilíbrio dinâmico e, portanto, são áreas muito susceptíveis às mudanças em diversas escalas temporais e espaciais (Suguio, 2003). Grande parte desta dinâmica costeira está direta ou indiretamente relacionada à ação das ondas (Dean & Dalrymple, 2001), correntes, marés e ventos, em intervalos de tempo variáveis. As ondas geradas pelo vento são consideradas o agente forçador dominante na hidro e morfodinâmica costeira (Rocha et al., 2012). Por meio dos fenômenos de refração, difração e reflexão, tendem a amplificar e a transformar a dinâmica na zona costeira

por meio da distribuição e dissipação de sua energia ao longo da costa, uma vez que estas respondem, sobretudo, pelo transporte de sedimentos litorâneos e pelos processos erosivos e de deposição (Griggs & Trenhaile, 1994).

As ondas são o mais importante agente erosivo ao longo da maioria das costas, mas seu efeito varia de acordo com a energia das ondas e características e com a natureza do material exposto a ação das ondas (Summerfield, 1991; Trenhaile & Kanyaya, 2007). São capazes de colocar em movimento grande quantidade de sedimentos e, conseqüentemente, modificar a configuração da linha de costa e a distribuição dos sedimentos costeiros no fundo (Davis, 1985), causando o recuo progressivo ou recessão da linha da costa (Griggs & Trenhaile, 1994).

São vários e evidentes os fatores impactantes relacionados à ação das ondas nas zonas costeiras. Muito embora tenha

havido muitos avanços significativos na compreensão da dinâmica costeira, seu progresso no Brasil tem sido dificultado tanto pelo baixo número de pesquisadores ativos nesta área quanto pelas próprias operacionalidades instrumentais que envolvem a manutenção do monitoramento costeiro, especialmente quanto à temporalidade e distribuição espacial de locais permanente para o monitoramento das ondas, sobretudo, no litoral do nordeste do Brasil, que abrange uma área de 3.036 km de extensão, representando mais de 1/3 do litoral brasileiro, onde existe uma ausência de locais fixos de monitoramento a médio e longo prazo. Apesar disso, alguns estudos (Tabosa et al., 2002; Silveira, 2002; Lima, 2002; 2006; Chaves, 2005; Leite, 2007; Scudeleri et al., 2007; Góes, 2009; Scudeleri et al., 2011; Matos et al., 2011; Fortes et al., 2011; Matos & Amaro, 2011; Ferreira et al., 2012) têm sido feitos e vale ressaltar sua importância para os programas de monitoramento ambiental do litoral norte do Rio Grande.

Desta maneira, no que se refere ao ambiente marinho e costeiro, modelos de propagação de ondas são imprescindíveis para o conhecimento e o entendimento do ambiente estudado. A maioria dos modelos matemáticos sugere que as ondas exercem as maiores pressões na, ou ligeiramente acima, superfície média da água (Trenhaile, 2002). Uma das formas mais evidentes para se determinar o clima de ondas é por meio da medição *in situ* propriamente dita. Entretanto, devido à própria complexidade dos sistemas costeiros (Trenhaile, 2002), e pelas dificuldades instrumentais e custos envolvidos (Marques, 1997), diversos países há várias décadas têm desenvolvido e utilizado modelos numéricos para previsão de ondas, tanto em escala regional como global. Assim como no passado, estes modelos se encontram em constante fase de aperfeiçoamento para melhorar o desempenho das previsões numéricas da agitação marítima, bem como de se obter uma caracterização de maior cobertura geográfica e com maior capacidade de prever um estado de agitação marítima das áreas de interesse.

Um dos mais utilizados modelos na previsão da agitação marítima é o modelo SWAN (Booij et al., 1999), que permite o cálculo da evolução do espectro direcional desde a zona de geração até à zona costeira. Mas, como qualquer modelo numérico, é baseado em aproximações e hipóteses, apresentando por isso, limitações na descrição precisa das ondas na zona em estudo. Além disso, este tipo de modelos envolve um conjunto de parâmetros que têm de ser calibrados para cada caso de estudo, recorrendo, por exemplo, a dados adquiridos *in situ*. Uma das grandes vantagens do modelo SWAN é a versatilidade, já que pode ser aplicado a grandes zonas costeiras abertas ou pode ser aplicado a zonas confinadas, como baías e estuários, por exemplo.

Desta forma, a existência de medições *in situ* (sobretudo, de ondas) no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte é uma oportunidade de calibrar alguns parâmetros do modelo numérico SWAN bem como de avaliar o desempenho do modelo e justificam o interesse do presente trabalho.

A modelação numérica com o SWAN foi efetuada para os dias em que foram realizadas as campanhas de medições *in situ*, i.e., 20 a 27 de Dezembro de 2010 e 15 a 22 de Fevereiro de 2011.

Embora para esta região a aplicação do SWAN já tenha sido efetuada anteriormente por outros autores (Scudeleri et al., 2007; Scudeleri et al., 2011; Fortes et al., 2011; Ângelo, 2012), neste estudo a proposta é refinar a inserção dos dados e aprimorar a condição aplicável do modelo. Considerou-se a maré variável para um conjunto significativo de dias sob a influência das marés de sizíglia, uma vez que estas, por serem meso marés semidiurnas, influenciam e contribuem em escala diária no retrabalhamento, mobilização e transporte dos sedimentos junto à costa.

Assim, com base nos resultados do modelo de previsão da agitação marítima, WAVEWATCH III, Tolman (1999; 2002), da bóia localizada na costa norte do Nordeste do Brasil (nas coordenadas 787460,84E / 9666781,81S), para os dias de medições *in situ*, utilizando dados de altura significativa (H_S), período médio (T_{med}) e direção média (DIR_{med}), medidos com os instrumentos AWAC e AQUADOPP PROFILE, foram efetuados os cálculos com o modelo SWAN desde o largo (230 km de distância da costa) até a zona de próxima da costa, onde se obteve os valores de altura de onda significativa, H_S , período médio, T_{med} e direção média, DIR_{med} , na zona de estudo. Foi realizada uma análise comparativa das medições da agitação marítima local com as estimativas produzidas pelo modelo em dois pontos localizados próximos da costa e calcularam-se as estatísticas.

Neste sentido, este trabalho descreve os procedimentos de preparação e de aquisição de dados durante as campanhas de campo; os procedimentos de tratamento e análise dos dados; a aplicação do modelo SWAN; as análises comparativas e a avaliação do desempenho do modelo SWAN nesta zona de estudo com base nos dados medidos.

1.1. Características Gerais da Área de Estudo

O Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte está situado na região nordeste do Brasil, no contexto das regiões semiáridas, com baixa precipitação anual (< 750 mm/ano) e altas temperaturas (> 25°C), caracterizando-se assim, como uma região altamente vulnerável às condições impostas pela variação do nível do mar e pelas mudanças climáticas.

É uma costa de plataforma continental rasa, inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar, onde da linha de costa em direção ao talude, às profundidades variam aproximadamente de 10 m até 40 m, a partir daí, ocorre gradualmente o desnível superior a 2.000 m sobre o talude e o sopé continental (Gomes, 2009). A porção interna da plataforma continental é constituída por um sistema de ilhas barreiras e esporões arenosos extremamente susceptíveis aos processos erosionais, intensamente afetado pelas condições hidrodinâmica, edáficas, e pelo arranjo estrutural de um sistema de falhamentos reativados no tempo (Fonseca, 1996; Caldas, 2002; Souto et al., 2006; Rios et al., 2012). O sistema de falhas Carnaubais (NE-SW) e de Afonso Bezerra (NW-SE) corresponde à principal estrutura que controla a sedimentação na baía, assim como, a deposição dos sedimentos costeiros.

Na zona próxima a linha de costa (Figura 1), a instabilidade morfológica é intensa, com forte atuação dos processos de erosão e de acreção, resultantes da ação constante das ondas, das variações do nível médio da água do mar, das condições

climáticas, das sequências geológicas, das atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carreados pelos rios e oceano, que controlam o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea (Souto *et al.*, 2006).

Além destes aspectos atuantes na modificação da morfologia costeira, tem destaque a interferência antrópica, fortemente ocupada por empreendimentos de grande porte (Figura 1a, 1b), como as atividades petrolíferas instaladas

em águas rasas e zona de intermaré, que envolve desde a prospecção, a exploração e transporte de petróleo e gás natural, e mantém a área, que apresenta uma vulnerabilidade ambiental e natural elevadas (Griggio *et al.*, 2005, Boori & Amaro, 2010), em constante risco ambiental.

Ressalta assim, a importância de conhecer os padrões de propagação das ondas na região de intensa dinâmica costeira, para entender os efeitos desta sobre a morfodinâmica costeira.

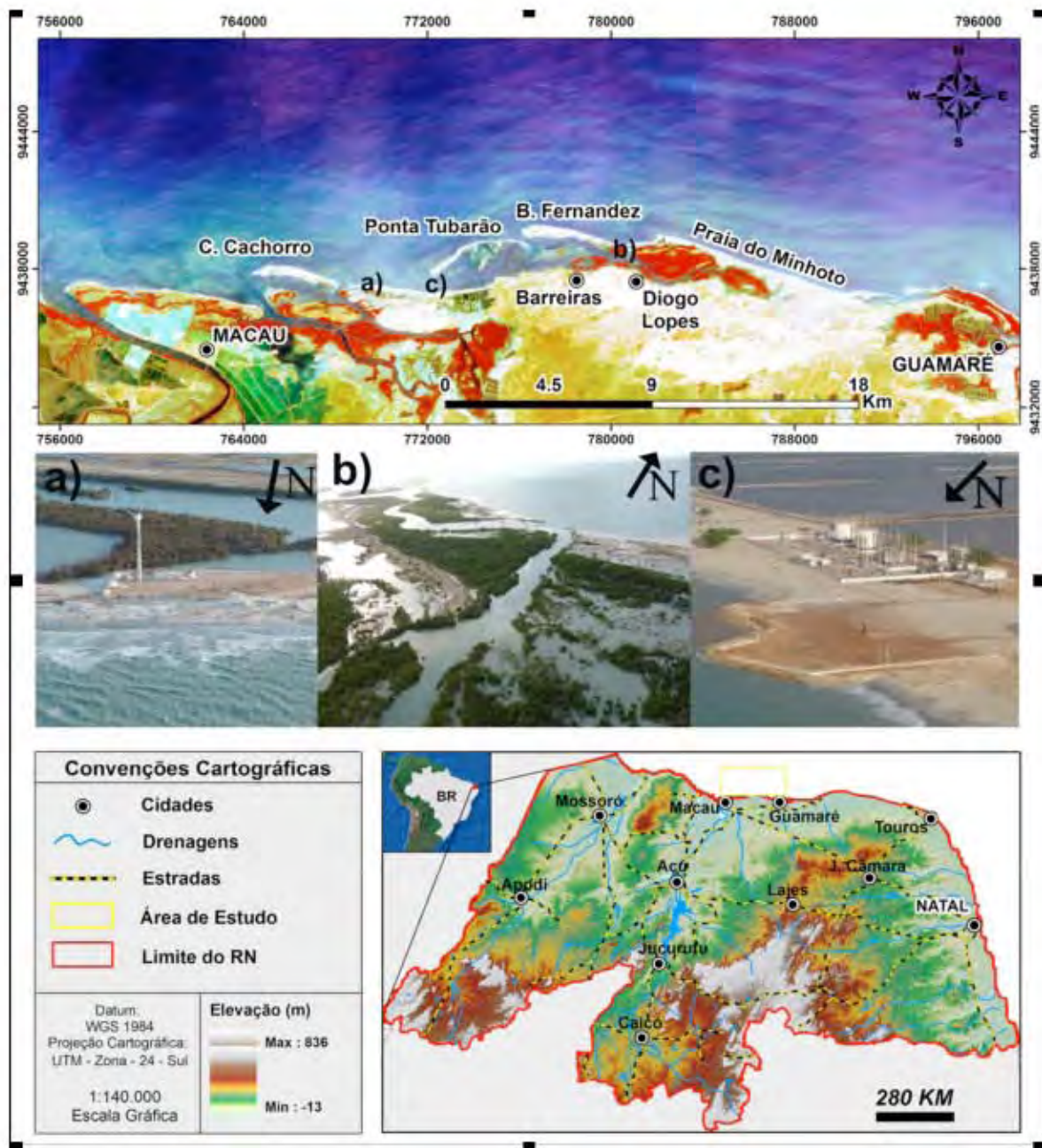


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Atividades de uso e ocupação: a) instalações de aerogeradores; b) sistema de manguezais; c) indústria do petróleo.
Figure 1. Location of the study area. Activities use and occupation: wind turbines installations; b) mangrove; c) oil industry.

2. MEDIÇÕES *IN SITU* E TRATAMENTO DOS DADOS

As características das duas campanhas de medições de ondas consideradas neste trabalho efetuadas na zona marítima próxima da ilha do Tubarão são descritas sucintamente na tabela 1 onde, a posição geográfica é referenciada ao Datum WGS-1984, zona 24 Sul, em sistemas de coordenadas UTM. Em Matos *et al.* (2011) descrevem-se com maior pormenor essas campanhas. Os instrumentos de medição utilizado nas campanhas foram: o AWAC - *Acoustic Wave and Current Meter*, que mede os parâmetros de ondas (altura significativa e altura máxima, período de pico e período médio, direção de pico e direção média, pressão) e o AQUADOPP PROFILER, que mede os parâmetros de ondas e correntes (velocidade da corrente, direção da corrente, temperatura, pressão, altura da onda, período médio e de pico, direção média e direção de pico, entre outros parâmetros), ambos os instrumentos do mesmo fabricante, NORTEK AS, e que medem com frequência de aquisição de 1 Hz, respectivamente, (Figura 2).

Os dados foram processados pelo *software Storm* do mesmo fabricante, NORTEK AS, para obter os parâmetros da onda (altura significativa, altura máxima, período de pico, período médio, direção de pico e direção média). O *software* utiliza como método e algoritmo padrão para o processamento, foi o MLMST (*Método Máxima Verossimilhança com Rastreamento de Superfície*). Este método é o mais indicado para o

processamento de série de medições de onda com AWAC AST (Kahma *et al.*, 2005; Pedersen *et al.*, 2007). Por este método, é obtido um significativo conjunto de estimativas de onda:

- Estimativa da altura da onda significativa (H_{m0});
- Período de médio (TM02) baseado nos momentos de espectros de energia;
- Direção média (MeanDir) que corresponde a direção de energia ou à direção média. A ponderação de energia é aplicada aos coeficientes de Fourier.

Outro tipo de dados considerado no presente trabalho referem-se às características dos ventos medidos e obtidos pela estação Meteorológica de Macau e às condições de maré medidas e obtidas pela estação Maregráfica de Macau, X=7753257E/Y=9434173N (Datum WGS1984, Zona 24 Sul, UTM).

Na Figura 3 e Figura 4, apresentam-se os dados de ventos (velocidade e direção) para os dois períodos distintos das medições *in situ*: 20 a 27 de Dezembro de 2010 e 15 a 22 de Fevereiro de 2011. Nota-se que durante o período de 20 a 27 de dezembro de 2010 (PT2) e 15 a 22 de fevereiro de 2011 (PT1), a velocidade média dos ventos foi de $5,49 \pm 3,83$ m/s, com direções variando entre NE, E e SE, principalmente. A Figura 3 e 4 ilustra as condições dos ventos, destacando os dois períodos relacionados às campanhas de medições *in situ*.

Tabela 1. Descrição das campanhas de aquisição dos dados.

Table 1. Main characteristics of the data acquisition campaigns.

Medições	Data	Sensor	Prof. (m)	Localização
PT1	15 a 22/02/11	AQUADOPP	5	X = 766768, Y = 9441999
PT2	20 a 27/12/10	AWAC	8	X = 779765, Y = 9447091

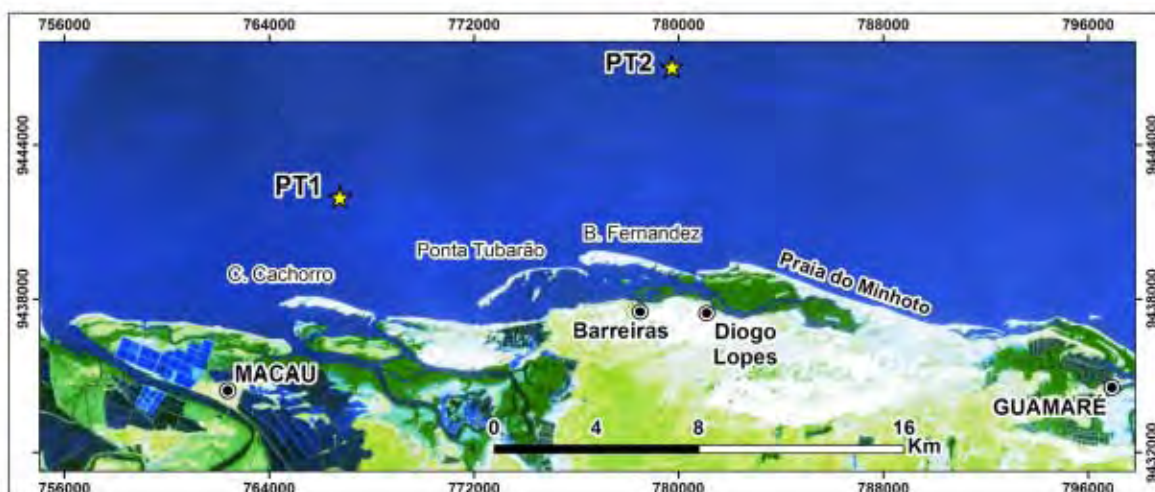


Figura 2. Mapa de localização do posicionamento dos sensores para as campanhas PT1 e PT2.

Figure 2. Map location of the sensor (PT1 and PT2) during the campaigns.

Velocidade, Direção e Frequência dos Ventos em Dezembro/2010

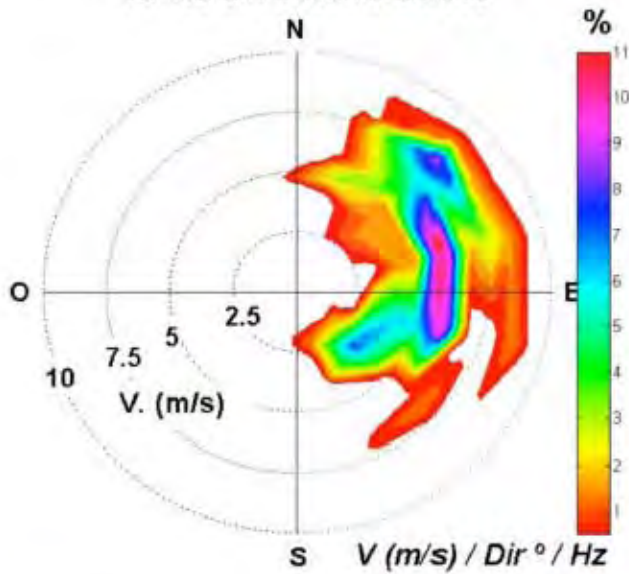


Figura 3. Características dos ventos, velocidade (m/s), e direção Dir (°) de 20 a 27 de Dezembro de 2010.

Figure 3. Wind characteristics (vel (m/s), Dir (°)) on 20 to 27 December, 2010.

Velocidade, Direção e Frequência dos Ventos em Fevereiro/2011

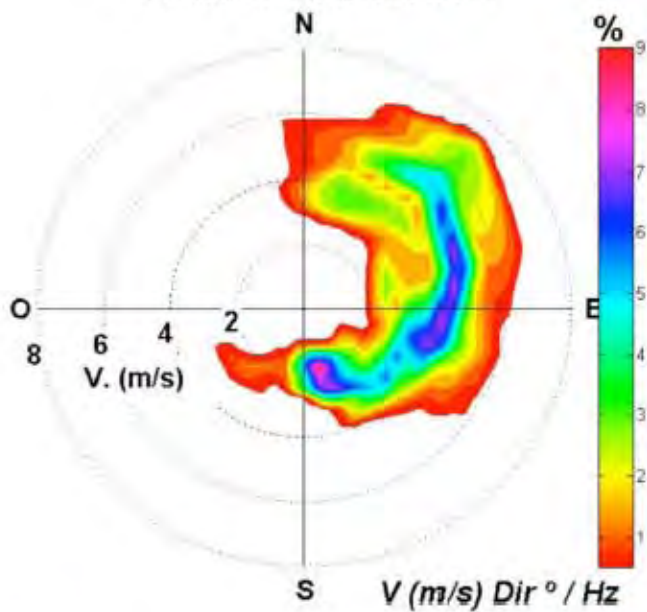


Figura 4. Características dos ventos, velocidade (m/s) e direção (°) de 15 a 22 de Fevereiro de 2011.

Figure 4. Wind characteristics (vel (m/s), Dir (°)) on 15 to 22 February, 2011.

Na figura 5 apresentam-se os valores da maré, obtidos para o período de 20 a 27 de Dezembro de 2010 a 15 a 22 de Fevereiro de 2011, da estação maregráfica de Guimarães, X=797490E/Y=9435570N (Datum WGS1984, zona 24 Sul). A maré local é semi-diurna, onde o nível médio (Z_0) estabelecido é 139 cm acima do RN (Nível de Redução) com médias de preamares de sizígia (MHWS) de 234 cm acima do RN, média de preamares de quadratura de (MHWN) de 221 cm, média de baixa-mares de sizígia (MLWS) de 43 cm abaixo do RN e média das baixa-mares de quadratura (MLWN) de 56 cm.

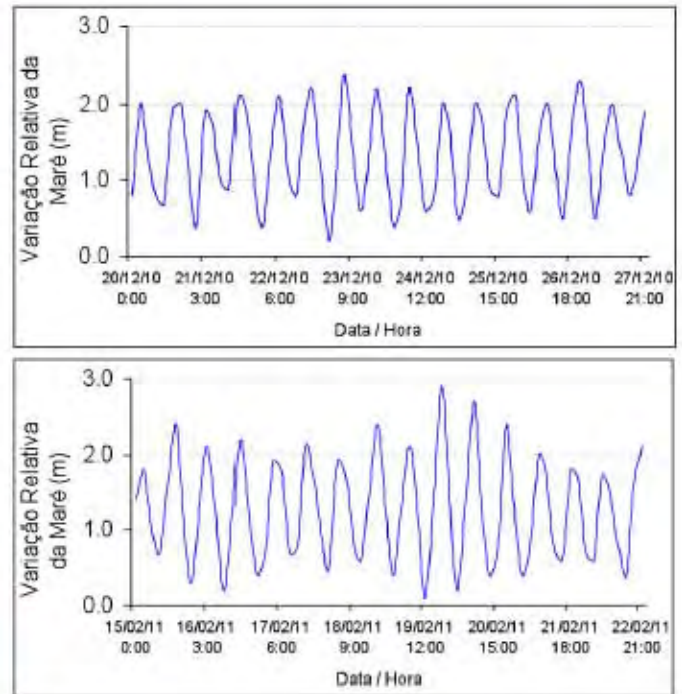


Figura 5. Características da variação da maré local para os dias 20 a 27 de Dezembro de 2010 e 15 a 22 de Fevereiro de 2011.

Figure 5. Tidal variation on 20 to 27 December 2010 and on 15 to 22 February 2011.

2.1. Análise dos Dados Válidos de Ondas

Com os dados obtidos pelo AWAC (PT2) e AQUADOP (PT1), foram executadas análises temporal e espectral dos registos, que permitiram obter um conjunto de parâmetros estatísticos da onda, de uma amostragem de 357 aquisições no PT1 e 384 aquisições no PT2. Na Figura 6 e Figura 7 são apresentadas os resultados das análises espectrais efetuadas aos registos obtidos em cada localização do equipamento (PT1 e PT2) respectivamente, no que se refere aos valores da altura de onda significativa H_S (ou H_{M0}), altura máxima (H_{MAX}), período médio T_{med} (ou T_{M02}), período de pico (T_P), direção média DIR_{med} e direção de pico DIR_{TP} ao longo do período das campanhas.

Verifica-se que para o PT1, as alturas de onda significativas e alturas máximas crescem significativamente em dois períodos ao longo de todos os dias de medições, nas primeiras horas do dia e posteriormente no período da tarde, sendo

que período as ondas alcançam as maiores alturas, tanto nas significativas quanto nas alturas máximas, 1.25 m e 2.09 m respectivamente. No PT2, a altura da onda significativa e altura máxima crescem ao longo do dia, de forma semelhante as do PT1. Entretanto, na medida em que decorrem os dias seguintes, as alturas significativas e alturas máximas tendem a maior ascensão nos períodos da tarde, com alturas de 2.04 m e 3.41 m, respectivamente. As similaridades nas alturas significativas e alturas máximas do PT1 e PT2 sugere que são ondas regulares tipicamente geradas por ventos e sob a influência das marés semidiurnas, uma vez que as maiores alturas das ondas assemelham-se aos horários da maré de enchente.

Quanto aos períodos médios e períodos de pico, as ondas de maiores períodos se propagam entre o intervalo de 05h00 e 08h00, com médias máximas de 6.67 s e 7.84 s, sendo as mais frequentes as ondas com períodos médios entre 4.3 s e 5.5 s no PT1. Para PT2, os maiores períodos médios variam em horários de 05h00 e 10h00, com valores entre 6.9 s e 8.1 s, entretanto, os períodos médios mais frequentes são 3.3 s e 4.5 s. Tais valores indicam que as ondas são predominantemente geradas por ventos locais.

Nos valores médios direcionais do PT1, as ondas mais frequentes são as de direções entre 179° a 269°, predominantemente de SW, seguidas das direções NW, com valores entre 269° a 359°. No PT2, 78% das direções médias variaram entre 0.15° a 90°, caracterizando as ondas neste ponto predominantemente de NE.

Na tabela 2 e 3, mostram-se as características das estatísticas (valores máximo, médio e mínimo, erro e desvio padrão e dimensões da amostragem) nos dois períodos de amostragem (20 a 27 de Dezembro de 2010 e de 15 a 22 de Fevereiro de 2011) para os locais PT1 e PT2, respectivamente.

3. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Para a aplicação efetuada com o modelo SWAN na zona em estudo com vista a caracterizar a agitação marítima para os períodos das campanhas, o procedimento seguido foi:

- Utilização como condições ao largo do SWAN as fornecidas pelo modelo de geração de onda, WAVEWATCH III, WWIII (Tolman, 1999, 2002) para bóia localizada na costa norte do Nordeste do Brasil, distante cerca de 230 km da costa;
- Utilização dos dados dos ventos e dos dados de marés para os dois períodos distintos, de 20 a 27 de Dezembro de 2010 e 15 a 22 de Fevereiro de 2011;
- Cálculo das características das ondas (HS, Tmed e DIRmed) em locais diferentes, posicionados na zona marítima adjacente a ilha do Tubarão, na porção setentrional do Rio Grande do Norte, utilizando o modelo SWAN para os períodos referidos;
- Comparação dos valores numéricos das alturas de onda significativas, períodos médios e direções médias com as medições efetuadas nos pontos PT1 e PT2.

3.1. O Modelo SWAN

O modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) acrónimo de Simulating WAVes Nearshore é um modelo numérico para

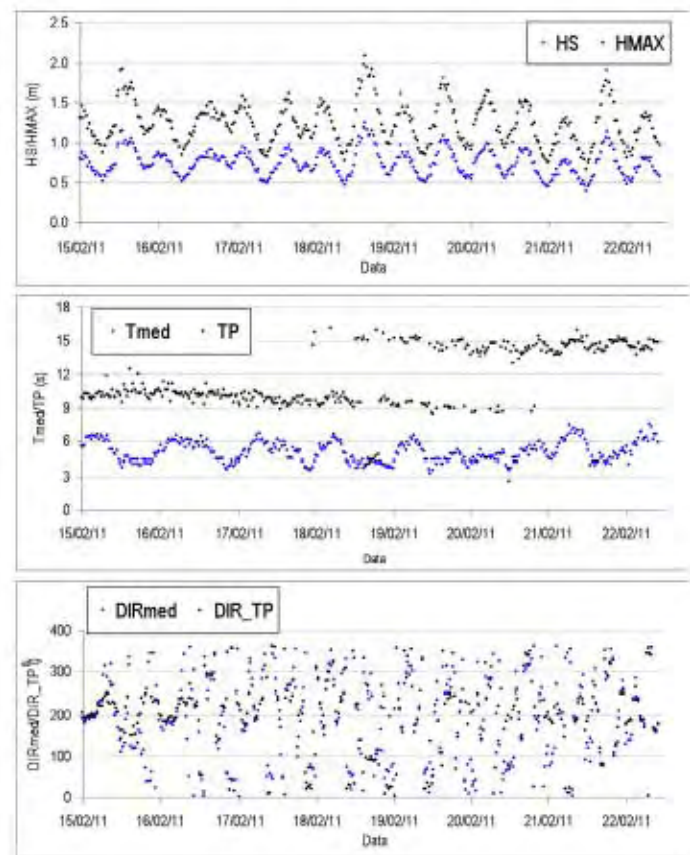


Figura 6. Características da agitação marítima medida nos períodos de 20 a 27 de Dezembro de 2010 e 15 a 22 de Fevereiro de 2011 para os instrumentos localizados em PT1, altura de onda significativa, HS (m), altura máxima H_{max} (m), período médio, Tmed (s), período de pico TP (s), direção média, DIRmed (°) e direção de pico DIR_TP (°).

Figure 6. Wave characteristics for PT1 instrument, significant wave height, HS (m), maximum wave height H_{max} (m), mean wave period, Tmed (s), peak period TP (s), mean wave direction, DIRmed (°) and peak direction $TpDir$ (°), for different periods: 15 a 22 February, 2011.

geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseado na equação para a conservação da ação de onda. Trata-se de um modelo de domínio público (*freeware*), em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology* da Holanda, que possui como uma das maiores vantagens a manutenção da estrutura dos ficheiros de dados e de resultados o que permite a fácil atualização de versões mais robustas e completas do modelo sempre que necessário.

Este modelo propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de dedividade (*whitewater*), dissipação de energia devido à fricção do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

O campo de ondas na zona em estudo é caracterizado pelo espectro bidimensional de densidade da ação da agitação

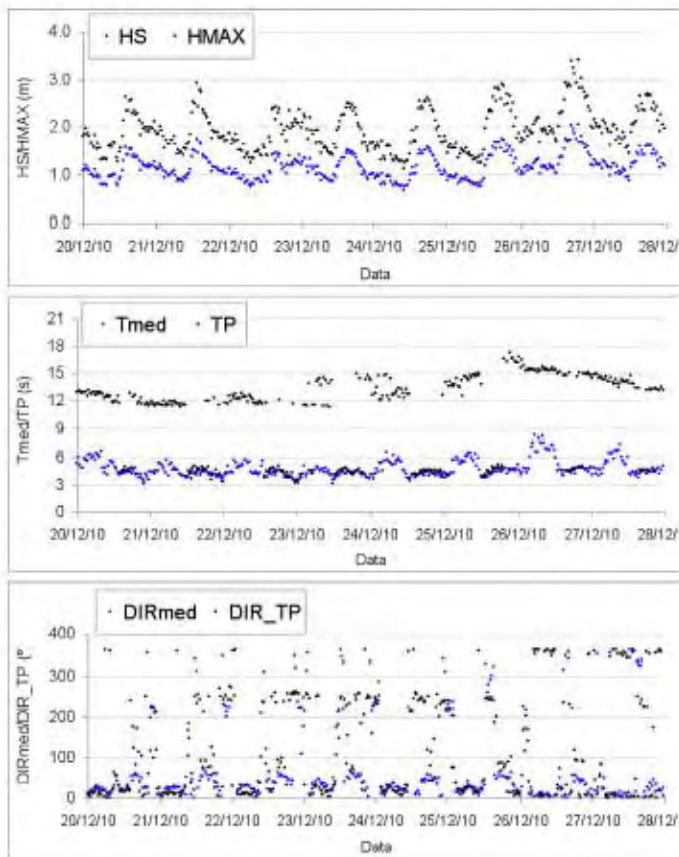


Figura 7. Características da agitação marítima medida nos períodos de 20 a 27 de Dezembro de 2010 e 15 a 22 de Fevereiro de 2011 para os instrumentos localizados em PT2, altura de onda significativa, HS (m), altura máxima Hmax (m) período médio, Tmed (s), período de pico TP (s), direção média, DIRmed (°) e direção de pico DIR_TP (°).

Figure 7. Wave characteristics for PT2 instrument, significant wave height, HS (m), maximum wave height Hmax (m), mean wave period, Tmed (s), peak period TP (s), mean wave direction, DIRmed (°) and peak direction TpDir (°), for different periods: 20 to 27 December 2010.

marítima. Com esta representação, é possível a aplicação do modelo em áreas onde o crescimento da agitação marítima pela ação do vento seja notável ou onde estado de mar, ou mesmo ondulação esteja presente. A propagação da agitação, nos modos estacionário, nos espaços geográfico e espectral, é realizada utilizando esquemas numéricos implícitos. A zona em estudo pode ser descrita com coordenadas cartesianas ou esféricas, utilizando uma malha "retangular".

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona a modelar e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo. De entre os vários resultados obtidos pelo SWAN destacam-se a altura de onda significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e o nível de água em qualquer parte do domínio computacional.

Para a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo SWAN, foi usado a ferramenta SOPRO (Fortes *et al.*, 2007), desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal.

3.2. Condições de aplicação

3.2.1. Batimetria, Condições Fronteira ao Largo, Ventos e Marés

A execução do modelo SWAN requer a introdução de diferentes dados de base, referentes às variáveis físicas que caracterizam o local e as condições ambientais tais como a batimetria, agitação ao largo, ventos e marés.

A batimetria empregue no modelo SWAN (Figura 8) foi obtida das informações da carta náutica 720, fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN da Marinha do Brasil, com 25.077 pontos batimétricos digitalizados.

Consideraram-se como condições ao largo os estados de mar estimados pelo modelo de escala oceânica, de 3ª geração e propagação de ondas WAVEWATCH, WWIII (Tolman, 2002). Estas estimativas são definidas por: H_{m0} (altura de

Tabela 2. Estatística descritiva para os parâmetros descritores da agitação do PT1.

Table 2. Descriptive statistics for wave heights, PT1.

Parâmetros	HS (m)	HMAX (m)	TP (s)	Tmed (s)	DIR_TP (°)	DIRmed (°)
Máximo	1.25	2.09	16.08	7.48	358.77	359.24
Média	0.74	1.23	11.63	5.06	199.51	185.64
Mínimo	0.39	0.66	2.57	3.19	2.39	0.17
Erro Padrão	0.01	0.01	0.14	0.25	4.60	5.18
Desvio Padrão	0.16	0.27	2.68	0.89	86.89	97.81
Amostragem	357	357	357	357	357	357

Tabela 3. Estatística descritiva para os parâmetros descritores da agitação do PT2.**Table 3.** Descriptive statistics for wave heights, PT2.

Parâmetros	HS (m)	HMAX (m)	TP (s)	Tmed (s)	DIR_TP (°)	DIRmed (°)
Máximo	2.04	3.41	17.30	8.18	359.93	359.93
Média	1.15	1.93	10.31	4.70	123.31	80.66
Mínimo	0.67	1.12	3.06	3.37	0.11	0.15
Erro Padrão	0.01	0.02	0.23	0.04	6.21	5.43
Desvio Padrão	0.26	0.44	4.45	0.88	121.73	106.47
Amostragem	384	384	384	384	384	384

onda significativa), T_p (período de pico) e Dir (direção média para a frequência de pico), obtidas a cada três horas, referentes ao período de 20 de 27 de Dezembro de 2010 e de 15 a 22 de Fevereiro de 2011, para o ponto da malha X=753257E/Y=9668067N, selecionado por estar localizado o mais próximo da área de estudo (Figura 8).

A partir destes valores integrais, H_{m0} e T_p parametrizou-se um espectro JONSWAP com $\gamma = 3.3$ para representar a dependência em frequência. A distribuição em direção é dada por uma potência da função cosseno com expoente 10.

3.2.2. Domínio Computacional e condições gerais

A necessidade de utilização de mais que uma malha de cálculo está relacionada com a expectativa de melhor desempenho do modelo numérico face à utilização de apenas uma, quer no que se refere à qualidade da previsão, quer ao tempo necessário ao cálculo.

As características da agitação ao largo, constituem a condição de fronteira na malha global – Externa, em um ou dois dos lados dessa fronteira, dependendo da direção daquela agitação. Os resultados da malha global fornecem as condições de fronteira para a 2ª malha - Intermediária, e os resultados desta malha fornecem as condições de fronteira para a 3ª malha - Interna (Figura 8).

Para os cálculos com o modelo SWAN, utilizaram-se três malhas encaixadas (Figura 8).

Para a execução dos cálculos do modelo foram utilizadas as seguintes condições:

- Uso da versão SWAN 40.72, em modo estacionário sem correntes;

- Consideração dos dados de ventos fornecidos pela estação meteorológica de Macau, admitindo constância dos valores de velocidades e de direções em todo o domínio;
- Utilização dos dados da variação da maré local, fornecidas pela estação maregráfica de Macau;
- Uso de um coeficiente de rebentação constante de 0,65 para os períodos distintos;
- Uso de um espectro direcional discretizado em 21 intervalos, de 0,04 a 1.0 Hz, com distribuição logarítmica e discretização em direção que cobre 360°, dividida em 180 intervalos ($\Delta = 10^\circ$);
- Uso da Lei de JONSWAP (Hasselmann *et al.*, 1973);
- Parâmetro de atrito de fundo o valor de $0.015 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ (Komen, *et al.*, 1984), em regime estacionário.

Os fenómenos físicos incluídos foram:

- Na 1ª malha externa: a refração, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de dedividade (*whitecapping*), a difração e interações onda-onda quadruplets (*quadruplet wave-wave interactions*);
- Nas 2ª e 3ª intermediária e interna: a refração, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de dedividade (*whitecapping*), as interações entre triades de ondas (*triad wave-wave interactions*), a geração de harmónicas (*frequency shifting*) e a difração.

Domínios	X inicial	Y inicial	Dimensões (km)	Resolução (xy)
1ª Externa	710000	9436000	100 x 62	(1000, 1000)
2ª Intermediária	750000	9440000	50 x 20	(500, 250)
3ª Interna	765000	9440000	30 x 10	(100, 50)

Figura 8. Malhas batimétricas utilizadas no domínio computacional.**Figure 8.** Bathymetric grids used in the computational domain.

3.3. Resultados das Características da Agitação Marítima no Domínio do Cálculo

Na Figura 9 e na Figura 10, apresentam-se os resultados relativos à propagação efetuada com o SWAN, na malha 2, para o estado de agitação incidente verificado nos dias 26 de Dezembro de 2010, às 18h00 e para o dia 21 de Fevereiro às 15h00.

Como pode ser observado na Figura 9 e na Figura 10, há alteração significativa da altura da onda à medida que a

onda se propaga em direção a zona de praia, para todos os períodos em estudo, devido ao efeito da refração das ondas. Os resultados das propagações assemelham-se em ambos os casos, no que se refere à H_s e T_{med} , quando entra nas profundidades abaixo de 10 m, incidindo paralelamente junto à costa, com direções predominantes de 40° no PT1 (NE), e 50° e 350° no PT2 (NE), respectivamente.

Em relação ao período médio durante a propagação da agitação incidente os períodos de 3.8 s e 4.5 s são os mais frequentes em relação no espaço, respectivamente.

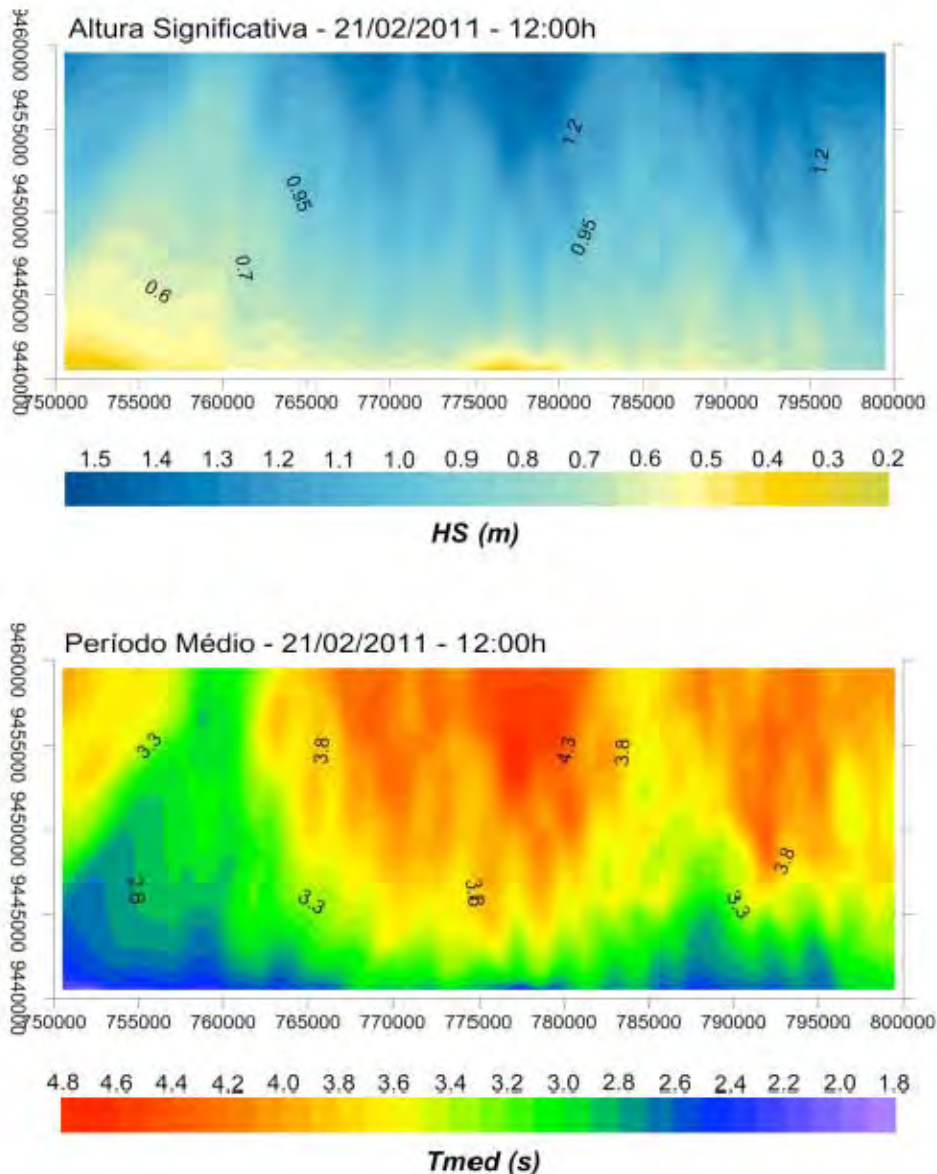


Figura 9. Resultado da simulação do modelo SWAN do dia 21 de Fevereiro de 2011, às 12:00h, para as alturas de ondas significativas (H_s), período médio (T_{med}) e direção média (DIR_{med}).

Figure 9. Results of SWAN significant heights (H_s), mean period (T_{med}) and mean wave direction (DIR_{med}) for day 21 February 2011, 12:00h.

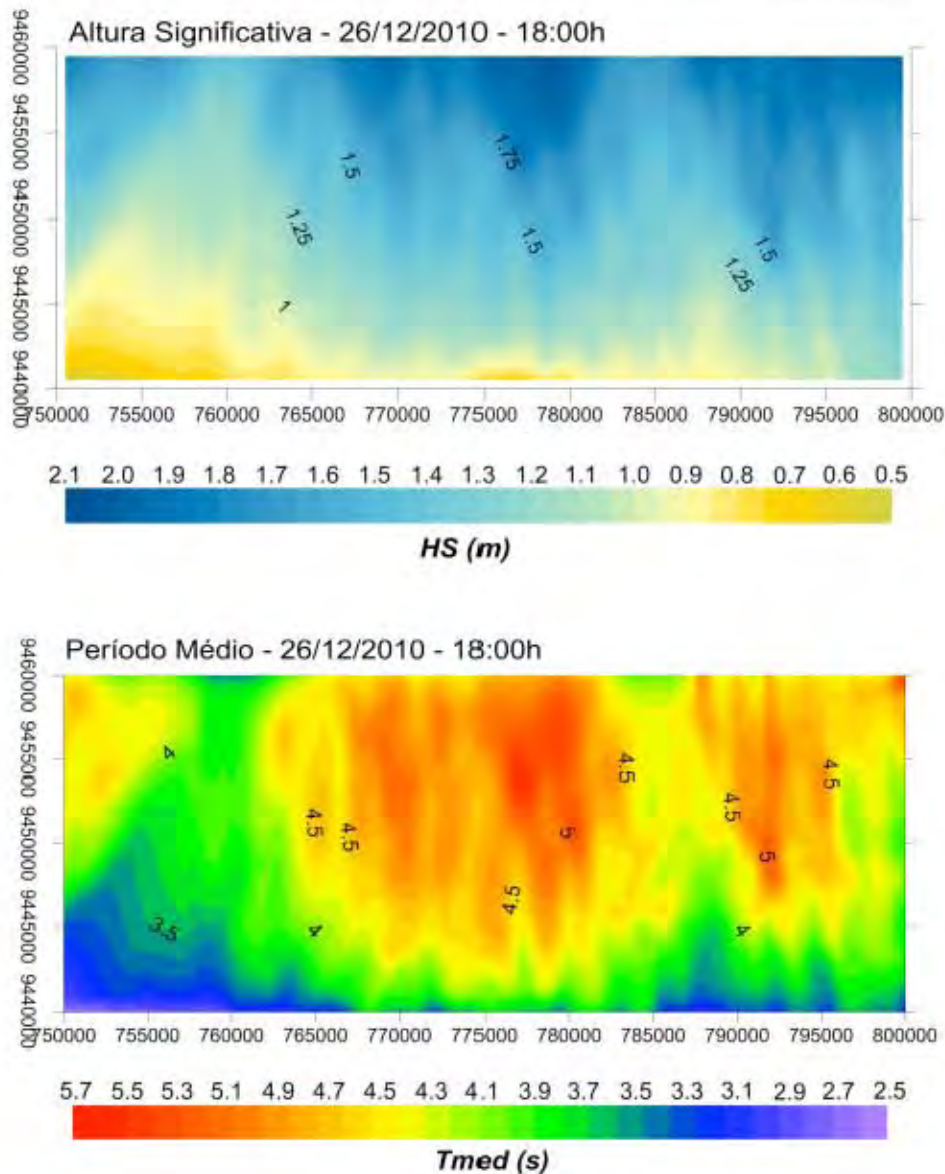


Figura 10. Resultado da simulação do modelo SWAN do dia 26 de Dezembro de 2010, às 18:00h, para as alturas de ondas significativas (HS), período médio (Tmed) e direção média (DIRmed).

Figure 10. Results of SWAN significant wave heights (HS), mean period (Tmed) and mean direction (DIRmed) from 26 December 2010, 18:00h.

4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELO MODELO NUMÉRICO E MEDIÇÕES *IN SITU*

Nesta seção, são apresentados os resultados das simulações feitas com o SWAN (formulação KOMEN, com o coeficiente de atrito $0.015 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ em regime estacionário) com as aplicações das formulações padrões e diferentes variáveis físicas, as que obtiveram melhor ajustamento foram às simulações para os períodos médios, tanto nas simulações para o período de 20 a 27 de Dezembro de 2010 como de 15 a 22 de Fevereiro de 2011.

Os resultados numéricos e os baseados nas medidas *in situ* relativos à altura de onda significativa, período médio e direção

média, HS, Tmed e DIRmed, são devidamente comparados nos pontos PT1 e PT2 para avaliar o desempenho do modelo SWAN (Figuras 11 a 16).

Para uma melhor análise, os dados das medições *in situ* e os valores numéricos para as alturas significativas foram submetidos a uma avaliação estatística. Na Tabela 4 são apresentados os valores do $V_{\text{rés}}$, da média do erro percentual absoluto (MAPE), do valor erro médio quadrático (RMSE) e do índice de concordância ou reajuste, representado pela letra "d" (Wilmott, 1981), que permitem avaliar quantitativamente e estatisticamente a concordância entre os valores medidos e os valores estimados numericamente pelo

modelo. Os seus valores variam desde zero, onde não existe concordância, a 1, a concordância é perfeita, ou seja, menor a escala de erros. O índice de Willmott é assim descrito:

- Média do Erro Percentual Absoluto - MAPE (Mean Absolute Percentual Error)

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|(Q_i - P_i)|}{Q_i} \quad (1)$$

- Erro Médio Quadrático - RMSE (Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2} \quad (2)$$

- Índice de Concordância "d" (Willmott, 1981)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{P}| + |Q_i - \bar{Q}|)^2} \quad (3)$$

onde, d é o índice de concordância, Q_i são os valores medidos, P_i são os valores dos modelos numéricos, \bar{P} é o erro da medida do valor experimental e n é o número de observações. Este índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo do 1, menor será a escala de erros.

Conduziu-se que no geral o modelo conseguiu representar razoavelmente bem a evolução da onda desde o largo até a zona de praia. Das análises estatísticas para as alturas significativas, embora se observe semelhança no comportamento, o índice de concordância entre eles, mostrou-se abaixo de 0,5. Em ambos os casos, em comparação com as observações houve semelhança no comportamento das alturas significativas e períodos médios, apesar de os valores medidos mostrarem-se sempre superiores aos valores numéricos. No entanto,

verificou-se para a estação do PT1 que o modelo conduziu a resultados numéricos mais próximos dos medidos, este em menor profundidade.

Dos resultados acima apresentados, pode constatar-se que, para o PT1, no geral, o andamento e a ordem de grandeza dos valores de altura de onda e período médio, calculados pelo modelo numérico SWAN, apresentam comportamentos semelhantes aos correspondentes dos valores medidos, o mesmo se dá para os períodos médios. No entanto os valores diferem e a concordância é inferior a 0,5 conforme a tabela 4.

Para as alturas de onda significativas e para o período em análise houve maior frequência para ondas de alturas de ondas significativas de 1.04 m (SWAN) e de 0.87 m (IN SITU). Verifica-se que os valores numéricos apresentam ligeira superioridade em relação aos medidos, até o dia 18/02/2011, passando entre os dias 19-20/02/2011 a serem mais próximos dos valores medidos. A partir dessa data decaem bruscamente em relação aos valores medidos, principalmente no dia 21, quando os valores numéricos aproximam-se da menor altura calculada observada, 0.03 m enquanto os valores medidos se aproximam de 1.13 m.

Quanto aos valores dos períodos médios, verificou-se maior frequência para as ondas com períodos médios de 4.78 s (SWAN) e de 4.45 s (IN SITU). Nota-se que os valores dos dados medidos são maiores em relação aos numéricos ao longo de todos os dias das análises, principalmente nos dias 20-21/02/2011.

Em relação às direções médias, o modelo não conseguiu reproduzi-las: os valores são sempre inferior aos medidos, são mais constantes as frequências de 15° e 17°, predominante de NE, enquanto que os medidos são mais dispersos ao longo dos dias, predominando ondas com direções entre 195° a 244°, SW e NW. Pressupõem-se que a diferença em relação às direções esteja mais inserida nos dados medidos, devido este ponto estar em uma zona próxima da ilha barreira, apresentando uma batimetria marcada por bancos arenosos paralelos e longitudinais à costa com influência de correntes de marés, sugerindo propagação de direções de ondas sem padrões ao longo dos dias, o que é sub-estimado nos valores obtidos pelo modelo numérico.

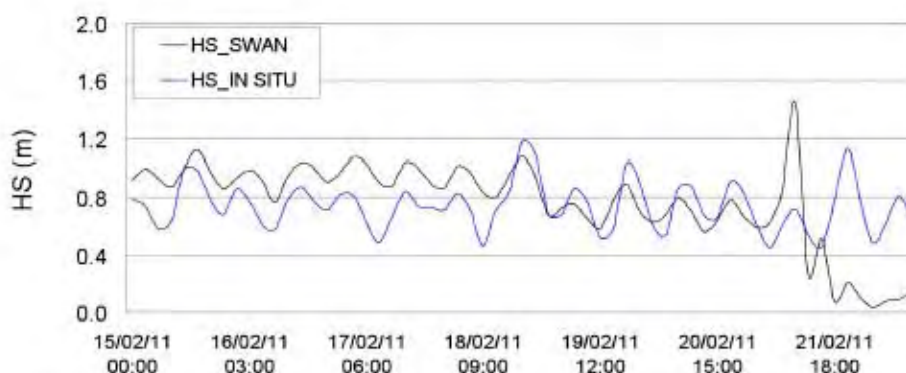


Figura 11. Comparação dos resultados da altura significativa da onda obtidos com o SWAN e com as medições *in situ* para o PT1.

Figure 11. Comparison of results of the significant wave height obtained with SWAN and for *in situ* measurements PT1.

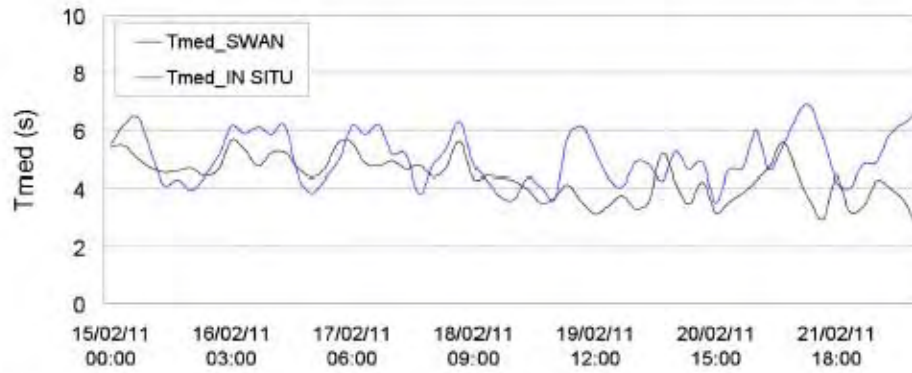


Figura 12. Comparação dos resultados do período médio da onda obtidos com o SWAN e com as medições *in situ* para o PT1.

Figure 12. Comparison between the mean wave period results obtained with the wave SWAN and for *in situ* measurements PT1.

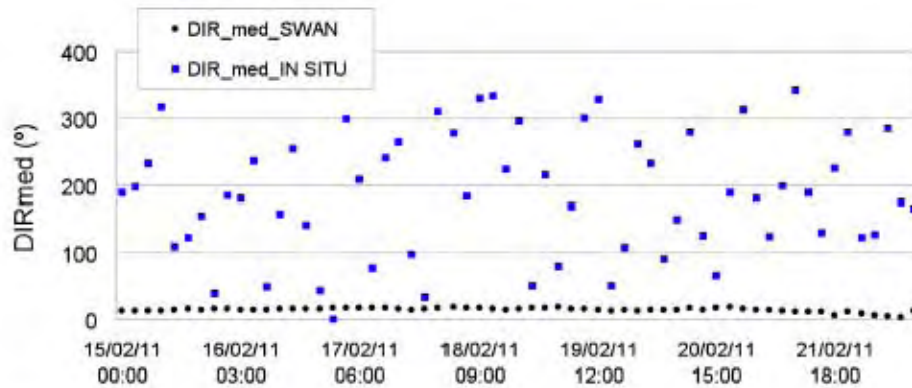


Figura 13. Comparação dos resultados das direções médias obtidos com o SWAN e com as medições *in situ* para o PT1.

Figure 13. Comparison of the results of mean directions obtained with SWAN and *in situ* measurements for the PT1.

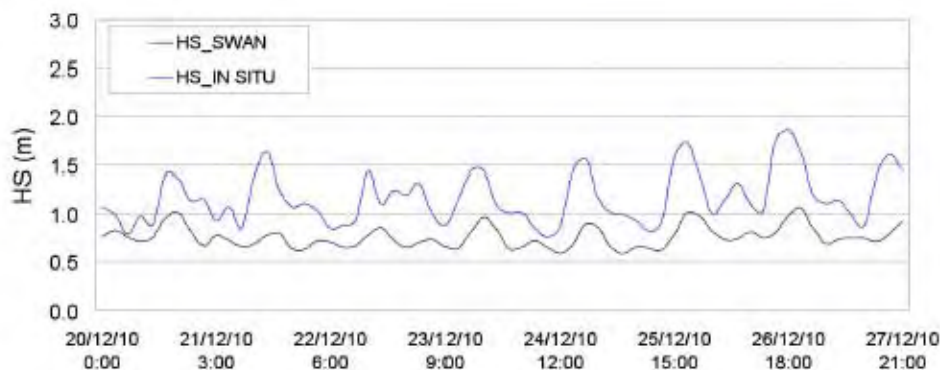


Figura 14. Comparação dos resultados da altura significativa da onda obtidos com o SWAN e com as medições *in situ* para o PT2.

Figure 14. Comparison between SWAN significant wave height results and *in situ* measurements PT2.

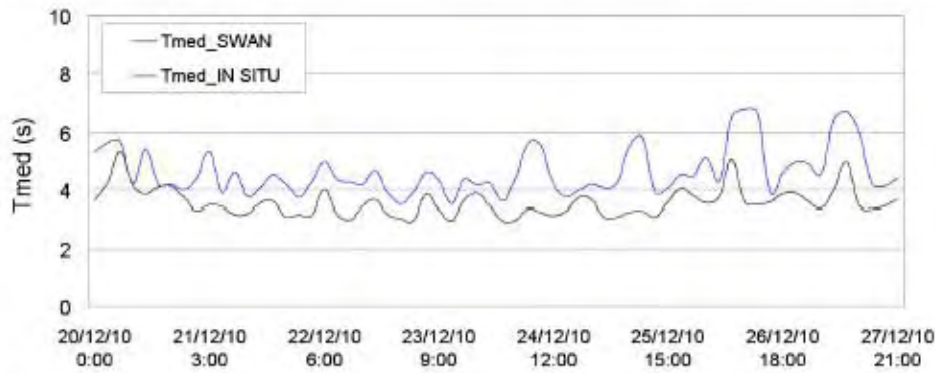


Figura 15. Comparação dos resultados do período médio obtidos com o SWAN e com as medições *in situ* para o PT2.

Figure 15. Comparison between SWAN significant wave period results and *in situ* measurements for PT2.

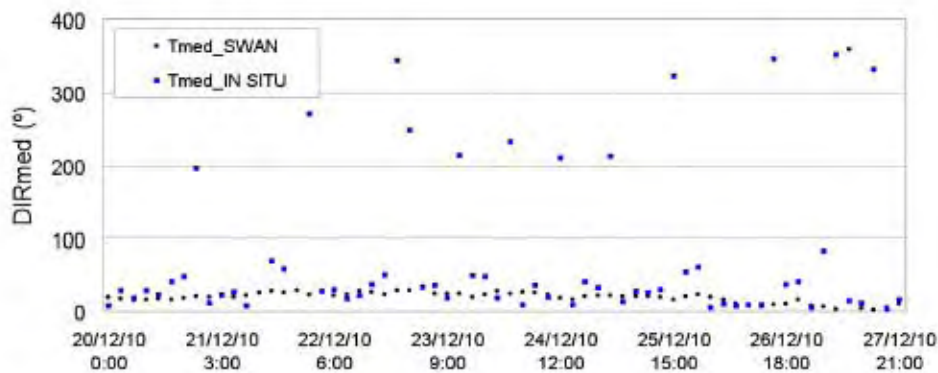


Figura 16. Comparação dos resultados das direções médias da onda obtidos com o SWAN e com as medições *in situ* para o PT2.

Figure 16. Comparison of the results of mean directions obtained with SWAN and *in situ* measurements for the PT2.

Para o PT2, também o andamento geral e a ordem da grandeza dos valores de altura de onda significativa e período médio calculado pelo modelo numérico SWAN são semelhantes aos correspondentes valores medidos. De modo geral, o SWAN simula bem os valores de altura e período de onda, embora os valores sejam, em geral, inferiores do que os medidos e as diferenças sejam da ordem de 0.41 hs e 1.1 s.

Em relação às alturas de ondas, os resultados do modelo (SWAN) mostraram maior frequência de ondas entre 0.70 m e 0.76 m, enquanto que nos valores medidos (*IN SITU*) a maior frequência foi entre 1.03 m e 1.17 m, evidenciando que os valores medidos foram superiores aos numéricos durante todos os dias em análise.

Nos períodos médios, o mesmo ocorre, com superioridade dos valores medidos em relação aos valores numéricos, com maior frequência de ondas de períodos médios de 3.25 s (SWAN) e 4.35 s (*IN SITU*).

Nas direções médias os valores medidos continuam superiores aos numéricos, contudo, demonstra uma característica de direções médias com padrões predominantemente de NE, próximo dos padrões numéricos, com frequências de 20°- 27° (SWAN) e 46° (*IN SITU*). Assim como para o PT1, as direções médias desta estação ao longo de toda análise foi mal sucedido devido o fato das medições dos ventos ter sido efetuada em terra.

Das análises obtidas das estatísticas para as alturas significativas de ondas, períodos médios e direções médias notam-se que os parâmetros estatísticos são consideravelmente baixo como sugere o índice de concordância, d , indicando boa aproximação. Nas tabelas 4 e 5 constata-se que a simulação que apresentou melhor indicador estatístico, foram os períodos médios, para ambos os períodos.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos da agitação marítima de 15 a 22 de Fevereiro (PT1).**Table 4.** The statistical parameters of agitation sea from 15 to 22 February.

Parâmetro	Hs (m)	Tmed (s)	Dir (graus)
MAPE	33.3408	17.6438	249.3527
RMSE	0.3024	1.2380	193.4054
d	0.4818	0.5177	0.4039

Tabela 5. Parâmetros estatísticos da agitação marítima de 20 a 27 de Dezembro (PT2).**Table 5.** The statistical parameters of agitation sea from 20 to 27 December (PT2).

Parâmetro	Hs (m)	Tmed (s)	Dir (graus)
MAPE	33.2312	21.6706	103.2984
RMSE	0.4612	1.2830	135.1310
d	0.4914	0.5242	0.4039

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, são apresentadas as medições da agitação marítima e os resultados da aplicação do modelo SWAN na zona marítima do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, com vista a caracterizar o padrão de ondas geradas pelo vento em diferentes condições de agitação incidente.

O modelo SWAN é assim aplicado na propagação de várias condições de agitação incidente desde o largo até junto à costa da área adjacente ao estuário de Diogo Lopes. Mais concretamente, o modelo foi aplicado para dois períodos, 20 a 27 de dezembro de 2010 e 15 a 22 de fevereiro de 2011, períodos das medições *in situ* e considerando as condições de agitação marítima ao largo fornecida pelo modelo de previsão WAVEWATCH III (Tolman, 1999; 2002). Para os esses períodos é executado o modelo SWAN e obtidas as características da agitação marítima neste segmento do litoral. Seguidamente, efetuou-se a comparação das características da agitação obtidas com os resultados numéricos e os dados medidos nos instrumentos colocados para o efeito em profundidades entre 5 e 8 m, em momentos de regime de meso-marés (marés semi-diurnas em fase de sizígia).

Da comparação entre dados medidos e simulações numéricas, pode-se concluir que SWAN é um modelo que conseguiu, em geral, representar a evolução das alturas de onda significativas, períodos médios da onda e direções médias, especialmente para o ponto que se situa mais ao largo. No entanto, para estas grandezas, os valores numéricos são em geral mais altos e na maioria dos casos inferiores aos medidos.

Em relação à direção de onda, o modelo apresenta maiores dificuldades na simulação dos valores medidos.

O modelo não consegue simular a vasta gama de direções presente nos dados medidos, especialmente para o ponto PT1, mais próximo da costa, onde efeitos de correntes e ventos locais variam mais significativamente. O modelo conduz a resultados numéricos mais próximos dos medidos para o ponto em maiores profundidades, PT2.

As diferenças encontradas entre os resultados numéricos e os medidos, especialmente para as simulações das direções médias, são devidas às simplificações que tiveram de ser admitidas na execução dos cálculos, por falta de informação, nomeadamente no que diz respeito aos ventos (ventos constantes em todo o domínio computacional e baseados nos valores obtidos na estação meteorológica continental), e às correntes (não foram incluídas nos cálculos as correntes).

Assim, a caracterização dos campos de ventos e de correntes na zona e sua inclusão nas simulações numéricas ao longo dos períodos de simulação, bem como a inserção de mais séries temporais, configuram-se na continuidade do trabalho. Apesar de ter ocorrido baixa concordância, *d*, com os dados, mostrou boa aproximação entre eles, especialmente nas simulações feitas para os períodos médios.

Conclui-se que as simulações feitas com o SWAN (formulação KOMEN, com o coeficiente de atrito 0.015 m^2s^{-3} em regime estacionário) assumindo as formulações padrões e diferentes variáveis físicas, que obtiveram melhor ajustamento foram as simulações para os períodos médios, tanto nas simulações para o período de 20 a 27 de Dezembro de 2010 como de 15 a 22 de Fevereiro de 2011.

E por fim, conclui-se que o modelo SWAN conseguiu prever as condições de ondas no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, uma área de abrangência regional de aproximadamente 300 km^2 de extensão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a fonte financiadora brasileira CAPES, pela concessão da bolsa através da Rede Amigos Boussinesq; à Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido através dos Projetos PTD/ECM/73145, PTD/AMB/67450/2006 e PTDC/ECM/67411/2006 e aos projetos cooperativos HIDROSEMA e MOLECO, da Rede de Monitoramento: REDES-PETROMAR/CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq. Às equipes de trabalho do Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – GEOPRO/DG/UFRN e Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas - NPE/DHA/LNEC de Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ángelo, J.S.F.C. (2012) – *Aplicação do SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao Estuário de Diogo Lopes, Brasil*. 79p. Dissertação de Mestrado, Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa, Portugal. Não publicado.
- Booijj, N.; Ris, R.C. Holthuijsen, L.H. (1999) – A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal Geophysical Research*, 104(C4):7649-7666. DOI: 10.1029/98JC02622.
- Boori M.S.; Amaro, V.E. (2010) – Land use change detection for environmental management: using multi-temporal

- satellite data in the Apodi Valley of northeastern Brazil. *Applied GIS* (ISSN: 1832-5505), 6(2):1-15, Monash University, Melbourne, Australia.
- Caldas, L.H.O. (2002) – *Late Quaternary coastal evolution of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil*. PhD Thesis, 92p., Kiel University, Germany, *Unpublished*.
- Chaves, M. S. (2005) – *Dinâmica costeira da área Macaú-Serra, litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte*. Tese de Doutorado, 97p., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. *Não publicado*. Disponível em http://bdt.d.bczm.ufrn.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=331.
- Davis Jr., R.A. (1985) – *Coastal sedimentary environments*. 716p., Springer-Verlag, New York, USA. ISBN: 978-0387960975.
- Dean, R.G.; Darlymple, R.A. (2001) – *Coastal processes: with engineering applications*. 489p., Cambridge University Press, Cambridge, U. K. ISBN: 9780511754500.
- Ferreira, A.T.S.; Amaro, V.E.; Santos, M.S.T.; Santos, A.L.S. (2012) – Estimativa de parâmetros de ondas oceânicas através de sensores ópticos passivos de alta resolução. *Revista de Geologia* (ISSN 0103-2410), SI 25: 20-36, Fortaleza, CE, Brasil.
- Fonseca, V.P. (1996) – *Estudo morfo-neotectônico na área do baixo curso do Rio Açu (Assu-Macaú), Rio Grande do Norte*. Dissertação de Mestrado, 109p., Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. *Não publicado*.
- Fortes, C.J.E.M.; Pinheiro, L.; Palha, A. (2007) – O pacote de dados SOPRO 3.1: evoluções recentes, *Atas das 5ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Lisboa, Portugal.
- Fortes, C.J.E.M.; Matos, M.F.A.; Scudelari, A.C.; Amaro, V.E. (2011) – Caracterização da agitação marítima nas proximidades da Ponta do Tubarão – RN, Nordeste do Brasil. *Atas do 6º Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, pp 71 (versão eletrônica), APRH / AIPCN/PIANC, Boa Vista, Cabo Verde.
- Góis, D.M.M. (2008) – *Estudo da circulação hidrodinâmica e da dispersão de óleo na zona costeira entre Macaú e Galinhos*. Dissertação de Mestrado, 115p., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. *Não publicado*. Disponível em http://bdt.d.bczm.ufrn.br/tde_arquivos/32/TDE-2009-07-13T111717Z-2141/Publico/DanielMMG_capa_at_e_cap5.pdf
- Gomes, M. P. (2009) – *Aquisição, processamento e análise de dados de sísmica de alta resolução na Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte: Vale inciso do Rio Açu*. Dissertação de Mestrado, 125p., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. *Não publicado*. <http://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdt/d/MoabPG>.
- Griggs, G.B.; Trenhaile, A.S. (1994) – Coastal cliffs and platforms. In: R. W. G. Carter & C. D. Woodroffe, (eds), *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. pp.425–476, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. ISBN: 100521598907.
- Grigio, A.M., Amaro, V.E., Vital, H., Diiodato, M.A. (2005) – A method for coastline evolution analysis using GIS and Remote sensing - A case study from the Guamaré city, Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN 0749-0208), SI 42: 412-421, West Palm Beach, FL, USA.
- Hasselmann, K.; Barnett, T.P.; Bouws, E.; Carlson, H.; Cartwright, D.E.; Enke, K.; Ewing, J.A.; Gienapp, H.; Hasselmann, D.E.; Kruseman, P.; Meerburg, A.; Miller, P.; Olbers, D.J.; Richter, K.; Sell, W.; Walden, H. (1973) – Measurements of wind wave-growth and swell decay during the joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift*. Reihe A(8), n.º. 12, 95p., Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, Germany. Disponível em <http://repository.tudelft.nl/view/hydro/uuid%3Af204e188-13b9-49d8-a6dc-4fb7c20562fd>
- Hauser, D.; Khama, K.; Krogstad, H.E.; Lehner, S.; Jaak, A.J.; Monbaliu, J.; Wyatt, L.R. (eds.) (2005) – *Measuring and analysing directional spectra of ocean waves*. 485p., *COST Action 714*, EUR 21367, Brussels, Belgium. ISBN: 92-89800038. Disponível em http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/52/97/55/PDF/QSNA21367ENC_002.pdf
- Leite F.S. (2007) – *Transporte e dispersão de uma pluma de gás natural no oceano: caracterização experimental e modelagem matemática*. Tese de Doutorado, 167p., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. *Não publicado*.
- Lima, Z.M.C.; Alves, A.L.; Amaro, V.E.; Vital, H. (2001) – Evolução da linha de costa do esporão de Galinhos-RN usando fotografias aéreas e imagem Landsat. *Pesquisas em Geociências* (ISSN: 1518-2398), 28(2):497-507, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Lima, Z.M.C.; Vital, H.; Tabosa, W.F. (2006) – Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN 0749-0208), SI39:598-601. Disponível em http://www.cerf-jcr.org/images/stories/119_lima.pdf
- Marques, F.M.S.F. (1997) – *As Arribas do Litoral do Algarve: Dinâmica, processos e mecanismos*. Tese de Doutoramento, 549p., Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. *Não publicado*.
- Matos, M.F.A.; Fortes, C.J.E.M.; Amaro, V.E.; Scudelari, A.C. (2011) – Análise de dados a partir de métodos *in situ* no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. *VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, pp 73 (versão eletrônica), APRH / AIPCN/PIANC, Boa Vista, Cabo Verde.
- Matos, M.F.A.; Amaro, V.E. (2011) – Oscillatory Coastal Wave and Currents Profile in the Northern Continental Shelf of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil. *Proceedings of the 5th International Geoscience Programme Conference, Continental Shelves: Risks, Resources and Record of the Past*. UNESCO/IUGS, pp.48-55, Sidney, British Columbia, Canadá. Disponível em <http://inovageo.eco.br/files/arquivos/7L233ten1Y32ze915c25.pdf>
- Pedersen, T.; Siegel, E.; Wood, J. (2007) – Directional wave measurements from a subsurface buoy an acoustic wave and current profile (AWAC), *Oceans 2007 Vancouver*, 10p., MTS/IEEE, Vancouver, British Columbia, Canadá. Disponível em <http://www.nortekusa.com/lib/bibliography/oceans-2007-vancouver-suv>

- Rios, V.P.L.; Amaro, V.E. (2012) – Caracterização de depósitos sedimentares holocênicos no sistema de Ilhas Barreiras do Estuário de Diogo Lopes, Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia* (ISSN: 0103-2410), SI 25:55-69, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Rocha, M.V.L.; Moura, T.; Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R.; Bezerra, M.M.; Sancho, F.E. (2012) – Análise comparativa de medições *in situ* e estimativas numérica na Praia da Cornélia, Costa da Caparica, Portugal. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 12(2):147-157. DOI: 10.5894/rgci303.
- Scudeleri, A.C.; Fortes, C.J.E.M.; Dantas, A.L.S.S. (2007) – Propagação da agitação marítima na região de Galinhos-Guamaré, Rio Grande do Norte, Brasil. *Congresso Ibero Latino-Americano sobre Métodos Computacionais em Engenharia*, pp.1-18, CMNE/CILANCE, Porto, Portugal.
- Scudeleri, A.C.; Fortes, C.J.E.M.; Neves, C.F. (2011) – Determining the nearshore wave climate between Galinhos and Guamaré, Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN 0749-0208), Szczecin, Polónia, SI 64:1179-1183. Disponível em http://www.ics2011.pl/artic/SP64_1179-1183_A.C.Scudeleri.pdf.
- Silveira, I.M. (2002) – *Monitoramento Geo-ambiental da Região Costeira do Município de Guamaré-RN*. Dissertação de Mestrado, 161p., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil. *Não publicado*. Disponível em http://btd.d.bczm.ufrn.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=257.
- Souto, M.V.S.; Grigão, A.M.; Castro, A.F.; Amaro, V.E. (2006) – Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the Basis is remote sensing products and integration in GIS. *Journal of Coastal Research* (ISSN 0749-0208), SI 39:1618-1621.
- Suguo, K. (2003) - *Geologia Sedimentar*. 400p., Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8521203179.
- Summerfield, M.A. (1991) – *Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms*. 537p., Longman Scientific & Technical, London, U.K. ISBN: 9780470216668.
- Tabosa, W.E.; Vital, H.; Amaro, V.E. (2002) – Morphologic and structural characterization of the Rio Grande do Norte State, NE Brazil, based on remote sensing images. *Annual Meeting of American Association of Petroleum Geologist*, 6p., AAPG, Houston, TX, U.S.A. Disponível em http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/pdf/2002/annual/EXTENDED/ndx_43377.pdf
- Tolman, H.L. (1999) – *User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 1.18*. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Note 166, 110p., Washington, DC, U.S.A. Disponível em http://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn166/OMB_166.pdf.
- Tolman, H.L. (2002) – *User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 2.22*. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Note 222, 133p., Washington, DC, U.S.A. Disponível em http://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn222/MMAB_222.pdf.
- Trenhaile, A.S.; Kanyaya, J.I. (2007) – The role of wave erosion on sloping and horizontal shore platforms in macro- and mesotidal environments. *Journal of Coastal Research*, 23(2):298–309. DOI: 10.2112/04-0282.1.
- Trenhaile, A.S. (2002) – Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, 48(1-3): 7–22. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00173-3
- Willmott, C.J. (1981) – On the validation of models. *Physical Geography* (ISSN: 0272-3646), 2(2):184-194, Bellwether Publishing, Birmingham, AL, U.S.A.

