



FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"

**Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do  
Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao Largo**

**Adriana Silveira Vieira**

**Tese de Doutorado**

Ilha Solteira  
2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do  
Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao Largo**

**Adriana Silveira Vieira**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

**Área de concentração:** Automação

**Prof. Dr. Carlos Roberto Minussi**  
**Orientador**

**Prof. Dr. Geraldo de Freitas Maciel**  
**Coorientador**

Ilha Solteira  
2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

V658a Vieira, Adriana Silveira.  
Análises, aplicações e validações – numérico/experimentais do modelo SWAN em áreas restritas e ao largo / Adriana Silveira Vieira. – Ilha Solteira: [s.n.], 2013  
251 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2013

Orientador: Carlos Roberto Minussi  
Coorientador: Geraldo de Freitas Maciel  
Inclui bibliografia

1. SWAN. 2. Praia da Vitória, Açores, Portugal. 3. Solteira, Ilha (SP). 4. Previsão de ondas. 5. Ondas gravitacionais.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Análises, Aplicações e Validações - Numérico/Experimentais do Modelo SWAN em áreas restritas e ao Largo

**AUTORA:** ADRIANA SILVEIRA VIEIRA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. CARLOS ROBERTO MINUSSI

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. ANNA DIVA PLASENCIA LOTUFO  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. MARA LÚCIA MARTINS LOPES  
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. TIAGO ZENKER GIRELI  
Departamento de Recursos Hídricos / Universidade Estadual de Campinas

Profa. Dra. CONCEIÇÃO JUANA ESPINOSA MORAIS FORTES  
Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas / Departamento de Hidráulica e Ambiente

Data da realização: 06 de agosto de 2013.



## **DEDICATÓRIA**

Dedico essa Tese aos meus pais:  
Antônio Vieira Sobrinho e Zoraide  
Silveira Vieira e ao meu irmão  
Aylton Silveira Vieira, minha  
família amada.





# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida, abrindo meus caminhos e me dando forças para lutar e alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus pais Antônio e Zoraide e meu irmão Aylton pela força, coragem, pelos subsídios emocionais e financeiros que me deram ânimo para continuar nesta luta.

Aos meus amigos Manuel Marçal, Fernanda Batista, Adriana Negrão, Gilson Fernandes, Lucas Teles, Marlon Borges, Guilherme Fiorot, Joel Vasco e Evandro Fernandes pela amizade, companheirismo durante todos esses anos.

A todos os meus professores do PPGEE, que contribuíram muito para o meu processo de aprendizagem.

Ao Professor Dr. Geraldo de Freitas Maciel pelas orientações constantes, pela amizade e por todos esses anos de incentivo constante à pesquisa, que com certeza fez, e continuará fazendo uma grande diferença em minha vida.

A Engenheira Dr. Conceição Juana Fortes pela orientação durante o doutorado sanduíche (Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC – Lisboa, Portugal) e durante todo o processo para obtenção deste título, uma pessoa estupenda, que me ajudou muito nos processos de aprendizagem e, além disso, sendo amiga.

A Professora Dr. Mônica Pinto Barbosa pela amizade, compreensão, força, incentivo e apoio durante toda a minha formação (mestrado/doutorado).

Ao meu orientador Dr. Carlos Roberto Minussi, pela amizade, incentivo, energia, compreensão que sempre teve comigo.

Ao Professor Dr. Milton Dall’Aglio Sobrinho pela colaboração dos dados e implementações numéricas necessárias para a execução desta Tese, incentivando-me a buscar novos conhecimentos.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Civil (DEC) UNESP–Ilha Solteira, por me acolherem com muito carinho.

A todos os meus amigos do LNEC, Sara, Ana Mendonça, Jorge, Liliana, Rui Capitão, Erick, Diogo, Rute, João Alfredo, Maria Tereza, Laurinda, Fatinha, Edgar, Gil, Euclides, Javier, Ricardo, Gonçalo, Ruben, enfim toda a gente que adorei conhecer.

A todos os meus amigos que me ajudaram de forma direta ou indireta na construção deste trabalho em especial a Fabiana, Joel David e Jorge Hans amigos verdadeiros que tenho muito carinho e os levarei por toda a vida.

Ao Laboratório de Hidrologia e Hidrometria LH<sup>2</sup> e equipe de trabalho pela ajuda na parte experimental e coleta de dados.

Ao Laboratório de Sistemas Inteligentes (SINTEL) do Departamento de Engenharia Elétrica da UNESP- Campus de Ilha Solteira onde pude executar grande parte do meu trabalho e fazer bons amigos.

À FINEP e FAPESP (06/55280-4) pelo apoio financeiro concedido em infraestrutura e notadamente em bolsas que têm permitido a formação de recursos humanos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado sanduíche.

A Banca examinadora por aceitar contribuir e participar deste momento tão importante da minha vida.

“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si mesmo”.

(Ayrton Senna)



## RESUMO

Esta pesquisa trata do monitoramento e da previsão da geração de agitação pela ação do vento e da propagação de estados de agitação em dois locais: Porto da Praia da Vitória – Açores – Portugal e Lago da Barragem de Ilha Solteira – São Paulo – Brasil. A metodologia abordada utiliza o modelo numérico SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) que é capaz de simular a geração, propagação e dissipação da agitação marítima, com base na equação para a conservação da ação de onda. Na propagação da agitação marítima, em zonas costeiras abertas ou confinadas, o modelo simula os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes. Também integra na simulação o crescimento de onda por ação dos ventos, a arrebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), a dissipação de energia por causa de fricção do fundo, o bloqueio e reflexão por correntes opostas, e a transmissão através de obstáculos. Entre os vários resultados obtidos através do SWAN, destacam-se a altura significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional. Duas aplicações do modelo SWAN são tratadas nesta tese para a simulação da geração e da propagação de ondas em dois locais distintos: um correspondente a uma zona costeira aberta – a zona marítima adjacente ao porto da Praia da Vitória, na Ilha Terceira do Arquipélago dos Açores, Portugal; e outro correspondente a uma zona confinada, o lago da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Para o Porto da Praia da Vitória, utilizaram-se os resultados das previsões da agitação marítima ao largo da zona em estudo, obtidos com o modelo de previsão de larga escala WAVEWATCH III e os dados de vento do modelo MM5 como condições forçantes do modelo SWAN. Os resultados numéricos foram comparados com dados de agitação marítima obtidos a partir de uma boia-ondógrafo instalada a cerca de 4 km da costa a uma profundidade de 90m (Ponto 2), durante os anos de 2009 e 2010, com médias de três em três horas. O modelo numérico SWAN mostrou-se muito eficaz e correspondeu às expectativas de concordância entre dados numéricos e experimentais. Outra vertente deste trabalho foi a comparação das estimativas produzidas pelo modelo numérico SWAN, utilizando a caracterização do vento obtida a partir do Anemômetro 2D sônico instalado no lago da barragem de Ilha Solteira, com as medições da elevação da superfície livre obtidas com o sensor de pressão instalado a 1.5m da superfície e 8 m de profundidade local. As comparações efetuadas indicam a capacidade do modelo SWAN em reproduzir globalmente as características de agitação verificadas no lago em função da boa concordância entre os

valores experimentais e os resultados do modelo numérico. A metodologia implementada nesta pesquisa poderá constituir a base para um sistema de previsão da atenuação de ondas que leve em consideração a presença de vegetação nos leitos e margens, por exemplo, cujo objetivo final seria minorar/prevenir processo de erosão em margens de lagos de barragens. Neste sentido, a utilização do modelo SWAN contribuirá para a caracterização da agitação marítima quer nas zonas do lago sem vegetação quer nas suas margens após a atenuação pela vegetação aquática submersa.

**Palavras-chave:** SWAN. Praia da Vitória. Ilha Solteira. Previsão de Ondas. Ondas Gravitacionais.

## ABSTRACT

This research deals with the monitoring and the forecasting of wind wave generation and propagation at Praia da Vitória – Azores - Portugal and at the reservoir of Ilha Solteira Dam – São Paulo – Brazil. The SWAN numerical model (Simulating Waves Nearshore) is employed. Such a model is able to simulate the generation, propagation and dissipation of sea waves, based on the equation for wave action conservation. In the sea-wave propagation across both open and confined coastal regions, the model simulates the physical processes of refraction, diffraction and shoaling due to bottom depth variations. It also is capable of simulate the presence of currents, as well as wave growth due to wind, bottom induced wave breaking and whitecapping, energy dissipation due to bottom friction, wave blocking and reflection by currents and wave transmission across obstacles. Among the several results produced by SWAN model, it is worth mentioning significant wave height, mean and peak periods, mean and peak directions, directional spreading, bandwidth parameter and sea level anywhere in the computational domain. Two applications of SWAN model are developed to simulate sea-wave generation and propagation at two distinct locations: one corresponds to an open coast location – the maritime region adjacent to Praia da Vitória port, on Terceira Island, Azores archipelago, Portugal; and the other corresponding to a confined region, the reservoir of Ilha Solteira Dam, São Paulo, Brazil. For Praia da Vitória port, results from offshore sea wave forecasts obtained through the large scale model WAVEWATCH III and wind data from MM5 model were used as forcing data for SWAN model. The numerical results were compared to sea-wave data obtained from a wave buoy deployed 4 km away from the coast at water depth of 90 m (Point 2), during 2009 and 2010 with three-hourly averages. The numerical model SWAN proved itself quite efficient and in agreement with the expected numerical and experimental data. Another approach of the current work was the comparison between the SWAN estimative produced through wind characterization obtained from 2D sonic anemometer deployed at the reservoir of Ilha Solteira Dam and the free-surface elevation measurements made at the same location with a pressure sensor. The comparison showed the ability of SWAN model to reproduce sea wave characteristics observed in the reservoir and especially at pressure sensor location, due to good agreement between experimental values and numerical model results. The methodology implemented in this research may be the basis for a system to forecast wave attenuation taking into account vegetation on river bed and banks, for example, whose ultimate goal would be prevent/mitigate erosion process at the banks of dam reservoirs. The use of SWAN numerical

model will contribute to characterize the sea states at the regions with or without vegetation and at their banks after attenuation by submerged vegetation.

**Keywords:** SWAN. Praia da Vitória. Ilha Solteira. Sea-wave Forecast. Gravity Waves.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	ONDAS NO LAGO MICHIGAN.....	38
FIGURA 2 -	TORRES DE TRANSMISSÃO DESTRUÍDA NO LAGO DA BARRAGEM DE ILHA SOLTEIRA.....	38
FIGURA 3 -	CHOQUE DA BARCAÇA NA TORRE DE TRANSMISSÃO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ.....	39
FIGURA 4 -	REPRESENTAÇÃO DE TRECHO/ROTA DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ.....	40
FIGURA 5 -	ORGANOGRAMA DE DETERMINAÇÃO DE ALTURAS E PERÍODOS SIGNIFICATIVOS (D: DURAÇÃO DO VENTO (H)).....	49
FIGURA 6 -	LOCALIZAÇÃO DO ESTUÁRIO DE DIEGO LOPES.....	53
FIGURA 7-	CURVAS DE ATENUAÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA SOB UMA ONDA PROGRESSIVA COM $D/L=0,20$ .....	58
FIGURA 8 -	DIAGRAMA ESPECTRAL.....	59
FIGURA 9 -	FATOR DE ATENUAÇÃO EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA, PROFUNDIDADE 15M.....	60
FIGURA 10 -	REPRESENTAÇÃO DE PROCESSO DE DIFRAÇÃO: A) EGITO, B) FRANÇA E C) ITÁLIA.....	65
FIGURA 11 -	ONDA TIPO MERGULHANTE: 180KM DA COSTA DE SAN DIEGO (ESTADOS UNIDOS).....	66
FIGURA 12 -	ONDA TIPO DESLIZANTE: AUSTRÁLIA.....	67
FIGURA 13 -	ONDA TIPO ASCENDENTE. PRAIA DO TOMBO-GUARUJA.....	67
FIGURA 14 -	REPRESENTAÇÃO DO EFEITO, NO ESPECTRO, DO TERMO FONTE RELATIVO AO FORÇAMENTO DE UM CAMPO DE VENTOS.....	73
FIGURA 15 -	REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DAS INTERAÇÕES NÃO LINEARES A TRÊS ONDAS NO ESPECTRO DE VARIÂNCIA.....	74
FIGURA 16 -	REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DAS INTERAÇÕES NÃO LINEARES A QUATRO ONDAS NO ESPECTRO DE VARIÂNCIA.....	74
FIGURA 17 -	REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DA ARREBENTÇÃO PARCIAL NO ESPECTRO DE VARIÂNCIA.....	76
FIGURA 18 -	REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DO ATRITO DE FUNDO, EM ÁGUAS POUCO PROFUNDAS, NO ESPECTRO DE VARIÂNCIA DE JONSWAP.....	76
FIGURA 19 -	REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DA ARREBENTÇÃO INDUZIDA PELO FUNDO NO ESPECTRO DE VARIÂNCIA.....	77

FIGURA 20 -	REGIÕES AFETADAS PELAS CONDIÇÕES DE FRONTEIRA NO DOMÍNIO COMPUTACIONAL A SOMBREADO.....	78
FIGURA 21 -	COORDENADAS $x_{pc}$ E $y_{pc}$ CORRESPONDENTES À ORIGEM DO DOMÍNIO DE CÁLCULO, RELATIVAMENTE AO “SISTEMA LOCAL DE COORDENADAS”.....	79
FIGURA 22 -	ESTRUTURA GERAL DO SOPRO.....	82
FIGURA 23 -	FLUXOGRAMA DE DADOS, TIPO DE PROGRAMA E AMBIENTE- SOPRO .....	82
FIGURA 24 -	JANELA INICIAL DO PACOTE SOPRO.....	83
FIGURA 25 -	MÓDULO SWAN: FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO E ACESSO AOS BOTÕES DE COMANDO.....	86
FIGURA 26 -	FORMULÁRIOS DO SWAN: A) <i>COMPUTATIONAL GRID</i> ; B) <i>BATHYMETRY GRID</i> . ....	87
FIGURA 27 -	FORMULÁRIOS DO SWAN: A) <i>SPECTRUM RESOLUTION</i> ; B) <i>PHYSICAL PROCESSES</i> . .....	88
FIGURA 28 -	FORMULÁRIOS DO SWAN: A) <i>WAVE CONDITIONS</i> ; B) <i>OUTPUT SPECIFICATION</i> ...	89
FIGURA 29 -	A) OBTENÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS, EXECUÇÃO DO MODELO, VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS E CÁLCULO DA MATRIZ DE TRANSFERÊNCIA; B) FORMULÁRIO <i>RESULTS</i> .....	90
FIGURA 30 -	FORMULÁRIO DO SWAN: <i>STATIONARY WIND CONDITIONS</i> . .....	91
FIGURA 31 -	PORTO DE PRAIA DA VITÓRIA.....	93
FIGURA 32 -	MEDIÇÕES DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA BOIA-ONDÓGRAFO DO PROJETO CLIMAAT COLOCADA PRÓXIMO A PRAIA DA VITÓRIA. ....	93
FIGURA 33 -	BATIMETRIA NA REGIÃO MARÍTIMA ADJACENTE À ILHA TERCEIRA. ....	94
FIGURA 34 -	BATIMETRIA NA ZONA DA PRAIA DA VITÓRIA.....	94
FIGURA 35 -	METODOLOGIA UTILIZADA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA ZONA DO PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA. ....	95
FIGURA 36 -	MALHAS UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES FEITAS COM O SWAN. ....	97
FIGURA 37 -	MEDIÇÕES DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA BOIA-ONDÓGRAFO DO PROJETO CLIMAAT COLOCADA PRÓXIMO DA PRAIA DA VITÓRIA. ....	100
FIGURA 38 -	POSIÇÃO DO PONTO P1 E P2 (BOIA).....	101
FIGURA 39 -	EXEMPLO DO TIPO DE ARQUIVO TAB77.....	102
FIGURA 40 -	REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO.BAT RESPONSÁVEL POR EXTRAIR AS CARACTERÍSTICAS DA AGITAÇÃO MARÍTIMA. ....	102
FIGURA 41 -	INTERFACE DAS MEDIDAS DE U10 E V10 FORNECIDAS PELO MODELO MM5. ...	103

FIGURA 42 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO DE VELOCIDADE DO VENTO UV2009010101_D4.DAT. ....	104
FIGURA 43 - BATIMETRIA NA REGIÃO MARÍTIMA ADJACENTE À ILHA TERCEIRA.....	104
FIGURA 44 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DA POSIÇÃO DAS COORDENADAS DAS MALHAS....	106
FIGURA 45 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO DE PONTOS. ....	107
FIGURA 46 - PLANILHA REPRESENTATIVA DE COMPARAÇÕES ENTRE DADOS DO SWAN E DA BOIA. ....	108
FIGURA 47 - FLUXOGRAMA DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS SWAN E BOIA. ...	110
FIGURA 48 - REPRESENTAÇÃO DA PASTA DE ARQUIVOS DE DADOS ESTATÍSTICOS.....	111
FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO DE ESTATÍSTICA.....	111
FIGURA 50 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO PROGRAMA INDICES_CONCORDANCIA_ETA_H.F.....	112
FIGURA 51 - RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DE ILHA SOLTEIRA E LOCALIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE AQUISIÇÃO E COMUNICAÇÃO DE DADOS.....	115
FIGURA 52 - ÁRVORE DE INSTRUMENTAÇÃO NO LAGO DA BARRAGEM DE ILHA SOLTEIRA...	124
FIGURA 53 - (A) ANEMÔMETRO SÔNICO 2D, (B) SOFTWARE WAVESMON (ONDA).....	124
FIGURA 54 - TORRE REPETIDORA NO FAROL DE SÃO MARTINHO. ....	125
FIGURA 55 - LOCALIZAÇÃO DA TORRE DE INSTRUMENTAÇÃO, REPETIDORA E RECEPTORA. .	125
FIGURA 56 - REPRESENTAÇÃO DOS DADOS BRUTOS DE VENTO EXTRAÍDOS DO ANEMÔMETRO.....	126
FIGURA 57 - IMAGEM DO ECOBATÍMETRO NAVISOUND 205.....	127
FIGURA 58 - IMAGEM DO DGPS MAX – CSI WIRELESS.....	127
FIGURA 59 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA 3D DA BATIMETRIA DO LAGO DE ILHA SOLTEIRA (UNIDADE DE MEDIDA (M)).....	127
FIGURA 60 - TRECHO DO CÓDIGO DO PROCESSO PARA CÁLCULO DE H(F).....	128
FIGURA 61 - PLANILHA DE RESULTADO DA EXECUÇÃO DOS MACROS DE CÁLCULOS DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS OBTIDAS A PARTIR DO ESPECTRO DE PRESSÃO.....	129
FIGURA 62 - PAINEL DE CONTROLE PARA CÁLCULO DE MÉDIAS. ....	130
FIGURA 63 - DEFINIÇÃO DAS MALHAS DO MODELO SWAN E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS NO LAGO DA BARRAGEM DA ILHA SOLTEIRA PARA A OBTENÇÃO DOS RESULTADOS: A) MALHA1, B) MALHA2 E C) MALHA3.....	131
FIGURA 64 - REPRESENTAÇÃO DE DADOS TRATADOS DE VENTO. ....	132

FIGURA 65 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=13s$ , $H_s=2M$ E $DIR=260^0$ .....	136
FIGURA 66- ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=13s$ , $H_s=5M$ E $DIR=260^0$ .....	136
FIGURA 67 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=15s$ , $H_s=2M$ E $DIR=320^0$ .....	137
FIGURA 68 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=15s$ , $H_s=5M$ E $DIR = 320^0$ .....	138
FIGURA 69 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=13s$ , $H_s=2M$ E $DIR=260^0$ .....	139
FIGURA 70 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=13s$ , $H_s=2M$ E $DIR=320^0$ .....	139
FIGURA 71 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=15s$ , $H_s=2 M$ E $DIR=260^0$ .....	140
FIGURA 72 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=15s$ , $H_s=2M$ E $DIR=320^0$ .....	141
FIGURA 73 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=15s$ , $H_s=2M$ E $DIR=320^0$ .....	142
FIGURA 74 - ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE COM $T_p=13s$ , $H_s=2M$ E $DIR=320^0$ .....	142
FIGURA 75 - A) ALTURA SIGNIFICATIVA E B) DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE DO DIA 1 DE JANEIRO DE 2009 À 01:00 ( $H_s= 1,819 M$ , $T_p=8,313 S$ , $DIR=275,60^0$ ). 143	
FIGURA 76 - A) ALTURA SIGNIFICATIVA E B) DIREÇÃO DE PICO PARA UMA ONDA INCIDENTE DO DIA 1 DE JANEIRO DE 2009 À 10:00 ( $H_s= 2.08M$ , $TP=8.453s$ , $DIR=276.70$ ). .... 143	
FIGURA 77 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ALTURA SIGNIFICATIVA AO LARGO (PONTO 0) E NO PONTO P2, DIA 1 DE JANEIRO DE 2009. .... 144	
FIGURA 78 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PERÍODOS AO LARGO (PONTO P0) E NO PONTO P2, DIA 1 DE JANEIRO DE 2009..... 145	
FIGURA 79 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DIREÇÕES DE ONDA AO LARGO (PONTO P0) E NO PONTO P2, DIA 1 DE JANEIRO DE 2009..... 145	
FIGURA 80 - RESULTADOS DO SWAN - 3 MALHAS PARA $H_s = 4,5 M$ , $T_p = 11 S$ E $DIR = 314^0$ . 147	
FIGURA 81 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS DOS MESES DE JANEIRO E FEVEREIRO DE 2009 DE 3 EM 3 HORAS, NA BOIA E NO PONTO2 COM E SEM VENTO. .... 149	