Capítulo 5

Determinação do Clima de Ondas no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Utilizando Modelagem Numérica (SWAN) e Dados Correlacionados

Determination of the wave climate for the northern Brazilian coast using Numerical Modeling (SWAN) and correlated data

Maria de Fátima Alves de Matos¹, Venerando Eustáquio Amaro¹, Conceição Juana Fortes², Ada Cristina Scudelari³

¹ Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, 59078-970, Caixa Postal 1596, Natal (RN), Brasil
E-mail: fatimaalves@geologia.ufrn.br, amaro@geologia.ufrn.br

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal. E-mail: jfortes@lnec.pt

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil. E-mail: ada@ct.ufrn.br

RESUMO

Este artigo visa apresentar os resultados da aplicação do modelo numérico de ondas SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*,) com análises comparativas entre as medições obtidas dos resultados da modelagem e os resultados das medições *in situ* durante várias campanhas realizadas em 2010 (novembro e dezembro); 2011 (janeiro, fevereiro e agosto); e, 2012 (abril, maio e agosto) na zona costeira do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. O estudo tem como principal objetivo, empregar e validar o modelo numérico SWAN para à determinação do clima de ondas, aferindo suas potencialidades e limitações para esta região de interesse. Os dados de campo foram registrados em dois locais próximos à costa, em profundidades variáveis entre 3-4 m (PT 01) e 7-8 m (PT 02) por meio dos instrumentos AQUADOPP e AWAC. Os dados foram processados para obtenção das análises espectrais de altura significativa, HS (m), período médio, Tmed (s), e direção média, DIR (°). Para a aplicação do modelo SWAN foram empregado às condições de fronteira obtidas do modelo de escala oceânica de 3ª geração WAVEWATCH III. Para o refinamento da análise foram considerados os dados de ventos e maré, originários de estações meteorológicas e maregráficas localizadas em terra e no interior do estuário, com correções dos dados de ventos por meio da metodologia proposta por *Coastal Engineering Manual* para uma velocidade correspondente em mar, e para os níveis de maré a calibração realizada adaptando os níveis do interior dos estuários para a linha de praia. O domínio do cálculo foi referido às dimensões da Carta Náutica nº 720, interpoladas para três malhas regulares com diferentes dimensões e resoluções. As configurações do SWAN foram as padrões em regime estacionário, com as formulações KOMEN, a dissipação devido à rebentação induzida pelo fundo com o atrito de fundo usando a formulação JONSWAP com coeficiente de atrito $C = 0.015m^2s^{-3}$ em condições *wind sea*, e formulação *whitcapping* ou excesso de declividade, as interações entre tríades de ondas e interações onda-onda quádrupla. Analisou-se também as estatísticas descritivas para todos os conjuntos de dados, a média do erro percentual absoluto, o erro médio quadrático, o índice de concordância (*d*) e a dispersão dos dados dos valores medidos e valores numéricos como forma de precisão e avaliação. Conclui-se, portanto, que o modelo

conseguiu representar significativamente a evolução da onda desde ao largo até a zona de praia, os resultados do SWAN mostram tendência semelhante com as medidas nas variações temporais de altura significativa e período médio de onda, entretanto, os indicadores estatísticos mostraram-se baixos para as estimativas dos valores máximos, na maioria dos períodos analisados em comparação os dados do PT 01 e PT 02, com alternância das alturas significativas de ondas, em alguns momentos sobrestimado com episódios de ondulações mais expressivas.

Palavras-chave: Modelagem de ondas, SWAN, Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

This article presents the results of applying the numerical model *Simulating WAVes Nearshore* (SWAN) with comparative analyzes of the measurements obtained from the results of numerical modeling and the results of *in situ* measurements during several campaigns in 2010 (november and december) 2011 (january, february and august) and 2012 (april, may and august) in the coastal zone of the northern coast of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. The SWAN model permits the calculation of the evolution of spectrum from the directional generation zone to the coastline. The study's main objective is to apply and validate the numerical model SWAN in determining the wave climate, assessing their strengths and limitations for the region of interest. Field data were performed for two locations near the coast at depths ranging from 3-4 m (PT 01) and 7-8 m (PT 02) through the instruments: AQUADOPP and AWAC, where the data were processed to obtain the spectral analyzes of significant height, HS (m), average period, TMED (s), and average direction, DIR (°). For the implementation of the SWAN model were employed to boundary conditions obtained from the scale model ocean 3rd generation, WAVEWATCH III (HS - height significant, Tp - peak period and Dir - direction average frequency peak). For refinement and thus enhance the applicability of the model, data is regarded as wind and tide originating station and meteorological tide gauge located on land and the inside of the estuary, which was held correction data, and the winds by the methodology proposed in Coastal Engineering Manual, corresponding to a velocity in the sea, and the tide level calibrated, adapting the levels inside the estuaries for the beach line, allowed thus better adjustment of modeling results. The calculation domain was referred to the dimensions of the Nautical Chart 720, provided by DHN, three interpolated to regular grids of different sizes and resolutions: inner, middle and outer, the latter being the insertion points of measurements to provide the parameters of wave propagation along the coast. SWAN settings were in stationary patterns, with the formulations KOMEN, the dissipation due to breaking induced by friction with the bottom background using the formulation JONSWAP with a coefficient friction $C = 0.015m^2s^{-3}$ in *sea wind* conditions, and formulation *whitcapping* or excessive slope, the interactions between triads of waves and wave-wave interactions fourfold. We also analyzed the descriptive statistics for all data sets, mean absolute percentual error, root mean square error, the index of agreement (*d*), and dispersion of measured values and numerical values such as precision and evaluation. We conclude that overall the model represented a significantly the evolution of the wave from the deep to the beach area, thus determining the wave climate of the Northern Coast of Rio Grande do Norte.

Keywords: Numeric modeling, SWAN, Northeastern Brazil.

INTRODUÇÃO

A relevância das zonas litorâneas é reconhecida há muito tempo pela comunidade científica e também pelas sociedades litorâneas que se desenvolveram nesses ambientes. Do ponto de vista científico, as zonas costeiras constituem ambientes de alta complexidade entre os continentes e os oceanos, caracterizados pela natureza geológica (tipos litológicos e arcabouços tectônicos) submetida aos estressores oceanográficos e meteorológicos de alta energia, tais como ondas, ventos, correntes e marés.

No decorrer das últimas décadas, com a ampliação das atividades econômicas instaladas em ambientes marinhos e costeiros, aumentaram as exigências na obtenção de dados de longo prazo sobre as condições ambientais, incluindo nesse quadro os dados de ondas. Assim, quando na análise dos problemas costeiros, que envolve entendimentos das feições estruturais, do transporte de sedimentos e da erosão costeira, deve se considerar o conhecimento do clima de ondas de ventos, além e sua variedade de aplicações (MOEINI e ETEMAD-SHAHIDI, 2007; AKPINAR et al., 2012). Contudo, devido às poucas medições de longo prazo em regiões litorâneas, as características de ondas de vento são estimadas para esse setor utilizando especialmente os modelos numéricos (MOEINI E ETEMAD-SHAHIDI, 2007).

Os progressos recentes na capacidade de previsão e melhorias na precisão de campos de vento (*hindcast*) têm permitido implementar modelos mais precisos de 3^a geração, incluindo tanto as condições *offshore* e *nearshore* (AKPINAR et al., 2012). Este fato tem contribuído para estudos de eventos passados, a partir das simulações dos dados atmosféricos pretéritos (*hindcasting*), assim como na previsão de cenários futuros, forçando os modelos às condições de análises e previsões (*forecasting*) (CUCHIARA et al., 2006).

Estudos realizados no litoral do Brasil mostram que a origem, desenvolvimento e modificações de feições morfológicas costeiras ocorrem a partir da ação de processos físicos que controlam sua dinâmica, envolvendo a interação entre as ondas, as correntes, as marés e a topografia da plataforma continental (MORTON, 1991; CUCHIARA et al., 2006). No litoral setentrional do Rio Grande do Norte foram realizadas algumas tentativas de implementação de modelos para estudos de hidrodinâmica costeira e análises ambientais. Scudelari et al. (2007) aplicou inicialmente os modelos REFDIF e SWAN para modelar diferentes condições incidentes do litoral de Galinhos e Guamaré. Góis et al. (2008) estudou a circulação hidrodinâmica da zona costeira frontal a Galinhos e Guamaré por meio do módulo 2DH do modelo hidrodinâmico SisBAHIA[®]. Moura (2009) utilizou o modo 2DH do SisBAHIA[®] para

analisar a influência dos modelos digitais de terreno sobre os resultados da circulação hidrodinâmica. Fortes et al. (2011) aplicou o modelo SWAN ao litoral setentrional do Rio Grande do Norte e comparou com as medições *in situ* realizadas por Matos et al. (2011). Ângelo (2012) utilizou o modelo SWAN na caracterização marítima na zona adjacente ao Estuário de Diogo Lopes e testou duas formulações de rebentação parcial, tanto no regime estacionário como no regime não estacionário, como forma de aprofundar o conhecimento das condições de aplicação do modelo SWAN na região. O conhecimento quantitativo sobre o clima de ondas em determinado local é muito importante para a modelagem (por exemplo, a modelagem de transporte de sedimentos litorâneos, ou transporte de substâncias dissolvidas), para o planejamento de construções de estruturas *offshore* (por exemplo, o cálculo da probabilidade do estado de mar calmo), para fins de navegação, para o conhecimento da hidrodinâmica local e gerenciamento costeiro (AKPINAR et al., 2012). Sendo assim, a alternativa para se conhecer este clima de ondas, em curto, médio e longo prazo de tempo é através da modelação numérica aliada às observações de campo.

O objetivo deste trabalho é aplicar e validar um modelo numérico para estudo do clima de ondas no litoral setentrional do Rio Grande do Norte com base em análises estatísticas e medições em estações de coletas. O modelo SWAN, acrônimo de *Simulating WAVes Nearshore* (BOOIJ et al., 1999), permite simular a geração e evolução do espectro direcional desde a zona de geração à zona costeira (RIS et al., 1994; BOOIJ et al., 1999; HOLTHUIJSEN et al., 2003, ROGERS et al., 2007), foi o escolhido para o desenvolvimento deste trabalho por sua condição de modelar grandes áreas geográficas desde zonas mais profundas até junto à costa, como também para permitir a continuidade aos trabalhos realizados anteriormente, diante da importância de se contar com um modelo calibrado e validado para esse litoral.

O trabalho inclui os perfis do modelo de previsão de ondas aplicados para o período entre Novembro de 2010 e Dezembro de 2012. No decorrer desse período, foram realizadas oito campanhas de campo em duas estações de medições, uma em profundidade variável 3 - 4 m e a outra entre 7 e 8 m. O desempenho do modelo SWAN foi avaliado considerando os diferentes períodos de ondas para cada estação de medição, com as quantificações das diferenças entre os parâmetros de ondas modelados e as medições de campo. Ainda foram realizadas comparações das previsões do SWAN com as previsões da agitação marítima do modelo WAVEWATCH III (TOLMAN, 2002) baseada na boia posicionada na costa do Nordeste. Algumas questões foram abordadas sobre a variação da maré, condições de ventos para o litoral setentrional do Rio Grande do Norte, pois há dependência do bom ajustamento

modelo aos dados direcionais de ondas, reforçando a confiabilidade de aplicação generalizada em relação os estudos da costeira.

1. ÁREA DE ESTUDO E DADOS RELACIONADOS

A área de estudo está situada no litoral setentrional do Rio Grande do Norte (Figura 1), assinalada por plataforma extensa, rasa e mista, composta por cobertura de sedimentos siliciclásticos, biosiliciclásticos e carbonáticos (VITAL et al. 2008; LIMA et al., 2006; TABOSA et al. 2007) e outros estudos integradores de Gomes (2009; 2010). Conforme estes autores, a plataforma continental adjacente na sua porção interna é limitada pela isóbata de 15 m, de relevo suave e extensos campos de dunas longitudinais à costa, predominantemente composta por sedimentos siliciclásticos; na porção média da plataforma, entre os limites das isóbatas de 15 e 25 m é caracterizada por sedimentos mistos e dunas transversais à costa; sendo que em sua porção mais externa, a partir da isóbata de 25 m até a quebra do talude continental os sedimentos são de características bioclásticos. Estes e outros fatores como a estruturação geológica da Bacia Potiguar e a relevância socioeconômica e ambiental deste setor litorâneo justificam sua escolha para aplicação da modelagem e instalação das estações de medições próximas à costa, que serão abordados a seguir.

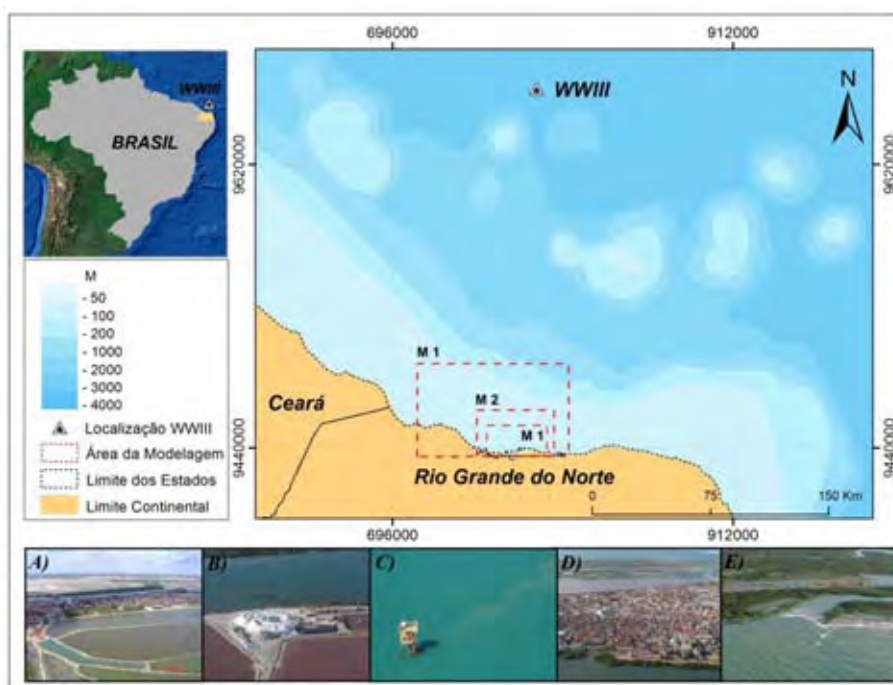


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, indicando a batimetria, o ponto de localização do *WAVEWATCH III*, assim como as atividades de uso e ocupação do litoral: **A)** carcinicultura; **B)** produção de sal; **C)** produção de petróleo; **D)** população residente; e, **E)** ecossistemas de mangue. E malhas do domínio computacional do SWAN.

1.1 Caracterização do clima de ventos

Os campos de ventos introduzidos no domínio computacional são caracterizados pelos valores de velocidade (m/s) e direção do vento (θ) para o conjunto de meses considerados e foram obtidos na Estação Meteorológica de Macau, pois os dados de ventos em mar não estão disponíveis. Portanto, a estação meteorológica foi à escolhida por estar mais próxima à área de estudo, apesar de situada em terra, além de não coincidir com o nível de referência padrão de 10 m. Neste caso, foi realizada a correção da velocidade dos ventos medidos em terra para uma correspondente em mar proposta por *Coastal Engineering Manual*, CEM (2002), como mostra a Figura (2).

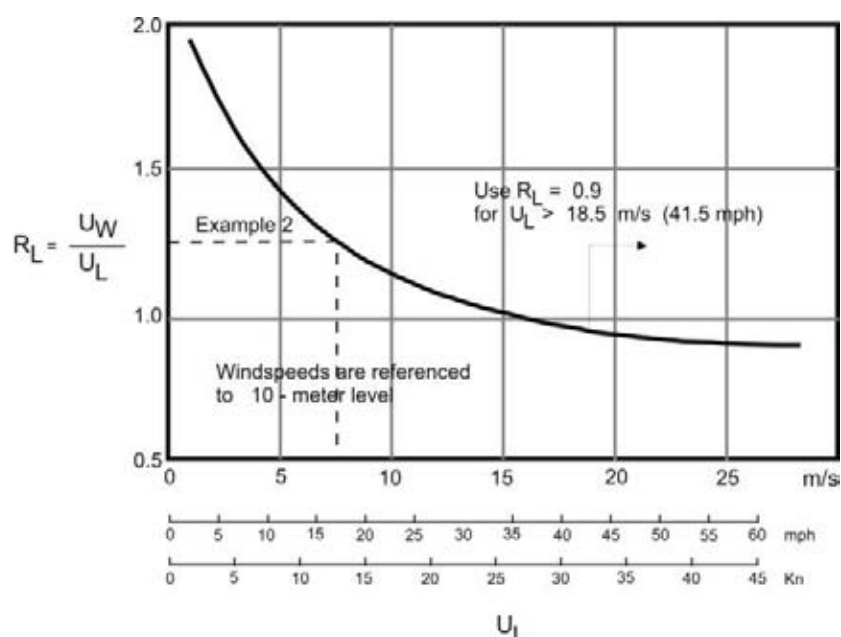


Figura 2. Razão entre a velocidade do vento (R_L) sobre a água (U_W) em relação à velocidade do vento (R_L) sobre a terra (U_L) como função da velocidade do vento sobre a terra U_L .

O posicionamento do anemômetro na estação está a 4 m de altura, ou seja, necessitando uma segunda transformada na correção da velocidade dos ventos medidos, conforme CEM (2002):

$$U_{10} = U_Z \left(\frac{10}{Z}\right)^{\frac{1}{7}} \quad (3.1)$$

Onde z é medido em metros.

Após a correção, os valores de velocidade e direção dos ventos foram interpolados de hora a hora para cada ciclo de seis horas, que permitiu ser introduzido nos dados de agitação no modelo SWAN. Na Tabela 1 apresentam-se as estatísticas descritivas do conjunto total dos dados válidos dos ventos da Estação Meteorológica do INMET de Macau inseridos na modelagem e aqueles corrigidos conforme proposição de CEM (2002). Como se pode observar pelas estatísticas (Tabela 1), a velocidade máxima alcançou 11,84 m/s, a média das velocidades foi de 7,4 m/s, e o valor mínimo apresentado foi de 1,71 m/s. Comparando os valores não transformados com os transformados, a variação máxima entre as velocidades foi de 2,04 m/s, resultando numa boa correlação entre os valores como indica o gráfico de dispersão (Figura 3), permitindo assim, tornar os valores mais aceitáveis para as condições ao largo.

Tabela 1. Estatística descritiva relacionando os ventos da base do INMET em relação os corrigidos pelo CEM (2002).

	Vel 1* (m/s)	Vel 2* (m/s)	Dir (°)	Concordância das Velocidades	
Número de Dados	2376	2376	2376	MAPE	63.250
Máximo	9.80	11.84	359		
Média	4.83	7.40	107	RMSE	2.696
Mínimo	0.30	1.71	1.00		
Erro Padrão	0.04	0.05	0.92	<i>d</i>	0.720
Desvio Padrão	1.97	2.31	44.72		

* Vel 1: dados originais do INMET; Velocidades 2: dados corrigidos pela curva do CEM (2002).

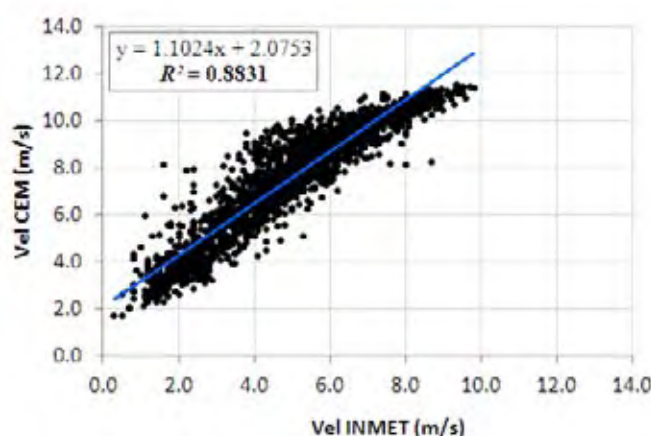


Figura 3. Gráfico de dispersão das velocidades dos ventos da estação do INMET em relação os dados corrigidos pela curva do CEM (2002).

Com base nas correções efetuadas para as condições dos ventos em terra para uma estimativa correspondente sobre o mar, foi aplicada a estatística descritiva para obter as médias mensais e as médias das velocidades mais frequentes das velocidades dos ventos:

valores máximos (V_{max} – m/s), valores médios (V_{med} – m/s) e frequência das velocidades (Vel – Freq.). Em detalhe, a tabela 2 apresenta-se esses parâmetros para os meses trabalhados neste trabalho.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das velocidades dos ventos após a transformada do CEM (2002).

Mês	2010			2011			2012		
	V_{max} (m/s)	V_{med} (m/s)	Vel (Freq.)	V_{max} (m/s)	V_{med} (m/s)	Vel (Freq.)	V_{max} (m/s)	V_{med} (m/s)	Vel (Freq.)
Janeiro				11.4	6.8	4 - 8	11.5	7.4	11
Fevereiro				11.6	6.9	7 - 8	11.0	8.3	10 - 11
Março				11.2	6.2	6 - 7	10.7	6.7	4
Abril				11.8	5.6	4 - 4	11.4	6.9	4 - 8
Mai				11.0	6.2	4 - 8	11.4	7.2	8 - 9
Junho				-	-	-	11.7	6.8	8 - 9
Julho				-	-	-	10.7	7.6	9 - 10
Agosto				-	-	-	11.4	7.9	9 - 10
Setembro				-	-	-	11.5	8.1	9 - 10
Outubro				11.3	8.0	9 - 10	11.6	8.4	10 - 11
Novembro	11.7	8.9	10 - 11	11.6	7.8	9 - 11	11.6	7.9	10 - 11
Dezembro	11.8	8.0	8 - 9	11.7	7.8	11	11.5	7.9	10 - 11

V_{max} = Velocidade Máxima; V_{med} = Velocidade Média.

2.2 Nível da Maré

Como medida de refinamento do modelo SWAN, os valores das amplitudes de maré foram introduzidos nos dados de agitação para todo o conjunto de modelagem, desde 2010 a 2012. Todavia, os dados de previsões de marés existentes neste litoral que abrange o contexto da modelagem, são das constantes harmônicas das duas estações maregráficas fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN). Por estas se encontrarem no interior dos estuários, ou seja, distantes da zona costeira, sugere-se que os valores de cada constante harmônica determinada nas estações maregráficas devem ser adaptados para a linha de praia. Góis (2009) por meio do modelo hidrodinâmico SisBAHIA[®] validou as constantes harmônicas para as duas estações maregráficas.

Portanto, considerou-se a maré variável ao longo do dia de 6 em 6 horas. A Figura 4, mostra a curva da maré gerada como condição de contorno do SisBAHIA[®] para um determinado período da modelagem (mês de Janeiro de 2011) para exemplificar o comportamento da curva da maré a partir das constantes harmônicas.

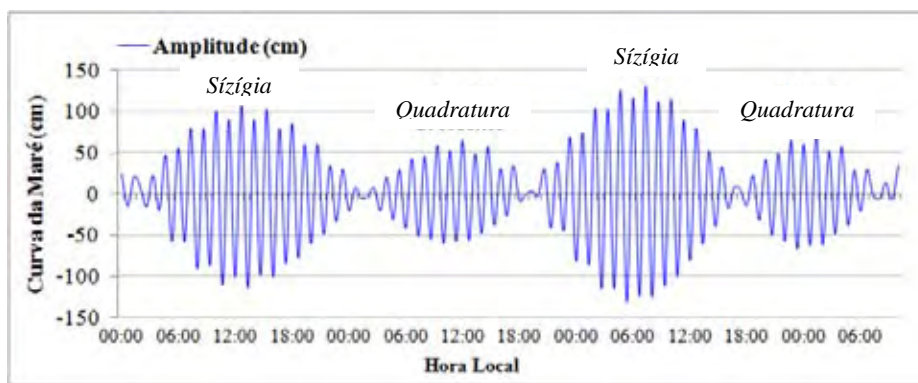


Figura 4. Curva da maré astronômica gerada a partir das constantes harmônicas referentes à Estação de Guimarães operada pela DHN, simulação para o mês de janeiro de 2011.

2.3 Dados de Ondas

Os dados de duas estações de medições com *Acoustic Doppler Current Profiler*, foram utilizados para validar o modelo SWAN. Os instrumentos usados foram os modelo: AQUADOPP e AWAC (*Aquadopp Current Profile* e *Acoustic Wave and Current Meter*) nas localidades chamadas de PT 01 e PT 02, respectivamente (Figura 5).

A estação de medição do PT 01 está situada em um ponto frontal a Ilha de Corta Cachorro, onde realizou-se 3 campanhas. Para a estação de medição do PT 02 mais distante da costa, na zona frontal a ilha barreira Ponta do Tubarão, os dados foram realizadas 5 campanhas. A definição dos locais de medições foi estabelecida diante da intensa dinâmica nesta área, onde ocorre o maior transporte de sedimentos, ação das ondas e correntes de deriva litorânea e da importância que este setor representa quanto à viabilidade das atividades socioeconômicas dos Campos de Exploração de Serra-Macau da PETROBRAS e da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Ponta do Tubarão. As características detalhadas dos locais de medições, dos períodos das campanhas e da configuração dos instrumentos de medição encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

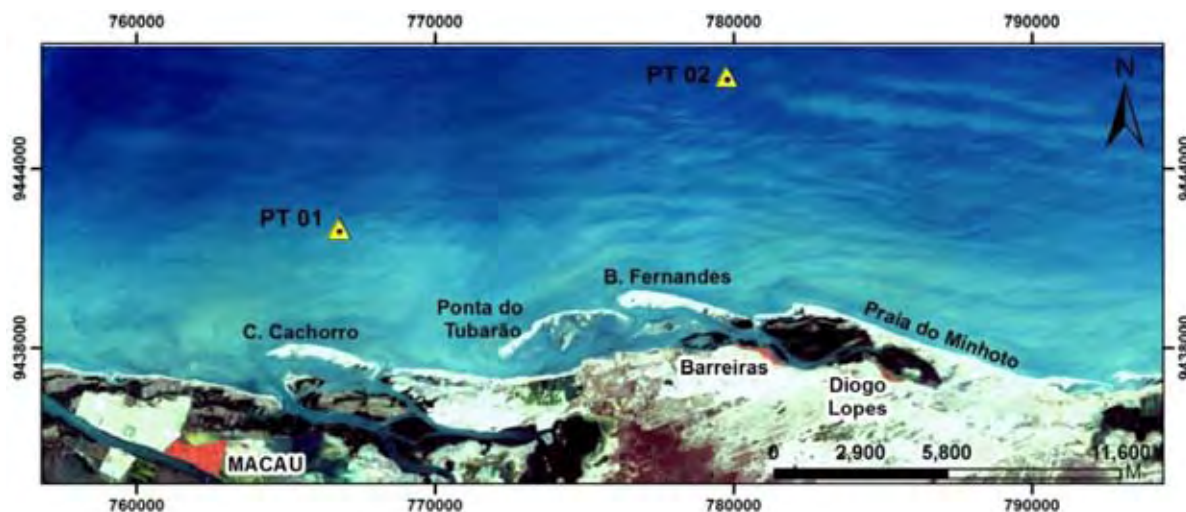


Figura 5. Mapa de localização do posicionamento dos sensores acústicos para as campanhas nos pontos de coleta PT 01 e PT 02.

Tabela 3. Definições dos locais dos fundeios para cada instrumento: AQUADOPP e AWAC e os períodos das medições.

Estação	Instrumento	Profundidade (m)	Localização UTM - Zona 24/Sul	Datas de Aquisição
PT 01	AQUADOPP	3 - 4	X = 766768 Y = 9441999	11 a 12/12/2010
				07 a 22/02/2011
				22 a 27/08/2012
PT 02	AWAC	7 - 8	X = 779765 Y = 9447091	23/11 a 31/12/2010
				01 a 07/01/2011
				17 a 24/04/2012
				27 a 30/05/2012
				23 a 25/08/2012

Tabela 4. Características das configurações de aquisição dos dados de ondas para cada instrumento.

Sensor	Intervalo Perfil (s)	Célula (s)	Tam. Célula (m)	Média (s)	Freq. Acústica (MHz)
AQUADOPP	600	20	1	60	1.0
AWAC	600	20	1	60	1.0

A análise espectral efetuada aos registros obtidos em cada um dos instrumentos permitiu obter os valores da altura de onda significativa, HS (m), período médio, Tmed (s) e direção média, DIR (°), assim como demais parâmetros, ao longo do período de cada campanha.

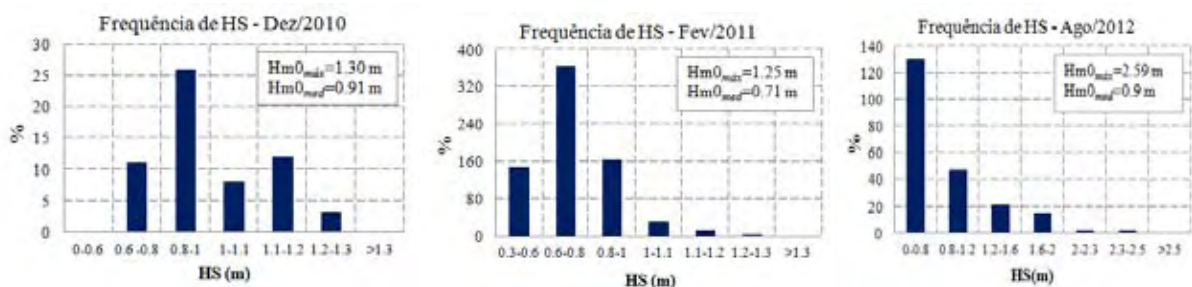
Na Figura 6 mostra as frequências do clima de ondas para os períodos da estação de medição do PT 01. Em relação às alturas significativas (Figura 6A), pode-se observar que de

dezembro de 2010 a fevereiro de 2011 as classes de alturas significativas de 0,6 m e 0,8 m foram às frequências mais elevadas. Entretanto, para este último período, de agosto de 2012 as alturas máximas das ondas foram de 2,59 m, indicando um estado de mar mais agitado. No geral as médias se mantiveram relativamente entre 0,7 m a 0,9 m.

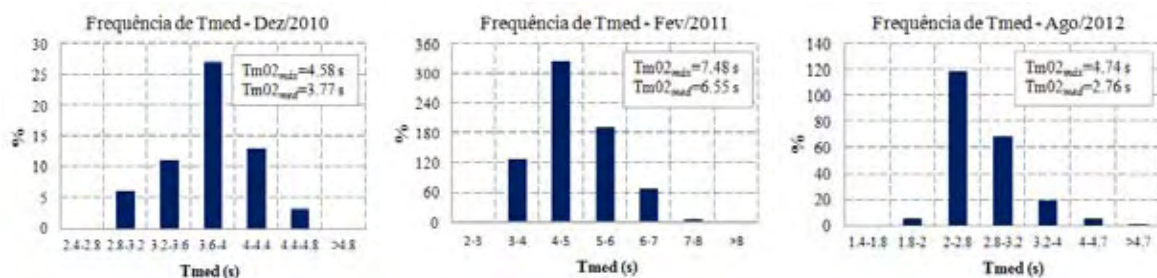
Os períodos médios da onda (Figura 6B) mostram um comportamento irregular ao longo das campanhas, quando se observa os valores máximos e as médias, variando as frequências para cada conjunto de medição. Em dezembro de 2010, a classe de frequência com intervalo entre 3,6 s a 4 s, foram os períodos médios mais representativos, com média de 3,7 s e valores máximos de 4,5 s. Em fevereiro de 2011, os períodos médios da onda foram os maiores registrados, com máximo de 7,4 s, e, média de 6,5 s, sendo a classe de 4,5 s a frequência mais representativa. Para o período de agosto de 2012, os valores são significativamente inferiores aos períodos anteriores, com período médio máximo de 4,7 s, e, média do período médio de 2,7 s, entretanto, a classe que maior representou foram os períodos médios de 2 s.

A distribuição das direções médias das ondas encontra-se basicamente no quadrante limitado pelas direções nordeste em dezembro de 2010 e agosto de 2012; em fevereiro de 2011, as direções médias oscilam em todo o domínio das direções, sendo que a maior frequência está na posição sul, variando entre de sudeste a sudoeste (Figura 6C).

(A)



(B)



(C)

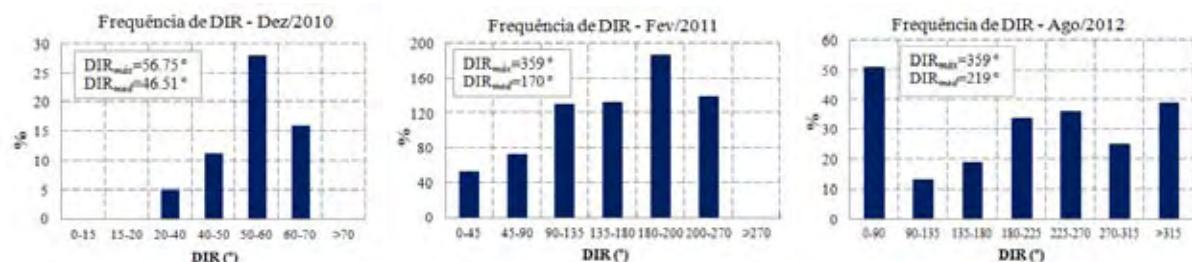


Figura 6. Climas de onda do PT 01 em dezembro/2010, fevereiro/2011 e agosto/2012. **A)** Frequência de ocorrência das alturas significativas das ondas (HS); **B)** Frequência de ocorrência dos períodos médios (T_{med}); **C)** Distribuição das direções médias da onda (DIR).

Na Figura 7 são apresentados os dados do clima de ondas para a estação do PT 02, ponto este que fica localizado mais distante da linha de costa, a cerca de 7 km, em profundidades variando entre 7 m e 8 m, diferente da estação do PT 01, que está muito mais próximo da linha de costa, aproximadamente a 2,5 km, e em profundidades variando entre 3 m e 4 m. Portanto, o comportamento do clima de onda, no geral apresentou maiores diferenças nos períodos médios (T_{med}) quando se observam os valores entre as duas estações.

Em dezembro de 2010 (Figura 7A), as classes das alturas significativas (HS) de 0,7 m, 1,1 m e 1,5 m, foram às frequências mais elevadas neste ponto, com valor máximo de 2,04 m e média de 1,09, superior em relação à estação do PT 01. Em janeiro de 2011, as alturas significativas mais frequentes foram às classes entre 0,8 m a 0,9 m, com valor máximo de 1,88 m e média de 0,98 m. Para o período de abril de 2012, as classes com maior frequência foram às alturas de 0,4 m e 0,7 m. Ainda neste período, a altura máxima foi de 1,98 m e a

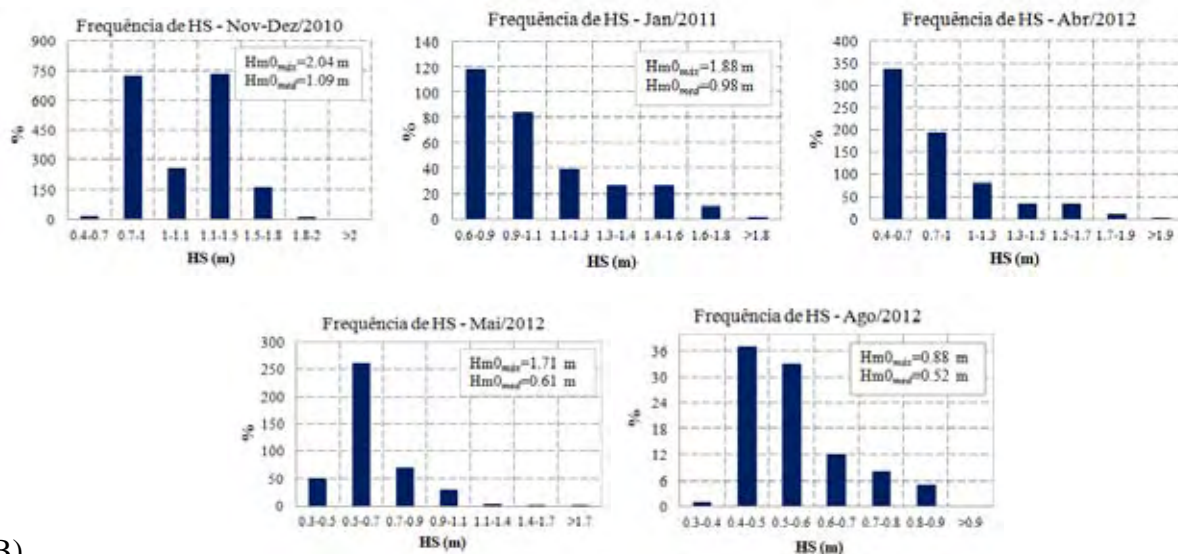
média, 0,7 m. Para o mês de maio, o comportamento do clima de ondas foi semelhante ao do mês de abril, sendo mais frequentes as ondas entre 0,5 m e 0,7 m, marcando redução na altura máxima para 1,71 m e média de 0,61 m. Para o período de agosto de 2012, os valores do clima de ondas foram os mais diferentes apresentados, ou seja, a altura máxima da onda foi de 0,88 m e a média de 0,52 m, com maior frequência para as classes entre 0,4 m, 0,5 m e 0,6 m.

Os períodos médios (T_{med}), para todas as campanhas realizadas mostram-se bem superiores aos dos períodos da estação do PT 01 (Figura 7B). Em dezembro de 2010 os períodos foram os mais elevados, com valor máximo de 8,18 s, e média de 4,36 s, para classes de maior frequência de 4 s e 4,6 s. Ainda em janeiro de 2011, os períodos médios mantêm-se elevados, com as classes mais frequentes de 3,5 s a 4,8 s, os valores máximos são de 7,51 s e média de 4,77 s. Em abril de 2012, as classes entre 4 s e 4,5 s continuam sendo as mais frequentes, entretanto, o período médio máximo é de 5,51 s e média de 4 s. Em maio de 2012, as frequências de classes de 4 s e 4,6 s, continuam sendo as mais representativas, com valor máximo de 6,25 s, e média de 4,62 s. Nas frequências registradas em agosto de 2012, ainda continuam sendo mais representativas as classes entre 4,3 s a 4,9 s, havendo redução no período médio máximo, 5,59 s e média de 4,61 s, mostrando-se próximo dos valores registrados na estação do PT 01, caracterizando o mês de agosto, como um mês de condições de mar bem diferente do apresentado na estação do PT 01.

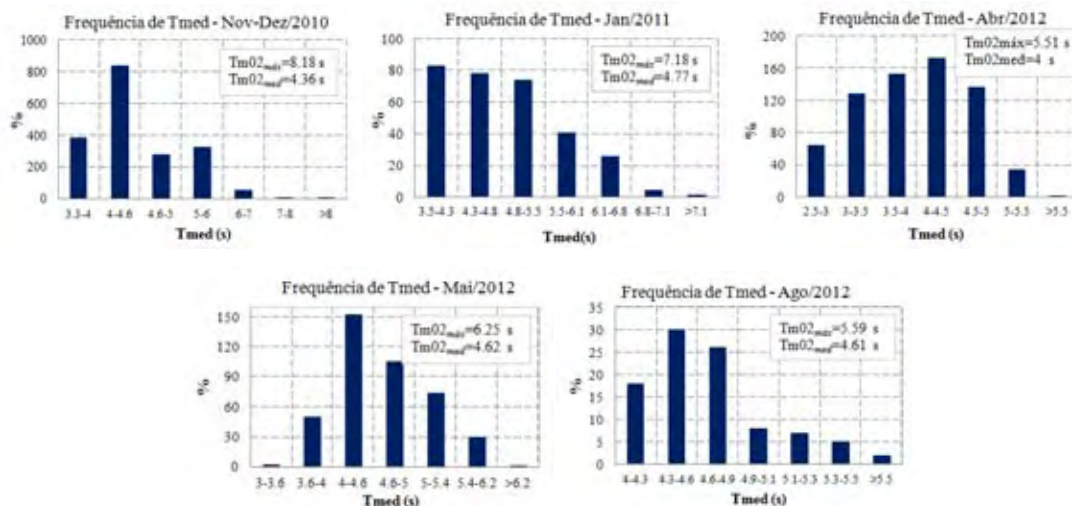
As distribuições das direções médias predominaram quase de nordeste, com exceção do mês de agosto de 2012, onde o estado de mar mostrou-se mais oscilatório, variante de nordeste a sudoeste (Figura 7C). Para as análises das direções médias de novembro e dezembro de 2010, janeiro de 2011 e abril de 2012, o comportamento direcional atribuído foi predominante para o quadrante de nordeste, onde as direções mais frequentes variaram entre 35°, 15° e 70°, respectivamente. Mas, a partir de maio de 2012, as direções médias, começam a variar para sudeste, com valores mais representativos variando de 90° a 120°. Em agosto, as direções médias de maior frequência foram as que variaram entre nordeste e sudoeste, mais, sobretudo, as que predominaram foram às classes entre 225° e 270°, muito desigual às características da estação do PT 01 que predominaram de nordeste.

Na Tabela 5, apresenta-se a estatística descritiva para todo o conjunto de dados obtidos pelas estações de medições do PT 01 e do PT 02, onde se observa ondas com HS máximas com alcance de 2,59 m e 2,04 m, e T_{med} de 10,34 s e 12,91 s.

(A)



(B)



(C)

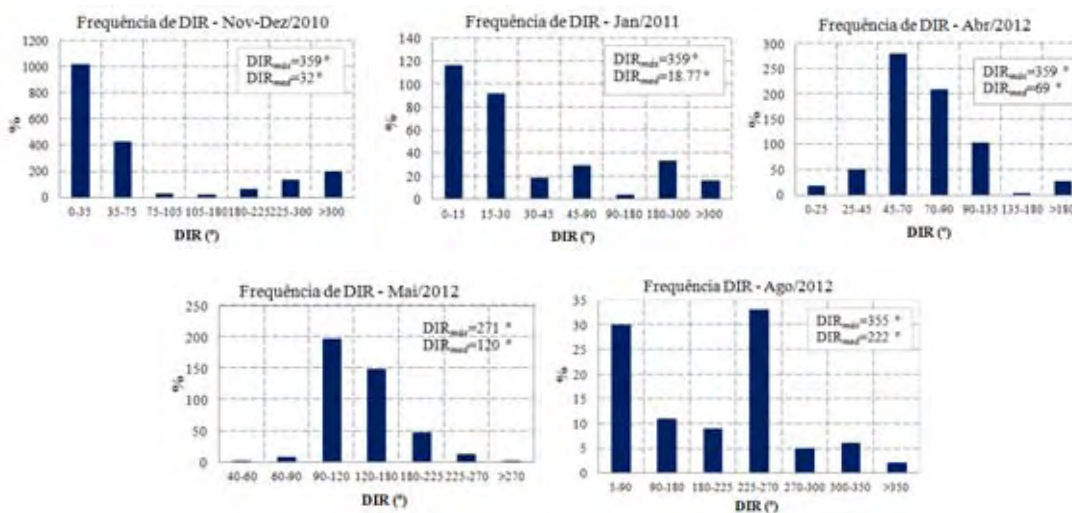


Figura 7. Clima de ondas do PT 02 para os meses de novembro a dezembro de 2010, janeiro de 2011, abril, maio e agosto de 2012. **A)** Frequência de ocorrência das alturas significativas das ondas (HS); **B)** Frequência de ocorrência dos períodos médios (T_{med}); **C)** Distribuição das direções médias da onda (DIR).

Tabela 5. Estatística descritiva para os parâmetros descritos da agitação marítima das estações de medições relacionadas ao PT 01 e PT 02.

Parâmetros	PT 01			PT 02		
	HS (m)	Tmed (s)	DIR (°)	HS (m)	Tmed (s)	DIR (°)
Média	0,69	4,13	161	0,98	4,46	91
Mínimo	0,11	1,69	0,17	0,21	2,55	0,31
Máximo	2,49	10,34	359	2,04	12,91	359
Amostragem	1095	1095	1095	3383	3383	3383
Desvio Padrão	0,34	1,19	100	0,32	0,73	97,7

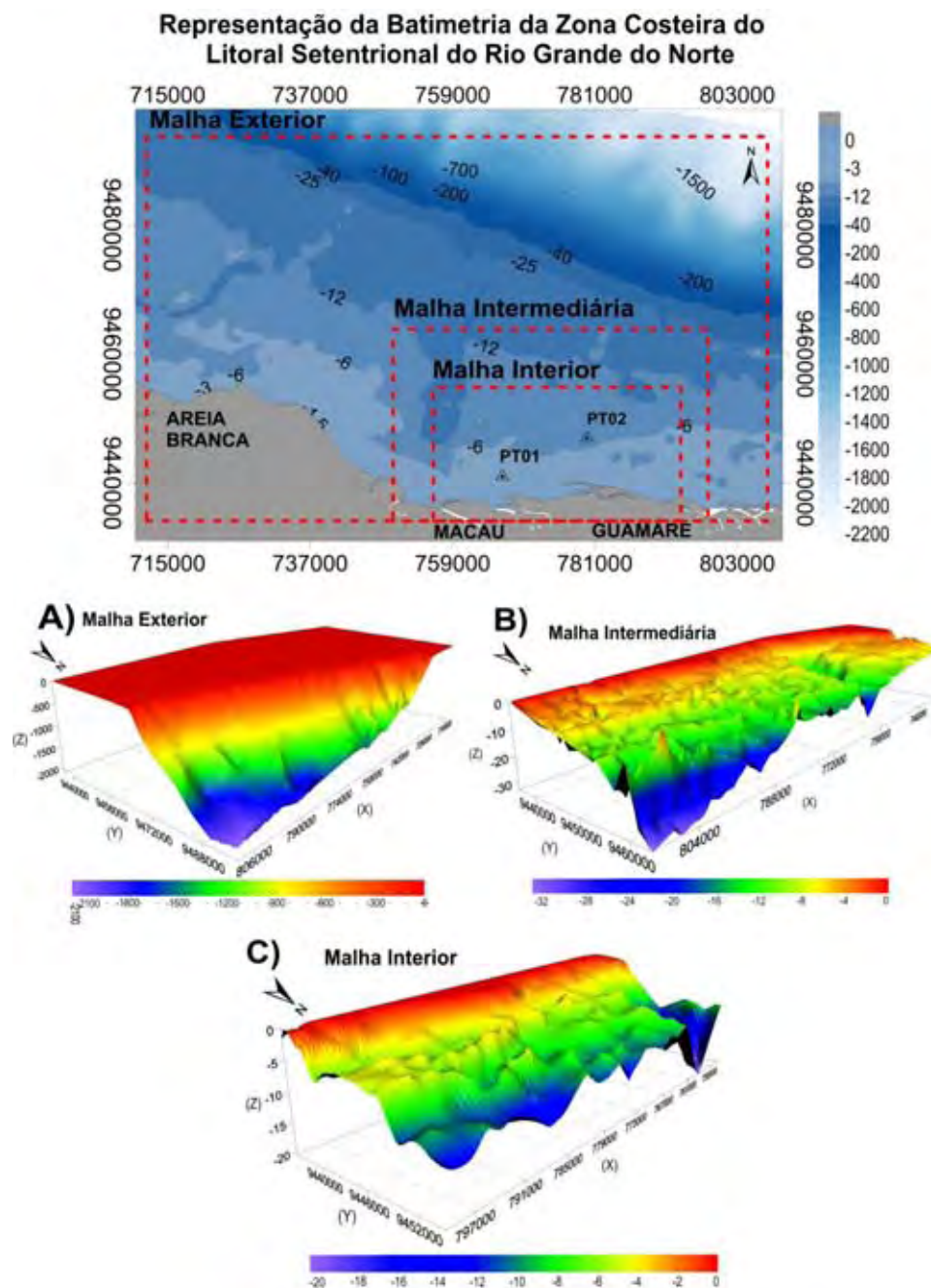
2.4 Batimetria

A propagação das ondas em áreas costeiras é influenciada pela profundidade e formas de fundo e para obter a representação real desses efeitos é necessário aumentar a resolução espacial em direção à costa (PEREIRA, 2008). Assim, as simulações do SWAN são realizadas utilizando um esquema de malhas, como está representado na Figura 8, onde o domínio do cálculo abrange três malhas regulares com diferentes dimensões e resoluções (Figura 8A, B e C). A batimetria utilizada foi a da carta náutica n.720, fornecida pela DHN – *Diretoria de Hidrografia e Navegação*.

O modelo SWAN efetua os cálculos de cada domínio considerando a área total, apesar dos domínios encaixados. Então, inicia por calcular os parâmetros correspondentes aos pontos da malha total, malha exterior, utilizando-os posteriormente como novas condições de fronteira para forçamento da malha intermediária. Após os cálculos da malha intermediária, os parâmetros calculados são transferidos para a fronteira da malha interior. Da mesma forma como ocorre o processo de passagem descrito para as malhas externa e intermediária, o modelo SWAN é novamente rodado, para fornecer os parâmetros de agitação marítima junto à costa. Essa estruturação em malhas encaixadas fornece melhores resultados e reduz os erros que poderão resultar da inexistência de condições de fronteira nos limites laterais, este e oeste, do domínio exterior (PIRES SILVA et al., 2000; TELES et al., 2012; ÂNGELO, 2012). Em resumo, para o espaço espectral foi definida a resolução direcional de $\Delta\theta = 4^\circ$ (valor aconselhado pelo manual do SWAN na presença de ondulações mais expressivas) cobrindo os 360° em direção, e um intervalo de frequência de $\Delta f = 0.04 \text{ Hz}$. Assim, na Tabela 6, é apresentado um resumo das características das malhas utilizadas.

Tabela 6. Características dos domínios computacionais definidos para as malhas.

Domínios	X inicial	Y inicial	Dimensões (km)	Resolução (x,y)
M1 - Exterior	710000	9436000	100 x 62	(1000, 1000)
M2 - Intermediária	750000	9440000	50 x 20	(500, 250)
M3 - Interior	753000	9440000	30 x 10	(100, 50)

**Figura 8.** Domínio computacional. **A)** Malha exterior com resolução de 1000 x 1000 m; **B)** Malha intermediária de resolução de 500 x 250 m; e, **C)** Malha interior com resolução de 100 x 50 m.

3 APLICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO MODELO SWAN

O modelo numérico SWAN (BOOIJ et al., 1999), para ondas de superfície do mar foi desenvolvido para representar a geração e propagação de ondas em áreas costeiras, a partir das condições de fronteira, campos de ventos, batimetria e correntes. A construção e manipulação dos arquivos de entrada para o SWAN foram realizadas por meio da interface da ferramenta SOPRO (FORTES et al., 2007), desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal.

As simulações do modelo SWAN foram realizadas na versão 40.72 AB, no modo estacionário de terceira geração para cada um dos processos, e nas formulações padrões. Ambos os crescimento linear (KOMEN et al., 1984) e exponencial de entrada do vento foram incluídos no modelo. A dissipação devido à rebentação induzida pelo fundo é tratada por Battjes e Janssen (1978) com a formulação espectral com $\alpha = 1$, o atrito de fundo é modelado usando a formulação JONSWAP (HASSELMANN et al., 1973) com coeficiente de atrito $C = 0.015\text{m}^2\text{s}^{-3}$ em condições *wind sea*, e Komen et al. (1984) para a formulação *whitcapping* ou excesso de declividade é aplicado $C_{ds} = 2.36 \times 10^{-5}$, e um coeficiente de rebentação constante igual a $0.65 \text{m}^2\text{s}^{-3}$.

As interações entre tríades de ondas e interações onda-onda quadrupla foi usado às definições padrões de LTA – *Lumped Triad Approximation*, (ELDEBERKY, 1996) e DIA – *Discrete Interaction Approximation*, (HASSELMANN et al., 1985). O uso destas configurações padrões em regime estacionário resulta, principalmente, em simulação mais econômica em termos de tempo, considerando que o processamento foi realizado continuamente ao longo de todos os meses.

As condições de agitação ao largo do modelo de 3ª geração WAVEWATCH III, da bóia localizada na costa nordeste do Brasil nas coordenadas: 787460,84 E/9666781,81 S. Estas estimativas contêm os parâmetros de onda seguintes: HS (onda significativa), T_p (período médio) e DIR (direção média para a frequência de pico), obtidas a cada 6 horas, para os meses de novembro e dezembro de 2010; janeiro a maio – outubro a dezembro de 2011, e, todos os meses de 2012.

A partir destes valores integrais, HS e T_p definiu-se um espectro JONSWAP com $\gamma = 3.3$ para representar a dependência de frequência. O espectro direcional foi discretizado em 23 intervalos de baixa frequência, variando entre 0,04 Hz e 1,0 Hz, com distribuição logarítmica. A discretização em direção abrange 360° , dividida em 90 intervalos.

4 COMPARAÇÕES E ANÁLISES DOS RESULTADOS

4.1 Parâmetros Estatísticos e Medidas de Erro

Para todo o conjunto dos dados resultantes das previsões do modelo global WAVEWATCH III, mais os resultados das previsões com o SWAN e os resultados obtidos a partir das estações de medições dos PT 01 e PT 02 (ADCP), foi aplicada estatística descritiva para avaliação dos parâmetros: altura significativa, HS (m), período médio, Tmed (s), e direção média, DIR (°), de todo o conjunto dos dados válidos. Na Tabela 7 segue em detalhe a estatística descritiva, indicando o número de dados de amostragem, os valores máximo, mínimo, médio, o erro e desvio padrão para a quantidade das amostras das previsões e medições.

Para avaliação quantitativa do grau de precisão dos resultados do modelo, o parâmetro da Média do Erro Percentual Absoluto (MAPE), do valor erro médio quadrático (RMSE) e do índice de concordância ou reajuste, representado pela letra d foram usados para comparação dos valores previstos e medidos (WILMOTT, 1981). Os parâmetros estatísticos foram calculados como segue abaixo:

Média do Erro Percentual Absoluto - MAPE (*Mean Absolute Percentual Error*)

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|(O_i - P_i)|}{O_i} \quad (4.1)$$

Erro Médio Quadrático – RMSE (*Root Mean Square Error*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P)^2} \quad (4.2)$$

Índice de Concordância “d” (WILLMOTT, 1981)

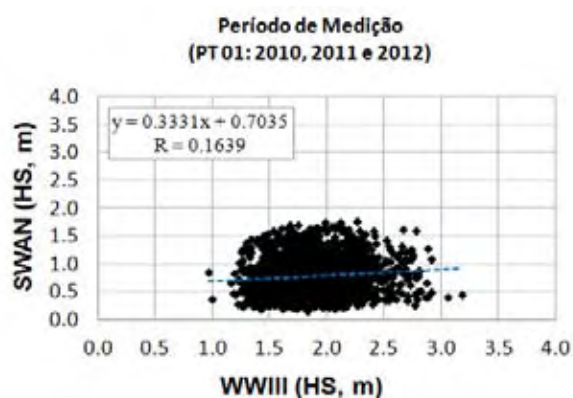
$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4.3)$$

Onde, d é o índice de concordância, O_i são os valores medidos, P_i são os valores dos modelos numéricos, \bar{o} é a medida do valor experimental e n é o número de observações. Este índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo do 1, menor será a escala de erros.

Tabela 7. Estatística descritiva para o conjunto de dados obtidos pelo modelo global (WWIII), pelo modelo numérico (SWAN) e dos dados das estações de medições (ADCP).

	WWIII			SWAN			ADCP_PT 01			ADCP_PT 02		
	HS, (m)	Tmed, (s)	DIR (°)	HS, (m)	Tmed, (s)	DIR (°)	HS, (m)	Tmed, (s)	DIR (°)	HS, (m)	Tmed, (s)	DIR (°)
Número de Dados	2370	2370	2370	2370	2370	2370	1095	1095	1095	3440	3440	3440
Máximo	3.18	13.65	360	1.76	5.91	360	2.59	10.3	359	2.04	12.9	359
Média	1.85	7.72	84.6	0.78	2.75	58.1	0.68	4.13	161	0.98	4.46	91.6
Mínimo	0.97	5.66	0.31	0.16	1.85	0.22	0.11	1.69	0.17	0.21	2.55	0.31
Erro Padrão	0.01	0.02	1.22	0.01	0.01	0.84	0.01	0.03	3.01	0.01	0.01	1.67
Desvio Padrão	0.31	1.25	57.4	0.31	0.60	41.1	0.33	1.18	100	0.32	0.73	97.7

Esta seção descreve o desempenho do modelo SWAN em comparação com o modelo de escala oceânica de 3ª geração e propagação de ondas WAVEWATCH III, para a boia localizada no ponto, X=753257 E/ Y=9668067 N. Os dados do WAVEWATCH III, também foram como condição de fronteira pelo modelo SWAN. A Figura 9 mostra o diagrama de dispersão mostra dos resultados de HS totais do modelo WWIII e SWAN e as medidas de erro são listadas ao lado do gráfico.



Modelo SWAN – Modelo WWIII			
	HS (m)	Tmed (s)	DIR (°)
MAPE	57.12	69.69	66.40
RMSE	1.15	5.47	64.87
d	0.29	0.27	0.56

Figura 9. Diagrama de dispersão para HS, e concordância dos dados (MAPE, RMSE e d) para o conjunto de dados obtidos pelo modelo numérico (SWAN) e modelo WAVEWATCH III, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°).

4.2 Validações do Modelo Numérico (SWAN) Baseado nas Medições *in situ* em PT 01

Usando das formulações padrões do SWAN, com corridas em modo estacionário, são apresentados os resultados completos da modelagem do clima de ondas com o modelo SWAN para frequência de 6 horas diárias do período que abrange os anos de 2010 (meses de novembro e dezembro), 2011 (meses de janeiro a maio, e depois de outubro a dezembro), e, 2012, ano em que a modelagem se dá para todos os meses. Contudo, como já foram discutidos anteriormente nos dados de ventos, como uma das condições de fronteira do SWAN (as informações dos ventos, velocidade (m/s) e direção (θ), são incluídos nos dados de agitação como condição de fronteira para forçar o modelo SWAN), em alguns meses de 2011 a Estação Meteorológica de Macau não esteve operacional, fato este que explica a grande lacuna existente no ano de 2011.

Neste primeiro caso são apresentados os resultados da modelagem do SWAN e das previsões do WWIII e comparados em relação os resultados das medições da estação PT 01 para as variações temporais dos parâmetros: altura significativa, HS, período médio, Tmed e direção média, DIR. Em geral, há uma ligeira sobrestimação do WAVEWATCH-III para HS e Tmed, em relação aos resultados do SWAN em relação às medições (ADCP) como pode ser observado nos indicadores estatísticos de concordância dos dados (Figura 13). Entretanto, há uma maior aproximação entre os resultados do SWAN e com os resultados das medições como o ADCP. Em relação os resultados para DIR, observa-se um andamento semelhante entre os resultados do SWAN com os da previsão do WAVEWATCH-III, entretanto, ao correlacionar com as medições do ADCP, o ajustamento foi mal sucedido ao longo de todas as campanhas, sobretudo no mês de fevereiro de 2011.

A comparação do conjunto total das alturas significativas de ondas, medidos e simulados revela que $RMSE = 0,41$ m; $d = 0,54$ m; $R = 0,16$ m, para HS são razoavelmente reproduzidos pelo modelo SWAN para todos os períodos de medições como pode ser visto na figura 10. Contudo, os valores para os períodos médios, Tmed, $RMSE = 0,96$ s; $d = 0,58$ s; $R = 0,64$ s, revelaram um mais adequado ajustamento, com d de melhor desempenho. Nas análises das direções médias, observa-se pela concordância entre os dados, DIR, $RMSE = 150,34$ °; $d = 0,36$ °; $R = 0,06$ °, foi muito baixo o d e o R (Figura 12).

Tais configurações atuais definidas no modelo SWAN alcançam muito bem tanto as altas, quanto as baixas variações temporais de altura significativa e períodos médios. Contudo, apresenta estimativas menos precisas para os valores máximos de ambos os

parâmetros. Essa subestimação pode estar relacionada com as resoluções espaciais e temporais, mais, sobretudo, a utilização dos ventos de terra e não de mar (ÂNGELO, 2012).

A série temporal de 6 em 6 horas diárias, pode ser grosseira para a área geográfica do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, os baixos R e d , podem estar associados principalmente, aos campos de baixas velocidades dos ventos, pois foram medidos em terra e transportados para referência padrão correspondente em mar, com distribuição temporal e não espacial (ÂNGELO, 2012). Além destas características, a região adjacente da área do domínio do cálculo é afetada pela circulação atmosférica e oceânica como mecanismos controladores dos sistemas oscilatórios neste litoral ao longo das estações do ano.

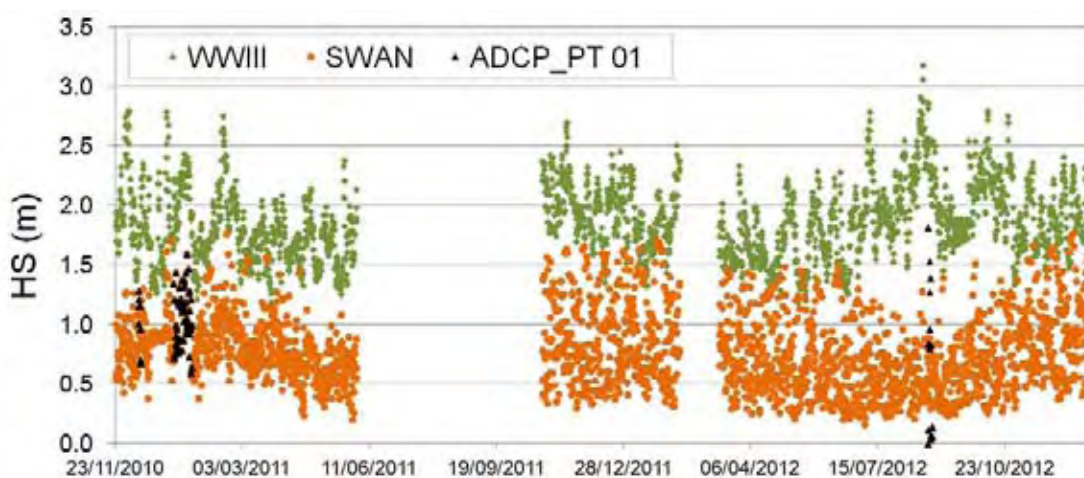


Figura 10. Resultado das alturas significativas (HS) para modelagem com SWAN, WAVEWATCH-III (WWIII), e em relação às medições da estação do PT 01, para os anos de 2010, 2011 e 2012.

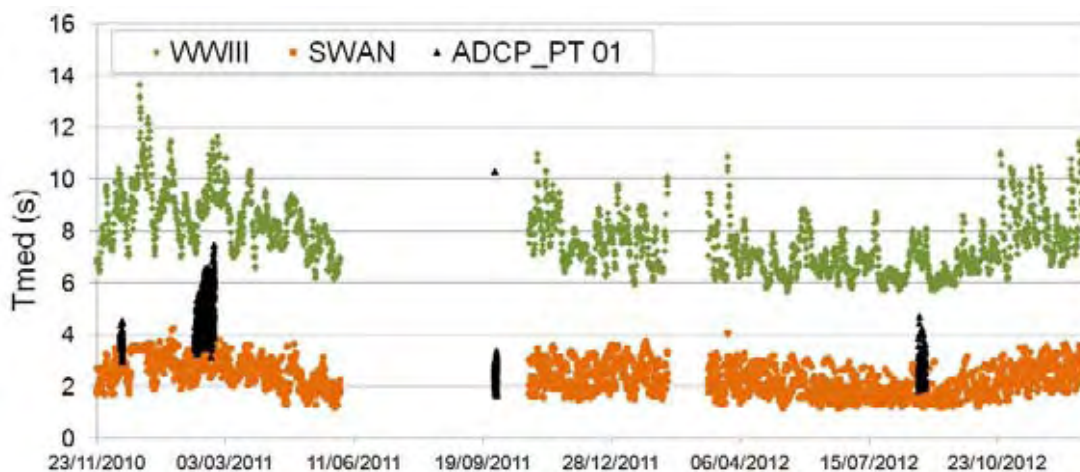


Figura 11. Resultado dos períodos médios (T_{med}) para modelagem com SWAN, WAVEWATCH-III (WWIII), e em relação às medições da estação do PT 01, para os anos de 2010, 2011 e 2012.

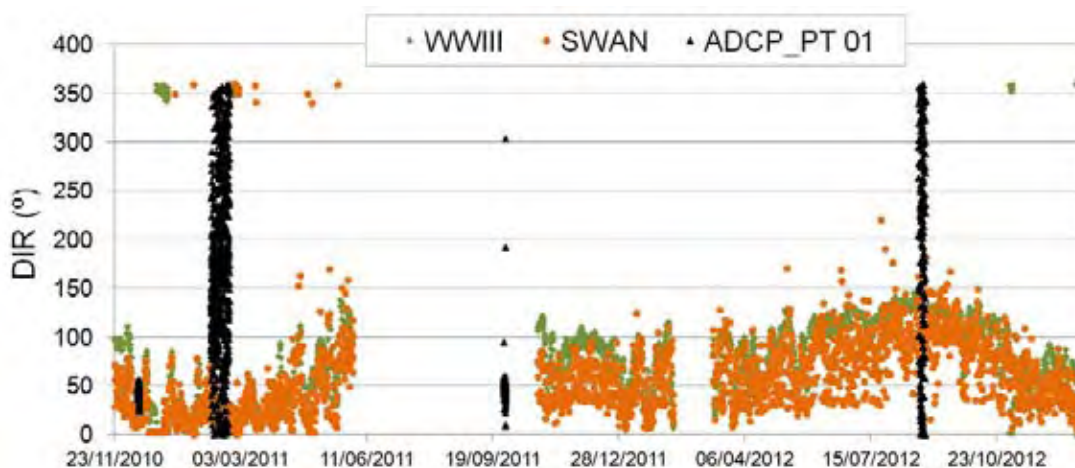
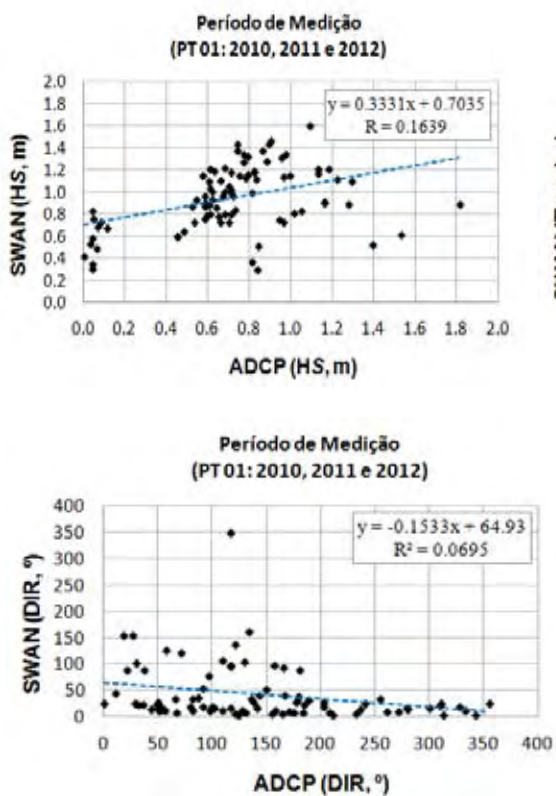


Figura 12. Resultado das direções médias (DIR), para modelagem com SWAN, WAVEWATCH-III (WWIII), e em relação às medições da estação do PT 01, para os anos de 2010, 2011 e 2012. +



Concordância dos Dados: SWAN - ADCP/PT1

	HS (m)	Tmed (s)	DIR (°)
MAPE	339,52	19,95	283,20
RMSE	0,41	0,96	150,34
<i>d</i>	0,54	0,58	0,36

Figura 13. Indicadores estatísticos: MAPE, RMSE e *d* para o conjunto de dados de SWAN e dos dados válidos do ADCP do PT 01, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°).

4.3 Validações do Modelo Numérico (SWAN) Baseado nas Medições *in situ* – PT 02

Para estas análises é feita a validação das previsões do SWAN em relação às medições da estação do PT 02.

Em relação às comparações do SWAN para a estação do PT 02, também foram realizadas as análises para altura significativa, HS, período médio, Tmed e direção média, DIR, e foram construídos os gráficos de dispersão, e para acurácia das análises comparativas, aplicaram-se as medidas de erros, para obter-se o índice de concordância, d , entre os dados do modelo numérico com os das medições. No geral observa-se alternância nos valores, seja, pela condição desta estação encontrar-se localizada em maior profundidade, ou pela própria sobreposição em alguns momentos de ondulação mais expressiva, tal fato já identificado por Ângelo (2012). Ao se analisar os episódios de picos das alturas significativas ao largo (WAVEWATCH-III) fica evidente tal condição.

É importante ressaltar que esta estação de medição, encontra-se em profundidades muito mais superiores que a estação do PT 01, variando entre 7 e 8 m, e também muito mais distante da costa, aproximadamente 7 km. E, portanto, há alterações no comportamento do clima de ondas obtido pelo ADCP para esta estação de medição. Revelando um melhor resultado para as alturas significativas e das direções médias.

É de se notar que para a evolução das alturas significativas (Figura 14), revela-se mais ajustado em relação os dados do ADCP para esta estação de medição do PT 02. Ao analisar a concordância dos dados na Figura 18, nota-se que para HS, obteve melhor reprodução que o PT 01 (RMSE = 0,35, d = 0,59, R = 0,15), no índice de concordância, d , principalmente, seja devido esta ponto esta em maiores profundidades.

Para as estimativas dos períodos médios, Tmed, observa-se a condução distinta da apresentada na estação do PT 01, os dados do SWAN subestimaram os medidos pelo ADCP de modo geral e (Figura 15), mantendo-se valores abaixo de 4 s. Os parâmetros estatísticos relevaram os seguintes valores: RMSE = 1,57, d = 0,40, R = 0,06 com d abaixo do que se poderia esperar um melhor ajustamento (Figura 17), uma vez que este ponto encontra-se em águas mais profundas que o ponto da estação do PT 01. Acontece que, como observado para as comparações com o PT 01, tal subestimação generalizada, decorre, sobretudo do uso da formulação KOLMEN para toda a modelagem, sendo que não foram usados os períodos médios Tm01, apesar de o SWAN oferecer este parâmetro, não sendo o mesmo para o ADCP, por isso não puderam ser usados nos cálculos e nas comparações. Estes dados, Tmed, segundo Teles et al. (2012), reagem melhor a incluindo aí o uso da outra formulação além da

KOLMEN, a formulação WESTH, o que pode explicar tal discrepância entre os dados estimados pelo SWAN para os períodos médios e os do ADCP.

Com relação às análises das direções, novamente semelhante às análises anteriores, observa-se uma razoável concordância comparada com os dados medidos (RMSE = 110.34 °; $d = 0.40$ °; $R^2 = 0.03$ °), um melhor desempenho ao se comparar com estação (Figura 17), apesar das direções do PT 02 variarem muito ao longo do período analisado, mantêm-se indiferentes às variações impostas (Figura 16).

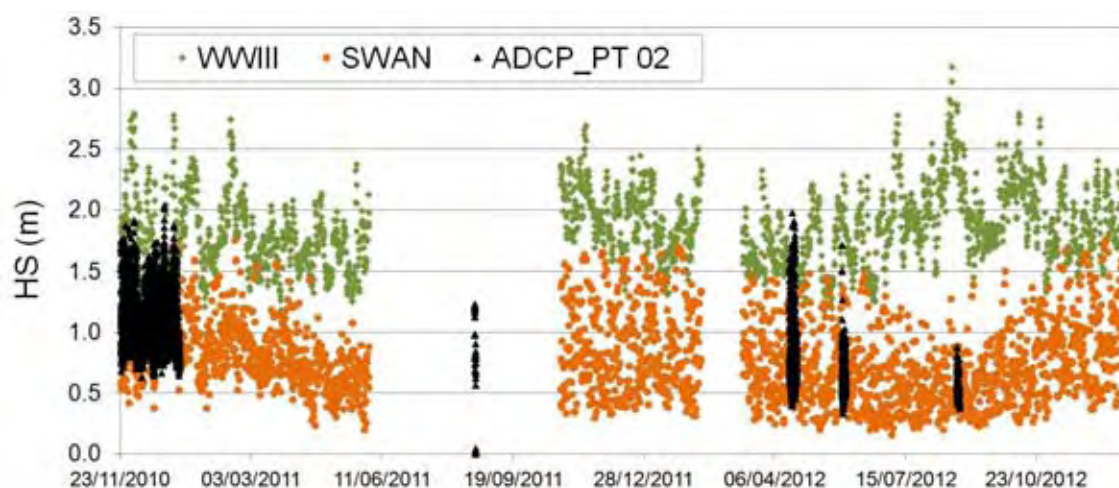


Figura 14. Resultado das alturas significativas (HS) para modelagem com SWAN, WAVEWATCH-III (WWIII), e em relação às medições da estação do PT 02, para os anos de 2010, 2011 e 2012.

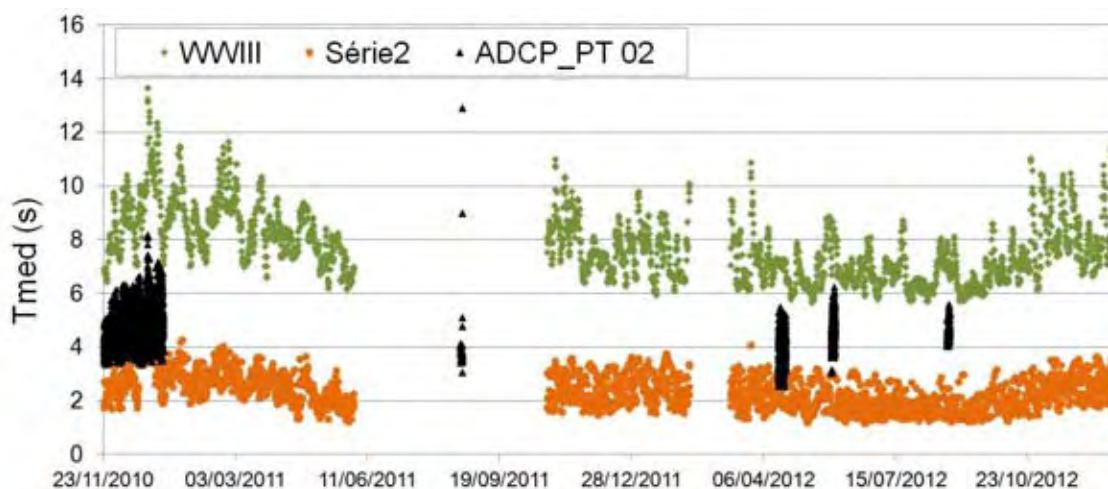


Figura 15. Resultado dos períodos médios (Tmed) para modelagem com SWAN, WAVEWATCH-III (WWIII), e em relação às medições da estação do PT 02, para os anos de 2010, 2011 e 2012.

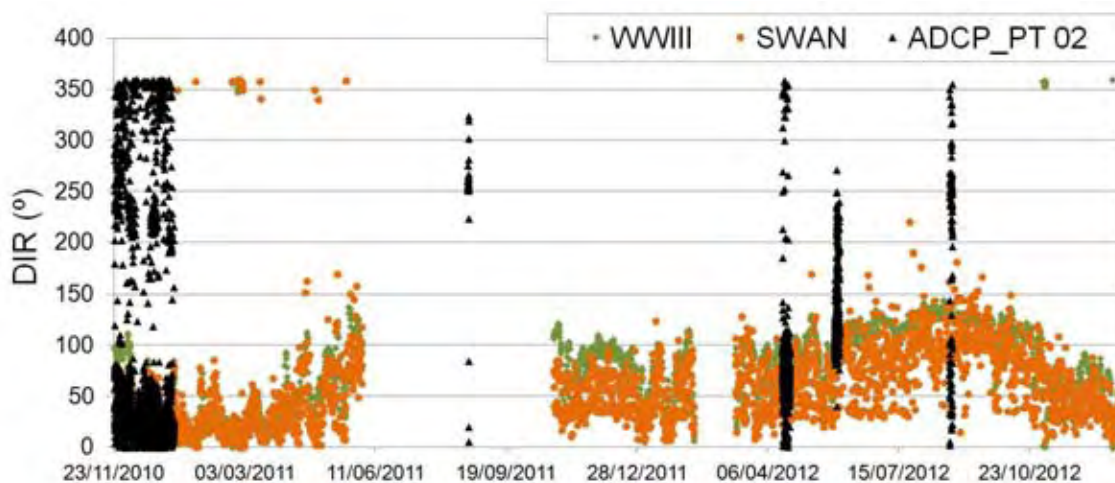


Figura 16. Resultado das direções médias (DIR), para modelagem com SWAN, WAVEWATCH-III (WWIII), e em relação às medições da estação do PT 02, para os anos de 2010, 2011 e 2012.

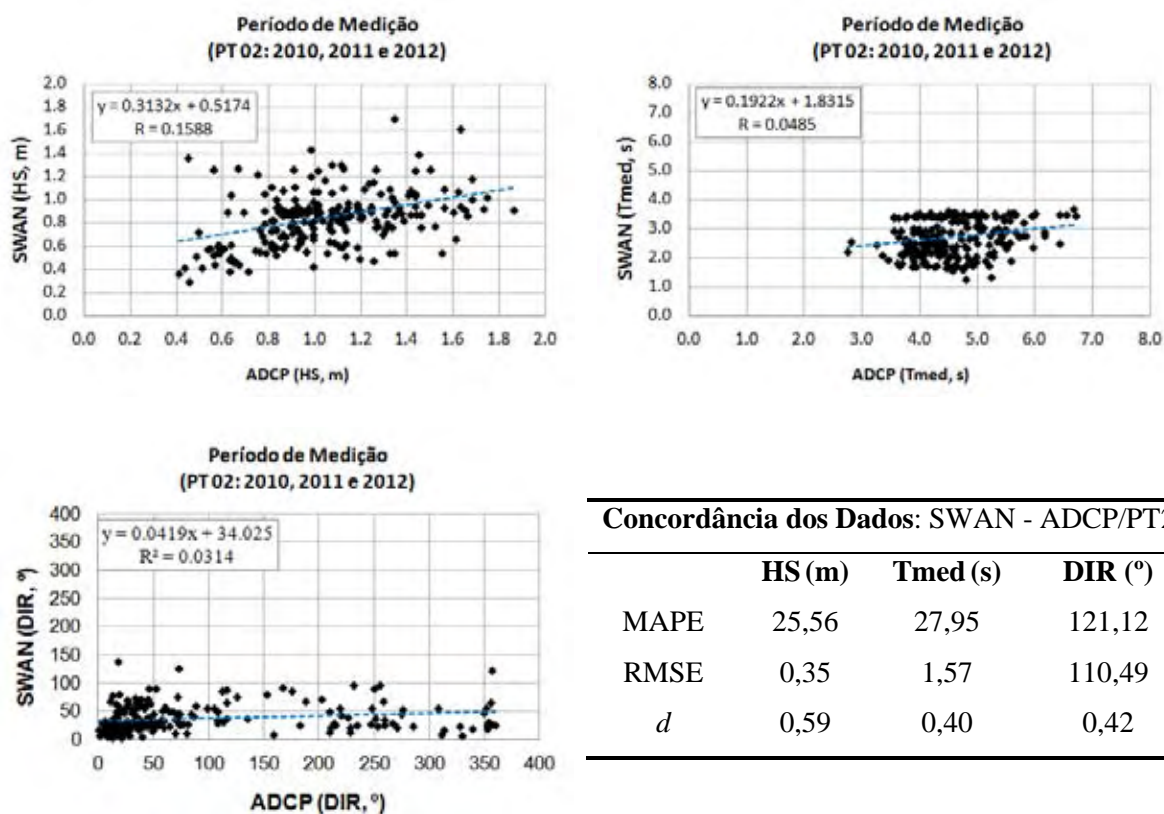


Figura 17. Indicadores estatísticos: MAPE, RMSE e *d* para o conjunto de dados de SWAN e dos dados válidos do ADCP do PT 02, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°).

4.4 Dependência Direcional (Ventos *Onshore*)

Tendo em vista a proximidade das estações de medições para o litoral setentrional do RN de plataforma continental rasa e baixa declividade, com direção do vento dominante de sul e nordeste, conforme o período do ano evidentes na caracterização dos ventos da costa avalia-se melhor os aspectos direcionais no desempenho do modelo SWAN, pois pode fornecer informações sobre a condução e as diferenças entre curto e longo período, além da influência sobre a intensidade das ondas. Isto foi conseguido através da divisão em três setores de direção do vento com a normal à costa (45°) como uma referência nordeste. A partir deste, foi definido um setor de direção leste (90°) e outro setor de sudeste (135°). Assim, as ondas que vêm do mar e as provenientes de terras são, portanto, separados em três setores. A figura 18 mostra esse desempenho direcional do modelo SWAN para o mar e os ventos da terra. O espectro direcional das ondas em relação os ventos da terra, pode ser visto na figura 19, onde se nota que ondas induzidas por ventos de terra são menos precisas do que as ondas geradas por ventos *offshore*. Em quaisquer dos casos (SWAN ou medidas *in situ* com ADCP), as ondas mais precisas predominaram de nordeste, com média de alturas acima de 1.5 m. As ondas geradas por ventos de leste e sudeste possuem mais ou menos a mesma magnitude, com amplitudes HS abaixo de 1,5 m.

Portanto, para este litoral os ventos de terra exercem importante papel na evolução das ondas, predominantes de sudeste ao longo do ano, mas confirma-se que as maiores magnitudes foram às ondas de orientação nordeste.

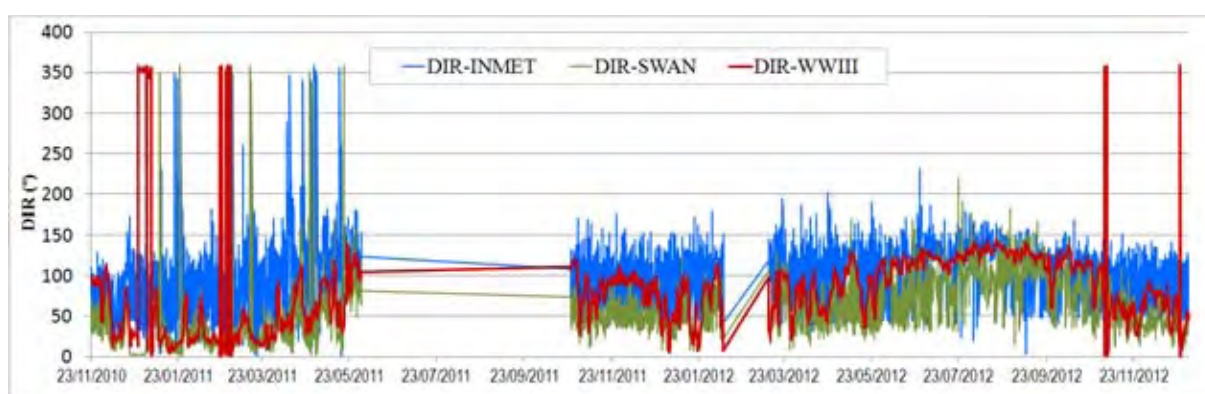


Figura 18. Estatística descritiva e concordância dos dados (MAPE, RMSE e *d*).

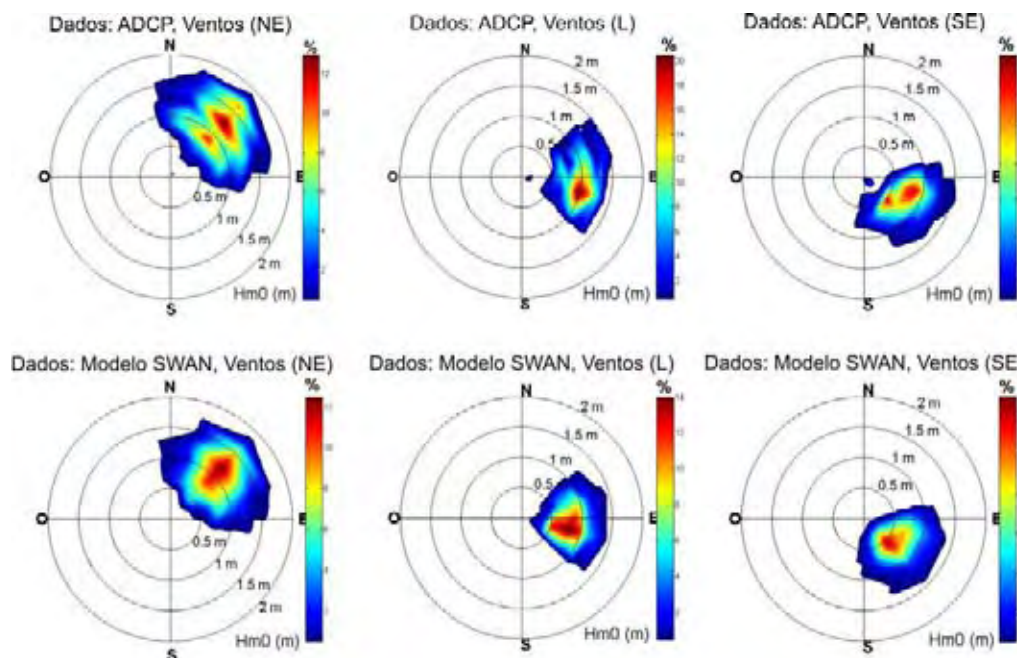


Figura 19. Onda direcional correspondente aos ventos com dados medidos (ADCP) e simulados (SWAN).

5 CONCLUSÕES.

O modelo SWAN foi implementado para o litoral setentrional do RN com o intuito de validar o modelo numérico de ondas para esta região, para conhecimento do clima de ondas, constituindo banco de dados para parâmetros de onda (HS, Tmed, DIR) no espaço e no tempo, de forma a integrar tais informações e contribuir para as análises de contexto das interferências das variações morfológicas locais e da ação de eventos pretéritos, bem como a previsão de cenários futuros.

De modo geral, foi observada a dimensão e a frequência muito superior de dados obtidos pelas simulações com o SWAN em relação um número reduzido de medições feitas para duas estações de medidas *in situ* (PT 01 e PT 02), com medições esporádicas ao longo do ano. Ainda sim, foi importante a comparação para esses curtos períodos de medições com o intuito de avaliar e calibrar a condução da modelagem para este litoral. Com as configurações padrões do SWAN e em regime estacionário foi possível à obtenção de bons resultados, baseados em estatísticas aceitáveis, principalmente para as alturas significativas de ondas (HS, m), de forma a considerar a discrepância de frequência dos dados entre os registros simulados e os medidos.

De modo geral, testou-se as configurações padrões do SWAN versão 40.72AB, em regime estacionário, com as formulações de Komen et al. (1984), com coeficiente de atrito em condições *wind sea* e *whitcapping* ou excesso de declividade, as interações entre tríades de ondas e interações onda-onda quádrupla. Tais configurações mostraram-se mais eficientes no tempo, considerando o domínio de grande dimensão abrangendo ampla gama de fenômenos no forçamento exterior, para a quantidade de meses analisados continuamente, além de que o tempo de uso computacional ocorreu ter sido o mais econômico.

Os resultados do SWAN mostram tendência semelhante com as medidas nas variações temporais de altura significativa (H_S , m) e período médio de onda (T_{med} , s), entretanto, os resultados paramétricos das estatísticas mostraram-se baixos para as estimativas dos valores máximos, na maioria dos períodos analisados em comparação os dados do PT 01 e PT 02, com alternância das alturas significativas de ondas, em alguns momentos sobrestimado com a sobreposição ocasional de episódios de ondulação mais expressiva, o mesmo fato observado por Ângelo (2012).

Para as estimativas dos períodos médios, neste caso, sendo no geral estimativas mais baixas, que provavelmente devido à baixa velocidade dos ventos e das variações das marés, originários da estação meteorológica e maregráfica sitiada em terra e no interior do estuário, resultando em correções em tais dados, sendo os de ventos por meio da metodologia proposta no CEM (2002), para velocidade correspondente em mar; e, os níveis de maré calibrados conforme Góis (2009) adaptados aos níveis do interior dos estuários para a linha de praia. Com base nestas correções e adaptações, houve melhoria nos resultados da modelagem.

A dependência dos dados de ventos no forçamento do modelo SWAN tornou-se o ponto mais delicado na condução do trabalho. Primeiro, por serem ventos de terra e não de mar que poderiam oferecer melhores resultados em *wind sea*, o que permite explicar também o motivo dos baixos índices de concordância, d , RMSE, e R^2 entre os valores simulados contra os medidos. Segundo, além da não disponibilidade dos ventos de mar, a inoperância da estação meteorológica de Macau durante vários meses dificultou a aquisição destas informações e interferiu na análise para todos os meses. Entretanto, ainda sim, é de se considerar a gama de informações e medições.

Para as análises das direções médias, o resultado no geral nem sempre foi o esperado, devido justamente, a questão dos ventos. Contudo, verificaram-se padrões de direções de ondas ao longo do ano, sobretudo para as análises do PT 02, quando da entrada da sobreposição de ondulação mais expressiva. Assim, as estatísticas e a concordância dos dados (d) para este ponto, foram mais satisfatórias que em relação às análises do PT 01 no conjunto

geral dos dados. Verificou-se ainda que para este litoral, os ventos *onshore* exercem importante papel na evolução das ondas para a linha de costa, ainda que predominantes ao longo do ano de sudeste. Entretanto, verificou-se que as maiores magnitudes foram às ondas de orientação nordeste.

Finalmente, as melhorias ocorridas na estruturação da interface SOPRO mostraram-se mais eficiente, dinamizando os arquivos de entrada e assim, o tempo de viagem computacional. Conclui-se que se faz necessário indicar algumas recomendações, como a aplicação de malhas mais estruturadas com diferente resolução espacial para cada região de domínio, ou seja, sugere-se aplicar para cada domínio, batimetrias diferentes, principalmente para viabilizar melhores análises na região de domínio da malha interna, onde se localizam as estações de coleta de dados *in situ*. Também, faz-se necessário introduzir dados de corrente com resolução espacial no domínio dos cálculos, para correção dos desajustes observados nos períodos médios, dada a aproximação dos pontos de medição das saídas dos estuários nesta região costeira.

REFERÊNCIAS

AKPINAR, A.; VAN VLEDDER, G. P.; KÖMÜRÇÜ, M. I.; ÖZGER, M. Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. **Continental Shelf Research**, v. 50, n. 19, p. 80-99, 2012.

ÂNGELO, J. S. F. C. **Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, Brasil**. 2012. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. 2012.

BATTJES, J. A.; JANSSEN, J. P. F. M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16, 1978, Hamburg. **Abstract...** Hamburg: ASCE, 1978. p. 569-587.

BOOIJ, N.; RIS, R. C. HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, part I, model description and validation. *Journal Geophysical Research*, v. 104, n. 4, p. 7649-7666, 1999.

COASTAL ENGINEERING MANUAL. Meteorology and Wave Climate. Washington: U.S. **Army Corps of Engineers**, 2002, 77p.

CUCHIARA, D.; FERNANDES, E. H.; STRAUCH, J. C.; CALLIARI, L. J. Modelagem numérica do comportamento das ondas na costa do Rio Grande do Sul. In: SEMINARIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEANICA, 2, 2006, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: UFRG, 2006. p. 15.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (Brasil). **Tábuas de marés**. Disponível em: < <http://www.dhn.mar.mil.br/> >. Acesso em Out 2009.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (Brasil). **Cartas náuticas**. Disponível em: < <http://www.dhn.mar.mil.br/> >. Acesso em Jan 2012.

ELDEBERKY, Y. **Nonlinear transformation of wave spectra in the neashore zone**. 1996. Thesis - The Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Netherlands. 1996.

FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; PALHA, A. O pacote de dados SOPRO: evoluções recentes. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 1, 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: PIANC, 2007.

FORTES, C. J. E. M.; MATOS, M. F. A.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E. Caracterização da agitação marítima nas proximidades da Ponta do Tubarão – RN, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6, 2011, Boa Vista. **Anais...** Cabo Verde: APRH, 2011. p. 73.

GÓIS, D. M. M. **Estudo da circulação hidrodinâmica e da dispersão de óleo na zona costeira entre Macau e Galinhos-RN**. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2008.

GÓIS, D. M. M.; SCUDELRAI, A. C.; ROSMAN, P. C. C.; AMARO, V. E. Um estudo sobre propagação de manchas de óleo na zona costeira de Galinhos e Guamaré – RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009.

GOMES, M. P. **Aquisição, processamento e análise de dados de sísmica de alta resolução na Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte: Vale inciso do Rio Açú**. 2009. 125f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009.

GOMES, M. P.; VITAL, H. Revisão da compartimentação da plataforma continental Norte do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 3, p. 321-329, 2010.

HASSELMANN, K.; BARNETT, T. P.; BOUWS, E.; CARLSON, H.; CARTWRIGHT, D. E.; ENKE, K.; EWING, J. A.; GIENAPP, H.; HASSELMANN, D. E.; KRUSEMAN, P.; MEERBURG, A.; MLLER, P.; OLBERS, D. J.; RICHTER, K.; SELL, W.; WALDEN, H. Measurements of wind wave-growth and swell decay during the Joint _North Sea Wave Project (JONSWAP), **Dtsch Hydrogr. Z. Suppl.** v. 12, n. 8, p. 1-95, 1973.

HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K.; ALLENDER, J. H.; BARNETT, T. P. Computations and parameterizations of the linear energy transfer in a gravity wave spectrum, Part II: parameterizations of nonlinear transfer for application in wave models. **Journal of Physical Oceanography**, v. 15, n.11, p. 1378-1391, 1985.

HOUTHUIJSEN, L. H.; HERMAN, A.; BOOIJ, N. Phase-decoupled refraction–diffraction for spectral wave models. **Coastal Engineering** v. 49, p. 291–305, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Dados das séries temporais climáticas da Rede do INMET**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: Jan 2011.

KOMEN, G. J.; HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K. On the existence of a fully developed windsea spectrum. **Journal of Physical Oceanography**, v. 14, p.1271-1285, 1984.

LIMA, Z. M. C.; VITAL, H.; TABOSA, W. F. Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 598-601, 2006.

MATOS, M. F. A.; AMARO, V. E. Oscillatory Coastal Wave and Currents Profile in the Northern Continental Shelf of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE PROGRAMME, 5, 2011, Sidney. **Abstract...** Sidney: UNESCO/IUGS/Project 526, 2011, 8p.

MOEINI, M. H.; ETEMAD-SHAHIDI, A. Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. **Applied Ocean Research**, v. 29, p. 137-145, 2007.

MORTON, R. A. Accurate shore line mapping: past, present, and future. **Coastal Sediments**, v. 91, n. 1, p. 997-1010, 1991.

MOURA, J. E. **Influência dos modelos digitais de terreno na modelagem de circulação hidrodinâmica 2DH: um estudo de caso. 2009**. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

PEREIRA, A. I. S. **Modelação da agitação marítima em zonas costeiras**. 2008. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal, 2008.

PIRES SILVA, A. A.; MAKARYNSKY, O.; MONBALIU, J. VENTURA SOARES, C.; COELHO, E. Modelling wave transformation in an open beach on the west coast of Portugal. In: **PROCEEDINGS COASTAL WAVE MEETING**, A. Sanchez-Arcilla, S. Ponce de Leon (Eds.) Technical University of Catalonia, Barcelona, Chapt. 4.3, 2000.

RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. A spectral model for waves in the nearshore zone. In: **PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE OF COASTAL ENGINEERING**, 24, 1994, Kobe. **Abstract...** Kobe: ASCE, 1994, p. 68– 78.

ROGERS, W. E.; KAIHATU, J. M.; HSUL, L.; JENSEN, R. E.; DYKES, J. D.; HOILAND, K. T. Forecasting and hindcasting waves with the SWAN model in the Southern California Bight. **Coastal Engineering**, v. 54, p. 1-15, 2007.

SCUDELARI, A. C.; FORTES, C. J. E. M.; DANTAS, A. L. S. S. Propagação da agitação marítima na região de Galinhos-Guamaré, Rio Grande do Norte, Brasil. In: CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO SOBRE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA, 2007, 1, Porto. **Anais...** Porto: CMNE/CILANCE, 2007, p. 1-18.

TABOSA, W. F.; AMARO, V. E.; VITAL, H. Caracterização do ambiente costeiro, integrado a produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte/Caiçara do Norte-NE Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007.

TELES, M. J.; PIRES SILVA, A. A.; BELO-PEREIRA, M. Simulations of wave conditions on open beach configuraton: wind resolution, seaward forcing and whitecapping effects. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 16, n. 8, p. 927-942, 2012.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 2.22**. N.O.A.A, National Centers for Environmental Prediction. OMB Technical Note 222. Camp. Springer, EUA, 133p, 2002.

VITAL, H.; STATTEGGER, K.; AMARO, V. E.; SCHWARZER, K.; FRAZÃO, E. P.; TABOSA, W. F. Mopdern high-energy siliciclastic-carbonate plataform: Brazilian Continental Shelf Adjacent to Northern Rio Grande do Norte State, NE Brazil. SEPM Special Publication on Advances in Shallow-marine sedimentology. **Journal of Sedimentary Research**, v. 90, p. 100, 2008.

WILMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 1984-1994, 1981.

Capítulo 6

Artigo submetido à Revista Brasileira de Geomorfologia (ISSN: 2236-5664)



CAPA SOBRE PÁGINA DO USUÁRIO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS

Capa > Usuário > Autor > Submissões > #458 > Resumo

#458 SINOPSE

RESUMO AVALIAÇÃO EDIÇÃO

SUBMISSÃO

Autores	Maria Fatima Matos
Título	Avaliação do Clima de Ondas através Modelagem Numérica e sua Interação com o Fundo Marinho Raso da Plataforma Continental Setentrional do Rio Grande do Norte
Documento original	458-2918-4-SM.DOCX 02/10/2013
Docs. sup.	458-2919-2-SP.DOCX 02/10/2013 INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR 458-2920-1-SP.DOCX 02/10/2013
Submetido por	Fatima Alves Maria Fatima Matos
Data de submissão	October 2, 2013 - 10:36 PM
Seção	Artigos
Editor	Nenhum(a) designado(a)

SITUAÇÃO

Situação	Aguardando designação
Iniciado	02/10/2013
Última alteração	02/10/2013

METADADOS DA SUBMISSÃO

EDITAR METADADOS

AUTORES

Nome	Maria Fatima Matos
Instituição/Afiliação	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
País	Brasil
Resumo da Biografia	Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geodinâmica Área de Concentração em Geodinâmica Linha de Pesquisa em Geologia Sedimentar e Marinha

Contato principal para correspondência.

TÍTULO E RESUMO

Título Avaliação do Clima de Ondas através Modelagem Numérica e sua Interação com o Fundo Marinho Raso da Plataforma Continental Setentrional do Rio Grande do Norte

Resumo

A plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte caracteriza-se por apresentar uma variedade de feições de fundo marinho que variam desde 10 cm até km, sobretudo submersos nas porções mais rasas da plataforma e indicam processos de retrabalhamento. Além do caráter singular dos processos, formas e fácies de fundo diferenciados a qual esta plataforma está submetida, compreende-se a importância do conhecimento da dinâmica das ondas, uma vez que estas são consideradas o agente forçador dominante na hidro e morfodinâmica costeira. O objetivo principal deste trabalho é caracterizar o clima de ondas por meio da modelagem numérica, através do modelo de ondas de superfície do mar, SWAN, e analisar sua interação com o fundo marinho raso da plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte. A metodologia empregada para além das condições de fronteira de entrada do modelo foram realizadas várias medições de campo entre 2010 a 2012, com o objetivo de se obter os parâmetros de ondas (altura, H_m0 , período, T_m02 , direção) para servir de comparação e validação da modelagem. Os resultados apontam que o SWAN conseguiu, no geral, reproduzir adequadamente o clima de ondas para este litoral. Entretanto, ao analisar as estatísticas confirmou-se que as alturas significativas apresentam resultados mais aceitáveis em relação aos demais parâmetros. A interação da onda com o fundo marinho revela alteração das alturas significativas e direções ao propagarem-se sobre as formas de fundos presentes, como os *beachrocks*, os campos de dunas longitudinais, transversais e subaquáticos. Corroborando, portanto, que nesta plataforma continental o mecanismo de dissipação dominante à propagação das ondas nestas águas rasas é o atrito de fundo.

INDEXAÇÃO

Área e sub-área do Conhecimento	Geologia Marinha; modelagem hidrodinâmica
Palavras-chave	Modelagem de ondas, fundo marinho raso, Rio Grande do Norte
Idioma	pt

APOIO E FINANCIAMENTO

Agências CAPES, Rede Amigos Boussinesq, CAPES/FCT, Projetos PTD/ECM/73145, PTD/AMB/67450/2006 e PTD/ECM/67411/2006, REDE5-PETROMAR/CT PETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq.

ISSN: 2236-5664

USUÁRIO

Logado como:
fatima_alves
Perfil
Sair do sistema

CONTEÚDO DA REVISTA

Pesquisa

 Todos

Procurar

Por Edição
Por Autor
Por título

AUTOR

Submissões
Ativo (2)
Arquivo (1)
Nova submissão

TAMANHO DE FONTE

Ajuda do sistema

INFORMAÇÕES

Para leitores
Para Autores
Para Bibliotecários

IDIOMA

Português (Brasil)

Avaliação do Clima de Ondas através Modelagem Numérica e sua Interação com o Fundo Marinho Raso da Plataforma Continental Setentrional do Rio Grande do Norte

Climate Evaluation by Numerical Modelling Wave and their Interaction with the Bottom Shallow Marine Continental Shelf Northern of Rio Grande do Norte

Maria de Fátima Alves de Matos¹, Venerando Eustáquio Amaro¹, Conceição Juana Fortes², Ada Cristina Scudelari³

¹ Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, 59078-970, Caixa Postal 1596, Natal (RN), Brasil
e-mail: fatimaalves@geologia.ufrn.br, amaro@geologia.ufrn.br

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal. e-mail: jfortes@lneec.pt

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil, ada@ct.ufrn.br

RESUMO

A plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte caracteriza-se por apresentar uma variedade de feições de fundo marinho que variam desde 10 cm até km, sobretudo submersos nas porções mais rasas da plataforma e indicam processos de retrabalhamento. Além do caráter singular dos processos, formas e fácies de fundo diferenciados a qual esta plataforma está submetida, compreende-se a importância do conhecimento da dinâmica das ondas, uma vez que estas são consideradas o agente forçador dominante na hidro e morfodinâmica costeira. O objetivo principal deste trabalho é caracterizar o clima de ondas por meio da modelagem numérica, através do modelo de ondas de superfície do mar, SWAN, e analisar sua interação com o fundo marinho raso da plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte. Foram realizadas várias medições de campo entre 2010 a 2012, com o objetivo de se obter os parâmetros de ondas altura significativa (HS), período médio (Tmed), direção (DIR) para servir de comparação e validação da modelagem. Os resultados apontam que o SWAN conseguiu, no geral, reproduzir adequadamente o clima de ondas para este litoral. Entretanto, ao analisar os resultados, confirmou-se que as alturas significativas apresentam resultados mais aceitáveis em relação aos demais parâmetros. A interação da onda com o fundo marinho revela alteração das alturas significativas e direções ao propagarem-se sobre as formas de fundos presentes, como as rochas praias, os campos de dunas longitudinais, transversais e subaquáticos. Tais resultados mostram, que nesta plataforma

continental o mecanismo de dissipação dominante à propagação das ondas nestas águas rasas é o atrito de fundo.

Palavras-Chave: Modelagem de ondas, fundo marinho raso, Rio Grande do Norte.

ABSTRACT

The continental shelf of the northern Rio Grande do Norte is characterized by presenting a variety of seafloor features ranging from 10 cm to km typically submerged in the shallow portions of the platform and indicates reworking processes. In addition to the unique characteristics of the processes, forms and faces background which differentiated this platform is submitted, one can understand the importance of knowledge of the dynamics of the waves, as these are considered the dominant agent hydro and morphodynamics. The main objective of this work is to characterize the wave climate through numerical modeling, using the model of surface waves of the sea, SWAN, and analyze their interaction with the shallow seabed of the continental shelf of the northern Rio Grande do Norte. The methodology used in addition to the conditions of entry of the model includes several field measurements from 2010 to 2012, with the aim of obtaining the wave parameters such as height (HS), period, (Tmed), direction (DIR) to serve as a comparison and validation of modeling. The results show that the overall SWAN could properly reproduce the wave climate for this coast. However, when analyzing the statistics confirmed that the heights have significant results more acceptable than the other parameters. The interaction of the wave with the seabed reveals significant changes in heights and directions as they propagate toward the shallow bottom, with beach rocks, fields of longitudinal dunes symmetrical and asymmetrical parallel to the coast, and transverse dune field parallel to the underwater coast. Thus, on this shelf the dominant dissipation mechanism for waves propagating in these shallow waters is friction the bottom.

Keywords: Modelling wave, shallow seabed, Rio Grande do Norte

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas para se avançar no conhecimento sobre como modelar as ondas geradas por vento em águas rasas e muito rasas é a falta de dados a partir de medições *in situ*. Diferentemente do que ocorre em águas profundas, a dinâmica de ondas em áreas de

águas rasas é dominada pela interação com o fundo (PADILLA-HERNÁNDEZ e MONBALIU, 2001). É por este fato que nas zonas costeiras o mecanismo de dissipação considerado dominante é o atrito de fundo, onde a força relativa depende das características de fundo, tipo de sedimento e geometria da ondulação do fundo (ARORA e BHASKARAN, 2012).

Neste sentido, várias pesquisas tem sido realizadas para se investigar a importância do atrito de fundo como o mecanismo mais influente para o decaimento de energia em costas arenosas (PADILLA-HERNÁNDEZ e MONBALIU, 2001). A análise da dissipação de energia por atrito de fundo através de um grande número de modelos de dissipação de atrito de fundo tem sido proposto desde o trabalho pioneiro de Putman e Johnson em 1949, muito embora a maioria desses modelos reflitem divergência de opiniões sobre como modelar mecanismos físicos presentes no processo de interação onda-fundo.

O crescimento pelo vento, propagação, interações não lineares, decadência de energia e, possivelmente, a *whitecapping*, são processos físicos interligados (ou autorrelacionados) e que interagem com o fundo. Existem diferentes mecanismos de dissipação de energia das ondas para a superfície de fundo, como a dissipação de energia através de percolação, o atrito e o movimento de um suave fundo lamoso (PADILLA-HERNÁNDEZ e MONBALIU, 2001). No entanto, Luo e Monbaliu (1994), concluíram que não há nenhuma evidência para determinar qual a formulação de atrito de fundo que apresenta um melhor desempenho.

Expressamente, os termos de origem no SWAN incluem o crescimento da energia da onda pela entrada do vento; a transferência de energia das ondas, devido às interações não lineares entre ondas (quádruplas e tríades), decaimento da energia da onda devido ao *whitecapping*; o atrito de fundo; e a rebentação induzida pelo fundo.

A descrição detalhada do modelo SWAN, os termos fonte incorporados e o método numérico podem ser encontrados em Ris (1997); Holthuijsen et al. (1999) e Booij et al. (1999).

Neste trabalho, o modelo de ondas SWAN é aplicado para caracterizar o clima de ondas através dos parâmetros de altura significativa (HS), período médio (Tmed), direção (DIR) e sua interação com o fundo marinho raso da plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte (Figura 1).

Esta plataforma possui características próprias conforme a variação de profundidades, e por isso, apresenta processos e formas de fundo diferenciadas ao longo desta. É com base nestas singularidades que esta plataforma continental é distinguida em três regiões: plataforma interna, média e externa, onde Vital et al. (2005; 2008); Lima et al. (2006); Tabosa

(2006); Tabosa e Vital (2006); Tabosa et al. (2007) e Gomes e Vital (2010) classificaram as formas e fácies de fundo presentes nesta plataforma.

Na primeira fase deste trabalho, o SWAN foi aplicado para caracterização do clima de ondas para vários períodos de medições *in situ*, efetuadas para dois pontos localizados próximos da costa entre os anos de 2010 a 2012; em seguida, fez-se uma análise comparativa entre os resultados da modelagem com os dados medidos, por meio de parâmetros estatísticos: média do erro percentual absoluto (MAPE), do valor erro médio quadrático (RMSE), o índice de concordância ou reajuste, representado pela letra “*d*” (WILMOTT, 1981) e o coeficiente de correlação, *R*, para uma adequada validação e análises dos resultados. Com base nos resultados simulados pelo SWAN, obteve-se uma descrição da evolução espacial do clima de ondas para todo o domínio das malhas computacionais de modo avaliar a interação da onda com a compartimentação submarina da plataforma continental, bem como analisar a evolução das ondas em águas rasas. Finaliza-se o trabalho com as devidas conclusões.

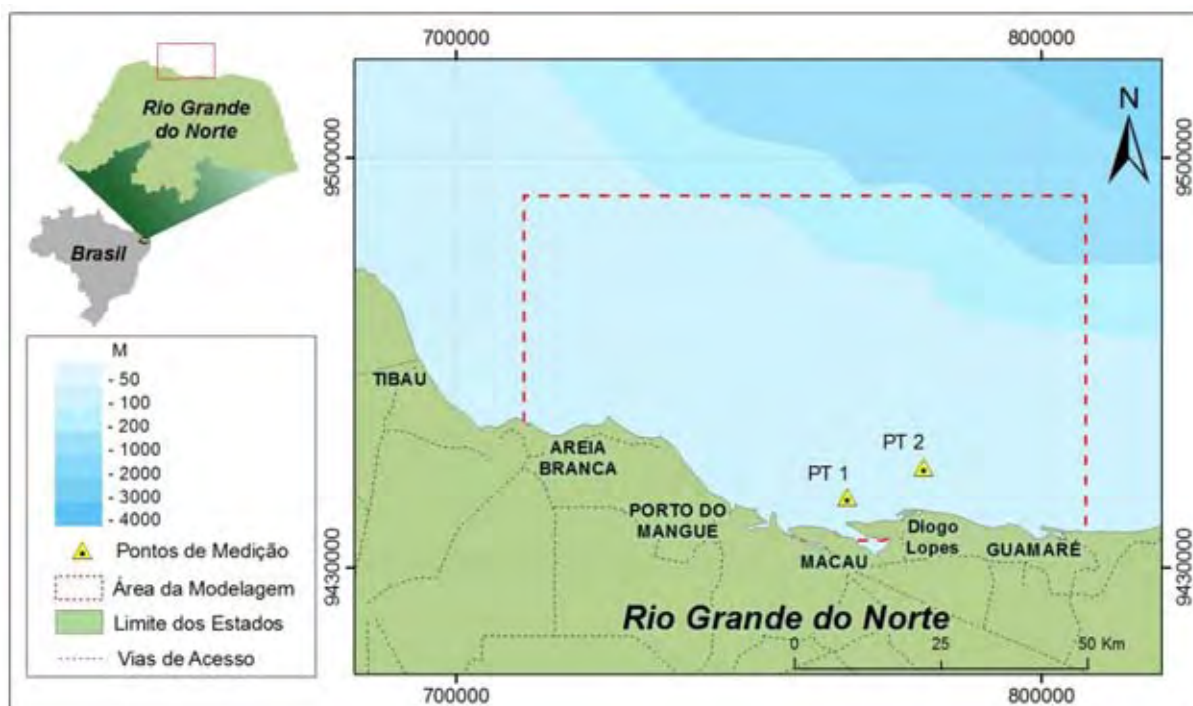


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, indicando a área da modelagem e os pontos de referencias das medições.

2. MEDIÇÕES IN SITU E TRATAMENTO DOS DADOS

As informações *in situ* utilizadas referem-se às campanhas de campo realizadas entre 2010 a 2012, em dois pontos posicionados próximo da costa (Figura 1), foram obtidos por

meio de dois perfilhadores acústicos de ondas, AQUADOPP e AWAC, configurados para aquisição com frequência de 1 Hz, conforme a descrição da Tabela 1.

Tabela 1. Definições dos locais dos fundeios para cada instrumento: AQUADOPP e AWAC e os períodos as características de medições.

Estação	Instrumento (ADCP)	Freq. Acústica (MHz)	Prof. (m)	Localização UTM-Z-24-S	Datas de Coleta
PT 1	AQUADOPP	1.0	3 - 4	X = 766768 Y = 9441999	11 a 12/12/2010
					07 a 22/02/2011
					22 a 27/08/2012
					23/11 a 31/12/2010
PT 2	AWAC	1.0	7 - 8	X = 779765 Y = 9447091	01 a 07/01/2011
					17 a 24/04/2012
					27 a 30/05/2012
					23 a 25/08/2012

2.1 Análise dos Dados

Para o tratamento dos registros obtidos, foram empregues as análises temporal e espectral dos registros. Tais análises foram obtidas por meio do Método da Máxima Verossimilhança – MLM, processador padrão fornecido pelo fabricante dos equipamentos AWAC e AQUADOPP, este é um método geral para estimar espectros de onda direcional de matrizes espaciais de medições de ondas (KAHMA et al., 2005; PEDERSEN et al., 2007), ele fornece uma medida direta da superfície livre, embora incluir a elevação e a inclinação da superfície livre, a velocidade orbital e a onda induzida pela pressão, para citar alguns exemplos.

O MLM permite fazer uma autocorreção do sinal com janelas que variam em função da frequência/número de ondas analisadas, e também consegue suprimir as demais frequências, tipo lóbulos secundários, relacionados ao ruído, diminuindo assim as interferências e permitindo uma mais adequada estimativa de direção para determinada frequência (BARREIRA, 2011).

O processamento dos dados foi realizado diretamente pelo *STORM*, software fornecido pelo mesmo fabricante dos equipamentos AWAC e AQUADOPP.

As definições das estimativas obtidas para o trabalho foram: altura significativa, HS (m), período médio, Tmed (s) e direção da onda, DIR (°).

Obteve-se no total 8 campanhas entre os anos de 2010 a 2012, distribuídas em dois pontos localizados próximo da costa conforme a Figura 1. Na Tabela 2, apresenta-se a

estatística descritiva para todo o conjunto de dados obtidos pelas estações de medições do PT 1 e do PT 2.

Tabela 2. Estatística descritiva para os parâmetros descritos da agitação marítima das estações de medições relacionadas ao PT 1 e PT 2.

Parâmetros	PT 1			PT 2		
	HS (m)	Tmed (s)	DIR (°)	HS (m)	Tmed (s)	DIR (°)
Média	0,69	4,13	161	0,98	4,46	91
Mínimo	0,11	1,69	0,17	0,21	2,55	0,31
Máximo	2,49	7,48	359	2,04	8,89	359
Amostragem	1094	1094	1094	3440	3440	3440
Erro Padrão	0.01	0.04	3	0.01	0.01	2
Desvio Padrão	0,34	1,19	100	0,32	0,73	97,7

2.2 Resultados das Análises dos Dados Válidos

Na seção seguinte, a partir das Figuras 2 e 3 é apresentado o conjunto dos resultados dos dados válidos para as séries temporais dos parâmetros de ondas: altura significativa, HS (m), período médio, Tmed (s) e direção da onda, DIR (°) para as condições de agitação das estações de medições do PT 1 e PT 2.

Dos resultados obtidos, observou-se estados de forte agitação associados a períodos de ondas altamente significantes: os valores de HS excederam consideravelmente acima de 2 m e nas medições dos dois pontos, embora estes valores estejam limitados à profundidade da região. Assim como os valores de Tmed, 7,4 s e 8,8 s, indicando um estado de mar agitado para a região.

No campo das direções, observa-se uma oscilação muito forte nas medições do PT 1, enquanto nas medições do PT 2, nota-se uma incidência mais predominante de nordeste, exceto para o período do mês de agosto, indicando frentes de ondas de leste e sudeste.

Embora devida à reduzida quantidade de dados monitorados em ambas as estações ao longo dos anos estudados, ainda assim, estes dados foram de grande importância para a calibração do modelo numérico de propagação de ondas, como é o caso do SWAN.

Após o processamento, filtragem e análises gerais dos valores de ondas: altura significativa, HS (m), período médio, Tmed (s) e direção da onda, DIR (°), todos os valores foram interpolados ao longo do dia de 6 em 6 horas para validar o modelo SWAN.

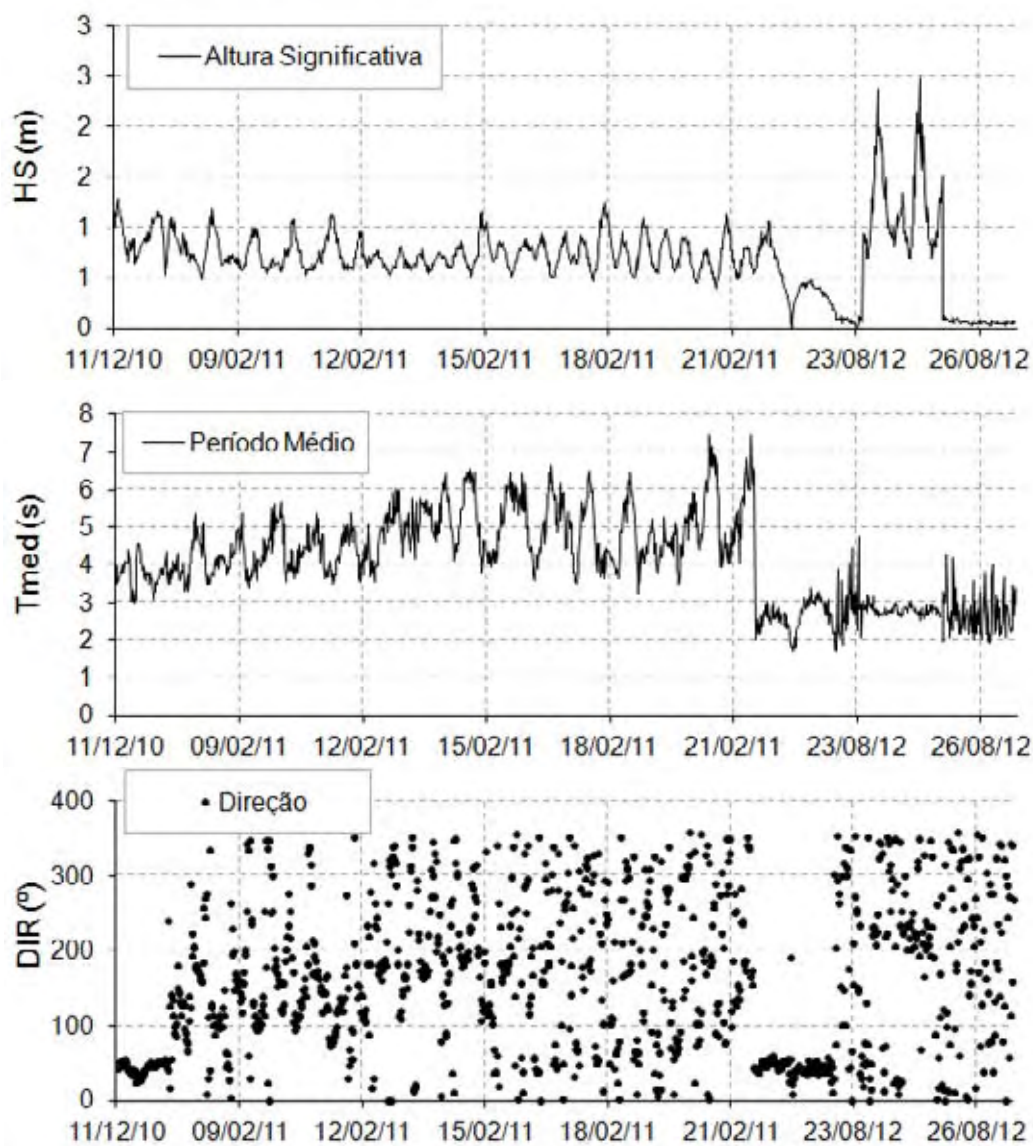
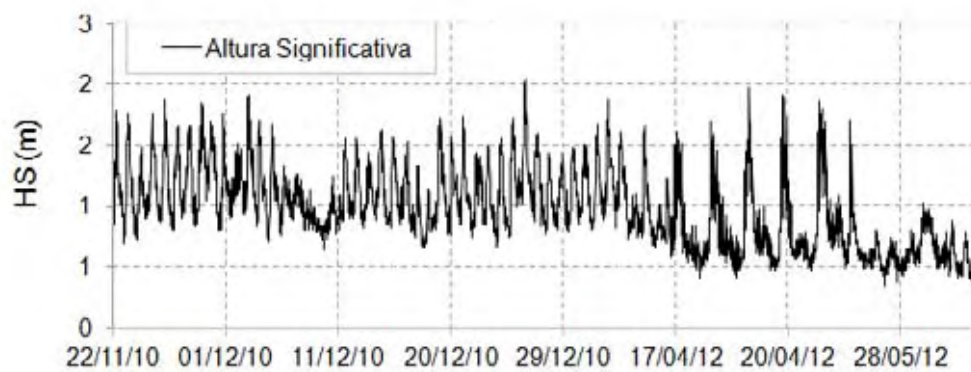


Figura 2. Características da agitação marítima: altura significativa (HS), período médio (s) e direção (°), referente ao PT 1.



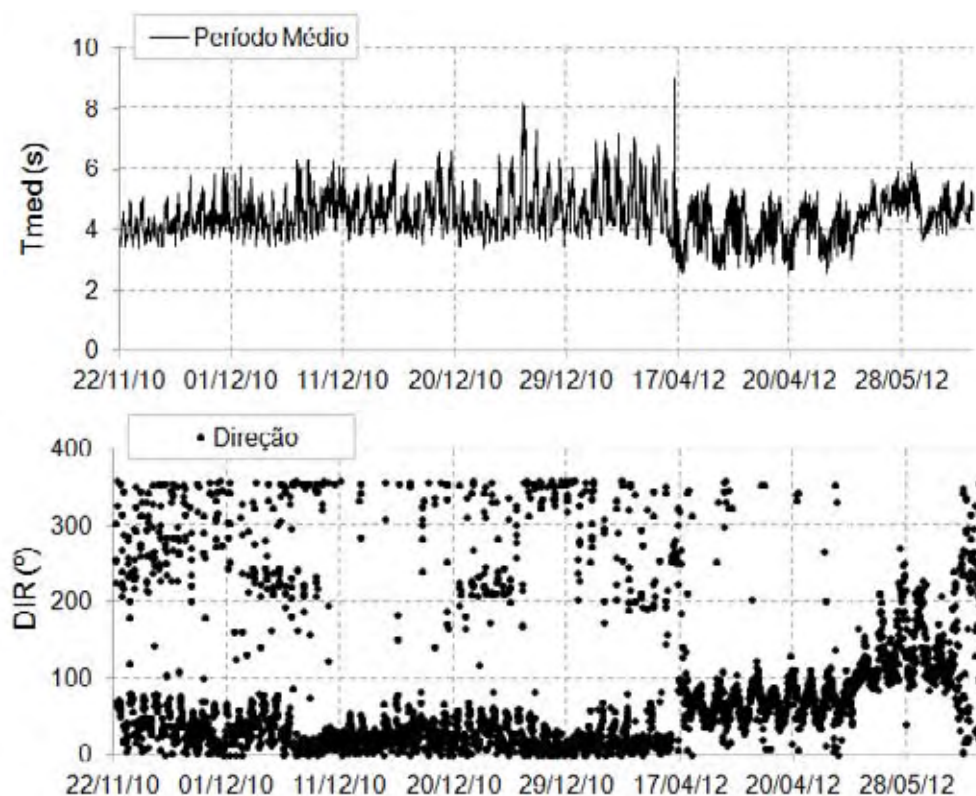


Figura 3. Características da agitação marítima: altura significativa (HS), período médio (s) e direção (°) referente ao PT 2.

3. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

3.1 O modelo de Onda SWAN

O SWAN é modelo de ondas de terceira geração numérica que fornece estimativas realistas de parâmetros de ondas em mar aberto, zonas costeiras, lagos e estuários influenciados por ventos, superfície de fundo e condições de correntes (PADILLA-HERNÁNDEZ e MONBALIU, 2001). Holthuijsen (1998); Ris et al. (1999); Booij et al. (1999) e Zijlema e Van der Westhuysen (2005) descreveram a base teórica e numérica do SWAN. O modelo é baseado na equação de equilíbrio de ação. A equação definida pelo SWAN é expressa na Equação (3.1).

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (3.1)$$

onde, $N(\sigma, \theta)$ é a densidade da ação da onda ($= F(\sigma, \theta)/\sigma$); F é a densidade de energia da onda; t é o tempo; σ é a frequência relativa; θ é a direção da onda; c_x, c_y são as velocidades de propagação geográficas x, y espaciais; c_σ e c_θ são as velocidades de propagação no espectro espacial (frequência e direção espacial). O primeiro termo da equação (3.1) representa a taxa de locais de mudança de densidade de ação no tempo. O segundo e terceiro termos representam a propagação de ação no espaço geográfico. O quarto termo expressa a mudança de densidade de ação no espaço de frequência, devido as variações de profundidades e correntes. E o quinto termo reproduz a refração, profundidade induzida e corrente induzida (BOOIJ et al., 1999).

Três diferentes mecanismos de dissipação podem ser observados no SWAN, isto é, dissipação por *whitcapping*, fricção com o fundo e quebra de onda induzida pela profundidade. Em águas de profundidade intermediária ou rasa o atrito de fundo torna-se importante. Ao aproximar-se da linha de costa, a quebra de onda induzida pela profundidade se torna dominante, e finalmente é dissipada toda a energia da onda (RIS et al., 1997).

Em águas rasas os movimentos orbitais das partículas líquidas estendem-se ao fundo. O atrito de fundo surge assim, no contexto da transferência de energia, como resultado da interação das partículas líquidas com o fundo (SAMPAIO, 2008). Várias formulações foram sugeridos para o atrito no fundo, o modelo SWAN utiliza três formulações distintas baseadas na equação (3.2). O SWAN assume este valor por omissão, portanto, pode ser alterado no código de entrada (ÂNGELO, 2012):

$$S_{ds,b} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sin^2 h^2 kh} E(\sigma, \theta) \quad (3.2)$$

onde C_b é um coeficiente inerente ao atrito de fundo.

À medida que a profundidade diminui, a energia da onda concentra-se continuamente até promover sua rebentação, dissipando rapidamente energia. Tal fenômeno é representado no modelo SWAN como se segue expressa na equação (3.3) (ÂNGELO, 2012):

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (3.3)$$

sendo D_{tot} a taxa média de dissipação de energia da onda, por unidade horizontal de superfície (RIS, 1997).

A zona em estudo pode ser descrita com coordenadas cartesianas ou esféricas, utilizando uma malha “retangular” (CAPITÃO e FORTES, 2011).

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona de estudo, as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo.

Para a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo SWAN foi utilizado a ferramenta SOPRO, Fortes et al. (2007), .

De entre as limitações do modelo refira-se:

A calibração dos muitos dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenômenos físicos no SWAN utilizou dados da campanha JONSWAP, que foi realizada no Mar do Norte (HASSELMANN et al., 1973).

Outro ponto importante é a influência das condições de fronteira nos resultados do modelo SWAN em certas zonas do domínio de cálculo, como por exemplo, as condições de ventos continentais constantes.

Para alcançar o objetivo deste trabalho, foi aplicado o modelo numérico de ondas SWAN (BOOIJ et al., 1999), na versão 40.72 AB, em modo estacionário, com rodagens contínuas. O detalhamento dos parâmetros necessários, o domínio computacional e os fenômenos físicos envolvidos no processamento do SWAN encontram-se descritos a seguir.

3.2 Condições de Agitação ao Largo

Consideraram-se como condições ao largo os estados de mar ao largo estimados pelo modelo de 3ª geração e propagação de ondas WAVEWATCH (WWIII) (TOLMAN, 2002), da bóia localizada na costa nordeste do Brasil nas coordenadas: 787460,84 E/9666781,81 S. Estas estimativas contêm os parâmetros de onda seguintes: HS (altura de onda significativa), TP (período de pico) e DIR (direção de onda associada ao período de pico), obtidas a cada três horas, referentes aos mesmos períodos de datas da Tabela 1, em conformidade às campanhas de medições em duas estações situadas próximas à costa conforme a Figura 1, para o ponto da malha 3°S36°W, selecionado por estar localizado o mais próximo da região de estudo (Figura 4A).

Uma vez conhecidas as estimativas do estado ao largo, caracterizado pela sua altura de onda significativa, HS, período de pico, TP, e a direção média/pico, DIR, o modelo SWAN é transferido esses valores para a zona de estudo.

3.3 Domínio Computacional e Condições de Fronteira do Modelo SWAN

Para a execução do SWAN é necessário um conjunto de dados de entrada esquematizado num sistema de malhas encaixadas detalhadamente descritos em Matos et al. (2011), que compreende fornecer os resultados da malha global, como as condições de fronteira para a 2ª malha, e os resultados desta malha, fornecem as condições de fronteira para a 3ª malha Figura 4. Quanto dimensões e resoluções da cada malha, encontra-se descrita na Tabela 3. Além, da batimetria e malhas computacionais, os parâmetros de agitação ao largo, essencialmente são inseridos os valores de ventos, níveis de maré, etc., onde na Tabela 3 encontram-se especificados os dados e as respectivas referências de origens das informações.

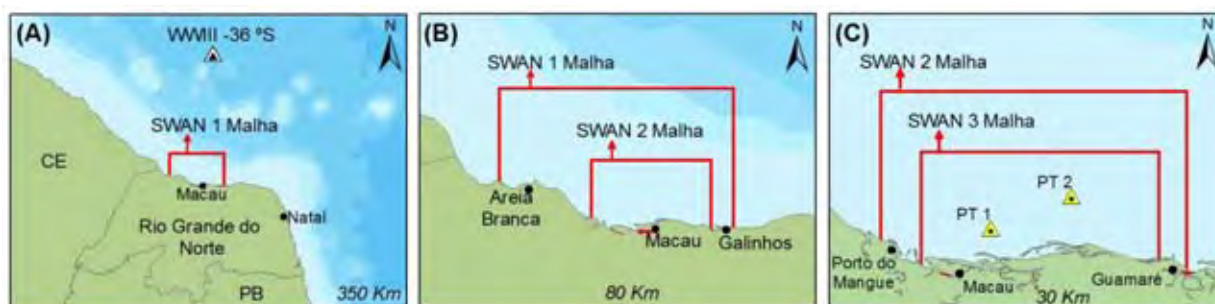


Figura 4. Localização do ponto WWIII (A) e domínios computacionais (A, B e C), assim como os pontos de medições (C).

Tabela 3. Condições de fronteira do SWAN e dados de origem.

Condições de Fronteira do SWAN		
Dados	Referência	Variáveis Paramétricas
Batimetria	Carta Náutica, n.720 DHN (2009)	Malha 1: 100 x 62, 1000x1000 Malha 2: 50 x 20, 500x250 Malha3: 30 x 10, 100x50
Ventos	INMET (2012)	Velocidade: (m/s), de 6 em 6 horas Direção: (θ), de 6 em 6 horas
Maré	DHN (2012)	Nível: m, de 6 em 6 horas
Agitação ao Largo	WaveWatch III Tolman (2002)	HS (m), Tp (s), DIR ($^{\circ}$), de 6 em 6 horas (787460,84 E/9666781,81 S)

Para além destas condições de fronteira introduzidos nos cálculos do SWAN, foram inseridos os fenômenos físicos relacionados, sendo os mesmo indicados na Tabela 4 o tipo de fenômeno envolvido e as referências de origem. coeficiente de atrito de fundo de $0.015\text{m}^2\text{s}^{-3}$.

Tabela 4. Fenômenos físicos disponíveis incluídas no modelo SWAN.

Fenômenos Físicos	Referência
Onda de crescimento linear	Komen et al. (1984)
<i>Whitecapping</i>	Hasselmann (1974) WAMDI Group (1988)
Interações onda-onda quadrupla	Hasselmann et al. (1985)
Interações entre tríades de ondas	Eldeberky (1996)
Atrito de fundo	Hasselmann et al. (1973)
Rebentação induzida pelo fundo	Battjes e Janssen (1978)

3.3 Perfis Transversais de Evolução da Onda

Com base nos dados de altura significativa (HS), profundidade (d) e direção da onda (DIR), resultantes da modelagem, foi construídos perfis na seção transversal à costa, posicionados em três eixos norte-sul, conforme a Figura 5.

O método foi baseado na adaptação da determinação da distribuição espacial do parâmetro adimensional (AKPINAR et al., 2012), que mostra a variação da altura significativa da onda (HS, (m)) em relação à profundidade (m) em uma seção de um perfil transversal sentido norte (N) para sul (S), variante nas profundidades iniciais das isóbatas ao largo até às profundidades próximas à linha de praia. Entretanto, para analisar o efeito da refração da onda durante ao longo d perfil, foi inserido o parâmetro direcional das ondas (θ).

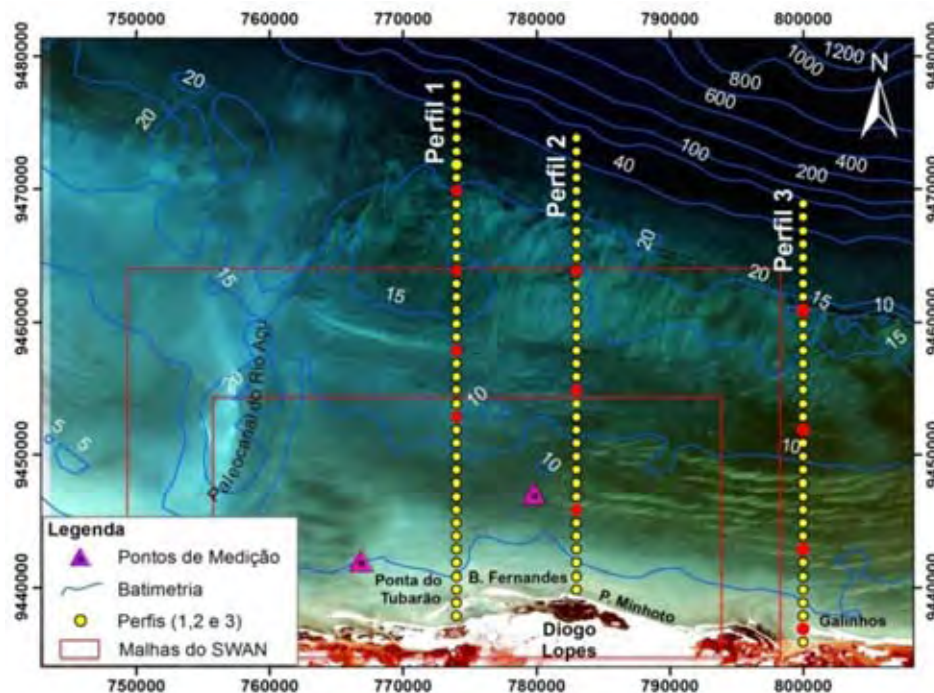


Figura 5. Mapa de localização dos perfis transversais de indicação do relevo submarino.

1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Detalhamento, Comparação e Análise entre os Dados Numéricos (SWAN) com os Medidos (ADCP) de Curtos Períodos de Medições

Ao detalhar o resultado da análise para cada ciclo de período medido, obteve-se uma melhor compreensão da simulação e critérios avaliativos do desempenho do modelo SWAN para determinação do clima de ondas.

A partir das Figuras 6 até a Figura 8, são apresentadas as características e validação do modelo SWAN, para cada período de medição do PT 1 e da Figura 9 até a Figura 13 os resultados para cada período de medição do PT 2.

A aplicação de parâmetros estatísticos permite de forma quantitativa avaliar a concordância (ou não) entre os valores medidos e os valores estimados numericamente. Portanto, os parâmetros estatísticos incluem a média do erro percentual absoluto (MAPE), o valor erro médio quadrático (RMSE), o índice de concordância ou reajuste, representado pela letra “*d*” (WILMOTT, 1981) e o coeficiente de correlação, *R*. Para completar os indicadores estatísticos, para cada período conjunto da modelagem e medição, foi construído o gráfico de dispersão para as alturas significativas da onda, *H_s*.

Vale ressaltar que as análises foram aplicadas para os resultados do domínio da 3ª malha, por esta fornecer os parâmetros da agitação marítima junto à costa, precisamente para os locais de medições a serem comparados, como também por esta malha compreender a plataforma interna, onde a onda começa a sentir o efeito atrito de fundo.

Nas análises dos gráficos das alturas significativas (Figura 6, 7 e 8), observou-se que há uma concordância entre as tendências de crescimento e decaimento entre os valores medidos e previstos. Na fase inicial, há sempre uma pequena diferença entre os valores do SWAN e do ADCP, com valores de HS abaixo de 1 m. Na sequência, tem-se um crescimento das ondas, sendo bem captado pelo SWAN, o que se deve à intensificação dos ventos nesta região, e em alguns momentos quando ocorre a própria sobreposição de ondulação mais expressiva, nos episódios de picos.

Entretanto, em termos de precisão, nota-se que as alturas significativas foram mais bem ajustadas para as medições de dezembro de 2010, apesar de que foram apenas dois dias de medições (11 e 12/12), e ao se analisar os indicadores estatísticos na Tabela 5, há uma boa concordância dos dados. Nas análises do erro MAPE e RMSE, observou-se que as condições do período de dezembro de 2010 apresentaram os menores erros para HS, Tmed e DIR. Nas análises do índice de concordância, d , e do coeficiente de correlação, R , foi mais aceitável para HS acima de 0,50, e sendo abaixo do 0.50 para Tmed e DIR (Tabela 5).

Nos demais períodos o erro MAPE e RMSE foram os maiores observados para todas as condições de agitação, principalmente para HS de agosto de 2012 (Tabela 7), Tmed e DIR de fevereiro de 2011 e agosto de 2012, respectivamente as Tabelas (Tabela 6 e 7). Apesar dos valores de d e R , mostrarem-se acima de 0,50 nas condições de Tmed de fevereiro e nos parâmetros de direção de agosto.

Nas simulações das alturas significativas de fevereiro de 2011 (Figura 7), o SWAN superestimou os dados do ADCP nos dias de medições, a agitação alcançou média de $HS_{máx} = 1,76$ m. Na própria condição dos ventos, observou-se uma alternância de HS diária e contínua ao longo dos dias. Ao contrário, para a campanha de agosto de 2012, houve uma subestimação expressiva do SWAN em relação às alturas significativas medidas, com valores muito inferiores, em que a altura máxima para este período foi de $HS_{máx} = 0.89$ m e $HS_{med} = 0.58$ m, concernente as menores alturas significativas apresentadas obtidas pelo SWAN. Os ventos mostraram-se menos oscilatórios ao longo dos dias, enfraquecendo nas horas finais e iniciais dos dias. Contudo, com relação às alturas significativas dos dados do ADCP, foi o período que apresentou as maiores alturas, com $HS_{máx} = 2.49$ m e $HS_{med} = 1.21$ m, respectivamente. Esse aspecto foi observado por Ângelo (2012) para as mesmas condições de

simulação, empregando, entretanto as formulações de dissipação por *whitecapping* tanto no regime estacionário como também no modo não estacionário.

Em termos de período médio, T_{med} (s), notadamente, os resultados do SWAN, em comparação com as medições, apresentaram uma tendência similar para o período de fevereiro de 2011 (Figura 7), simulando o T_{med} , razoavelmente bem. Nos resultados para dezembro de 2010 (Figura 6) e agosto de 2012 (Figura 8), além do índice de concordância, ser muito baixo, $d = 0.37$ e $d = 0.37$, respectivamente, em toda a condução da simulação, os resultados foram todos subestimados. Teles et al. (2012) e Ângelo (2012), explicam que no caso das comparações em relação os períodos médios, a subestimação é muito mais acentuada nos valores de T_{med} no uso da formulação KOMEN. Tal condição tornou-se ainda mais evidente para as comparações com o valores do PT 2, subestimado.

Em relação aos resultados das direções médias, DIR ($^{\circ}$), no geral verificou-se um mau desempenho do modelo para todos os períodos analisados. É de se notar que há uma variação predominante de ondas de nordeste, leste e sudeste. Como se pode observar nos gráficos de roseta, no resultado das previsões do SWAN e das medições do ADCP, em dezembro de 2010, há uma suave aproximação entre os resultados, e medições quando as ondas predominam de direções nordeste (DIR = 21° e 44° , SWAN e ADCP), respectivamente. Em fevereiro de 2011, há uma subestimação predominante do SWAN em relação às medições. Enquanto os resultados do modelo às ondas predominaram de direção norte-nordeste (DIR = 28°), nos resultados medidos, configurou-se uma predominância de ondas de direções sudeste (DIR = 176°). Em agosto de 2012 observou-se uma característica distinta das direções resultantes do modelo, com predominância de ondas de direções leste e sudeste (DIR = 105°). Ao contrário, em relação dos valores do ADCP, apesar das medições terem variado entre nordeste a sudeste, as ondas que mais predominaram foram as de direções nordeste.