FIGURA 82 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PERÍODO DE PICO NOS MESES DE JANEIRO E FEVEREIRO DE 2009 DE 3 EM 3 HORAS, NA BOIA E NO PONTO 2 COM E SEM VENTO.....	149
FIGURA 83 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA ALTURA SIGNIFICATIVA OBTIDOS COM O SWAN COM AS MEDIÇÕES DA BOIA, PARA O PERÍODO 2009. ....	150
FIGURA 84 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO PERÍODO DE ZERO ASCENDENTE OBTIDOS COM O SWAN COM AS MEDIÇÕES DA BOIA, PARA O PERÍODO 2009. ....	151
FIGURA 85 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS DIREÇÕES MÉDIA DE ZERO ASCENDENTE OBTIDOS COM O SWAN COM AS MEDIÇÕES DA BOIA, PARA O PERÍODO 2009...	151
FIGURA 86 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS (2009-2010). ....	152
FIGURA 87- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PERÍODOS DE PICO NA BOIA E NO PONTO2(SWAN)- (2009-2010). ....	153
FIGURA 88 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DIREÇÕES MÉDIAS PONTO 2 E BOIA (2009-2010). ....	153
FIGURA 89 - REPRESENTAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS.....	154
FIGURA 90 - REPRESENTAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DOS PERÍODOS DE PICO.....	155
FIGURA 91 - REPRESENTAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DAS DIREÇÕES MÉDIAS.....	155
FIGURA 92 - ROSA DOS VENTOS DAS OCORRÊNCIAS DAS DIREÇÕES MÉDIAS 2009-2010. ....	156
FIGURA 93 - LAGO DA BARRAGEM DE ILHA SOLTEIRA. ....	158
FIGURA 94 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS A) ALTURAS SIGNIFICATIVAS( $H_s$ ) E B)PERÍODO MÉDIO DE ONDA ( $T_p$ ). ....	159
FIGURA 95 - RESULTADOS DO SWAN DAS 3 MALHAS PARA UM VENTO DE 25M/S NA DIREÇÃO $300^0$ . ....	159
FIGURA 96 - REPRESENTAÇÃO DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS E VENTOS PARA O PERÍODO QUE VAI DE 22 A 31 DE OUTUBRO DE 2010.....	161
FIGURA 97 - REPRESENTAÇÃO DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS E VENTOS PARA O PERÍODO QUE VAI DE 01 A 23 DE NOVEMBRO DE 2010.....	161
FIGURA 98 - REPRESENTAÇÃO DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS E VENTOS PARA O PERÍODO QUE VAI DE 01 A 31 DE JANEIRO DE 2011.....	162
FIGURA 99 - REPRESENTAÇÃO DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS E VENTOS, PARA O PERÍODO QUE VAI DE 01 A 23 DE FEVEREIRO DE 2011 .....	162
FIGURA 100 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDA DE 01 A 21 DE MARÇO DE 2011. ....	163

FIGURA 101 - GRÁFICO REPRESENTATIVO DAS OCORRÊNCIAS DE ALTURAS SIGNIFICATIVAS (2010-2011).	164
FIGURA 102 - OCORRÊNCIAS DAS DIREÇÕES DO VENTOS.	164
FIGURA 103 - REPRESENTAÇÃO DO SITE DE DADOS DE PREVISÃO DE ONDAS DO WWIII.	190
FIGURA 104 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO.BAT.	191
FIGURA 105 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO PONTOS2_EXP.TXT.	192
FIGURA 106 - INTERFACE DO SITE DOS VENTOS.	192
FIGURA 107 - INTERFACE – SOPRO - IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO.	205
FIGURA 108 - INTERFACE – SOPRO - GRADE COMPUTACIONAL.	206
FIGURA 109 - INTERFACE – SOPRO - GRADE BATIMÉTRICA.	206
FIGURA 110 - INTERFACE – SOPRO - CARACTERÍSTICA DO ESPECTRO.	207
FIGURA 111 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS PARA EXECUTAR O SWAN.	207
FIGURA 112 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO DE SAÍDA DO SWAN.	207
FIGURA 113 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO DO SWAN EM EXCEL.	208
FIGURA 114 - REPRESENTAÇÃO DE TIPO DE ARQUIVO E FORMATO DOS DADOS.	208
FIGURA 115 - REPRESENTAÇÃO DE TIPO DE EXTENSÃO DO ARQUIVO.	209
FIGURA 116 - REPRESENTAÇÃO DA PLANILHA DE DADOS DE COMPARAÇÃO ENTRE SWAN E BOIA.	210
FIGURA 117 - EXEMPLO DO ARQUIVO NUMERICOCV_HS É:	211
FIGURA 118 - EXEMPLO DO ARQUIVO ANALITICO_HS É:	211
FIGURA 119 - REPRESENTAÇÃO DA PASTA DE ARQUIVOS DE DADOS.	212
FIGURA 120 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO ESTATÍSTICA.BAT.	212
FIGURA 121 - REPRESENTAÇÃO DO ARQUIVO RMSE_WILOTT_MAE.	213
FIGURA 122 - REPRESENTAÇÃO DOS ARQUIVOS QUE SÃO OBTIDOS NO ARQUIVO ÍNDICE_CONCORDANCIA_NUMERICO.	213
FIGURA 123 - PROCESSO INICIAIS PARA CONSTRUÇÃO DAS MALHAS.	218
FIGURA 124 - MODO DE COMO CARREGAR O ARQUIVO BATIMÉTRICO.	218
FIGURA 125 - PROCESSOS PARA A CONSTRUÇÃO DAS MALHAS.	219
FIGURA 126 - RESULTADO INICIAL DA CONSTRUÇÃO DAS MALHAS.	219
FIGURA 127 - PROCESSO PARA A CONSTRUÇÃO DAS MALHAS.	220
FIGURA 128 - REPRESENTAÇÃO DA MALHA COMPLETA ILHA.	220
FIGURA 129 - ESCOLHA DA ÁREA A SER CRIADA A MALHA E O ESPAÇO UTILIZADO NA GRADE1.	220
FIGURA 130 - PROCESSO PARA CONSTRUÇÃO DAS MALHAS.	221

FIGURA 131 - SEQUÊNCIA PARA CONSTRUÇÃO DAS MALHAS. ....	221
FIGURA 132 - PROCESSO PARA CONSTRUÇÃO DAS MALHAS. ....	222
FIGURA 133 - PROCESSO PARA A CONSTRUÇÃO DAS MALHAS. ....	222
FIGURA 134 - PROCESSOS PARA A CONSTRUÇÃO DAS MALHAS. ....	223
FIGURA 135 - PASSOS PARA A GERAÇÃO DAS MALHAS. ....	223
FIGURA 136 - ESTRUTURA PARA SALVARO ARQUIVO DE COORDENAS BATIMÉTRICAS. ....	224
FIGURA 137- DADOS BRUTOS DE VENTO .....	228
FIGURA 138 - PLANILHA PARA ARQUIVO DE INTERVALO DE MÉDIA E INICIO DE DIA MÊS E ANO.....	228
FIGURA 139 - PLANILHA COM VÁRIOS DATA_INICIO PARA GERAÇÃO DE ARQUIVOS DE VENTOS.....	229
FIGURA 140 - RESULTADO DA EXECUÇÃO DO PROGAMA PARA GERAÇÃO DA PLANILHA DE MÉDIA DE VENTOS.....	231
FIGURA 141 - ARQUIVO PARA A EXECUÇÃO DO PROGRAMA DE MÉDIA DOS VENTOS COM CORREÇÃO DA ALTURA DO VENTO. ....	232
FIGURA 142 - REPRESENTAÇÃO DA PLANILHA DE RESULTADO DOS VENTOS COM MÉDIAS E COM CORREÇÃO DO VENTO. ....	234
FIGURA 143 - PLANILHA DE MÉDIAS DOS DADOS DO SENSOR EXCEL.....	234
FIGURA 144 - ARQUIVO GERADO NA TRANSFORMAÇÃO DO ESPECTRO DE ONDA OBTIDO PELO SENSOR DE PRESSÃO PARA ALTURA SIGNIFICATIVA.....	250





## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - REPRESENTAÇÃO DA LISTA DE VENTOS.TXT. ....	104
QUADRO 2 - ESQUEMA DE ARMAZENAGEM DE VARIÁVEIS DO PROGRAMA DE AQUISIÇÃO. ....	116
QUADRO 3 - RESUMO DA ANÁLISE DA TEMPORIZAÇÃO DA EXECUÇÃO DO PROGRAMA. ....	117
QUADRO 4 - TIPOS DE ARQUIVOS COM DADOS DAS LEITURAS DE VENTO E ONDA. ....	118
QUADRO 5 - EXEMPLO DOS DADOS BRUTOS ORIGINAIS .....	119
QUADRO 6 - EXEMPLO DO CONTEÚDO DOS ARQUIVOS TIPO RD1. ....	119
QUADRO 7 - EXEMPLO DO CONTEÚDO DOS ARQUIVOS TIPO RD2. ....	120
QUADRO 8 - EXEMPLO DO CONTEÚDO DO ARQUIVO EVENTOS.TXT.....	120



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- IMPORTÂNCIA DOS DIFERENTES PROCESSOS QUE AFETAM A EVOLUÇÃO DAS ONDAS EM ÁGUAS PROFUNDAS, INTERMÉDIAS E POUCO PROFUNDAS.....	52
TABELA 2 - DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE $1/[H(F)]^2$ , PARA $D = 30\text{M}$ E $Z = -20\text{M}$ . ....	61
TABELA 3 - PERÍODOS SELECIONADOS, VELOCIDADE DA ONDA E PROFUNDIDADE NA QUAL A ONDA SENTE O FUNDO E SE TORNA ONDA DE ÁGUA RASA. ....	63
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DAS MALHAS UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO COM O SWAN. ....	98
TABELA 5 - COORDENADAS DOS PONTOS ESTUDADOS.....	101
TABELA 6- CARACTERÍSTICAS DAS MALHAS ADOTADAS PARA O PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA. ....	105
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DAS MALHAS UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO COM O SWAN. ....	131
TABELA 8 - CÁLCULOS DAS CONDIÇÕES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA OBSERVADA AO LONGO DE 10 HORAS NO DIA 01 DE JANEIRO DE 2009.....	146
TABELA 9 - OCORRÊNCIAS DE DIREÇÕES MÉDIAS: SWAN E BOIA 2009-2010.....	156
TABELA 10- ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	157
TABELA 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA (ÍNDICES CALCULADOS COM BASE EM NÍVEL DE PERSISTÊNCIA DE 97% DE $H_s$ ).....	165



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ARHANA	Administração da Hidrovia do Paraná
DIA	Discrete Interaction Approximation
DWR	Directional Wave Rider
IEA	International Energy Agency
JONSWAP	Joint North Sea Wave Project
LTA	Lumped Triad Approximation
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil- Lisboa - Portugal
MM5	The Fifth-Generation NCA/Penn State Mesoscale Model
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NIO	National Institute of Oceanography – Inglaterra
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OPEP	Organização dos Países Produtores de Petróleo
OWC	Oscilating Water Column
SWAN	Simulating Waves Nearshore
VBA	Visual Basic for Applications
WAM	Wave Analysis Model
WMO	World Meteorological Organization
WW3	Wave Watch III Model
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical



## LISTA DE SÍMBOLOS

$H$	Altura das ondas (m)
$g$	Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )
$U_{10}$	Velocidade do vento a 10m de altura da superfície (m)
$t$	Tempo de atuação do vento (s)
$F = F(f, \theta, x, y, t)$	Espectro direcional de onda
$c_g$	Celeridade de grupo
$\phi$	Potencial de velocidade
$d$	Profundidade local
$z$	Ordenada vertical a partir do nível médio, positivo para cima
$\rho$	Massa específica da água
$S_p(f)$	Espectro de pressão
$S_n(f)$	Espectro de variância de superfície
$H(f)$	Função de transferência da massa de água
$f$	Frequência
$K$	Número de onda
$G_{xy}$	Espectro $xy$ $S_{pn}(f)$
$G_y$	espectro de $y$ ( $S_n(f)$ )
$\sigma$	Frequência relativa
$\theta$	Direção da onda
$S_{ds}$	Fenômenos físicos de dissipação da energia da onda
$S_{ds,b}$	Dissipação da energia das ondas por atrito de fundo
$S_{ds,br}$	Dissipação da energia das ondas por efeito da batimetria
$S_{ds,w}$	Dissipação da energia das ondas por rebentação parcial
$S_{in}$	Fenômenos físicos de geração da energia da onda
$S_{nl}$	Fenômenos físicos de redistribuição da energia da onda
$S_{nl3}$	Transferência de energia das ondas associada à interação de 3 ondas
$S_{nl4}$	Transferência de energia das ondas associada à interação de 4 ondas
$S_{tot}$	Fenômenos físicos de geração, redistribuição e dissipação da energia da onda.
$S_{diss,b}(\sigma, \theta)$	Atrito do fundo
$S_{diss,y}(\sigma, \theta)$	Arrebentação induzida pela diminuição da profundidade

$S_{\text{diss,w}}(\sigma, \theta)$	Arrebentação parcial
$c_\sigma$	Velocidade de propagação no espectro na direção $\sigma$
$c_\theta$	Velocidade de propagação no espectro na direção $\theta$
$c_x$	Celeridade segundo o eixo $x$
$c_y$	Celeridade segundo o eixo $y$
$E(\sigma, \theta)$	Espectro densidade de energia
$s$	Deslocamento na direção de propagação
$h$	Profundidade
$m$	Deslocamento na perpendicular
$u_*$	Velocidade de atrito
$C_D$	Coefficiente de arrastamento
$\sigma_m$	Frequência média
$k_m$	Número médio de onda
$C_b$	Coefficiente inerente ao atrito de fundo
$H_s$	Altura significativa da onda (m)
$T_s$	Período significativo da onda (s)
$t_p$	Período médio da onda (s)
$g$	Aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ )
$U$	Velocidade do vento (m/s)
$F$	Pista efetiva (km)
$H_{\text{max}}$	Altura máxima (m)
$C$	Constante de Creager
$\Gamma$	Coefficiente de declividade



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>37</b>
1.1	Motivação e Justificativa .....	37
1.2	Objetivos.....	42
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>45</b>
2.1	Modelos de Geração de Ondas .....	47
2.1.1	SMB.....	48
2.1.2	JONSWAP .....	48
2.1.3	Modelos de 3ª Geração .....	50
2.1.4	SWAN.....	52
2.1.5	Considerações Gerais sobre Medição de Pressão com Presença de Ondas .....	54
<b>3</b>	<b>PROPOSTAS DE MODELAGEM DA AGITAÇÃO EM ÁGUAS CONFINADAS DEVIDO À AÇÃO DO VENTO.....</b>	<b>56</b>
3.1	Revisão Condensada da Teoria Linear e Técnicas de Medição .....	56
3.1.1	Medição por Pressão.....	57
3.1.2	Função de transferência $H(f)$ .....	59
3.1.3	Cálculo de $H(f)$ .....	60
3.1.4	Características da energia da onda.....	62
3.1.5	Classificação .....	62
3.2	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO SWAN.....	68
3.2.1	Equação do balanço de energia .....	69
3.2.2	Os termos de propagação.....	70
3.2.3	Forçamento pelo campo de ventos .....	72
3.2.4	Interação não linear das ondas .....	73
3.2.5	Dissipação de energia.....	75
3.2.6	Arrebentação parcial (Whitecapping).....	75
3.2.7	Atrito de fundo .....	76
3.2.8	Arrebentação induzida pelo fundo.....	77
3.2.9	Procedimentos de Pré e Pós-Processamento .....	77
3.3	Modelos de Previsão de Ondas com Aplicação em Águas Confinadas .....	80
3.3.1	O Módulo SOPRO .....	80
3.3.2	Módulo SWAN.....	84
3.3.3	Interface do módulo SOPRO/SWAN .....	84
<b>4</b>	<b>Materiais e Métodos .....</b>	<b>92</b>
4.1	Porto da Praia da Vitória – Açores – Portugal.....	92
4.1.1	Condições gerais de aplicação do modelo.....	97
4.1.2	Cálculos efetuados.....	99
4.1.3	Instalação dos equipamentos de medição .....	100
4.1.4	Condições forçantes do modelo SWAN (Ondas e ventos).....	101
4.1.5	Ventos.....	103
4.1.6	Batimetria.....	104

4.1.7	<i>Domínio Computacional</i> .....	105
4.1.8	<i>Programas Utilizados no Tratamento de Resultados</i> .....	107
4.2	<b>Lago da Barragem de Ilha Solteira – São Paulo – Brasil</b> .....	112
4.2.1	<i>Instalação e Operação dos Equipamentos (histórico das atividades desenvolvidas pela equipe do Ondisa)</i> .....	112
4.2.2	<i>Programas de Aquisição de Dados</i> .....	116
4.2.3	<i>Tratamento dos Dados</i> .....	118
4.2.3	<i>Programas Utilizados no Tratamento de Dados</i> .....	120
4.2.4	<i>Metodologia Utilizada e Explorada Especificamente nesta Tese</i> .....	123
4.2.5	<i>Coleta de dados de ventos e tratamentos</i> .....	123
4.2.6	<i>Metodologia utilizada para a construção da batimetria</i> .....	126
4.2.7	<i>Metodologia utilizada para o cálculo de <math>H(f)</math></i> .....	128
4.2.8	<i>Discretização do domínio de cálculo</i> .....	130
4.2.9	<i>Condições de vento e parâmetros gerais do modelo</i> .....	131
4.2.10	<i>Metodologia utilizada para a construção das malhas</i> .....	133
5	<b>RESULTADOS</b> .....	134
5.1.	<b>O Porto da Praia da Vitória</b> .....	134
5.1.1	<b>Situação I - Sem vento</b> .....	134
5.1.1.1	<i>Análise da influência da altura de onda</i> .....	135
5.1.1.2	<i>Análise da influência da direção da onda</i> .....	138
5.1.1.3	<i>Análise da influência do período da onda</i> .....	141
5.1.1.4	<i>Análises Malha 3 - 1 de Janeiro de 2009, às 01:00 e às 10:00 horas</i> .....	143
5.1.1.5	<i>Evolução das características da agitação marítima</i> .....	144
5.1.2	<b>Situação II - Com Vento</b> .....	146
5.1.2.1	<i>Resultados em todo o domínio computacional</i> .....	146
5.1.2.2	<i>Evolução das características da agitação marítima</i> .....	148
5.1.3	<b>Comparações entre Boia e SWAN</b> .....	150
5.1.4	<b>Análises completas para os anos de 2009 a 2010</b> .....	152
5.1.5	<b>Ocorrência de Eventos</b> .....	154
5.1.6	<b>Dados estatísticos: Janeiro de 2009 a março de 2010</b> .....	157
5.2.	<b>Lago da Barragem de Ilha Solteira</b> .....	157
5.2.1	<b>Comparações do Modelo Numérico SWAN e dados Obtidos pelo Sensor de Pressão</b> .....	160
5.2.2	<b>Ocorrências de Eventos</b> .....	163
5.2.3	<b>Análises Estatísticas</b> .....	165
6	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS</b> .....	166
6.1	<b>Conclusões</b> .....	166
6.2	<b>Perspectivas Futuras</b> .....	168
6.3	<b>Artigos publicados pela pesquisadora durante o período de doutorado</b> .....	169
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	171

<b>ANEXO A – Programas desenvolvidos pela equipe de Ondas Gravitacionais.</b>	<b>179</b>
<b>A.1 Programas para a conversão de espectro de pressão para altura significativa de onda</b>	<b>179</b>
<i>A.1.1 Reduz 4</i>	179
<i>A.1.2 Macro1</i>	182
<i>A.1.3 Corrige</i>	183
<b>A.2 Programas para aquisição de dados</b>	<b>188</b>
<b>APÊNDICE A – Programas utilizados no desenvolvimento da Tese</b>	<b>190</b>
<b>A.1 Programas para estruturação dos dados de vento de acordo com as normas exigidas pelo modelo SWAN</b>	<b>190</b>
<i>A.1.1 Previsões de ondas</i>	190
<i>A.1.2 Programa dados_previsão_77</i>	191
<i>A.1.3 Ventos</i>	192
<i>A.1.3.1 Programa para gerar UV para os meses de Janeiro a Setembro</i>	193
<i>A.1.3.2 Programa para gerar UV para os meses de Outubro a Dezembro</i>	199
<b>A.2 Metodologia para Gerar os Transfer's</b>	<b>205</b>
<i>A.2.1 Interface gráficas do SWAN</i>	205
<i>A.2.2 Computacional Grid</i>	206
<b>A.3 Metodologia de como gerar os arquivos da boia de 3 em 3 horas</b>	<b>208</b>
<b>A.4 Metodologia de como criar os arquivos para do SWAN de 3 em 3 horas</b>	<b>209</b>
<b>A.5 Metodologia de como fazer as comparações entre dados da boia e dados do SWAN de 3 em 3 horas</b>	<b>210</b>
<b>A.6 Metodologia de como gerar os dados Estatístico</b>	<b>211</b>
<b>A.7 Programa para os cálculos Estatísticos e índices de concordância</b>	<b>213</b>
<b>A.8 Rotinas para criar malhas a partir de sua batimetria</b>	<b>217</b>
<b>A.9 Processo para transformar coordenadas</b>	<b>224</b>
<b>A.10 Programas para a correção das alturas de vento</b>	<b>225</b>
<b>A.11 Programas para separar a agitação da Boia em dados de 3 em 3 horas</b>	<b>226</b>
<b>A.12 Programa para separar os dados gerados pelo SWAN de 3 em 3 horas</b>	<b>227</b>
<b>A.13 Programa para calcular a média dos ventos e organizar de acordo com as necessidades para a leitura pelo SWAN</b>	<b>228</b>
<b>A.14 Programa para organizar os ventos de acordo com que lê o SWAN com correção do vento.</b>	<b>231</b>
<b>A.15 Programas para execução de macros a fim de determinar alturas significativas de onda a partir de espectro de pressão.</b>	<b>234</b>
<b>A.16 Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 30 minutos</b>	<b>238</b>

<b>A.17</b>	<b>Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 1 hora .....</b>	<b>241</b>
<b>A.18</b>	<b>Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 1 minuto .....</b>	<b>243</b>
<b>A.19</b>	<b>Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 5 minutos.....</b>	<b>246</b>
<b>A.20</b>	<b>Programa que executa os macros necessários para o calculo das alturas significativas de ondas (Macro1, Corrige e Reduz4) .....</b>	<b>250</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação e Justificativa

Atualmente diversas pesquisas estão sendo voltadas para o meio ambiente devido à grande preocupação com os fatores que ameaçam a sua integridade. O Efeito-Estufa é um exemplo de grande escala que pode ser citado devido aos impactos ambientais ocasionados, como a elevação do nível do mar, o que vem afetar de forma direta todo o litoral do planeta.

Numa escala local, mecanismos de geração e propagação de ondas por ação do vento têm constituído estudo clássico para áreas abertas. Estudos dessa natureza têm sido convalidados, com significativo sucesso, a partir de códigos de cálculo consagrados no meio costeiro, e de resultados confrontados com medições oportunas ao largo ou na costa (boias). Uma segunda vertente, ainda bastante carente em termos de estudos de previsão e validação, são ondas geradas por vento em corpos d'água interiores de grande superfície, como é o caso de lagos de reservatórios de barragens, ainda que tais ambientes forneçam condições favoráveis para estudos de engenharia fluvial, mais especificamente hidráulica de reservatórios.

Se a navegação interior constitui meio de transporte fundamental para a economia brasileira, deve-se destacar que a Hidrovia Tietê-Paraná como elo de ligação entre as regiões produtoras da região do cerrado brasileiro e o sistema ferroviário que se destina ao porto de Santos. Se no passado recente este sistema hidroviário chegou prestes a ser inviabilizado e paralisado como resultado de acordos regulatórios que favoreciam exclusivamente à geração de energia elétrica, quando se cogitou bloquear o canal Pereira Barreto, este transporte aquaviário constitui, hoje, efetivamente, opção mitigadora das emissões de gases de efeito estufa, devendo ser significativamente ampliado nas próximas duas décadas.

Acidentes com embarcações de navegação interior, especialmente em lagos ou em trechos de hidrovias em lagos de barragens, têm motivado o estabelecimento de serviços de alerta e de previsão de ondas. Levando em conta esses acidentes, os de ocorrência mais frequente têm sido os de abalroamento ou choque de comboios de embarcações em estruturas de pontes e torres, com sérios comprometimentos das obras, a ponto de causar interdições em rodovias de tráfego intenso. Exemplos destes acontecimentos são ilustrados nas Figuras 1, 2 e 3, onde a Figura 1 ilustra a formação de ondas devido a fortes rajadas de vento de até 60 km/h no Lago Michigan nos Estados Unidos. Ciclistas e praticantes de corrida tiveram que se

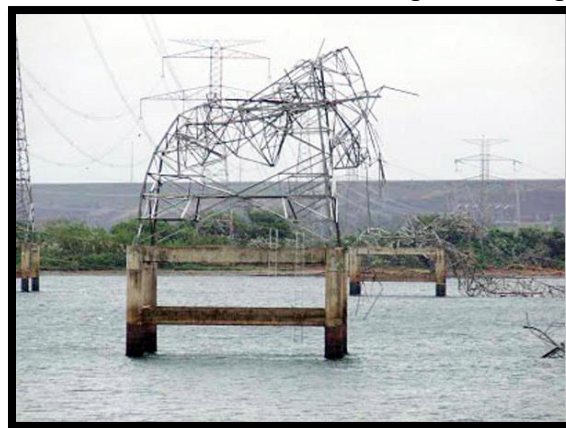
proteger das fortes ondas (VENTOS..., 2013). No Brasil, dois acidentes ocorreram recentemente na Hidrovia Tietê – Paraná foram bem significativos: o primeiro ocorreu em 17/10/2010 (Figura 2) onde fortes ventos em Ilha Solteira fizeram com que nove torres de transmissão da Usina Hidrelétrica caíssem nas águas do Rio Paraná. A queda afetou 4 das 6 linhas de transmissão impossibilitando a geração plena de energia pela Usina, que foi obrigada a abrir seus vertedores para manter o sistema (TORRES..., 2010). Tais ventos causaram ondas da ordem de 1.5m no reservatório. O segundo, ilustrado na Figura 3 indica uma barcaça da empresa ADM/Sartco que navegava pela Hidrovia Tietê-Paraná na região de Araçatuba, entre a barragem de Nova Avanhandava e o reservatório de Três Irmãos, quando se chocou com uma torre de retransmissão de energia elétrica da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP), o que ocasionou estragos em mais duas torres no leito do rio e três em terra. Segundo as empresas de navegação, este acidente gerou um prejuízo de mais de R\$12 milhões, pois cerca de 100 mil toneladas de soja não foram transportadas nos 8 dias em que a Hidrovia ficou fechada.

Figura 1 - Ondas no Lago Michigan.



Fonte: Adaptada de Ventos... (2013)

Figura 2 - Torres de Transmissão destruída no Lago da barragem de Ilha Solteira.



Fonte: Adaptada de Almeida (2013).

Figura 3 - Choque da Barcaça na Torre de Transmissão na Hidrovia Tietê- Paraná.



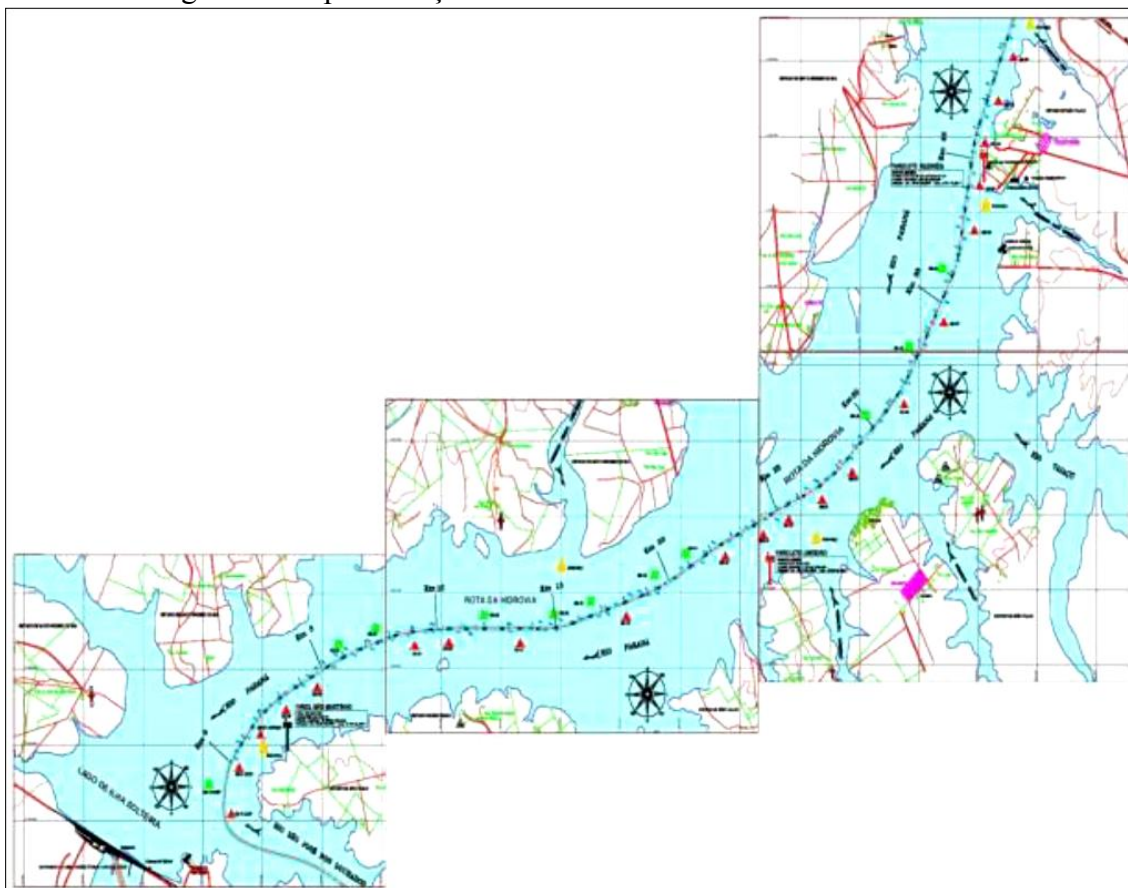
Fonte: Adaptado de Paralisação... (2013).

Assim exposto, a segurança da navegação, em particular da navegação interior, requer uma estimativa precisa das ondas de vento e sua ação (forças das ondas) sobre as estruturas, sejam estruturas fixas (barragem, quebra mar, muros tipo Galveston), sejam estruturas móveis (a própria embarcação, etc).

Por estes motivos, tem-se tornado cada vez mais importante o desenvolvimento de metodologias e ferramentas capazes de promover a monitorização, a previsão e a formação de ondas geradas por ventos em espelhos d'água de reservatórios, lagoas e trechos de hidrovias, bem como das consequências dessa agitação em termos de navegabilidade e estabilidade das margens de reservatórios e finalmente o desenvolvimento de sistemas de alerta e aviso de situações de emergência.

No Brasil, apesar de já se contar com especialistas e experiência acumulada em engenharia costeira, pouco se tem utilizado desta experiência em problemas de lagos de barragem, uma vez que os projetos da maioria das barragens foram elaborados na década de 60. Além de estudos dessa natureza carecerem na literatura, estudar o assunto em águas interiores, pela redução das dimensões físicas do problema em relação às condições oceânicas, bem como por se tratar de condições menos agressivas, e de se dispor de apoio logístico mais fácil, torna-se uma oportunidade singular, sobretudo em trechos/rotas de hidrovia em lagos de barragens de importância comercial como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Representação de trecho/rota da hidrovía Tietê-Paraná.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados da Equipe Ondas Gravitacionais do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, Ilha Solteira.

No que tange à modelagem matemática, os modelos numéricos de geração e propagação de ondas em zonas costeiras e portuárias têm-se apresentado como uma excelente alternativa para a determinação do clima de ondas em regiões carentes desse tipo de informação. São assim utilizados para transferir as características da onda (alturas, direção e período) do largo ou de um local na costa onde sejam conhecidos, para o local de interesse de estudo. Dependendo da complexidade do modelo numérico, este pode incluir diferentes fenômenos que afetam a geração e propagação das ondas em zonas costeiras, tais como, a refração, a difração, a reflexão, a arrebentação de ondas, efeitos não lineares e interação onda-corrente.

Um exemplo deste tipo de modelo de geração e propagação de ondas é o modelo SWAN (BOOIJ; HOLTHUIJSEN; RIS, 1996), utilizado para obter estimativas do espectro de ondas em áreas costeiras, lagos e estuários, a partir de campos de vento, batimetria e correntes fornecidos por outros modelos. Foi desenvolvido na Universidade Técnica de Delft (TUDelft), Holanda, constituindo-se em modelo numérico de terceira geração que permite



obter parâmetros das características da agitação marítima desde águas profundas a águas pouco profundas (rasas).

Uma das grandes vantagens do modelo SWAN é a sua versatilidade, pode ser aplicado a grandes zonas costeiras abertas ou pode ser aplicado a zonas confinadas (como estuários ou lago de barragens) e em ambos os casos o forçamento pode ser efetuado por ventos, ondas e/ou correntes. O modelo efetua a geração e/ou propagação de estados de agitação marítima desde o largo até à zona costeira. A aplicação do SWAN envolve o estabelecimento das características das malhas computacionais, das condições de fronteira e das condições de agitação incidente (características do espectro direcional de ondas) bem como dos campos de ventos e de campos de correntes. É também necessário o estabelecimento de um conjunto de parâmetros relacionados com as formulações admitidas no modelo SWAN, os quais têm de ser calibrados para cada caso de estudo e que tem um papel fundamental nos resultados obtidos.

Do exposto, julga-se interessante a aplicação do modelo em situações distintas e principalmente para as quais existam dados de medição que permitam fazer essa calibração, e avaliar o desempenho do modelo.

Neste âmbito, a existência de um conjunto de dados de ondas que vem sendo medido desde 2009 na zona da Praia da Vitória, na Ilha da Terceira, do Arquipélago dos Açores, Portugal, torna-se de importância capital, pois o porto ali localizado é responsável por receber containers, gasolina e mercadorias etc., cuja operacionalidade afeta toda a Ilha. Desta forma, uma caracterização da agitação marítima à entrada do porto e principalmente a sua previsão por modelos WWIII+SWAN são essenciais para garantir as operações e a boa gestão portuária. Além disso, o fato de estar instalada lá uma boia é fundamental para a validação do modelo SWAN.

Por outro lado, uma das motivações desta pesquisa conforme já mencionado, advém da necessidade do monitoramento, previsão e formação de ondas por ventos em lagos de reservatório a fim de analisar os possíveis danos e sua ação sobre as embarcações e infraestruturas de apoio, além de sua ação intermitente sobre as margens dos reservatórios. Assim, torna-se também muito interessante a utilização do modelo SWAN na região da Hidrovia Tietê-Paraná, lago da barragem de Ilha Solteira, zona confinada, para a qual existe também um conjunto de dados de ventos e ondas. Note-se que o SWAN é normalmente utilizado em zonas costeiras abertas, havendo muito poucas aplicações realizadas em zonas confinadas, como estuários ou lagos, o que constitui uma inovação desta Tese.

Em resumo, esta tese de doutorado aborda o problema de ondas geradas por ventos em duas regiões distintas, quais sejam a costa aberta do porto da Praia da Vitória – Arquipélago dos Açores-Portugal e o lago da Barragem de Ilha Solteira no noroeste do Estado de São Paulo – Brasil. Utilizando-se do modelo espectral SWAN, a partir de campos de vento, foi possível fazer uma previsão de ondas e proceder à sua confrontação com dados medidos de boias e sensores de pressão, tanto para o caso português como o brasileiro.

## 1.2 Objetivos

Esta tese de doutorado propõe um estudo voltado à modelação, geração e propagação de ondas geradas por vento em zonas costeiras abertas, com aplicação na zona marítima adjacente à Praia da Vitória – Arquipélago do Açores - Portugal e em zonas confinadas, com aplicação no Lago da Barragem de Ilha Solteira e suas respectivas validações a partir de dados físicos medidos em campo.

Nesse âmbito, foram executadas nessa tese de doutorado duas grandes tarefas, a saber:

Análise do desempenho do modelo numérico SWAN na caracterização da agitação marítima na zona do Porto da Praia da Vitória – Açores – Portugal. Utilizaram-se os resultados das previsões da agitação marítima ao largo da zona em estudo obtidos com o modelo de previsão de larga escala WAVEWATCH III e os dados de vento do modelo MM5 como condições forçantes do modelo SWAN. Os resultados numéricos foram comparados com dados de agitação marítima obtidos a partir de uma boia-ondógrafo instalada a cerca de 4 km da costa a uma profundidade de 90m, durante os anos de 2009 e 2010, com médias de três em três horas.

Análise do desempenho do modelo numérico SWAN na caracterização da agitação no lago da barragem de Ilha Solteira, o que exigiu uma adaptação do modelo as condições de recinto fechado utilizando a caracterização do vento obtida a partir do anemômetro 2D sônico instalado no lago da barragem, obtiveram-se estimativas das ondas geradas no lago com o modelo SWAN que foram comparadas com as medições da elevação da superfície livre obtidas com o sensor de pressão Druck instalado no lago da barragem.

Esta Tese está dividida em sete capítulos, um anexo e um apêndice organizados da seguinte maneira:

**1 - Introdução:** Trata da problemática e do controle de sobrelevação de nível de água em recintos fechados (Lagos de Barragens) pela ação do vento. O capítulo 1 faz alusão à preocupação desse controle em função da compatibilização das atividades econômicas da

região com o efeito do aquecimento global, estando portanto a temática desta tese de doutorado inserida em riscos e catástrofes e políticas de mitigação. Também se explica as vantagens da utilização de modelagem, bem como se indica a proposta de trabalho e os objetivos a serem alcançados com estes estudos.

**2 - Estado da Arte:** Este capítulo tem como foco principal uma revisão sobre a evolução dos estudos já realizados sobre métodos computacionais utilizados no decorrer desta tese, desde os trabalhos realizados por Jeffreys (1924, 1925), enfocando o surgimento de ondas a partir da ação de ventos, bem como modelos de geração de ondas oceânicas em áreas abertas e em recintos fechados.

**3 - Propostas de Modelagem da Agitação Marítima e uso do software SWAN para águas confinadas devido à ação do vento:** Neste capítulo faz-se uma revisão teórica de conceitos necessários para o estudo de vento, tipos e características de ondas. Faz-se um estudo dos modelos empíricos de previsão de altura de onda: SGM, SMB e JONSWAP. Explica-se a formulação matemática do modelo SWAN, a equação de balanço de energia, os termos de propagação de ondas, o forçamento pelos campos de ventos, a interação não linear das ondas, a arrebentação parcial (*whitecapping*), a influência do atrito de fundo e a arrebentação induzida pelo fundo, enfoca também os procedimentos de pré e pós-processamento para a geração de ondas utilizando este modelo. Descreve-se o software SOPRO, interface gráfica que permite a montagem de forma intuitiva de projetos de caracterização da agitação marítima numa dada região ou de simulação de trajetórias de navios em portos. Este software foi desenvolvido no LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa Portugal.

**4 - Materiais e Métodos:** Constam neste Capítulo, os procedimentos utilizados na elaboração desta tese; o material utilizado e as linguagens de programação.

**5 - Estudos de Casos:** Neste capítulo descreve-se primeiramente a aplicação do modelo numérico espectral SWAN na simulação da geração e propagação de ondas na zona marítima adjacente ao porto da Praia da Vitória – Açores - Portugal, para um período de dois anos (2009 e 2010). Efetua-se também a comparação dos resultados do modelo com os dados obtidos na boia-ondógrafo instalada a cerca de 4km da costa em profundidade de 90m, para avaliação do desempenho do modelo SWAN. Em sequência, descreve-se a aplicação e análise do desempenho do modelo SWAN na caracterização de ondas geradas pelo vento numa zona confinada como é o caso do lago da Barragem de Ilha Solteira - São Paulo – Brasil no período de outubro de 2010 a março de 2011. Utilizaram-se dados de ventos obtidos no Anemômetro 2D sônico instalado no lago da barragem onde foram captadas as intensidades e direções dos

ventos, como forçantes do modelo SWAN e obtiveram-se as estimativas de ondas que foram comparadas com dados medidos pelo sensor de pressão da marca Druck instalado também no lago. Este sensor fornece os espectros de pressão, que com auxílios de programas desenvolvidos pela equipe de trabalho, foram convertidos em alturas significativas.

**6 - Comentários e Perspectivas Futuras:** Consta neste item uma visão geral de todo o trabalho realizado, verificando e analisando os casos estudados com o modelo numérico e tirando conclusões quanto ao desempenho do modelo. Tendo em vista que o trabalho é de grande interesse para o estabelecimento de um sistema de alerta à ocorrência de ondulação prejudicial à navegação em geral, e em particular, ao tráfego de barcaças de etanol em toda a Hidrovia Tietê-Paraná. Como proposta de trabalho futuro é interessante uma análise das alturas de ondas significativas e máximas no decorrer de toda a hidrovia, principalmente na região próxima as pontes situadas em toda a hidrovia, pois a propagação das ondas próxima aos pilares destas pontes podem causar danos às estruturas das mesmas. Além disso, uma segunda proposta seria a previsão da atenuação das ondas pela vegetação utilizando o modelo numérico SWAN para a redução da erosão em encostas de lagos de barragens.

**Referências:** Têm-se aqui as referências dos materiais utilizados para a escrita e estudos para a construção da tese.

**Anexos:**

Programas computacionais necessários para a execução desta tese desenvolvidos pela equipe de trabalho.

Programas para a conversão de espectro de pressão para altura significativa de onda.

**Apêndices:**

Programas computacionais necessários para a execução desta tese a saber:

Programas para estruturação dos dados de vento de acordo com as normas exigidas pelo modelo SWAN;

Programas para a correção das alturas de vento;

Programas para a geração de planilhas de cálculos de filtros de dados de vento e onda.

Programas para execução de macros a fim de determinar alturas significativas de onda a partir de espectro de pressão.

## 2 ESTADO DA ARTE

No contexto do mar e dos processos de interação mar-costa, assim como em grande lagos interiores naturais ou formados pela existência de barragens, a importância do vento na formação de ondas é significativa e a sua descrição é um dos problemas mais intrigantes da teoria de ondas de gravidade superficiais.

Jeffreys (1924, 1925) assume que o fluxo de ar acima do mar é protegido pelas ondas. Isto daria uma diferença de pressão, de tal modo a permitir que o vento exerça trabalho. No entanto, experimentos em laboratório indicam que a diferença de pressão é muito pequena para explicar as taxas de crescimento observadas. Consequentemente esta hipótese foi abandonada e a amplificação de ondas de água pelo vento permaneceu sem entendimento.

Entre o final dos anos 40 e princípio dos anos 50 era comum pesquisadores proporem fórmulas empíricas que relacionassem à altura das ondas com a velocidade dos ventos, ambas observadas em um mesmo local. A influência da escala Beaufort, criada no princípio do século 19, era evidente nesta metodologia. Porém, foi logo notado que estas fórmulas eram inadequadas, pois as ondas observadas em um determinado local dependiam não apenas da velocidade do vento, mas também da pista (fetch; dimensão da área em que o vento está atuando) e da sua duração. Além disto, muitas vezes ondas são observadas sem a presença de ventos.

Sabe-se que durante tempestades, a altura e a contínua quebra de ondas são fenômenos observáveis e significativos. Neste estágio a agitação marítima é chamada de vagas (*sea* ou *windsea*). Quando o vento cessa ou as ondas avançam para outra região sem vento, recebem o nome de marulho (*swell*). Neste regime, as cristas são arredondadas e a distância entre elas são maiores. Parecem "calmas" enquanto as vagas parecem "nervosas". A fonte de energia torna-se pequena com o enfraquecimento do vento, e as ondas curtas desaparecem primeiro, deixando somente as maiores. As cristas ponte-agudas tornam-se menos frequentes. A irregularidade, ou a aparente falta de organização com quebra de ondas de várias direções desaparecem. As cristas que restam diminuem de altura, perdem a ingremidade e se assemelham às ondas que se formam pelo impacto de um objeto arremessado em um lago calmo.

No entanto, nos anos 50, Philips (1957) e Miles (1957) publicaram suas contribuições à teoria da formação de ondas de superfície pelo vento. Ambas teorias dizem que as ondas são formadas pelo fenômeno de ressonância: Philips considera a ação ressonante de ondas de

superfície livre por flutuações de pressão turbulentas, enquanto Miles considera a interação ressonante entre flutuações de pressão induzidas pelas ondas e as ondas de superfície livres. O mecanismo de Philips mostra ser ineficaz, pois mostra um aumento linear do espectro de onda no tempo. O mecanismo de Miles mostra-se mais promissor, sendo proporcional ao espectro de onda em si, o que implica em aumento exponencial, e é da ordem de grandeza da proporção das massas específicas do ar e da água.

Estudos realizados nos anos 70 mostram que o crescimento da altura das ondas em função da duração e da pista era similar ao de uma função tangente hiperbólica. Vários experimentos observacionais foram realizados com a finalidade de se ajustar os parâmetros que controlam as características desta função. Sanders, em 1976, determinou que supondo um mar infinito (sem obstáculos) a altura das ondas  $H$  (em metros) sobre a ação de um vento medido a 10 metros de altura e constante sobre todo o oceano (sem variar a direção e a intensidade) é dada pela equação (1).

$$\frac{gH}{U_{10}^2} = 0.22 \tanh \left[ 6.1 \times 10^{-4} \times \left( \frac{gt}{U_{10}} \right) \right]^{0.75} \quad (1)$$

sendo:

$H$  : altura das ondas (m);

$g$  : aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

$U_{10}$  : velocidade do vento a 10m de altura da superfície (m) e

$t$  : tempo de duração do vento (s).