Assim, nas condições em que as alturas significativas apresentaram os menores erros MAPE e RMSE, consequentemente apresentaram os melhores valores de d e R sendo, 0,74 e 0,63, respectivamente. E nas condições que os erros MAPE e RMSE apresentaram-se altos, os valores de d e R alternaram um pouco acima de 0,50 e inferior a 0,50. Porém, o mesmo não ocorre para as condições dos períodos médios e nem das direções das ondas.

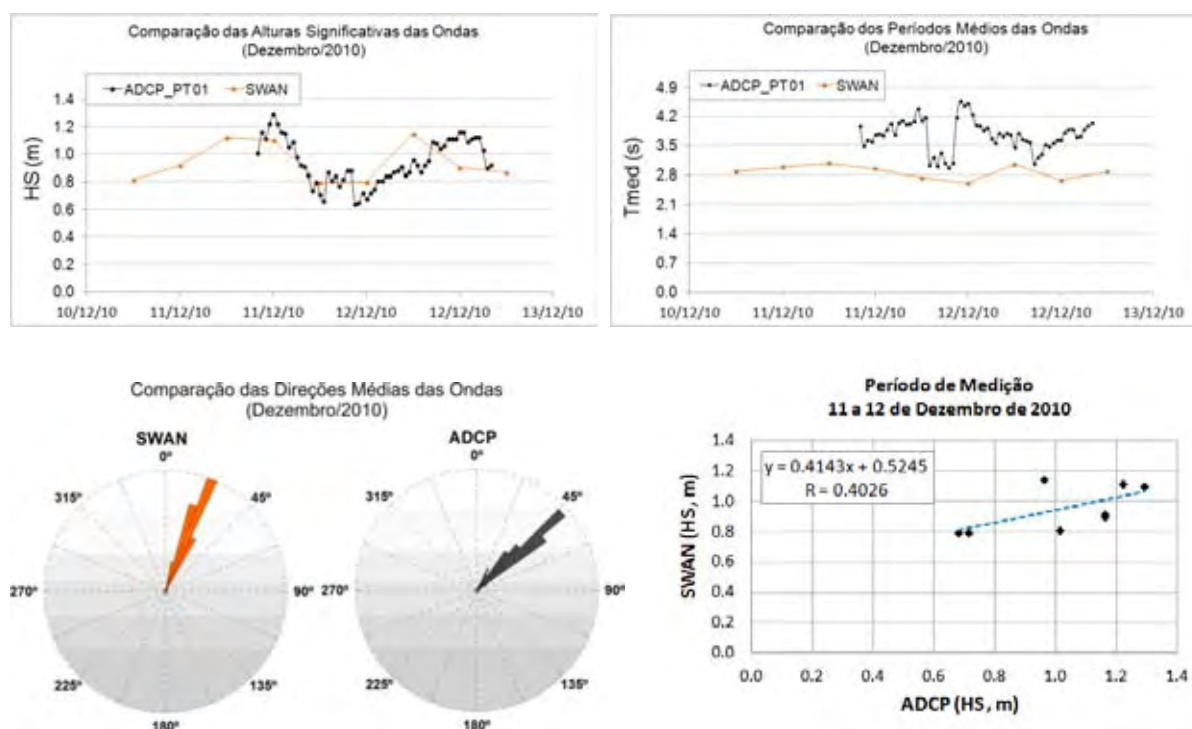


Figura 6. Comparação do resultado da modelagem (SWAN) com os resultados das medições (ADCP) do PT 1, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°) para o período de 11e 12 de dezembro de 2010, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 5. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 1 para o período de 11e 12 de dezembro de 2010.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	10	10	10	61	61	61	MAPE	16.7	7.93	38.39
Máximo	1.14	3.11	29	1.60	4.58	56	RMSE	0.18	0.38	20.26
Média	0.94	2.90	21	0.97	3.76	44				
Mínimo	0.80	2.62	14	0.64	2.98	24	<i>d</i>	0.74	0.37	0.41
Erro Padrão	0.04	0.05	1.5	0.02	0.05	1.0	<i>R</i>	0.63	0.03	0.16
Desvio Padrão	0.13	0.17	4.9	0.20	0.37	7.8				

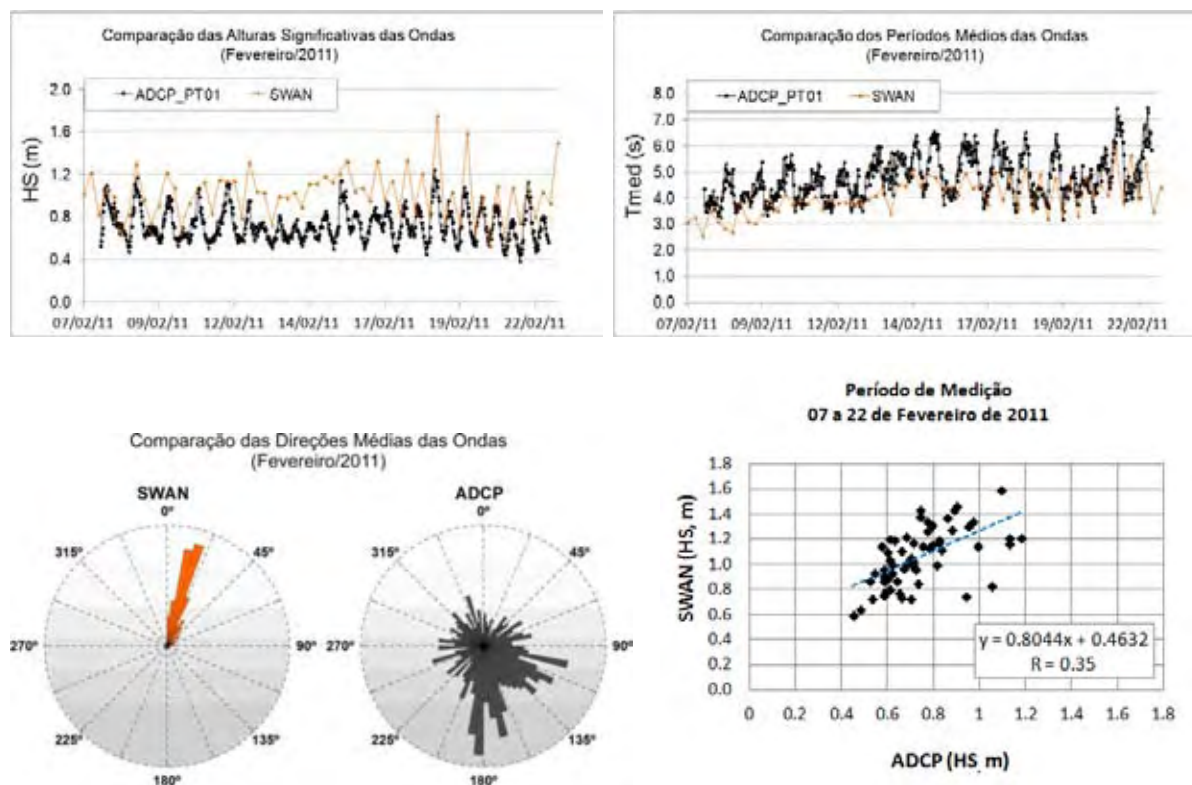


Figura 7. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 1, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°) para o período de 07 a 22 de fevereiro de 2011, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 6. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 1 para o período de 07 a 22 de fevereiro de 2011.

Estatística	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	64	64	64	715	715	715				
Máximo	1.76	5.79	358	1.23	7.48	359	MAPE	47.52	16.86	304.4
Média	1.02	4.11	28	0.73	4.79	176				
Mínimo	0.53	2.68	3.5	0.39	3.19	0.2	RMSE	0.37	0.98	176.7
Erro Padrão	0.03	0.06	5.7	0.01	0.03	3.4	<i>d</i>	0.49	0.61	0.43
Desvio Padrão	0.23	0.47	45	0.15	0.83	9.17	<i>R</i>	0.59	0.53	-0.18

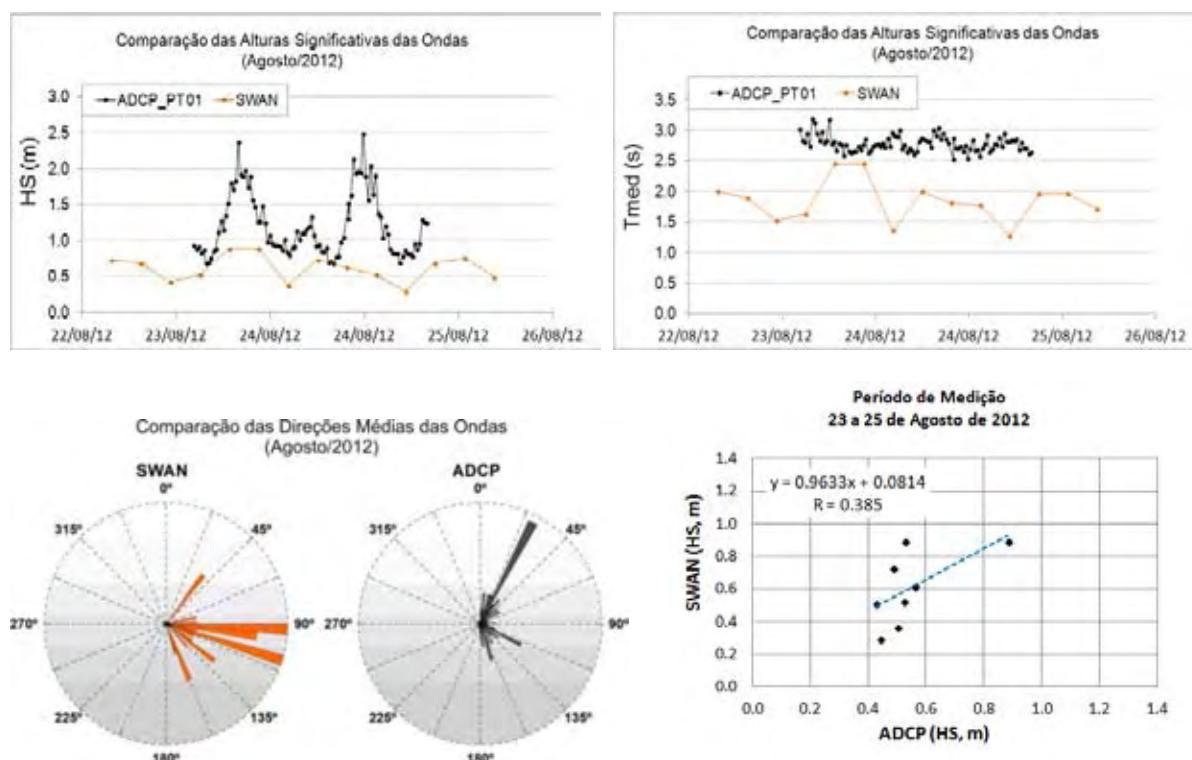


Figura 8. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 1, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR ($^{\circ}$) para o período de 23 a 25 de agosto de 2012, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 7. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 1 para o período de 23 a 25 de agosto de 2012.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	24	24	24	96	96	96	MAPE	26.58	33.90	127.8
Máximo	0.89	2.45	162	2.49	3.19	297				
Média	0.58	1.76	105	1.21	2.79	84				
Mínimo	0.29	1.23	37	0.68	2.53	1.4				
Erro Padrão	0.04	0.07	6.3	0.04	0.01	6.49	d	0.50	0.37	0.55
Desvio Padrão	0.18	0.33	31	0.43	0.13	63	R	0.35	0.23	0.34

Nas análises comparativas em relação às medições do PT 2, apresentadas a partir da Figura 9 até a Figura 13, no geral, observou-se alguns fenômenos semelhantes aos apresentados para as condições de agitação relacionados ao PT 1, essencialmente no que corresponde os períodos médios, com uma subestimação expressiva do SWAN dos valores de

Tmed (s). Entretanto, este ponto está localizado em profundidade superior ao ponto anterior e mais distante da costa, ou seja, os padrões de ondas, simulados e medidos, alteram significativamente para esta condição do PT 2. Outro fator observado quanto às direções das ondas, em geral houve um melhor ajustamento nas comparações efetuadas. Os padrões dos ventos, também configuram e alternam para tais períodos das análises.

Para as condições do PT 2, a tendência do crescimento e decaimento entre os valores são relativamente mais concordantes, havendo uma maior aproximação entre os valores na fase inicial, embora há maior incidência de ondulação mais expressivas durante a simulação, fato este evidenciando as maiores discrepância entre os valores. Em relação à entrada de ondulação mais expressivas, o SWAN respondeu adequadamente as variações impostas ao largo, sobretudo, nas campanhas ocorridas para o ano de 2012 (abril/maio/agosto) (Figuras 11, 12 e 13), o que não ocorreu para as condições de agitação em relação ao PT 1, quando houve uma subestimação do SWAN, para o mesmo período. Entretanto, o PT 1 está mais proximal da costa apresenta profundidades abaixo de 5 m, o que sugere que está mais sujeito, além ao atrito de fundo, à forte influência das correntes presentes nesta região. Ângelo (2012) aplicou para estes mesmos pontos diferentes coeficientes de atrito de fundo, e obteve resultados diferentes. No PT 1 a agitação é mais bem representada através de valores de atrito mais elevado em relação ao PT 2.

Quanto os parâmetros estatísticos, mostrou-se bastante variável para todas as campanhas do PT 2 e para todos os valores de agitação da onda. Em termos das alturas significativas (HS), nas condições em que o MAPE e o RMSE apresentaram os menores erros, 18,65 – 0,24 e 23,56 – 0,16, respectivamente as Tabelas 9 e 12, evidenciaram os melhores índices de concordância, d , 0,76 e 0,71 e os melhores valores de R , 0,60 e 0,84. No período de abril de 2012, os erros MAPE e RMSE foram os maiores, 41,01 e 0,47 resultando nos mais baixos valores de d e R ($< 0,50$), 0,43 e 0,05.

Em termos de período médio, observou-se nos gráficos das simulações o quanto que Tmed foi subestimado, a despeito da variação de profundidade neste ponto, tais valores baixos podem ser devidos à influência do valor alto do coeficiente de atrito de fundo, c , uma vez que a diminuição do valor de c leva a uma menor subestimação de Tmed. Essa mesma condição foi observada por Ângelo (2012); no entanto, também se constatou que, tal pode conduzir a sobrestimação da altura significativa.

Nas considerações dos parâmetros estatísticos dos períodos médios, Tmed, observou-se que novembro - dezembro de 2010 e janeiro de 2011 os erros MAPE e RMSE, foram os menores apresentados, 24,45 – 1,36 e 24,29 – 1,49, respectivamente as Tabelas 8 e 9, sendo

consequentemente os melhores valores de d e R , $0,50 - 0,28$ e $0,50 - 0,35$. Para os demais períodos médios (Tabelas 10, 11 e 12), os valores de MAPE e RMSE, foram os maiores apresentados, enquanto que os valores de d e R , resultaram muito abaixo de $0,50$.

No caso das direções, ao observar não somente os parâmetros estatísticos, mais as tendências notam-se que conduzem um melhor desempenho, a exceção do mês de Agosto de 2012, que esteve sob condições bem distintas em relação aos demais períodos analisados. De qualquer forma tanto para as condições de agitação do PT 1 quanto do PT 2, os resultados das direções de ondas mantêm-se impassível para as diferentes simulações. Resultando em erros MAPE e RMSE sempre muito altos, principalmente para os valores de agosto de 2012 (Tabela 12), e também valores de d e R muito abaixo de $0,50$ para todos os períodos de agitação.

Tais resultados apresentados, em geral, evidenciam que o uso da mesma formulação KOMEN para todo o conjunto da modelagem pode ter influenciado nos dados, pois uma mesma formulação para todo o conjunto de dados (gama de vários períodos de medição) nem sempre reproduziu melhores resultados para todos os parâmetros. Observou-se que o mesmo coeficiente de atrito de fundo, c , ora sobrestima as alturas significativas ou ora subestima os períodos médios. Sugerindo que a forma mais adequada é o uso da melhor formulação que ajuste e modele melhor cada parâmetro, tal como efetuado por Ângelo (2012), ou seja, utilizar a formulação que melhor ajuste os valores para HS, e outra formulação que melhor modele os valores de Tmed e assim, o que melhor modele os valores de DIR.

As avaliações estatísticas dos dados mostraram-se muito mais aceitáveis para o conjunto das alturas significativas do que para os períodos médios. Alguns trabalhos mostram semelhantes valores estatísticos ao comparar os resultados obtidos pelo modelo SWAN com os obtidos das estações de medições, tais como os resultados obtidos por Lin et al. (2002) ($R = 0,51$ para HS e $R = 0,12$ para Tp) e Moeini e Etemad-Shahidi (2009) ($R = 0,83$ para HS e $R = 0,48$ para Tp). Ambos utilizaram o modelo SWAN para simulação de ondas na Baía de Chesapeake e do Lago Erie, respectivamente, e nos dois casos as alturas significativas foram sempre melhor ajustadas ou reproduzidas. Também analisando os resultados obtidos por Akpınar et al. (2012) ($R = 0,67$ para HS e $R = 0,42$ Tmed), que aplicou o SWAN para simular as ondas do Mar Negro, novamente percebeu-se que para as alturas significativas obtiveram melhores resultados e, em todos os casos, se verificou uma ligeira subestimação na previsão dos parâmetros de ondas para os períodos simulados.

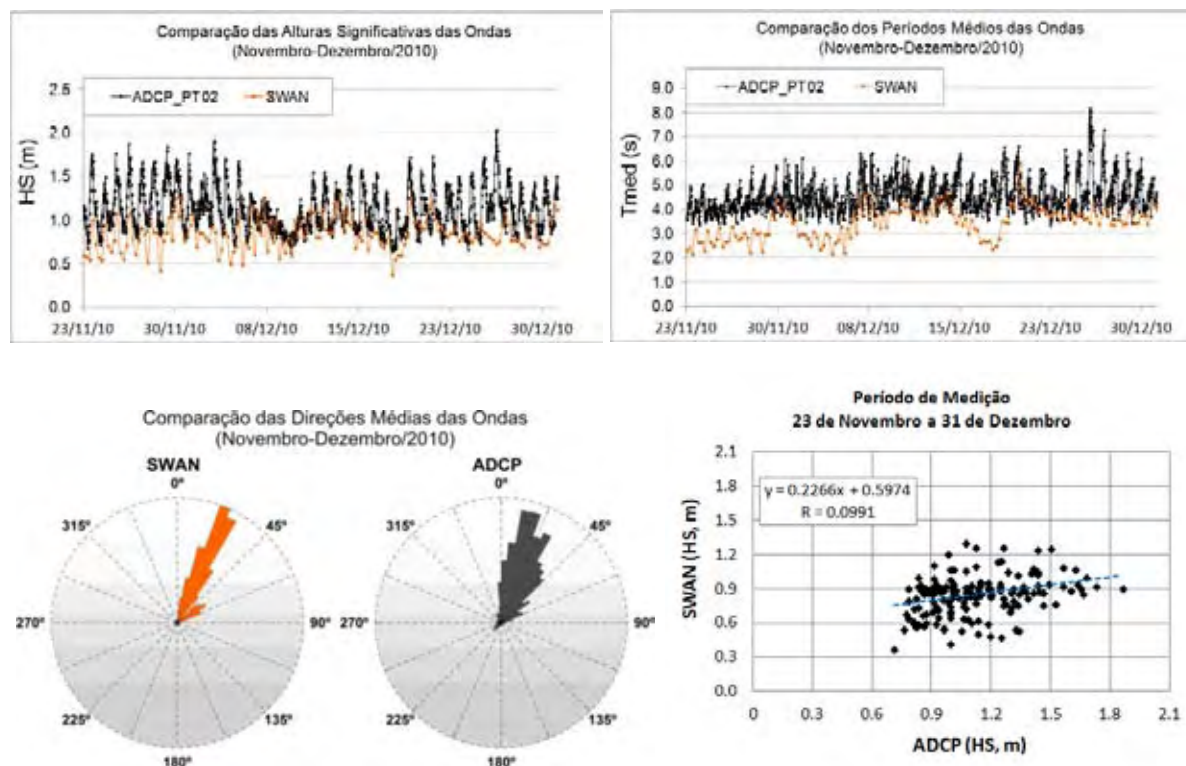


Figura 9. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 2, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR ($^{\circ}$) para o período de 23 a 31 de dezembro de 2010, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 8. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 2, para o período de 23 a 31 de dezembro de 2010.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	157	157	157	1900	1900	1900				
Máximo	1.31	5.91	79	2.04	8.18	359	MAPE	24.24	24.45	139.4
Média	0.58	3.47	32	1.13	4.53	85	RMSE	0.36	1.36	118.7
Mínimo	0.29	2.14	7.4	0.64	3.36	0.03				
Erro Padrão	0.04	0.05	1.3	0.01	0.02	2.5	<i>d</i>	0.50	0.44	0.38
Desvio Padrão	0.18	0.66	16	0.25	0.67	111	<i>R</i>	0.31	0.28	0.04

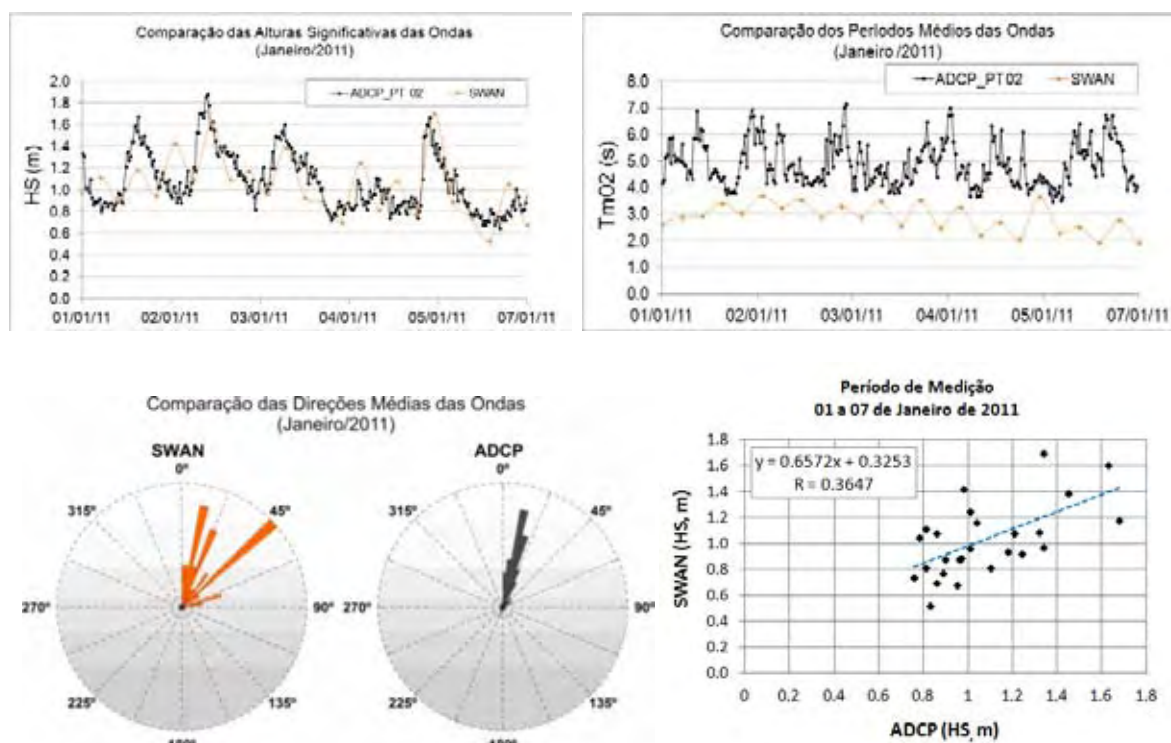


Figura 10. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 2, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR ($^{\circ}$) para o período de 01 a 07 de janeiro de 2011, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 9. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 2, para o período de 01 a 07 de janeiro de 2011.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Número de Dados	32	32	32	308	308	308	MAPE	18.65	24.29	91.59
Máximo	1.70	5.18	80	1.88	7.18	359				
Média	1.01	3.68	33	1.06	4.90	61				
Mínimo	0.53	2.37	4.08	0.65	3.50	0.46	RMSE	0.24	1.49	91.48
Erro Padrão	0.05	0.10	3.97	0.02	0.05	5.3	<i>d</i>	0.76	0.50	0.36
Desvio Padrão	0.28	0.55	22	0.27	0.81	94	<i>R</i>	0.60	0.35	0.30

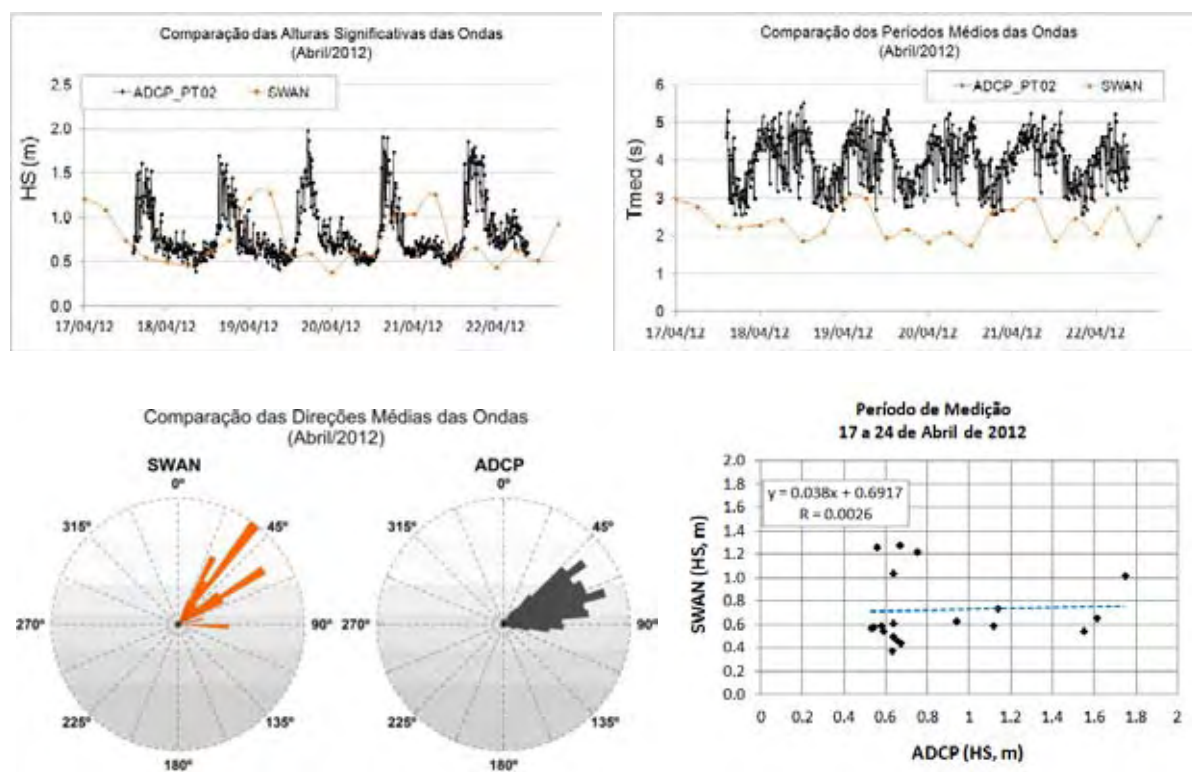


Figura 11. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 2, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR ($^{\circ}$) para o período de 17 a 24 de abril de 2012, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 10. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 2, para o período de 17 a 24 de abril de 2012.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	24	24	24	690	690	690	MAPE	41.01	26.89	47.78
Máximo	1.28	3.79	92	1.98	5.51	359	RMSE	0.47	1.48	42.79
Média	0.76	3.01	48	0.83	3.97	78				
Mínimo	0.39	2.13	23	0.40	2.55	0.9	<i>d</i>	0.43	0.35	0.38
Erro Padrão	0.06	0.10	3.9	0.01	0.03	1.9				
Desvio Padrão	0.29	0.51	19	0.32	0.67	51	<i>R</i>	0.05	-0.34	-0.09

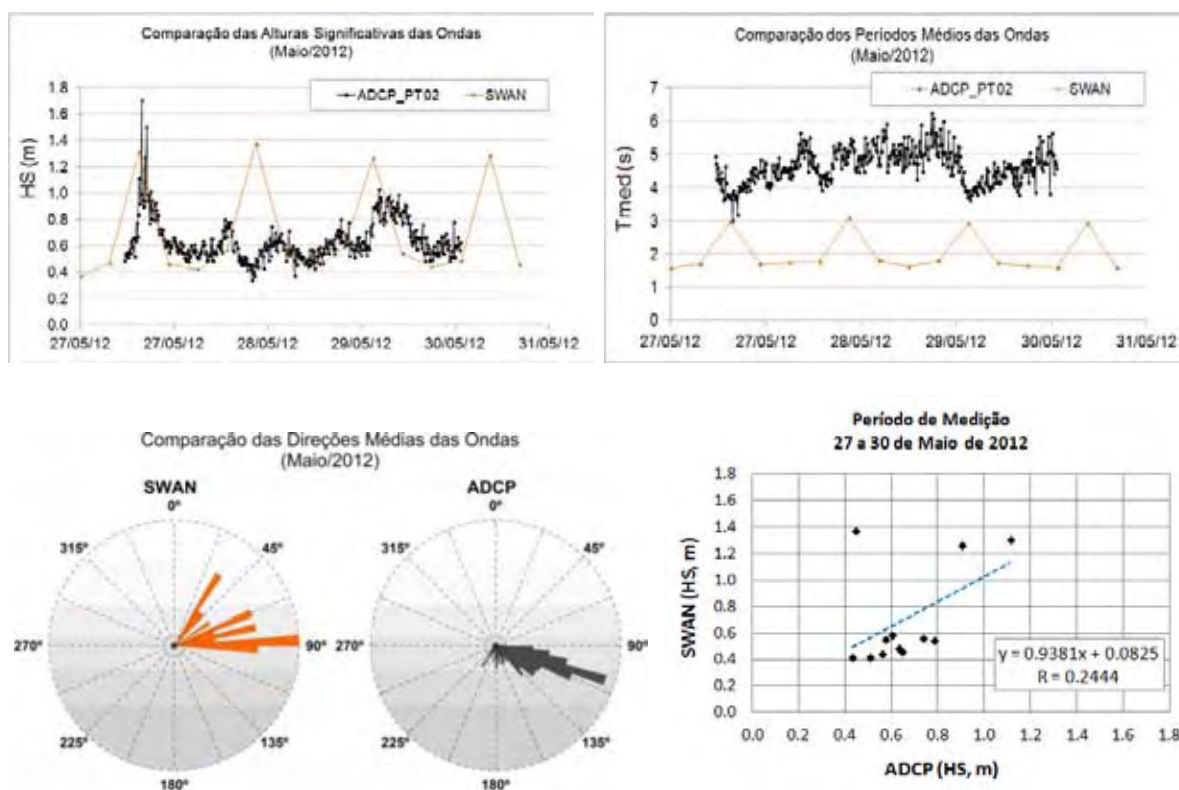


Figura 12. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 2, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°) para o período de 27 a 30 de maio de 2012, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 11. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 2, o período de 27 a 30 de maio de 2012.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	16	16	16	414	414	414	MAPE	34.58	54.14	48.17
Máximo	1.37	3.07	92	1.71	6.25	271		RMSE	0.31	2.61
Média	0.69	2.01	68	0.64	4.64	133	<i>d</i>		0.65	0.15
Mínimo	0.36	1.56	30	0.34	3.02	40		<i>R</i>	0.50	-0.37
Erro Padrão	0.09	0.14	5.4	0.01	0.03	1.9				
Desvio Padrão	0.37	0.58	21	0.16	0.52	38				

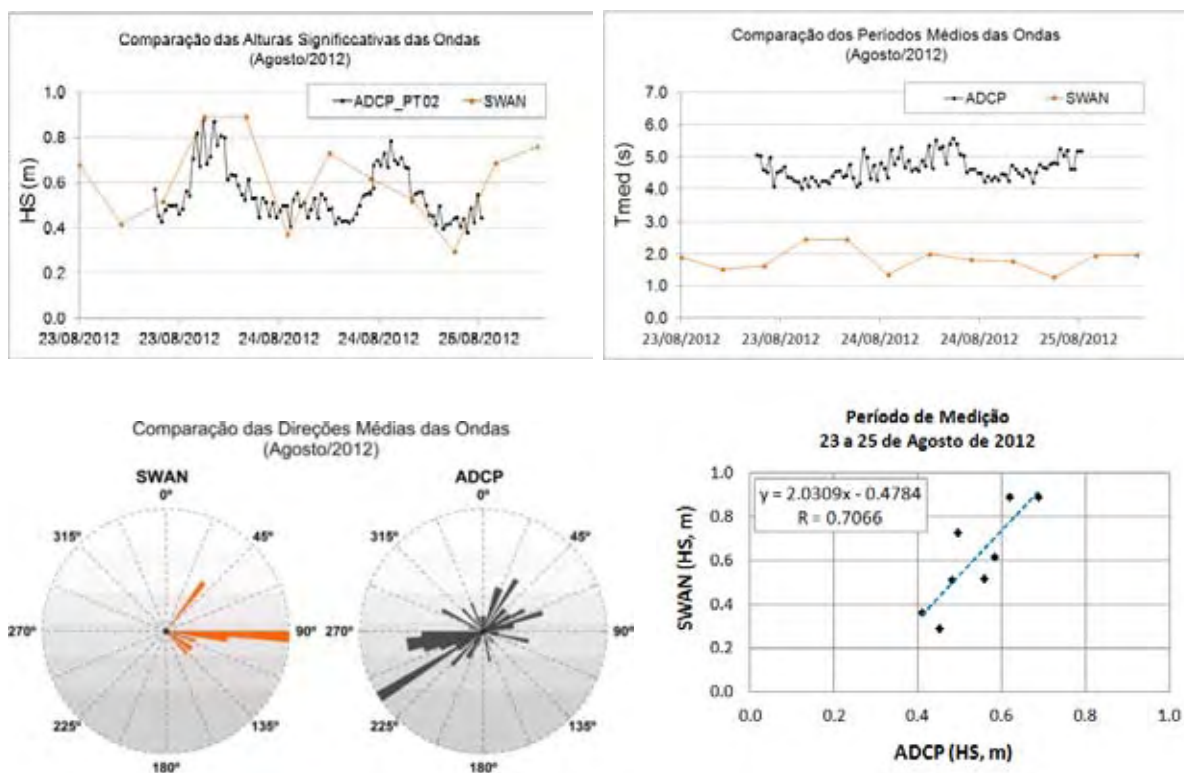


Figura 13. Resultado da modelagem (SWAN) e comparação com os resultados obtidos das medições (ADCP) do PT 2, para os parâmetros: HS (m), Tmed (s) e DIR (°) para o período de 23 a 25 de agosto de 2012, com verificação por meio do gráfico de dispersão para HS.

Tabela 12. Estatística descritiva e demais parâmetros estatísticos do conjunto de dados resultantes da modelagem e das medições do PT 2, para o período de 23 a 25 de agosto.

Estatística Descritiva	SWAN (m, s, θ)			ADCP (m, s, θ)			Parâmetros Estatísticos			
	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	HS	Tmed	DIR	
Amostragem	12	12	12	92	92	92				
Máximo	0.89	2.45	139	0.88	5.59	356	MAPE	23.56	60.05	142.5
Média	0.61	1.84	94	0.54	4.66	177				
Mínimo	0.29	1.27	36	0.38	4.05	2.9	RMSE	0.16	2.90	153.7
Erro Padrão	0.05	0.11	9.1	0.01	0.04	10.9	<i>d</i>	0.71	0.11	0.42
Desvio Padrão	0.19	0.37	31	0.11	0.37	104	<i>R</i>	0.84	-0.61	-0.08

3.2 Análise da Evolução Espacial do Clima de Ondas e sua Interação com a Compartimentação Submarina da Plataforma Continental

As zonas costeiras são caracterizadas principalmente pela complexidade hidrodinâmica, resultante da interação de ondas, correntes e ventos com os fundos marinhos.

A plataforma continental do litoral setentrional do Rio Grande do Norte é de profundidade rasa, onde os efeitos de águas rasas podem desempenhar um importante papel na configuração do relevo submerso. Devido sua abertura ser voltada para norte (N), e levando em conta seu posicionamento geográfico, fortemente afetado pela zona de confluência dos alísios (ZCA), este setor recebe ondas principalmente dos quadrantes: norte (N), nordeste (NE) e leste-sudeste (E-SE).

A partir das Figuras 14, 15 e 16 são apresentados os resultados relativos à propagação efetuada com o SWAN no domínio do cálculo. Para esta análise, foi definido algumas condições de agitação considerando HS, Tmed e DIR na grade espacial, para dias e horários significativos das simulações, compreendidas entre nos meses de Fevereiro, Maio, Outubro e Dezembro, respectivamente de 2011 e 2012: 18/02/2011 – 12:00h; 19/05/2011 – 12:00h; 26/10/2011 – 12:00; 15/12/2011 – 06:00; 07/02/2012 – 12:00h; 28/05/2012 – 12:00h; 25/10/2012 – 12:00h; 14/12/2012 – 18:00h. Portanto, nas Figuras 14 a 16, são apresentados os resultados da simulação espacial no domínio do cálculo, considerando as malhas: *exterior*, *intermediária* e *interior*.

As mais significativas alterações ocorrem em termos de evolução espacial das HS, Tmed e DIR (respectivamente, as Figuras 14, 15 e 16), sobretudo na borda da zona costeira rasa, sobretudo, abaixo das profundidades de 15 m, no domínio das malhas intermediária e interna. Na zona que também é caracterizada como plataforma continental interna conforme Gomes e Vital (2010) Gomes (2012) é uma zona marcada por feições de fundo como os campos de dunas longitudinais simétricos e assimétricos significativamente pronunciados, as ondulações tornam-se mais alinhadas a batimetria, resultado da refração e difração das ondas, resultando em variações e redução das alturas de onda nas mediações do paleocanal de Rio Açu, na zona frontal a Macau e nas regiões adjacentes as foz dos estuários.

Em termos das simulações para os períodos médios (Figura 15), há uma semelhança em relação às simulações para HS, evidenciando as maiores alterações nas profundidades abaixo de 15 m, e as ondas com os maiores períodos médios restringindo-se acima desta isóbata, nas regiões de águas mais profundas.

De modo geral, em termos de direções (Figura 16), apresentam-se tipicamente de nordeste, entretanto, tendem a passar por um sensível efeito de refração em alguns nos setores das zonas das plataformas intermediária e interna da costa, justamente nas mediações de paleocanal, na foz dos estuários e na área adjacente as ilhas barreiras Ponta do Tubarão e Fernandes. Também se pode observar ondas se aproximando da costa em ângulo mais refratado (a componente leste para nordeste), os mais representativos foram para os estado de agitação do dia 26 de outubro de 2011 e, em 28 de maio de 2012 (Figura 16).

Na Figura 16, correspondente ao estado de agitação de 19/05/2011 – 12:00h, observa-se uma forte orientação de direções de propagando-se de leste para oeste, que pode ser resultante tanto pela incidência dos ventos, caracterizados para esta condição com velocidades de aproximadamente de 7,1 m/s, ou impulsionado pela corrente de deriva litorânea nesta zona próxima à costa, ou ainda pode estar associado a componente de maré vazante. Na zona que contorna o paleocanal do Rio Açú, também se observa uma ondulação de nordeste, depois voltando a uma ondulação mais de leste.

Então, a ondulação nordeste é mais intensa na região norte (N) da malha exterior. Ou seja, conforme explica Akpınar et al. (2012), quando há variação das condições de origem normalizada, em águas profundas os processos de entrada de ventos, dissipação por *whitcapping* e interações de ondas quádruplas são dominantes, caso evidenciado no domínio da malha 1.

Portanto, é de se notar que em termos do SWAN, as simulações foram bem representáveis para este litoral, evidenciado como a agitação marítima se propaga nesta plataforma, mostrando claramente uma maior alteração na zona abaixo da cota de 15 m de profundidade. Mostrando-se assim, o quanto que as feições de fundo interagem na transformação da onda que é gerada ao largo até a zona próximo da costa, das bordas rasas, e nos setores do paleocanal do Rio Açú.

Esta interação será mais bem discutida no próximo item, correlacionando à evolução da onda em águas rasas, por meio de perfis transversais.

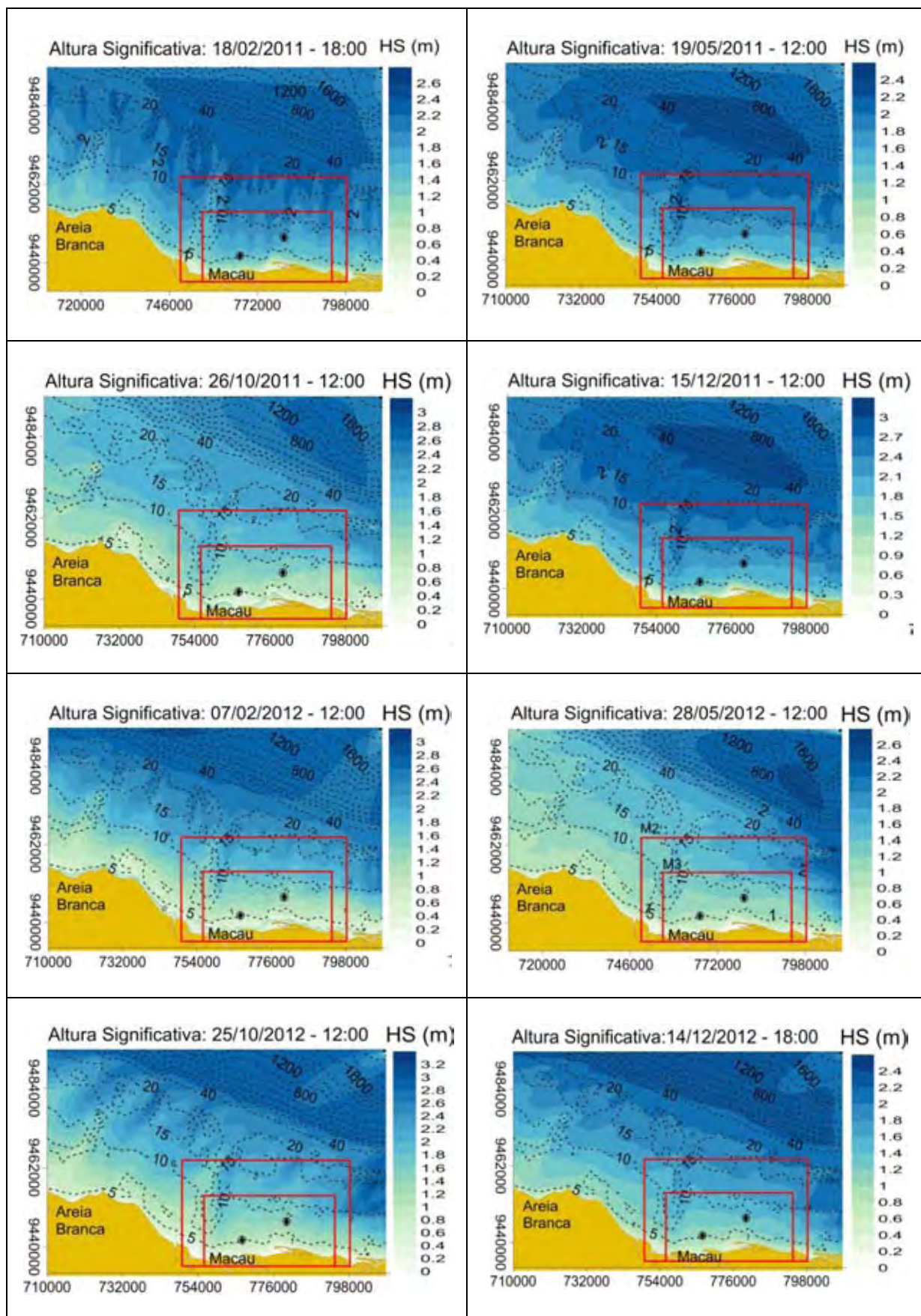


Figura 14. Resultados das simulações do SWAN para o parâmetro HS no domínio das malhas para vários estados de agitação, com indicação das isóbatas na malha.

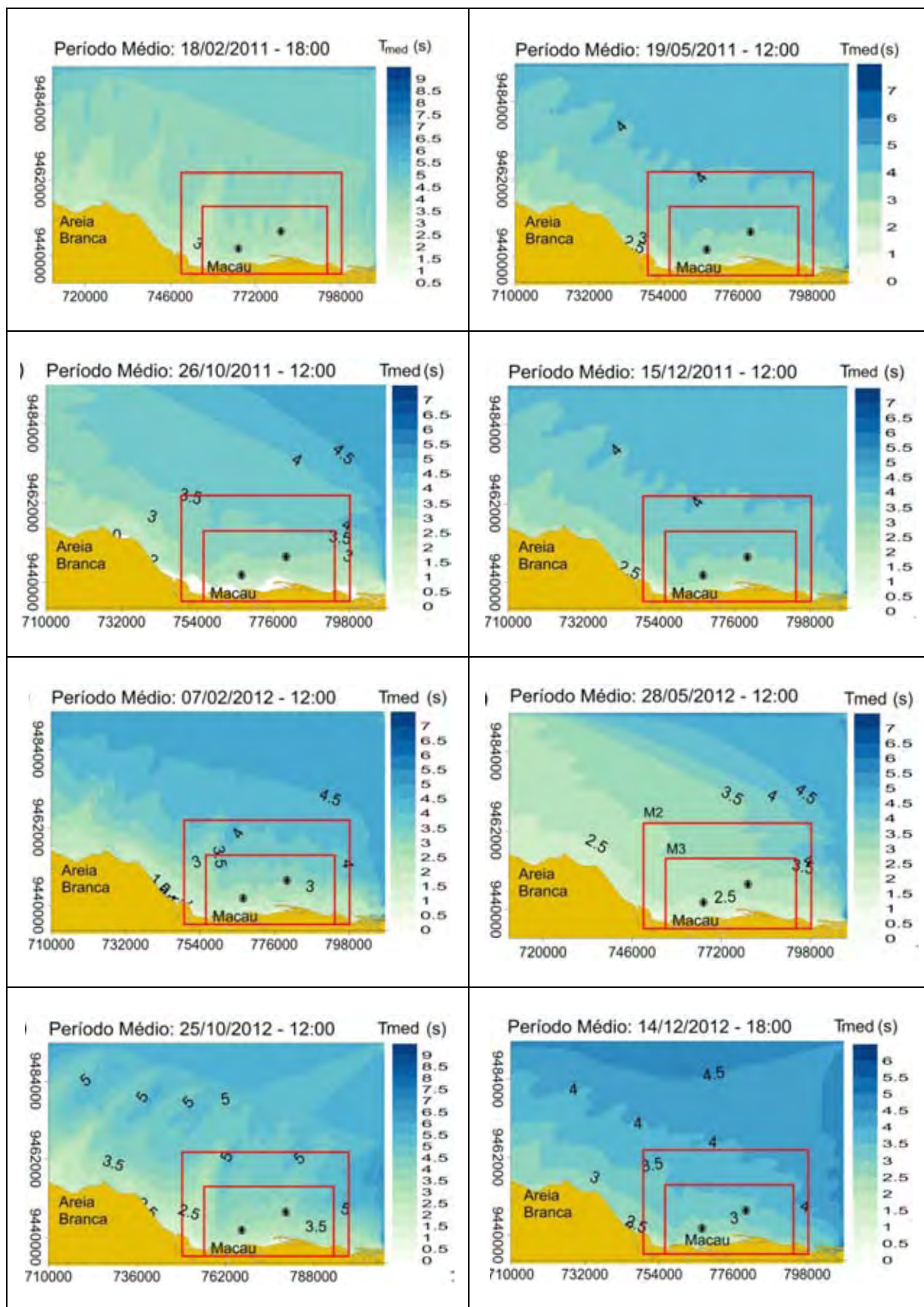


Figura 15. Resultados das simulações do SWAN para o parâmetro T_{med} no domínio das malhas para vários estados de agitação.

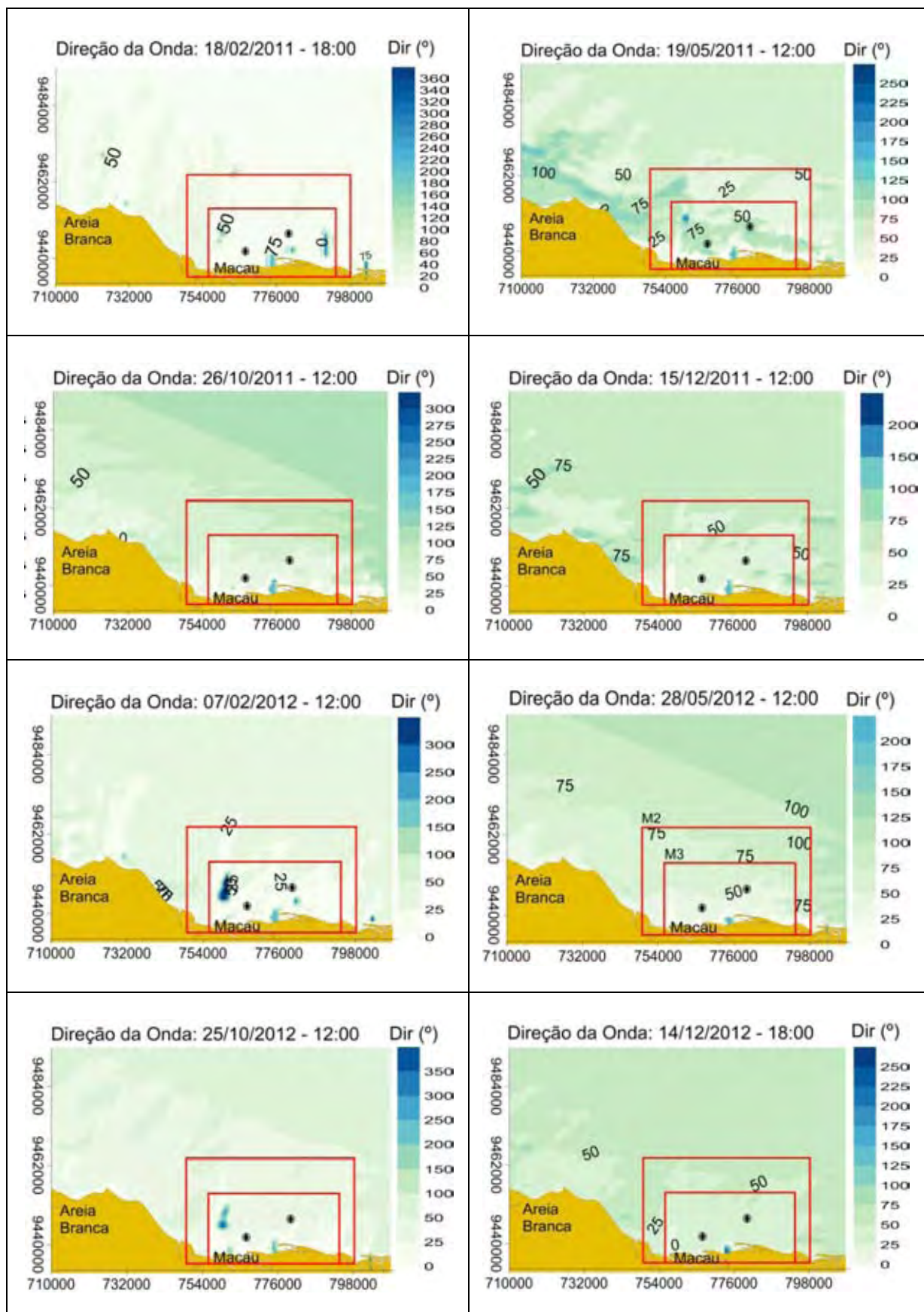


Figura 16. Resultados das simulações do SWAN para o parâmetro DIR no domínio das malhas para vários estados de agitação.

3.3 Análise do Perfil Transversal da Evolução da Onda em Águas Rasas

A interação das ondas com os fundos marinhos de plataformas rasas, 0 - 30 m podem ser caracterizadas em três etapas: **a)** o empolamento, que consiste na diminuição do comprimento de onda e do aumento da amplitude e da assimetria da onda; **b)** a rebentação onde ocorrem os processos de dissipação e de transferência de energia da onda, responsáveis pela geração de correntes litorais que são os escoamentos mais importantes, em termos de velocidade e de capacidade de transporte sedimentar; **c)** e, o espraiamento da onda na face da praia. Fenômenos estes considerados nos cálculos do SWAN, versão 40.72 AB. Fora da zona de arrebatção, o atrito de fundo exerce um importante papel.

A plataforma continental do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte é caracterizada por ser uma plataforma rasa, é marcada uma sequencia de feições submarinas, com importante papel na configuração deste relevo submerso, tais como: campos de dunas longitudinais simétricas e assimétricas; campos de dunas transversais; dunas subaquáticas longitudinais paralelas à costa; corpos arenosos marinhos rasos isolados; linhas de rochas praiais; e paleocanais identificados por Gomes e Vital (2010), conforme mostra a Figura 17 que evidencia e destaca algumas destas feições do fundo marinho deste Litoral.

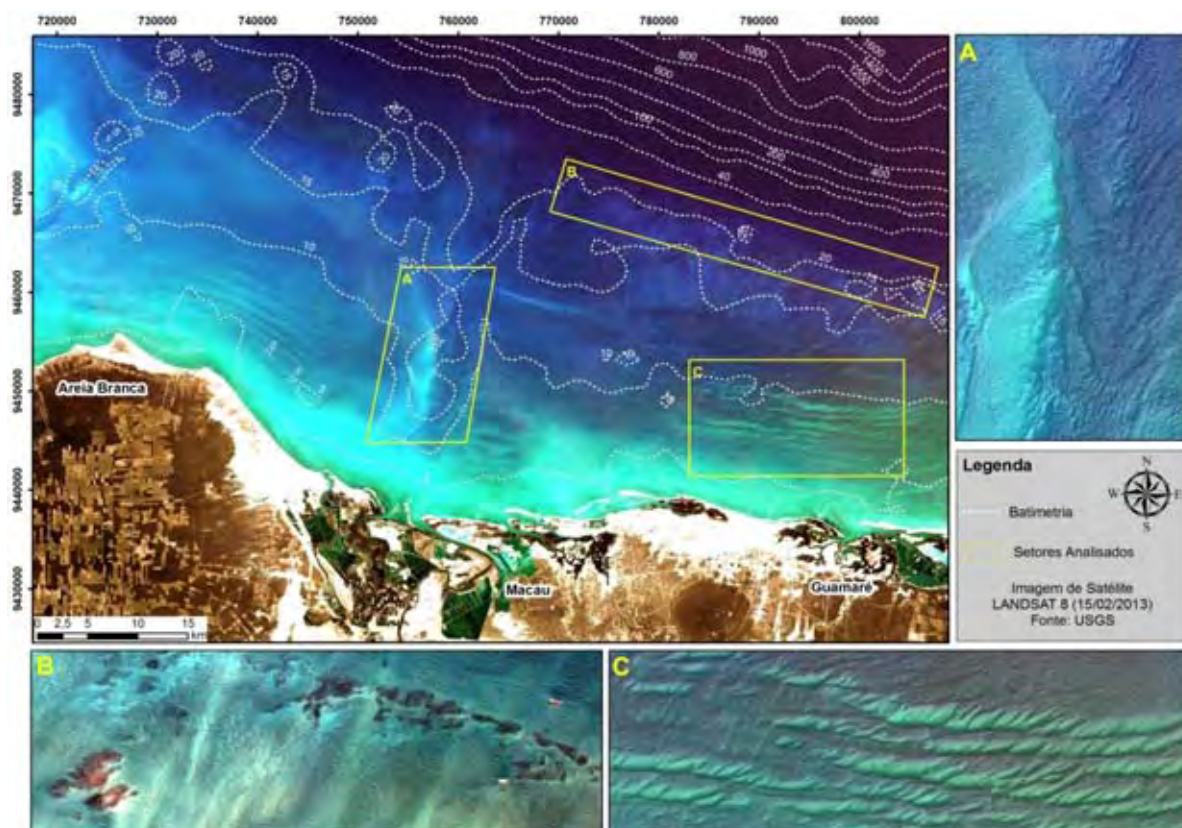


Figura 17. Mapa exemplificando setores de análise do relevo submerso. Em destaque a batimetria e: **a)** paleocanal do Rio Açú; **b)** linhas de rochas praiais; e, **c)** campos de dunas longitudinais simétricas e assimétricas (GOMES e VITAL, 2010).

Para analisar a interação das ondas com as feições de fundo, observou-se a evolução da onda a partir de três perfis espaciais, distribuídos transversalmente à costa: *perfil 1*, *perfil 2* e *perfil 3*, para cada perfil foi selecionado dois estado de agitação de momentos distintos.

Em ambos os casos, observou-se que em de condições de variações de origem normalizadas mostraram a importância do papel do atrito de fundo quando as ondas entram em águas menos profundas, principalmente, nas seções com presenças das feições de fundo. Nestas condições, à medida que as ondas se propagam em direção à costa, há alterações da altura significativa da onda.

Perfil 1

No primeiro caso, perfil 1 (Figura 18), os momentos de agitação considerados foram dos dias: 12 e 18 de dezembro de 2010, às 12:00h e às 6:00h, caracterizados por condições de ventos de 10.3 m/s e 36.3°, 10.3 m/s e 65°, respectivamente, Figura 18A e Figura 18B. Este perfil compreende uma distância de 40 km, ao longo da longitude $X = 774000\text{-W}$, e iniciado na latitude $YI = 9477842\text{-S}$ em profundidades de 53 m e evolui até a latitude final de $YF = 9437842\text{-S}$, próximo da linha de praia em profundidades abaixo de 1 m.

Em ambos os momentos (A e B), nota-se uma sensível alteração da altura significativa da onda (HS), sempre que passa a sentir o fundo. Na condição (A), foi mais notório ao passar pelos campos de dunas subaquáticas longitudinais à costa, identificados em P1. Nas direções observa-se o processo de refração devido à mudança de direção da onda de 28° nas mediações do P1 para cerca de 4° próximo da linha de praia.

Nas condições em (B), observa-se uma variação mais elevada desde o P4, caracterizada pela presença das rochas praias, distantes 32 km da costa, em profundidades de 14 m, a partir daí observa uma diminuição gradual de HS, retornando a crescer ao atingir o P2, este caracterizado por sequência ainda de dunas transversais. Em seguida, acontece uma suave redução de HS, voltando uma a crescer no P1 e a dissipar até a zona de rebentação. Em termos de direções, a variação foi mais brusca entre o P2 e P1, com uma mudança de 68° para 88°. A partir daí, a onda segue refratando gradativamente até próximo da praia para 28°.

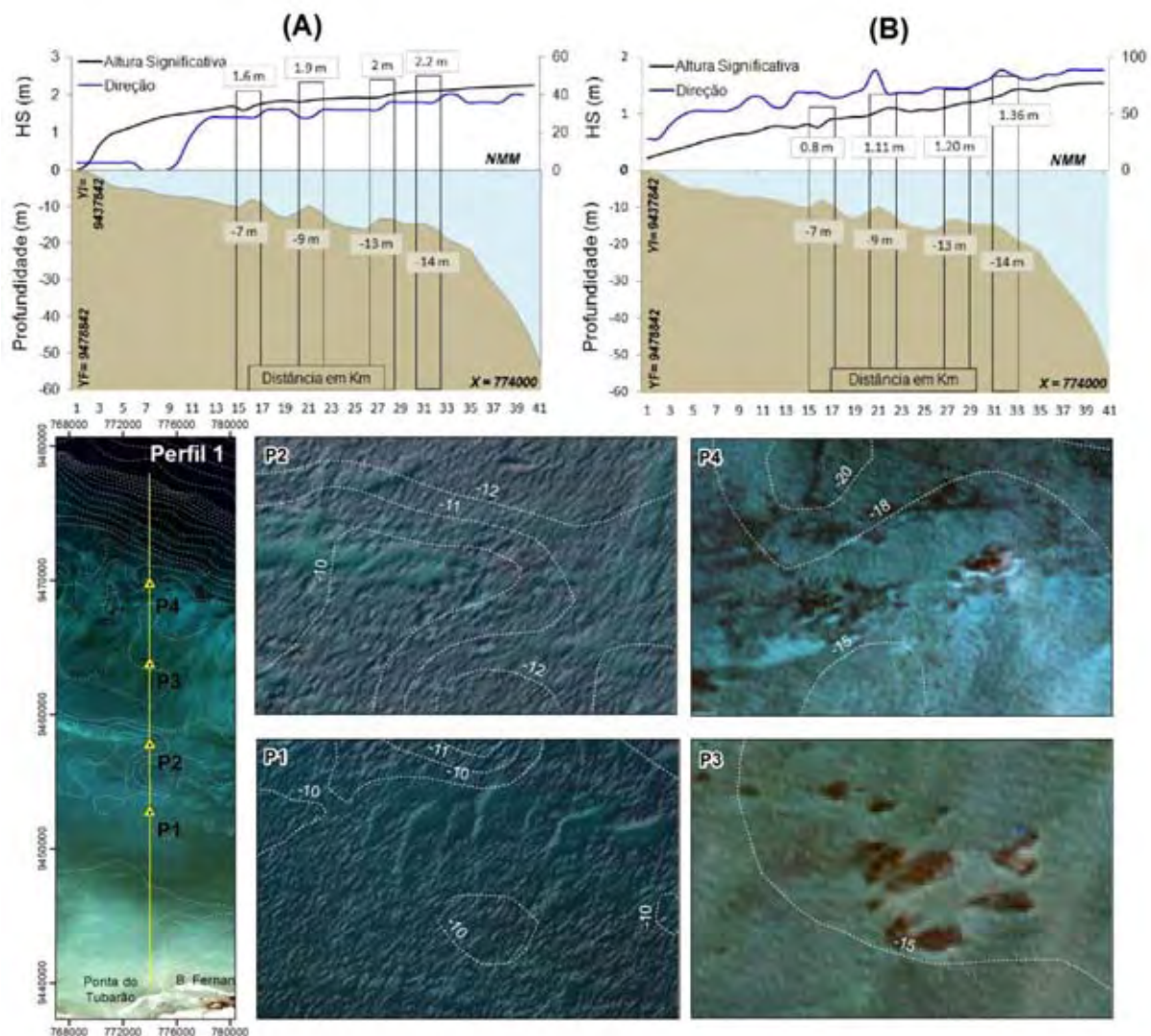


Figura 18. Perfil 1, transversal à costa, indicando a evolução da onda: A) condição de agitação de 12/12/2010, às 12:00h; B) 18/12/2010, às 6:00h. Associação das formas de fundo: P1 e P2, dunas subaquáticas longitudinais; P3 e P4, rochas praias.

Perfil 2

Para o perfil 2 (Figura 19), os momentos de agitação escolhidos foram os dias: 05 de janeiro às 12:00h, e, 18 de fevereiro às 18:00h, em 2011, sob condições de ventos de 9,6 m/s e com direções médias de 70° , e 9,8 m/s e direções médias 16° . A seção transversal do perfil tem 34 km de comprimento, onde a latitude inicial é $YI = 9473842-S$, na profundidade de 57 m e, latitude final, seguindo o sentido para a costa de $YF = 9439842-S$, na profundidade de 1 m, seção esta ao longo da longitude $X = 783000-W$.

Nas condições do Perfil 2, tanto as condições em (A) quanto em (B), os efeitos do fundo foram mais evidentes no P1 durante a passagem da onda pela sequência dos campos de dunas

longitudinais simétricos e assimétricos, próximo a 4 m de profundidade e a distância de 10 km da costa, apesar de haver um leve crescimento em relação a passagem pelo P3, caracterizado por algumas estruturas de feições de fundo como as rochas praias. As mudanças das direções foram mais bruscas sempre nas passagens das feições geomorfológicas, refratando da direção máxima de 40° (águas mais profundas) para cerca de 16° próximo da costa.

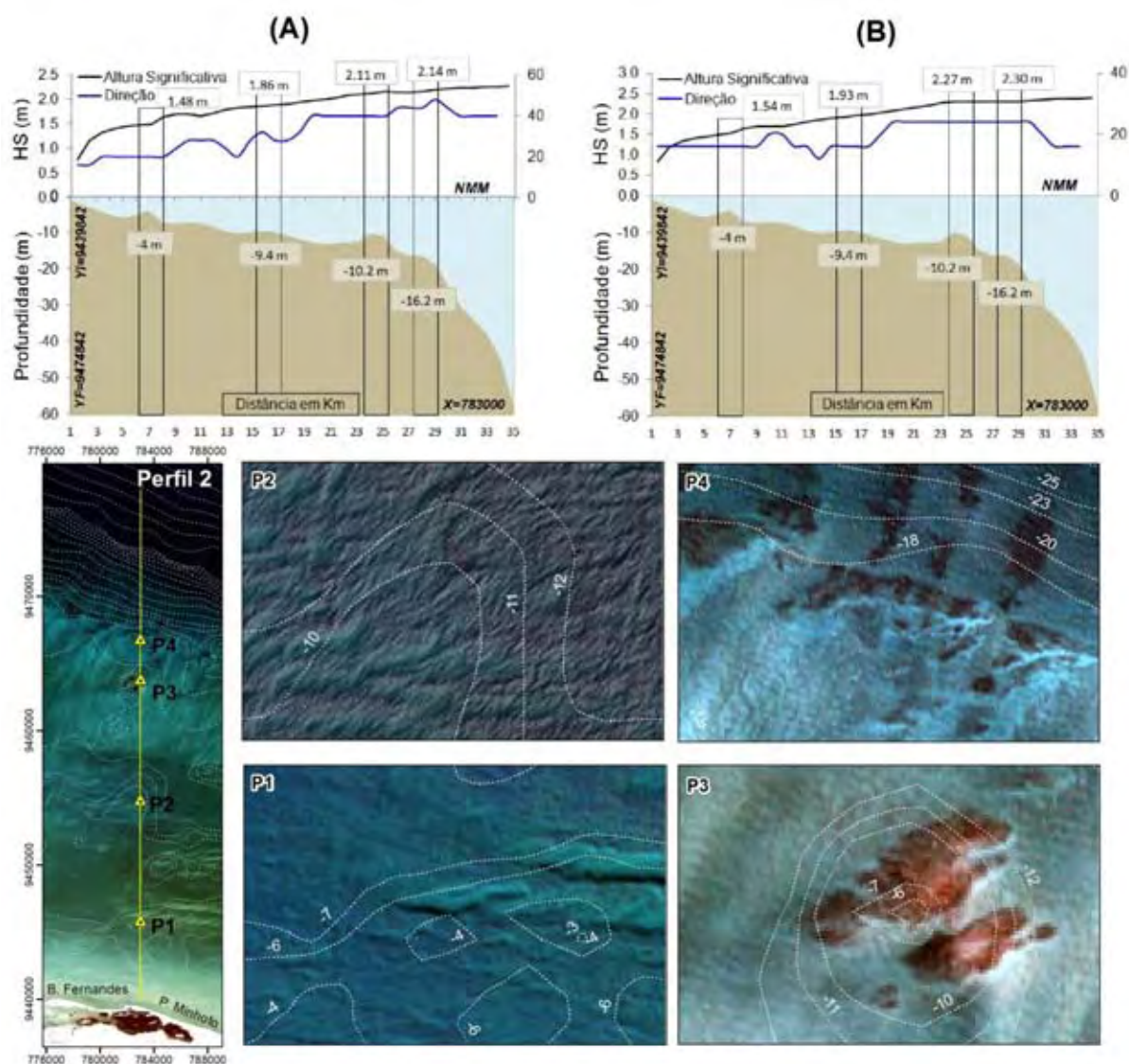


Figura 19. Perfil 2, transversal à costa, indicando a evolução da onda: A) condição de agitação de 05/01/2011, às 12:00h; B) 18/02/2011, às 18:00h. Associação das formas de fundo: P1 e P2, campos de dunas longitudinais simétricas e assimétricas; P3 campos de dunas transversais e P4, rochas praias.

Perfil 3

Para o perfil 3 (Figura 20), os dias de agitação foram os de 28 de maio, às 12:00h e 23 de agosto, às 12:00h, em 2012, com condições de ventos de velocidades de 8,8 m/s e 31° , e, 9,3 m/s e 82°

de direções médias. Este perfil transversal estende-se ao longo de 36 km de extensão ao longo da longitude $X = 800000 - W$, onde se inicia na latitude $YI = 9468842-S$, na profundidade de 63 m e latitude final $YF = 9432842-S$, em profundidade de 1,7 m às proximidades da linha de praia.

Este perfil evidencia a passagem de HS por formações de fundo significativamente proeminentes, iniciando no alto gradiente de profundidade (P4), caracterizado por linha de rochas praias, em profundidades de 11 m, onde a onda passa a sentir o fundo. Em seguida, na passagem pelo P3, este com formas de pequenos campos de dunas, em ambos os períodos de analisados, novamente a onda volta a sentir o fundo, evidenciando o processo de empolamento. Na passagem pelo P2, caracterizados pelos campos de dunas longitudinais simétricos e assimétricos, a alteração da onda ao sentir o fundo é mais evidente nas condições do primeiro dia (A). Ao atingir a profundidade muito inferior a 2 m, a onda tende a rebentar e dissipar-se, tanto nas condições de (A) quanto de (B).

Nas direções médias, as alterações de direções foram muito evidentes para os momentos de agitação analisado, notam-se mudanças muito bruscas ao passar pelos gradientes submersos, principalmente a partir do P3 em direção ao P1, com variação de direções de sudeste (SE) e nordeste (NE) notadamente ao aproximar na zona próxima da praia.

Assim, as análises dos perfis transversais de evolução da onda evidenciaram expressivas alterações de HS e DIR nas zonas de interação com as feições de fundo. Nas águas mais profundas, observa-se pouca alteração de HS e DIR, e, em todos os casos analisados as alterações, iniciam-se na plataforma continental externa e durante a passagem pela linha de rochas praias, a partir de então, as ondas tendem a variar nas alturas, até a zona de dissipação e espraiamento da onda na face da praia.

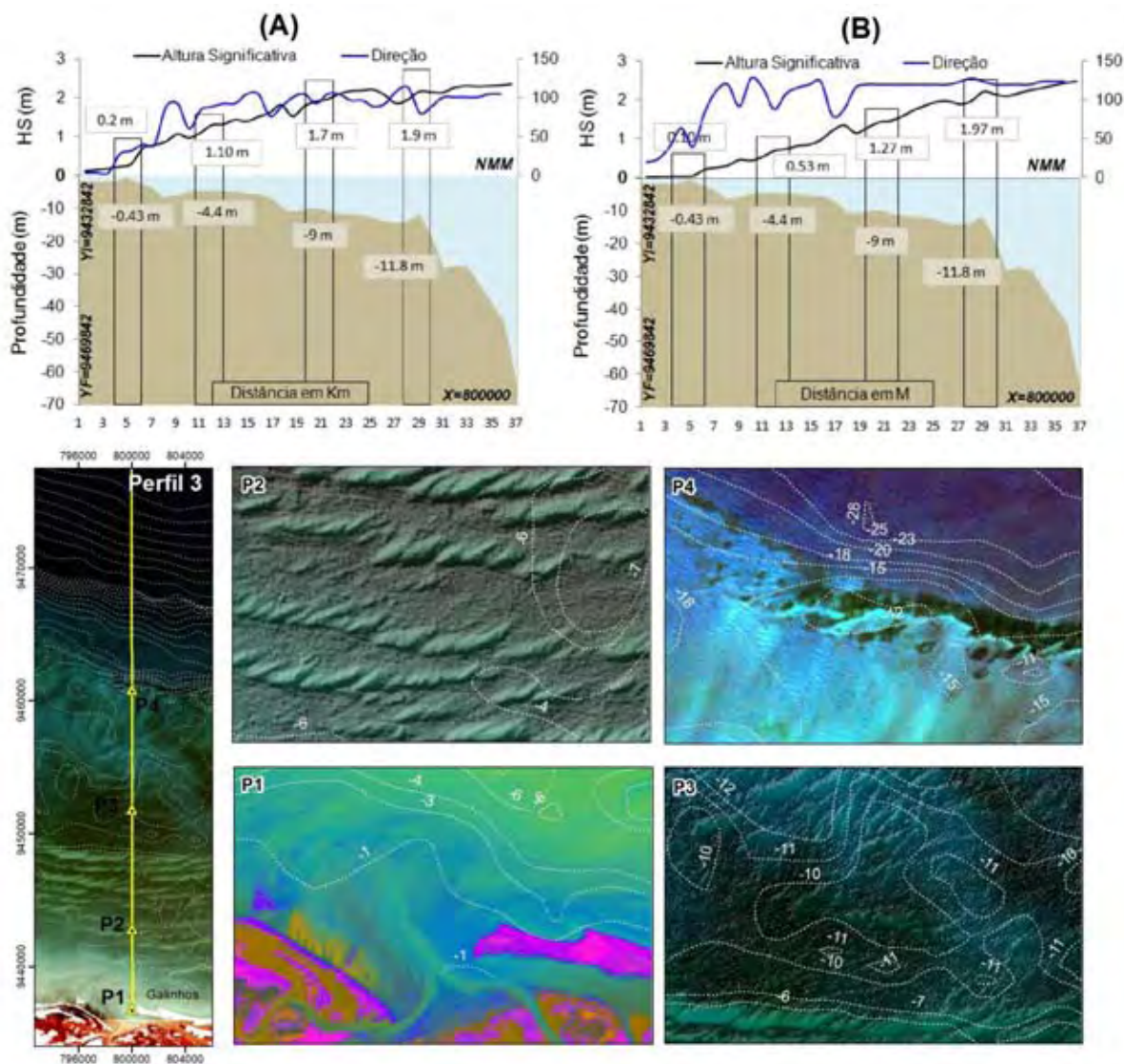


Figura 20. Perfil 3, transversal à costa, indicando a evolução da onda: A) condição de agitação de 28/05/2012, às 12:00h; B) 23/08/2012, às 12:00h. Associação das formas de fundo: P1, banco arenoso, na ponta de Galinhos; P2 e P3, campos de dunas longitudinais simétricas e assimétricas; P4, linha de rochas praiais.