Também nos anos 70, centros meteorológicos e oceanográficos canadenses utilizam da equação (2) para quantificar o período em função da pista.

$$\frac{gT}{U_{10}^2} = 7.54 \tanh \left[ 0.077 \left( \frac{gh}{U_{10}^2} \right) \right]^{0.25} \quad (2)$$

sendo:

$T$ : período das ondas (s);

$h$ : comprimento da pista (m).

Segundo Mitsuyasu e Honda (1982), as ondas geradas pelo vento são quase sempre aleatórias; a altura da onda, o período e a direção de propagação variam de uma maneira irregular ao redor de cada valor médio, fato que dificultou o processo dos estudos das ondas por um longo tempo.

## 2.1 Modelos de Geração de Ondas

Nos modelos numéricos espectrais são calculados os espectros de onda e seus parâmetros integrais como altura de onda, frequência de pico, direção de pico, dentre outros. Este tipo de modelo calcula a evolução espacial e temporal do espectro bidimensional de ondas  $E(f, \theta)$ . Para isto, é resolvida a equação de transporte advectivo com base na conservação da densidade espectral de energia conforme a equação (3):

$$\frac{\partial F}{\partial t} + c_g \nabla F = S_{tot} \quad (3)$$

sendo:

$F = F(f, \theta, x, y, t)$  : espectro direcional de onda;

$c_g$  : celeridade de grupo;

$S_{tot} = (S_{in} + S_{nl} + S_{ds})$ : termo fonte;

$S_{in}$ : entrada de energia pelo vento;

$S_{nl}$ : interações não lineares do tipo onda-onda e

$S_{ds}$ : dissipação por quebra (*whitecapping*).

O modelo espectral pode ser classificado como sendo de primeira, segunda ou terceira geração de acordo com suas características. Os modelos de primeira geração consideram que o termo fonte total é composto apenas pelo somatório do termo de entrada pelo vento e dissipação por *whitecapping*,  $S_{tot} = S_{in} + S_{ds}$ .

Os modelos de primeira geração superestimavam a contribuição atmosférica e só produziam bons resultados para regiões geográficas ou sistemas meteorológicos para os quais haviam sido criados.

Para modelos de segunda geração, o termo fonte consiste no somatório do termo de entrada pelo vento, termo de interação onda-onda e o termo de dissipação  $S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds}$ . O que diferencia este modelo é o fato de que o mesmo inclui uma função paramétrica para representação das interações não lineares onda-onda no termo  $S_{nl}$ . O balanço dos termos fonte nos modelos de terceira geração é representado da mesma forma que para os modelos de segunda geração. As diferenças fundamentais aparecem na forma de cálculo apresentado nestes modelos. O maior e principal avanço é o fato de apresentarem uma solução completa para o termo de interação não linear onda-onda.

### 2.1.1 SMB

SMB (*Sverdrup, Munk e Bretschneider*) é um dos métodos de previsão de ondas em águas rasas, desenvolvido através de relações empíricas que foi proposto por Sverdrup e Munk (1947), revisado por Bretschneider (1952) e desde então tem sofrido – revisão sucinta com diversas modificações. De acordo com Mitsuyasu e Honda (1982) o crescimento do espectro de onda devido ao vento determinado através de observações experimentais em laboratório, seguindo o método da versão utilizada pelo United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation tem –se as seguintes equações empíricas:

$$\frac{g * H_s}{U^2} = 0,283 * \tanh \left[ 0,0125 * \left( \frac{g * F}{U^2} \right)^{0,42} \right] \quad (4)$$

$$\frac{g * T_s}{2 * \pi * U} = 1,2 * \tanh \left[ 0,077 * \left( \frac{g * F}{U^2} \right)^{0,25} \right] \quad (5)$$

sendo:

$H_s$  : altura significativa da onda (m);

$T_s$  : período significativo da onda (s);

$g$  : aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

$U$  : velocidade do vento (m/s) e

$F$  : pista efetiva (km).

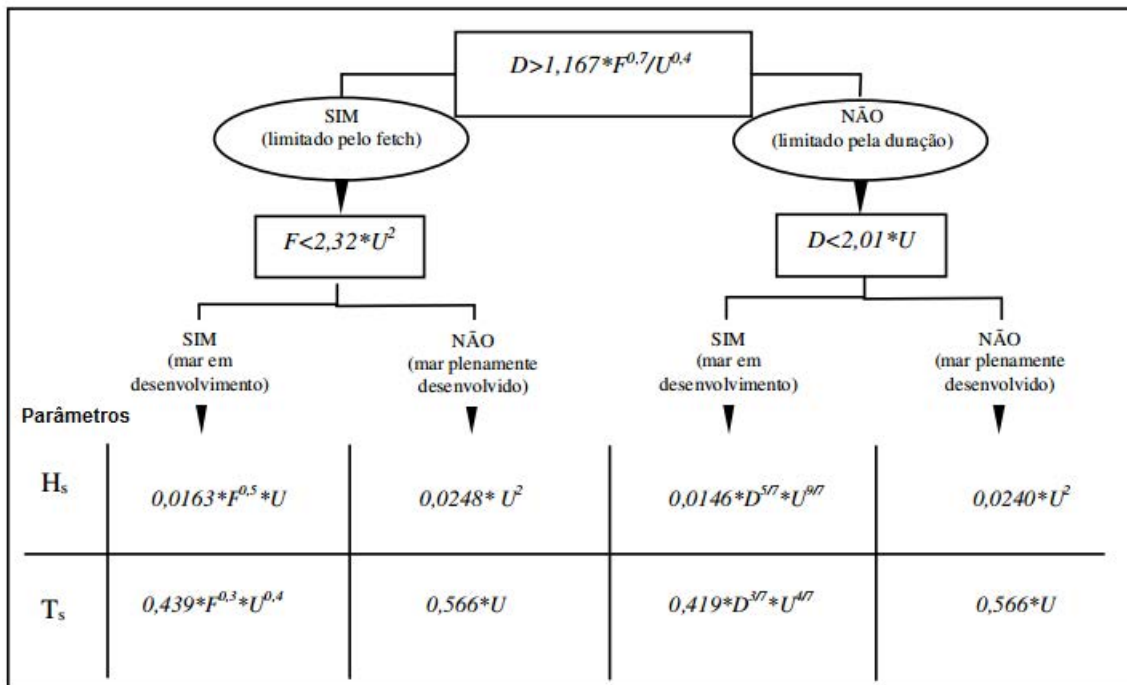
### 2.1.2 JONSWAP

O método JONSWAP (*Joint North Sea WAve Project*), foi utilizado para o caso de simulação de ondas usando o SWAN no lago de Ilha Solteira e também quanto do uso de um primeiro modelo mais simplificado tanto quanto do uso do SWAN quanto do ONDISACAD na estimativa de ondas. O JONSWAP trata-se de método bastante empregado na estimativa das ondas máximas geradas pela ação de ventos é o que consistiu em uma série de levantamentos de dados de ventos e ondas realizados no Mar do Norte ao longo dos anos de 1968 e 1969, com o objetivo de melhor compreender o processo de formação das ondas pelo vento. A coleta de dados foi realizada ao longo de um trecho de 160 km a partir da costa a oeste da Dinamarca. Os resultados deste estudo foram utilizados para estabelecer fórmulas de previsão de altura significativa e período de ondas considerando uma velocidade de vento constante e incluindo as limitações de pista e de duração para desenvolvimento da onda.



O modelo desenvolvido pelo projeto JONSWAP parte do modelo de Pierson e Moskowitz (1964) que propuseram uma formulação para mar plenamente desenvolvido, considerando que a velocidade e a direção do vento permanecem constantes, e o que limita o desenvolvimento das ondas pode ser tanto o tamanho da pista, quanto à duração do vento, conforme apresentado na Figura 5, com base nos resultados de Carter (1982).

Figura 5- Organograma de determinação de alturas e períodos significativos (D: Duração do vento (h)).



Fonte: Morais, Cunha e Maciel (2009).

Com base nos estudos de Carter (1982), considera-se que a velocidade e a direção do vento permanecem constantes, independentemente da pista ou da duração, e o que limita o desenvolvimento das ondas é o tamanho da pista (condição de mar em desenvolvimento) de acordo com a equação (6):

$$D > 1,167 \frac{F^{0,7}}{U^{0,4}} \quad (6)$$

sendo:

$D$  : duração do vento (horas);

$U$  : velocidade (m/s) e

$F$  : pista efetiva (km).

O resultado final, para previsão de altura de onda, em termos da pista de vento e da velocidade do vento é dado pela equação (7):

$$H_s = 0,0163 F^{0,5} U \quad (7)$$

sendo:

$H_s$  : altura significativa da onda.

Outra relação diz respeito ao estado de mar, segundo a qual este não se desenvolverá plenamente quando  $F \leq 2,32U^2$ .

Para o mar desenvolvido, a expressão de altura significativa da onda segue a equação (8):

$$H_s = 0,0248U^2 \quad (8)$$

### 2.1.3 Modelos de 3ª Geração

O modelo de onda WAM (WANDI GROUP, 1988) é utilizado pelo ECMWF, o modelo WAVEWATCH III (TOLMAN, 2002) é utilizado pela NOAA/NCEP e modelo SWAN (BOOIJ; HOLTHUIJSEN; RIS, 1999; RIS; HOLTHUIJSEN; BOOIJ, 1999) é utilizado pela Delft University of Technology. Trata-se de modelos espectrais, donde se pode obter o período de pico, altura significativa e direção de pico, podendo descrevê-los como uma relação do espectro, que descreve o cenário geral das condições de onda em um determinado momento. Entretanto, para compor a totalidade de energia contida em um espectro, necessita-se da composição das energias de ondas formadas por ventos locais (*wind-sea*) em uma determinada região e grupos de ondas originários de locais afastados (*swell*), que se unem ao *wind-sea* desta região. Desta forma, quando se caracteriza um clima de ondas de uma região, é necessário ter conhecimento de suas características de formação, isto é, se a região estudada possui maior influência de *wind-sea* ou de *swell*, de ambas ou de uma composição mais complexa com dois ou mais sistemas de *swell*. Para esta finalidade é necessário realizar o particionamento da energia do espectro identificando qual sistema é predominante.

O WW3 é um modelo de previsão de ondas de terceira geração, desenvolvido pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) / NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), similar ao modelo WAM (WANDI GROUP, 1988).

O WW3 é uma evolução do WAVEWATCH I desenvolvido na Delft University of Technology (TOLMAN, 1989) e WAVEWATCH II desenvolvido na NASA, Goddard Space Flight Center (TOLMAN, 1992). 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. A física do WW3 não era apropriada para águas rasas (abaixo de 40m de profundidade), principalmente por não considerar as interações não lineares triplas que dominam a propagação das ondas nestas localidades, porém, esta parametrização foi incluída na última versão 3.14 (TOLMAN, 2009).

Com o intuito de analisar a precisão do modelo de previsão de ondas WW3, muitos trabalhos foram realizados. Tomando como exemplo os autores Rogers, Hwang e Wang (2002), estes utilizando-se de diferentes modelos físicos e com forçantes de campo de vento discutem a sensibilidade da energia do campo de ondas. Seus estudos mostraram que quem define as maiores diferenças na altura significativa dos campos de onda gerados pelo modelo numérico são as forçantes e não os modelos físicos de onda.

Através de diferentes forçantes, para estimativas de campos de ventos, Feng, Li e Meyers (2004) comparam valores de campos de ondas. Uma delas é com campos de ventos da reanálise do NCEP e a outra forçante um produto combinado entre ventos da reanálise do NCEP com dados do escaterômetro Quikscat (satélite de monitoração terrestre que fornece informações de velocidade e direção do vento nos oceanos para a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)). Esses campos de vento foram implementados no WW3 e comparados com dados do satélite de altimetria TOPEX, tanto para uma grade global, como para grades regionais. Valores de altura significativa gerados por campos de vento da reanálise do NCEP foram mais coincidentes para a grade global, com o período subestimado antes de 8,2s e superestimado acima deste valor. Na grade regional, os valores foram coincidentes para todos os dados de entrada no modelo. Para casos acima de 1,5m de altura significativa, os modelos apresentaram mais consistência, sugerindo que regiões com ventos mais fortes resultam em campos de onda com maior precisão.

No intuito de analisar modelos de terceira geração WW3, SWAN e WAM, Padilla-Hernandez (2002), fizeram comparações com os dados de boias DWR (*Directional Wave Rider*) e com um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Concluíram que todos os modelos realizam satisfatoriamente a previsão de ondas, apesar de em casos específicos, como a passagem de tempestades, a rápida variação de campos de vento faz com que os modelos subestimem os valores de altura significativa, concluindo que quanto menor o intervalo de atualização dos campos de vento, melhor os resultados gerados pelos modelos. Concluem também que o desempenho do WW3 é melhor quando comparado com os dados das boias e do ADCP, e que a relação do SWAN com o WW3 apresenta resultados ligeiramente melhores do que SWAN com WAM.

### 2.1.4 SWAN

O SWAN é utilizado para obter estimativas do espectro de ondas em áreas costeiras, lagos e estuários, podendo utilizar campos de vento, batimetria e correntes fornecidos por outros modelos. É um modelo numérico de terceira geração que permite obter parâmetros característicos da agitação marítima desde águas profundas a águas pouco profundas. É baseado na equação de balanço espectral da ação de onda (BOOJI; RIS; HOLTHUIJSEN, 1999), e surgiu da necessidade de complementar os modelos de terceira geração desenvolvidos, essencialmente, para aplicações operacionais preferencialmente 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. O modelo SWAN é de domínio público e está disponível a qualquer utilizador.

A formulação matemática do modelo SWAN 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), mas também os processos existentes em águas pouco profundas, como a dissipação devido ao atrito do fundo, interação não linear entre três ondas e arrebentação induzida pela diminuição de profundidade.

O artigo de revisão de Battjes e Stive (1985) indica a importância relativa dos diferentes processos que afetam a evolução das ondas em águas profundas, intermediárias e pouco profundas, estando o seu resumo representado na Tabela 1.

Tabela 1- Importância dos diferentes processos que afetam a evolução das ondas em águas profundas, intermédias e pouco profundas.

Processo	Águas profundas	Águas intermediárias	Águas pouco profundas
Geração do vento	xxx	xxx	x
Interações quádruplas	xxx	xxx	x
Interações triplas	o	o	xx
Arrebentação parcial	o	xxx	x
Atrito de fundo	o	xx	xx
Refração	x	x	xx
Empolamento	o	xx	xxx
Rebentação	o	x	xxx
Reflexão	o	o	x/xx
Difração	o	o	x

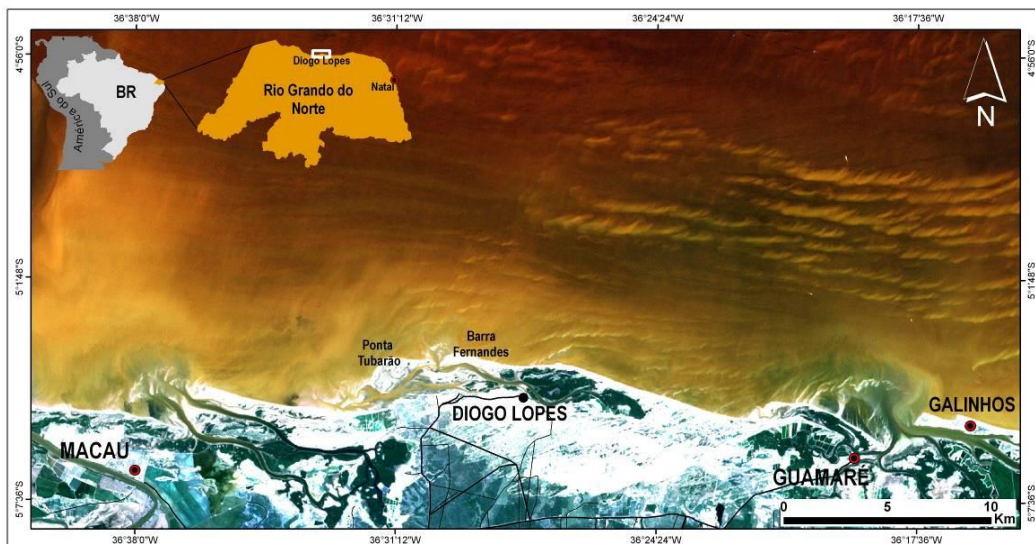
xxx Dominante    xx Significativo    x Pouco relevante    o Irrelevante

Fonte: Adaptação do quadro descrito por Battjes e Stive (1985).

### 2.1.4.1 Aplicações do Modelo SWAN

Matos et al (2011) apresentou nas Jornadas Portuguesas a aplicação do modelo numérico SWAN afim de modelar a agitação marítima na região adjacente do estuário de Diogo Lopes (RN, Brasil), entre os municípios de Macau e Guamaré. Os resultados numéricos foram comparados com os dados obtidos em campanhas de medições in situ de modo a avaliar o desempenho do modelo SWAN para a região. A Figura 6 ilustra a zona de estudo analisada.

Figura 6 – Localização do Estuário de Diego Lopes.



Fonte: Matos et al. (2011).

Neste trabalho, foi aplicado o modelo SWAN na propagação de várias condições de agitação incidente desde o largo até junto à costa da área adjacente ao estuário de Diogo Lopes. Afim de comparar alturas significativas e períodos de ondas. Foram analisados dois pontos de estudo: o primeiro localizado a uma profundidade de 4m (PT2) e o segundo a 12m (PT1). Concluiu-se que o modelo SWAN conseguiu reproduzir muito bem o andamento geral e a ordem de grandeza das alturas significativas e períodos de onda ao longo da campanha de medição, para qualquer dos pontos em estudo, especialmente para o ponto PT1, que se situa mais ao largo. Para estas grandezas, os valores numéricos são em geral mais atenuados e na maioria dos casos inferiores aos medidos. Em relação à direção de onda, o modelo apresentou maiores dificuldades na simulação dos valores medidos. O modelo conduziu a resultados numéricos mais próximos dos medidos para o ponto em maiores profundidades, PT1, do que

para o de menor profundidade, PT2, onde outros efeitos de correntes e ventos locais variavam mais significativamente.

Utilizando também o modelo numérico SWAN, Angelo (2012) determinou a caracterização da agitação marítima no litoral setentrional do Rio Grande do Norte em uma área de exploração petrolífera na bacia potiguar. Foram analisados dados de três campanhas: 11 a 12 e 20 a 27 de Dezembro/2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011. Para realizar este trabalho, utilizaram-se dados de previsões das agitações marítimas do modelo de larga escala WWIII, dados de ventos obtidos pela estação meteorológica de Macau e dados de maré da estação marégráfica de Macau.

O modelo SWAN foi executado em regime estacionário e foi comparado com as medições *in situ*. Mostrou-se uma boa concordância global, entretanto para o ponto que estava mais ao largo, o modelo pôde reproduzir melhor a ordem de grandeza das alturas significativas e períodos de pico.

### ***2.1.5 Considerações Gerais sobre Medição de Pressão com Presença de Ondas***

Dentro do contexto desta tese vale ressaltar o trabalho desenvolvido por François Anctil e Tung T. Quach (*Contrôle et analyse de mesures manométriques de vagues de surface*) que descreve dúvidas sobre a credibilidade das medidas manométricas de ondas de superfície gerada pelo vento. Então, quando se trata de projetar uma estrutura marítima, é prudente a utilização de tais medidas para finalizar um projeto? Esta questão é o foco do trabalho daqueles autores (ANCTIL; QUACH, 1997), no qual estudos comparativos disponíveis na literatura são compilados para determinar os limites de aplicabilidade de várias funções existentes para transformar flutuações de pressão em flutuações de superfície. Mostra que a teoria linear das ondas realiza adequadamente esta tarefa, enquanto apresentamos neste trabalho de doutorado a utilização de técnica de decomposição espectral. Uma observação também é feita para as medidas de controle e aplicação da teoria linear, incluída para resolver os problemas relacionados com a presença de ruído no sinal. Para esse efeito, um procedimento detalhado é proposto para identificar a parte da cauda do espectro que é mascarado pela amplificação do ruído pela função de transferência, e substituição desta seção do espectro por um mapeamento teórico. Finalmente, o processo proposto é aplicado a uma extensa base de dados para ilustrar a sua eficácia.

Deve-se entender que as variações de pressão associadas à passagem de ondas de superfície atenuam rapidamente com a profundidade de imersão. O sucesso das medidas depende, portanto, em grande parte da capacidade do experimentador para prever esta atenuação corretamente de acordo com a informação que se dispõe: componente de frequência, profundidade de imersão e profundidade total de água. Na prática, as flutuações de pressão medida estão se tornando contaminadas pelo ruído gerado pelo sensor ou ainda pelo sistema eletrônico do aparelho e pela ação de outros fenômenos presentes no ambiente. Mesmo em condições controladas de laboratório, correlações perfeitas nunca são obtidas. No entanto, essas restrições não são tão dramáticas, como também deve-se considerar a variabilidade intrínseca das ondas de superfície, um fenômeno irregular no espaço e no tempo.

O valor do desvio padrão das alterações de superfície livre varia para um determinado período de tempo (valor que leva à altura significativa) se o local de medição é movido ou se o tempo de início das medições é avançada ou atrasada. Ano após ano, uma margem de erro de  $\pm 10\%$  é geralmente considerada excelente, sendo ainda valores de  $\pm 15$  a  $\pm 20\%$  considerados comuns.

A base de dados disponível mostrou a eficácia do método proposto para a determinação automática da frequência de corte. As informações contidas nas medições são então utilizadas para determinar o intervalo de frequência para o qual o espectro obtido é válido para as medições manométricas.

A parte truncada do espectro da onda (as frequências mais elevadas) é então completada teoricamente. Esta adição permite uma descrição mais adequada da altura de onda significativa. Neste estudo, um aumento de 30% da altura de onda significativa está contido na cauda do espectro adicionado. Entretanto, esta contribuição é atenuada rapidamente em função do incremento de altura significativa.

As informações compiladas na literatura e análises realizadas neste estudo apoiam o uso conjunto de medidores e teoria linear de ondas de superfície, em águas profundas e intermediárias.

### 3 PROPOSTAS DE MODELAGEM DA AGITAÇÃO EM ÁGUAS CONFINADAS DEVIDO À AÇÃO DO VENTO

As ondas são formadas pela força do vento sobre a água e a amplitude das ondas varia com a velocidade do vento, sua duração e a distância sobre a qual o vento atua.

#### 3.1 Revisão Condensada da Teoria Linear e Técnicas de Medição

Em geral as propriedades estatísticas da superfície do oceano variam lentamente no tempo e no espaço. Podem ser descritas localmente por uma transformada de Fourier tridimensional,  $X(L, \theta, f)$ ; isto é, a superfície pode ser considerada como a superposição de ondas de todas as componentes de comprimento de onda  $L = 2\pi/k$  e períodos  $T = 1/f$ , transitando em todas as direções  $\theta$ .

Em geral, assume-se que para grandes comprimentos de onda ( $L > 1\text{m}$ ) vale a relação de dispersão descrita na equação (9):

$$\omega^2 = gk \quad \text{em que} \quad \omega = 2\pi f, \quad k = \frac{2\pi}{L} \quad (9)$$

Isto reduz a dimensão da transformada e o resultado é um espectro direcional  $\phi(L, \theta)$  ou  $\phi(f, \theta)$ . A superfície é então descrita por uma superposição de ondas planas com vários comprimentos de onda e direções. A integração de  $\phi$  ao longo de todos os ângulos produz o espectro de uma dimensão  $G(f)$  ou  $G(L)$  que é o espectro da elevação medida em um ponto. A integração de  $G$  ao longo da frequência nos fornece a variância da elevação.

Se  $\phi$  é um processo randômico gaussiano de faixa estreita, então a raiz quadrada da variância vale  $\frac{1}{4}$  do terço das maiores ondas, o que é chamado de onda significativa.

Para ondas pequenas ( $L < 1\text{m}$ ), a relação de dispersão é desconhecida. Essas ondas são fortemente influenciadas por correntes superficiais.

A medida de  $\phi$  deve ser feita em relação a uma referência fixa. Perto de terra isto é fácil, podendo-se colocar o instrumento no fundo (referência para a medição da pressão) ou preso a uma estrutura fixa, como foi o efetuado no posicionamento dos sensores de pressão no lago de Ilha Solteira.

No caso marítimo, em alto mar fica mais complicado obter essa referência, a não ser no caso de estruturas offshore, cada vez operando em maiores profundidades.

Em geral, em águas profundas, duas referências são utilizadas: o nível médio do mar, em medições inerciais e em nível profundo em que a influência da onda é pequena, em



medições por pressão. Tipicamente este nível profundo é da ordem de 0,5 a 2 comprimentos da onda de maior comprimento a ser medida.

De forma sumária, as técnicas de medição consideram:

- medições em um ponto;
- medições em vários pontos;
- medições em um ponto ou área por sensoriamento à distância.

Enfatizando-se sobre a medição em um ponto (como no caso deste trabalho), em geral, podemos citar três técnicas distintas, a saber:

- medição por pressão;
- medição direta da superfície;
- medição inercial.

A medição por pressão foi a escolha adotada neste trabalho por considerações econômicas de custo-benefício.

### **3.1.1 Medição por Pressão**

Uma onda progressiva com deslocamento na superfície da água é dada pela Teoria Linear (AIRY, 1845), conforme equação (10).

$$\eta = \frac{a}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

em que:

$$a : \text{amplitude da onda} \left( a = \frac{H}{2} \right),$$

$k = 2\pi/L$  : número de onda,

$\omega = 2\pi/T$ : frequência,

O potencial de velocidade é dado pela equação (11):

$$\phi = -\frac{a g \cosh k(d+z)}{2 \omega \cosh kd} \text{sen}(kx - \omega t) \quad (11)$$

em que:

$d$  : profundidade local,

$z$  : ordenada vertical a partir do nível médio, positivo para cima.

Para os domínios de aplicabilidade da Teoria Linear, e considerando os efeitos combinados das componentes hidrostáticas e dinâmica das pressões pode-se escrever (DEAN; DALRYMPLE, 1984).

$$P_{TOTAL} = P_{HIDROSTÁTICA} + P_{DINÂMICA}$$

$$\frac{p}{\rho} = -gz + \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (12)$$

em que  $\rho$  é a massa específica da água.

Para uma onda progressiva descrita pelo potencial  $\phi$  na equação (12) obtém-se

$$p = -\rho g z + \rho g \frac{a}{2} \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (13)$$

ou

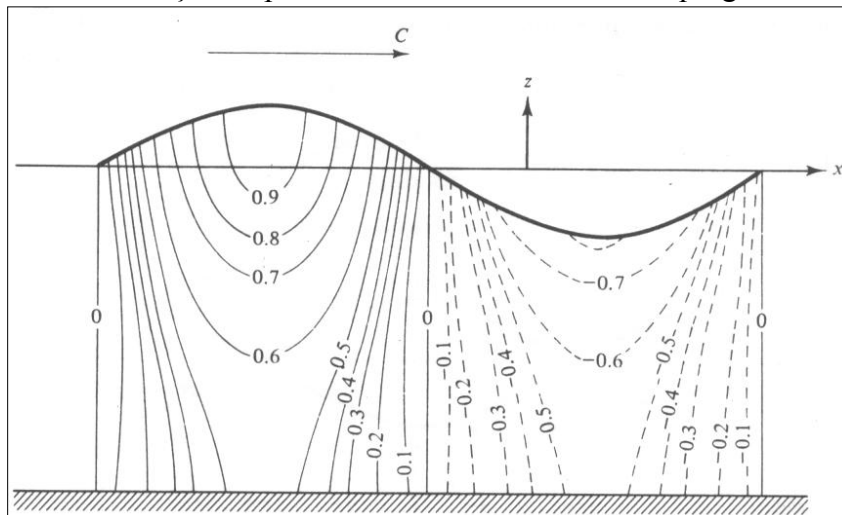
$$p = -\rho g z + \rho g \eta K_p(z) \quad (14)$$

Portanto, pela teoria linear a variação da pressão, em relação à pressão hidrostática média, produzida por uma onda em um ponto abaixo da superfície é dada pelo segundo termo da equação (14), em que  $K_p$  é o fator de atenuação de pressão:

$$K_p = \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \quad (15)$$

A Figura 7, extraída de Dean e Dalrymple (1984) indica as curvas de igual pressão sob uma onda com  $d/L = 0,2$

Figura 7- Curvas de atenuação da pressão dinâmica sob uma onda progressiva com  $d/L = 0,20$ .



Fonte: Dean e Dalrymple (1984).

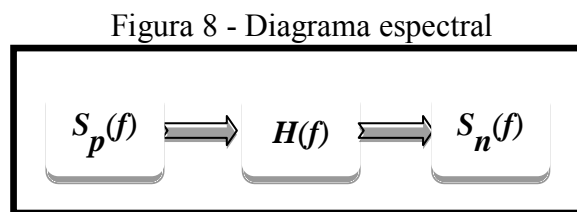
Portanto pode-se medir ondas por meio da medição das flutuações de pressão e calculando a variação da superfície da água associada às flutuações de pressão, por meio do termo referente à pressão dinâmica:

$$\eta = \frac{P_D}{\rho g K_p(-h)} \quad (16)$$

em que  $h$  é a profundidade de instalação do sensor.

### 3.1.2 Função de transferência $H(f)$

Em termos de espectro, um diagrama esquemático pode ser representada pela figura 8:



Fonte: Elaboração do próprio autor.

em que:

$S_p(f)$ : espectro de pressão;

$S_n(f)$ : espectro de variância de superfície;

$H(f)$ : função de transferência da massa de água.

O espectro de pressão é dado pela equação (17):

$$S_p(f) = [\rho g]^2 S_n(f) [H(f)]^2 \quad (17)$$

ou, abandonando o termo  $[\rho g]$ , que pode ser incorporado à calibragem do sensor, resulta a equação (18):

$$S_n(f) = \frac{S_p(f)}{[H(f)]^2} \quad (18)$$

A função de transferência  $H(f)$  é dada pela equação (19):

$$H(f) = \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \quad (19)$$

e pode ser explicitada em função da frequência  $f$ , via relação de dispersão da Teoria Linear:

$$\omega^2 = g k \tanh kd \quad (20)$$

em que :

$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$  representa a frequência e  $k = 2\pi/L$  representa o número de onda.

A cada valor de frequência corresponde um valor de  $H(f)$  a ser usado na correção do espectro de pressão para obtenção do espectro na superfície. Com o algoritmo FFT (*Fast*

*Fourier Transform*) este cálculo tornou-se rápido e operacional. Antigamente era comum usar-se um valor de  $H(f)$  correspondente à onda de período dominante ( $T = 1/f$ ), o que não era correto.

### 3.1.3 Cálculo de $H(f)$

Tomando como base a equação 20 obtemos:

$$(2\pi f)^2 = \frac{2\pi g}{L} \tanh kd \quad (21)$$

$$L = \frac{2\pi g}{(2\pi f)^2} \tanh kd \quad (22)$$

$$L = 1,5613 T^2 \tanh kd \quad (23)$$

$$\tanh kd = \frac{\sinh kd}{\cosh kd} = \frac{e^{kd} - e^{-kd}}{e^{kd} + e^{-kd}} = \frac{e^{2kd} - 1}{e^{2kd} + 1} \quad (24)$$

#### Exemplos:

Se  $d = L/2 \rightarrow \tanh kd = 0,996 \approx 1$

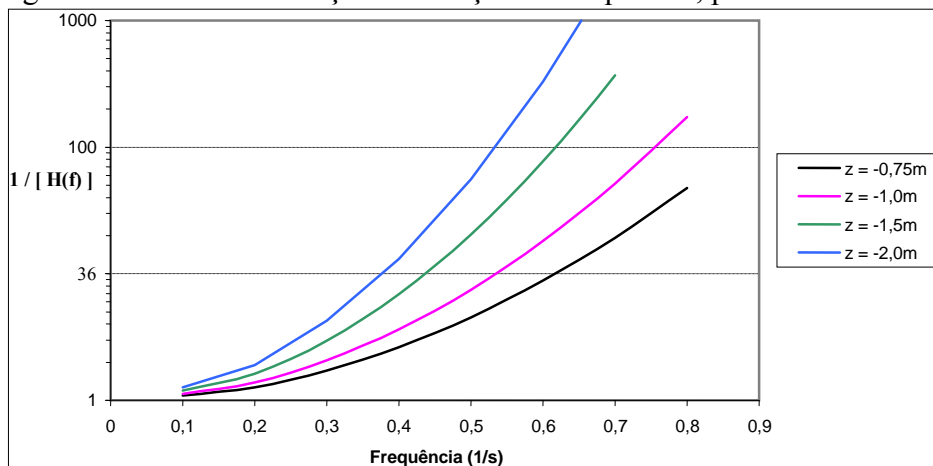
Para uma onda de águas profundas ( $d \gg L$ ):  $\tanh kd = 1$  e  $L = 1,5613 T^2$

Por um processo iterativo, partindo-se do valor de  $L$  para águas profundas, chega-se ao seu valor correto para determinados valores de  $d$  e  $f$ .

Obtido o valor de  $L$ , temos o valor de  $H(f)$  para um conjunto de valores  $f$ ,  $d$  e  $z$ .

A Figura 9 indica um exemplo calculado com  $d = 15\text{m}$ ;  $z = -0,75, -1,0, -1,5$  e  $-2,0$  metros.

Figura 9 - Fator de atenuação em função da frequência, profundidade 15m.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados da Equipe Ondas Gravitacionais do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, Ilha Solteira.

Em considerando  $d = 30\text{m}$  e  $z = -20\text{m}$ , temos os seguintes valores de  $1/[H(f)]^2$ :

Tabela 2 - Determinação dos valores de  $1/[H(f)]^2$ , para  $d = 30\text{m}$  e  $z = -20\text{m}$ .

f	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25
L	326	137	69	39	25
$1/[H(f)]^2$	1,32	3,59	28	579	23100

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pode-se observar a partir da

Tabela 2 o aumento rápido da correção com o aumento da frequência, em outras palavras, as frequências altas são atenuadas rapidamente com o aumento da profundidade.

Em suma, verificamos que, a partir da Teoria Linear, se pode obter o espectro da agitação local na superfície, multiplicando o espectro de pressão por  $[1/[H(f)]^2]$ . Trata-se, no entanto, de uma correção teórica e vários autores têm contestado a sua acurácia. A maioria concorda em que há menos variação de pressão do que a prevista pela Teoria Linear.

Medidas do NIO (*National Institute of Oceanography* – Inglaterra), comparando sensores *wavestaff*, sugerem que quando a atenuação é muito grande a Teoria é bastante correta. Quando a Teoria prevê pouca atenuação a variação de pressão pode ser de até 16% menor do que a esperada.

Como vimos  $H(f)$  pode também ser obtido pela comparação de dois espectros, conforme a equação (25):

$$[H(f)]^2 = \frac{S_p(f)}{S_n(f)} \quad (25)$$

Os inconvenientes dessa técnica surgem do fato de que  $S_p(f)$  pode ter componentes que nada têm a ver com  $S_n(f)$ . Por exemplo, quando um sensor de pressão está muito profundo, uma determinada onda na superfície, de certa amplitude e frequência mais alta, aparecerão no sensor como uma onda de pequeníssima amplitude e em muitos casos de valor inferior ao nível de ruído do sistema. Neste caso a divisão dos espectros fornecerá um valor errado.

Assim exposto, um outro método para contornar esse problema é a obtenção de  $H(f)$  pelo espectro cruzado:

Consideremos:

$$p(t) = x(t); \quad n(t) = y(t)$$

$$S_p(t) = XX^*; \quad S_n(t) = YY^*$$

$$[H(f)]^2 = \frac{XX^*}{YY^*}$$

Multiplicando-se por  $YY^*$ , tem-se a equação (26):

$$\frac{XX^* YY^*}{YY^* YY^*} = \frac{XY X^* Y^*}{YY^* YY^*} = \frac{[G_{xy}]^2}{[G_y]^2} \quad (26)$$

em que:

$G_{xy}$  : espectro  $xy$   $S_{pn}(f)$  e

$G_y$  : espectro de  $y$  ( $S_n(f)$ ).

A qualidade dessa divisão é dada pela Função de Coerência conforme indica a equação (27):

$$\frac{[G_{xy}]^2}{G_x G_y} = \frac{XY^* XY^*}{XX^* YY^*} \quad (27)$$

Que varia entre zero e um e indica o grau de coerência entre  $x$  e  $y$  para cada valor de frequência  $f$ .

### 3.1.4 Características da energia da onda

As ondas que ocorrem nos oceanos variam significativamente quanto ao comprimento e período. As menores, chamadas de capilares, têm comprimento de poucos centímetros e período de frações de segundos. Já as maiores são as marés, cujo comprimento alcança a circunferência da Terra com períodos de até 24 horas.

Entre as ondas mais comuns nos oceanos estão às chamadas *swell*. Deslocam-se por milhares de quilômetros a partir dos locais onde foram originadas. Ao se afastarem de seu local de origem tornam-se muito uniformes, com grandes comprimentos de onda e pequenas amplitudes; em oceano aberto, seu período situa-se em torno de 13 segundos.

Já outro tipo de onda, a vaga (*wind-sea*), é muito irregular, com diversos períodos e várias direções. Encontra-se este tipo de onda em locais onde são geradas, ou seja, onde o vento está soprando.

As ondas tendem a ser maiores quando próximas às regiões nas quais os ventos são mais fortes. São geralmente menores na região equatorial e maiores em altas latitudes, como no sul da África e da América do Sul, Austrália e Groenlândia.

### 3.1.5 Classificação

As ondas, a partir de uma base teórica, e fins de engenharia, podem ser classificadas em três tipos: águas rasas, quando  $1/25$  de seu comprimento é maior que a profundidade local,

águas intermediárias quando a razão entre a profundidade local e seu comprimento esta entre  $1/25$  e  $1/2$  e de águas profundas, quando a metade do comprimento é menor do que a profundidade local. Assim, essa classificação depende do tamanho da onda e da bacia na qual se desloca.

Ondas de pequeno comprimento podem ser consideradas de águas profundas, mesmo em águas com poucos centímetros de profundidade. As maiores ondas dos oceanos, como os tsunamis e as marés, são sempre ondas de águas rasas, mesmo sobre as mais profundas fossas submarinas.

Em geral, ondas com períodos maiores que 14 segundos são capazes de mover sedimentos em profundidades maiores que a da borda da plataforma continental.

A Tabela 3 indica os períodos selecionados, velocidade da onda e profundidade na qual a onda sente o fundo e se torna onda de água rasa (os valores da velocidade são aproximados).

Tabela 3 - Períodos selecionados, velocidade da onda e profundidade na qual a onda sente o fundo e se torna onda de água rasa.

Período(s)	Velocidade (nós)	Profundidade (m)
6	21	28
8	28	50
10	35	78
12	42	112
14	49	153
16	56	200

Fonte: Pipkin et al. (1987).

Ao longo da propagação das ondas, estas sofrem alterações do resultado de fenômenos como:

- Empolamento - alteração da altura da onda por redução das profundidades da batimetria;
- Refração das ondas - mudança na direção da onda ocasionada pela alteração velocidade de propagação das ondas, que é função da batimetria sobre a qual a onda se propaga);
- Difração de ondas - Transporte de energia ao longo das cristas das ondas no sentido em que a altura da onda é menor. Esse fenômeno é particularmente importante em zonas confinadas como o caso de portos e quando as ondas se propagam por longas distâncias;

- Reflexão da onda – mudança da direção de propagação da onda por incidência num obstáculo ou numa fronteira física.
- Arrebentação da onda - Instabilidade da onda por diminuição da profundidade o que leva à dissipação de energia por arrebentação

Em particular na próxima seção descreve-se um pouco mais os aspectos da refração, reflexão, difração e arrebentação.

### 3.1.5.1 Refração

Pode ser definido como a mudança na direção da onda e por consequência na velocidade de propagação ocasionada pela mudança de “topografia” de fundo pela qual a onda se propaga.

Através da refração é possível explicar inúmeros efeitos, como o arco-íris, a cor do céu no pôr do sol e a construção de aparelhos astronômicos.

A refração de ondas obedece duas leis que são:

1ª Lei da Refração: O raio incidente, a reta perpendicular à fronteira no ponto de incidência e o raio refratado estão contidos no mesmo plano.

2ª Lei de Snell: Esta lei relaciona os ângulos, as velocidades e os comprimentos de onda de incidência de refração, sendo matematicamente expressa por:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (28)$$

### 3.1.5.2 Difração

O fenômeno chamado difração é a “habilidade” que a onda tem de desviar de obstáculos, ou seja, espalhar sua energia lateralmente. Esse fenômeno é importante principalmente na configuração de obras marítimas (ex: portos) e quando as ondas se propagam por longas distâncias.

Imagine a situação em que uma onda se propaga em um meio, até onde encontra uma fenda posta em uma barreira. A Figura 10 ilustra a representação deste fenômeno.



Figura 10 - Representação de processo de Difração: a) Egito, b) França e c) Itália.



Fonte: Logiurato (2012).

### 3.1.5.3 Reflexão

É o fenômeno que ocorre quando uma onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio de propagação, mantendo as características da onda incidente.

Independente do tipo de onda, o módulo da sua velocidade permanece inalterado após a reflexão, já que ela continua propagando-se no mesmo meio.

### 3.1.5.4 Arrebentação

Ao aproximar-se da costa, as ondas quebram na zona de arrebentação, gerando grande turbulência e correntes. A arrebentação das ondas é caracterizada em três tipos: mergulhante ou tubular, deslizante e ascendente. A maneira como a onda vai arrebentar depende do gradiente do fundo marinho e da geometria da onda.

As ondas tendem a quebrar quando a profundidade  $h$  da água é da ordem de 20% maior que a altura da onda, ou seja,  $H_b = 0.78h$ .

A forma de quebra varia dependendo da inclinação do fundo ( $\tan\beta$ ) a saber:

- inclinação intermediária do substrato = ondas tubulares ( $1 > \xi > 0.4$ )
- inclinação suave = ondas deslizantes ( $\xi < 0.4$ )
- inclinação acentuada = ondas ascendentes ( $\xi > 1$ )

sendo  $\varepsilon = \frac{\sqrt{\tan\beta}}{H_b/L_0}$  o número de Iribarren

Na arrebentação tipo mergulhante ou tubular, a onda quebra abrupta e violentamente, formando um tubo que desaba na quebra. Em praias intermediárias, de inclinação moderada, as ondas quebram como um caixote, muito próximas da linha d'água, formando um tubo que se fecha abruptamente, gerando grande turbulência. As ondas do tipo tubular oferecem um impacto muito forte a quem o recebe e, mesmo ocorrendo na beira d'água, são perigosas principalmente para banhistas desavisados que podem ser surpreendidos pela violência do impacto e serem derrubados. A Figura 11 ilustra este fenômeno.

Figura 11 - Onda tipo mergulhante: 180km da costa de San Diego (Estados Unidos).



Fonte: As descidas... (2012).

Na arrebentação tipo deslizante, a onda começa a quebrar relativamente longe da margem, de um modo suave como se espalhando pela água, formando um longo rastro de espuma. Em praias rasas, pouco inclinadas, as ondas começam a quebrar a uma grande

distância da linha de costa, como que deslizando sobre a água, motivo pelo qual são chamadas de deslizantes. As ondas deslizantes aumentam em periculosidade quanto mais altas forem (Figura 12).

Figura 12 - Onda tipo deslizante: Austrália.



Fonte: As descidas... (2012).

Na arrebentação tipo ascendente, ocorre em praias de declividade tão alta que a onda não chega a quebrar propriamente, ascendendo sobre a face praial e interagindo com o refluxo das ondas anteriores (Figura 13).

Figura 13 - Onda tipo ascendente. Praia do Tombo-Guaruja.



Fonte: As descidas... (2012).

Outro aspecto importante a ter em consideração é a influência do vento no tipo de quebra de onda. O vento é um fator que influencia diretamente no tipo de quebra que a onda vai ter na arrebentação.

A influência dos ventos direcionados da terra para o mar (vento terral) sobre as ondas na arrebentação favorecem a formação de ondas tipo mergulhante enquanto ventos na direção oposta (vento maral) favorecem a quebra de ondas tipo deslizante. Isto ocorre até um determinado nível de intensidade do vento. Quando acontece a mudança deste padrão para ventos muito fortes, os ventos terrais causam o retardamento da quebra de crista da onda e o tipo de quebra passa a ser deslizante. Já ventos muito fortes provenientes do mar resultam na aceleração da quebra da crista, resultando assim em ondas mergulhantes.

Durante um ciclo de 24 horas, vão ocorrer alterações nos ventos locais de uma região devido a alterações de temperatura entre continente e o oceano. Estes ventos são denominados como brisa marinha e terrestre. A formação destas brisas é devida à perda mais rápida de temperatura no continente durante a noite do que no oceano, ocorrendo pela manhã, ventos da terra (mais frio) para o mar (mais quente), ou seja, brisa terral.