4 CONCLUSÕES

Este artigo apresenta uma visão detalhada da modelagem numérica por meio do modelo de ondas SWAN, para várias condições de agitação incidentes, com vista a caracterizar o clima de ondas e investigar sua interação com o fundo marinho raso da plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte.

Na primeira fase do trabalho, o modelo SWAN foi aplicado na propagação de várias condições de agitação incidente até junto à costa, com uso das formulações padrões do

modelo, em condição de regime estacionário, sendo o resultado da modelagem comparado aos valores medidos, para as condições de ondas obtidas das estações de medições (PT 1 e PT 2). Seguidamente, procedeu-se uma intensa análise estatística tanto dos parâmetros descritivos dos dados, a saber, MAPE, RMSE, d e R , para todos os períodos analisados.

No detalhamento das análises, os resultados revelaram que o SWAN conseguiu reproduzir as condições de agitação e, de modo geral, o modelo reproduziu as tendências de crescimento e decaimento das alturas significativas da onda, incluindo os momentos de sobreposição dos episódios de ondulação mais rigorosos. As alturas significativas alcançaram resultados mais aceitáveis, ou maior ajustamento entre os resultados, indicado pelos parâmetros estatísticos para quaisquer dos casos. Em termos de períodos médios, T_{med} , estes resultados conduziram a uma subestimação do modelo, fato este, explicado pelos atributos de fronteira, componentes de ventos e marés, e do valor atribuído à condição padrão do modelo SWAN, com coeficiente de atrito de fundo de $0.015m^2s^{-3}$.

A previsão das direções médias, pelo modelo de modo geral verificou-se um baixo desempenho, evidenciados por todos os parâmetros estatísticos apresentados, ainda que em relação às comparações estatísticas entre as estações houve uma pequena melhoria para os resultados do modelo do PT 2, por este ponto encontrar-se em maiores profundidades e mais distante da costa. Não obstante, as ondas que mais predominaram foram as de direções nordeste, com variações de sudeste e leste.

Os parâmetros estatísticos revelaram comparações semelhantes a outros trabalhos existentes como em Lin et al. (2002); Moeini e Etemad-Shahidi et al. (2009) e Akpinar et al. (2012), ambos aplicaram o SWAN para simular ondas nas respectivas regiões: Baía de Chesapeake, Lago Erie e Mar Negro, e obtiveram condições de melhor simulações para as alturas significativas de ondas.

Ao analisar a distribuição espacial do clima de ondas, a evolução longitudinal de HS e DIR por meio dos perfis transversais e sua interação com as feições submarina, percebeu-se expressivas variações de propagação da onda quando interagiu com as feições de fundo (rochas praias, dunas longitudinais simétricas e assimétricas, paleocanal, etc...) existentes nas regiões das zonas da plataforma continental.

As ondas originam-se predominantemente de nordeste, e são mais intensas na porção norte da malha exterior, em águas mais profundas, sofrendo efeito de refração em direção à costa. Também pode-se observar frentes de ondas de leste.

Concluindo que o atrito de fundo exerce influência e desempenha um importante papel ao longo das bordas rasas, nas regiões das plataforma externa, média e interna, quando da interação com as formas de fundo presentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, pela concessão da bolsa durante o doutorado; à Rede Amigos Boussinesq e CAPES/FCT (Fundação para Ciência e Tecnologia), pelo financiamento concedido durante o doutorado-sanduíche no Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal, através dos Projetos PTD/ECM/73145, PTD/AMB/67450/2006 e PTDC/ECM/67411/2006 e os projetos cooperativos HIDROSEMA e MOLECO, da Rede de Monitoramento: REDE5-PETROMAR/CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq. Às equipes de trabalho do Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – GEOPRO/DG/UFRN e Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas - NPE/DHA/LNEC de Portugal.

REFERÊNCIAS

AKPINAR, A.; VAN VLEDDER, G. P.; KÖMÜRCÜ, M. I.; ÖZGER, M. Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. **Continental Shelf Research**, v. 50, n. 19, p. 80-99, 2012.

ÂNGELO, J. S. F. C. **Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, Brasil**. 2012. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. 2012.

ARORA, C.; BHASKARAN, K. P. Numerical modeling of suspended sediment concentration and its validation for the hooghly estuary, India. **Coastal Engineering Journal**, v. 55, n. 2, p. 1-23, 2012.

BARREIRA, L. M. **Processamento de dados de ondas de gravidade, coletados por ADCP, com técnica wavelet de casamento de fase**. 2011. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BATTJES, J. A.; JANSSEN, J. P. F. M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16, 1978, Hamburg. **Abstract**... Hamburg: ASCE, 1978. p. 569-587.

BOOIJ, N.; RIS, R. C. HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, part I, model description and validation. **Journal Geophysical Research**, v. 104, n. 4, p. 7649-7666, 1999.

CABRAL NETO, I. **Beachrocks do rio grande do norte: correlação entre os depósitos costeiros e os de zona costa-afora com base na faciologia, petrografia e diagênese**. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CAPITÃO, R.; FORTES, C. J. E. M. Análise comparativa entre estimativas do modelo SWAN e medições de agitação marítima efetuadas na Praia da Amoreira, Portugal. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 3, p. 283-269, 2011.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (Brasil). **Tábuas de marés**. Disponível em: < <http://www.dhn.mar.mil.br/> >. Acesso em Out 2009.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (Brasil). **Cartas náuticas**. Disponível em: < <http://www.dhn.mar.mil.br/> >. Acesso em Jan 2012.

ELDEBERKY, Y. **Nonlinear transformation of wave spectra in the neashore zone**. 1996. Thesis - The Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Netherlands. 1996.

FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; PALHA, A. O pacote de dados SOPRO: evoluções recentes. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 1, 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: PIANC, 2007.

GOMES, M. P.; VITAL, H. Revisão da compartimentação da plataforma continental Norte do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 3, p. 321-329, 2010.

GOMES, M. P. **Geomorfologia e arquitetura interna do Vale Inciso do Rio Açú, na Bacia Potiguar imersa (NE Brasil)**. 2012. 183f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

HASSELMANN, K.; BARNETT, T. P.; BOUWS, E.; CARLSON, H.; CARTWRIGHT, D. E.; ENKE, K.; EWING, J. A.; GIENAPP, H.; HASSELMANN, D. E.; KRUSEMAN, P.; MEERBURG, A.; MLLER, P.; OLBERS, D. J.; RICHTER, K.; SELL, W.; WALDEN, H. Measurements of wind wave-growth and swell decay during the Joint _North Sea Wave Project (JONSWAP), **Dtsch Hydrogr. Z. Suppl.** v. 12, n. 8, p. 1-95, 1973.

HASSELMANN, K. On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 6, n. 2, p. 107-127, 1974.

HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K.; ALLENDER, J. H.; BARNETT, T. P. Computations and parameterizations of the linear energy transfer in a gravity wave spectrum, Part II: parameterizations of nonlinear transfer for application in wave models. **Journal of Physical Oceanography**, v. 15, n.11, p. 1378-1391, 1985.

HOUTHUIJSEN, L. H.; HERMAN, A.; BOOIJ, N. Phase-decoupled refraction–diffraction for spectral wave models. **Coastal Engineering** 49, 291-305, 2003.

HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HAAGSMA, I. J. G.; KIEFTENBURG, A. T. M. M.; PADILLA-HERNANDEZ, R. **SWAN Cycle 2 version 40.01**. User Manual. Delft University of Technology, The Netherlands, 1999.

HOLTHUIJSEN, L. H. Wave in shallow water. In: (Orgs.) **Guide to Wave Analysis and Forecasting**, Geneva, p. 81-88, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Dados das séries temporais climáticas da Rede do INMET**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: Jan 2012.

JOHNSON, H. K.; KOFOED-HANSEN, H. Influence of bottom friction on sea surface roughness and its impact on shallow water wind wave modeling. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, p. 1743-1756, 2000.

KAHMA, K.; HAUSER, D.; KROGSTAD, H. E.; LEHNER, S.; MONBALIU, J.; WYATT, L. R. Measuring and analysing directional spectra of ocean waves, **COST Action 714**, EUR 21367, Brussels. 2005.

KOMEN, G. J.; HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K. On the existence of a fully developed windsea spectrum. **Journal of Physical Oceanography**, v. 14, p.1271-1285, 1984.

LIMA, Z. M. C.; VITAL, H.; TABOSA, W. F. Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 598-601, 2006.

LIN, W.; SANFORD, L. P.; SUTTLES, S. E. Wave measurement and modeling in Cheapeake Bay. **Continental Shelf Research**, v.22, p. 2673-2686, 2002.

LUO, W.; MONBALIU, J. Effects of the bottom friction formulation on the energy balance for gravity waves in shallow water. **Journal Geophysical Research**, v.99, n.9, p. 18501-18511, 1994.

MATOS, M. F. A.; FORTES, C. J. E. M.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise de dados a partir de métodos in situ no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6, 2011, Boa Vista. **Anais...** Cabo Verde: APRH, 2011. p. 71.

MOEINI, M. H.; ETEMAD-SHAHIDI, A. Wave parameter hindcasting in a lake using the SWAN model. **Transaction A: Civil Engineering**, v.16, n.2, p. 156-164, 2009.

PADILLA-HERNÁNDEZ, R.; MONBALIU, J. Energy balance of wind waves as a function of the bottom friction formulation. **Coastal Engineering**, v. 43, p. 131-148, 2001.

PEDERSEN, T.; SIEGEL, E; WOOD, J. Directional wave measurements from a subsurface buoy with an acoustic wave and current profile (AWAC). **MIS**, 0-933957-35-1, 10p, 2007.

RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. A spectral model for waves in the nearshore zone. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE OF COASTAL ENGINEERING, 24, 1994, Kobe. **Abstract...** Kobe: ASCE, 1994, p. 68-78.

RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L.H.; BOOIJ, N. A third-generation wave model for coastal region: 2. Verification. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n.4, p. 7667-7681, 1999.

RIS, R.C. **Spectral modelling of wind waves in coastal areas**. PhD Thesis. Delft University of Technology, The Netherlands, 1997.

SAMPAIO, M. J. R. T. **Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz**. 2008. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal, 2008.

TABOSA, W. F. **Morfologia e sedimentologia da plataforma continental brasileira adjacente a São Bento do Norte e Caiçara do Norte**. 2006. 167f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TABOSA, W. F.; VITAL, H. Hydrodynamic forcing and environmental impacts on the coasts and shelf adjacent to São Bento do Norte, NE Brazil. In: Brebbia C.A. (eds.) **Environmental Problems in Coastal Regions VI: Including Oil Spill Studies**. Wessex Institut of Tecnology, Cambridge Printing, p.165-174, 2006.

TABOSA, W. F.; AMARO, V. E.; VITAL, H. Caracterização do ambiente costeiro, integrado a produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte/Caiçara do Norte-NE Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007.

TELES, M. J.; PIRES SILVA, A. A.; BELO-PEREIRA, M. Simulations of wave conditions on open beach configuration: Wind resolution, seaward forcing and whitecapping effects. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 16, n. 8, p. 927-942, 2012.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 1.18**. N.O.A.A., National Centers for Environmental Prediction. OMB Technical Note 166. Camp. Springer, EUA, 110p, 1999.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 2.22**. N.O.A.A., National Centers for Environmental Prediction. OMB Technical Note 222. Camp. Springer, EUA, 133p, 2002.

VITAL, H.; SILVEIRA, I. M.; AMARO, V. E. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira - Área Guamaré a Macau (NE BRASIL), Utilizando Integração de dados Geológicos e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, n.3, p. 233-241, 2005.

VITAL, H.; STATTEGGER, K.; AMARO, V. E.; SCHWARZER, K.; FRAZÃO, E. P.; TABOSA, W. F. Mopdern high-energy siliciclastic-carbonate plataform: Brazilian Continental Shelf Adjacent to Northern Rio Grande do Norte State, NE Brazil. SEPM Special Publication on Advances in Shallow-marine sedimentology. **Journal of Sedimentary Research**, v. 90, p. 100, 2008.

WESTHUYSEN, A. VAN DER.; ZIJLEMA, M.; BATTJES, J. Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water. **Coastal Engineering**, v. 54, p. 151-171, 2007.

WAMDI GROUP. The WAM model - a third generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**, v. 18, p. 1775-1810, 1988.

WILMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 1984-1994, 1981.

ZIJLEMA, M.; VAN DER WESTHUYSEN, A. J. On convergence behaviour and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectral, **Coastal Engineering**, v. 52, 237-256, 2005.

Capítulo 7

Influência das Forçantes Meteoceanográficas na Dinâmica Morfológica do Sistema Praial e Ilhas Barreiras, do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil

**Maria de Fátima Alves de Matos¹, Venerando Eustáquio Amaro¹, Débora Vieira Busman¹,
André Luís Silva dos Santos²**

¹ *Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, 59078-970, Caixa Postal 1596, Natal (RN), Brasil*
e-mail: fatimaalves@geologia.ufrn.br, amaro@geologia.ufrn.br, busman_dv@hotmail.com

² *Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, 59078-970, Caixa Postal 1596, Natal (RN), Brasil*
e-mail: alss100@yahoo.com.br

RESUMO

A costa varia estritamente, e sua variação e comportamento oscila conforme a interação dos mais diversos agentes naturais sejam eles de escalas do tempo geológico até as variações centimétricas atuais. A influência da hidrodinâmica tem desempenhado importante papel na composição da morfologia de sistemas praias, uma vez que esta seria o reflexo da ação direta de ondas, correntes, marés e ventos, associados estes, ao tipo de sedimentos disponíveis. O estudo da dinâmica morfológica do sistema praial de Soledade e Praia do Minhoto e das ilhas barreiras Ponta do Tubarão e Barra do Fernandes, localizadas no litoral setentrional do Rio Grande do Norte, especificamente entre os municípios de Macau e Guamaré, foi realizado com base em análises da interação de dados meteoceanográficas, ondas e ventos, e das variações planimétricas da linha de costa. Os dados de ondas foram obtidos por meio da modelagem numérica (SWAN) entre novembro de 2010 a dezembro de 2012 e de medições em campo, as informações dos ventos foram adquiridas a partir da estação meteorológica de Macau, e os dados planimétricos, foram obtidos dos levantamentos semestrais sequencial (novembro-2010/2011/2012 e maio-2011/2012) com uso de tecnologia de precisão centimétrica (GPS Geodésico). Com a integração dos dados, pôde-se verificar que muito embora a região tenha sido submetida tanto a fases de erosão quanto de deposição sedimentar, o balanço geral foi positivo para todo sistema, exceto a praia do Minhoto, que apresentou tendência erosiva. Quanto aos períodos monitorados, não foi observada uma padronização entre as fases do ciclo sedimentar para as áreas, à exceção da praia de Minhoto. Porém, de um modo geral, o sistema como um todo esteve submetido a períodos subsequentes de deposição

e erosão. A praia de Minhoto notadamente apresentou ciclicidade sedimentar equivalente a esta periodicidade observada na área geral, isto é, evento deposicional de novembro a maio, seguido de evento erosional de maio a novembro.

Palavras-chave: Ondas e ventos costeiros, processos morfológicos, zona costeira, Rio Grande do Norte.

1. INTRODUÇÃO

Os processos e a morfologia costeira são predominantemente influenciados por ondas, marés, correntes e ventos, e tais processos são amplamente reconhecidos na literatura. O clima de ondas é a principal variável instigador dos processos costeiros tanto de médio quanto em curto prazo, respondem, sobretudo, pelo transporte de sedimentos nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa (MUEHE, 1998). Outro fato importante na constituição da dinâmica costeira é o trabalho dos ventos, tanto na geração das ondas como no transporte longitudinal à costa. A ação dos ventos que atua na formação das ondas influenciam diretamente os processos morfodinâmicos de erosão/acreção na face de praia, modificando assim a morfologia costeira pelo modelamento da linha de costa (AMARO e ARAÚJO, 2008;). Embora Reineck e Singh (1975) demonstraram que a atividade do vento é efetivamente maior para os processos de transporte e deposição e menor nos processos de erosão.

O litoral setentrional do Rio Grande do Norte, pode ser considerado um bom exemplo de litoral dominado por uma intensa dinâmica costeira, e pelo engajamento das diversas formas de uso e ocupação. É fortemente ocupado por atividades econômicas relevantes na participação do PIB nacional e regional, como a indústria do petróleo e gás natural, indústria do sal, produção da pesca, carcinicultura, e da ocupação humana. Neste trecho do litoral, importantes feições morfológicas, como o sistema de ilhas barreira, estuários, planícies de maré, mangues, e complexas feições submersas estão presentes (SOUTO, 2009), e interagem com os agentes hidrodinâmicos, como as ondas, correntes, marés e ventos (NASCIMENTO, 2009).

Estudos anteriores (SILVA, 1991; CALDAS, 1998 e 2002; CALDAS et al., 2006) corroboraram para um conhecimento a cerca dos processos hidrodinâmicos neste litoral, marcado pela presença de ilhas barreiras e mais recentemente Souto (2009); Nascimento (2009) e Rios (2012) contribuíram com seus estudos, quanto a importância de tais ilhas como

barreira natural longitudinal de proteção da ação direta das ondas e correntes marítimas e costeiras, frente aos estuários e sistemas manguezais e outros *habitats* importantes para a população local.

Diante desta importância, nas últimas décadas a linha de costa deste litoral tem sido monitorada e quantificada em termos de áreas (m^2 , km^2) o quanto houve de recuo e avanço da linha de costa, com a identificação dos principais trechos susceptíveis a tais variações, assim, alguns trabalhos merecem destaque, Lima et al. (2002), Alves et al. (2002), Souto (2004), Grigio et al. (2005), incluindo prognósticos e cenários futuros das mudanças de linha de costa (FRANCO et al., 2012). Tais estudos usaram inicialmente fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes sensores.

Nos últimos anos, a preocupação de obter uma maior precisão destas variações da linha de costa, tem levado as equipes a implementar novas metodologias e técnicas de levantamento por meio, assim, Vital et al., (2008) e Souto (2009), deram início a levantamentos das linha de costa e superfícies de praia em ilhas barreiras utilizando Sistemas Globais de Navegação por Satélite de precisão em modo cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic* – RTK), calculando variações planimétricas e volumétricas ocorridas nas nos canais de maré e ilhas. Santos e Amaro (2011), Santos et al. (2011), Amaro et al. (2012) e Santos et al. (2012) aprimoraram a metodologia proposta por Souto (2009), implementando as técnicas geodésicas de posicionamento, com observações sazonais das variações morfológicas de praias e ilhas barreiras.

As ilhas barreiras de Ponta do Tubarão e Fernandes, assim como as praias de Soledade e Minhoto tem estado sob a constante ação das ondas, tais ilhas apresentam praias características com presença de barras arenosas, barras longitudinais e barras transversais. Por outro lado, a região está em um ambiente de meso-maré, cuja proposição dos fenômenos e eventos associados demandam de escalas e energia diferentes neste setor costeiro do litoral nordestino.

Dada à complexa forma de uso e ocupação deste litoral, o entendimento dos processos costeiros e sua importância na morfodinâmica atuante, torna-se imprescindível. Desta forma, este artigo, descreve observações, procedimentos de levantamento da variação da linha de costa e medições efetuadas nesta zona de estudo com os dados medidos durante os anos de 2010 e 2012.

O estudo corrobora com a necessidade do conhecimento das forçantes meteoceanográficas na área, como ondas e ventos, além do conhecimento das variações de amplitudes de áreas neste setor. Mais concretamente, o conhecimento dessa interação de

ondas e ventos e movimentação de areia é, assim, de fundamental importância para entender o comportamento da morfodinâmica costeira de acordo com a variabilidade anual.

Os resultados da interação dos dados de ondas, ventos e das variações planimétricas das ilhas barreiras e praias oceânicas, foram correlacionados para entender os efeitos das condições impostas pela incidência e energia das ondas sobre as feições morfológicas e na variação da linha costa.

A área de estudo definida está situada na porção interna da plataforma continental adjacente, do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, na zona costeira frontal aos sistemas de ilhas barreiras e praias entre os municípios de Macau e Guamaré (Figura 01).

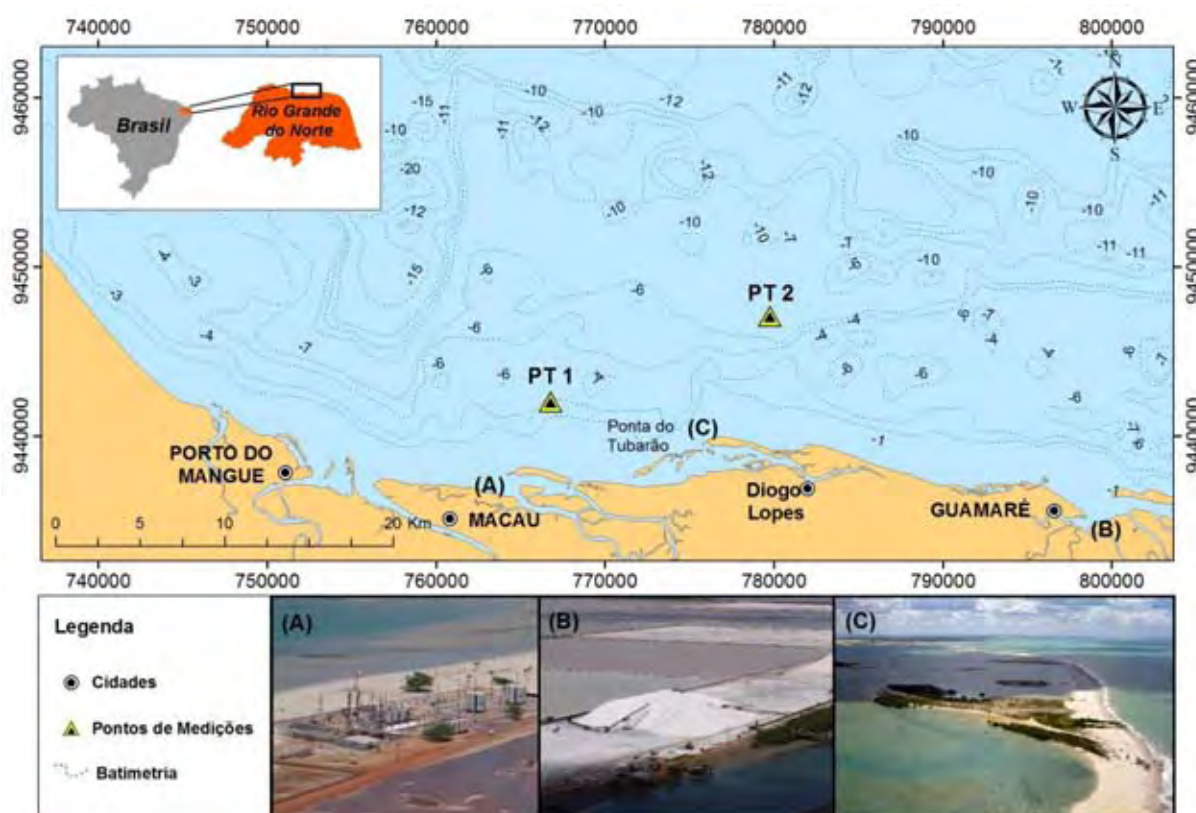


Figura 1. Localização da área de estudo, litoral setentrional do RN, Nordeste do Brasil. (A e B) Exemplo da atividade petrolífera e salineira nas praias e estuário; (C) Vista geral da área adjacente das ilhas barreiras Ponta do Tubarão. Fotos: Acervo GEOPRO/DG/UFRN.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada para este trabalho baseou-se na integração de dados obtidos da estação meteorológica (velocidade e direção dos ventos) de Macau, das campanhas de

medições de ondas (altura significativa, período médio e direção), de dados resultantes da modelagem numérica de ondas (altura significativa, período médio e direção) e de levantamentos sazonais das variações planimétricas (área = m²) da linha de costa dos sistemas praias e ilhas barreiras. A seguir, descreve-se uma síntese são apresentados uma síntese de cada dado utilizados.

2.1 Dados de Ventos

Os dados de ventos introduzidos na integração são caracterizados pelos valores de velocidade (m/s) e direção do vento (°) para o conjunto de meses considerados de novembro de 2010 a novembro de 2012. Foram obtidos pela estação Meteorológica de Macau, localizada nas coordenadas: X=832677 E e Y=9446533 S (INMET, 2012).

Os dados que são disponibilizados diariamente com valores a cada hora, os mesmos foram tratados para obtenção das médias mensais (máxima, média e mínima), sendo estes apresentados na Tabela 1, os valores de velocidades e direções.

Tabela 1. Médias mensais das velocidades e direções dos ventos para o período de novembro de 2010 a novembro de 2011.

Mês	Velocidades (m/s)			Direções (°)		
	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min
Novembro – 2010	10.2	6.1	1.8	151	73	25
Dezembro – 2010	10.7	5.9	1.1	359	78	2
Janeiro – 2011	9.2	4.2	1.3	360	104	2
Fevereiro – 2011	9.0	4.2	0.8	359	97	3
Março – 2011	8.7	3.7	0.5	353	106	1
Abril – 2011	9.9	3.3	0.6	359	131	4
Mai - 2011	8.5	3.8	0.8	360	130	5
Junho - 2011	8.6	3.6	0.2	359	123	3
Julho - 2011	8.9	6.1	4.0	156	121	37
Agosto – 2011	7.2	5.4	3.9	132	91	12
Setembro – 2011	9.0	6.1	2.6	358	112	11
Outubro – 2011	9.0	5.2	1.2	175	95	29
Novembro – 2011	9.7	5.6	2.0	202	98	33
Dezembro – 2011	9.9	5.2	0.9	180	94	23
Janeiro – 2012	9.5	4.8	0.8	275	97	23
Fevereiro – 2012	8.5	5.5	1.6	179	109	37
Março – 2012	7.8	4.1	1.1	194	107	35
Abril – 2012	9.1	4.3	0.5	220	105	3
Mai – 2012	9.1	4.5	0.8	218	110	21
Junho - 2012	10.1	4.2	0.7	304	119	2
Julho – 2012	7.9	4.7	1.0	313	131	17
Agosto – 2012	9.1	5.1	0.4	231	131	11
Setembro – 2012	9.4	5.3	1.2	344	116	3
Outubro – 2012	9.8	5.6	1.4	178	110	28
Novembro – 2012	9.8	5.2	1.2	176	89	28

2.2 Medições *In Situ*

As características das duas campanhas de medições de ondas efetuadas na zona marítima frontal as ilhas barreiras Corta Cachorro e praia de Soledade e Fernandes, foram referente a dois períodos: 20 a 21 de agosto e 28 a 29 de setembro de 2011 (Tabela 2), para a obtenção das estimativas de ondas.

Os dados foram processados pelo *software Storm*, para obter os parâmetros da onda: altura significativa (HS (m)), período médio (Tmed (s)) e direção da onda (DIR (°)). As médias de cada parâmetro de onda obtido encontram-se na descritos na Tabela 2, e integram o conjunto de meses que não foram obtidos os dados por meio da modelagem numérica de ondas.

Tabela 2. Localização das campanhas de medições de ondas obtidas por meio dos equipamentos AWAC e AQUADOPP.

Medições	Sensor	Data de Aquisição	Localização
PT1	AQUADOPP	20 a 21/08/2011	X = 766768, Y = 9441999
PT2	AWAC	28 a 29/09/2011	X = 779765, Y = 9447091

2.3 Dados de Ondas obtidos da Modelagem Numérica

O modelo SWAN foi aplicado para a zona em estudo com vista a caracterizar o padrão de ondas geradas pelo vento. As simulações numéricas foram obtidas mediante estimativas da agitação marítima local calculadas com o modelo numérico SWAN.

Todos os dados necessários para a execução do SWAN, tratados e processados explicado anteriormente, abrange o uso de dados batimétricos da zona de estudo, as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo.

Os dados batimétricos foram os obtidos por meio da carta náutica n. 720, disponibilidade pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, sendo a versão usada a carta referente a 2009. Incluiu-se ainda os dados de ventos (velocidades e direções) da estação meteorológica de Macau; os dados de variação da maré, da estação maregráfica de Guimarães; o uso de dois pontos na costa cuja as coordenadas encontram-se descritas na Tabela 2, que serviram como referenciais e, os mesmo por serem pontos de medições *in situ*, tais dados serviram para a validação do modelo.

Utilizou-se ainda como condições de fronteira para o SWAN os dados de agitação marítima ao largo: HS (altura de onda significativa), TP (período de pico) e DIR (direção de onda associada ao período de pico) estimados pelo modelo de 3ª geração e propagação de ondas WAVEWATCH (WWIII) (TOLMAN, 2002), da bóia localizada na costa nordeste do Brasil nas coordenadas: 787460,84 E/9666781,81 S.

Para execução do modelo, foi utilizada a versão SWAN 40.72 AB, em modo estacionário sem correntes, e nas formulações padrões do SWAN foi utilizado um coeficiente de rebentação constante igual a $0.65 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$; a Lei de JONSWAP, adotando como parâmetro de atrito de fundo o valor de $0.015 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$. Os fenômenos físicos incluídos foram: Na 1ª malha global: refração, empolamento e rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*), difração, interações quadruplets onda-onda (*quadruplet wave-wave interactions*); Nas 2ª e 3ª malhas: refração, empolamento e rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*), interações entre tríades de ondas (*triad wave-wave interactions*), geração de harmônicas (*frequency shifting*) e difração, rebentação induzida pelo fundo.

Uma vez que todos os dados e condições de fronteiras foram tratados para forçarem o modelo SWAN, realizou-se as rodagens e a partir deste obteve-se as estimativas de ondas: altura significativa (HS (m)), período médio (Tmed (s)) e direção da onda (DIR (°)). Os dados que são diários foram interpolados para se obter as médias mensais (máxima, média e mínima) de cada parâmetro entre o período de novembro de 2010 a novembro de 2012, cujos valores encontram-se detalhados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias mensais do clima de ondas entre o período de novembro de 2010 a novembro de 2011.

Mês	HS (m)			Tmed (s)			DIR (°)		
	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min
Novembro – 2010	1.26	0.78	0.42	3.27	2.32	1.71	72	43	18
Dezembro – 2010	1.30	0.86	0.38	3.58	2.96	1.72	79	31	2
Janeiro – 2011	1.70	0.96	0.37	4.26	2.92	1.90	358	29	2
Fevereiro – 2011	1.75	0.99	0.52	4.02	2.96	1.99	359	35	1
Março – 2011	1.56	0.85	0.49	3.63	2.72	2.03	358	38	1
Abril – 2011	1.43	0.70	0.24	3.65	2.42	1.31	349	44	2
Maio - 2011	1.08	0.59	0.20	3.13	1.98	1.22	358	72	7
Agosto – 2011*	1.24	0.63	0.51	8.72	4.30	3.07	324	241	6
Setembro – 2011*	1.06	0.58	0.13	3.39	2.61	1.69	304	49	8
Outubro – 2011	1.56	0.82	0.34	3.49	2.26	1.61	86	56	16
Novembro – 2011	1.65	0.88	0.30	3.59	2.47	1.57	89	48	11
Dezembro – 2011	1.61	0.87	0.33	3.63	2.42	1.47	95	50	8
Janeiro – 2012	1.69	0.88	0.35	3.73	2.56	1.54	124	43	6
Fevereiro – 2012	1.40	0.83	0.31	3.35	2.27	1.55	109	63	13
Março – 2012	1.49	0.78	0.29	4.07	2.30	1.34	128	58	8
Abril – 2012	1.43	0.72	0.25	3.28	2.24	1.39	107	53	13
Maio – 2012	1.49	0.70	0.20	3.21	2.11	1.18	170	62	20

Junho - 2012	1.48	0.63	0.20	3.11	1.89	1.15	168	80	30
Julho - 2012	1.20	0.56	0.16	2.78	1.79	1.28	220	87	30
Agosto - 2012	1.28	0.56	0.20	2.85	1.74	1.23	182	104	15
Setembro - 2012	1.50	0.60	0.23	3.15	1.82	1.21	167	102	32
Outubro - 2012	1.37	0.72	0.25	3.24	2.03	1.26	149	80	21
Novembro - 2012	1.66	0.92	0.47	3.55	2.52	1.61	109	52	7

* Dados das estações de medições (agosto PT 1 e setembro PT 2).

2.4 Aquisição de Dados da Variação da Linha de Costa das Praias Oceânicas e Ilhas Barreiras

Com as técnicas de geodésica de precisão, foram mapeadas e adquiridas através das variações superficiais da linha de costa. Os métodos de levantamento são baseado em Santos e Amaro (2011), Lima (2013) e Santos et al., (2013).

O levantamento da linha de costa do sistema praial de Soledade, Praia do Minhoto, e das ilhas barreiras Barra do Fernandes e Ponta do Tubarão, foram realizados com o sistema GPS no modo relativo cinemático pós-processado (*Postprocessed Kinematic - PPK*). Os dados adquiridos são registrados nos receptores e, posteriormente, transferidos para o computador, onde são processados e ajustados (LIMA, 2013). Os receptores utilizados foram do modelo *Trimble R3*, com registro da fase da portadora na frequência L1, com precisão nominal horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 5 mm + 2 ppm para bases distanciadas até 20 Km (LIMA, 2013).

Como referências aos posicionamentos, foram utilizadas as estações da RGLS, que fornecem bases curtas (menores do que 3,5 km) em toda a área de estudo (Figura 2).

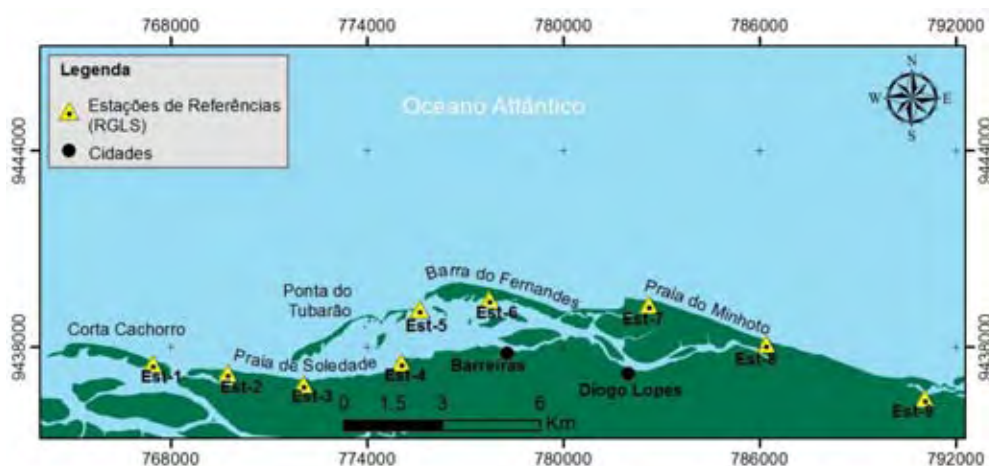


Figura 2. Mapa de localização das estações de referências da Rede GNSS do Litoral Setentrional (RGLS).

A linha de costa definida como limite do espraiamento das ondas na face de praia submersa na maré em preamar, ou seja, o alcance máximo da linha d'água. Posteriormente, cada levantamento de linha de costa, os dados são filtrados, processados e interpolados por meio do método de interpolação TIN (*Triangulated Irregular Network*), para geração geométrica dos polígonos de representação das linhas de costa. Por meio da intersecção geométrica de cada polígono, foram construídos os mapas de linha de costa multitemporais mostrando as áreas correspondentes aos recuos e avanços entre cada período interseccionado (Figura 3).

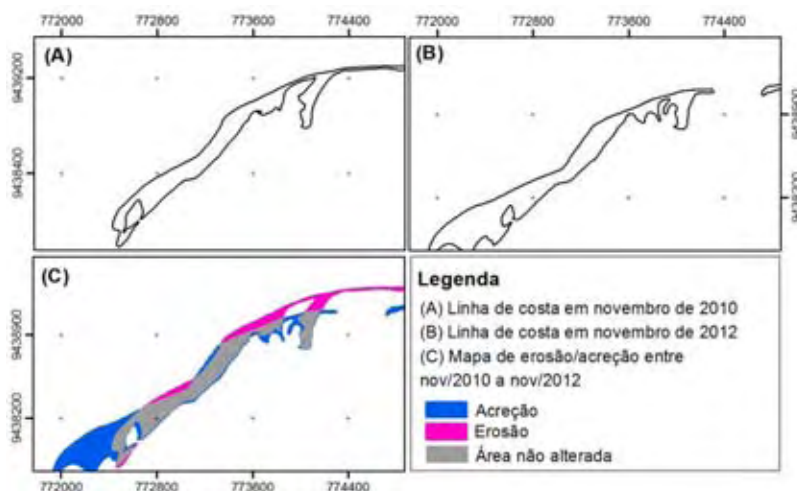


Figura 3. Exemplo de duas linhas de costa definidas nas ilhas barreiras monitoradas para as análises multitemporais de variações morfológicas.

A partir de cada linha de costa, foram obtidos os valores em áreas (m^2) de cada ilha e praia para cada período monitorado, para as análises quantitativas das áreas de erosão e acreção, e o cálculo do balanço sedimentar para cada entre cada intervalo de análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A influência da hidrodinâmica tem desempenhado importante papel na composição da morfologia de sistemas praias, uma vez que esta seria o reflexo da ação direta de ondas, correntes, marés e ventos, associados estes, ao tipo de sedimentos disponíveis (BASTOS e GUIZAN, 2000). Após transporem algumas barreiras retentoras de sedimentos típicas de ambientes costeiros e chegar à plataforma continental, os sedimentos podem ser distribuídos por vários processos hidrodinâmicos ou perder parte do material para o fundo oceânico (VITAL et al., 2005).

As análises das variações da linha de costa compreendem respectivamente, a integração dos levantamentos planimétricos com as variáveis direcionais de ondas e ventos incidentes na costa durante os períodos de análises.

Com base nesta integração, a proposta é corroborar com a predominância e incidência das forçantes de ondas e ventos sobre a natureza dos processos erosivos e deposicionais ao longo do ano. Pois, sabe-se que as variáveis meteoceanográficas, atreladas a natureza climática, que nesta região é caracterizada por um clima quente e sazonalmente um clima semi-árido, promovem e amplificam a erosão, acreção e o transporte sedimentar ao longo da faixa litorânea, evidenciando a construção e destruição de feições (por exemplo, a berma, Figura 3), progradação da linha de costa, de barras arenosas, zonas de estirâncio e dunas costeiras.

4.1 Variabilidade Multitemporal da Linha de Costa às Forçantes Hidrodinâmicas

Neste item, a partir da Figura 4 até a Figura 8, é apresentado o resultado das análises multitemporais das variações das linhas de costa do sistema praial de Soledade, Praia do Minhoto e das ilhas barreiras Ponta do Tubarão e Barra do Fernandes.

Na Tabela 4 são apresentados uma síntese dos valores totais de área (m^2) para cada período de monitoramento das ilhas e praias.

Tabela 4. Variação de área (m^2) do sistema praia e das ilhas barreiras entre os períodos de Novembro de 2010 a Novembro de 2012.

Sistema	Nov/2010 (m^2)	Mai/2011 (m^2)	Nov/2011 (m^2)	Mai/2012 (m^2)	Nov/2012 (m^2)
Praia do Soledade	233.623,9	244.564,1	255.279,5	221.625,1	258.210,1
Ponta do Tubarão	456.836,4	537.307,6	554.229,4	528.244,8	562.829,8
B. Fernandes	1.150.943,5	1.168.314,8	1.183.686,3	1.227.840,3	1.159.723,2
Praia do Minhoto	693.966,4	760.756,1	567.455,4	725.689,6	688.434,1

Análise entre Novembro de 2010 a Maio de 2011.

No primeiro cenário (Figura 4), mostram as variações ocorridas entre novembro de 2010 a maio. As maiores variações foram registradas na Barra do Fernandes e Ponta do Tubarão.

Na Barra do Fernandes, na porção sudeste (SE) nota-se erosão, acarretando numa maior abertura do canal, seguindo para o sentido oeste-noroeste (WNW) de acreção. Do total de área ($1.150.943,5 \text{ m}^2$) entre os dois períodos (nov/2010-mai/2011), houve 74176.24 m^2 de área erodida, 91547.4 m^2 de área de acreção e 1076767.3 m^2 de área não alterada.

Na Ponta do Tubarão os resultados revelaram erosão na porção leste (E), na porção central uma variação tanto erosiva quanto de acreção, promovendo um recuo de linha de costa de 107 m de extensão, seguindo para a porção sudoeste (SW) de maior acreção. Neste período o balanço total de área ($456.836,4 \text{ m}^2$) registrou 75305.49 m^2 de erosão, 155776.68 m^2 de acreção e, 381530.94 m^2 de área que permaneceu estável.

Nota-se que a incidência das ondas ao longo dos meses que intercalam o período das análises, são predominantemente de nordeste (NE), com alturas significativas máxima mensal variando entre 1.75 m em fevereiro de 2011 a 1.08 m em maio de 2011 (Figura 4). Os ventos nos primeiros dois meses do período da análise predominaram de nordeste, alterando para uma predominância mais este-sudeste (ESE) de janeiro a março de 2011, voltando a predominar mais de sudeste nos meses de abril e maio de 2011.

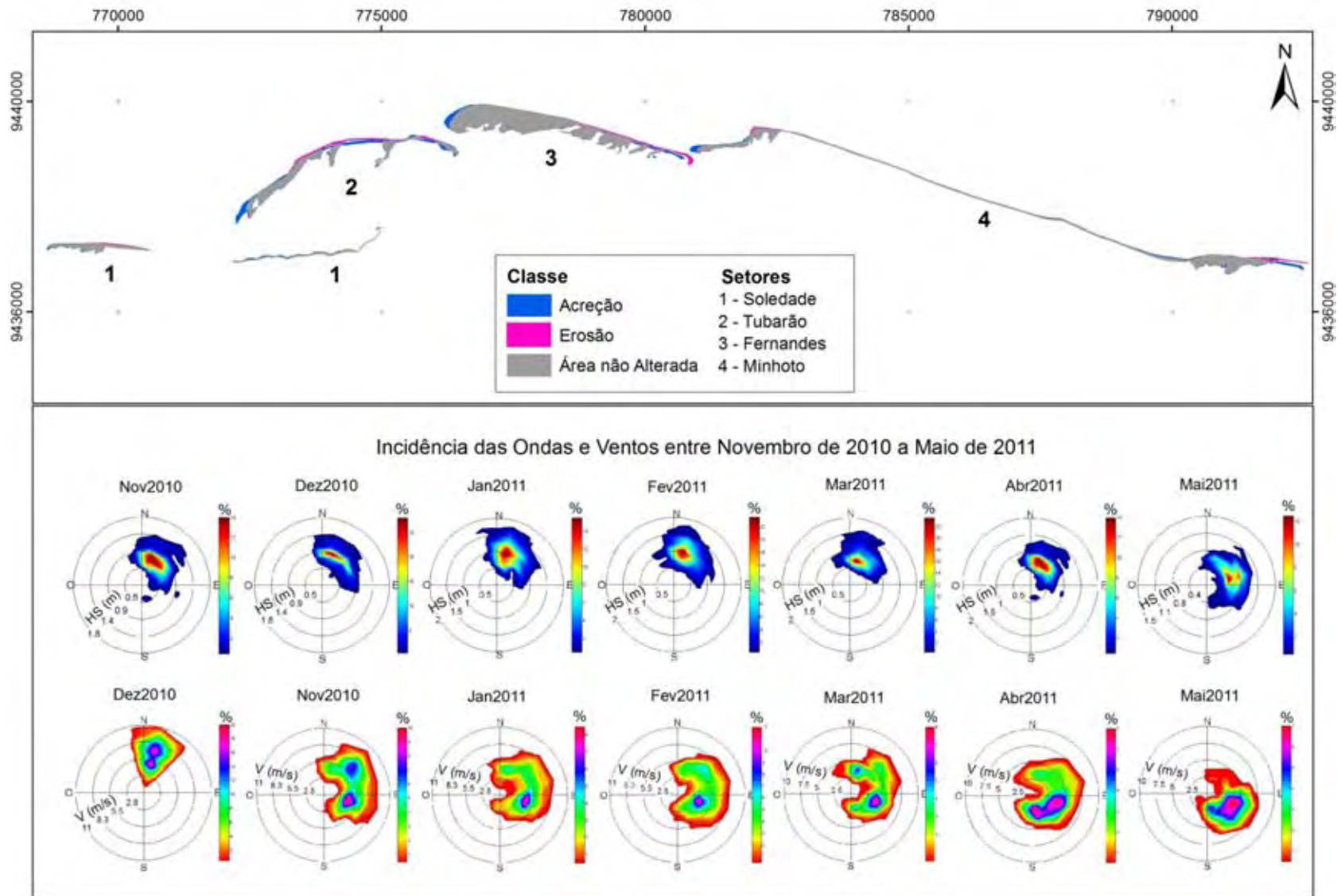


Figura 4. Mapa de erosão/acreção acumulada ao longo do período de novembro de 2010 a maio de 2011, com incidência de ondas e ventos.

Análise entre Maio a Novembro de 2011.

Na análise desse período (Figura 5), em termos de erosão, foi o de menor variação, o que se verificou foi uma tendência mais de acreção, principalmente, nos setores que no período anterior foram mais erosivos. Na porção sudeste da Barra do Fernandes, houve uma acreção mais significativa, sugerindo que, nesse trecho que envolve a foz do canal, houve uma recomposição sedimentar. Do total de área, 38741.29 m² foi erodida, 53842.8 m² houve acreção e 1129843.5 m² permaneceu estável.

Na Ponta do Tubarão, a porção central da ilha, tendenciou a erosão, seguindo sempre no sentido sudoeste com acreção, entre a variação de área foi de: 47520.7 m² de erosão, 64442.57 m² de acreção e 489786.8 m² de área estável.

Na Praia de Minhoto foi registrado uma erosão significativa na porção sudeste, e visivelmente ao longo de toda a extensão longitudinal, nota-se uma suave erosão, sendo na porção mais oeste-noroeste, uma acreção mais proeminente, sugerindo assim, que todo o material erodido, foi depositado neste setor, contribuindo assim, para uma maior acreção na porção sudeste da Barra do Fernandes.

Em Soledade, no setor 1 da Figura 6 no mapa da análise multitemporal, foi evidenciado uma condição mais de acreção.

Da comprovação das variáveis meteoceanográficas, percebe-se que as ondas sempre estão a incidir predominantemente de este-nordeste, entretanto, a média máxima mensal das alturas significativas da onda foram de 1.65 m em novembro.

O comportamento dos ventos entre maio a outubro de 2011 foi predominante de sudeste, sendo o mês de Novembro, uma variação entre nordeste-sudeste com velocidades máxima em novembro de 9,6 m/s (Figura 5).

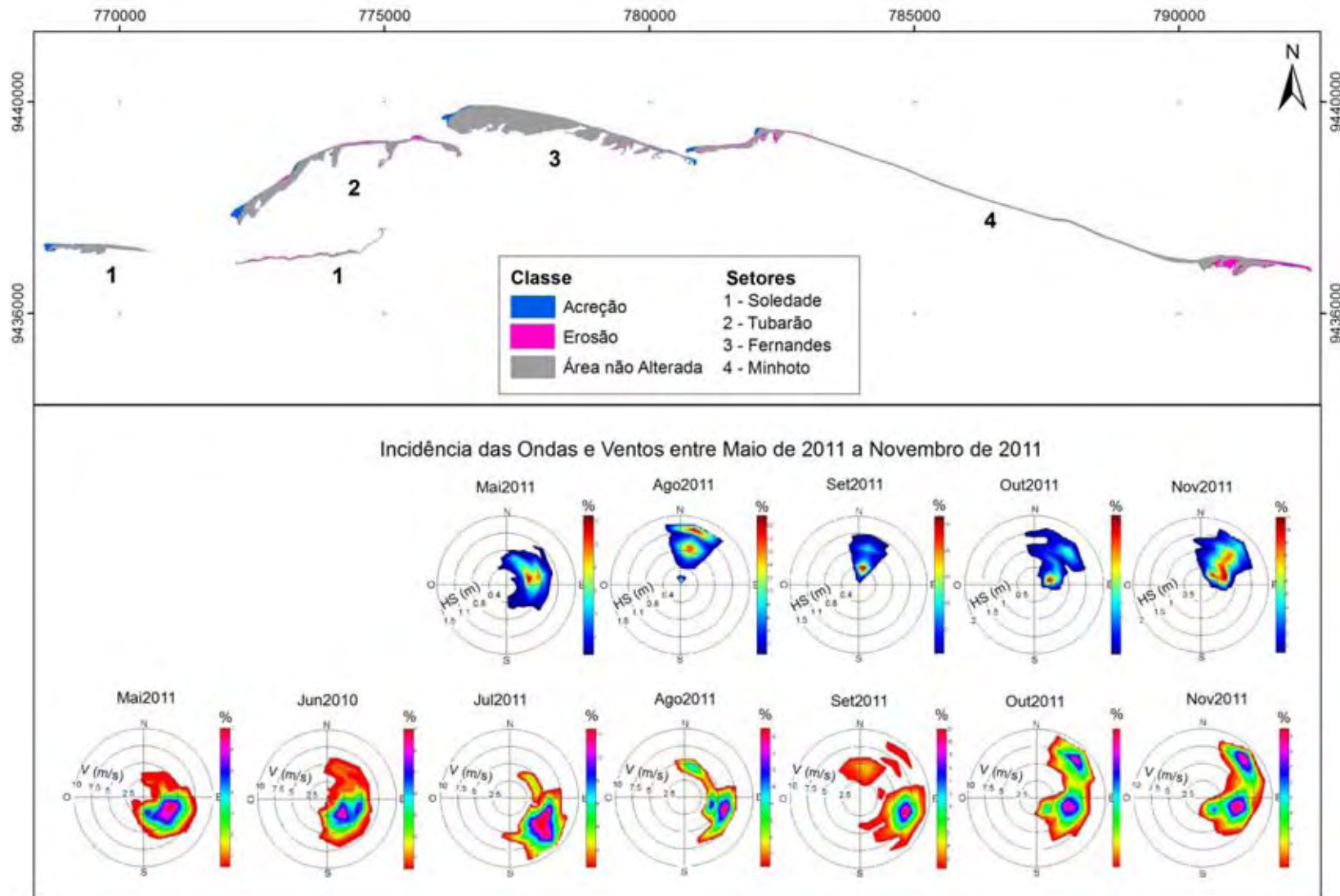


Figura 5. Mapa de erosão/acreção acumulada ao longo do período de maio a novembro de 2011, com incidência de ondas e ventos.

Análise entre Novembro de 2011 a Maio de 2012

Na análise do período de novembro de 2011 a maio de 2012 (Figura 6), volta a ser um período com erosão acentuada em alguns trechos das praias. Em Minhoto, a porção oeste-sudoeste tende a registrar maior acreção, sobrepondo-se em relação ao canal, entre Minhoto e Fernandes. Em Fernandes, na porção sudeste para o centro, a erosão é mais acentuada, seguindo para a porção oeste-sudoeste área de acreção. Entretanto, os valores, revelam que foi período de maior taxa de acreção.

A Ponta do Tubarão evidencia a mesma tendência, com erosão na porção central e acreção na porção sudeste com uma tendência de afinamento na ponta.

Notadamente, a incidência das ondas foi predominante de este-nordeste com alturas de 1.61 m a 1.49 m (Tabela 2), ou seja, de novembro até maio, as alturas foram reduzindo. Os ventos apresentaram uma redução nas velocidades de novembro até maio de 2012, confirmando que a partir de janeiro a maio de 2012, os ventos incidem começam a predominar mais de sudeste, e mais fracos.

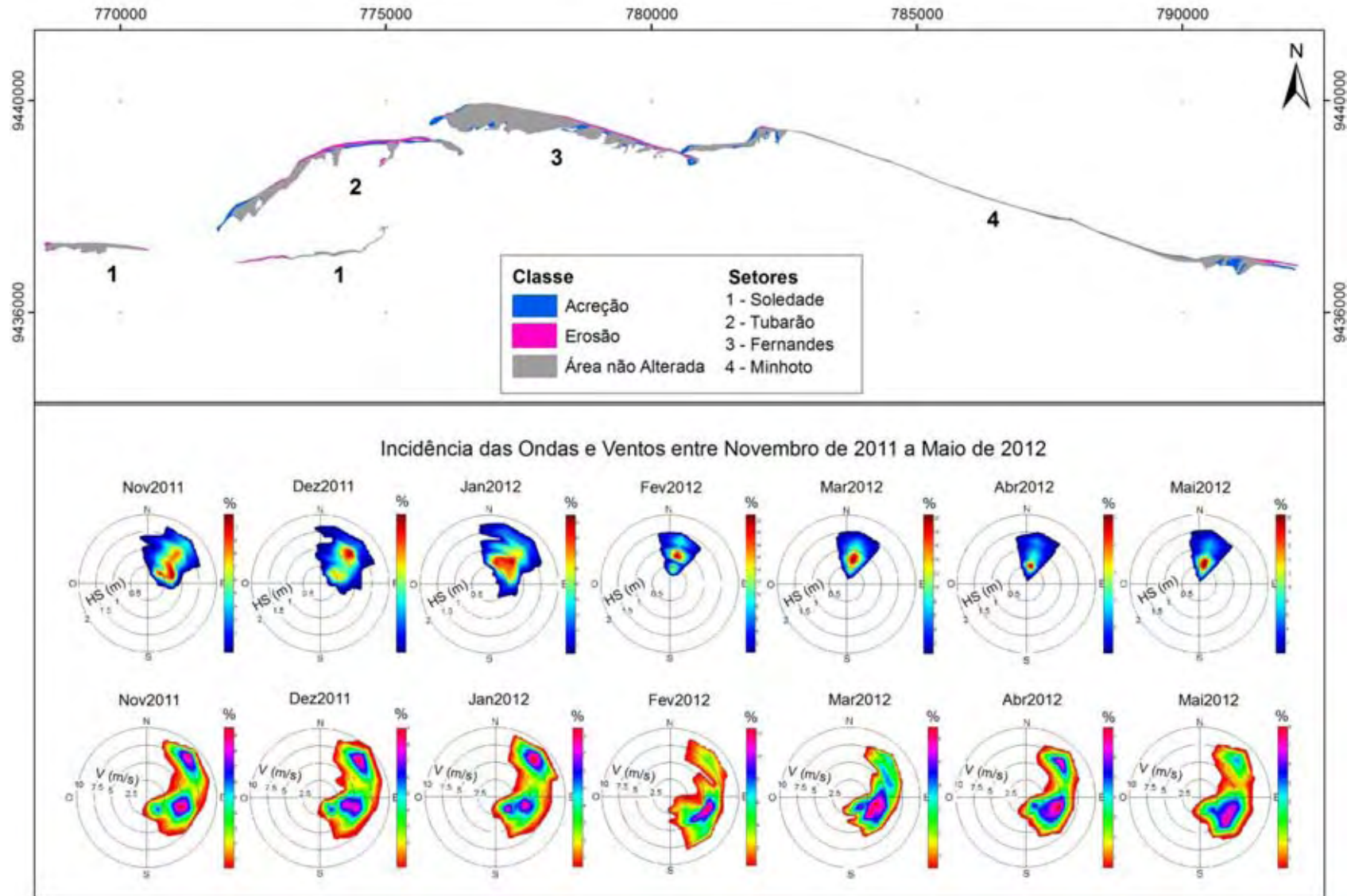


Figura 6. Mapa de erosão/acreção acumulada ao longo do período de novembro de 2011 a maio de 2012, com incidência de ondas e ventos.

Análise de Amplitude de Variação entre Maio de 2012 a Novembro de 2012

Para este último (Figura 7) período de análise nota-se que Barra do Fernandes e Ponta do Tubarão, continuam mantendo uma tendência erosiva, entretanto, de menor amplitude de variação. O registro mais significativo desse período foi o rompimento da ilha barreira na porção central da Ponta do Tubarão, causando a abertura do canal com 685 m de extensão. Tal abertura, conforme as análises das variações de amplitudes dos períodos anteriores, já corroboravam para tal efeito, pois sempre que nos períodos quando ocorreu maior erosão, no período seguinte, com amplitudes de variações mais baixas, nota-se que a linha de costa manteve uma constância subsequente de recuo de área para o sentido do estuário e ao observar a Tabela 2, observa-se que as ondas e ventos, são mais intensos entre os meses de novembro, dezembro a janeiro apresentando as maiores alturas e maiores velocidades, respectivamente, sendo as ondas predominantemente incidindo na costa de nordeste e os ventos com característica de nordeste e sudeste, amplificando assim, a energia destas forçantes nos setores analisados.

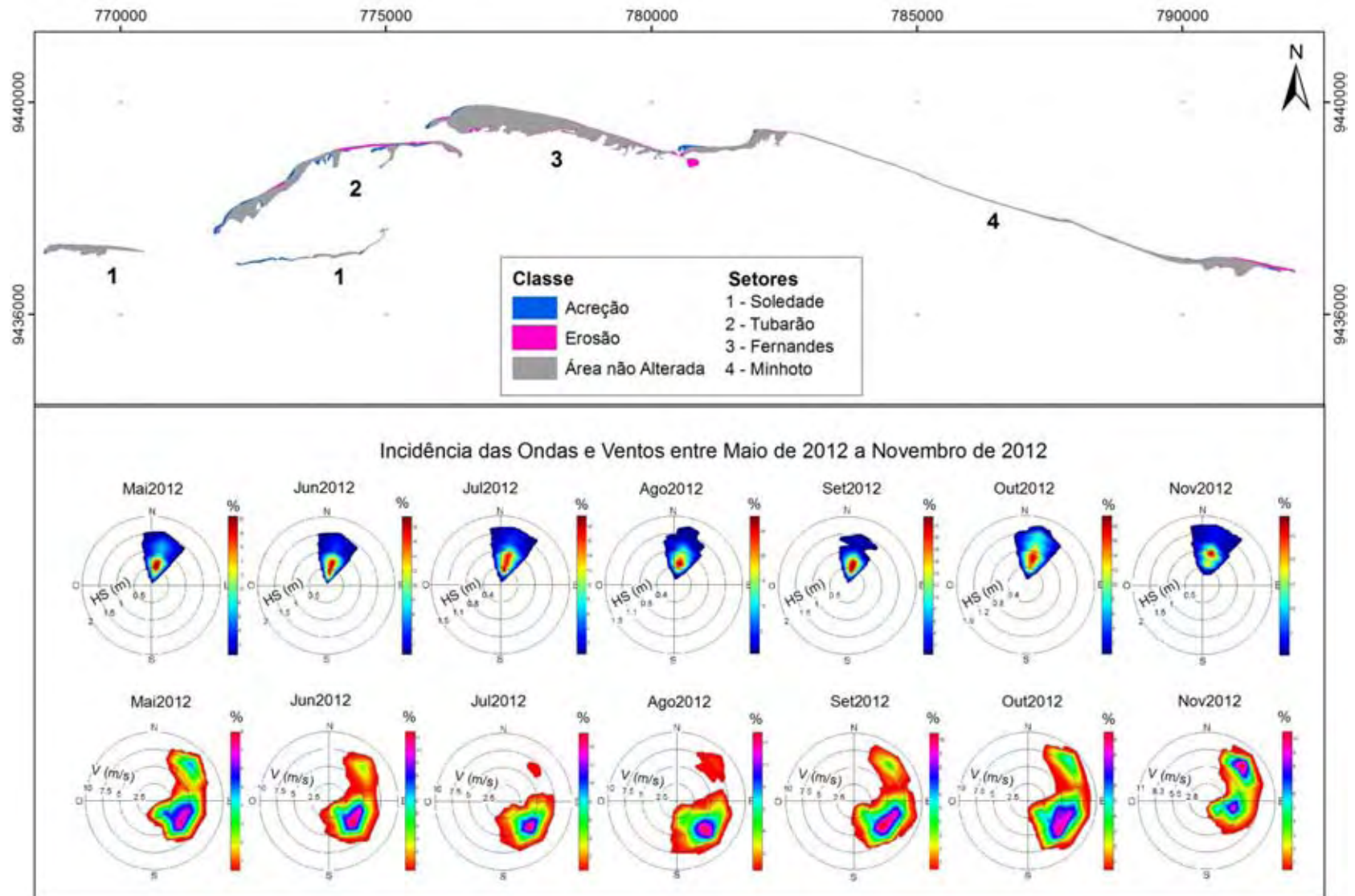


Figura 7. Mapa de erosão/acreção acumulada ao longo do período de maio a novembro de 2012, com incidência de ondas e ventos

Análise de Amplitude de Variação entre Maio de 2010 a Novembro de 2012

Para concluir estas análises das amplitudes de variações de áreas associadas às incidências das forçantes meteoceanográficas, concluiu-se um período mais amplo, diretamente com a análise entre novembro de 2010 e novembro de 2012 (Figura 8), para avaliar a variabilidade total de alterações das praias e ilhas barreiras.

Observando o contexto geral, verificou-se intensas variações em todos os setores. Analisando a partir de Minhoto até para Soledade, as praias e ilhas foram setorizadas identificando os locais de maior amplitude de variação, portanto, a partir da letra (a) até a (i), extraiu-se a extensão longitudinal do quanto foi erodido e o quanto foi depositado, e na tabela inserida na figura encontram-se as dimensões de área (m), para a simbologia em + (azul) indica acreção e, a simbologia - (rosa) indica erosão.

Em *d, f e i*, respectivamente Ponta do Tubarão, Barra do Fernandes e Praia do Minhoto foram os setores com maior extensão longitudinal de erosão.

Os setores *c, e e i*, foram os que mostraram as maiores áreas de acreção longitudinal. As setas na cor preta indicam o sentido da variação.

Em termos de área total (Tabela 4), entre novembro de 2010 a novembro de 2012, verificou-se que: Minhoto em 2010 apresentou uma área total de 693.966,49 m², em 2012 apresentou uma perda de área, assumindo uma total de 688.434,09 m² conforme mostra os valores da Tabela 2; em Fernandes, no levantamento de 2010 a área total de 1.150.943,5 m² obteve aumento em 2012 de 1.159.723,2 m²; na Ponta do Tubarão que apesar de ter ocorrido a abertura de dois canais, apresentou maior acreção do que erosão, em 2010 enquanto registrou uma área total de 456.836,44 m², em 2012 registrou uma área de 562.829,81 m², aumento significativo; e, Soledade também apresentou um crescimento de área, enquanto a área total em 2010 (considerando as duas praias) foi de 233.623,98 m², em 2012 houve aumento em 258.210 m².

Apesar das análises multitemporais das variações de amplitudes terem demonstrado tendência erosiva, os valores de áreas revelaram que no geral houve maior acreção que erosão, muito embora, a ilha Ponta do Tubarão ter que entre o período de 2010 a 2012, se dividiu em três partes; ainda assim, apresentou maior ganho de área, pois no setor sudeste, houve em todos os períodos analisados ganho de área.

A Praia de Minhoto foi à única praia dentre todas as demais analisadas que mostrou balanço negativo com perda de área.

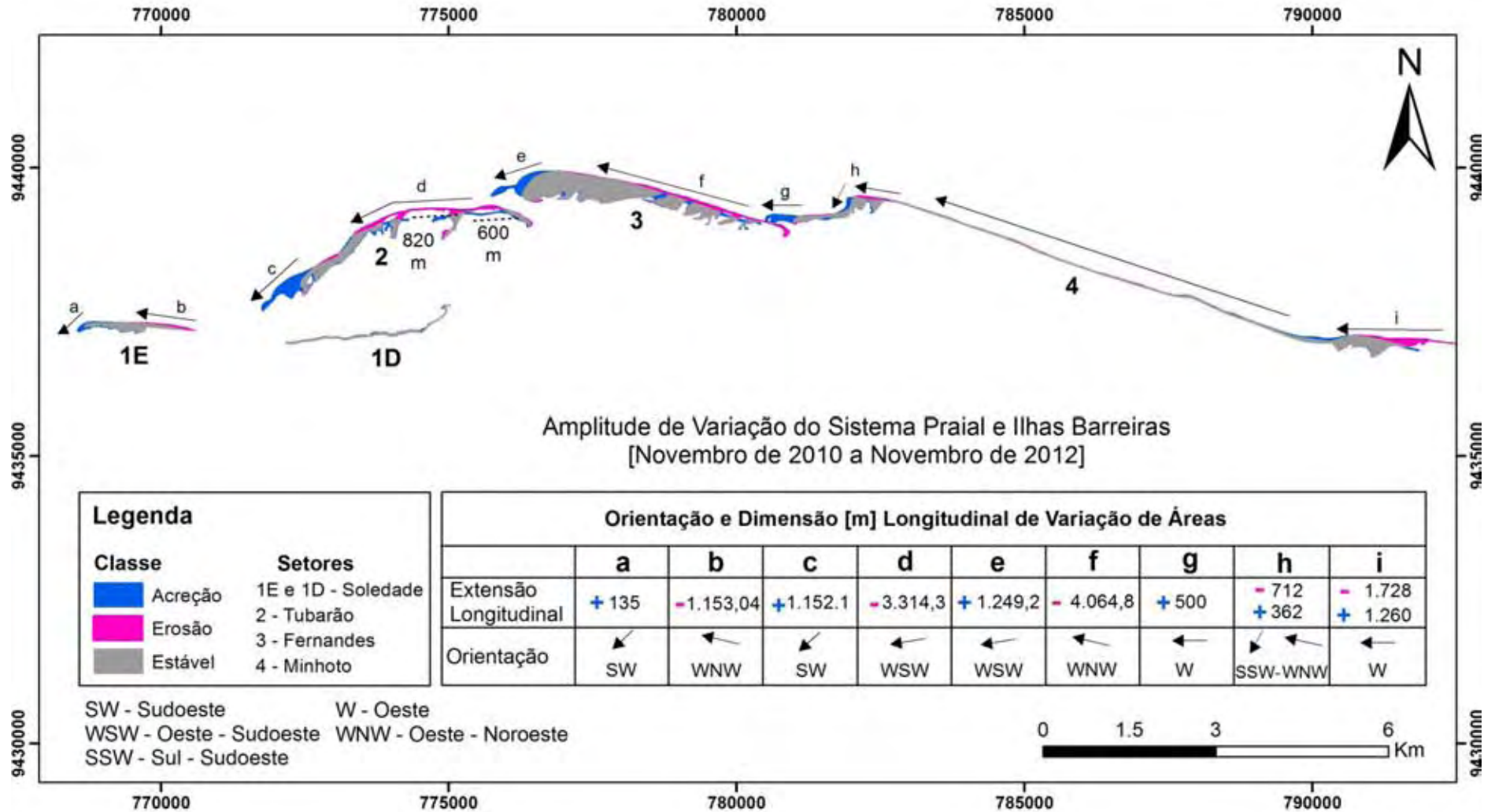


Figura 8. Mapa de erosão/acreção acumulada ao longo de todo o período monitorado (novembro de 2010 a novembro de 2012) e orientações e dimensões longitudinal da amplitude de variação da Praias e Ilhas Barreiras.

4.2 Variabilidade Planimétrica do Sistema de Praias e Ilhas Barreiras do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte.

O sistema de praias e ilhas barreiras em estudo mostrou ciclos construtivos/destrutivos durante os períodos analisados, significando ganho e perda de área, ou seja, deslocamento planimétrico do material sedimentar (Figura 9). Uma análise estatística descritiva foi realizada sobre os dados, a fim de se compreender o comportamento e a variabilidade em planta das áreas em estudo, sendo os resultados apresentados a seguir.

A média de variação total para todas as áreas foi próximo de 4.200 m^2 . As variações corresponderam, aproximadamente, a um máximo de 200.000 m^2 e a um mínimo de -221.000 m^2 , ou seja, flutuaram em torno de uma amplitude de mais de 420.000 m^2 . O balanço total do sistema de praias e ilhas barreiras correspondeu a 134.000 m^2 em um perímetro de 63.000 m extensão, significando um acréscimo de quase $2 \text{ m}^2/\text{m}$ ao entorno do sistema sedimentar (Figura 9). Entre novembro de 2010 a maio de 2011 ocorreu a maior deposição ($\approx +175.500 \text{ m}^2$), seguido pelo maior evento erosivo entre os meses de maio de 2011 a novembro de 2012, de cerca de -150.000 m^2 . O terceiro período voltou a corresponder à fase deposicional, porém de menor magnitude que a primeira, da ordem de 140.000 m^2 e o subsequente evento erosivo foi 1/5 da intensidade do primeiro ($\approx -34.000 \text{ m}^2$).

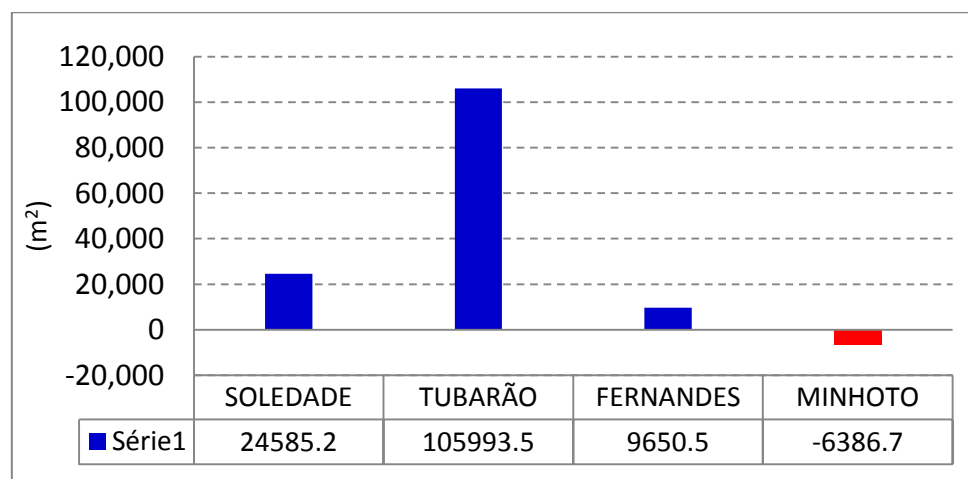


Figura 9. Balanço das áreas para o inteiro (novembro de 2010 a novembro de 2011) período monitorado da linha de costa.

Fazendo-se uma análise por áreas (Figura 10), no período total de monitoramento a maior amplitude de variação ocorreu na praia do Minhoto, com um valor maior que 420.000 m^2 , seguido pelas ilhas do Tubarão e Fernandes, com quase 280.000 m^2 e 220.000 m^2 de

amplitude, respectivamente. A praia de Soledade apresentou, para o período total, um pequeno valor de variação, de menos de 100.000 m² (Figura 11).