Durante o decorrer do dia o continente vai absorver energia térmica mais rapidamente que o oceano, e ao final do dia a diferença de temperatura vai gerar ventos do mar para a terra, brisa marinha. Estas alterações na direção do vento vão influenciar no tipo de quebra das ondas no decorrer do dia.

Ao ponto de quebra comumente associa-se a ocorrência de um banco arenoso, seguido por uma cava. Por armazenarem grandes volumes de sedimento, os bancos arenosos desempenham importante papel no balanço de sedimentos dos sistemas praias e também na determinação do espectro energético que alcança a face praial, uma vez que são responsáveis pela dissipação de uma parte considerável da energia de ondas incidentes. Nas praias em que ocorrem, os bancos atuam como tampões, minimizando uma potencial erosão costeira.

### **3.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO SWAN**

O SWAN é utilizado para obter estimativas do espectro de ondas em áreas costeiras, lagos e estuários, podendo utilizar campos de vento, batimetria e correntes fornecidos por outros modelos. É um modelo numérico de terceira geração que permite obter parâmetros característicos da agitação marítima desde águas profundas a águas pouco profundas. É baseado na equação de balanço espectral da ação de onda (BOOIJ; RIS; HOLTHUIJSEN, 1999), e surgiu da necessidade de complementar os modelos de terceira geração desenvolvidos, essencialmente, para aplicações operacionais preferencialmente em águas profundas. O modelo propaga, no domínio geográfico, o espectro direcional e,

consequentemente, calcula a evolução das ondas geradas pelo vento em zonas costeiras. O modelo SWAN é de domínio público e está disponível a qualquer utilizador.

A formulação matemática do modelo SWAN envolve não só os fenômenos de geração, dissipação e interação não linear entre quatro ondas características, como também os processos existentes em águas pouco profundas, como a dissipação devido ao atrito do fundo, interação não linear entre três ondas e arrebentação induzida pela diminuição de profundidade.

Assim, na simulação da geração de ondas pelo vento e sua propagação e dissipação de ondas, o modelo SWAN considera os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, arrebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), dissipação de energia devido ao atrito do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

### 3.2.1 Equação do balanço de energia

O espectro de variância fornece toda a informação necessária à caracterização estatística da superfície livre do mar.

A equação do balanço da energia espectral formulada em coordenadas Eulerianas (29) é expressa por:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(f, \theta, x, y, t)}{\partial t} + \frac{\partial c_{g,x} E(f, \theta, x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial c_{g,y} E(f, \theta, x, y, t)}{\partial y} + \\ + \frac{\partial c_{\theta} E(f, \theta, x, y, t)}{\partial \theta} = S(f, \theta, x, y, t) \end{aligned} \quad (29)$$

Esta equação não inclui efeito de correntes e inclui fenômenos como o empolamento, que está implícito na velocidade de grupo em função da profundidade, e a refração, expressa pela taxa de velocidade de mudança de direção  $c_{\theta,ref}$ . A difração não é considerada e a variável  $c_{\theta}$  refere-se exclusivamente ao efeito de refração.

Ao considerar correntes no meio marítimo é necessário ponderar a transferência de energia entre as ondas e as correntes e os efeitos associados a este fenômeno. Neste caso define-se a densidade de ação  $N(x, t, \sigma, \theta)$ , no espaço  $x$  e no tempo  $t$ , já que esta grandeza se conserva na presença de correntes, contrariamente à energia, como pode ser visto na equação (30) :

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (30)$$

em que:

$\sigma$  : frequência relativa;

$\theta$  : direção da onda.

Deste modo, a equação do balanço da ação, definida para coordenadas cartesianas, é expressa pela equação (31):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N(\sigma, \theta, x, y, t)}{\partial t} + \frac{\partial c_{g,x} N(\sigma, \theta, x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial c_{g,y} N(\sigma, \theta, x, y, t)}{\partial y} + \\ & + \frac{\partial c_{\theta} N(\sigma, \theta, x, y, t)}{\partial \theta} + \frac{\partial c_{\sigma} N(\sigma, \theta, x, y, t)}{\partial \sigma} = \frac{S(\sigma, \theta, x, y, t)}{\sigma} \end{aligned} \quad (31)$$

Os termos presentes no lado esquerdo da igualdade referem-se à parte cinemática da equação. O primeiro termo representa a taxa de variação local da densidade de ação no tempo, o segundo e terceiro representam a propagação da ação no espaço geográfico (com velocidades de propagação de grupo  $c_{gx}, c_{gy}$ ), o quarto termo, a refração, induzida pelas correntes e variação de profundidade e finalmente o quinto define a alteração da frequência relativa devido às variações na profundidade e nas correntes. Este último é nulo na ausência de correntes. As quantidades  $c_{\theta}$  e  $c_{\sigma}$  representam as velocidades de propagação no espaço espectral, no domínio da direção e da frequência respectivamente.

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

$$S(\sigma, \theta) = S_{in}(\sigma, \theta) + S_{nl}(\sigma, \theta) + S_{diss}(\sigma, \theta) \quad (32)$$

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

### 3.2.2 Os termos de propagação

Quando a onda oceânica se propaga desde a zona de geração até ao local onde se dá a dissipação da sua energia, normalmente em zonas costeiras, a variação da profundidade da batimetria do fundo e outros fatores ambientais são fatores fundamentais a ter em conta, pois

afetam em vários aspectos a caracterização da agitação marítima, originando fenômenos como o empolamento, a refração, a difração, a interação entre as correntes e as ondas e a arrebentação.

Tendo presente a relação de dispersão (equação 20) verifica-se que o comprimento de onda e a celeridade diminuem com a profundidade.

O efeito do empolamento tem como consequência o aumento da altura, sendo que na ausência de correntes, a frequência correspondente permanece constante.

Para proceder ao 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 foi referido, as ondas são afetadas na sua direção, frequência e amplitude quando se propagam num meio que tem presente correntes marítimas, quer sejam de maré ou longitudinais. A teoria linear é válida para a análise deste novo meio, desde que se considerem a profundidade e as correntes presentes constantes, no espaço e no tempo. A frequência absoluta  $\omega$  resulta, assim, da soma de duas parcelas: a frequência relativa e o produto do número de onda  $k$  com o vetor representativo da velocidade da corrente  $\vec{u}$ .

$$\omega = \sigma + k\vec{u} \quad (33)$$

sendo

$\sigma$  : frequência na relação de dispersão (33).

Ao considerar que a profundidade e a velocidade das correntes presentes são constantes, induz-se que tanto as frequências relativas como absolutas também o são. Analogamente, se a profundidade ou velocidade variam, as frequências também variam.

Tendo em conta a presença de correntes no meio marítimo, são adotadas as seguintes expressões no modelo SWAN para as velocidades de propagação da energia da onda  $c_g + \vec{u}$ ,  $c_\theta$  e  $c_\sigma$  no espaço  $x, y$ , no espaço definido por  $\theta$  e no espaço da frequência relativa  $\sigma$  :

$$\frac{dx}{dt} = c_g + \vec{u} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma \vec{k}}{|\vec{k}|^2} + \vec{u} \quad (34)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = c_\theta = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\delta\sigma}{\delta h} \frac{\delta d}{\delta m} + \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial m} \right] \quad (35)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = c_\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left( \frac{\partial d}{\partial t} + \vec{u} \nabla h \right) - c_g \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial s} \quad (36)$$

sendo:

$s$  : deslocamento na direção de propagação;

$d$  : profundidade;

$m$  : deslocamento na perpendicular.

O operador  $\frac{d}{dt}$  refere-se à derivada total no espaço da propagação da energia da onda definida por (37).

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (c_g + \bar{u})\nabla_{\bar{x}} \quad (37)$$

### 3.2.3 Forçamento pelo campo de ventos

Há dois tipos de aproximação que descrevem os mecanismos de transferência da energia do vento para a superfície livre do mar: um, considera um crescimento da energia da onda linear no tempo, enquanto que outro defende que o processo de interação entre o vento e as ondas resulta num crescimento destas de forma exponencial (RIS; HOLTHUIJSEN; BOOIJ, 1997).

Com a contribuição das teorias mencionadas, descreve-se o efeito do vento na superfície livre como um mecanismo de realimentação, iniciado por um crescimento linear.

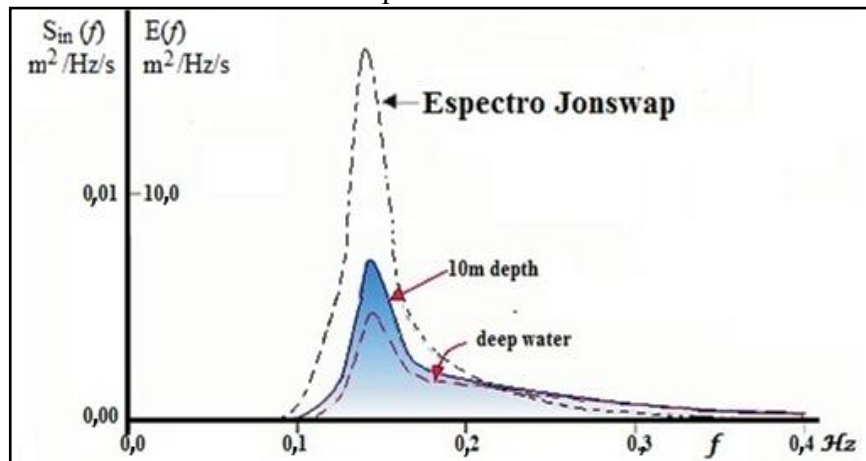
$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (38)$$

O termo  $A$  descreve o crescimento linear da energia no tempo, devido a flutuações da pressão atmosférica induzidas pelo vento. A segunda parcela é relativa ao crescimento exponencial da energia. Ambos dependem da frequência e direção da onda, da velocidade e da direção do vento.

Na Figura 14 é representado o efeito, na forma do espectro, da transferência de energia devido ao forçamento de um campo de ventos, para o caso de um espectro de JONSWAP. Esta transferência de energia do vento para as ondas ocorre, principalmente, perto da frequência de pico e das altas frequências.



Figura 14 - Representação do efeito, no espectro, do termo fonte relativo ao forçamento de um campo de ventos.



Fonte: Holthuijsen (2007).

Para caracterizar o crescimento exponencial da onda, parâmetro  $B$ , existem duas alternativas, ver Booji, Ris e Holthuijsen (1999).

O modelo SWAN converte os valores de entrada do campo de ventos medidos a 10m de elevação  $U_{10}$  na velocidade de atrito  $u_*$ , através da equação (39).

$$u_*^2 = C_D U_{10}^2 \quad (39)$$

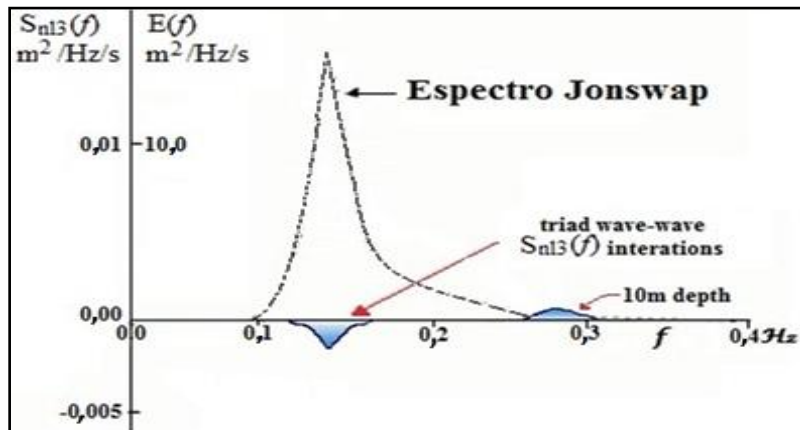
No SWAN, a expressão do coeficiente de arrastamento  $C_D$ , é a seguinte (Holthuijsen, 2007) dada pela equação (40).

$$C_D = \begin{cases} 1,2875 \times 10^{-3} \\ (0,8 + 0,065U_{10}) \times 10^{-3} \end{cases} \quad \text{para} \quad \begin{cases} U_{10} < 7,5 \text{ m/s}; \\ U_{10} \geq 7,5 \text{ m/s}; \end{cases} \quad (40)$$

### 3.2.4 Interação não linear das ondas

A importância das interações não lineares entre ondas é função das situações e agitação. Em águas rasas, as interações não lineares quase ressonantes a três ondas tornam-se relevantes na evolução do espectro, transferindo energia das frequências mais baixas para as frequências mais altas, tendo como resultado super harmônicas (THE SWAN TEAM, 2008). Este processo de transferência de energia pode ser realizado em distâncias muito curtas, mudando a configuração do espectro apreciavelmente. Na Figura 15 são representados os efeitos das interações referidas no espectro de variância.

Figura 15 - Representação do efeito das interações não lineares a três ondas no espectro de variância.

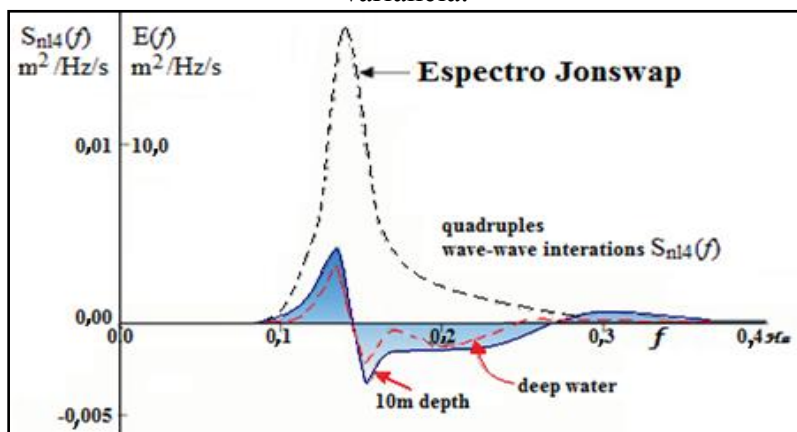


Fonte: Holthuijsen (2007).

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

Por outro lado, diversos estudos mostraram que é essencial a consideração das interações não lineares a quatro ondas em águas profundas, já que as mesmas dominam a evolução do espectro (RIS, 1997). Devido a interações ressonantes com grupos de quatro ondas, verifica-se a transferência de energia do pico do espectro para frequências mais baixas e parcialmente para frequências mais elevadas. As interações não lineares a quatro ondas desempenham, deste modo, um papel importante na redistribuição de energia do espectro. Na Figura 16 estão representados os efeitos das interações referidas na reconfiguração do espectro de variância.

Figura 16 - Representação do efeito das interações não lineares a quatro ondas no espectro de variância.



Fonte: Holthuijsen (2007).

O cálculo das interações não lineares a quatro ondas envolve um integral de Boltzman (KOMEN et al., 1994). Os modelos numéricos, nomeadamente o SWAN, usam aproximações para este cálculo, como observado em *Discrete Interaction Approximation* (DIA), (ROGERS; HWANG; WANG, 2002).

### 3.2.5 Dissipação de energia

No modelo SWAN, ocorrem três tipos de arrebentação: arrebentação parcial (*whitecapping*), a arrebentação induzida pela diminuição da profundidade e a arrebentação por atrito de fundo.

### 3.2.6 Arrebentação parcial (*Whitecapping*)

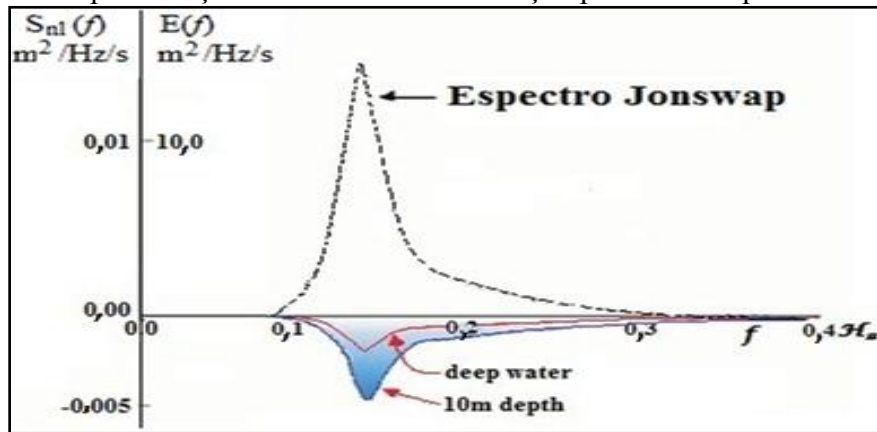
A arrebentação parcial depende da declividade da onda. No modelo SWAN, analogamente aos modelos de terceira geração atualmente utilizados, a arrebentação parcial é formulada através da seguinte expressão (RIS, 1997; THE SWAN TEAM, 2008).

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \sigma_m \frac{k}{k_m} E(\sigma, \theta) \quad (41)$$

O coeficiente  $\Gamma$  depende da declividade do fundo,  $k$  é o número de onda e  $\sigma_m$  e  $k_m$  representam, respectivamente, a frequência média e o número de onda médio (WAMDI GROUP, 1988).

O valor de  $\Gamma$  é estimado através da equação de balanço de energia para um estado completo de desenvolvimento, sendo, por isso, o valor deste coeficiente, dependendo do tipo de formulação usada para a representação dos ventos. Como para este fim, são utilizadas duas expressões, o coeficiente  $\Gamma$  também vai assumir dois diferentes valores. O modelo SWAN utiliza a formulação dada por Komen et al. (1994) e Mulligan et al. (2008). Na Figura 17 é possível visualizar no espectro de variância, o efeito de dissipação de energia por *whitecapping*.

Figura 17 - Representação do efeito da arrebentação parcial no espectro de variância.



Fonte: Holthuijsen (2007).

### 3.2.7 Atrito de fundo

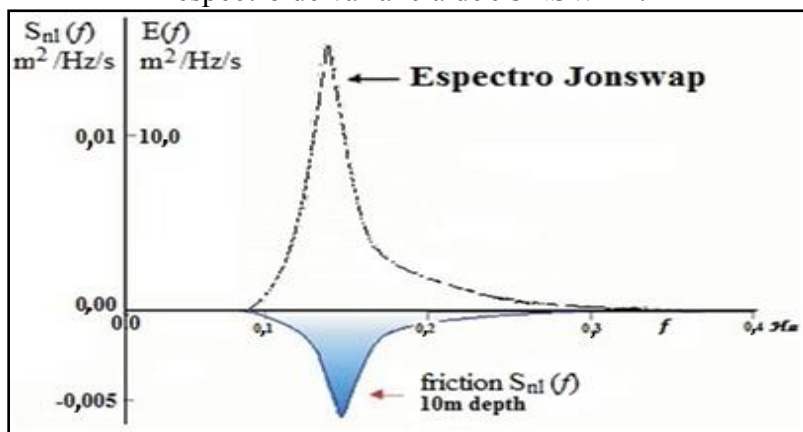
Em águas menos profundas os movimentos orbitais das partículas líquidas estendem-se ao fundo. O atrito de fundo surge assim, no contexto da transferência de energia, como resultado da interação das partículas líquidas com o fundo. A Figura 16 representa, esquematicamente, o efeito da dissipação de energia por atrito de fundo na forma espectral.

Vários estudos foram realizados com o intuito de criar uma boa caracterização deste fenômeno. O modelo SWAN tem disponíveis três formulações para o atrito no fundo. Todas elas podem ser expressas da seguinte forma:

$$S_{ds,b} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kh} E(\sigma, \theta) \quad (42)$$

em que  $C_b$  é um coeficiente inerente ao atrito de fundo.

Figura 18 - Representação do efeito do atrito de fundo, em águas pouco profundas, no espectro de variância de JONSWAP.



Fonte: Holthuijsen (2007).

### 3.2.8 Arrebentação induzida pelo fundo

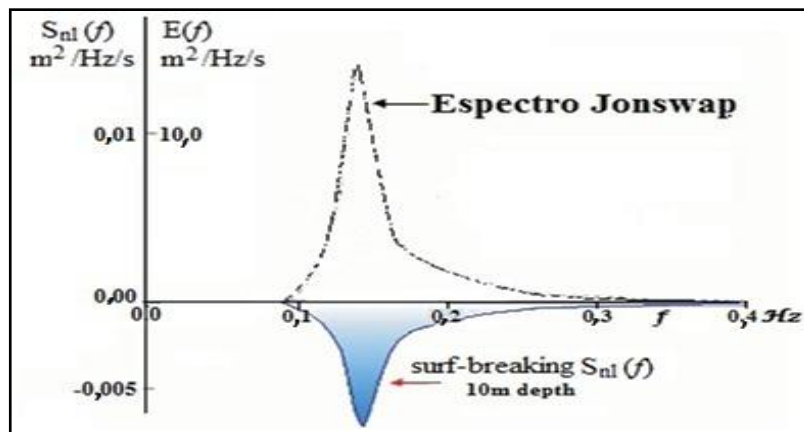
À medida que a profundidade diminui, a energia da onda concentra-se de tal forma que surge um dado instante em que a onda arrebenta, dissipando rapidamente energia. Na Figura 19 pode-se observar a referida dissipação de energia.

No modelo SWAN a formulação utilizada para descrever o efeito da arrebentação induzida pelo fundo é expressa pela equação (43):

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (43)$$

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

Figura 19 - Representação do efeito da arrebentação induzida pelo fundo no espectro de variância.



Fonte: Holthuijsen (2007).

Para um conhecimento mais aprofundado sobre os fenômenos físicos envolventes nos cálculos do SWAN consultar Ris (1997), Booij, Ris e Holthuijsen (1999) ou Holthuijsen (2007).

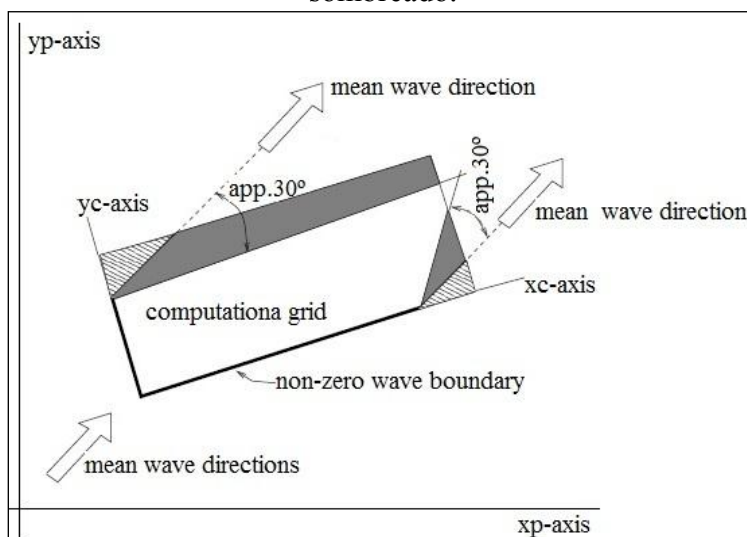
### 3.2.9 Procedimentos de Pré e Pós-Processamento

Para iniciar os cálculos é necessário fornecer ao modelo um arquivo com dados de batimetria e um arquivo de entrada que defina todos os parâmetros de configuração do modelo. Estes parâmetros estão relacionados com as condições de fronteira, a definição do domínio geográfico, espectral e temporal (caso se introduza a não estacionariedade), os fenômenos físicos a considerar nos cálculos a efetuar e o tipo de saída de dados.