Na praia de Minhoto, as variações máxima e mínima respectivas foram de 200.000 m² (entre novembro 2011 a maio de 2012) e 221.000 m² (maio a novembro de 2011). Tanto a maior erosão quanto a maior deposição ocorreram na praia do Minhoto, sendo a fase de maior erosão atuante no segundo período monitorado e a fase mais deposicional sendo subsequente a esse, porém a acreção foi um pouco mais incipiente que a erosão. Tanto a média quanto a mediana foram negativas, respectivamente de cerca de 800 m² e 8.000 m², indicando tendência erosiva para esta praia.

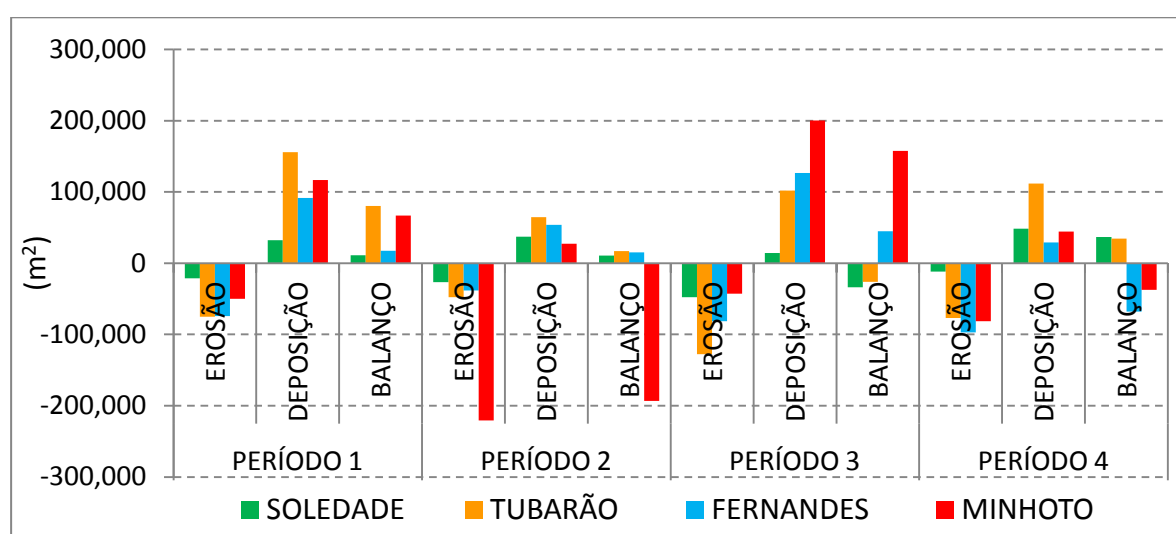


Figura 10. Variação e balanço sedimentar por período de monitoramento.

Ao se analisar as variações e balanços entre as áreas, verificou-se que a praia de Minhoto, mais a leste da área de estudo, foi a única que apresentou balanço negativo para o inteiro período monitorado, de cerca de 6.500 m² em uma extensão de cerca de 25 km, o que significou um recuo de 0,25m²/m da praia. Este fato pode ser explicado pelo deslocamento sedimentar direcionado pela deriva litorânea de leste para oeste, conforme discutido por muitos autores (SANTOS, 2011), corroborado ainda mais pelo fato de as maiores amplitudes de variação terem ocorrido do sentido leste para oeste, isto é, da praia de Minhoto para Soledade, apresentando uma concordância com o sentido da deriva litorânea, como observado nas Figuras de 5 a 8, que mostraram as incidências preferenciais das ondas (NE) e dos ventos (NE – SE) ao longo de todos os meses entre novembro de 2010 a novembro de 2012.

A ilha do Fernandes apresentou um período de maior construção entre os meses de novembro de 2011 a maio de 2012 (Figuras 11 e 12), com variação positiva de quase 127.000

m^2 , enquanto a maior variação negativa ocorreu no último período estudado, de maio a novembro de 2012, de aproximadamente $-100.000 m^2$. A média foi positiva e a mediana foi negativa, cerca de $1.200 m^2$ e $-4.800 m^2$, respectivamente, indicando que, mesmo tendo sido acrescidas muitas áreas, muitos setores da ilha foram destruídos por forte erosão. Ainda assim, o seu balanço geral para todo o período foi positivo e de aproximadamente $+10.000 m^2$, significando um aporte positivo de área na ordem de $0,7 m^2/m$.

O balanço geral da ilha do Tubarão foi positivo, representando um ganho de cerca de $106.000 m^2$, e o range variou de um máximo de $156.000 m^2$ (nov/2010 a maio/2011) a um mínimo de $128.000 m^2$ (nov/2011 a maio/2012). Essa acreção ocorreu em uma extensão de cerca de $12600 m$, correspondendo a uma deposição de $8,4 m^2/m$ da ilha. A variação média foi em torno de $13.000 m^2$ e o valor mediano foi de quase $+8.500 m^2$ (Figura 11), sendo um forte indício de tendência deposicional para este setor, tanto assim que a ilha de Tubarão foi a que apresentou maior ganho de área para o inteiro período monitorado.

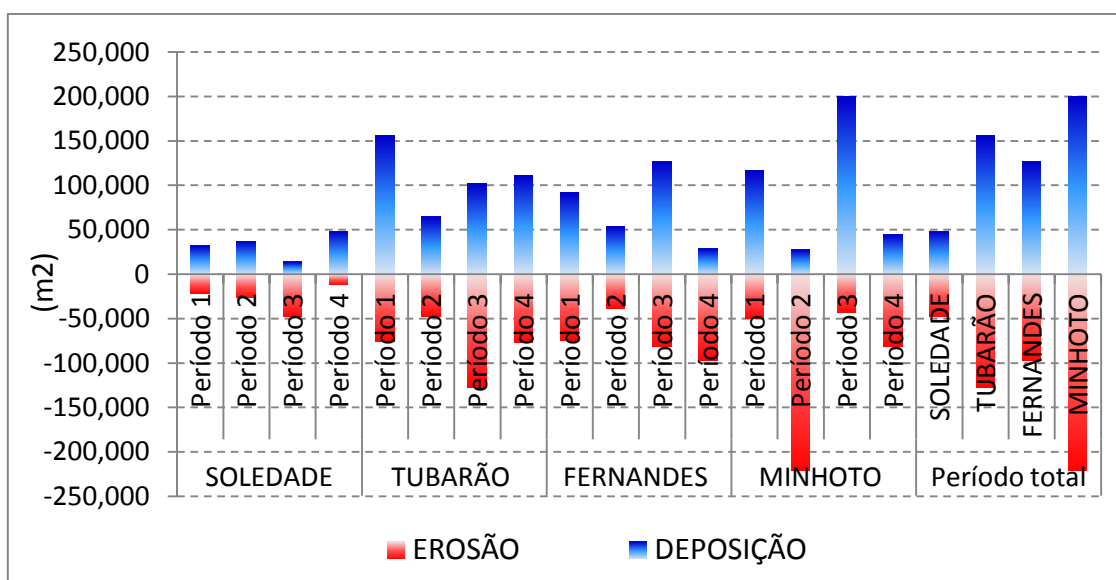


Figura 11. Amplitude de variação e balanço sedimentar por área monitorada novembro de 2010 a novembro de 2012.

A variação na praia de Soledade apresentou uma máxima acreção e erosão de $48.000 m^2$, aproximadamente, apresentando valor médio de cerca de $3.000 m^2$ e valor mediano de quase $1.200 m^2$. A maior erosão ocorreu entre novembro de 2011 a maio de 2012 e foi seguida por um evento máximo acrecionário. O balanço geral correspondeu a uma acreção na ordem de $100.000 m^2$ em uma extensão em torno de $11.000 m$, isto é, uma média de deposição de $9,1 m^2/m$ da praia.

Os balanços em todas as áreas durante o primeiro período, de novembro de 2010 a maio de 2011, foram positivos, o que configura este período como construtivo (Figura 12).

No segundo período, apenas a praia de Minhoto apresentou um comportamento contrário, com balanço negativo. Em relação ao próximo período, de novembro de 2011 a maio de 2012, a praia de Minhoto apresentou comportamento altamente deposicional, assim como a ilha de Fernandes, porém as demais áreas apresentaram-se sob processo erosivo. Por fim, no quanto e último período, o balanço foi negativo, porém mais tênue que à fase erosiva anterior. Analisando todos os períodos, verificou-se que cerca de 63,3% das variações foram positivas e aproximadamente 36,7% foram negativas, o que denota que mesmo sendo menos frequentes, os eventos erosivos são mais intensos.

Muito embora períodos construtivos e destrutivos tenham sido observados em todas as áreas e em todos os períodos monitorados, sempre houve uma fase mais intensa do ciclo sedimentar para cada região e para cada período (Figuras 11 e 12). Diferentemente da praia do Minhoto, que mostrou mais erosão e deposição nos segundo e terceiro períodos monitorados, a ilha do Fernandes apresentou um comportamento construtivo durante os três primeiros levantamentos e apenas no último período, entre maio e novembro de 2012, é que esta ilha apresentou balanço sedimentar negativo (Figura 12). Ainda assim, o seu balanço geral para todo o período foi positivo.

Por outro lado, as ilhas de Fernandes e Tubarão e a praia de Soledade apresentaram-se sob condições de regime construtivo quando considerado o período total de monitoramento, havendo, contudo, uma tendência de aumento da acreção da praia de Minhoto até a ilha do Tubarão, seguido de diminuição da intensidade da deposição no sentido ilha do Tubarão praia de Soledade. No entanto, ciclos erosivos/deposicionais ocorreram ao longo do sistema e serão analisados por área a seguir.

Apesar de ter ocorrido entre os períodos analisados sequência das fases do ciclo sedimentar, com períodos destrutivos subsequentes a períodos construtivos (Figura 13), como naturalmente ocorre em sistemas de praias e ilhas barreiras (MASSELINK e SHORT 1993; CALLIARI et al. 2003), ao se analisar os períodos para cada área individualmente não foi possível demarcar notadamente a sequência desse ciclo, conforme definido por outros autores, alguns dos quais trabalharam nesta mesma área, porém em outros períodos (FERREIRA, 2013; GOMES, 2013, AMARO, 2013; SANTOS, 2011) (Figura 11). A exceção da praia de Minhoto, que apresentou fases de erosão e deposição bem marcadas, sendo o primeiro período (novembro de 2010 a maio de 2011) correspondente a uma fase acrecionária e, em sequência, entre fase erosional e deposicional para os demais períodos.

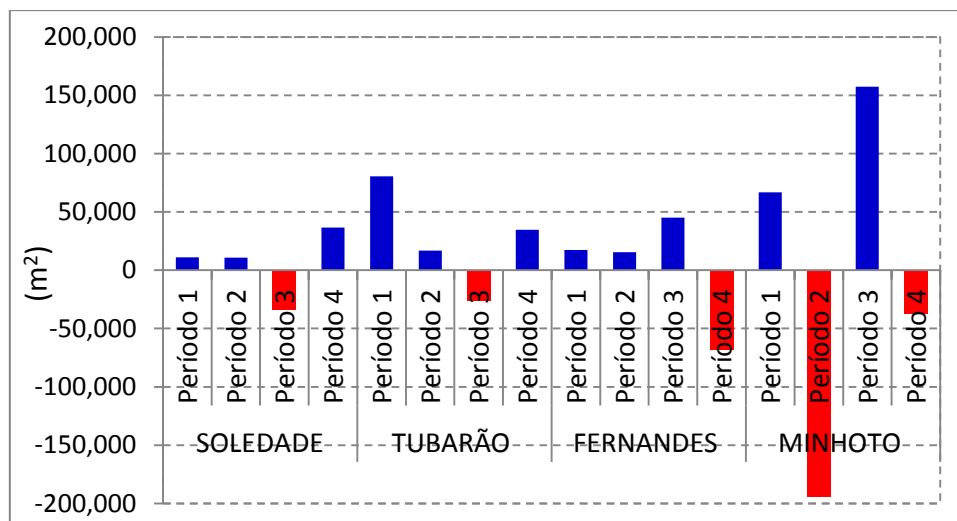


Figura 12. Balanço sedimentar por área (m²) e por período (novembro de 2010 a novembro de 2012).

O senso de estabilidade está relacionado com a não variação tanto no sentido positivo quanto no sentido negativo, isto é, ganho ou perda de área. Portanto, uma região submetida a processo deposicional está instável tendendo ao ganho de área.

As áreas de estabilidade apresentaram variações temporais (Figuras 13 e 14) e as maiores amplitudes foram observadas na ilha do Tubarão e na praia do Minhoto, na ordem respectiva de 108.000 m² e 104.000 m². Enquanto que as áreas mais estáveis foram verificadas na ilha de Fernandes e na praia de Soledade, 54.000 m² e 11.500 m², respectivamente. O fato da praia de Minhoto ser uma das áreas menos estáveis é corroborado por esta praia ter apresentado as maiores variações de erosão e deposição. E a praia de Soledade é a mais estável justamente por apresentar o menor valor de variação sedimentar.

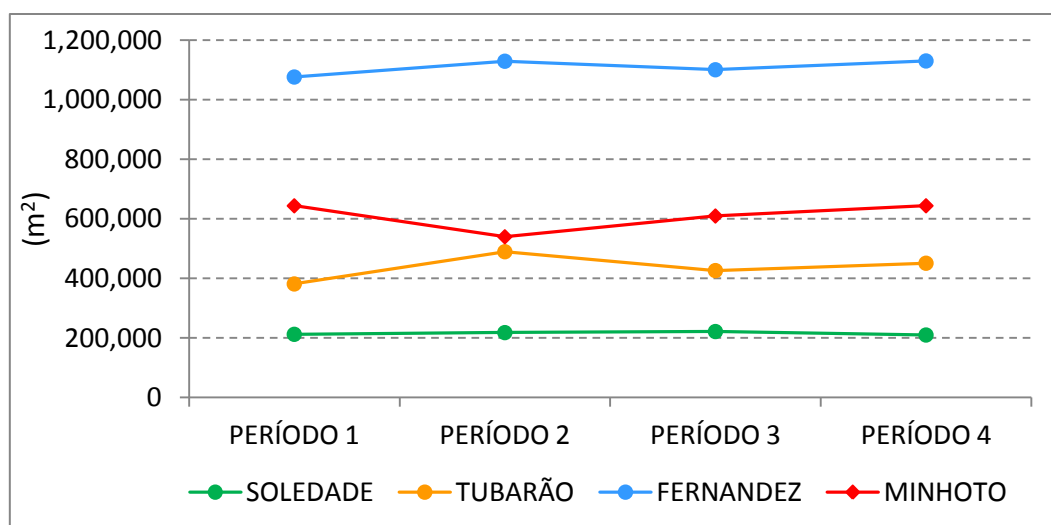


Figura 13. Balanço de áreas (m²) de estabilidade dos sistemas praias e ilhas barreiras entre novembro de 2010 a novembro de 2012.

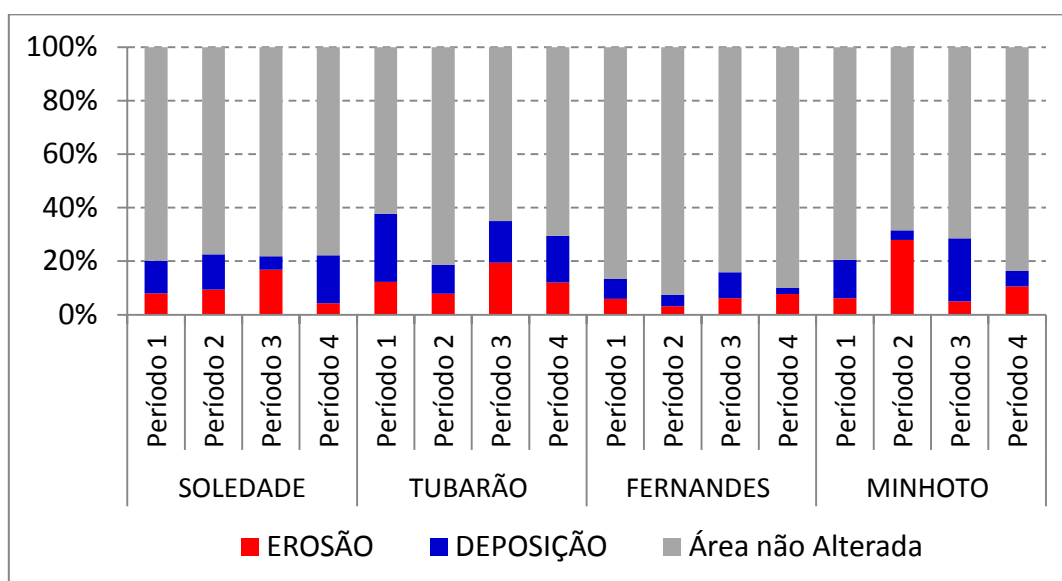


Figura 14. Balanço de áreas de erosão, deposição e áreas não alteradas entre o período de novembro de 2010 a novembro de 2012.

5. CONCLUSÕES

O significado físico das áreas de erosão, deposição e estabilidade se refere a deslocamento planimétrico do material sedimentar, correspondendo a ganho e perda de área do sistema de praias e ilhas barreiras, resultantes de ciclos construtivos/destrutivos intrínsecos a este sistema.

Muito embora a região tenha sido submetida tanto a fases de erosão quanto de deposição sedimentar, o balanço geral foi positivo para todo sistema, exceto a praia do Minhoto, que apresentou tendência erosiva. Quanto aos períodos monitorados, não foi observada uma padronização entre as fases do ciclo sedimentar para as áreas, à exceção da praia de Minhoto. Porém, de um modo geral, o sistema como um todo esteve submetido a períodos subsequentes de deposição e erosão. A praia de Minhoto notadamente apresentou ciclicidade sedimentar equivalente à esta periodicidade observada na área geral, isto é, evento deposicional de Novembro a Maio, seguido de evento erosional de maio a novembro.

O comportamento variável, e o conseqüente deslocamento planimétrico das áreas de erosão e deposição, demonstrou uma consonância com o sentido da deriva litorânea de leste para oeste. A praia de Minhoto, mais a leste, apresentou a maior amplitude de variação e foi à única com balanço negativo, sendo que em direção à oeste houve um ganho de área no

sistema praial e de ilhas, tendo sido aumentada a intensidade deste ganho também para oeste, permitindo uma forte construção da ilha de Tubarão.

Ao analisar a incidência das ondas e ventos durante todos os meses compreendidos entre os anos de 2010 a 2012, verificou-se que nos meses de novembro, dezembro e janeiro, as alturas de ondas foram as maiores observadas, assim como as velocidades dos ventos foram as maiores registradas, embora tenha ocorrido em outros meses, entretanto, nestes, mostrou-se com mais frequência, e quando associados às variações das amplitudes de áreas, de novembro a maio, notou-se que especialmente as ilhas de Ponta do Tubarão e Barra do Fernandes, estão mais sujeitas a erosão do que entre os períodos de maio a novembro, quando no geral os valores de ondas e ventos mostraram-se menos intensos, ainda que no último período de maio a novembro de 2012, a erosão permaneceu para a Ponta do Tubarão, ocorreu. Ou seja, isto confirma que durante estes períodos analisados, não se comprovou de fato uma padronização para todo o sistema de praias e ilhas barreiras. Sugerindo assim, a necessidade de uma análise mensal de mais longo tempo e mensalmente.

A análise estatística descritiva dos dados de variação e balanço sedimentar, tanto por período quanto por área, permitiu identificar as regiões de maiores variações sedimentares e, por tanto, de menor estabilidade, como sendo a ilha do Tubarão e a praia do Minhoto. A praia de Minhoto é a mais sensível aos processos meteoceanográficos ventos e ondas, e pode estar sendo fonte sedimentar para as demais ilhas e praias.

A análise estatística dos dados se mostrou muito interessante para a caracterização dos comportamentos do sistema de praias e ilhas barreiras e de suas variabilidades, permitindo correlacioná-los com processos hidrodinâmicos costeiros.

Quando considerou-se a extensão do sistema praial para análise de ganho e perda de área ao longo do perímetro (m^2/m), verificou-se que as variações planimétricas foram da ordem de centímetros a metros quadrados. Este fato dirimi o uso de qualquer tecnologia que não trabalhe na escala de centímetros, uma vez que erros de precisão poderiam embutir erros grosseiros nas análises.

O estudo das áreas de estabilidade permitiu identificar as regiões mais instáveis, corroborando com o senso de que a maior amplitude de variação indica maior instabilidade e consequente sensibilidade aos processos hidrodinâmicos atuantes na região costeira, seja esta variação positiva ou negativa. Neste sentido, identificou-se que a praia de Minhoto é instável, tendendo a perdas de áreas, as ilhas do Fernandes e do Tubarão apresentaram-se instáveis com a tendência de ganho de área, sendo a ilha do Tubarão a área mais instável de todas, porém de

variação altamente positiva. E houve aumento da estabilidade em direção à praia de Soledade, que apresentou as menores variações de área.

A compreensão do sistema praial e do seu comportamento padrão só se faz possível quando do monitoramento com técnicas de alta precisão, tais como as utilizadas neste trabalho, porém com monitoramento contínuo e com escala temporal que demarque bem suas variabilidades. Portanto, sugere-se a continuidade do estudo ora realizado por maior período de tempo, porém com menor escala interanual, lançando mão de técnicas de monitoramento costeiro de alta acurácia espacial, na ordem de centímetros.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. L.; AMARO, V. E.; VITAL, Helenice. Application of remote sensing for monitoring and evaluation of coastal morphodynamic on the northeastern coast of Brazil: the Açú River Mouth Example. **Journal of Coastal Research**, Estados Unidos, v. 35, 2002.

AMARO, V. E.; ARAÚJO, A. B. Análise multitemporal da morfodinâmica da região costeira setentrional do Nordeste do Brasil entre os municípios de Grossos e Tibau, estado do Rio Grande do Norte. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 2, p. 77-100, 2008.

AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SOUTO, M. V. S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: sensoriamento remoto e geodésia de precisão**. Natal, RN: Do Autor, 2012. 120p.

AMARO, V. E.; LIMA, F. G. F.; SANTOS, M. S. T. Na evaluation of digital elevation models to short-term monitoring of a high energy barrier island, Northeast Brazil. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 76, p. 321-328, 2013.

BASTOS, A. C.; SILVA, C. G. Caracterização morfodinâmica do litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Oceanografia**. p. 41-60, 2000.

BOOIJ, N.; RIS, R. C. HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, part I, model description and validation. **Journal Geophysical Research**, v. 104, n. 4, p. 7649-7666, 1999.

CALDAS, L. H. O. **Late quaternary coastal evolution of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil**. 2002. 92f. PhD Thesis, Kiel University, Germany, 2002.

CALDAS, L. H. O. **Estudo geológico e geofísico da Falha Carnaubais, Bacia Potiguar-RN e implicações neotectônicas**. 1998. 85f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1998.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, M.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR., E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v.51, p. 63-78, 2003.

CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. Coastal Evolution: A Introduction in: **Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. Cambridge, Reino Unido: Press Syndicate of the Cambridge University. 31 p. 1994.

COASTAL ENGINEERING MANUAL. Meteorology and Wave Climate. Washington: U.S. Army Corps of Engineers, 2002, 77p.

FERREIRA, A. T. S.; AMARO, V. E. Imagens do AQUA-MODIS aplicadas à estimativa e monitoramento dos valores de material particulado em suspensão na plataforma continental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2013 (*no prelo*).

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

GÓIS, D. M. M. **Estudo da circulação hidrodinâmica e da dispersão de óleo na zona costeira entre Macau e Galinhos-RN**. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2008.

GOMES, M. P. **Geomorfologia e arquitetura do vale inciso do Rio Açú na Bacia Potiguar imersa (NE Brasil)**. 2012. 183f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GRIGIO, A.M., AMARO, V.E., VITAL, H., DIODATO, M.A. A method for coastline evolution analysis using GIS and Remote sensing - A case study from the Guamare city, Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 42, p. 412-421, 2005.

LIMA, Z. M. C.; ALVES, A. L.; AMARO, V. E.; Vital, H. Evolução da linha de costa do esporão de Galinhos-RN usando fotografias aéreas e imagem Landsat. **Pesquisas em Geociências**, v.28, n.2, p. 497-507, 2002.

MASSELINK, G.; SHORT, A.D. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, No. 3, p. 785-800, 1993.

MATOS, M. F. A.; FORTES, C. J. E. M.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise de dados a partir de métodos in situ no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6, 2011, Boa Vista. **Anais...** Cabo Verde: APRH, 2011. p. 71.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: S. B. CUNHA e A. J. T. GUERRA (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Bertrand Brasil, p. 273-349, 1998.

NASCIMENTO, M. C. **A erosão costeira e sua influência sobre a atividade petrolífera: alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais**. 2009. 229f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2009.

REINECK, H. E.; SINGH, I. R. **Depositional sedimentary environments**. New York, Springer-Verlag, 439p, 1975.

RIOS, V. P. L.; AMARO, V. E. Caracterização dos depósitos sedimentares holocênicos no sistema de ilhas barreiras do Estuário de Diogo Lopes, Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, v.25, p.55-69, 2012.

SANTOS, M. S. T. **Contribuição da geodésia ao monitoramento costeiro do litoral setentrional do RN, área da indústria petrolífera**. 2011. 154f. Tese (Doutorado em Engenharia do Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. **Levantamentos Geodésicos de alta precisão para quantificação de mudanças morfológicas no Litoral Setentrional do RN**. 2013.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S. Metodologia geodésica para levantamento de linha de costa e modelagem digital de elevação de praias arenosas em estudo de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 469-483, 2011.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E. Rede geodésica para o monitoramento costeiro do litoral setentrional do estado do rio grande do norte. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 4, p. 571-585, 2011.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S. Mapeamento de precisão da dinâmica costeira de curta duração em áreas de alta taxa de erosão, Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia (UFC)**, v. 25, p. 7-7, 2012.

SILVA, C. G. **Holocene stratigraphy and evolution of the Açú River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil**. 1991. 359f. Thesis, Duke University, United States, 1991.

SOUTO, M. V. S. **Análise da evolução costeira do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera**. 2009. 177f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2009.

SOUTO, M. V. S.; GRIGIO, A. M.; CASTRO, A. F.; AMARO, V. E. Multitemporal analysis of geonvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the Basis is remote sensing products and integration in GIS. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p.1618-1621. 2006.

SOUTO, M. V. S. **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influencia dos campos petrolíferos de Macau e Serra, Município de Macau/RN**. 2004. 130f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2004.

VITAL, H.; SILVEIRA, I. M.; AMARO, V. E. Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira - área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando integração de dados geológicos e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, n.3, p. 233-241, 2005.

VITAL, H.; SANTOS NETO, F.; PLÁCIDO JR, J. S. Morfodinâmica de um canal de maré tropical: Estudo de caso na Costa Norte Rio Grandense, Nordeste do Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.8, n.2, p.113-126, 2008.

Capítulo 8

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese apresentou a modelagem numérica de ondas SWAN para várias condições de agitação incidentes, com vista a caracterizar e determinar o clima de ondas, investigar sua interação com o fundo marinho raso da plataforma continental setentrional do RN, integrando a análise das mudanças morfológicas do sistema praiar e das ilhas barreiras diante dos aspectos de ondas e ventos.

O modelo SWAN conseguiu prever as condições de ondas no litoral setentrional do RN, uma área de abrangência regional de aproximadamente 300 km² de extensão. O modelo SWAN foi aplicado na propagação de várias condições de agitação incidente até junto à costa, com uso das formulações padrões do modelo numérico, em condição de regime estacionário, sendo o resultado da modelagem comparado aos medidos, juntamente com as condições de ondas obtidas das estações de medições *in situ* (PT 01 e PT 02). Em seguida, procedeu-se a análise estatística de parâmetros descritivos e de comparação dos dados, a saber, MAPE, RMSE, d e R , para todos os períodos analisados.

O modelo SWAN foi implementado com sucesso para este litoral do RN, tendo a finalidade não somente de aplicar e validar um modelo numérico de ondas para reconhecimento do clima de ondas nesse litoral, em continuidade aos trabalhos prévios, mas também com o interesse de compor para um banco de dados contendo alguns parâmetros de onda (H_{m0} , T_{m02} , DIR) nos modos espacial e temporal, de forma a integrar tais informações a outros dados e contribuir para as análises no contexto das variações morfológicas locais com a integração de dados atmosféricos pretéritos, bem como a previsão de cenários futuros.

Embora os dados obtidos pelas simulações com o SWAN tenham sido extremamente superiores em dimensão e quantidade do que o número reduzido de medições *in situ*, com medições esporádicas nas estações PT 01 e PT 02, ao longo do ano, ainda assim é importante a comparação de modo a avaliar e calibrar a condução da modelagem para este litoral. Com as configurações padrões do SWAN em regime estacionário, obteve-se resultados com índices estatísticos aceitáveis, principalmente para as alturas significativas de ondas (H_{m0} , m), do ponto de vista a considerar a discrepância de frequência dos dados entre os registros simulados e os medidos.

Neste trabalho empregou-se as configurações padrões do SWAN na versão 40.72AB, em regime estacionário nas formulações de KOMEN et al., (1984), com coeficiente de atrito em condições *wind sea* e *whitecapping* ou excesso de declividade, as interações entre tríades de ondas e interações onda-onda quádrupla. Tais configurações mostraram-se as mais

eficientes em termos de consumo de tempo, considerando os domínios de grande dimensão abrangendo ampla gama de fenômenos no forçamento exterior, para a quantidade de meses analisados continuamente.

Os resultados do SWAN mostraram uma tendência semelhante com as medidas nas variações temporais de altura significativa (H_{m0} , m) e período médio de onda (T_{m02} , s). Entretanto, os resultados paramétricos das estatísticas mostraram-se baixos para as estimativas dos valores máximos na maioria dos períodos analisados em comparação aos dados do PT 01 e PT 02, com alternância das alturas significativas de ondas em alguns momentos sobrestimado com a sobreposição ocasional de episódios de *swell*, como já observado por Ângelo (2012).

As estimativas dos períodos médios, sendo no geral estimativas mais baixas muito provavelmente devido à baixa velocidade dos ventos e das variações das marés, foram adaptadas aos níveis do interior dos estuários para a linha de praia. Com base nestas correções e adaptações houve melhoria nos resultados da modelagem, com dados originários da estação meteorológica e maregráfica sitiada em terra e no interior do estuário, sendo os de ventos corrigidos por meio da metodologia proposta no CEM (2002) para uma velocidade correspondente em mar e os níveis de maré, calibrados conforme Góis (2009).

Depender dos dados de ventos para forçar o modelo SWAN foi o ponto mais delicado da condução do trabalho, por serem ventos oriundos de terra e não de mar (*wind sea*), com os quais se poderia obter melhores resultados. Isto permite explicar o motivo dos baixos valores de d , RMSE, e R entre os valores simulados e aqueles medidos *in situ*. Além da indisponibilidade dos ventos de mar, a estação meteorológica de Macau ficou inoperante durante vários meses, dificultando a aquisição das informações e a análise para o conjunto dos meses. Entretanto, ainda assim é de se considerar a gama de informações e medições obtidas na modelagem.

Para as análises das direções médias, o resultado no geral nem sempre foi o esperado, devido justamente a questão dos dados de ventos. Contudo, verificaram-se padrões de direções de ondas ao longo do ano, sobretudo para as análises da estação de coleta PT 02, quando da entrada da sobreposição de *swell*. As estatísticas e a concordância dos dados d para este ponto foram mais satisfatórias, quando comparadas às análises do PT 01. Verificou-se ainda que para este litoral os ventos *onshore* exerceram importante papel na evolução das ondas para a linha de costa, ainda que predominantes ao longo do ano de sudeste. Contudo, as maiores magnitudes corresponderam às ondas de orientação nordeste.

No detalhamento das análises, os resultados revelaram que o SWAN conseguiu reproduzir as condições de agitação e, de modo geral, o modelo reproduziu as tendências de crescimento e decaimento das alturas significativas da onda, incluindo os momentos de sobreposição dos episódios de *swell*, especialmente para o ponto que se situa mais ao largo (PT 02). Entretanto, os valores numéricos foram em geral mais alisados e na maioria dos casos subestimados em relação aos medidos.

As alturas significativas alcançaram resultados aceitáveis, com maior ajustamento dos dados, quanto às precisões dos indicadores estatísticos para quaisquer dos casos. Em termos de períodos médios, notadamente as análises foram menos precisas e no geral, Tm02 esteve quase sempre condicionado a uma subestimação do modelo, fato este explicado pelos atributos de fronteira, componentes de ventos e marés *onshore*, e do valor atribuído à condição padrão do modelo SWAN, com coeficiente de atrito de fundo *default*.

Em termos de direções médias, de modo geral sucedeu-se com baixo desempenho, evidenciado por todos os indicadores estatísticos apresentados, ainda que em relação às comparações estatísticas entre as estações houve uma pequena melhora para os resultados do PT 02, por encontrar-se em maiores profundidades e mais distante da costa. Não obstante, as ondas que mais predominaram foram as de direção nordeste, com variações de sudeste e leste.

Os indicadores estatísticos revelaram comparações semelhantes a outros trabalhos existentes, como em Lin et al. (2002); Moeini e Etemad-Shahidi et al. (2009) e Akpınar et al. (2012) que aplicaram o SWAN para simular ondas (respectivamente nas regiões de Baía de Chesapeake, Lago Erie e Mar Negro) e também obtiveram condições melhores apenas para as alturas significativas de ondas.

Nem sempre ao se atribuir o mesmo valor do coeficiente de atrito de fundo para o conjunto de parâmetros se reproduziu melhores resultados para todos os parâmetros.

Ao analisar a distribuição espacial do clima de ondas e sua interação com a compartimentação submarina, nas condições de variações de origens normalizadas, percebeu-se que há interação da propagação da onda com o fundo, evidenciando alteração nas alturas significativas sempre quando esta interage com as feições de fundo existentes nas regiões das zonas da plataforma externa, média e interna.

Pôde-se constatar que as ondas originam-se predominantemente de NE e foram mais intensas na porção norte da malha exterior, por estas encontrarem-se em águas mais profundas, sofrendo efeito de refração em direção à costa. Também foram observadas frentes de ondas de leste.

Nas análises da evolução da onda em águas rasas por meio de perfis transversais, em três perfis analisados para todas as condições de agitação tanto a amplitude da onda quanto as direções estão sujeitas as alterações (empolamento, rebentação e dissipação) ao interagir com as formas de fundo presentes, caracterizando para esta plataforma continental que o mecanismo de dissipação dominante à propagação das ondas nestas águas rasas é o atrito de fundo.

A adaptação do parâmetro adimensional Hm_0/d para determinar a distribuição espacial da onda, numa seção transversal com adição ao parâmetro direcional (θ), mostrou-se de acordo com as formas de fundo e serviram como importante indicador de análise da interação das ondas com os fundos marinhos de plataformas rasas.

O significado físico das áreas de erosão, deposição e estabilidade se referiu ao deslocamento planimétrico do material sedimentar, correspondendo a ganho e perda de área do sistema de praias arenosas e ilhas barreiras, resultantes de ciclos construtivos e destrutivos intrínsecos a este sistema morfodinâmico.

Muito embora a região tenha sido submetida a fases de erosão quanto de deposição sedimentar, o balanço geral foi positivo para todo sistema, exceto para a Praia do Minhoto que apresentou tendência erosiva. Quanto aos períodos monitorados, não foi observada uma padronização entre as fases do ciclo sedimentar para as áreas, à exceção também da Praia de Minhoto. Porém, de modo geral o sistema esteve submetido a períodos alternados de deposição e erosão. A Praia de Minhoto notadamente apresentou ciclicidade sedimentar equivalente a esta periodicidade observada no conjunto da área, isto é, evento acrescionário de novembro a maio, seguido de evento erosional de maio a novembro.

O comportamento variável, e o conseqüente deslocamento planimétrico das áreas de erosão e deposição, demonstrou uma consonância com o sentido da deriva litorânea de leste para oeste. Destacando-se, contudo, que a deriva litorânea não é a única forçante responsável pela variabilidade sedimentar dos sistemas costeiros, sendo, no entanto, uma das mais importantes.

A análise estatística dos dados de variação e balanço sedimentar (por período e por área) permitiu identificar as regiões de maiores variações sedimentares, portanto de menor estabilidade, na Ilha da Ponta do Tubarão e a Praia do Minhoto. A Praia do Minhoto é a mais sensível às ações de ventos e ondas, e pode estar sendo fonte sedimentar para as demais ilhas e praias.

A análise quantitativa dos dados foi útil na caracterização dos comportamentos do sistema de praias e ilhas barreiras e de suas variabilidades, permitindo correlacioná-los com processos hidrodinâmicos costeiros.

Quando se considerou a extensão do sistema praial para análise de ganho e perda de área ao longo do perímetro (m^2/m), verificou-se que as variações planimétricas foram da ordem de centímetros a metros quadrados. Este fato desaconselha o uso de qualquer tecnologia que não colete informações na escala centimétrica, uma vez que erros de acurácia poderiam embutir erros grosseiros nas análises.

O estudo das áreas de estabilidade permitiu identificar as regiões mais instáveis, corroborando com o senso de que a maior amplitude de variação indica maior instabilidade e consequente sensibilidade aos processos hidrodinâmicos atuantes na região costeira, seja esta variação positiva ou negativa. Neste sentido, identificou-se que a Praia de Minhoto é instável tendendo a perdas de áreas; as ilhas do Fernandes e da Ponta do Tubarão apresentaram-se instáveis com tendência a ganho de área, sendo a Ilha da Ponta do Tubarão a área mais instável de todas, porém de variação altamente positiva. Ainda houve aumento da estabilidade na Praia de Soledade, que apresentou as menores variações de área.

O entendimento do comportamento do sistema praial somente é possível quando do emprego de técnicas de alta precisão, tais como as utilizadas neste trabalho, porém com periodicidade contínua e em escala temporal que demarque bem suas variabilidades. Portanto, sugere-se a continuidade do estudo realizado por maior período de tempo, porém com menor escala temporal, sempre com técnicas de monitoramento costeiro de alta acurácia espacial, na ordem de centímetros. Ainda como recomendações, sugere-se a aplicação de malhas mais estruturadas com diferentes resoluções espacial para cada região de domínio, ou seja, a aplicação em cada domínio de utilizar uma batimetria diferente, por exemplo, na malha externa pode-se permanecer com a batimetria de carta náutica, entretanto, para as malhas intermediária e interior, usar outras batimetrias de levantamento *in situ*, onde pode-se controlar e estabelecer o melhor interpolador para cada domínio. Assim, permitir melhores análises, principalmente na região de domínio da malha interna, onde encontram-se os dados *in situ*. Também, faz-se necessário introduzir dados de corrente com resolução espacial no domínio dos cálculos, e não pontual, para corrigir os desajustes observados nos períodos médios, dada a proximidade dos pontos de medição com as saídas dos estuários.

Assim, a caracterização dos campos de ventos e de correntes na área de estudo e sua inclusão nas simulações numéricas ao longo dos períodos de simulação, bem como a inserção de mais séries temporais, são recomendados para trabalhos futuros. E por fim, conclui-se que

o modelo SWAN conseguiu prever as condições de ondas no litoral setentrional do RN, uma área de abrangência regional de aproximadamente 300 km² de extensão.

Referências

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKPINAR, A.; VAN VLEDDER, G. P.; KÖMÜRÇÜ, M. I.; ÖZGER, M. Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. **Continental Shelf Research**, v. 50, n. 19, p. 80-99, 2012.

ALMEIDA, F. F. M.; HASSUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 2, 1977, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBG, 1977, p. 242-258.

ALVES, A. L.; AMARO, V. E.; VITAL, Helenice. Application of remote sensing for monitoring and evaluation of coastal morphodynamic on the northeastern coast of Brasil: the Açú River Mouth Example. **Journal of Coastal Research**, Estados Unidos, v. 35, 2002.

ALVES, J.; BANNER, M. Performance of a saturation-based dissipation-rate source term in modelling the fetch-limited evolution of wind waves. **Journal of Physical Oceanography**. v. 33, p. 1274-1298, 2003.

AMARO, V. E.; ARAÚJO, A. B. Análise multitemporal da morfodinâmica da região costeira setentrional do Nordeste do Brasil entre os municípios de Grossos e Tibau, estado do Rio Grande do Norte. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 2, p. 77-100, 2008.

AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SOUTO, M. V. S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: sensoriamento remoto e geodésia de precisão**. Natal, RN: Do Autor, 2012. 120p.

AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S. Imagens do AQUA-MODIS aplicadas a estimativa dos valores de clorofila-*a* e da temperatura da superfície do mar na zona offshore da Bacia Potiguar no Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia (UFC)**. v. 25, esp. P. 128 - 142, 2012.

AMARO, V. E.; LIMA, F. G. F.; SANTOS, M. S. T. Na evaluation of digital elevation models to short-term monitoring of a high energy barrier sland, Northeast Brazil. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 76, p. 321-328, 2013.

ANGELIM, L. A. A.; NESI, J. .R.; TORRES, H. H. F.; MEDEIROS, V. C.; SANTOS, C. A.; VEIGA JR, J. P.; MENDES, V. A. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006. 119p.

ÂNGELO, J. S. F. C. **Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, Brasil**. 2012. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. 2012.

ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 127-141, 1994.

ARAÚJO, M. C.; JORGENSEN, S. E. Modelagem ecológica de reservatórios. In: Tundisi, J.G. (ed.), Limnologia e Manejo de Represas, **Academia de Ciências do Estado de São Paulo**, v1, p.395-402. 1988.

ARORA, C.; BHASKARAN, K. P. Numerical modeling of suspended sediment concentration and its validation for the hooghly estuary, India. **Coastal Engineering Journal**, v. 55, n. 2, p. 1-23, 2012.

BARREIRA, L. M. **Processamento de dados de ondas de gravidade, coletados por ADCP, com técnica wavelet de casamento de fase**. 2011. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; GIANNINI, P. C. F. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. **Geologia da USP. Série Científica**, v. 4, n. 2, p. 1-12, 2004.

BASTOS, A. C.; SILVA, C. G. Caracterização morfodinâmica do litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Oceanografia**. p. 41-60, 2000.

BATTJES, J. A.; JANSSEN, J. P. F. M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16, 1978, Hamburg. **Abstract**... Hamburg: ASCE, 1978. p. 569-587.

BERTANI, R. T.; COSTA, I. G.; MATOS, R. M. D. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e “habitat” do petróleo da Bacia Potiguar emersa. In: RAJA GABAGLIA, G.P. & Milani, E.J. (eds), Bacias Sedimentares. PETROBRAS, 291-309. 1990.

BIGARELLA, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 47, (suplemento), p. 366-392, 1975.

BOOIJ, N., HOLTHUIJSEN, L.H., RIS, R.C. The ‘SWAN’ wave model for shallow water. In: PROCEEDINGS OF THE TWENTY FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE OF COASTAL ENGINEERING, Orlando, p. 66 8–676, 1996.

BOOIJ, N.; RIS, R. C. HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, part I, model description and validation. **Journal Geophysical Research**, v. 104, n. 4, p. 7649-7666, 1999.

BOORI, M.S.; AMARO, V.E. Land use change detection for environmental management: using multi-temporal satellite data in the Apodi Valley of northeastern Brazil. **Applied**, v. 6, n. 2, p. 1-15, 2010.

BOORI, M. S.; AMARO, V. E. A remote sensing approach for vulnerability and environmental change in Apodi valley region, Northeast Brazil. Special Journal Issue of World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), **Academic Science Research**, v. 7 (74):506 – 516, 2011.

CABRAL NETO, I. **Beachrocks do rio grande do norte: correlação entre os depósitos costeiros e os de zona costa-afora com base na faciologia, petrografia e diagênese**. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CALDAS, L. H. O. **Estudo geológico e geofísico da Falha Carnaubais, Bacia Potiguar-RN e implicações neotectônicas**. 1998. 85f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1998.

CALDAS, L.H.O. **Late Quaternary coastal evolution of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil**. PhD Thesis, 92p., Kiel University, Germany, *Unpublished*. 2002.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, M.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR., E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v.51, p. 63-78, 2003.

CAPITÃO, R.; FORTES, C. J. E. M. Análise comparativa entre estimativas do modelo SWAN e medições de agitação marítima efetuadas na Praia da Amoreira, Portugal. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 3, p. 283-269, 2011.

CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. Coastal Evolution: A Introduction in: **Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. Cambridge, Reino Unido: Press Syndicate of the Cambridge University. 31p, 1994.

CAMPOS E SILVA, A. Considerações sobre o Quaternário do Rio Grande do Norte. **Arquivos do Instituto de Antropologia da UFRN**, Natal, v.2, n.1/2, p.275-301. 1966.

CAMPOS E SILVA, A. Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras no Rio Grande do Norte. **Coleção Mossoroense: Mossoró**, Série B, n.391, 14pp. 1983.

CARVALHO, J. T. **Simulação da distribuição de energia das ondas oceânicas ao largo do litoral brasileiro**. 2010. 169f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010.

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J da; DIAS, M. A. F. da S. 2009. Tempo e clima no Brasil. São Paulo. **Editora Oficina de textos**. 463 f. 2009.

CHAVES, M. S. **Dinâmica costeira da área Macau-Serra, litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado, 97f. 2006. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

COASTAL ENGINEERING MANUAL. Meteorology and Wave Climate. Washington: U.S. **Army Corps of Engineers**, 2002, 77p.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. Sistema de Banco de Dados Geológicos – GEOBANK. Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em: www.geobank.sa.cprm.gov.br. Acesso em abr. 2013.

CUCHIARA, D.; FERNANDES, E. H.; STRAUCH, J. C.; CALLIARI, L. J. Modelagem numérica do comportamento das ondas na costa do Rio Grande do Sul. In: SEMINARIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEANICA, 2, 2006, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: UFRG, 2006. p. 15.

DANTAS, S. T. P. L. **Caracterização Ambiental de Bancos Arenos-lamosos nos Campos Petrolíferos de Macau e Serra (RN), como Subsídio as Medidas Mitigadoras ao Processo Erosivo**. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, PPGCEP. Universidade Federal do Rio grande do Norte. 2009

DANTAS, S. T. P. L.; AMARO, V. E. Caracterização Físico-Química e avaliação das concentrações de elementos maiores e traços em sedimentos areno lamosos do estuário de Diogo Lopes, litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Geologia (UFC)**, v. 25, p. 101-101. 2012.

DAVIS Jr., R.A. **Coastal sedimentary environments**. Springer-Verlag, New York, USA. ISBN: 978-0387960975. 1985, 716p.

DEAN, R.G.; DARLYMPLE, R.A. **Coastal processes: with engineering applications**. Cambridge University Press, Cambridge, U. K.2001, 489p.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (Brasil). **Tábuas de marés**. Disponível em: < <http://www.dhn.mar.mil.br/> >. Acesso em Out 2009.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (Brasil). **Cartas náuticas**. Disponível em: < <http://www.dhn.mar.mil.br/> >. Acesso em Jan 2012.

ELDEBERKY, Y. **Nonlinear transformation of wave spectra in the neashore zone**. 1996. Thesis - The Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Netherlands. 1996.

FERREIRA, A. T. S. **Geoprocessamento de dados meteoceanográficos (cor do oceano e temperatura da superfície do mar) aplicado ao monitoramento ambiental na costa setentrional do Rio Grande do Norte**. 2009. 105f. (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009.

FERREIRA, A. T. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SANTOS, A. L. S. Estimativa de parâmetros de ondas oceânicas através de sensores ópticos passivos de alta resolução. **Revista de Geologia** (UFC), v. 25, p. 20-36, 2012.

FERREIRA, A. T. S.; AMARO, V. E. Imagens do AQUA-MODIS aplicadas à estimativa e monitoramento dos valores de material particulado em suspensão na plataforma continental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2013 (*no prelo*).

FONSECA, V.P. **Estudo morfo-neotectônico na área do baixo curso do Rio Acu (Assu-Macau), Rio Grande do Norte**. Dissertação de Mestrado, 109p. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. 1996.

FORTES, 2004. Fortes, C.J.; Neves, M.G.; Zózimo, A.C.; Coli, A.B.; Covas, J. Aplicação de modelos numéricos de estudo de propagação de ondas marítimas em zonas costeiras. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7, 2004, Lisboa. **Actas...** Lisboa APRH (versão eletrônica), 2004, 16p.

FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; PALHA, A. O pacote de dados SOPRO: evoluções recentes. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 1, 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: PIANC, 2007.

FORTES, C. J. E. M.; MATOS, M. F. A.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E. Caracterização da agitação marítima nas proximidades da Ponta do Tubarão – RN, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6, 2011, Boa Vista. **Anais...** Cabo Verde: APRH, 2011. p. 73.

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

GÓIS, D. M. M. **Estudo da circulação hidrodinâmica e da dispersão de óleo na zona costeira entre Macau e Galinhos-RN**. 2008. 115f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2008.

GÓIS, D. M. M.; SCUDELRAI, A. C.; ROSMAN, P. C. C.; AMARO, V. E. Um estudo sobre propagação de manchas de óleo na zona costeira de Galinhos e Guamaré – RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: ABRH, 2009.

GOMES, M. P. **Aquisição, processamento e análise de dados de sísmica de alta resolução na Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte: Vale inciso do Rio Açu**. 2009. 125f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009.

GOMES, M. P.; VITAL, H. Revisão da compartimentação geomorfológica da plataforma continental norte do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, p. 321-329, 2010.

GOMES, M. P. **Geomorfologia e arquitetura interna do Vale Inciso do rio Açu na Bacia Potiguar imersa (NE do Brasil)**. 2012. 183f. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 2012.

GRIGGS, G.B.; Trenhaile, A.S. Coastal cliffs and platforms. In: R. W. G. Carter; C. D. Woodroffe, (eds), **Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. pp.425–476, 1994.

GRIGIO, A.M., AMARO, V.E., VITAL, H., DIODATO, M.A. A method for coastline evolution analysis using GIS and Remote sensing - A case study from the Guamare city, Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 42, p. 412-421, 2005.

GRIGIO, A. M.; ANGÉLICA, F. C.; SOUTO, M. V. S.; AMARO, V. E. ; VITAL, H. Análise e integração de imagens óticas na caracterização multitemporal do uso do solo como apoio para a confecção do mapa de suscetibilidade ambiental do Município de Guamaré-RN. **Revista de Geologia (UFC)**, v. 1, p. 1-18, 2009.

HASSELMANN, K.; BARNETT, T. P.; BOUWS, E.; CARLSON, H.; CARTWRIGHT, D. E.; ENKE, K.; EWING, J. A.; GIENAPP, H.; HASSELMANN, D. E.; KRUSEMAN, P.; MEERBURG, A.; MLLER, P.; OLBERS, D. J.; RICHTER, K.; SELL, W.; WALDEN, H. Measurements of wind wave-growth and swell decay during the Joint _North Sea Wave Project (JONSWAP), **Dtsch Hydrogr. Z. Suppl.** v. 12, n. 8, p. 1-95, 1973.

HASSELMANN, K. On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 6, n. 2, p. 107-127, 1974.

HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K.; ALLENDER, J. H.; BARNETT, T. P. Computations and parameterizations of the linear energy transfer in a gravity wave spectrum, Part II: parameterizations of nonlinear transfer for application in wave models. **Journal of Physical Oceanography**, v. 15, n.11, p. 1378-1391, 1985.

HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N.; HERBES, T. H. A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow waters with ambient currents. **Coastal Engineering**, v. 13, p. 23-54, 1989.

HOLTHUIJSEN, L. H. Wave in shallow water. In: **Guide to Wave Analysis and Forecasting**, Geneva, p. 81-88, 1998.

HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HAAGSMA, I. J. G.; KIEFTENBURG, A. T. M. M.; PADILLA-HERNANDEZ, R. SWAN Cycle 2 version 40.01. **User Manual**. Delft University of Technology, The Netherlands, 1999.

HOUTHUIJSEN, L. H.; HERMAN, A.; BOOIJ, N. Phase-decoupled refraction–diffraction for spectral wave models. **Coastal Engineering** 49, 291-305, 2003.

HOLTHUIJSEN, L. H. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge University Press, 387p., 2007.

INNOCENTINI, V.; PRADO, S. C.; PEREIRA, C. S.; ARANTES, F. O.; BRANDÃO, I. N. Ocorrência de vagas no arquipélago de São Pedro São Paulo: caso de 24 de outubro de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p.177-186, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Dados das séries temporais climáticas da Rede do INMET**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: Jan 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados das séries temporais climáticas da Rede do INMET**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: Jan 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Oceanografia e interação oceano-atmosfera**. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em 23 dez 2012.

JOHNSON, H. K.; KOFOED-HANSEN, H. Influence of bottom friction on sea surface roughness and its impact on shallow water wind wave modeling. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, p. 1743-1756, 2000.

KAHMA, K.; HAUSER, D.; KROGSTAD, H. E.; LEHNER, S.; MONBALIU, J.; WYATT, L. R. Measuring and analysing directional spectra of ocean waves, **COST Action 714**, EUR 21367, Brussels. 2005.

KOMEN, G. J.; HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K. On the existence of a fully developed windsea spectrum. **Journal of Physical Oceanography**, v. 14, p.1271-1285, 1984.

KOMEN, G. J.; CAVALERI, L.; DONELAN, M.; HASSELMANN, K.; HASSELMANN, S.; JANSSEN, P. A. E. M. **Dynamics and modelling of ocean waves**. Cambridge University Press, 1994, 532p.

LEITE F. S. **Transporte e dispersão de uma pluma de gás natural no oceano: caracterização experimental e modelagem matemática**. 2007. 167f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. 2007.

LIMA, Z. M. C.; ALVES, A. L.; AMARO, V. E.; Vital, H. Evolução da linha de costa do esporão de Galinhos-RN usando fotografias aéreas e imagem Landsat. **Pesquisas em Geociências**, v.28, n.2, p. 497-507, 2002.

LIMA, F. G. F.; MATOS, M. F. A.; AMARO, V. E. Contribuição para os estudos sobre influência das forçantes meteoceanográficas na morfodinâmica costeira do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte – Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9, 2012, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...** Rio de Janeiro (CD-ROM), 2012.

LIMA, Z. M. C.; VITAL, H.; TABOSA, W. F. Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil. **Journal of Coastal Research**, v.39, p.598-601. 2006.

LIN, W.; SANFORD, L. P.; SUTTLES, S. E. Wave measurement and modeling in Cheasepeake Bay. **Continental Shelf Research**, v.22, p. 2673-2686, 2002.

LUO, W.; MONBALIU, J. Effects of the bottom friction formulation on the energy balance for gravity waves in shallow water. **Journal Geophysical Research**, v.99, n.9, p. 18501–18511, 1994.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v.1, 2007, p.214.

MARONE, E.; KNOPPERS, B.; SILVEIRA, I.C.; LANDIM, W.S.; GODOI, S. **The Brazil Current: typology and physical-biogeochemical domains**. In: Kon-Kee Liu, Larry Atkinson, Renato Quinones, Liana Talaue-McMannus. (Org.) *Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis*. NY: Springer Verlag, 2010, v.13, p. 153-170.

MARQUES, F. M. S. F. **As Arribas do Litoral do Algarve: Dinamica, processos e mecanismos**. 1997, 549p. Tese (Doutoramento) Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. 1997.

MASSELINK, G.; SHORT, A.D. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, No. 3, p. 785-800, 1993.

MATOS, J. P. L de; CASTRO, D. L. de; PEDROSA Jr, N. C. Comportamento geoeletrico da sequencia drifte da bacia potiguar (rn/ce). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n.3, 2010.

MATOS, M. F. A.; AMARO, V. E. Oscillatory Coastal Wave and Currents Profile in the Northern Continental Shelf of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE PROGRAMME, 5, 2011, Sidney. **Abstract...** Sidney: UNESCO/IUGS/Project 526, 2011, 8p.

MATOS, M. F. A.; FORTES, C. J. E. M.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise de dados a partir de métodos in situ no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6, 2011, Boa Vista. **Anais...** Cabo Verde: APRH, 2011. p. 71.

MOEINI, M. H.; ETEMAD-SHAHIDI, A. Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. **Applied Ocean Research**, v. 29, p. 137-145, 2007.

MOEINI, M. H.; ETEMAD-SHAHIDI, A. Wave parameter hindcasting in a lake using the SWAN model. **Transaction A: Civil Engineering**, v.16, n.2, p. 156-164, 2009.

MOURA-LIMA, E. N. de; SOUSA, M. O. L.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, D. L. de; DAMASCENA, R. V. C; VIEIRA, M. M.; LEGRAND, J. M. Reativação cenozóica do sistema de falhas de Afonso Bezerra, Bacia Potiguar. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 1, p. 77-93, 2011.

MOURA, J. E. **Influência dos modelos digitais de terreno na modelagem de circulação hidrodinâmica 2DH: um estudo de caso.** 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MOURA, E. J.; SCUDELARI, A. C.; NEVES, C. F.; AMARO, V. E. Evaluation of the Influence of Digital Elevation Models for a Hydrodynamic Circulation Model. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1140-1144, 2011.

MORTON, R. A. Accurate shore line mapping: past, present, and future. **Coastal Sediments**, v. 91, n. 1, p. 997-1010, 1991.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: S. B. CUNHA e A. J. T. GUERRA (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Bertrand Brasil, p. 273 – 349, 1998.

MULLIGAN, R. P.; BOWEN, A. J.; HAY, A. E.; VAN DER WESTHUYSEN, A. J.; BATTJES, J. A. Whitecapping and wave field evolution in a coastal bay. **Journal of Geophysical Research**, v. 11, C03008, 2008.

NASCIMENTO, M. C. **A erosão costeira e sua influência sobre a atividade petrolífera: alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais.** 2009. 229f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2009.

NETO, I. C. **Beachrocks do Rio Grande do Norte: correlação entre os depósitos costeiros e os de zona costa-afora com base na faciologia, petrografia e diagênese.** Dissertação de mestrado. UFRN/PPGG. 148 p. 2011.

NIMER, E. Climatologia da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, 34, n. 1, p. 3-38, 1972.

NATIONAL WEATHER SERVICE. **Wavewatch III. Model description.** Disponível em: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/wavewatch.shtml>. Acessado em 19 dez 2013.

NORTEK. Nortek primers: **getting started with waves measurements.** Documents, USA, 8p, 2010.

PADILLA-HERNÁNDEZ, R.; MONBALIU, J. Energy balance of wind waves as a function of the bottom friction formulation. **Coastal Engineering**, v. 43, p. 131-148, 2001.

PEDERSEN, T.; SIEGEL, E; WOOD, J. Directional wave measurements from a subsurface buoy with an acoustic wave and current profile (AWAC). **MIS**, 0-933957-35-1, 10p, 2007.

PEREIRA, A. I. S. **Modelação da agitação marítima em zonas costeiras.** 2008. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal, 2008.

PESSOA NETO, O. C. **Análise estratigráfica integrada da plataforma mista (siliciclástica-carbonática) do Neógeno da Bacia Potiguar, NE do Brasil.** 1999. 220f. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 1999.

PESSOA NETO, O. C.; SOARES, U. M.; SILVA, J. G. F.; ROESNER, E. H.; FLORÊNCIO, C. P.; SOUZA, C. A. V. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 357- 369, 2007.

PIRES SILVA, A. A.; MAKARYNSKY, O.; MONBALIU, J. VENTURA SOARES, C.; COELHO, E. Modelling wave transformation in an open beach on the west coast of Portugal. In: PROCEEDINGS COASTAL WAVE MEETING, A. Sanchez-Arcilla, S. Ponce de Leon (Eds.) **Technical University of Catalonia**, Barcelona, Chapt. 4.3, 2000.

REINECK, H. E.; SINGH, I. R. **Depositional sedimentary environments**. New York, Springer-Verlag, 439p, 1975.

RIOS, V. P. L.; AMARO, V. E. Caracterização de depósitos sedimentares holocênicos no sistema de Ilhas Barreiras do Estuário de Diogo Lopes, Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia** v. 25, n. esp. p. 55-69, 2012.

RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. A spectral model for waves in the nearshore zone. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE OF COASTAL ENGINEERING, 24, 1994, Kobe. **Abstract...** Kobe: ASCE, 1994, p. 68– 78.

RIS, R.C. **Spectral modelling of wind waves in coastal areas**. 1997. PhD Thesis. Delft University of Technology, The Netherlands, 1997.

RIS, R.C.; HOLTHUIJSEN, L.H.; BOOIJ, N. A third-generation wave model for coastal region: 2. Verification. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n.4, p. 7667–7681, 1999.

ROCHA, M. V. L.; MOURA, T.; FORTES, C. J. E. M.; CAPITÃO, R.; BEZERRA, M. M.; SANCHO, F. E. Análise comparativa de medições *in situ* e estimativas numérica na Praia da Cornélia, Costa da Caparica, Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n.2, p.147-157, 2012.

RÖBER, V. **Structure and dynamics of the inner shelf north of Galinhos, Rio Grande do Norte (NE – Brazil)**. Institute of Geosciences, University Christian Albrechts zu Kiel, Germany. Tese, 76 p. 2001.

ROGERS, W.; HWANG, P.; WANG, D. Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional-scale applications. **Journal Physical Oceanography**. v. 33, p. 366 – 389, 2003.

ROGERS, W. E.; KAIHATU, J. M.; HSUL, L.; JENSEN, R. E.; DYKES, J. D.; HOILAND, K. T. Forecasting and hindcasting waves with the SWAN model in the Southern California Bight. **Coastal Engineering**, v. 54, p. 1-15, 2007.

ROSMAN, P. C. C.; NEVES, C. F.; MUEHE, D.; VALENTINI, E. M. S. Estudo de vulnerabilidades no Litoral do Estado do Rio de Janeiro devido às mudanças climáticas. Fundação Coppetec PENO-9501, Relatório Final, 98pp, 2007.

ROSSO, T. C. A. Gestão integrada em bacias hidrográficas costeiras. In: WORKSHOP SOBRE HIDRODINAMICA COSTEIRA - AMIGOS DE BOUSSINESQ, 1, 2007, Vitória. *Anais...* Vitória: UFRJ, 2007. v. 1. p. 1-7.

SAMPAIO, M. J. R. T. **Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz.** 2008. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal, 2008.

SANTOS, M. S. T. **Contribuição da geodésia ao monitoramento costeiro do litoral setentrional do RN, área da indústria petrolífera.** 2011. 154f. Tese (Doutorado em Engenharia do Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. **Levantamentos Geodésicos de alta precisão para quantificação de mudanças morfológicas no Litoral Setentrional do RN.** 2013 (*no prelo*).

SANTOS, M. S. T., AMARO, V. E. Rede geodésica para o monitoramento costeiro do litoral setentrional do estado do rio grande do norte. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 4, p. 571-585, 2011.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. Metodologia geodésica para levantamento de linha de costa e modelagem digital de elevação de praias arenosas em estudo de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 469-483, 2011.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S. Mapeamento de precisão da dinâmica costeira de curta duração em áreas de alta taxa de erosão, Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia (UFC)**, v. 25, p. 7-7, 2012.

SCUDELARI, A. C.; FORTES, C. J. E. M.; DANTAS, A. L. S. S. 2007. Propagação da agitação marítima na região de Galinhos-Guamaré, Rio Grande do Norte, Brasil. In: CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO SOBRE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA, 2007, 1, Porto. *Anais...* Porto: CMNE/CILANCE, 2007, p. 1-18.

SCUDELARI, A. C.; FORTES, C. J. E. M.; NEVES, C. F. Determining the nearshore wave climate between Galinhos and Guamaré, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Szczecin, Polonia, v. 64, p. 1179-1183. 2011.

SCHWARZER, K.; STATTEGGER, K.; VITAL, H. ; BECKER, M. Holocene coastal evolution of the Rio Açu area (Rio Grande do Norte, Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 140-144, 2007.

SILVA, C. G. **Holocene stratigraphy and evolution of the Açu River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil.** 1991. 359f. Thesis, Duke University, United States, 1991.

SILVEIRA, I. M. **Monitoramento geo-ambiental da Região Costeira do Município de Guamaré-RN.** 161p. 2002. Dissertação (Dissertação em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2002.

SMITH, G. D. **Numerical solution of partial different equations.** Oxford University Press, Walton Street, Oxford, 1978.

SOUTO, M. V. S. **Análise da evolução costeira do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera.** 2009. 177f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2009.

SOUTO, M. V. S.; GRIGIO, A. M.; CASTRO, A. F.; AMARO, V. E. Multitemporal analysis of geonvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the Basis is remote sensing products and integration in GIS. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p.1618-1621. 2006.

SOUTO, M. V. S. **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influencia dos campos petrolíferos de Macau e Serra, Município de Macau/RN.** 2004. 130f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2004.

SOARES, U. M., GOULART J. P. M.; BRITO A. F.; CREMONINI O. A., RAMOS M. A. Projeto de integração geológica-geofísica da porção submersa da Bacia Potiguar, Natal, Petrobras (Relatório interno). 1999.

SOUZA, S. M. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1982, 31, Salvador, **Anais...** Salvador: SBG, 1982, p. 2392 – 2406.

STELLING, G. S.; LEENDERTSE, J. J. Approximation of convective processes by cyclic AOI methods. In: PROC. INTERNATIONAL CONFERENCE ESTUARINE AND COASTAL MODELLING, 1992, 2, New York. **Book of Abstracts...** New York: ASCE, 1992, p. 771 – 782.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** 400p. Editora Edgard Blucher, Sao Paulo, SP, Brasil. 2003.

SUMMER-ELD, M. A. **Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms.** Longman Scientific Technical, London, U.K, 537p. 1991.

SWAN Team. **SWAN technical documentation. SWAN cycle II version 40.51.** Delft University of Technology, 2008.

STATTEGGER.T. K.; CALDAS. L. H, O.; VITAL, H. Holocene Coastal Evolution of the Northern Rio Grande of Northeast Coast, NE, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 150-155, 2006.

TABOSA, W. F. **Morfologia e sedimentologia da plataforma continental brasileira adjacente a São Bento do Norte e Caiçara do Norte.** 2006. 167f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TABOSA, W. F.; VITAL, H. Hydrodynamic forcing and environmental impacts on the coasts and shelf adjacent to São Bento do Norte, NE Brazil. In: Brebbia C.A. (eds.) Environmental Problems in Coastal Regions VI: Including Oil Spill Studies. **Wessex Institut of Tecnology**, Cambridge Printing, p.165-174, 2006.

TABOSA, W. F.; VITAL, H.; AMARO, V. E. Morphologic and structural characterization of the Rio Grande do Norte State, NE Brazil, based on remote sensing images. **Annual Meeting**

of **American Association of Petroleum Geologist**, 6p. AAPG, Houston, TX, U.S.A. Disponível em http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/pdf/2002/ndx_43377.pdf. 2002.

TABOSA, W. F.; AMARO, V. E.; VITAL, H. Caracterização do ambiente costeiro, integrado a produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte/Caiçara do Norte-NE Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007.

TELES, M. J.; PIRES SILVA, A. A.; BELO-PEREIRA, M. Simulations of wave conditions on open beach configuration: Wind resolution, seaward forcing and whitecapping effects. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 16, n. 8, p. 927-942, 2012.

TOLMAN, H.L. The numerical model WAVEWATCH: a third generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas. **Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering**, Delft Univ. of Techn., Rep. no. 89-2, 1989, 72p.

TOLMAN, H.L. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 21, p. 782-797, 1991.

TOLMAN, H.L. Effects of numerics on the physics in a third-generation wind-wave model. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 22, p. 1095-1111, 1992.

TOLMAN, H.L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 1.18**. NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, **OMB Technical Note** 166, 110p. 1999.

TOLMAN, H. L. User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 2.22. N.O.A.A., National Centers for Environmental Prediction. **OMB Technical Note** 222. Camp. Springer, EUA, 133p, 2002.

TRENHAILE, A. S.; KANYAYA, J. I. The role of wave erosion on sloping and horizontal shore platforms in macro- and mesotidal environments. **Journal of Coastal Research**, v. 23, n. 2, p. 298 – 309, 2007

TRENHAILE, A. S. Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. **Geomorphology**, v. 48, n.1-3, p. 7 – 22, 2002.

VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. 1991. Meteorologia Básica e Aplicações. Viçosa, UFV: Impr. Univ. 449p.

VIEIRA, M. M. **Aspectos sedimentológicos e petrológicos dos beachrocks do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado, UFRGS/PPG. 243 p. 2005.

VITAL, H.; GOMES, M. P.; TABOSA, W. F.; FRAZÃO, E. P.; SANTOS, C. L. A. and PLÁCIDO JÚNIOR, J. S. Characterization of the Brazilian Continental Shelf adjacent to Rio Grande do Norte state, ne brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58 sp. issue, IGCP526, 2010.

VITAL, H.; SILVEIRA, I. M.; AMARO, V. E. Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira - área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando integração de dados geológicos e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, n.3, p. 233-241, 2005.

VITAL, H.; STATTEGGER, K.; AMARO, V. E.; SCHWARZER, K.; FRAZÃO, E. P.; TABOSA, W. F. Modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Brazilian Continental Shelf Adjacent to Northern Rio Grande do Norte State, NE Brazil. SEPM Special Publication on Advances in Shallow-marine sedimentology. **Journal of Sedimentary Research**, v. 90, p. 100, 2008.

VITAL, H.; SANTOS NETO, F.; PLÁCIDO JR, J. S. Morfodinâmica de um canal de maré tropical: Estudo de caso na Costa Norte Rio Grandense, Nordeste do Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.8, n.2, p.113-126, 2008.

WAMDI GROUP. The WAM model - a third generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**, v. 18, p. 1775-1810, 1988.

WESTHUYSEN, A. VAN DER.; ZIJLEMA, M.; BATTJES, J. 2007. Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water. **Coastal Engineering**, v. 54, p. 151-171, 2007.

WAMDI GROUP. The WAM model - a third generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**, v. 18, p. 1775-1810, 1988.

WILMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 1984 – 1994, 1981.

ZIJLEMA, M.; VAN DER WESTHUYSEN, A. J. 2005, On convergence behaviour and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectral, **Coastal Engineering**, v. 52, 237-256, 2005.

Apêndices

Apêndice 1

Nestes apêndices são apresentados os arquivos de entrada, relativos aos três domínios (Malhas: exterior (M1), intermediário (M2) e interior (M3)), considerados para as aplicações do modelo SWAN.

Cálculos em Modo Estacionário (Período de novembro de 2010 a novembro de 2012)

As simulações em modo estacionário requer a criação de arquivos por cada passo temporal definido, neste caso, um por hora, e por domínio (malha). De tal modo, os três arquivos abaixo apresentados referem-se apenas à primeira hora, e introduz apenas os arquivos de dados de entrada: ventos, agitação ao largo, nível da maré, relacionados a esta hora.