De forma a integrar numericamente a equação do balanço de ação, o utilizador deve assim fornecer, na malha computacional, as condições de fronteira no espaço geográfico e espectral.

Nas fronteiras laterais, perpendiculares à linha da costa, é normal não haver informação e a densidade espectral é considerada nula nas zonas adjacentes. Ao se imporem estas condições laterais, os resultados vão ter sempre alguns erros inerentes à propagação destas ondas através da área computacional. A zona afetada, no total do domínio, por tal situação é dependente das condições marítimas, leiam-se ondulação ou vaga, sendo a região definida pela largura da distribuição direcional da energia da onda. Numa situação de *windsea* o ângulo será tipicamente  $30^\circ$ , enquanto que para o *swell* variará entre  $5^\circ$  e  $10^\circ$ , como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Regiões afetadas pelas condições de fronteira no domínio computacional a sombreado.



Fonte: The SWAN Team (2008).

Independentemente do tipo de fronteira, o modelo assume que toda a energia da onda que “sai” do domínio computacional é por este perdida. A energia que “entra” no domínio, usualmente, faz parte de uma fronteira paralela à linha da costa, sendo esta necessariamente provida pelo utilizador.

É possível, no modelo SWAN, introduzir a agitação marítima como condição de fronteira na forma paramétrica ou espectral. No primeiro caso é necessário fornecer os valores da altura significativa, do período médio ou de pico, da direção média para a frequência de pico e da dispersão em direção. No segundo caso as condições de fronteira fornecidas ao SWAN são especificadas por:

Um espectro bidimensional discreto  $E(\sigma, \theta)$ ;

Um espectro unidimensional discreto  $E(\sigma)$  acompanhado pela direção média e dispersão para cada frequência;

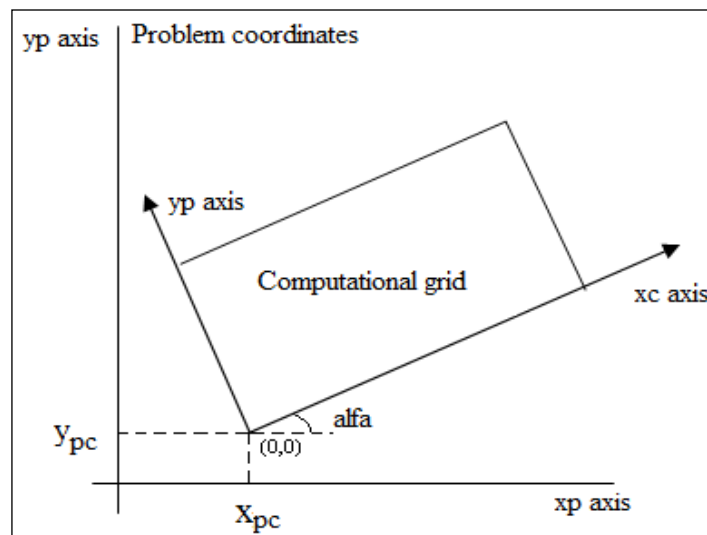
Um espectro unidimensional empírico com uma distribuição direcional empírica.

Para a terceira alternativa, o SWAN apresenta três hipóteses para a imposição do espectro: o espectro JONSWAP, o espectro Pierson-Moskowitz e o espectro de forma Gaussiana (RIS, 1997).

O modelo permite ainda a escolha entre a convenção Náutica ou Cartesiana, na entrada e na saída dos dados, para a direção das ondas e do vento. A convenção Náutica define um sistema de eixos onde, relativamente ao Norte geográfico, a direção de onde os ventos e as ondas proveem, se mede no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio. Já na convenção Cartesiana as medições são feitas, no sentido dos ponteiros do relógio tendo como origem o eixo  $Ox$  positivo, relativamente à direção para onde os vetores referentes ao vento e ondas apontam.

O SWAN possibilita a definição da localização geográfica da zona em estudo, tal como a sua dimensão e respectiva resolução e ainda a escolha entre um sistema de coordenadas esféricas ou cartesianas. No sistema cartesiano, a origem geográfica (0,0) de todos os domínios é definida pelo utilizador, sendo as respectivas localizações determinadas relativamente a um “sistema local de coordenadas”.

Figura 21 - Coordenadas  $x_{pc}$  e  $y_{pc}$  correspondentes à origem do domínio de cálculo, relativamente ao “sistema local de coordenadas”.



Fonte: Adaptação de imagem de The SWAN Team (2008).

Para um domínio de grandes dimensões, o modelo SWAN permite a execução de várias corridas aninhadas, isto é, a definição de domínios acoplados com diferentes dimensões e resoluções, de modo a obter uma descrição mais realista dos parâmetros de agitação marítima.

No espaço direcional, o SWAN realiza todos os cálculos das componentes das ondas advindas do intervalo de direções que o utilizador impuser.

O modelo SWAN permite ao utilizador, ainda, incluir diferentes fenômenos físicos que podem afetar a propagação das ondas. A título de exemplo têm-se a refração, o empolamento, o atrito de fundo, a arrebentação parcial e induzida pela diminuição de profundidade, as interações não lineares a três e quatro ondas e a interação com as correntes na forma de refração, de empolamento e de variação de frequência.

A saída de dados pode ser controlada pelo utilizador, podendo-se definir as suas localizações e tipos (em forma paramétrica e/ou espectral).

### **3.3 Modelos de Previsão de Ondas com Aplicação em Águas Confinadas**

#### **3.3.1 O Módulo SOPRO**

##### *3.3.1.1 Estrutura Geral*

O SOPRO, versões 1.0 a 3.1 (FORTES et al., 2006; FORTES; PINHEIRO; PALHA, 2007; GREGÓRIO, 2004; PINHEIRO et al., 2005; PINHEIRO; FERNANDES; FORTES, 2006a, 2006b; RIBEIRO et al., 2004), apresenta-se ao utilizador como uma interface gráfica que permite a montagem de forma intuitiva de projetos de caracterização da agitação marítima numa dada região ou de simulação de trajetórias de navios em portos. Este é um pacote informático que integra um conjunto de modelos numéricos utilizados pelo Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC. Cada modelo corresponde a um módulo ao qual estão associadas as bases de dados que congregam toda a informação dos projetos. Com esta aplicação é possível realizar estudos sem conhecer em detalhe o funcionamento dos modelos numéricos que lhes estão subjacentes, salvaguardando, como é óbvio, um conhecimento mínimo desejável para o bom uso da ferramenta e posterior análise de resultados. Assim esta aplicação permite armazenar e manipular dados de forma fácil, executar os modelos numéricos, obter os resultados e realizar as correspondentes visualizações gráficas (Figura 22).



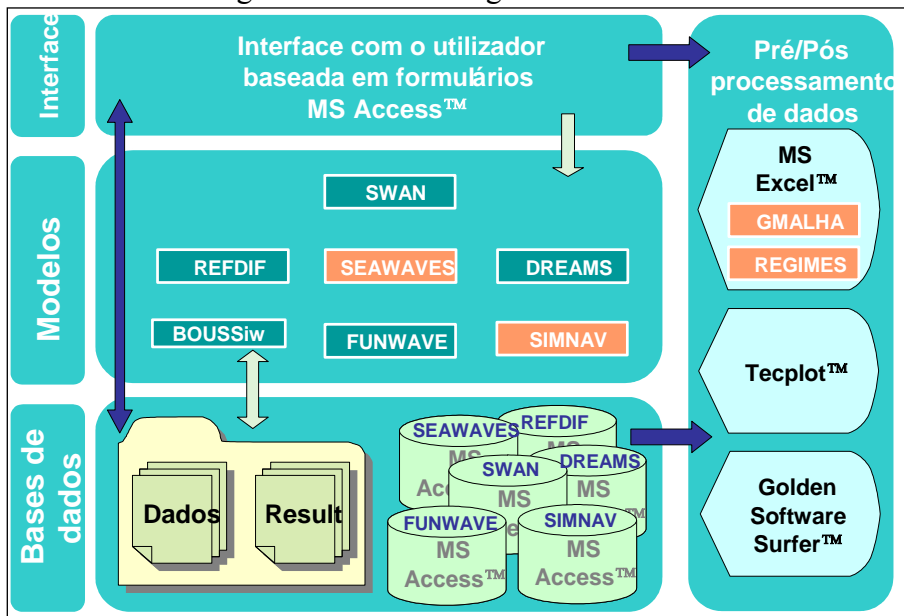
O ambiente escolhido para o desenvolvimento do SOPRO foi o Microsoft Access™ que tem a vantagem de ter integrada a linguagem de programação por objetos e dirigida por eventos Visual Basic for Applications (VBA). Uma das vantagens desta linguagem é a possibilidade de utilizar e manusear diferentes aplicações Microsoft Windows.

O conjunto de módulos do SOPRO (Figura 22 e Figura 23) incluem:

- O módulo SEAWAVES (RIBEIRO et al., 2004), para o tratamento das séries de dados de agitação medidas ao longo da costa portuguesa;
- O módulo SWAN correspondente ao modelo espectral com o mesmo nome, SWAN, (BOOIJ; HOLTHUIJSEN; RIS, 1996), que se baseia na equação da conservação da ação da onda e é capaz de modelar a propagação não linear de agitação marítima;
- Os módulos REFDIF e DREAMS correspondentes a dois modelos lineares que se baseiam na equação de declive suave (BERKHOFF, 1972), REFDIF (DALRYMPLE; KIRBY, 1991), que utiliza a versão parabólica dessa equação e DREAMS (FORTES, 2002), que utiliza a versão elíptica;
- Os módulos FUNWAVE e FUNWAVE2D que correspondem ao modelo FUNWAVE nas suas versões 1D e 2D, respectivamente, (KIRBY; WEI; CHEN, 1998), que resolve as equações não - lineares de Boussinesq deduzidas por Wei et al. (1995);
- O módulo BOUSSiiw, que se baseia no modelo não linear de elementos finitos BOUSSiiw (FORTES et al., 2006), que resolve as equações não-lineares de Boussinesq deduzidas por Nwogu (1993);
- O módulo GMALHA é um gerador de malhas de elementos finitos (PINHEIRO et al., 2006a), capaz de produzir malhas otimizadas especificamente para modelos de propagação de ondas em zonas costeiras e portuárias, e mais concretamente, para os modelos DREAMS e BOUSSiiw;
- O módulo SIMNAV, correspondente ao modelo de simulação da navegação em zonas portuárias, SIMNAV (SANTOS; RITA, 1991);
- O módulo REGIMES (PINHEIRO et al., 2006c) que inclui diversas rotinas para estabelecimento dos regimes geral, médios e de eventos notáveis e das amostras necessárias à determinação do regime de extremos.

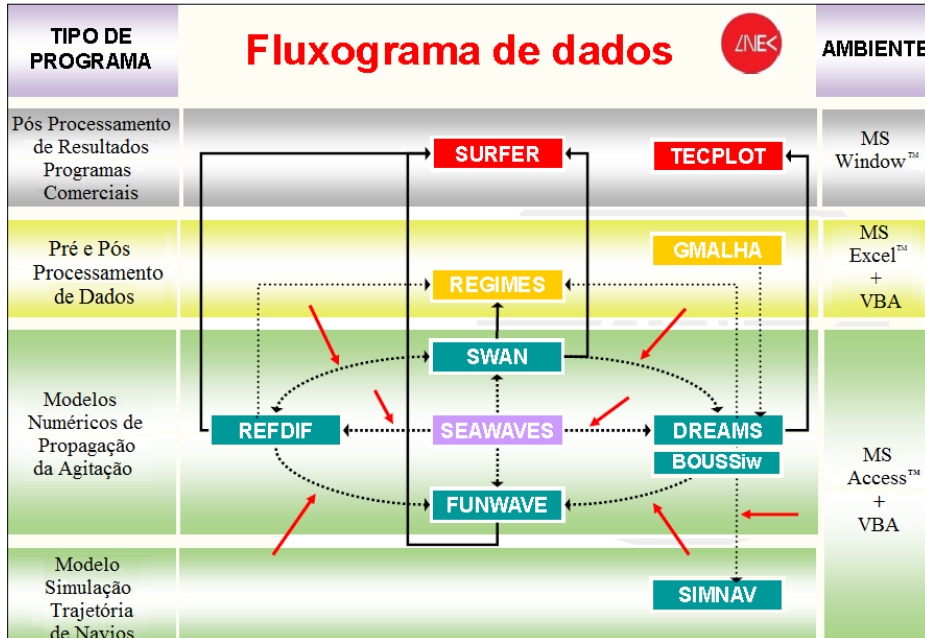
As bases de dados contidas no SOPRO são: uma base de dados em MS Access™ da agitação marítima na costa portuguesa; seis bases de dados em MS Access™, correspondentes aos módulos dos modelos numéricos, que contêm a informação dos projetos criados e ainda diversas pastas onde são armazenados todos os arquivos criados.

Figura 22 - Estrutura geral do SOPRO.



Fonte: Forte, Pinheiro e Palha (2007).

Figura 23 - Fluxograma de dados, tipo de programa e ambiente- SOPRO



Fonte: Forte, Pinheiro e Palha (2007).

Figura 24 - Janela inicial do pacote SOPRO.



Fonte: Forte, Pinheiro e Palha (2007).

Quando se inicia a execução do pacote SOPRO surge uma janela (Figura 22), que permite escolher o módulo pretendido. Escolhido o módulo, abre-se o formulário de edição de projetos da interface correspondente, no qual se pode criar um novo projeto, abrir ou apagar um projeto existente. A abertura de um novo projeto é acompanhada pela criação automática de uma pasta, dentro da qual serão guardados todos os arquivos relevantes desse projeto. Ao abrir um projeto, são mostrados ao utilizador diversos formulários, correspondentes ao módulo em utilização, que permitem a introdução dos dados necessários, a definição de arquivos de entrada e saída de resultados, a execução do modelo e a visualização dos seus resultados. A descrição dos vários formulários de cada módulo pode ser consultada em Gregório (2004), Ribeiro et al. (2004), Pinheiro et al. (2005), Pinheiro, Fernandes e Forte (2006a, 2006b), Fortes et al. (2006) e Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

Como os modelos numéricos ainda trabalham diretamente com arquivos de entrada, o pacote SOPRO permite, não só a introdução de novos dados manualmente, mas também a utilização de dados já existentes em arquivos, facilitando assim a construção de novos conjuntos de dados. Importa referir que, neste último caso, a importação só se fará se os dados contidos no arquivo estiverem de acordo com o formato pré-definido no SOPRO.

A exportação dos arquivos de entrada dos modelos numéricos é simples e ocorre sempre que se executa o modelo. O SOPRO apenas tem que ir buscar os campos com os dados necessários e escrever o arquivo de acordo com as especificações pré-estabelecidas.

Desta forma, o arquivo criado está garantidamente pronto a ser usado pelo modelo numérico. Se houver alguma falha nos dados introduzidos, o utilizador é notificado com uma mensagem de erro assinalando a incorreção.

A representação gráfica de dados e resultados no SOPRO é realizada com o programa Golden Software Surfer™ (para os módulos SWAN, REFDIF e FUNWAVE2D), o programa Tecplot™ (para o módulo DREAMS e GMALHA) e o MS Excel™ (para os módulos FUNWAVE1D, BOUSSiiw, SIMNAV e REGIMES). Os programas de visualização gráfica, como o Golden Software Surfer™, o Tecplot™ e o MS Excel™ são invocados pela interface através de macros ativada por eventos que automatizam todo o processo de criação de mapas e gráficos.

A execução da maioria dos modelos numéricos implementados no SOPRO é realizada nos computadores pessoais, mas para o caso dos módulos DREAMS e REFDIF podem ser executados remotamente numa estação de trabalho que corre um sistema operativo UNIX-like, e que têm maior capacidade de memória e CPU do que um computador pessoal.

No caso desta Tese, utilizou-se o módulo SWAN tanto para o Porto da Praia da Vitória como para o Lago da Barragem de Ilha Solteira. Nas subsecções seguintes descrevem-se o módulo SWAN do pacote SOPRO.

### **3.3.2 Módulo SWAN**

#### *3.3.2.1 Dados e Resultados do Modelo SWAN*

Os dados necessários para a execução do SWAN são: a malha batimétrica da zona a modelar, as malhas computacionais de diferenças finitas e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além das opções de cálculo. Os resultados do SWAN acessíveis com o SOPRO são, atualmente, a altura significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional.

#### **3.3.3 Interface do módulo SOPRO/SWAN**

Na janela principal do módulo SWAN do SOPRO\_3. 1 é possível importar os parâmetros gerais (dados de entrada) do modelo a partir de um arquivo, editá-los, executar o

modelo e ver os seus resultados. Nesta versão do SOPRO apenas não estão incluídas, as opções de cálculo do SWAN que permitem executar o modelo com correntes e ventos.

No pacote SOPRO, após a abertura da interface do SOPRO surge o formulário de identificação do projeto, onde se descreve as principais características do caso de teste para o qual se pretende aplicar o modelo SWAN, Figura 25. Na parte superior deste formulário é também possível ter acesso a outros 7 sub-formulários (barra superior), Figura 25, que permitem:

- Definir as características das malhas de diferenças finitas que discretizam o domínio de cálculo - *Computational Grid*;
- Definir a localização dos arquivos de batimetria – *Bathymetry*;
- Definir as características do espectro de onda incidente em direção e frequência – *Spectrum resolution*;
- Definir os processos físicos a serem considerados pelo modelo – *Physical processes*;
- Definir as condições de agitação incidente *Wave conditions*;
- Definir nomes para os arquivos a serem criados pelo modelo e os pontos onde se pretende obter os resultados – *Output Specifications*;
- Visualizar os resultados do modelo numérico – *Results*.
- Na zona lateral deste formulário (e em todos os formulários de entrada de dados) existem 5 botões de ação que permitem:
  - Importação e edição dos dados do modelo – *Load Data*;
  - Criação dos arquivos de dados – *Data*;
  - Executar o modelo SWAN – *Run SWAN*;
  - Calcular a matriz de transferência – *Transference Matrix*;
  - Fechar a aplicação – *Close*.

Figura 25 - Módulo SWAN: Formulário de identificação do projeto e acesso aos botões de comando.

Non Stationary Conditions		Currents Conditions		Output Specifications	
Project Identification	Computational Grid	Bathymetry Grid	Spectrum Resolution	Physical Processes	Stationary Wave Conditions
Project Identification	<input type="text" value="167"/>				
Project Name	<input type="text" value="Ilha"/>				
Project Description / Comments / Notes	<input type="text"/>				
Project Nickname	<input type="text"/>				

Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

A janela *Computational Grid*, Figura 24a, permite a definição das características principais das malhas computacionais (no máximo 3) a serem utilizadas pelo SWAN. Tal inclui, para cada malha, as coordenadas  $x$  e  $y$  do ponto inicial, o comprimento e espaçamento da malha em  $x$  e  $y$ , e o espaçamento em  $x$  e  $y$  dos pontos, para os quais serão guardados os resultados do modelo SWAN, e que servirão de condição de fronteira para a malha seguinte.

A janela *Bathymetry Grid*, Figura 24b, permite a importação dos arquivos de batimetrias correspondentes a cada malha de cálculo do modelo SWAN e a definição das principais características dessas batimetrias (coordenadas do ponto de origem da malha de batimetria, o número de divisões e o espaçamento em  $x$  e  $y$ ). É necessário ter à priori arquivos do tipo .txt que contêm os valores das coordenadas dos pontos e respectivas profundidades.

Figura 26 - Formulários do SWAN: a) *Computational grid*; b) *Bathymetry grid*.

a)

Non Stationary Conditions		Currents Conditions		Output Specifications	
Project Identification	Computational Grid	Bathymetry Grid	Spectrum Resolution	Physical Processes	Stationary Wave Conditions
Nested grid <input checked="" type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no Nested grid_1 <input checked="" type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no					
		Main Grid	Nested Grid	Nested Grid_1	
X inicial		<input type="text" value="456680"/>	<input type="text" value="457220"/>	<input type="text" value="459329"/>	
Y inicial		<input type="text" value="7741700"/>	<input type="text" value="7744520"/>	<input type="text" value="7745690"/>	
Grid rotation		<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
Grid lenght in x direction (m)		<input type="text" value="58000"/>	<input type="text" value="26500"/>	<input type="text" value="14750"/>	
Grid height in y direction(m)		<input type="text" value="33000"/>	<input type="text" value="17000"/>	<input type="text" value="14250"/>	
DX		<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="250"/>	
DY		<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="250"/>	
DX for data transference		<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="250"/>		
DY for data transference		<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="250"/>		

Main Grid

Nested Grid

(Xinicial, Yinicial)

(Xinicial, Yinicial)

b)

Non Stationary Conditions		Currents Conditions		Output Specifications	
Project Identification	Computational Grid	Bathymetry Grid	Spectrum Resolution	Physical Processes	Stationary Wave Conditions
X inicial	<input type="text" value="456680"/>	<input type="text" value="457220"/>	<input type="text" value="459329"/>	<p>(Xinicial, Yinicial)</p>	
Y inicial	<input type="text" value="7741700"/>	<input type="text" value="7744520"/>	<input type="text" value="7745690"/>		
Grid rotation	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
nº. DX	<input type="text" value="58"/>	<input type="text" value="53"/>	<input type="text" value="59"/>		
nº. DY	<input type="text" value="33"/>	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="57"/>		
Depth below which is not considered	<input type="text" value="0.5"/>				

Read bathymetry from this file:

Read bathymetry for the nested grid from this file:

Read bathymetry for the Nested\_1 from this file:

First Point of bathymetry file

Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

A janela *Spectrum resolution*, Figura 27a, permite a definição das principais características do espectro da onda incidente, isto é, a gama de frequências/direções do espectro incidente e o número de divisões quer em frequência quer em direção.