1) Domínio Exterior

```
PROJECT "tubarao"
SET 0.25 90 0 NAUTICAL
MODE STATIONARY TWODIMENSIONAL
COORDinates CART
CGRID REG 710000 9436000 0 100000 62000 100 62 CIRCLE 90 0.04 1 23
INPGRID BOTTOM REG 710000 9436000 0 200 124 500 500 EXC 1
READINP BOTTOM 1. 'BATIMETRIA.BOT' idla=3
INPGRID WIND REG 710000 9436000 0 200 124 1000 1000 EXC 0
READINP WIND 1. 'fort.11' idla=1

$-----wave settings
  BOUNd SHAPespec JONSWAP peak DSPR Degrees
  BOUN SIDE N CON PAR 1.7 9.63 10 10
  BOUN SIDE E CON PAR 1.7 9.63 10 10
  BOUN SIDE W CON PAR 1.7 9.63 10 10
```

```

$----- Physics
DIFFRACTION 1 0 0 1
QUAD
TRIad
FRICTION JONSWAP

$-----
$NUMERIC ACCUR 0 0 0 0 [niter]=50
$----- Output
NGRID 'outNgrid' 750000 9440000 0 50000 20000 100 80
NESTout 'outNgrid' 'outgrid.dat'
FRAME 'tubarao' 710000 9436000 0 100000 62000 100 62
TABLE 'tubarao' HEADER 'malha1.dat' XP YP HSIGN TM02 PDIR DEP RTP DIR TM01
POINTS 'CN' FILE 'DADOS_PONTOS.DAT'
TABLE 'CN' HEADER 'pontos.dat' XP YP HSIGN TM02 PDIR DEP RTP DIR TM01
$
TEST 0,0
COMPUTE
STOP

```

2) Domínio Intermediário

```

PROJECT "tubarao"
SET 0.25 90 0 NAUTICAL
MODE STATIONARY TWODIMENSIONAL
COORDinates CART
CGRID REG 750000 9440000 0 50000 20000 100 80 CIRCLE 90 0.04 1 23
INPGRID BOTTOM REG 710000 9436000 0 200 124 500 500 EXC 1
READINP BOTTOM 1. 'BATIMETRIA_NESTED.BOT' idla=3
BOUNnest NEST 'outgrid.dat' CLOSED
INPGRID wind REG 710000 9436000 0 200 124 1000 1000 EXC 0
READINP WIND 1. 'fort.11' idla=1

```

\$----- Physics

DIFFRACTION 1 0 0 1

QUAD

TRIad

FRICITION JONSWAP

\$-----

\$NUMeric ACCUR 0 0 0 0 [niter]=25

\$----- Output

NGRID 'outNgrid' 765000 9440000 0 30000 10000 300 200

NESTout 'outNgrid' 'outgrid1.dat'

FRAME 'tubarao' 750000 9440000 0 50000 20000 100 80

TABLE 'tubarao' HEADER 'malha1.dat' XP YP HSIGN TM02 PDIR DEP RTP DIR TM01

POINTS 'CN' FILE 'DADOS_PONTOS.DAT'

TABLE 'CN' HEADER 'pontos.dat' XP YP HSIGN TM02 PDIR DEP RTP DIR TM01

\$

TEST 0,0

POOL

COMPUTE

STOP

2) Domínio Exterior

PROJECT "tubarao"

SET 0.25 90 0 NAUTICAL

MODE STATIONARY TWODIMENSIONAL

COORDinates CART

CGRID REG 765000 9440000 0 30000 10000 300 200 CIRCLE 90 0.04 1 23

INPGRID BOTTOM REG 710000 9436000 0 200 124 500 500 EXC 1

READINP BOTTOM 1. 'BATIMETRIA_NESTED1.BOT' idla=3

BOUNnest NEST 'outgrid1.dat' CLOSED

INPGRID WIND REG 710000 9436000 0 200 124 1000 1000 EXC 0

READINP WIND 1. 'fort.11' idla=1

\$----- Physics

DIFFRACTION 1 0 0 1

QUAD

TRIad

FRICtion JONSWAP

\$-----

\$NUMeric ACCUR 0 0 0 0 [niter]=50

\$----- Output

FRAME ' tubarao ' 765000 9440000 0 30000 10000 300 200

TABLE ' tubarao ' HEADER 'malha1.dat' XP YP HSIGN TM02 PDIR DEP RTP DIR TM01

POINTS 'CN' FILE 'DADOS_PONTOS.DAT'

TABLE 'CN' HEADER 'pontos.dat' XP YP HSIGN TM02 PDIR DEP RTP DIR TM01

SPECout 'CN' SPEC2D ABS 'outspec.dat'

\$

TEST 0,0

POOL

COMPUTE

STOP

Apêndice 2

Resumo de dados da modelagem de ondas utilizados nesta Tese, com médias diária de 12 em 12 hora para o Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte.

Data	Hora	DADOS - WWIII			DADOS SWAN					Ventos INMET - CEM			Maré (cm)
		Hs (m)	Tp (s)	DIR (°)	Hs (m)	Tp (s)	DirTP (°)	Tm02 (s)	DIR (°)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	Dir (°)	
23/11/2010	06:00	1.8	6.8	99	0.6	7.1	60	2.0	72	4.0	6.9	111	91
23/11/2010	18:00	1.9	6.9	98	1.0	4.7	36	2.7	28	7.2	10.2	33	110
24/11/2010	06:00	1.8	6.8	88	0.6	7.1	40	2.1	61	3.4	6.0	103	90
24/11/2010	18:00	1.8	6.7	90	1.0	4.1	36	2.6	29	6.4	9.5	33	102
25/11/2010	06:00	1.6	6.5	90	0.6	3.5	48	2.0	64	4.5	7.5	95	73
25/11/2010	18:00	1.7	6.8	95	1.1	4.7	36	2.7	36	9.3	11.5	45	78
26/11/2010	06:00	2.1	7.6	91	0.6	8.2	40	2.0	55	3.3	5.9	100	42
26/11/2010	18:00	2.1	7.6	99	1.1	4.7	32	2.7	35	9.4	11.5	46	40
27/11/2010	06:00	2.3	8.2	87	0.6	8.2	36	2.1	61	4.3	7.2	129	3
27/11/2010	18:00	1.9	7.7	99	0.9	4.7	32	2.5	29	7.3	10.3	37	-4
28/11/2010	06:00	1.8	7.5	95	0.5	7.1	40	1.8	69	4.0	6.9	110	-36
28/11/2010	18:00	1.8	7.8	90	0.9	4.7	28	2.5	26	7.2	10.2	34	-43
29/11/2010	06:00	1.8	7.7	88	0.4	8.2	32	1.7	58	3.0	5.4	113	-65
29/11/2010	18:00	2.0	8.2	95	0.9	4.7	28	2.4	27	7.7	10.6	37	-68
30/11/2010	06:00	2.6	9.7	58	0.8	9.4	24	2.6	24	4.6	7.5	100	-76
30/11/2010	18:00	2.7	9.6	43	1.0	9.4	24	3.0	19	8.9	11.3	44	-72
01/12/2010	06:00	2.4	9.1	50	0.8	9.4	24	2.6	22	3.9	6.6	104	-67
01/12/2010	18:00	2.3	8.5	67	0.9	8.2	28	2.7	24	7.2	10.2	37	-54
02/12/2010	06:00	2.4	8.3	77	0.7	8.2	28	2.2	51	5.2	8.3	106	-40
02/12/2010	18:00	2.8	7.8	104	0.8	4.1	32	2.4	38	6.6	9.8	55	-21
03/12/2010	06:00	2.8	7.7	110	0.8	3.5	68	2.1	79	8.2	10.9	116	-2
03/12/2010	18:00	2.5	7.5	110	0.9	4.1	40	2.4	54	7.6	10.5	78	21
04/12/2010	06:00	2.2	7.5	99	0.7	8.2	40	2.1	72	5.4	8.5	114	38
04/12/2010	18:00	2.1	7.3	103	0.8	4.1	40	2.4	52	6.2	9.4	72	62
05/12/2010	06:00	1.9	7.3	93	0.6	7.1	40	2.1	62	4.2	7.1	98	71
05/12/2010	18:00	1.7	7.5	86	1.1	4.7	36	2.7	47	7.9	10.8	65	94
06/12/2010	06:00	1.7	8.0	69	0.7	8.2	36	2.5	45	4.3	7.2	78	92
06/12/2010	18:00	1.7	8.7	56	1.2	5.4	28	3.0	32	6.9	10.0	49	112
07/12/2010	06:00	2.0	9.5	30	1.1	9.4	20	3.3	20	4.4	7.3	81	99
07/12/2010	18:00	2.0	9.9	12	1.3	9.4	16	3.5	15	5.6	8.7	47	114
08/12/2010	06:00	1.7	9.3	16	1.0	9.4	16	3.2	17	4.0	6.8	73	91
08/12/2010	18:00	1.5	8.9	27	1.0	9.4	20	3.0	17	4.9	8.0	33	101
09/12/2010	06:00	1.4	8.6	28	0.7	8.2	20	2.8	21	3.2	5.7	75	70
09/12/2010	18:00	1.4	9.1	26	0.8	9.4	20	2.9	8	3.4	5.9	10	75
10/12/2010	06:00	1.5	10.0	21	1.0	9.4	20	3.0	19	5.4	8.5	49	41
10/12/2010	18:00	1.8	10.4	20	1.0	10.8	16	3.1	14	4.1	6.9	50	42
11/12/2010	06:00	1.8	10.0	22	0.9	9.4	20	3.0	17	4.2	7.1	67	9
11/12/2010	18:00	1.7	9.7	22	1.1	9.4	20	2.9	24	7.2	10.3	60	7

12/12/2010	06:00	1.7	8.8	35	0.8	9.4	24	2.6	26	4.6	7.6	77	-21
12/12/2010	18:00	1.8	8.6	42	0.9	8.2	24	2.7	29	6.2	9.4	66	-25
13/12/2010	06:00	2.1	9.1	34	0.9	9.4	20	2.8	18	4.7	7.7	63	-45
13/12/2010	18:00	2.2	9.5	25	1.1	9.4	20	3.1	11	6.0	9.2	30	-48
14/12/2010	06:00	2.4	9.5	20	0.9	9.4	16	3.0	14	4.2	7.1	97	-59
14/12/2010	18:00	2.2	9.2	22	0.9	9.4	20	3.0	10	5.0	8.0	30	-60
15/12/2010	06:00	1.9	8.4	41	0.7	8.2	24	2.5	26	3.8	6.5	100	-62
15/12/2010	18:00	1.8	8.5	45	0.8	8.2	24	2.6	12	4.8	7.9	19	-59
16/12/2010	06:00	1.8	8.0	49	0.7	8.2	24	2.2	40	4.5	7.4	105	-54
16/12/2010	18:00	1.9	7.7	57	0.9	8.2	28	2.6	26	6.3	9.4	41	-46
17/12/2010	06:00	1.8	7.2	73	0.7	7.1	36	2.1	66	6.9	10.0	105	-37
17/12/2010	18:00	1.7	7.1	81	0.7	3.5	40	2.2	59	6.6	9.7	91	-23
18/12/2010	06:00	1.7	7.2	86	0.4	7.1	36	1.7	55	2.3	4.3	156	-12
18/12/2010	18:00	1.7	8.6	69	0.6	8.2	28	2.1	57	4.1	7.0	152	7
19/12/2010	06:00	2.1	8.7	61	0.7	8.2	28	2.5	35	3.7	6.4	102	17
19/12/2010	18:00	2.2	9.2	45	1.3	9.4	24	3.3	18	7.3	10.3	33	42
20/12/2010	06:00	1.7	9.9	13	0.9	10.8	352	3.5	3	5.6	8.8	80	48
20/12/2010	18:00	1.6	9.3	16	0.9	10.8	352	3.6	2	5.1	8.1	72	75
21/12/2010	06:00	1.4	8.9	16	0.9	10.8	352	3.5	2	5.9	9.1	93	76
21/12/2010	18:00	1.3	8.1	34	0.9	10.8	352	3.5	2	6.3	9.4	86	103
22/12/2010	06:00	1.4	9.0	24	0.9	10.8	352	3.6	2	5.9	9.0	92	95
22/12/2010	18:00	1.3	9.2	28	0.9	10.8	352	3.6	2	6.3	9.5	107	118
23/12/2010	06:00	1.4	9.6	30	0.9	10.8	352	3.6	2	8.7	11.2	97	102
23/12/2010	18:00	1.5	9.8	30	0.9	10.8	352	3.6	2	5.1	8.1	101	116
24/12/2010	06:00	1.3	9.9	28	0.9	10.8	352	3.6	2	5.7	8.9	92	91
24/12/2010	18:00	1.3	9.7	27	0.9	10.8	352	3.6	2	3.1	5.5	33	95
25/12/2010	06:00	1.3	10.0	23	0.9	10.8	352	3.6	2	5.9	9.1	74	63
25/12/2010	18:00	1.5	10.5	22	0.9	10.8	352	3.6	2	3.7	6.4	68	58
26/12/2010	06:00	2.0	13.3	359	0.9	10.8	352	3.5	2	6.1	9.3	91	24
26/12/2010	18:00	2.2	13.1	354	0.9	10.8	352	3.5	2	4.4	7.3	46	12
27/12/2010	06:00	2.2	12.6	353	0.9	10.8	352	3.5	3	5.6	8.7	86	-18
27/12/2010	18:00	2.0	11.8	353	0.9	10.8	352	3.5	3	4.6	7.6	55	-32
28/12/2010	06:00	1.5	11.0	355	0.9	10.8	352	3.5	3	5.2	8.3	79	-53
28/12/2010	18:00	1.4	10.7	355	0.9	10.8	352	3.5	3	3.0	5.4	61	-62
29/12/2010	06:00	1.6	11.0	353	0.9	10.8	352	3.5	3	6.1	9.3	80	-71
29/12/2010	18:00	1.7	11.1	351	0.9	10.8	350	3.4	3	4.7	7.7	27	-73
30/12/2010	06:00	1.5	10.5	353	0.9	10.8	352	3.4	3	5.7	8.9	81	-68
30/12/2010	18:00	1.5	10.2	353	0.9	10.8	352	3.4	3	5.0	8.0	42	-61
31/12/2010	06:00	1.4	10.8	354	0.9	10.8	352	3.5	3	4.7	7.8	76	-48
31/12/2010	18:00	1.5	10.4	359	0.9	10.8	352	3.5	3	5.6	8.7	35	-32
01/01/2011	06:00	1.7	9.9	12	1.1	9.4	16	2.9	34	6.8	9.2	75	-14
01/01/2011	18:00	2.3	11.6	358	1.2	12.4	12	3.4	13	4.2	6.7	114	7
02/01/2011	06:00	2.5	12.4	349	1.4	12.4	12	3.7	6	5.9	8.6	86	23
02/01/2011	18:00	2.8	12.2	344	1.6	12.4	12	3.5	24	4.1	6.4	116	47
03/01/2011	06:00	2.6	11.6	343	1.2	12.4	8	3.3	13	6.7	9.1	71	56
03/01/2011	18:00	2.1	10.9	345	1.4	10.8	8	3.5	7	4.6	7.3	80	80

04/01/2011	06:00	1.9	10.2	352	0.9	10.8	8	3.5	4	6.3	9.0	65	80
04/01/2011	18:00	1.8	9.5	2	1.3	9.4	12	3.3	19	3	5.7	96	101
05/01/2011	06:00	1.7	8.9	16	1.1	9.4	16	2.7	49	7.5	9.3	106	91
05/01/2011	18:00	1.8	8.3	45	1.7	8.2	24	3.7	25	7.2	9.6	116	108
06/01/2011	06:00	1.7	7.9	55	0.7	8.2	28	2.5	48	8.4	10.8	92	90
06/01/2011	18:00	1.7	7.7	59	1.1	4.7	32	2.8	50	4.6	6.0	110	103
07/01/2011	06:00	1.7	7.3	70	0.8	7.1	68	2.2	80	5.1	8.9	96	79
07/01/2011	18:00	1.9	7.4	85	1.3	6.2	32	3.1	38	7.2	10.1	111	86
08/01/2011	06:00	2.2	8.1	68	0.7	8.2	32	2.6	41	6.2	8.3	88	60
08/01/2011	18:00	2.1	8.6	42	1.2	8.2	24	3.2	21	5.9	7.3	116	60
09/01/2011	06:00	2.0	8.6	27	0.8	8.2	20	3.3	12	7.2	9.1	72	35
09/01/2011	18:00	1.8	8.6	23	1.4	8.2	20	3.4	19	5.7	7.5	117	30
10/01/2011	06:00	1.8	9.1	12	1.0	9.4	16	2.8	28	7.4	10.4	67	7
10/01/2011	18:00	1.8	8.6	20	0.8	8.2	16	2.8	350	3	5.5	132	-2
11/01/2011	06:00	1.9	8.6	19	0.8	8.2	16	3.1	5	0.5	1.7	230	-20
11/01/2011	18:00	2.0	8.7	20	1.2	8.2	20	3.2	14	1.4	3.6	122	-31
12/01/2011	06:00	2.2	9.1	21	0.9	9.4	16	2.9	14	6.5	8.5	73	-42
12/01/2011	18:00	2.2	9.5	23	1.2	9.4	20	3.0	24	5.5	8.2	76	-51
13/01/2011	06:00	2.3	9.1	31	0.9	9.4	20	2.7	21	6.6	8.6	91	-55
13/01/2011	18:00	2.2	8.9	35	1.1	8.2	20	2.9	27	6.1	9.4	123	-60
14/01/2011	06:00	2.1	8.9	35	0.8	9.4	20	2.5	27	9	10.5	79	-57
14/01/2011	18:00	2.1	9.6	28	1.1	9.4	20	3.1	12	6.5	8.7	106	-56
15/01/2011	06:00	2.3	10.0	18	0.9	9.4	16	3.3	6	7.1	9.5	81	-48
15/01/2011	18:00	2.4	10.0	11	1.2	10.8	16	3.3	8	4.6	6.3	113	-38
16/01/2011	06:00	2.4	9.7	6	1.0	9.4	12	3.0	17	7	9.5	58	-27
16/01/2011	18:00	2.2	9.4	5	1.3	9.4	16	3.3	18	4	6.7	93	-8
17/01/2011	06:00	2.1	9.4	5	0.9	9.4	12	3.3	9	6.8	9.0	66	4
17/01/2011	18:00	2.2	9.2	11	1.4	9.4	16	3.5	13	5.4	8.4	101	29
18/01/2011	06:00	2.3	9.7	17	1.1	9.4	16	3.6	9	5.6	8.0	90	39
18/01/2011	18:00	2.4	11.2	9	1.6	10.8	16	3.8	15	4.1	6.5	123	69
19/01/2011	06:00	2.3	11.5	7	1.3	10.8	12	3.4	18	5.2	8.5	59	74
19/01/2011	18:00	2.3	11.1	7	1.5	10.8	12	3.8	11	4.8	7.4	109	104
20/01/2011	06:00	2.3	10.7	10	1.3	10.8	16	3.6	16	5.1	9.1	44	102
20/01/2011	18:00	2.1	10.6	10	1.1	10.8	12	4.2	4	2.2	4.7	117	126
21/01/2011	06:00	1.9	10.2	12	1.0	10.8	16	4.3	4	1.3	3.1	19	117
21/01/2011	18:00	1.9	9.9	15	1.2	9.4	16	3.4	19	1.9	3.8	116	131
22/01/2011	06:00	1.9	9.3	18	1.0	9.4	16	3.7	9	2.6	5.7	62	113
22/01/2011	18:00	1.7	9.2	16	1.0	9.4	16	3.5	3	1.1	2.5	5	115
23/01/2011	06:00	1.6	8.9	15	0.6	9.4	16	2.6	12	1.6	4.0	68	90
23/01/2011	18:00	1.4	8.7	17	0.7	8.2	16	3.6	9	1.2	3.6	132	80
24/01/2011	06:00	1.4	8.5	20	0.8	8.2	20	2.5	28	1.9	3.2	214	52
24/01/2011	18:00	1.5	8.6	18	0.9	8.2	16	2.9	359	1.8	3.4	127	33
25/01/2011	06:00	1.6	8.3	19	0.7	8.2	16	2.9	4	3.6	6.6	180	8
25/01/2011	18:00	1.5	8.0	20	0.8	8.2	20	2.7	15	1.4	2.3	51	-14
26/01/2011	06:00	1.4	7.9	19	0.6	8.2	16	2.4	1	2.1	3.1	15	-32
26/01/2011	18:00	1.2	7.7	24	0.7	8.2	20	2.5	12	2.6	4.4	153	-50

27/01/2011	06:00	1.0	7.6	40	0.4	7.1	24	1.9	31	5.9	8.1	76	-57
27/01/2011	18:00	1.4	7.0	61	0.9	5.4	24	2.6	25	6.3	8.4	114	-67
28/01/2011	06:00	1.6	7.1	63	0.6	7.1	32	2.0	67	6.6	9.0	87	-63
28/01/2011	18:00	1.7	7.4	78	0.8	4.7	28	2.4	35	5.5	8.5	104	-62
29/01/2011	06:00	1.8	8.2	64	0.5	8.2	28	2.2	32	5.9	8.1	81	-49
29/01/2011	18:00	1.8	8.8	40	0.9	9.4	24	2.8	15	4.1	6.2	112	-38
30/01/2011	06:00	1.7	8.9	21	0.8	9.4	20	2.6	26	5.4	8.8	70	-21
30/01/2011	18:00	1.6	9.5	11	1.0	9.4	16	3.0	14	5.2	7.0	113	-3
31/01/2011	06:00	1.5	9.2	22	0.8	9.4	20	2.5	36	5.7	8.4	71	13
31/01/2011	18:00	1.7	9.0	18	1.3	9.4	20	3.2	16	4	6.4	126	35
01/02/2011	06:00	1.7	8.8	19	0.8	9.4	16	3.1	14	6	8.5	76	45
01/02/2011	18:00	1.7	8.6	21	1.4	8.2	20	3.4	17	4.7	7.2	115	68
02/02/2011	06:00	1.7	8.5	20	0.9	8.2	20	2.8	30	7.1	9.3	81	70
02/02/2011	18:00	1.6	8.4	20	1.4	8.2	20	3.4	17	4.5	6.6	119	90
03/02/2011	06:00	1.5	8.3	17	0.8	8.2	16	3.1	14	5.3	7.5	86	85
03/02/2011	18:00	1.5	8.0	19	1.2	8.2	20	3.2	16	5.5	7.6	121	102
04/02/2011	06:00	1.6	7.6	25	0.9	7.1	20	2.9	28	6.8	9.0	81	91
04/02/2011	18:00	1.7	7.8	26	1.4	7.1	20	3.4	18	5.8	8.5	107	103
05/02/2011	06:00	1.7	8.0	25	0.9	8.2	20	2.9	29	8	9.4	78	89
05/02/2011	18:00	1.7	8.3	23	1.4	8.2	20	3.5	17	4.5	6.5	111	94
06/02/2011	06:00	1.7	8.1	27	0.9	8.2	20	3.0	20	7.5	9.4	88	79
06/02/2011	18:00	1.7	7.9	34	1.5	7.1	24	3.4	22	6.6	9.3	117	77
07/02/2011	06:00	1.9	7.6	44	1.2	5.4	40	2.7	68	8.7	10.9	90	62
07/02/2011	18:00	2.0	7.3	63	1.1	7.1	28	2.9	25	8.1	10.3	130	53
08/02/2011	06:00	2.0	7.2	74	0.6	7.1	32	2.2	61	7	10.0	89	39
08/02/2011	18:00	1.8	7.5	61	1.3	6.2	28	3.1	23	5.7	9.1	121	23
09/02/2011	06:00	1.7	7.6	50	0.7	8.2	28	2.3	49	7.4	9.2	80	11
09/02/2011	18:00	1.7	8.2	38	1.2	8.2	24	3.2	18	5.1	7.6	102	-8
10/02/2011	06:00	1.7	8.8	28	0.7	9.4	20	2.8	12	5.9	9.0	68	-16
10/02/2011	18:00	1.8	9.1	23	1.1	9.4	20	3.0	15	4.7	6.8	131	-35
11/02/2011	06:00	2.1	8.9	21	0.8	9.4	16	2.9	10	6.5	8.5	84	-39
11/02/2011	18:00	2.2	8.6	21	1.1	8.2	20	3.1	15	6	9.3	120	-54
12/02/2011	06:00	2.1	8.6	21	0.8	8.2	16	2.7	15	6.5	8.6	88	-52
12/02/2011	18:00	1.9	8.7	20	1.0	8.2	20	2.9	18	6.3	9.8	92	-59
13/02/2011	06:00	1.9	8.5	21	0.7	8.2	16	2.9	11	3.7	7.1	49	-52
13/02/2011	18:00	2.1	9.0	18	1.0	9.4	16	2.6	37	3	5.8	119	-48
14/02/2011	06:00	2.2	9.3	18	0.9	9.4	16	3.2	9	2.7	5.8	91	-37
14/02/2011	18:00	2.6	9.6	17	1.1	9.4	16	3.3	12	1.9	3.7	126	-22
15/02/2011	06:00	2.8	9.5	15	1.1	9.4	16	3.5	4	3.2	4.7	115	-8
15/02/2011	18:00	2.7	9.3	19	1.3	9.4	20	3.4	16	4.2	8.1	109	16
16/02/2011	06:00	2.5	8.9	24	1.1	9.4	20	3.7	6	5	7.1	94	30
16/02/2011	18:00	2.5	8.7	29	1.3	8.2	20	3.5	13	3.6	5.2	119	59
17/02/2011	06:00	2.4	9.3	27	1.1	9.4	20	3.6	10	5.2	7.9	63	70
17/02/2011	18:00	2.3	9.8	24	1.3	9.4	20	3.7	9	3.8	6.3	110	99
18/02/2011	06:00	2.3	10.3	21	1.2	10.8	16	3.7	14	4.1	7.8	48	105
18/02/2011	18:00	2.0	11.0	16	1.8	10.8	20	3.9	17	5.1	7.2	108	128

19/02/2011	06:00	1.8	10.5	17	1.0	10.8	16	3.3	16	5.1	7.8	70	128
19/02/2011	18:00	1.9	9.7	18	1.6	9.4	16	3.8	15	3.2	6.9	77	140
20/02/2011	06:00	1.8	9.2	21	1.0	9.4	20	3.4	17	4	6.3	40	132
20/02/2011	18:00	1.8	9.6	17	1.1	9.4	16	3.3	23	2.7	3.1	82	130
21/02/2011	06:00	2.0	10.8	5	1.1	10.8	12	4.0	4	2.6	3.8	171	115
21/02/2011	18:00	2.1	11.5	357	1.1	10.8	8	3.9	359	3.4	5.8	117	99
22/02/2011	06:00	2.1	10.7	358	1.0	10.8	8	3.7	4	2.7	5.8	117	80
22/02/2011	18:00	2.1	10.9	358	1.5	10.8	16	3.5	20	4.5	8.6	119	54
23/02/2011	06:00	2.1	9.9	7	1.0	9.4	12	3.5	6	7	8.4	82	35
23/02/2011	18:00	2.1	9.2	18	1.3	9.4	20	3.3	19	4.3	5.9	104	6
24/02/2011	06:00	2.0	9.3	16	0.9	9.4	16	2.9	19	6.7	8.6	73	-8
24/02/2011	18:00	2.0	9.2	13	1.2	9.4	16	3.2	14	4.4	7.1	103	-35
25/02/2011	06:00	2.2	11.4	352	0.9	10.8	12	3.0	11	6.1	8.5	72	-41
25/02/2011	18:00	2.1	11.4	348	1.0	10.8	12	2.9	16	4.4	6.5	109	-59
26/02/2011	06:00	1.9	10.9	350	0.7	10.8	12	2.7	360	3.4	4.9	93	-55
26/02/2011	18:00	1.9	10.0	356	0.9	9.4	12	2.7	18	2.5	3.2	167	-62
27/02/2011	06:00	1.8	9.0	3	0.7	9.4	12	2.7	0	2.7	4.3	157	-49
27/02/2011	18:00	1.7	9.2	2	1.0	9.4	12	3.0	9	3.1	5.0	126	-45
28/02/2011	06:00	1.6	9.3	358	0.9	9.4	12	2.4	53	5.6	8.7	49	-28
28/02/2011	18:00	1.5	9.1	359	0.7	9.4	8	2.7	353	1.9	3.4	114	-15
01/03/2011	06:00	1.4	9.3	2	0.7	9.4	12	2.6	350	3.8	5.8	65	2
01/03/2011	18:00	1.5	9.9	8	1.0	9.4	12	2.9	349	2.7	4.6	195	20
02/03/2011	06:00	1.8	9.3	7	0.9	9.4	12	3.1	3	2.2	3.2	325	32
02/03/2011	18:00	1.8	10.3	11	1.0	10.8	12	3.0	21	1.6	2.6	212	52
03/03/2011	06:00	1.9	10.8	16	1.2	10.8	16	2.9	35	2.4	5.6	30	58
03/03/2011	18:00	2.0	10.1	25	1.2	9.4	20	3.4	11	5.7	8.5	109	76
04/03/2011	06:00	1.8	9.9	21	0.9	9.4	20	3.1	16	4.9	7.6	68	77
04/03/2011	18:00	1.6	9.1	28	1.5	6.2	20	3.4	24	3.7	5.6	120	91
05/03/2011	06:00	1.5	8.9	27	0.8	9.4	20	2.9	24	5.3	7.0	85	88
05/03/2011	18:00	1.5	8.7	23	1.1	8.2	20	3.1	14	3.2	6.3	84	97
06/03/2011	06:00	1.6	8.4	21	0.8	8.2	20	3.1	12	5.5	8.0	80	93
06/03/2011	18:00	1.5	8.5	17	1.5	6.2	20	3.5	25	3.6	6.8	85	96
07/03/2011	06:00	1.5	8.5	17	0.8	8.2	16	2.7	29	7.9	9.1	71	92
07/03/2011	18:00	1.6	7.6	34	1.5	7.1	24	3.5	24	4.2	6.9	118	87
08/03/2011	06:00	1.6	7.1	38	0.8	7.1	24	2.7	40	6	8.4	79	82
08/03/2011	18:00	1.5	7.3	42	0.9	7.1	28	2.5	49	6.3	8.7	111	69
09/03/2011	06:00	1.6	7.1	53	0.6	7.1	28	2.3	37	4.3	5.8	105	65
09/03/2011	18:00	1.7	7.0	59	0.6	7.1	32	2.6	26	1.5	2.5	261	44
10/03/2011	06:00	1.7	7.1	54	0.6	7.1	28	2.4	41	5.9	8.5	90	39
10/03/2011	18:00	1.4	7.2	49	0.7	7.1	28	2.4	20	1.8	5.6	143	13
11/03/2011	06:00	1.5	7.3	42	0.6	7.1	24	2.3	34	6.1	7.5	61	8
11/03/2011	18:00	1.7	7.1	46	0.9	7.1	28	2.5	40	2	5.2	120	-19
12/03/2011	06:00	1.7	7.4	48	0.6	7.1	28	2.3	21	3.7	6.4	78	-22
12/03/2011	18:00	1.8	7.7	48	0.8	8.2	28	2.4	45	4.3	7.0	120	-45
13/03/2011	06:00	1.8	7.9	43	0.6	8.2	24	2.5	16	4.6	6.9	83	-45
13/03/2011	18:00	1.8	8.3	38	0.8	8.2	24	2.7	13	4.1	6.8	83	-60

14/03/2011	06:00	1.6	8.7	31	0.6	8.2	20	2.4	19	4	5.6	37	-55
14/03/2011	18:00	1.6	8.6	29	1.0	8.2	20	2.9	358	1.2	4.0	113	-57
15/03/2011	06:00	1.6	8.2	24	0.6	8.2	20	2.4	6	2.3	4.0	8	-47
15/03/2011	18:00	1.4	8.3	22	0.8	8.2	16	2.6	341	0.8	4.1	171	-37
16/03/2011	06:00	1.8	7.6	25	0.7	7.1	20	2.9	8	2	4.7	163	-23
16/03/2011	18:00	1.8	7.9	25	0.9	8.2	20	2.9	11	1.7	4.4	128	-2
17/03/2011	06:00	1.7	8.5	22	0.7	8.2	20	2.9	8	4.3	6.6	74	14
17/03/2011	18:00	1.7	9.0	19	1.0	9.4	16	3.2	7	2.7	4.9	116	41
18/03/2011	06:00	1.9	9.2	15	0.9	9.4	16	3.3	10	4.4	6.9	43	58
18/03/2011	18:00	2.0	9.1	17	1.2	9.4	16	3.5	6	2.1	4.2	119	84
19/03/2011	06:00	1.9	9.2	18	1.0	9.4	16	3.6	10	2.6	4.6	19	99
19/03/2011	18:00	1.8	9.2	19	1.2	9.4	16	3.5	8	2.9	4.7	113	119
20/03/2011	06:00	1.7	9.2	20	0.9	9.4	16	3.3	15	3.9	6.5	40	128
20/03/2011	18:00	1.4	9.9	17	1.1	9.4	16	3.2	12	3.2	5.0	110	137
21/03/2011	06:00	1.5	10.2	16	0.9	10.8	16	2.9	22	5.8	8.0	64	139
21/03/2011	18:00	1.7	10.1	16	1.6	6.2	16	3.6	16	2.5	4.9	117	134
22/03/2011	06:00	1.7	10.3	12	1.0	10.8	16	3.2	17	2.7	4.7	109	129
22/03/2011	18:00	1.7	10.0	12	1.5	6.2	16	3.6	16	3.8	6.9	116	110
23/03/2011	06:00	1.6	9.5	12	1.0	9.4	16	2.8	33	6.9	8.4	65	100
23/03/2011	18:00	1.5	9.1	13	1.1	9.4	16	3.1	15	4.1	6.6	107	69
24/03/2011	06:00	1.4	8.3	17	0.7	8.2	16	2.7	21	6.4	8.3	81	58
24/03/2011	18:00	1.3	8.2	17	0.9	8.2	16	2.3	68	3.7	5.5	124	21
25/03/2011	06:00	1.2	7.8	30	0.8	8.2	36	2.3	54	3.2	6.2	101	12
25/03/2011	18:00	1.3	7.0	41	0.7	7.1	24	2.4	14	1.2	2.6	146	-22
26/03/2011	06:00	1.7	6.7	35	0.8	7.1	24	2.3	50	4.2	7.1	39	-26
26/03/2011	18:00	1.8	7.4	25	1.1	7.1	20	2.9	21	5.5	8.3	86	-53
27/03/2011	06:00	1.8	8.7	11	0.7	8.2	16	2.6	16	5.8	8.1	74	-49
27/03/2011	18:00	1.7	8.7	10	0.9	8.2	20	2.5	35	5.2	8.3	96	-63
28/03/2011	06:00	1.8	8.6	20	0.7	8.2	16	2.8	7	5.3	8.1	91	-53
28/03/2011	18:00	2.0	8.9	21	1.0	9.4	20	2.8	23	4.8	8.7	117	-55
29/03/2011	06:00	2.0	8.7	25	0.7	8.2	20	2.9	5	3.7	6.7	92	-40
29/03/2011	18:00	2.0	8.2	38	1.2	8.2	24	3.1	23	5.2	8.8	125	-32
30/03/2011	06:00	1.9	8.2	33	0.7	8.2	20	2.7	15	5.4	7.4	78	-16
30/03/2011	18:00	1.9	8.4	27	1.3	8.2	20	3.3	18	5.4	8.4	113	-2
31/03/2011	06:00	1.8	8.5	21	0.8	8.2	20	3.2	8	6.5	8.5	80	12
31/03/2011	18:00	1.8	8.4	22	1.4	8.2	20	3.4	19	4.4	8.4	116	28
01/04/2011	06:00	1.7	8.2	21	0.8	8.2	20	2.8	18	5.5	7.1	73	39
01/04/2011	18:00	1.6	8.0	26	0.9	8.2	20	2.9	16	3.4	6.0	125	54
02/04/2011	06:00	1.4	8.2	44	0.6	8.2	24	2.4	33	6.5	8.3	84	61
02/04/2011	18:00	1.9	9.3	81	1.2	5.4	32	3.0	33	3.4	6.2	127	72
03/04/2011	06:00	2.0	9.5	94	0.6	9.4	36	2.2	50	4	6.1	89	78
03/04/2011	18:00	2.0	9.3	88	1.2	9.4	40	2.8	59	1.8	4.9	118	84
04/04/2011	06:00	1.9	9.0	70	0.7	9.4	32	2.5	49	4.7	7.3	91	90
04/04/2011	18:00	1.8	8.7	51	0.9	8.2	28	2.8	30	4.3	7.0	109	89
05/04/2011	06:00	1.8	8.4	37	0.8	8.2	24	3.0	20	5.2	7.8	89	96
05/04/2011	18:00	1.7	8.1	30	1.0	8.2	24	3.0	23	5.3	7.5	115	88

06/04/2011	06:00	1.6	7.8	33	0.8	8.2	24	2.8	20	5.3	7.1	73	94
06/04/2011	18:00	1.6	7.3	45	1.1	7.1	28	2.9	24	4.5	7.6	119	77
07/04/2011	06:00	1.5	7.5	36	0.7	7.1	24	2.8	18	6.2	8.2	84	82
07/04/2011	18:00	1.6	7.4	39	1.2	7.1	24	3.1	22	5.8	7.7	120	57
08/04/2011	06:00	1.5	7.7	39	0.6	8.2	24	2.5	26	7.9	10.1	79	59
08/04/2011	18:00	1.5	8.2	35	1.2	6.2	24	3.1	21	4	6.9	110	27
09/04/2011	06:00	1.5	8.4	40	0.8	8.2	24	2.4	44	5.3	8.1	89	26
09/04/2011	18:00	1.6	8.1	45	0.9	8.2	24	2.7	23	0.5	2.6	289	-7
10/04/2011	06:00	1.5	7.7	54	0.5	8.2	28	2.1	20	5.4	6.3	107	-9
10/04/2011	18:00	1.5	7.5	52	0.5	7.1	28	2.1	17	3.3	6.1	162	-39
11/04/2011	06:00	1.6	7.6	46	0.6	7.1	24	2.1	13	1.7	3.6	237	-41
11/04/2011	18:00	1.6	7.8	43	0.7	8.2	24	2.0	77	2.4	5.7	153	-61
12/04/2011	06:00	1.6	8.2	35	0.6	8.2	20	2.5	7	1.6	4.1	163	-59
12/04/2011	18:00	1.7	8.4	30	0.7	8.2	20	2.6	5	2.9	4.7	160	-68
13/04/2011	06:00	1.7	8.3	42	0.6	8.2	24	2.2	4	4.4	7.0	105	-60
13/04/2011	18:00	1.7	8.1	55	0.5	8.2	24	2.4	15	4.3	9.6	143	-55
14/04/2011	06:00	1.6	8.0	76	0.4	8.2	28	1.8	36	0.8	2.7	40	-41
14/04/2011	18:00	1.7	7.4	87	1.0	5.4	32	2.6	47	2.7	5.9	170	-25
15/04/2011	06:00	1.7	7.4	87	0.5	7.1	36	1.8	86	4.2	7.1	85	-6
15/04/2011	18:00	1.6	7.4	82	0.8	4.1	36	2.3	53	4.8	7.7	138	17
16/04/2011	06:00	1.4	7.6	76	0.6	7.1	36	1.9	82	2	5.0	79	38
16/04/2011	18:00	1.5	7.5	82	1.4	6.2	28	3.2	33	4.6	8.3	125	61
17/04/2011	18:00	1.6	7.5	98	0.5	7.1	40	1.8	77	6.7	8.3	81	82
18/04/2011	06:00	1.5	7.6	100	0.6	3.5	44	2.1	45	4.2	6.4	123	99
18/04/2011	18:00	1.4	7.5	103	0.4	7.1	40	1.6	152	3.1	4.5	119	116
19/04/2011	06:00	1.3	7.8	104	1.0	4.7	36	2.6	38	4	6.8	125	123
19/04/2011	18:00	1.6	8.3	113	0.4	8.2	40	1.5	163	3.6	5.8	117	134
20/04/2011	06:00	1.7	8.8	92	0.8	9.4	68	2.2	85	2.6	3.3	133	127
20/04/2011	18:00	2.1	9.1	61	0.8	9.4	28	3.6	24	4.3	6.4	130	132
21/04/2011	06:00	2.0	8.9	56	0.8	9.4	28	2.7	21	2.3	3.2	168	110
21/04/2011	18:00	1.8	8.7	51	0.9	8.2	28	2.8	31	4.5	6.9	88	109
22/04/2011	06:00	1.7	8.7	48	0.7	8.2	28	2.7	23	4.7	8.6	157	76
22/04/2011	18:00	1.7	9.3	31	1.1	9.4	20	3.1	15	4	5.7	112	72
23/04/2011	06:00	1.9	9.4	28	0.9	9.4	20	3.1	14	1.5	3.8	39	33
23/04/2011	18:00	1.9	9.2	30	0.8	9.4	20	3.1	13	3.9	7.2	75	27
24/04/2011	06:00	2.1	9.1	34	0.8	9.4	20	3.0	10	3.6	4.5	112	-11
24/04/2011	18:00	2.1	8.7	49	0.9	8.2	24	2.6	34	3.6	5.9	128	-14
25/04/2011	06:00	2.1	9.1	42	0.7	9.4	24	3.1	8	1.8	4.3	172	-46
25/04/2011	18:00	1.9	9.3	35	0.7	9.4	20	2.6	350	0.8	2.7	6	-44
26/04/2011	06:00	1.8	9.1	32	0.6	9.4	20	2.8	4	3.6	5.8	189	-64
26/04/2011	18:00	1.8	8.8	34	0.6	9.4	20	2.5	14	2.1	4.0	337	-57
27/04/2011	06:00	1.8	8.0	58	0.5	8.2	28	2.4	18	2.6	3.8	191	-65
27/04/2011	18:00	1.6	8.0	52	0.8	8.2	24	2.5	21	4.2	5.9	126	-54
28/04/2011	06:00	1.6	8.1	52	0.5	8.2	24	2.4	22	3.8	6.4	149	-51
28/04/2011	18:00	1.5	8.3	50	0.8	8.2	332	2.5	340	1	4.6	359	-37
29/04/2011	06:00	1.4	8.4	69	0.5	8.2	28	1.9	63	2.7	4.8	182	-27

29/04/2011	18:00	1.4	8.2	67	0.5	8.2	28	1.9	62	2.9	5.0	339	-13
30/04/2011	06:00	1.4	8.6	61	0.5	8.2	28	2.2	14	0.8	2.4	203	0
30/04/2011	18:00	1.5	8.8	46	0.7	9.4	24	2.6	2	1.4	4.1	122	13
01/05/2011	06:00	1.5	8.3	55	0.6	8.2	28	2.3	41	2.1	3.7	114	25
01/05/2011	18:00	1.5	8.0	58	0.7	8.2	28	2.5	33	1.9	4.7	23	38
02/05/2011	06:00	1.4	7.8	63	0.7	8.2	36	2.2	60	1.7	3.5	126	47
02/05/2011	18:00	1.5	7.6	71	0.6	8.2	36	2.1	53	2.8	5.9	104	61
03/05/2011	06:00	1.5	7.5	84	0.5	7.1	40	1.8	69	1.8	3.9	129	65
03/05/2011	18:00	1.5	7.6	92	0.5	8.2	40	2.0	53	4.3	5.8	121	79
04/05/2011	06:00	1.8	7.8	94	0.5	8.2	40	1.8	68	3.1	4.6	127	77
04/05/2011	18:00	1.8	7.8	94	0.6	8.2	40	2.0	57	3.8	6.9	110	93
05/05/2011	06:00	1.8	6.9	96	0.5	7.1	40	1.8	88	4.1	6.6	114	83
05/05/2011	18:00	1.9	6.8	96	0.6	3.5	44	2.1	55	2.1	5.5	170	98
06/05/2011	06:00	1.8	7.1	95	0.4	7.1	40	1.8	49	3.2	6.7	126	80
06/05/2011	18:00	1.9	7.3	89	0.5	7.1	40	2.1	46	1.8	4.3	153	92
07/05/2011	06:00	1.9	7.3	88	0.5	7.1	40	2.0	58	4	7.4	123	66
07/05/2011	18:00	1.8	7.1	94	0.4	7.1	40	2.0	41	4.5	8.6	93	72
08/05/2011	06:00	1.7	6.9	84	0.5	7.1	36	1.9	53	2.6	4.9	182	39
08/05/2011	18:00	1.6	6.9	86	0.4	7.1	36	1.7	35	1.9	6.3	62	40
09/05/2011	06:00	1.6	7.4	69	0.5	7.1	32	2.0	46	2.4	5.5	169	5
09/05/2011	18:00	1.7	7.8	64	0.6	8.2	28	2.2	41	1.1	6.0	54	1
10/05/2011	06:00	1.7	8.4	41	0.6	8.2	24	2.3	25	6.2	9.0	120	-32
10/05/2011	18:00	1.7	7.8	52	0.6	8.2	24	1.9	19	4.8	8.0	113	-37
11/05/2011	06:00	1.7	7.2	67	0.6	7.1	28	1.7	121	3.7	6.6	125	-61
11/05/2011	18:00	1.7	6.5	98	0.7	3.1	68	1.9	81	6.8	9.5	112	-63
12/05/2011	06:00	1.7	6.2	113	0.4	2.0	184	1.3	170	5.3	9.7	137	-75
12/05/2011	18:00	1.9	6.5	119	0.5	2.7	68	1.7	82	4.6	8.1	103	-71
13/05/2011	06:00	1.8	7.3	86	0.6	3.5	64	2.0	73	5.1	9.0	149	-70
13/05/2011	18:00	1.8	7.5	73	0.6	7.1	32	2.1	49	4.4	6.8	104	-58
14/05/2011	06:00	1.7	8.2	38	0.6	8.2	24	2.6	15	3.8	6.4	165	-46
14/05/2011	18:00	1.5	8.0	37	0.6	8.2	24	2.6	20	2.6	3.4	179	-27
15/05/2011	06:00	1.3	8.0	37	0.5	8.2	24	2.6	19	1.5	5.2	122	-8
15/05/2011	18:00	1.5	7.2	68	0.9	4.1	68	2.4	76	2.9	5.8	61	15
16/05/2011	06:00	1.6	7.7	59	0.6	8.2	28	2.3	33	4.1	8.3	118	35
16/05/2011	18:00	1.5	8.1	48	0.8	8.2	28	2.3	71	2.9	5.3	94	60
17/05/2011	06:00	1.4	8.1	45	0.7	8.2	28	2.6	9	1.7	2.9	121	75
17/05/2011	18:00	1.4	8.1	37	0.8	8.2	24	2.9	13	4.8	6.8	92	98
18/05/2011	06:00	1.3	8.1	32	0.7	8.2	24	3.1	18	3.3	6.4	171	102
18/05/2011	18:00	1.3	8.1	30	0.8	8.2	24	2.6	39	2.8	5.7	96	121
19/05/2011	06:00	1.3	8.1	53	0.9	8.2	32	2.4	73	0.3	1.7	136	113
19/05/2011	18:00	1.3	8.1	59	1.1	4.7	36	2.7	53	1.3	3.4	222	126
20/05/2011	06:00	1.4	7.8	76	0.7	8.2	68	2.2	77	5.5	7.8	137	104
20/05/2011	18:00	1.5	7.8	65	0.9	3.1	72	2.2	101	5.9	9.0	107	111
21/05/2011	06:00	1.6	7.5	79	0.5	7.1	36	2.0	69	2.4	7.3	162	79
21/05/2011	18:00	2.3	6.5	138	0.7	3.5	68	2.0	82	4	7.4	108	81
22/05/2011	06:00	2.2	6.5	132	0.5	2.7	76	1.7	110	5.8	9.8	144	43

22/05/2011	18:00	1.8	6.5	119	0.6	3.1	64	1.8	74	7.4	9.7	103	41
23/05/2011	06:00	1.6	6.9	89	0.5	7.1	68	1.7	105	6.2	8.3	173	3
23/05/2011	18:00	1.4	7.1	78	0.7	3.5	44	2.0	71	3.8	6.5	98	0
24/05/2011	06:00	1.4	7.6	77	0.4	8.2	32	1.6	72	5.7	8.3	135	-33
24/05/2011	18:00	1.7	7.5	107	0.7	3.5	36	2.0	57	4.1	7.0	90	-35
25/05/2011	06:00	1.8	7.3	113	0.3	2.0	156	1.3	145	5.9	8.1	107	-58
25/05/2011	18:00	1.8	7.0	116	0.7	3.1	68	1.9	72	4.4	8.1	102	-56
26/05/2011	06:00	1.9	6.5	116	0.3	2.0	148	1.3	130	5.8	10.1	131	-68
26/05/2011	18:00	1.9	6.2	126	0.6	3.1	72	1.8	90	4.3	7.7	120	-63
27/05/2011	06:00	1.8	6.3	119	0.3	1.8	164	1.2	159	6.2	9.5	147	-64
27/05/2011	18:00	1.6	6.8	110	0.5	2.7	68	1.7	87	1.8	5.5	149	-55
28/05/2011	06:00	1.6	6.4	119	0.2	6.2	36	1.3	49	1.5	4.0	180	-49
28/05/2011	18:00	1.9	6.3	124	0.6	3.1	68	1.9	77	5.5	7.8	98	-37
29/05/2011	06:00	1.6	6.6	110	0.3	7.1	36	1.3	89	4.5	8.3	128	-27
29/05/2011	18:00	1.6	6.4	110	0.8	3.5	68	2.1	84	4.7	7.9	98	-13
29/05/2011	06:00	1.5	6.5	98	0.4	2.0	72	1.6	107	5.5	8.3	128	-2
30/05/2011	18:00	1.8	6.8	96	0.8	3.5	68	2.2	76	2.3	6.5	98	14
31/05/2011	06:00	1.9	7.0	94	0.6	7.1	40	1.8	118	5.7	9.4	127	23
31/05/2011	18:00	2.1	7.0	105	0.9	3.5	68	2.3	81	3.5	6.1	94	42
25/10/2011	06:00	2.2	7.9	107	0.4	8.2	36	1.7	60	6.6	9.2	136	46
25/10/2011	18:00	2.4	8.1	112	1.4	6.2	36	3.0	41	5.9	8.7	110	68
26/10/2011	06:00	2.3	8.3	116	0.4	8.2	36	1.6	70	6.4	9.0	125	67
26/10/2011	18:00	2.2	8.7	116	1.4	5.4	32	3.1	34	4	6.4	108	89
27/10/2011	06:00	2.1	8.4	117	0.7	3.5	72	2.1	85	6.1	9.1	111	81
27/10/2011	18:00	2.0	7.9	117	1.3	5.4	36	2.9	45	6.7	9.1	101	102
28/10/2011	06:00	2.2	7.1	122	0.5	2.7	68	1.7	86	4.9	9.6	98	86
28/10/2011	18:00	2.2	7.1	122	1.6	5.4	32	3.2	41	4.1	7.8	104	102
29/10/2011	06:00	2.0	7.5	115	0.3	8.2	40	1.6	66	5	8.0	131	77
29/10/2011	18:00	1.9	8.4	109	1.5	5.4	32	3.2	37	6.6	9.2	110	86
30/10/2011	06:00	1.8	8.6	99	0.5	8.2	40	1.8	73	6	9.0	104	55
30/10/2011	18:00	1.8	9.3	93	1.2	5.4	32	3.0	37	5	7.3	98	55
31/10/2011	06:00	2.1	10.8	52	0.9	10.8	24	3.3	17	5	9.9	88	20
31/10/2011	18:00	2.4	10.7	27	1.5	10.8	20	3.5	28	4.6	6.4	98	14
01/11/2011	06:00	2.2	9.1	58	0.7	9.4	28	2.8	25	2.4	7.9	108	-19
01/11/2011	18:00	2.3	8.8	69	1.3	8.2	28	3.1	37	4	6.7	103	-28
02/11/2011	06:00	2.3	8.7	67	0.6	9.4	28	2.7	24	4.1	8.5	108	-53
02/11/2011	18:00	2.0	8.6	66	1.2	8.2	24	3.0	27	4.5	6.6	97	-61
03/11/2011	06:00	1.8	8.4	65	0.5	8.2	28	2.1	35	5.5	10.1	60	-75
03/11/2011	18:00	1.8	8.0	75	1.2	8.2	24	2.8	34	3.9	5.1	92	-76
04/11/2011	06:00	1.8	7.2	89	0.4	7.1	32	1.6	55	5.4	9.7	55	-77
04/11/2011	18:00	1.9	7.5	100	1.1	6.2	28	2.7	35	3	5.5	103	-69
05/11/2011	06:00	2.1	7.8	102	0.4	8.2	32	1.6	58	4.8	9.4	97	-59
05/11/2011	18:00	2.2	8.0	101	1.1	6.2	28	2.7	39	4.9	7.3	103	-43
06/11/2011	06:00	2.0	8.4	87	0.4	8.2	32	1.9	31	5.3	8.8	119	-26
06/11/2011	18:00	2.0	9.9	49	1.3	9.4	24	3.1	28	5.1	7.0	103	-3
07/11/2011	06:00	1.9	10.4	31	0.8	10.8	20	2.9	11	5.5	9.0	114	15

07/11/2011	18:00	2.0	9.7	38	1.4	9.4	24	3.2	29	6.1	8.0	105	41
08/11/2011	06:00	2.2	9.2	48	0.8	9.4	24	3.1	14	5.6	8.6	115	54
08/11/2011	18:00	2.3	8.7	62	1.4	8.2	28	3.1	41	5.1	6.9	96	80
09/11/2011	06:00	2.4	8.3	68	0.8	8.2	28	2.6	43	5	9.0	132	84
09/11/2011	18:00	2.3	8.1	68	1.2	8.2	36	2.8	60	5.3	8.0	107	107
10/11/2011	06:00	2.2	7.6	78	0.6	8.2	36	2.4	45	6.4	9.0	108	100
10/11/2011	18:00	1.9	7.5	83	1.3	7.1	36	2.9	57	5.6	7.1	102	118
11/11/2011	06:00	2.0	8.3	76	0.6	8.2	32	2.4	44	6.6	9.5	111	99
11/11/2011	18:00	2.3	9.2	65	1.6	9.4	28	3.5	36	4.5	7.2	120	111
12/11/2011	06:00	2.5	9.5	50	1.0	9.4	24	3.4	22	7	9.8	121	84
12/11/2011	18:00	2.7	9.3	61	1.6	9.4	28	3.6	33	4.9	8.1	114	89
13/11/2011	06:00	2.6	8.8	68	0.8	9.4	28	3.0	28	5.6	9.3	122	56
13/11/2011	18:00	2.1	8.4	76	1.6	8.2	28	3.5	34	7	9.7	114	56
14/11/2011	06:00	2.2	8.1	81	0.6	8.2	36	2.5	42	6.6	10.0	111	23
14/11/2011	18:00	2.3	8.4	92	1.4	8.2	36	3.1	42	4.7	7.2	112	18
15/11/2011	06:00	2.2	8.8	92	0.5	9.4	36	2.3	42	3.9	7.6	94	-11
15/11/2011	18:00	2.3	9.0	88	1.4	7.1	32	3.1	42	3.9	7.5	110	-17
16/11/2011	06:00	2.2	8.5	98	0.4	8.2	36	2.1	38	5.2	8.9	112	-39
16/11/2011	18:00	2.1	8.7	98	1.4	6.2	28	3.1	35	4.5	6.9	102	-45
17/11/2011	06:00	2.0	9.1	81	0.5	9.4	28	2.4	29	5.8	9.0	115	-58
17/11/2011	18:00	2.1	9.4	69	1.3	9.4	24	3.0	33	5.3	7.1	107	-61
18/11/2011	06:00	2.1	8.9	67	0.5	9.4	28	2.4	24	5.5	9.1	114	-64
18/11/2011	18:00	2.0	8.0	82	1.1	8.2	28	2.8	37	4.3	7.3	102	-63
19/11/2011	06:00	2.0	7.9	79	0.4	8.2	28	1.9	39	3.8	9.5	95	-59
19/11/2011	18:00	1.9	7.3	89	1.1	7.1	28	2.7	35	4.6	6.7	96	-53
20/11/2011	06:00	1.8	7.0	89	0.3	7.1	32	1.9	43	4.5	9.7	69	-45
20/11/2011	18:00	1.7	6.8	93	1.1	7.1	24	2.7	36	5.2	7.5	105	-33
21/11/2011	06:00	1.8	6.6	88	0.4	7.1	32	1.6	59	5.9	9.3	125	-23
21/11/2011	18:00	1.8	6.5	97	1.2	7.1	28	2.8	38	5	7.0	103	-6
22/11/2011	06:00	1.9	6.4	96	0.4	6.2	36	1.7	70	5.3	9.0	114	4
22/11/2011	18:00	2.0	7.1	93	1.3	7.1	28	2.9	39	4.6	6.8	101	26
23/11/2011	06:00	1.9	7.0	91	0.6	7.1	40	1.9	74	6.4	8.6	125	32
23/11/2011	18:00	1.8	6.9	93	1.2	6.2	36	2.8	45	5.8	8.0	109	58
24/11/2011	06:00	1.8	6.8	90	0.4	7.1	40	2.0	50	6.5	10.0	114	60
24/11/2011	18:00	1.9	6.7	100	1.0	4.7	40	2.6	54	5	7.7	108	87
25/11/2011	06:00	2.0	6.8	97	0.4	7.1	40	2.1	52	6.6	9.4	124	83
25/11/2011	18:00	1.9	7.1	94	1.6	7.1	32	3.3	40	6	7.8	114	108
26/11/2011	06:00	1.8	7.3	88	0.5	7.1	40	2.1	47	5.6	8.6	118	96
26/11/2011	18:00	1.7	7.5	88	1.7	7.1	28	3.4	36	5.1	7.8	99	114
27/11/2011	06:00	1.7	7.1	100	0.4	7.1	44	1.8	63	5.5	9.4	104	95
27/11/2011	18:00	1.9	7.3	107	1.5	5.4	36	3.2	35	4.3	6.2	113	103
28/11/2011	06:00	2.1	7.5	108	0.5	7.1	40	1.8	73	4.1	8.7	102	77
28/11/2011	18:00	2.2	7.9	110	1.6	6.2	36	3.2	39	4.7	6.9	95	74
29/11/2011	06:00	2.3	8.0	100	0.5	8.2	40	2.0	60	5	8.3	113	44
29/11/2011	18:00	2.2	8.1	92	1.5	7.1	28	3.2	36	4.7	7.8	104	33
30/11/2011	06:00	2.0	7.9	90	0.4	8.2	36	2.0	47	3.9	8.7	113	3

30/11/2011	18:00	2.0	7.4	96	1.4	7.1	28	3.1	35	6.1	8.3	103	-13
01/12/2011	06:00	1.9	7.5	96	0.4	8.2	36	1.7	63	5.3	9.2	127	-36
01/12/2011	18:00	1.8	7.6	102	1.2	6.2	28	2.9	38	4.8	7.3	101	-51
02/12/2011	06:00	1.8	7.6	99	0.3	8.2	32	1.5	74	6.6	9.7	121	-64
02/12/2011	18:00	1.8	7.5	93	1.2	7.1	24	2.8	35	4.5	6.4	86	-73
03/12/2011	06:00	1.7	7.1	87	0.3	7.1	32	1.6	56	5	8.3	120	-73
03/12/2011	18:00	1.6	7.1	90	1.1	6.2	28	2.6	35	4.8	6.4	101	-72
04/12/2011	06:00	1.6	7.1	91	0.4	7.1	36	1.6	78	4.4	9.0	71	-62
04/12/2011	18:00	1.8	7.4	94	1.1	7.1	28	2.7	37	4	6.8	97	-51
05/12/2011	06:00	2.0	7.3	99	0.5	2.3	72	1.7	90	5.1	9.6	78	-35
05/12/2011	18:00	2.0	7.4	100	1.2	7.1	28	2.8	40	4.9	7.6	94	-15
06/12/2011	06:00	2.0	7.2	102	0.4	7.1	36	1.6	90	5.6	9.1	103	3
06/12/2011	18:00	2.1	7.2	102	1.2	6.2	32	2.8	38	7.4	9.6	97	27
07/12/2011	06:00	2.2	7.2	101	0.4	7.1	36	1.7	59	5.5	8.7	122	40
07/12/2011	18:00	2.1	7.5	92	1.3	7.1	28	3.0	35	4.5	7.0	110	66
08/12/2011	06:00	2.0	7.5	88	0.5	7.1	36	2.0	48	6.4	9.2	122	71
08/12/2011	18:00	2.0	7.3	89	1.4	7.1	28	3.1	38	6.5	8.8	107	95
09/12/2011	06:00	1.7	6.8	91	0.4	7.1	40	1.9	56	5.8	8.7	117	91
09/12/2011	18:00	2.0	6.4	106	1.2	5.4	36	2.8	43	4.9	7.5	102	110
10/12/2011	06:00	1.7	6.5	98	0.4	6.2	44	1.7	73	6	9.3	107	97
10/12/2011	18:00	1.7	6.6	97	1.6	6.2	28	3.3	36	4.3	7.0	96	110
11/12/2011	06:00	1.7	6.9	93	0.4	7.1	40	1.8	60	5.7	9.0	109	90
11/12/2011	18:00	1.7	6.8	91	1.4	6.2	28	3.1	35	5.5	7.9	104	96
12/12/2011	06:00	1.5	6.8	86	0.4	7.1	40	1.9	56	4.7	9.6	101	73
12/12/2011	18:00	1.5	6.9	86	1.5	6.2	28	3.2	39	4	5.7	97	72
13/12/2011	06:00	1.4	6.9	88	0.4	7.1	40	1.7	68	6.3	10.3	51	47
13/12/2011	18:00	1.6	6.5	95	1.5	6.2	28	3.2	33	3.6	5.4	58	41
14/12/2011	06:00	1.7	6.5	97	0.4	6.2	40	1.8	63	5.5	9.7	50	18
14/12/2011	18:00	2.0	7.0	91	1.6	7.1	28	3.3	36	3.9	6.5	101	7
15/12/2011	06:00	2.1	7.8	72	0.6	8.2	32	2.4	37	6.2	9.7	60	-11
15/12/2011	18:00	2.1	8.3	65	1.4	8.2	28	3.2	33	4.5	6.7	101	-24
16/12/2011	06:00	2.0	8.2	66	0.6	8.2	28	2.4	37	5.7	10.1	67	-35
16/12/2011	18:00	2.0	7.8	81	1.3	7.1	28	3.0	36	3.8	5.8	93	-47
17/12/2011	06:00	2.1	7.5	91	0.5	8.2	32	1.8	59	6	9.7	112	-52
17/12/2011	18:00	2.1	8.0	85	1.1	8.2	28	2.7	42	3.9	6.9	102	-60
18/12/2011	06:00	2.2	8.6	74	0.5	8.2	28	2.1	34	6	9.6	104	-58
18/12/2011	18:00	2.3	8.9	62	1.1	8.2	24	2.8	34	6.2	9.0	103	-59
19/12/2011	06:00	2.3	8.2	67	0.5	8.2	28	2.6	22	7.1	9.6	121	-52
19/12/2011	18:00	2.1	7.8	66	1.1	8.2	24	2.7	35	6.8	9.4	113	-46
20/12/2011	06:00	1.8	7.5	68	0.4	7.1	28	2.1	30	5.9	8.6	113	-36
20/12/2011	18:00	1.8	7.1	88	1.0	7.1	32	2.5	54	5.8	8.1	103	-22
21/12/2011	06:00	2.1	7.2	92	0.4	7.1	32	1.9	43	5.8	9.4	114	-10
21/12/2011	18:00	2.0	7.5	86	1.3	7.1	28	2.9	33	5.3	7.9	100	12
22/12/2011	06:00	1.9	7.4	79	0.5	7.1	32	2.0	54	6.1	8.7	130	22
22/12/2011	18:00	1.8	7.1	81	1.3	7.1	28	3.1	34	5.9	8.5	100	49
23/12/2011	06:00	1.9	6.4	87	0.5	6.2	40	2.0	56	4.4	9.3	84	56

23/12/2011	18:00	1.8	6.3	96	1.5	7.1	28	3.2	42	5.3	6.9	96	85
24/12/2011	06:00	2.1	6.6	99	0.4	7.1	40	1.9	53	5.5	9.8	65	87
24/12/2011	18:00	2.2	8.2	78	1.4	8.2	36	3.1	52	4.5	6.6	94	113
25/12/2011	06:00	2.3	8.4	63	0.8	8.2	28	3.4	28	4.2	9.1	82	109
25/12/2011	18:00	2.0	8.1	71	0.9	8.2	36	2.7	43	6.1	8.5	108	126
26/12/2011	06:00	2.0	7.6	81	0.6	8.2	36	2.7	43	6.5	9.6	115	115
26/12/2011	18:00	2.0	7.7	74	1.3	6.2	32	3.2	38	6.1	8.9	114	121
27/12/2011	06:00	2.1	7.7	60	0.8	8.2	32	2.7	42	3.7	8.2	124	103
27/12/2011	18:00	2.2	8.0	42	1.6	8.2	24	3.6	29	4.7	7.8	107	96
28/12/2011	06:00	2.3	8.2	26	1.0	8.2	20	3.6	9	5.8	8.9	138	73
28/12/2011	18:00	2.2	8.1	30	1.6	8.2	20	3.6	20	6.1	8.5	107	55
29/12/2011	06:00	1.9	7.9	37	0.8	8.2	24	2.9	18	5.1	8.1	113	31
29/12/2011	18:00	1.6	7.6	44	1.5	7.1	24	3.3	28	5.8	7.3	104	7
30/12/2011	06:00	1.5	7.1	58	0.5	7.1	28	2.2	41	3.3	7.5	68	-12
30/12/2011	18:00	1.5	6.6	76	1.3	7.1	24	3.0	33	4.1	6.4	75	-35
31/12/2011	06:00	1.7	6.6	78	0.4	7.1	32	1.9	42	3.6	8.6	72	-46
31/12/2011	18:00	1.9	7.1	65	1.2	7.1	24	2.9	36	4.3	6.5	91	-63
01/01/2012	06:00	2.2	9.1	28	0.8	9.4	20	3.1	9	4.4	9.2	104	-64
01/01/2012	18:00	2.3	9.7	10	1.2	9.4	20	3.0	26	4.3	7.3	101	-70
02/01/2012	06:00	2.1	9.6	7	0.8	9.4	12	3.0	7	6	9.6	103	-60
02/01/2012	18:00	2.2	9.1	16	1.1	9.4	20	3.0	18	4.80	7.8	97	-54
03/01/2012	06:00	2.2	8.3	34	0.7	8.2	20	2.8	10	6.33	9.5	53	-38
03/01/2012	18:00	2.1	8.1	44	1.2	8.2	24	3.0	26	2.93	5.3	103	-23
04/01/2012	06:00	2.2	8.2	45	0.7	8.2	24	2.7	21	6.93	10.0	41	-5
04/01/2012	18:00	2.3	7.9	52	1.2	8.2	24	3.0	34	4.37	7.3	94	16
05/01/2012	06:00	1.9	7.6	56	0.6	7.1	28	2.3	23	5.27	8.4	95	30
05/01/2012	18:00	1.8	7.6	51	1.3	8.2	24	3.1	32	4.17	7.0	103	54
06/01/2012	06:00	1.7	8.6	42	0.7	8.2	24	2.6	20	5.90	9.1	87	61
06/01/2012	18:00	1.7	8.5	41	1.4	8.2	24	3.2	29	2.73	5.0	115	83
07/01/2012	06:00	1.8	8.5	48	0.7	8.2	24	2.9	21	5.63	8.8	75	83
07/01/2012	18:00	1.8	8.1	64	1.5	8.2	28	3.3	32	3.87	6.6	101	101
08/01/2012	06:00	1.8	7.8	76	0.5	8.2	36	2.2	47	5.27	8.4	79	94
08/01/2012	18:00	1.6	7.7	80	1.4	6.2	28	3.2	37	3.70	6.4	99	106
09/01/2012	06:00	1.5	8.4	56	0.6	8.2	28	2.4	41	5.83	9.0	90	95
09/01/2012	18:00	1.6	8.9	35	1.6	7.1	24	3.5	32	5.77	8.9	111	100
10/01/2012	06:00	1.8	7.9	63	0.6	8.2	32	3.2	32	6.43	9.6	126	87
10/01/2012	18:00	1.9	7.6	76	1.4	7.1	36	3.1	49	6.07	9.2	110	84
11/01/2012	06:00	1.9	7.3	84	0.5	7.1	40	2.2	54	5.90	9.1	96	71
11/01/2012	18:00	1.8	7.0	94	1.4	5.4	36	3.0	41	3.80	6.5	123	61
12/01/2012	06:00	1.6	6.5	101	0.5	2.3	72	1.8	93	6.83	9.9	120	48
12/01/2012	18:00	1.5	6.6	99	1.4	6.2	32	3.0	42	4.07	6.9	108	32
13/01/2012	06:00	1.4	6.5	89	0.4	6.2	40	1.7	69	5.80	9.0	148	21
13/01/2012	18:00	1.4	6.4	79	1.5	6.2	28	3.1	40	5.10	8.2	123	0
14/01/2012	06:00	1.4	6.1	85	0.5	6.2	40	1.8	75	5.77	8.9	112	-7
14/01/2012	18:00	1.3	6.1	92	1.2	5.4	28	2.8	41	4.93	8.0	106	-28
15/01/2012	06:00	1.3	5.9	97	0.4	2.0	68	1.5	93	6.37	9.5	91	-32

15/01/2012	18:00	1.5	6.5	86	1.0	5.4	32	2.5	52	4.93	8.0	117	-49
16/01/2012	06:00	1.7	7.0	68	0.5	7.1	32	1.9	53	4.57	7.5	134	-49
16/01/2012	18:00	1.6	7.8	45	1.1	7.1	24	2.9	26	5.57	8.7	115	-59
17/01/2012	06:00	1.8	8.2	28	0.6	8.2	20	2.8	8	5.27	8.4	115	-54
17/01/2012	18:00	1.7	8.0	26	1.1	8.2	20	2.9	23	4.97	8.0	102	-54
18/01/2012	06:00	1.7	7.9	30	0.6	8.2	20	2.5	15	5.47	8.6	88	-45
18/01/2012	18:00	1.6	8.8	19	1.1	6.2	24	2.7	36	4.50	7.5	99	-35
19/01/2012	06:00	1.7	9.0	15	0.7	9.4	16	3.2	7	3.90	6.7	106	-23
19/01/2012	18:00	1.7	8.6	17	0.8	8.2	16	2.5	37	3.23	5.7	91	-4
20/01/2012	06:00	1.6	7.6	41	0.6	8.2	24	2.5	17	4.63	7.6	111	10
20/01/2012	18:00	1.8	7.0	66	1.4	7.1	24	3.1	30	3.73	6.4	102	36
21/01/2012	06:00	1.8	7.4	47	0.6	7.1	28	2.8	21	4.70	7.7	89	49
21/01/2012	18:00	1.8	7.8	38	1.5	7.1	24	3.4	27	1.70	3.2	135	77
22/01/2012	06:00	1.8	8.9	15	0.9	9.4	16	3.3	7	5.00	8.1	100	87
22/01/2012	18:00	1.9	9.0	7	1.7	7.1	20	3.6	22	3.57	6.2	111	111
23/01/2012	06:00	1.9	8.4	16	0.7	8.2	16	2.2	30	5.60	8.7	68	116
23/01/2012	18:00	2.1	8.2	19	1.7	8.2	20	3.7	20	3.57	6.2	101	132
24/01/2012	06:00	2.1	8.2	32	1.0	8.2	24	3.4	14	4.37	7.3	73	131
24/01/2012	18:00	2.1	8.1	38	1.7	8.2	24	3.6	29	4.23	7.1	123	133
25/01/2012	06:00	1.8	7.4	52	0.7	7.1	28	2.8	31	3.73	6.4	99	125
25/01/2012	18:00	1.9	6.9	72	1.7	7.1	28	3.4	37	5.23	8.3	104	113
26/01/2012	06:00	1.9	6.7	80	0.5	7.1	40	2.6	38	4.43	7.4	74	99
26/01/2012	18:00	1.9	6.7	87	1.6	7.1	28	3.3	36	3.50	6.1	105	75
27/01/2012	06:00	1.9	6.6	91	0.5	7.1	40	2.0	54	5.93	9.1	96	58
27/01/2012	18:00	1.9	6.7	90	1.5	7.1	28	3.2	32	4.07	6.9	112	27
28/01/2012	06:00	1.8	6.6	91	0.4	7.1	40	1.8	60	5.37	8.5	127	12
28/01/2012	18:00	1.6	6.5	88	1.3	6.2	28	3.0	31	4.57	7.5	99	-19
29/01/2012	06:00	1.6	6.1	94	0.4	6.2	40	1.6	63	4.27	7.2	123	-28
29/01/2012	18:00	1.5	6.5	86	1.3	7.1	24	3.0	32	4.30	7.2	107	-53
30/01/2012	06:00	1.5	7.1	78	0.4	7.1	36	1.8	52	4.90	8.0	139	-53
30/01/2012	18:00	1.8	7.7	71	1.2	7.1	24	2.9	30	5.63	8.8	107	-67
31/01/2012	06:00	1.8	7.9	64	0.5	8.2	28	2.1	36	5.17	8.3	70	-57
31/01/2012	18:00	1.6	8.0	58	1.1	7.1	24	2.8	33	3.57	6.2	92	-59
01/02/2012	06:00	1.6	6.7	89	0.4	7.1	36	1.6	65	6.43	9.6	57	-43
01/02/2012	18:00	1.7	6.9	87	0.6	2.3	72	1.7	87	3.13	5.6	103	-33
02/02/2012	06:00	1.8	6.5	89	1.2	7.1	24	2.8	30	5.57	8.7	91	-16
02/02/2012	18:00	1.8	6.8	94	0.9	3.5	40	2.2	67	5.10	8.2	99	2
03/02/2012	06:00	1.8	6.7	101	0.4	2.7	40	1.7	71	5.97	9.1	111	17
03/02/2012	18:00	1.9	6.6	104	0.5	2.7	68	1.8	84	6.20	9.4	101	37
04/02/2012	06:00	2.1	6.6	107	1.2	5.4	28	2.8	33	5.77	8.9	122	48
04/02/2012	18:00	2.1	6.5	113	1.0	4.1	44	2.4	77	6.23	9.4	115	67
05/02/2012	06:00	2.1	6.5	112	0.4	8.2	40	1.6	72	7.00	10.1	121	72
05/02/2012	18:00	2.1	6.5	115	0.5	2.3	72	1.8	110	4.47	7.4	124	86
06/02/2012	06:00	2.0	6.5	109	0.9	3.1	72	2.3	92	7.30	10.3	125	87
06/02/2012	18:00	1.9	6.6	104	1.0	4.1	68	2.4	81	6.00	9.2	113	96
07/02/2012	06:00	2.2	7.8	39	0.9	8.2	24	2.9	23	7.07	10.1	133	94

07/02/2012	18:00	2.4	7.9	41	1.1	8.2	24	2.9	45	6.00	9.2	115	96
08/02/2012	06:00	2.1	7.6	62	1.1	3.1	72	2.5	96	5.80	9.0	120	94
08/02/2012	18:00	2.2	8.7	54	1.2	8.2	28	2.8	63	5.67	8.8	117	89
09/02/2012	06:00	2.3	9.8	18	1.3	9.4	16	3.3	30	6.07	9.2	133	86
09/02/2012	18:00	2.4	10.1	7	1.3	9.4	12	3.4	23	6.13	9.3	122	73
12/03/2012	06:00	1.6	7.7	84	0.9	3.1	72	2.3	91	5.60	8.7	107	71
12/03/2012	18:00	1.8	9.5	31	1.2	9.4	24	2.7	56	4.00	6.8	98	50
13/03/2012	06:00	1.8	9.3	21	1.0	9.4	20	2.7	37	4.47	7.4	75	47
13/03/2012	18:00	1.9	8.6	29	0.8	8.2	20	2.6	31	1.93	3.6	120	21
14/03/2012	06:00	2.0	8.0	55	1.1	8.2	28	2.9	36	5.33	8.5	129	18
14/03/2012	18:00	1.9	7.9	62	0.9	8.2	32	2.3	60	2.70	4.9	139	-10
15/03/2012	06:00	1.7	7.9	60	0.8	8.2	68	2.2	74	4.47	7.4	107	-12
15/03/2012	18:00	1.5	7.9	55	0.6	8.2	28	1.9	84	2.67	4.9	136	-38
16/03/2012	06:00	1.5	6.9	73	0.7	3.5	40	2.1	66	6.20	9.4	50	-38
16/03/2012	18:00	1.5	6.3	91	0.9	3.5	36	2.2	61	1.73	3.3	114	-57
17/03/2012	06:00	1.6	6.1	107	0.7	3.1	72	1.9	89	4.13	7.0	108	-54
17/03/2012	18:00	1.6	6.9	99	0.4	2.0	152	1.4	128	2.43	4.5	107	-62
18/03/2012	06:00	1.7	7.8	65	1.2	7.1	24	3.0	28	6.47	9.6	41	-54
18/03/2012	18:00	1.7	8.2	44	1.0	8.2	28	2.7	38	1.43	2.8	144	-50
19/03/2012	06:00	1.4	8.3	45	0.5	8.2	24	2.5	23	6.77	9.9	60	-38
19/03/2012	18:00	1.4	7.9	70	0.6	8.2	32	1.9	71	1.80	3.4	151	-23
20/03/2012	06:00	1.5	6.9	96	1.4	5.4	28	3.1	26	7.60	10.5	46	-7
20/03/2012	18:00	1.6	6.4	107	0.9	4.1	40	2.4	48	1.37	2.6	157	16
21/03/2012	06:00	1.6	6.3	105	0.4	6.2	68	1.6	79	6.97	10.0	59	34
21/03/2012	18:00	1.7	6.6	106	0.6	2.7	76	1.8	110	1.97	3.7	160	59
22/03/2012	06:00	1.6	6.9	100	1.0	4.1	48	2.4	74	6.50	9.6	62	77
22/03/2012	18:00	1.5	6.6	102	0.7	3.5	68	2.0	80	1.90	3.6	195	99
23/03/2012	06:00	1.5	6.8	95	0.4	7.1	44	1.7	65	4.37	7.3	41	113
23/03/2012	18:00	1.5	6.5	103	0.6	2.7	76	1.9	115	1.60	3.1	184	126
24/03/2012	06:00	1.5	6.3	103	1.2	5.4	40	2.8	43	4.70	7.7	81	135
24/03/2012	18:00	1.5	6.3	101	0.7	3.5	68	2.1	80	1.50	2.9	138	135
25/03/2012	06:00	1.5	6.3	94	0.4	6.2	44	1.7	80	6.20	9.4	68	137
25/03/2012	18:00	1.5	6.1	96	0.8	3.5	68	2.2	77	2.03	3.8	157	121
26/03/2012	06:00	1.5	6.3	93	1.2	5.4	36	2.8	44	5.63	8.8	67	117
26/03/2012	18:00	1.7	7.4	88	0.6	7.1	40	2.0	61	1.07	2.1	116	88
27/03/2012	06:00	2.2	10.5	29	1.0	10.8	20	4.1	8	6.13	9.3	67	79
27/03/2012	18:00	2.3	10.3	22	1.1	10.8	20	3.2	18	1.40	2.7	129	43
28/03/2012	06:00	2.1	9.4	28	1.1	9.4	20	3.2	19	6.63	9.8	62	33
28/03/2012	18:00	1.8	9.0	27	0.8	9.4	20	2.7	28	3.23	5.7	126	-5
29/03/2012	06:00	1.5	8.3	34	0.6	8.2	24	2.6	12	6.30	9.4	70	-12
29/03/2012	18:00	1.4	7.7	49	0.7	8.2	28	2.0	77	1.80	3.4	143	-44
30/03/2012	06:00	1.4	7.5	66	1.1	6.2	28	2.8	40	6.23	9.4	58	-44
30/03/2012	18:00	1.9	7.4	77	0.6	7.1	36	2.0	69	1.70	3.2	159	-65
31/03/2012	06:00	1.9	7.8	70	0.5	8.2	28	2.0	25	7.33	10.3	80	-57
31/03/2012	18:00	2.0	7.5	88	0.7	2.7	68	1.9	85	2.03	3.8	136	-65
01/04/2012	06:00	1.8	7.4	85	1.1	6.2	28	2.7	35	6.80	9.9	86	-52

01/04/2012	18:00	1.7	7.3	89	0.4	7.1	32	1.7	60	1.53	2.9	137	-47
02/04/2012	06:00	1.6	7.1	89	0.3	7.1	32	1.9	44	5.73	8.9	61	-31
02/04/2012	18:00	1.7	7.4	87	0.9	4.7	32	2.4	45	1.4	3.1	131	-18
03/04/2012	06:00	1.7	7.8	60	1.1	6.2	28	2.8	34	7.4	9.8	39	-2
03/04/2012	18:00	1.8	7.6	60	0.5	7.1	28	2.4	33	4.2	5.9	122	14
04/04/2012	06:00	1.7	6.9	73	0.5	7.1	32	2.3	35	6.6	9.1	68	28
04/04/2012	18:00	1.6	6.7	87	0.8	4.1	40	2.4	53	2.2	3.4	138	43
05/04/2012	06:00	1.7	6.3	96	1.3	5.4	32	2.9	41	8.4	11.1	47	53
05/04/2012	18:00	1.6	6.3	101	0.4	6.2	44	1.7	70	1.7	3.9	187	65
06/04/2012	06:00	1.5	6.5	85	0.4	6.2	40	1.9	56	7.9	10.1	57	73
06/04/2012	18:00	1.5	6.5	80	0.8	3.1	72	2.2	90	2.1	4.1	133	79
07/04/2012	06:00	1.5	6.6	75	1.4	6.2	32	3.1	43	8.2	10.4	49	86
07/04/2012	18:00	1.5	6.9	64	0.8	7.1	36	2.4	66	0.7	2.0	115	85
08/04/2012	06:00	1.6	7.2	59	0.6	7.1	36	2.4	35	4.9	8.3	121	93
08/04/2012	18:00	1.8	8.1	51	1.0	8.2	28	2.6	66	1.4	3.5	157	85
09/04/2012	06:00	2.0	8.4	40	1.2	8.2	24	3.3	23	5.8	8.7	64	93
09/04/2012	18:00	2.0	8.2	49	0.8	8.2	28	3.1	28	1.5	4.2	125	78
10/04/2012	06:00	1.9	7.7	62	0.7	8.2	32	2.7	32	6.6	9.6	49	85
10/04/2012	18:00	1.9	7.3	81	1.0	4.7	36	2.6	45	4.1	5.5	121	62
11/04/2012	06:00	1.7	7.1	82	0.9	4.1	40	2.4	54	5.8	8.0	43	66
11/04/2012	18:00	1.6	6.9	92	0.5	7.1	44	1.8	71	2.6	4.9	171	37
12/04/2012	06:00	1.5	6.6	96	0.3	7.1	40	1.7	58	7.8	9.9	35	38
12/04/2012	18:00	1.6	6.3	108	0.7	3.5	68	1.9	77	1.3	2.9	115	5
13/04/2012	06:00	1.5	6.8	93	1.0	5.4	32	2.5	46	6.9	9.4	31	4
13/04/2012	18:00	1.6	6.7	89	0.5	2.7	68	1.7	80	1.6	3.2	109	-27
14/04/2012	06:00	1.8	7.0	73	0.4	7.1	28	1.9	39	7.2	10.2	40	-30
14/04/2012	18:00	1.7	7.1	70	0.8	7.1	32	2.3	48	1.7	3.2	133	-54
15/04/2012	06:00	1.6	7.1	69	0.9	5.4	28	2.5	41	6.5	9.1	48	-54
15/04/2012	18:00	1.5	7.3	59	0.5	7.1	28	1.9	46	1.9	3.5	176	-68
16/04/2012	06:00	1.6	7.1	54	0.4	7.1	28	2.6	23	8.1	9.9	58	-64
16/04/2012	18:00	1.6	7.1	57	0.7	7.1	28	2.1	54	1.3	2.8	85	-65
17/04/2012	06:00	1.6	7.2	53	1.1	7.1	28	2.8	38	6.6	9.0	50	-55
17/04/2012	18:00	1.5	7.3	50	0.6	7.1	28	2.2	38	1.7	2.9	120	-44
18/04/2012	06:00	1.4	7.2	55	0.5	7.1	28	2.4	31	8.2	10.7	54	-27
18/04/2012	18:00	1.2	7.3	59	0.7	7.1	68	2.1	77	2	4.0	147	-8
19/04/2012	06:00	1.3	7.0	61	1.3	6.2	28	3.0	39	7.8	10.3	35	13
19/04/2012	18:00	1.3	6.9	60	0.6	7.1	36	2.2	52	2.7	3.7	102	36
20/04/2012	06:00	1.3	7.0	59	0.6	7.1	32	2.1	62	7.7	10.3	39	59
20/04/2012	18:00	1.2	7.3	55	1.0	4.7	36	2.6	57	1.6	2.8	54	78
21/04/2012	06:00	1.3	7.1	52	1.3	6.2	28	3.0	44	7.5	10.4	45	100
21/04/2012	18:00	1.4	7.2	45	0.7	7.1	28	2.5	39	2.1	3.6	137	111
22/04/2012	06:00	1.5	7.3	42	0.6	7.1	28	2.7	26	8.4	10.5	46	128
22/04/2012	18:00	1.4	6.8	53	0.9	4.7	36	2.5	57	1.1	2.8	112	126
23/04/2012	06:00	1.4	6.4	75	1.3	6.2	32	3.0	41	7.3	10.3	48	137
23/04/2012	18:00	1.3	6.6	74	0.5	7.1	40	2.0	60	2.3	3.9	202	120
24/04/2012	06:00	1.3	6.5	75	0.4	6.2	40	2.1	49	8.2	10.2	47	124

24/04/2012	18:00	1.4	6.4	80	1.0	5.4	40	2.6	55	1.6	2.3	188	94
25/04/2012	06:00	1.5	6.5	81	1.3	6.2	32	3.0	51	8.1	10.7	53	93
25/04/2012	18:00	1.5	6.4	82	0.5	6.2	40	1.9	68	1.3	3.1	180	54
26/04/2012	06:00	1.6	5.9	96	0.4	6.2	44	1.7	68	7.4	10.1	58	49
26/04/2012	18:00	1.5	5.8	107	0.8	3.1	72	2.1	94	1.9	4.0	154	8
27/04/2012	06:00	1.7	6.0	106	1.1	5.4	40	2.5	59	6.1	8.6	62	3
27/04/2012	18:00	1.7	6.1	104	0.7	3.5	68	2.0	79	2.5	4.7	146	-33
28/04/2012	06:00	1.5	6.0	102	0.3	6.2	40	1.5	63	6.9	9.3	42	-35
28/04/2012	18:00	1.4	6.0	101	0.7	3.5	44	2.0	72	3.8	5.6	134	-60
29/04/2012	06:00	1.2	6.2	90	0.9	4.7	32	2.4	43	7.8	9.8	44	-57
29/04/2012	18:00	1.4	6.1	99	0.5	3.1	48	1.7	65	1.7	4.3	163	-70
30/04/2012	06:00	1.6	6.7	84	0.5	2.7	68	1.7	85	8.3	10.4	42	-61
30/04/2012	18:00	1.8	7.5	75	0.7	3.1	68	2.0	71	1.8	4.0	133	-61
01/05/2012	06:00	1.6	7.9	72	0.7	2.7	68	2.0	87	7.1	10.1	38	-48
01/05/2012	18:00	1.7	7.6	86	0.6	3.1	36	1.9	69	1.8	4.3	134	-39
02/05/2012	06:00	1.7	7.6	77	0.8	3.1	68	2.1	76	7.2	9.8	47	-24
02/05/2012	18:00	1.7	7.2	78	0.7	7.1	36	2.0	67	2.5	5.0	128	-11
03/05/2012	06:00	2.0	6.9	84	0.6	7.1	36	2.0	79	6.9	10.0	48	3
03/05/2012	18:00	2.2	6.9	94	0.6	7.1	40	2.0	76	2.3	4.3	123	16
04/05/2012	06:00	2.2	6.7	102	0.7	2.7	72	2.0	97	8.3	10.4	54	30
04/05/2012	18:00	2.1	6.5	108	0.7	3.5	52	2.1	72	1.9	3.6	140	40
05/05/2012	06:00	2.1	6.4	104	1.0	3.1	68	2.4	88	7.4	10.1	124	54
05/05/2012	18:00	1.9	6.4	101	0.5	6.2	44	1.9	63	3.2	5.2	136	58
06/05/2012	06:00	1.9	6.3	101	0.8	4.1	68	2.3	78	4.7	9.4	52	73
06/05/2012	18:00	1.9	6.2	112	0.6	3.1	68	2.0	79	4	5.1	143	71
07/05/2012	06:00	1.9	6.3	104	0.9	3.1	72	2.3	93	6	9.1	129	87
07/05/2012	18:00	1.9	6.5	113	0.9	3.5	72	2.2	85	4.7	7.6	132	79
08/05/2012	06:00	2.0	6.5	117	0.8	3.1	76	2.2	104	5	8.5	128	95
08/05/2012	18:00	2.1	6.5	128	0.6	3.1	72	1.9	92	5	6.3	127	79
09/05/2012	06:00	2.1	6.5	128	0.7	2.7	76	1.9	103	4.5	9.5	135	93
09/05/2012	18:00	1.9	6.5	127	0.6	3.1	72	2.0	86	4.5	5.8	136	70
10/05/2012	06:00	1.8	6.2	126	0.5	2.3	80	1.7	114	5.9	7.7	43	80
10/05/2012	18:00	1.8	6.1	125	0.5	2.7	72	1.7	88	4.6	6.0	133	50
11/05/2012	06:00	1.5	6.2	117	0.4	2.3	124	1.5	124	7	9.3	49	54
11/05/2012	18:00	1.5	6.0	116	0.5	3.1	68	1.8	83	3.1	4.7	143	20
12/05/2012	06:00	1.5	6.0	109	0.4	2.3	124	1.5	129	8	9.5	50	18
12/05/2012	18:00	1.4	5.7	109	0.5	2.7	68	1.7	84	1.7	3.1	164	-15
13/05/2012	06:00	1.4	5.9	101	0.5	2.3	76	1.6	103	6.8	8.5	51	-20
13/05/2012	18:00	1.2	5.9	94	0.5	3.1	68	1.7	75	2.7	4.6	144	-47
14/05/2012	06:00	1.2	6.0	88	0.5	2.3	72	1.7	96	8	11.0	52	-52
14/05/2012	18:00	1.3	6.2	87	0.4	2.7	40	1.6	63	2.5	3.8	119	-69
15/05/2012	06:00	1.3	6.1	86	0.6	3.5	36	2.0	56	7.3	10.6	51	-70
15/05/2012	18:00	1.3	6.4	81	0.5	3.1	36	1.8	61	2.2	4.4	166	-74
16/05/2012	06:00	1.3	6.9	68	0.6	7.1	32	2.0	52	8.4	10.7	53	-68
16/05/2012	18:00	1.4	7.4	58	0.6	7.1	32	2.1	50	2.3	3.9	143	-60
17/05/2012	06:00	1.4	7.4	49	0.6	7.1	28	2.2	45	9.1	11.1	48	-45

17/05/2012	18:00	1.4	7.4	45	0.6	7.1	28	2.2	45	2.6	4.3	155	-29
18/05/2012	06:00	1.3	7.3	38	0.7	7.1	24	2.2	54	7.5	10.3	46	-7
18/05/2012	18:00	1.3	7.3	36	0.7	7.1	24	2.3	45	1.8	4.4	145	13
19/05/2012	06:00	1.3	6.8	47	0.6	7.1	28	2.1	65	7.7	10.5	46	39
19/05/2012	18:00	1.5	6.3	66	0.6	6.2	36	2.2	54	2	3.6	133	56
20/05/2012	06:00	1.4	6.6	68	0.7	2.7	72	2.1	90	8.3	10.4	39	83
20/05/2012	18:00	1.4	6.7	77	0.5	7.1	40	2.0	59	1.4	2.5	136	92
21/05/2012	06:00	1.6	6.7	88	0.7	3.5	68	2.1	83	6	8.6	84	116
21/05/2012	18:00	1.8	7.3	102	0.8	3.5	68	2.2	78	3.3	5.5	130	113
22/05/2012	06:00	1.8	7.8	93	0.8	3.5	68	2.3	79	7.7	10.3	49	131
22/05/2012	18:00	1.8	7.8	97	0.7	8.2	40	2.1	62	2.2	3.5	145	115
23/05/2012	06:00	1.8	8.2	89	1.1	4.7	40	2.6	58	7.5	10.1	73	126
23/05/2012	18:00	1.9	8.8	97	0.8	9.4	68	2.2	73	3.3	5.0	141	98
24/05/2012	06:00	2.1	8.6	95	0.8	8.2	40	2.3	69	7.3	10.0	47	101
24/05/2012	18:00	2.1	8.8	61	0.9	9.4	28	2.6	51	3.6	5.3	190	65
25/05/2012	06:00	2.0	8.8	48	1.0	9.4	24	2.5	68	4.4	8.3	83	63
25/05/2012	18:00	1.9	8.6	47	0.9	8.2	28	2.5	51	2.1	4.0	171	24
26/05/2012	06:00	1.7	8.0	58	0.8	8.2	28	2.1	80	5.8	9.0	51	19
26/05/2012	18:00	1.4	7.6	71	0.7	3.5	40	2.1	70	2	3.3	144	-16
27/05/2012	06:00	1.6	6.7	105	0.5	3.1	68	1.7	80	8	10.1	40	-21
27/05/2012	18:00	1.9	7.7	106	0.5	8.2	56	1.7	68	1.9	3.9	159	-48
28/05/2012	06:00	2.0	8.7	102	0.6	9.4	68	1.8	90	7.1	10.1	48	-50
28/05/2012	18:00	2.2	8.7	109	0.6	3.1	40	1.8	69	3.4	3.9	128	-65
29/05/2012	06:00	2.2	8.1	115	0.6	2.7	72	1.8	87	5.3	8.6	124	-63
29/05/2012	18:00	1.9	8.2	116	0.5	2.7	68	1.7	80	3	5.3	142	-67
30/05/2012	06:00	1.8	8.0	117	0.5	2.7	72	1.6	93	7.2	9.0	39	-60
30/05/2012	18:00	1.8	8.1	119	0.5	2.7	68	1.6	86	1.8	4.0	164	-54
31/05/2012	06:00	1.6	7.7	117	0.6	3.1	68	1.9	84	7.8	9.8	67	-44
31/05/2012	18:00	1.7	7.1	122	0.6	3.1	72	1.8	86	2	3.6	139	-33
01/06/2012	06:00	1.7	6.8	117	0.7	2.7	76	1.8	107	6.4	9.6	46	-20
01/06/2012	18:00	1.8	6.7	109	0.7	2.7	72	2.0	92	1.4	2.4	104	-8
02/06/2012	06:00	1.6	7.0	85	0.7	2.7	76	2.0	107	7.4	10.0	45	8
02/06/2012	18:00	1.6	6.8	88	0.8	2.7	68	2.1	90	1.7	2.5	123	17
03/06/2012	06:00	1.6	6.7	95	0.8	2.7	80	2.0	119	7.2	9.7	54	35
03/06/2012	18:00	1.6	6.6	94	0.7	2.7	72	2.0	92	3.5	5.2	124	40
04/06/2012	06:00	1.4	6.5	89	0.8	2.7	72	2.1	98	6.8	9.3	67	60
04/06/2012	18:00	1.4	6.5	92	0.8	3.1	72	2.2	89	2.1	3.5	141	59
05/06/2012	06:00	1.5	6.7	93	0.8	3.1	80	2.1	112	8.5	10.5	46	82
05/06/2012	18:00	1.7	6.5	104	0.8	3.1	72	2.2	90	2.5	4.5	146	75
06/06/2012	06:00	1.5	6.4	105	0.7	2.7	80	2.0	109	7.9	9.8	41	97
06/06/2012	18:00	1.7	6.3	117	0.7	3.1	72	2.0	96	0.7	2.0	148	84
07/06/2012	06:00	1.9	6.4	120	0.6	2.7	76	1.9	101	6.9	9.7	42	102
07/06/2012	18:00	1.8	7.1	114	0.9	4.1	68	2.2	84	2.1	3.6	133	82
08/06/2012	06:00	2.0	6.7	115	0.6	2.7	72	1.9	90	4.4	8.1	140	94
08/06/2012	18:00	2.0	6.5	111	0.7	3.5	68	2.0	79	3.6	5.7	122	68
09/06/2012	06:00	2.0	6.6	110	0.7	3.1	68	2.0	87	6.4	9.2	129	71

09/06/2012	18:00	2.0	6.5	117	0.6	3.5	64	1.9	74	4.4	6.4	126	40
10/06/2012	06:00	2.0	6.5	123	0.6	2.7	72	1.9	92	5.8	8.9	133	35
10/06/2012	18:00	2.2	6.7	122	0.5	3.1	68	1.8	75	1.8	4.3	110	4
11/06/2012	06:00	2.1	7.1	111	0.9	4.7	32	2.3	45	5.5	9.3	128	-6
11/06/2012	18:00	1.8	7.3	105	0.5	3.1	68	1.7	72	2.1	4.0	148	-33
12/06/2012	06:00	1.7	6.8	102	0.7	3.5	40	2.1	61	7.2	9.8	41	-44
12/06/2012	18:00	1.5	6.5	101	0.5	3.1	68	1.7	71	1.3	3.1	109	-62
13/06/2012	06:00	1.5	6.2	104	0.7	3.5	40	2.0	59	6.2	9.5	54	-69
13/06/2012	18:00	1.4	6.3	109	0.4	2.7	60	1.5	72	2.1	3.8	99	-75
14/06/2012	06:00	1.4	6.3	114	0.8	4.1	36	2.1	54	7.6	9.8	48	-73
14/06/2012	18:00	1.4	6.4	119	0.4	3.1	60	1.6	69	3.5	5.7	132	-68
15/06/2012	06:00	2.2	6.4	126	0.8	4.1	40	2.2	57	4.4	8.2	133	-56
15/06/2012	18:00	2.1	6.6	126	0.5	3.1	56	1.7	68	2.2	3.8	156	-42
16/06/2012	06:00	1.6	6.6	118	0.7	3.5	48	2.0	68	8.5	10.0	131	-22
16/06/2012	18:00	1.5	6.6	113	0.4	2.7	64	1.6	77	2.7	4.5	154	-4
17/06/2012	06:00	1.4	7.1	108	0.5	2.3	76	1.6	115	4.9	8.6	129	22
17/06/2012	18:00	1.5	7.2	112	0.5	2.7	68	1.7	88	1.7	3.6	171	38
18/06/2012	06:00	1.5	7.3	107	0.8	4.1	68	2.2	76	5.6	8.1	46	67
18/06/2012	18:00	1.4	7.2	105	0.6	3.1	68	1.9	84	2.5	4.2	95	76
19/06/2012	06:00	1.3	6.9	109	0.7	3.1	72	2.0	96	7.8	9.9	47	102
19/06/2012	18:00	1.3	7.1	114	0.6	3.1	72	1.9	92	4.3	5.9	128	101
20/06/2012	06:00	1.3	6.7	113	0.7	2.7	76	1.9	104	7.4	10.1	50	123
20/06/2012	18:00	1.3	6.2	120	0.6	2.7	72	1.8	99	2	4.0	125	110
21/06/2012	06:00	1.3	5.9	122	0.3	2.0	76	1.4	108	6	7.4	102	125
21/06/2012	18:00	1.4	6.2	119	0.3	2.3	72	1.4	101	2.3	3.6	144	102
22/06/2012	06:00	1.5	6.9	113	0.5	2.7	68	1.7	92	6.2	8.1	44	108
22/06/2012	18:00	1.7	7.4	113	0.3	7.1	40	1.5	61	2.2	3.6	122	78
23/06/2012	06:00	1.9	7.8	113	0.7	3.5	48	2.1	61	7.9	10.4	47	78
23/06/2012	18:00	1.9	8.1	110	0.5	8.2	64	1.8	65	1.7	2.9	151	45
24/06/2012	06:00	1.9	7.9	109	0.7	2.7	72	2.0	93	2.4	4.3	89	39
24/06/2012	18:00	1.9	6.9	123	0.5	3.1	68	1.7	75	1.7	3.2	111	8
25/06/2012	06:00	1.8	6.8	122	0.7	2.7	72	1.9	96	7.2	9.4	40	-1
25/06/2012	18:00	1.8	7.7	121	0.3	8.2	68	1.4	74	3.7	5.4	137	-25
26/06/2012	06:00	1.8	8.1	120	0.6	2.7	72	1.8	101	3.5	6.5	176	-34
26/06/2012	18:00	2.0	7.3	128	0.4	2.7	68	1.5	88	2.8	4.3	146	-49
27/06/2012	06:00	2.1	6.8	132	0.7	3.5	40	2.0	63	6.1	9.1	115	-55
27/06/2012	18:00	2.1	6.4	134	0.4	2.3	68	1.5	84	1.3	2.5	231	-60
28/06/2012	06:00	1.8	6.5	121	0.7	3.5	36	2.0	56	5.2	8.4	115	-61
28/06/2012	18:00	1.5	6.6	109	0.4	2.3	72	1.5	79	2.1	4.2	185	-58
29/06/2012	06:00	1.4	6.6	112	0.4	2.3	72	1.5	95	4.7	8.3	131	-54
29/06/2012	18:00	1.6	6.2	129	0.5	2.7	72	1.6	90	1.9	3.6	137	-46
30/06/2012	06:00	1.7	6.2	127	0.4	2.3	128	1.5	131	7.1	9.1	48	-36
30/06/2012	18:00	1.6	5.9	127	0.5	2.7	68	1.7	87	1.6	2.8	154	-26
01/07/2012	06:00	1.7	5.9	126	0.7	3.1	72	1.9	96	5.2	7.4	125	-11
01/07/2012	18:00	1.9	5.8	131	0.6	3.1	68	1.9	83	2.1	4.1	132	-1
02/07/2012	06:00	1.7	6.0	129	0.8	3.5	48	2.1	71	5.3	8.8	131	18

02/07/2012	18:00	1.7	6.2	130	0.5	3.1	68	1.7	77	3.4	4.7	135	25
03/07/2012	06:00	1.9	6.4	128	0.8	4.1	52	2.2	66	7.6	10.3	39	49
03/07/2012	18:00	1.8	6.5	123	0.4	2.7	68	1.6	77	5.7	7.7	130	52
04/07/2012	06:00	1.9	6.4	126	0.5	2.7	128	1.7	121	1.6	8.1	160	77
04/07/2012	18:00	2.1	6.4	124	0.8	3.5	68	2.1	84	2.7	4.2	187	76
05/07/2012	06:00	2.1	6.4	125	0.7	3.1	76	2.0	101	6.3	9.3	130	100
05/07/2012	18:00	2.0	6.4	124	1.1	3.5	72	2.4	101	3.2	5.1	149	93
06/07/2012	06:00	2.0	6.5	120	0.8	3.1	76	2.2	103	6.6	9.4	128	113
06/07/2012	18:00	2.5	7.0	120	0.8	3.1	72	2.1	96	4.5	6.7	164	99
07/07/2012	06:00	2.6	7.3	121	0.8	3.1	72	2.1	90	7.1	9.9	118	111
07/07/2012	18:00	2.6	7.2	123	0.6	3.1	68	2.0	85	2.9	6.1	151	91
08/07/2012	06:00	2.7	7.1	124	0.9	3.1	72	2.1	98	5.5	9.2	135	92
08/07/2012	18:00	2.6	6.9	124	0.6	2.7	72	1.9	92	4.4	7.7	143	66
09/07/2012	06:00	2.3	6.8	118	0.6	2.3	152	1.7	139	5	8.6	121	57
09/07/2012	18:00	2.4	7.0	119	0.6	2.7	68	1.8	85	5.2	8.3	144	30
10/07/2012	06:00	2.3	6.9	121	0.5	2.3	72	1.7	100	6.6	9.9	130	13
10/07/2012	18:00	2.4	7.2	118	0.5	3.1	68	1.7	76	7	9.2	120	-11
11/07/2012	06:00	2.1	7.1	114	0.6	3.1	68	1.9	80	5.9	9.0	143	-29
11/07/2012	18:00	1.9	6.9	113	0.5	2.7	68	1.6	76	1.7	3.4	126	-46
12/07/2012	06:00	1.8	6.5	108	0.4	2.0	96	1.4	124	5.5	9.5	119	-60
12/07/2012	18:00	1.6	6.5	110	0.5	2.7	72	1.7	88	2.9	4.5	153	-66
13/07/2012	06:00	1.6	6.7	109	0.4	2.0	148	1.5	138	4.5	7.8	56	-71
13/07/2012	18:00	1.8	6.6	115	0.5	2.7	72	1.7	93	4.8	6.1	130	-66
14/07/2012	06:00	2.0	6.6	117	0.6	2.3	76	1.7	105	6.2	9.2	111	-60
14/07/2012	18:00	2.0	7.0	113	0.5	2.3	72	1.7	90	3.3	4.9	135	-47
15/07/2012	06:00	1.8	7.0	112	0.5	2.3	72	1.6	109	4.9	8.0	152	-31
15/07/2012	18:00	1.8	7.0	107	0.4	2.7	44	1.7	63	1.5	2.8	120	-13
16/07/2012	06:00	2.0	7.0	102	0.6	2.3	72	1.8	106	6.9	9.8	56	11
16/07/2012	18:00	2.0	7.0	105	0.5	7.1	68	1.7	77	3.7	6.2	121	27
17/07/2012	06:00	1.8	6.7	110	0.8	3.5	68	2.1	86	7	9.5	49	54
17/07/2012	18:00	1.9	6.8	120	0.6	3.5	60	1.9	70	1.9	3.6	127	64
18/07/2012	06:00	2.0	7.3	118	0.7	3.5	48	2.1	63	4.6	8.1	144	90
18/07/2012	18:00	2.1	7.3	121	0.6	2.3	76	1.8	109	2.4	4.3	153	92
19/07/2012	06:00	2.1	7.9	121	0.8	3.5	68	2.1	87	5.1	9.1	125	114
19/07/2012	18:00	2.0	8.3	119	0.7	3.1	68	2.0	82	2.3	4.2	144	106
20/07/2012	06:00	1.9	8.7	118	0.7	3.5	68	2.1	85	5.7	9.6	133	121
20/07/2012	18:00	1.9	8.6	116	0.7	3.5	68	2.1	77	3.2	4.4	132	106
21/07/2012	06:00	2.0	8.4	117	0.7	3.1	72	2.1	90	5.7	9.0	52	113
21/07/2012	18:00	2.0	7.4	122	0.2	7.1	40	1.6	59	3	4.3	139	92
22/07/2012	06:00	1.9	7.0	121	0.6	3.5	68	2.0	78	6.9	9.8	52	91
22/07/2012	18:00	1.9	6.4	130	0.5	2.7	72	1.7	96	4.2	5.6	153	68
23/07/2012	06:00	1.8	6.3	125	0.6	2.7	80	1.8	115	7.3	9.3	41	59
23/07/2012	18:00	2.0	6.1	126	0.7	2.7	76	2.0	104	3.8	5.0	146	37
24/07/2012	06:00	1.9	6.0	123	0.5	2.3	160	1.6	130	7	9.7	114	24
24/07/2012	18:00	1.7	5.9	124	0.3	2.7	64	1.5	79	3.8	6.1	145	6
25/07/2012	06:00	1.8	5.8	125	0.5	2.3	140	1.5	133	6.2	9.6	140	-10

25/07/2012	18:00	1.8	6.3	120	0.4	2.0	120	1.5	123	2.9	5.2	158	-22
26/07/2012	06:00	1.8	6.3	119	0.5	2.3	96	1.6	129	5.4	9.2	134	-37
26/07/2012	18:00	1.8	6.0	123	0.4	2.0	76	1.5	107	3.9	5.8	144	-42
27/07/2012	06:00	1.8	5.9	123	0.5	3.1	48	1.7	66	5.8	8.4	24	-53
27/07/2012	18:00	1.5	5.7	117	0.4	2.0	72	1.4	99	2.9	6.1	144	-52
28/07/2012	06:00	1.9	6.0	125	0.5	2.3	80	1.6	110	6	9.0	128	-56
28/07/2012	18:00	2.3	6.4	131	0.4	2.3	72	1.6	86	3.2	4.7	145	-50
29/07/2012	06:00	2.2	6.4	127	0.4	2.3	84	1.5	114	6.8	10.2	111	-47
29/07/2012	18:00	2.1	6.3	134	0.5	2.3	76	1.6	110	3.7	5.4	149	-37
30/07/2012	06:00	2.0	6.4	127	0.4	2.3	128	1.5	127	5.4	8.6	134	-26
30/07/2012	18:00	1.8	6.4	128	0.6	2.7	72	1.9	97	4.3	5.9	140	-16
31/07/2012	06:00	2.0	6.2	130	0.5	2.3	80	1.7	117	5	8.6	136	3
31/07/2012	18:00	2.0	6.3	131	0.3	2.0	132	1.4	131	2.7	5.3	176	13
01/08/2012	06:00	2.2	6.4	129	0.7	2.7	80	1.9	118	5.8	8.3	171	36
01/08/2012	18:00	2.1	6.6	128	0.8	3.1	72	2.1	101	2.2	4.6	141	45
02/08/2012	06:00	1.9	6.5	127	0.4	2.0	168	1.4	137	5.9	9.1	142	71
02/08/2012	18:00	2.0	6.1	139	0.8	3.1	76	2.1	103	4	5.6	151	76
03/08/2012	06:00	2.1	6.0	138	0.4	2.3	140	1.6	149	6.7	9.9	131	102
03/08/2012	18:00	2.4	6.3	141	1.0	4.1	68	2.3	90	2.5	3.8	142	102
04/08/2012	06:00	2.4	6.4	138	0.4	2.3	128	1.6	131	7.6	8.2	20	122
04/08/2012	18:00	2.4	6.4	139	0.8	3.1	76	2.1	103	2.8	4.1	168	116
05/08/2012	06:00	2.2	6.4	131	0.6	2.7	128	1.8	125	4.8	9.4	128	126
05/08/2012	18:00	1.9	6.0	134	0.7	3.1	76	2.0	99	2.7	3.2	152	114
06/08/2012	06:00	1.6	6.3	123	0.6	2.7	88	1.8	122	3.8	7.5	145	111
06/08/2012	18:00	1.5	6.3	121	0.9	3.1	72	2.2	95	2.2	4.1	148	94
07/08/2012	06:00	1.5	6.1	115	0.7	2.7	72	2.0	99	7.2	9.8	36	79
07/08/2012	18:00	1.7	5.7	124	0.6	2.7	76	1.8	111	2.3	4.1	155	58
08/08/2012	06:00	1.9	5.9	129	0.3	2.7	60	1.4	77	8.1	10.6	51	34
08/08/2012	18:00	2.1	6.0	138	0.7	3.1	72	2.0	95	2.6	4.8	123	15
09/08/2012	06:00	2.1	6.2	135	0.3	1.8	152	1.3	131	5	8.9	143	-12
09/08/2012	18:00	2.3	6.2	132	0.6	3.1	68	1.9	77	1.9	2.7	139	-25
10/08/2012	06:00	2.1	6.2	129	0.3	2.0	116	1.4	125	6.3	9.3	143	-48
10/08/2012	18:00	2.2	6.3	131	0.8	3.5	44	2.1	71	3.8	5.2	166	-53
11/08/2012	06:00	2.1	6.0	130	0.3	2.7	68	1.4	85	5.2	9.2	127	-66
11/08/2012	18:00	2.2	6.0	140	0.4	2.3	96	1.5	127	2.4	4.2	147	-61
12/08/2012	06:00	2.1	6.0	136	0.2	2.7	44	1.4	59	5.4	9.3	130	-62
12/08/2012	18:00	2.3	6.3	140	0.9	4.1	40	2.2	67	3.8	5.9	151	-48
13/08/2012	06:00	2.2	6.3	134	0.4	2.3	72	1.5	96	4.1	8.2	168	-37
13/08/2012	18:00	2.2	6.4	133	0.9	4.1	40	2.2	64	3.4	6.3	155	-20
14/08/2012	06:00	2.3	6.4	130	0.3	2.7	40	1.4	75	7.5	11.0	132	0
14/08/2012	18:00	2.5	6.7	131	0.6	2.3	76	1.7	109	3.7	6.3	157	17
15/08/2012	06:00	2.3	7.0	126	0.3	2.0	72	1.4	104	7.3	10.2	131	40
15/08/2012	18:00	2.4	7.0	132	0.7	2.7	72	2.0	95	1.9	4.0	153	53
16/08/2012	06:00	2.7	7.1	135	0.3	2.0	40	1.4	103	6.7	9.7	117	76
16/08/2012	18:00	2.7	7.3	130	0.8	3.1	72	2.1	98	2.7	3.9	145	82
17/08/2012	06:00	2.8	7.6	134	0.4	8.2	76	1.5	105	5	9.2	143	101

17/08/2012	18:00	2.9	7.9	139	1.1	4.7	32	2.7	43	2.3	4.0	157	100
18/08/2012	06:00	2.6	7.9	140	0.4	8.2	72	1.5	90	6.8	10.2	119	113
18/08/2012	18:00	2.9	7.5	145	1.3	5.4	32	2.9	42	2	4.1	124	106
19/08/2012	06:00	3.1	7.7	143	0.4	2.3	84	1.5	128	6.5	10.1	128	111
19/08/2012	18:00	2.7	7.6	141	1.0	4.7	44	2.5	64	2.6	4.2	141	100
20/08/2012	06:00	2.5	7.3	140	0.4	2.0	76	1.4	121	5	8.1	140	97
20/08/2012	18:00	2.3	7.3	138	0.9	3.1	72	2.2	97	2.2	4.1	158	85
21/08/2012	06:00	2.4	7.0	135	0.4	2.3	76	1.6	113	6.9	9.8	124	74
21/08/2012	18:00	2.5	6.9	138	0.8	3.1	72	2.1	102	4.7	6.7	142	63
22/08/2012	06:00	2.5	7.0	135	0.4	2.0	172	1.4	162	7.7	10.2	127	45
22/08/2012	18:00	2.5	7.1	134	0.7	2.7	72	2.0	99	3.3	5.5	149	35
23/08/2012	06:00	2.9	7.8	132	0.4	2.0	72	1.5	108	4.4	9.2	129	13
23/08/2012	18:00	2.8	7.6	132	0.9	4.7	28	2.4	36	3.7	5.3	152	6
24/08/2012	06:00	2.5	7.1	133	0.4	2.0	156	1.4	139	5.7	9.7	137	-17
24/08/2012	18:00	2.3	6.8	136	0.6	2.7	72	1.8	97	2.3	4.7	150	-20
25/08/2012	06:00	2.3	6.7	131	0.3	1.8	140	1.3	124	4.1	8.9	148	-40
25/08/2012	18:00	2.1	6.6	130	0.8	3.1	72	2.0	91	4.2	6.1	149	-40
26/08/2012	06:00	2.0	6.7	123	0.3	1.8	156	1.2	155	5.3	9.1	148	-54
26/08/2012	18:00	2.1	6.8	123	0.5	2.3	80	1.7	109	3.3	5.1	150	-50
27/08/2012	06:00	2.3	6.9	126	0.4	2.0	76	1.4	114	8	10.1	54	-54
27/08/2012	18:00	2.5	7.5	129	0.6	2.3	76	1.7	108	3.7	5.8	131	-46
28/08/2012	06:00	2.5	8.1	129	0.4	2.0	180	1.3	182	5.4	9.2	91	-41
28/08/2012	18:00	2.3	7.7	131	0.5	2.3	152	1.6	144	4.8	5.6	147	-30
29/08/2012	06:00	2.2	7.2	130	0.3	2.0	76	1.4	123	5.9	9.4	124	-16
29/08/2012	18:00	2.1	6.9	133	0.7	2.7	76	1.9	106	3.3	5.6	133	-3
30/08/2012	06:00	1.9	6.5	125	0.4	2.0	80	1.4	126	4	8.6	122	19
30/08/2012	18:00	1.9	6.2	126	0.8	3.1	72	2.1	103	3.1	6.0	148	32
31/08/2012	06:00	1.9	6.1	117	0.3	6.2	44	1.5	82	6.3	9.9	59	58
31/08/2012	18:00	1.8	6.3	116	1.0	4.7	24	2.7	16	2.4	3.6	115	70
01/09/2012	06:00	1.6	6.1	117	0.3	2.0	68	1.4	120	8.4	10.6	51	95
01/09/2012	18:00	1.8	5.7	132	0.8	3.1	72	2.1	100	2.3	3.9	116	104
02/09/2012	06:00	2.0	5.9	132	0.3	2.7	48	1.4	76	8.6	11.0	47	122
02/09/2012	18:00	2.0	5.9	128	0.7	3.5	56	2.1	69	3.7	5.6	151	127
03/09/2012	06:00	2.0	5.9	125	0.3	2.0	44	1.5	110	7.4	10.2	120	133
03/09/2012	18:00	1.8	5.8	123	1.3	5.4	24	3.0	32	3.5	4.3	133	132
04/09/2012	06:00	1.7	5.8	119	0.3	2.0	72	1.4	101	6.8	10.4	113	124
04/09/2012	18:00	1.5	5.7	123	1.4	5.4	28	3.0	39	3.2	5.3	155	116
05/09/2012	06:00	1.6	5.8	122	0.4	2.3	68	1.5	95	5.7	10.4	115	96
05/09/2012	18:00	2.2	6.1	134	0.7	2.7	80	1.9	114	3.2	5.3	131	83
06/09/2012	06:00	2.2	6.3	132	0.2	2.7	36	1.5	53	6.5	9.8	121	52
06/09/2012	18:00	1.9	6.2	131	0.6	2.7	88	1.8	119	4.3	5.8	154	38
07/09/2012	06:00	1.9	6.1	130	0.3	2.0	160	1.3	145	7.4	10.1	128	4
07/09/2012	18:00	1.7	6.2	130	0.7	2.7	72	1.9	97	3.2	5.2	134	-7
08/09/2012	06:00	1.7	6.1	131	0.2	1.8	128	1.2	122	4.2	9.3	138	-37
08/09/2012	18:00	1.9	6.0	141	0.7	2.7	72	1.9	96	3	4.6	142	-41
09/09/2012	06:00	1.9	5.9	137	0.3	2.0	156	1.2	149	7	9.4	44	-62

09/09/2012	18:00	2.0	5.9	140	0.4	2.3	100	1.5	132	3.5	4.4	153	-57
10/09/2012	06:00	2.1	6.1	133	0.3	2.0	156	1.3	150	4.3	8.5	3	-65
10/09/2012	18:00	1.9	6.1	131	0.8	2.7	72	2.0	103	3.5	5.0	151	-53
11/09/2012	06:00	1.9	6.4	125	0.3	2.0	152	1.3	148	5.7	9.1	140	-47
11/09/2012	18:00	1.6	6.8	125	0.7	2.7	76	1.9	105	2.2	3.1	157	-30
12/09/2012	06:00	1.7	6.6	124	0.3	1.8	76	1.3	118	6.3	9.8	50	-15
12/09/2012	18:00	1.7	6.4	126	0.8	3.1	72	2.0	92	2.5	3.6	146	2
13/09/2012	06:00	1.8	6.1	125	0.3	1.8	168	1.3	131	6	9.1	113	22
13/09/2012	18:00	1.8	6.0	128	0.7	2.7	76	1.9	108	2.8	3.4	130	37
14/09/2012	06:00	1.9	6.1	123	0.3	2.0	72	1.4	107	7.6	10.0	48	56
14/09/2012	18:00	1.8	6.4	117	0.9	3.1	72	2.2	98	2.9	4.2	124	66
15/09/2012	06:00	1.9	6.2	116	0.4	2.7	68	1.6	81	6.1	9.6	127	82
15/09/2012	18:00	1.7	6.2	120	0.9	3.1	72	2.2	101	4.1	6.4	121	87
16/09/2012	06:00	1.8	6.0	123	0.3	2.0	76	1.5	97	8	10.0	53	97
16/09/2012	18:00	1.7	6.0	124	0.6	2.7	80	1.8	117	2.4	4.7	152	98
17/09/2012	06:00	1.8	6.1	121	0.3	2.0	72	1.5	110	4.2	8.8	82	100
17/09/2012	18:00	1.8	6.1	126	0.9	3.1	76	2.2	104	1.8	3.9	150	100
18/09/2012	06:00	1.9	6.2	123	0.5	2.3	76	1.7	125	5.4	9.3	113	94
18/09/2012	18:00	1.9	6.1	122	0.9	3.1	76	2.3	103	2	4.3	139	94
19/09/2012	06:00	1.8	6.0	126	0.4	2.0	136	1.5	130	7.2	10.3	109	80
19/09/2012	18:00	1.7	5.9	126	0.8	3.1	72	2.1	96	5	7.3	132	79
20/09/2012	06:00	1.7	6.1	127	0.3	2.0	132	1.4	135	6.5	9.7	49	58
20/09/2012	18:00	1.7	6.5	128	0.8	3.1	72	2.1	98	3.4	6.1	142	57
21/09/2012	06:00	1.8	7.0	116	0.3	2.0	160	1.4	137	7.3	9.1	48	31
21/09/2012	18:00	1.8	7.2	110	0.6	2.7	76	1.8	116	3.5	5.2	134	29
22/09/2012	06:00	1.9	7.1	107	0.4	2.0	156	1.5	128	7	10.2	50	1
22/09/2012	18:00	1.8	7.1	107	0.6	2.7	76	1.8	108	1.2	2.4	125	-1
23/09/2012	06:00	1.9	6.7	110	0.3	1.8	36	1.3	119	8.8	10.5	60	-28
23/09/2012	18:00	1.7	6.6	111	1.0	5.4	36	2.4	55	2.5	3.5	114	-29
24/09/2012	06:00	2.2	6.3	122	0.4	2.0	72	1.4	103	8.2	10.6	57	-50
24/09/2012	18:00	2.5	6.7	126	0.8	4.7	36	2.2	55	5.9	7.5	129	-49
25/09/2012	06:00	2.3	7.1	114	0.4	7.1	32	1.4	108	6.4	10.0	125	-61
25/09/2012	18:00	2.1	8.0	92	0.8	2.7	68	2.1	85	5.1	7.2	135	-56
26/09/2012	06:00	2.2	8.6	73	0.6	8.2	28	2.2	46	7.4	11.0	119	-57
26/09/2012	18:00	1.8	8.6	59	1.0	8.2	28	2.7	41	4.1	5.6	134	-47
27/09/2012	06:00	1.8	7.7	77	0.6	8.2	32	2.0	69	8.2	10.6	49	-37
27/09/2012	18:00	1.9	7.1	91	1.3	6.2	32	2.9	39	2.4	4.4	126	-23
28/09/2012	06:00	2.1	7.0	96	0.4	7.1	40	1.9	50	8.4	10.6	48	-4
28/09/2012	18:00	2.2	6.9	101	1.4	6.2	32	3.1	37	3.5	5.6	121	13
29/09/2012	06:00	2.4	6.6	115	0.4	7.1	40	1.7	66	7.7	9.7	54	36
29/09/2012	18:00	2.2	6.8	114	1.5	6.2	32	3.2	37	1.6	2.8	125	55
30/09/2012	06:00	2.2	6.6	115	0.4	2.3	44	1.7	111	6.9	10.2	47	77
30/09/2012	18:00	2.1	6.5	123	1.0	4.1	68	2.4	85	2.7	4.5	127	95
01/10/2012	06:00	2.1	6.4	122	0.4	2.3	68	1.6	87	7.2	9.2	36	111
01/10/2012	18:00	2.2	6.4	131	1.1	4.1	68	2.5	84	3.3	4.2	144	125
02/10/2012	06:00	2.2	6.5	122	0.4	2.3	72	1.6	119	6.4	9.8	48	130

02/10/2012	18:00	2.1	7.0	116	1.1	4.7	48	2.5	81	1.6	3.4	125	138
03/10/2012	06:00	2.3	7.2	112	0.5	7.1	68	1.8	80	6	8.9	40	128
03/10/2012	18:00	2.3	7.3	108	1.0	4.1	48	2.5	78	4.7	4.9	130	129
04/10/2012	06:00	2.3	6.9	114	0.5	7.1	72	1.7	102	5.2	9.7	134	105
04/10/2012	18:00	2.2	6.6	118	0.9	3.1	72	2.2	98	3.5	5.2	128	100
05/10/2012	06:00	2.4	6.5	126	0.4	2.3	72	1.6	102	7.9	10.4	53	65
05/10/2012	18:00	2.1	6.4	128	0.7	2.7	76	1.9	108	3.6	5.8	123	56
06/10/2012	06:00	2.2	6.5	128	0.3	2.0	72	1.4	116	5.3	9.0	143	17
06/10/2012	18:00	2.1	6.6	125	1.1	4.7	28	2.7	36	4.3	7.3	145	8
07/10/2012	06:00	2.0	6.5	125	0.3	1.8	160	1.3	136	6.8	9.8	136	-28
07/10/2012	18:00	2.2	6.4	130	0.8	4.1	40	2.1	61	3.3	5.7	154	-32
08/10/2012	06:00	2.3	6.4	132	0.3	2.0	156	1.3	150	7.1	10.6	130	-59
08/10/2012	18:00	2.5	6.6	137	0.6	2.7	76	1.8	105	2.3	4.3	133	-56
09/10/2012	06:00	2.8	6.9	133	0.3	7.1	32	1.5	51	6.1	10.3	120	-70
09/10/2012	18:00	2.6	6.9	131	0.9	4.1	40	2.2	65	4.6	6.9	150	-60
10/10/2012	06:00	2.4	7.3	119	0.3	7.1	36	1.4	62	7.5	11.1	139	-60
10/10/2012	18:00	2.4	7.8	110	0.8	3.5	68	2.1	76	3.8	5.6	148	-45
11/10/2012	06:00	2.2	8.1	102	0.3	8.2	32	1.7	47	6.8	10.9	52	-35
11/10/2012	18:00	2.2	8.4	101	1.1	5.4	28	2.7	35	2.9	4.5	130	-18
12/10/2012	06:00	2.2	7.8	109	0.4	8.2	36	1.6	65	8	10.8	61	-2
12/10/2012	18:00	2.1	7.4	115	0.8	2.7	68	2.1	92	1.9	3.6	113	14
13/10/2012	06:00	2.2	7.0	116	0.5	2.3	68	1.7	90	8.9	10.6	45	31
13/10/2012	18:00	2.3	7.2	117	1.3	5.4	32	2.9	37	1.6	3.4	169	44
14/10/2012	06:00	2.3	7.1	115	0.4	7.1	40	1.6	95	8.4	10.4	57	57
14/10/2012	18:00	2.1	7.1	114	0.8	3.5	68	2.2	83	3.3	4.6	118	67
15/10/2012	06:00	1.8	7.2	111	0.3	7.1	40	1.5	80	8.2	10.5	46	74
15/10/2012	18:00	1.8	6.6	120	0.9	4.1	68	2.3	82	2.1	4.0	132	83
16/10/2012	06:00	1.9	6.3	112	0.4	6.2	72	1.6	86	8.4	11.2	56	83
16/10/2012	18:00	2.0	6.4	113	1.2	4.7	48	2.6	77	2.6	3.7	119	92
17/10/2012	06:00	2.1	6.5	113	0.6	2.7	76	2.0	101	8.8	11.0	48	84
17/10/2012	18:00	2.2	7.2	112	1.2	4.7	44	2.7	66	2	5.6	126	93
18/10/2012	06:00	2.3	7.3	108	0.6	7.1	40	1.9	93	6.9	10.1	127	78
18/10/2012	18:00	2.3	7.7	106	1.2	4.7	40	2.9	39	2.7	5.3	122	87
19/10/2012	06:00	2.2	7.6	106	0.5	8.2	40	1.8	77	8.1	10.9	103	65
19/10/2012	18:00	1.9	7.5	108	1.4	5.4	36	3.0	40	3.1	4.7	126	71
20/10/2012	06:00	2.0	7.1	114	0.3	7.1	36	1.7	50	6.1	10.3	59	43
20/10/2012	18:00	2.1	6.9	123	1.3	5.4	32	2.8	42	2	4.2	105	47
21/10/2012	06:00	2.1	7.3	117	0.3	7.1	36	1.5	63	6.4	9.3	39	15
21/10/2012	18:00	2.0	7.5	116	1.2	5.4	32	2.7	42	3	4.5	138	15
22/10/2012	06:00	2.0	7.3	112	0.5	2.3	72	1.6	106	5.1	9.2	125	-16
22/10/2012	18:00	1.8	6.9	114	0.8	3.5	68	2.1	83	3.5	5.2	148	-19
23/10/2012	06:00	1.7	6.9	112	0.4	2.0	84	1.5	113	7.1	9.7	53	-45
23/10/2012	18:00	1.9	6.9	117	0.9	3.1	68	2.2	79	3.7	5.4	129	-47
24/10/2012	06:00	2.1	6.8	118	0.4	2.0	68	1.4	100	7.9	10.4	55	-65
24/10/2012	18:00	2.3	7.2	116	1.1	5.4	28	2.6	37	1.4	3.8	126	-64
25/10/2012	06:00	2.6	9.1	93	0.5	9.4	32	2.0	39	8.1	9.8	51	-70

25/10/2012	18:00	2.7	10.9	60	1.2	10.8	24	3.1	28	2.8	5.0	117	-64
26/10/2012	06:00	2.4	9.7	68	0.7	9.4	28	2.6	32	8.1	10.5	52	-58
26/10/2012	18:00	2.4	9.9	60	1.3	9.4	24	3.2	29	5	6.9	115	-45
27/10/2012	06:00	2.3	9.3	68	0.7	9.4	28	3.2	21	8.3	11.0	52	-30
27/10/2012	18:00	2.3	8.6	87	1.3	8.2	36	2.9	50	4.5	7.1	132	-10
28/10/2012	06:00	2.2	7.8	99	0.5	8.2	36	1.9	58	8.6	11.0	51	10
28/10/2012	18:00	2.3	7.2	105	1.2	4.7	36	2.8	38	4.2	6.8	130	34
29/10/2012	06:00	1.9	6.7	101	0.4	7.1	40	1.7	68	8	11.2	48	54
29/10/2012	18:00	1.5	6.5	108	1.2	5.4	32	2.9	37	3.1	4.7	127	78
30/10/2012	06:00	1.4	6.1	110	0.3	6.2	68	1.5	74	8.2	10.7	56	92
30/10/2012	18:00	1.3	6.2	114	0.9	4.1	48	2.4	68	2.4	4.0	120	115
31/10/2012	06:00	1.5	6.3	113	0.4	2.0	76	1.5	104	9.5	11.5	55	117
31/10/2012	18:00	1.7	6.6	114	0.9	3.1	72	2.3	91	2.5	3.9	112	134
01/11/2012	06:00	1.7	7.0	102	0.5	7.1	68	1.8	79	9.5	11.4	48	123
01/11/2012	18:00	1.5	8.2	81	1.4	6.2	36	3.0	54	2.2	4.0	130	133
02/11/2012	06:00	1.7	9.9	24	0.9	9.4	20	2.9	22	9.2	11.1	55	108
02/11/2012	18:00	1.9	10.4	358	1.1	10.8	12	2.7	48	1.8	3.5	145	110
03/11/2012	06:00	1.9	10.4	353	1.0	10.8	8	2.8	20	8.6	10.8	44	74
03/11/2012	18:00	1.8	10.2	353	1.1	10.8	8	2.6	66	1.7	3.5	154	70
04/11/2012	06:00	1.7	9.7	357	0.8	9.4	8	2.8	7	7.9	10.3	51	29
04/11/2012	18:00	1.6	9.7	1	1.1	9.4	72	2.5	81	2	3.2	127	22
05/11/2012	06:00	1.6	8.8	28	0.7	9.4	20	2.7	16	7.5	10.4	44	-17
05/11/2012	18:00	1.7	8.6	34	1.0	8.2	68	2.4	73	1.8	3.5	105	-23
06/11/2012	06:00	1.8	7.8	51	0.7	8.2	28	2.1	57	9.3	10.7	44	-53
06/11/2012	18:00	1.7	7.7	55	0.9	3.1	72	2.1	101	2	3.7	126	-54
07/11/2012	06:00	1.7	7.2	71	0.5	7.1	32	1.8	63	8.2	11.0	49	-72
07/11/2012	18:00	1.6	7.5	76	1.1	7.1	32	2.5	53	2	3.5	120	-66
08/11/2012	06:00	1.9	8.3	71	0.5	8.2	28	2.0	38	8.4	10.6	52	-71
08/11/2012	18:00	2.0	8.9	64	1.1	8.2	24	2.8	35	2.2	4.0	142	-60
09/11/2012	06:00	2.2	9.6	55	0.6	9.4	24	2.8	15	8.6	10.6	49	-54
09/11/2012	18:00	2.2	9.8	46	1.2	9.4	24	2.9	28	3.7	6.7	112	-39
10/11/2012	06:00	2.1	9.5	45	0.7	9.4	24	3.0	12	8.2	10.8	60	-26
10/11/2012	18:00	2.1	8.5	62	1.2	8.2	24	3.0	33	2.1	3.5	111	-10
11/11/2012	06:00	2.1	7.6	80	0.5	8.2	32	2.1	46	8.6	10.8	52	3
11/11/2012	18:00	2.1	7.9	73	1.2	8.2	32	2.8	53	2.4	4.2	106	19
12/11/2012	06:00	2.0	7.7	73	0.6	8.2	32	2.4	40	9.4	11.1	60	30
12/11/2012	18:00	2.2	7.9	67	1.5	8.2	28	3.3	37	2.9	4.0	127	45
13/11/2012	06:00	2.4	8.1	59	0.8	8.2	28	3.0	25	7.5	10.5	48	50
13/11/2012	18:00	2.1	8.0	57	1.7	8.2	28	3.5	33	3.8	5.3	115	66
14/11/2012	06:00	1.9	7.5	61	0.7	7.1	32	2.5	48	7.2	10.5	62	64
14/11/2012	18:00	1.6	7.7	58	1.1	3.5	68	2.6	85	2.7	3.7	110	80
15/11/2012	06:00	1.6	8.3	47	0.8	8.2	28	2.7	36	8.3	11.1	52	73
15/11/2012	18:00	1.7	7.6	64	1.4	6.2	44	2.9	72	2	3.8	134	89
16/11/2012	06:00	1.7	7.5	69	0.6	7.1	36	2.4	50	8.3	10.7	50	75
16/11/2012	18:00	1.6	8.2	62	1.4	6.2	36	3.0	56	2	3.7	152	91
17/11/2012	06:00	1.7	9.0	59	0.7	9.4	28	2.7	33	7.9	10.7	49	70

17/11/2012	18:00	1.6	9.7	46	1.4	6.2	24	3.3	29	1.6	3.4	123	82
18/11/2012	06:00	1.7	10.1	35	0.8	10.8	20	2.9	17	9.4	11.2	49	55
18/11/2012	18:00	1.7	10.4	26	1.1	10.8	20	2.6	59	1.9	3.7	129	61
19/11/2012	06:00	1.8	9.4	41	0.8	9.4	24	2.7	20	8.6	10.9	48	30
19/11/2012	18:00	1.8	8.8	55	1.2	8.2	28	3.0	36	4.1	5.8	109	30
20/11/2012	06:00	2.0	8.6	58	0.6	8.2	28	2.3	35	7.4	10.0	47	-2
20/11/2012	18:00	2.1	8.1	63	1.2	8.2	24	2.9	33	3.6	5.4	136	-7
21/11/2012	06:00	2.0	7.7	66	0.5	8.2	28	2.2	31	7.8	10.2	49	-35
21/11/2012	18:00	1.8	7.9	60	1.1	7.1	24	2.8	31	3.9	6.8	122	-42
22/11/2012	06:00	1.7	8.0	52	0.5	8.2	24	2.1	34	8.4	10.9	58	-62
22/11/2012	18:00	1.7	7.5	67	1.1	7.1	28	2.7	40	2.2	4.0	121	-67
23/11/2012	06:00	1.5	7.6	63	0.6	8.2	28	1.8	72	7.7	10.6	47	-76
23/11/2012	18:00	1.5	7.7	63	1.2	7.1	24	2.8	38	1.8	3.4	132	-74
24/11/2012	06:00	1.5	8.5	52	0.6	8.2	24	2.0	66	9.8	11.4	57	-72
24/11/2012	18:00	1.7	10.5	28	1.3	7.1	24	3.0	32	2.1	3.9	109	-62
25/11/2012	06:00	1.6	10.0	27	0.8	9.4	20	2.5	31	8.5	10.7	46	-50
25/11/2012	18:00	1.6	9.7	26	1.4	7.1	20	3.2	31	2.7	4.0	127	-31
26/11/2012	06:00	1.7	9.1	34	0.7	9.4	20	2.8	19	7.6	10.3	52	-13
26/11/2012	18:00	1.8	9.2	40	1.5	7.1	24	3.3	30	2.3	4.2	141	13
27/11/2012	06:00	2.0	9.7	36	0.9	9.4	20	3.4	14	7.7	10.6	55	31
27/11/2012	18:00	2.0	9.3	44	1.6	9.4	24	3.4	33	2.6	4.7	107	59
28/11/2012	06:00	2.0	8.6	55	0.7	8.2	28	2.9	27	9.4	11.2	55	72
28/11/2012	18:00	1.9	8.0	63	1.6	8.2	24	3.4	33	2	3.8	137	100
29/11/2012	06:00	1.9	7.3	78	0.6	7.1	36	2.3	46	9.1	11.3	54	103
29/11/2012	18:00	1.9	7.8	72	1.6	8.2	28	3.4	35	1.5	3.5	106	126
30/11/2012	06:00	2.2	8.8	61	0.8	9.4	28	3.0	25	8.6	11.1	50	116
30/11/2012	18:00	2.1	8.7	58	1.6	8.2	24	3.6	30	1.7	3.9	131	132
01/12/2012	06:00	1.9	8.2	64	0.6	8.2	28	2.8	32	7.6	10.4	59	109
01/12/2012	18:00	1.8	7.8	69	1.6	7.1	28	3.4	32	2	3.6	138	116
02/12/2012	06:00	1.9	7.3	84	0.5	7.1	36	2.3	45	8	10.9	51	83
02/12/2012	18:00	1.7	7.2	83	1.5	7.1	28	3.2	32	2	2.6	137	82
03/12/2012	06:00	1.7	6.7	91	0.4	7.1	40	1.9	55	9.3	11.3	55	44
03/12/2012	18:00	1.6	6.7	91	1.4	6.2	28	3.1	33	2	3.4	96	38
04/12/2012	06:00	1.7	6.9	90	0.4	7.1	36	1.8	57	8.6	11.2	47	1
04/12/2012	18:00	1.7	6.8	92	1.4	6.2	28	3.0	33	4	5.9	113	-8
05/12/2012	06:00	1.7	7.0	84	0.4	7.1	36	1.9	49	8.4	10.7	59	-38
05/12/2012	18:00	1.8	7.1	84	1.2	7.1	28	2.9	34	3.1	4.0	118	-44
06/12/2012	06:00	1.9	7.2	80	0.4	7.1	32	1.9	45	9.4	11.3	55	-63
06/12/2012	18:00	2.0	7.5	80	1.1	7.1	28	2.8	36	2.2	3.9	142	-65
07/12/2012	06:00	2.2	7.8	79	0.6	8.2	32	2.0	57	8	10.9	54	-72
07/12/2012	18:00	2.3	8.2	73	1.1	8.2	24	2.7	36	3.1	5.3	126	-67
08/12/2012	06:00	2.3	8.6	64	0.5	8.2	28	2.6	22	8.7	11.0	59	-64
08/12/2012	18:00	2.2	8.4	72	1.1	8.2	24	2.8	33	2.4	4.6	136	-54
09/12/2012	06:00	2.2	8.1	75	0.5	8.2	28	2.2	34	8.6	11.3	54	-44
09/12/2012	18:00	2.0	7.8	81	1.2	8.2	28	2.8	38	2.4	4.0	116	-31
10/12/2012	06:00	1.8	7.8	76	0.5	8.2	32	2.0	43	8.7	11.0	57	-19

10/12/2012	18:00	1.6	7.4	77	1.1	7.1	32	2.7	54	1.8	3.2	136	-3
11/12/2012	06:00	1.6	6.8	81	0.5	7.1	36	1.9	64	9.2	10.9	50	7
11/12/2012	18:00	1.6	6.8	78	1.2	6.2	36	2.8	59	1.8	3.6	108	24
12/12/2012	06:00	1.5	6.8	74	0.5	7.1	36	2.1	49	7.8	10.5	49	30
12/12/2012	18:00	1.5	6.8	80	1.6	7.1	28	3.3	34	1.4	3.1	120	50
13/12/2012	06:00	1.5	7.4	67	0.5	7.1	36	2.3	44	7.7	10.2	46	50
13/12/2012	18:00	1.7	8.1	54	1.7	8.2	28	3.6	30	2.4	3.4	111	71
14/12/2012	06:00	2.0	7.7	64	0.7	8.2	32	2.9	36	8.8	10.7	57	66
14/12/2012	18:00	2.1	7.7	64	1.7	8.2	28	3.6	33	2.1	4.1	119	87
15/12/2012	06:00	2.2	7.7	65	0.7	8.2	32	3.0	34	8.6	11.1	57	76
15/12/2012	18:00	2.3	7.4	75	1.8	8.2	28	3.6	36	2.2	3.8	119	96
16/12/2012	06:00	2.3	7.0	88	0.6	7.1	40	2.4	45	8.4	11.1	55	79
16/12/2012	18:00	2.1	7.3	78	1.7	7.1	28	3.5	35	3.3	4.3	122	94
17/12/2012	06:00	1.9	7.8	62	0.7	8.2	32	2.5	48	8.2	10.6	54	71
17/12/2012	18:00	1.8	7.7	60	1.5	7.1	28	3.3	30	5.2	7.6	120	78
18/12/2012	06:00	1.9	8.1	56	0.7	8.2	28	2.5	38	7.1	9.7	44	51
18/12/2012	18:00	2.0	9.6	38	1.4	9.4	24	3.2	29	1.7	3.5	122	49
19/12/2012	06:00	2.0	10.8	27	0.9	10.8	20	2.9	21	7.5	10.3	51	20
19/12/2012	18:00	1.9	10.2	30	1.2	7.1	24	3.0	32	2.6	4.1	130	10
20/12/2012	06:00	1.9	9.7	33	0.7	9.4	20	2.9	12	8.3	10.7	49	-16
20/12/2012	18:00	1.8	9.1	36	1.2	9.4	24	2.9	27	2.1	4.3	141	-29
21/12/2012	06:00	1.8	8.6	44	0.6	8.2	24	2.6	16	7.7	10.7	54	-50
21/12/2012	18:00	1.8	7.4	75	1.1	7.1	24	2.7	36	2.6	4.5	123	-61
22/12/2012	06:00	1.7	7.1	73	0.4	7.1	28	1.9	43	8.5	10.7	48	-72
22/12/2012	18:00	1.8	7.1	76	1.1	7.1	24	2.8	31	1.8	3.6	129	-76
23/12/2012	06:00	1.7	7.5	68	0.4	7.1	28	2.0	41	7.7	10.8	48	-75
23/12/2012	18:00	1.7	8.0	58	1.2	7.1	24	2.9	31	2.8	3.8	130	-70
24/12/2012	06:00	1.7	7.8	63	0.5	8.2	28	2.2	38	8.6	11.3	53	-59
24/12/2012	18:00	2.0	9.9	36	1.3	9.4	24	3.2	28	3.2	5.5	126	-44
25/12/2012	06:00	2.3	11.3	5	1.0	10.8	12	3.6	9	7.5	10.6	54	-27
25/12/2012	18:00	2.2	11.3	360	1.4	7.1	20	3.3	29	2.3	4.5	115	-3
26/12/2012	06:00	2.1	10.7	2	1.0	10.8	12	3.6	5	8.2	10.9	44	15
26/12/2012	18:00	1.9	10.3	6	1.5	7.1	20	3.4	29	1.7	3.2	126	44
27/12/2012	06:00	1.8	9.5	17	0.9	9.4	16	3.5	9	8.5	10.7	46	57
27/12/2012	18:00	1.7	9.1	20	1.6	7.1	20	3.4	29	2.9	4.7	115	86
28/12/2012	06:00	1.7	8.5	31	0.8	8.2	20	3.0	16	8.3	10.7	40	91
28/12/2012	18:00	1.7	8.7	26	1.5	7.1	24	3.4	31	2.1	3.5	116	116
29/12/2012	06:00	1.8	8.3	32	0.8	8.2	20	3.2	15	8.4	10.9	56	110
29/12/2012	18:00	2.0	8.2	37	1.7	8.2	24	3.6	28	2.9	4.3	116	129
30/12/2012	06:00	2.1	7.8	56	0.7	8.2	28	3.4	26	9.5	11.1	45	111
30/12/2012	18:00	1.9	7.7	54	1.7	8.2	24	3.5	35	2.9	3.2	112	121
31/12/2012	06:00	1.9	7.5	54	0.7	7.1	28	2.9	30	7.6	10.5	48	95
31/12/2012	18:00	1.7	7.6	45	1.6	7.1	24	3.5	32	2.5	4.0	120	95

V_1 = Dados do INMET; V_2 = Dados Transformados pelo CEM.