A janela *Physical processes*, Figura 27b, permite ao utilizador seleccionar os processos físicos que deverão ser tidos em conta nos cálculos com o modelo SWAN, para cada uma das malhas de cálculo. Esses processos físicos são a difração, dissipação por atrito de fundo e interações não lineares no espectro.

Figura 27 - Formulários do SWAN: a) *Spectrum resolution*; b) *Physical processes*.

a)

Non Stationary Conditions		Currents Conditions		Output Specifications	
Project Identification	Computational Grid	Bathymetry Grid	Spectrum Resolution	Physical Processes	Stationary Wave Condi
Directional resolution					
<input type="checkbox"/> Sector		<input checked="" type="checkbox"/> Circle			
Minimum Direction		<input type="text" value="0"/>			
Maximum Direction		<input type="text" value="360"/>			
Number of division on directions		<input type="text" value="30"/>			
Frequency resolution					
Minimum frequency		<input type="text" value="0.05"/>			
Maximum Frequency		<input type="text" value="3"/>			
Number of division on frequency		<input type="text" value="30"/>			
Spectrum type		<input type="text" value="JONSWAP"/>			
Period representation		<input checked="" type="checkbox"/> Peak <input type="checkbox"/> Mean			
Directional Spreading		<input type="checkbox"/> Power		<input checked="" type="checkbox"/> Degree <input type="text" value="0"/>	

b)

Non Stationary Conditions		Currents Conditions		Output Specifications	
Project Identification	Computational Grid	Bathymetry Grid	Spectrum Resolution	Physical Processes	Stati
Diffraction		<input checked="" type="checkbox"/> Coarse run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested_1 run	
Friction		<input checked="" type="checkbox"/> Coarse run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested_1 run	
Quadruplet		<input checked="" type="checkbox"/> Coarse run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested_1 run	
Triad		<input checked="" type="checkbox"/> Coarse run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested run	<input checked="" type="checkbox"/> Nested_1 run	
Friction					
<input checked="" type="checkbox"/> JONSWAP					
<input type="checkbox"/> COLLINS					
<input type="checkbox"/> MADSEN					

Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).



O formulário *Wave conditions*, Figura 28a, define as características do espectro de onda incidente nas fronteiras da malha computacional. A utilização do modelo pode ser realizada para diversas condições de cálculo numa mesma batimetria, isto é, aplicar o modelo várias vezes considerando diferentes condições de agitação incidente (diferentes períodos, direções, alturas da onda incidente ou níveis de maré). A janela *Output specification*, Figura 28b, permite escolher as coordenadas dos pontos onde se pretende guardar os resultados do modelo SWAN, para todas as condições de agitação incidente escolhidas.

Figura 28 - Formulários do SWAN: a) *Wave conditions*; b) *Output specification*.

The screenshot shows the 'Wave conditions' dialog box in the SWAN software. It has a tabbed interface with 'Stationary Wave Conditions' selected. The main area is divided into three sections:

- Wave conditions for single runs or for regular transfer matrices:** Contains input fields for 'HS (m)', 'TP (s)', 'Direction (Degrees) referred to the North', 'Tide level (m)' (set to 0), and a dropdown for 'ROTATION' (set to 'Counter Clockwise').
- Boundary conditions:** Includes a diagram of a square grid with checkboxes for 'North', 'South', 'East', and 'West'. A note below states: '\* Note that all boundaries will have the same wave conditions'.
- Wave conditions for stationary mode:** Contains three checked options to read data from files:
  - Read wave conditions from a file (Date, time, HS, ..., TP, TETA for a series of stationary calculation): [D:\Swan\swan-ilha\_solteira\Dados\Dados\_tratados\_21deJaneiro2012\ventos para o swan - Dr...
  - Read wave spectrum from a file (for one stationary calculation): [D:\Swan\swan-ilha\_solteira\Dados\Dados\_tratados\_21deJaneiro2012\ventos para o swan - Dr...
  - Read wave spectrums list from a file (for a series of stationary calculations): [D:\Swan\swan-ilha\_solteira\Dados\Dados\_tratados\_21deJaneiro2012\ventos para o swan - Dr...

The screenshot shows the 'Output specification' dialog box in the SWAN software. It has a tabbed interface with 'Output Specifications' selected. The main area contains the following sections:

- Name of output grid file:** malha1.dat
- Name of output point file:** pontos.dat
- User defined points:** A 'Define points' button and a 'Number of output points' field set to 2.
- Read points from file:** A checked option to read from a file: [H:\Arquivos pc-Lnec\swan-ilha\Dados\5pontosilhasolteira.dat]

Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

Após o preenchimento de todos os formulários, é necessário acionar o botão *Write Data*, Figura 29a, para criar quer os arquivos de dados necessários ao modelo SWAN quer o

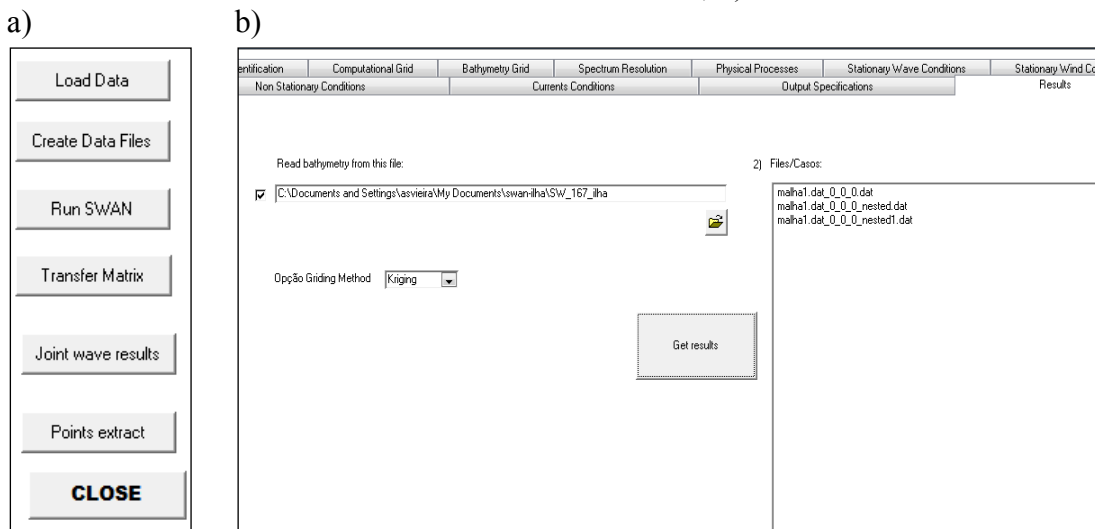
arquivo de comandos, SWAN. BAT, que contém as informações necessárias à aplicação do modelo para todas as condições definidas e o posterior registro de todos os arquivos de resultados respectivos a cada uma das aplicações efetuadas.

Para executar o modelo SWAN, é apenas necessário acionar o botão de comando *Run SWAN* (Figura 29a).

Após a execução do modelo SWAN, a janela *Results*, Figura 29b, permite a visualização dos resultados do modelo para cada uma das malhas de cálculo e cada uma das condições de agitação marítima incidente.

Finalmente, é possível criar, para cada ponto selecionado, um arquivo com os resultados do modelo para todas as condições de agitação selecionadas, bastando para tal acionar o botão *Transference Matrix*, Figura 29a.

Figura 29- a) Obtenção dos arquivos de dados, execução do modelo, visualização de resultados e cálculo da matriz de transferência; b) Formulário *Results*.



Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

Apresenta-se na Figura 30 a utilização dos ventos para a geração de ondas.

Figura 30 - Formulário do SWAN: *Stationary wind conditions*.

Non Stationary Conditions		Currents Conditions		Output Specifications		Results
Project Identification	Computational Grid	Bathymetry Grid	Spectrum Resolution	Physical Processes	Stationary Wave Conditions	Stationary Wind Conditions
<input checked="" type="checkbox"/> yes						
<b>Stationary Wind?</b>						
<input checked="" type="checkbox"/> yes						
<b>Constant in space?</b>						
<input checked="" type="checkbox"/> yes						
Velocity (m/s) <input type="text" value="6"/>						
Direction (o) <input type="text" value="75"/>						
<b>Variable in space?</b>						
<input type="checkbox"/> yes						
X inicial <input type="text" value="0"/>						
Y inicial <input type="text" value="0"/>						
Grid rotation <input type="text" value="0"/>						
nº. DX <input type="text" value="0"/>						
nº. DY <input type="text" value="0"/>						
DX (m) <input type="text" value="0"/>						
DY (m) <input type="text" value="0"/>						
Minimum depth considered <input type="text" value="0"/>						
Read wind from this file:						
First Point of wind file <input type="text"/>						
		<input type="text" value="D:\swan\swan-ilha solteira\Dados\Dados_tratados_21dejaneiro2012\ventos para o swan - Dry\Corrigidos a 1.2metros\ventos_13_01_2011_1minuto_resultados_1min-1.2metros-15minutos.dat"/>				
		<input type="text" value="D:\swan\swan-ilha solteira\Dados\Dados_tratados_21dejaneiro2012\ventos para o swan - Dry\Corrigidos a 1.2metros\ventos_13_01_2011_1minuto_resultados_1min-1.2metros-15minutos.dat"/>				
		<input type="text" value="D:\swan\swan-ilha solteira\Dados\Dados_tratados_21dejaneiro2012\ventos para o swan - Dry\Corrigidos a 1.2metros\ventos_13_01_2011_1minuto_resultados_1min-1.2metros-15minutos.dat"/>				

Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário a utilização de programas de aquisição de dados, instalação de equipamentos de medição de onda e ventos e programas para tratamento de dados de onda e ventos.

Descreve-se neste capítulo, todos os materiais e metodologia utilizados para o desenvolvimento desta tese tanto para o caso de estudo da zona marítima adjacente ao Porto da Praia da Vitória como para o caso de estudo do Lago da Barragem de Ilha Solteira.

### **4.1 Porto da Praia da Vitória – Açores – Portugal**

O Porto de Praia da Vitória situa-se na costa Leste da Ilha Terceira no arquipélago dos Açores, Figura 31. Os dois molhes que protegem o porto definem uma bacia portuária aproximadamente retangular com cerca de 1 km x 2 km.

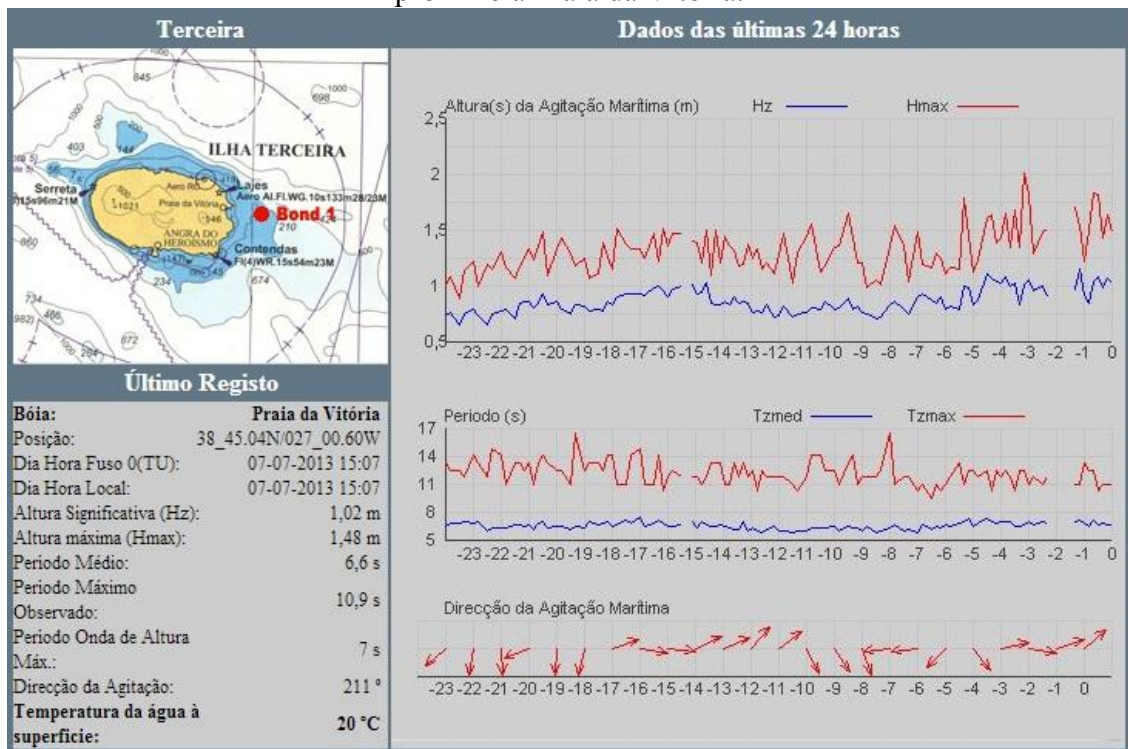
No âmbito do projeto CLIMAAT (AZEVEDO MENDES; GONÇALO, 2008; BARRERA et al., 2008; ESTEVES et al., 2009; SIMÕES, 2006; SIMÕES et al., 2009), foi instalada uma boia-ondógrafo direcional (Climaat-BOND1) a pouco mais de 4 km a nordeste do porto, numa zona com profundidade de 90 m. Esta boia fornece dados de agitação marítima on-line, atualizados em média a cada 15 minutos, com os valores de altura significativa, altura máxima, período médio, período máximo observado, período da onda de altura máxima e direção da ondulação. No site do projeto CLIMAAT (2013) é possível aceder aos dados medidos em tempo real da referida boia, (Figura 37).

Figura 31 - Porto de Praia da Vitória.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados e imagens do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, Lisboa, Portugal.

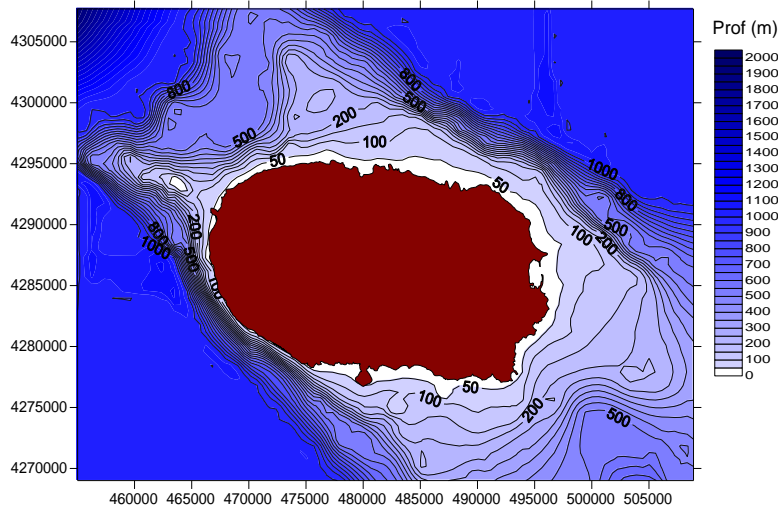
Figura 32 - Medições da agitação marítima na boia-ondógrafo do projeto CLIMAAT colocada próxima a Praia da Vitória.



Fonte: Adaptado de CLIMAAT (2013).

A batimetria da região em redor à Ilha Terceira é apresentada na Figura 33.

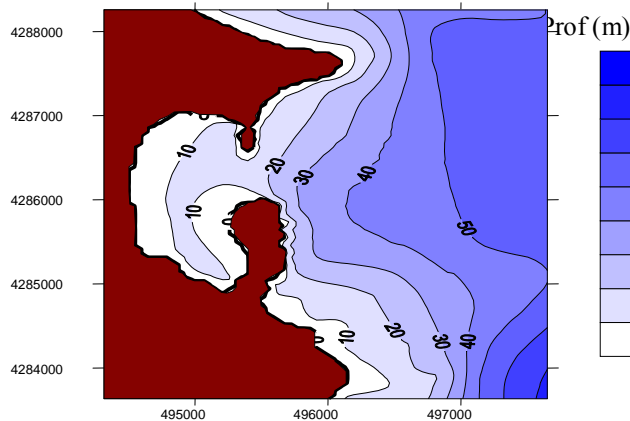
Figura 33 - Batimetria na região marítima adjacente à Ilha Terceira.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A batimetria na zona do porto da Praia da Vitória é apresentada na Figura 34.

Figura 34 - Batimetria na zona da praia da Vitória.



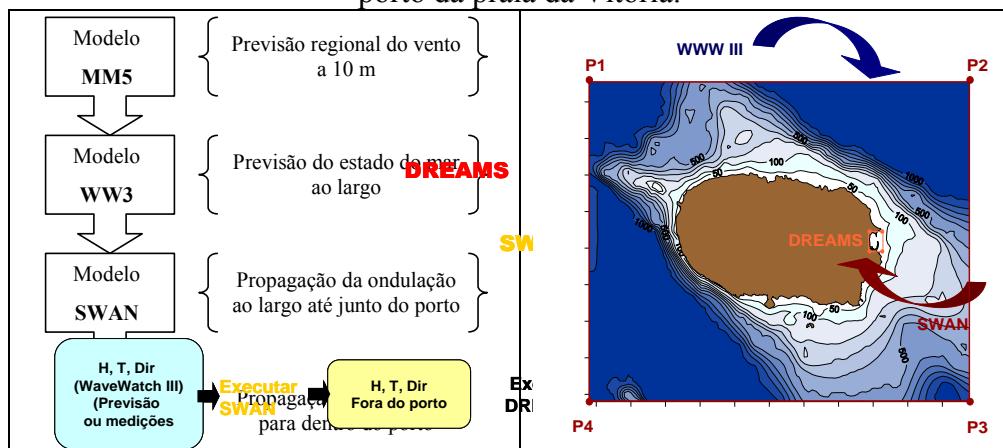
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na caracterização da agitação marítima ao largo do porto em estudo recorre-se a modelos de previsão de escala regional. Assim partindo de um campo de ventos (também fornecido por modelos numéricos MM5, ver TOMÉ et al., 2005), o modelo WAVEWATCH III (WWIII ou WW3) prevê as características da agitação marítima na região do arquipélago (SIMÕES et al., 2009). Depois, transferem-se aquelas características para a entrada do porto utilizando o modelo SWAN (BOOIJ; HOLTHUIJSEN; RIS, 1996). A razão para a utilização de vários modelos é a inexistência de um único modelo capaz de simular, de forma computacionalmente eficaz, a propagação da agitação marítima nesta vasta região levando em

conta todos os fenômenos relevantes para aquela propagação. É, pois assim, necessário recorrer ao acoplamento de modelos numéricos.

No esquema da Figura 35 apresenta-se a metodologia adotada. Mais concretamente, para um dado estado de agitação marítima ao largo previsto pelo WWIII e caracterizado por  $(H_s, t_p, Dir, Disp)$  em que  $H_s$  é a altura significativa do estado de agitação;  $t_p$  é o período médio de zero ascendente,  $Dir$  é a direção média do período de pico e  $Disp$  é a dispersão direcional para o mesmo período, o modelo SWAN transfere estas características para a zona em frente ao porto.

Figura 35 – Metodologia utilizada para a caracterização da agitação marítima na zona do porto da praia da Vitória.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados e imagens do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, Lisboa, Portugal.

O modelo WWIII permite a modelação da refração e deformação do campo de ondas devidas às variações espaciais e temporais da profundidade média e das correntes médias, possibilita ainda a geração e decaimento das ondas devido às ações do vento, às interações não lineares de ressonância, dissipação e atrito de fundo.

Apesar de este modelo incluir diversos processos físicos, este não é apropriado para águas pouco profundas, pois não contempla as interações não lineares triplas que dominam a propagação das ondas neste tipo de águas, ou seja não considera situações em que a propagação das ondas está limitada pela profundidade.

O WWIII fornece as previsões da agitação marítima na região do arquipélago dos Açores (Simões et al., 2009), numa malha de  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$  (lat x long), i.e., os valores para  $H_s$  (altura significativa espectral),  $T_p$  (período de pico) e  $\theta$  (direção de onda para a frequência de pico), com uma periodicidade de 3 horas, no período de 2009 a 2010.

Estas previsões foram efetuadas no âmbito dos projetos CLIMAAT e MacSIMAR (AZEVEDO; GONÇALO, 2005; SIMÕES et al., 2009), considerando os campos de vento fornecidos pelo modelo meteorológico regional de meso-escala MM5 (TOMÉ et al., 2005).

Para o desenvolvimento desta tese de doutorado, utilizaram-se as previsões da agitação marítima no nó de cálculo (P2) deste modelo coincidente com o canto superior direito da Figura 30. Com efeito, uma análise prévia às previsões para os quatro pontos nos cantos da Figura 30, permitiu verificar que o ponto com mais influência sobre a zona do Porto de Praia da Vitória é o ponto P2. Os valores considerados foram a altura de onda significativa, direção de pico e período de pico. Neste trabalho, o conjunto de dados utilizados perfaz um total de 10674 valores horários correspondentes a dois anos de previsão com algumas falhas pelo meio (2009 e 2010).

O modelo meteorológico MM5, forneceu também para o ponto P2 para 2009 e 2010, as previsões das características do vento, as quais foram introduzidos no modelo SWAN em todo o domínio de cálculo com intensidade e direção constantes obtidas.

Utilizando então essas previsões de ondas e de ventos, o modelo SWAN fornece as características de agitação marítima na zona marítima do porto da Praia da Vitória, e mais especificamente, na localização da boia-Ondógrafo situada nas coordenadas: UTM:  $x = 498580$  e  $y = 4289218$ , medidas referencias pelo Meridiano Central (Figura 32). É então efetuada a comparação entre os resultados do modelo SWAN e os dados medidos na boia para avaliar o desempenho do modelo.

Note-se que para a aplicação sistemática do modelo SWAN, utilizou-se o pacote de programas chamado SOPRO-SWAN (FORTES; PINHEIRO; SANTOS, 2008). Este pacote é composto por uma base de dados e por uma interface com o utilizador para o modelo numérico SWAN. A interface com o utilizador facilita as operações de armazenamento e manipulação dos dados necessários à execução do modelo SWAN. Também o pós-processamento dos resultados, nomeadamente a visualização dos resultados, é facilitado pela utilização do pacote SOPRO-SWAN.

Neste trabalho, esta metodologia é aplicada. Assim, para as situações sem e com vento, o procedimento seguido é:

- Obtenção das condições de agitação incidentes ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $Dir$ ,  $Disp$ ) na fronteira do domínio de cálculo do modelo SWAN;
- Cálculos com o modelo SWAN para cada uma das condições de agitação incidente.
- Análise dos resultados obtidos.



As condições de agitação incidentes referem-se inicialmente aos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 e em sequência a uma análise mais detalhadas dos anos de 2009 e 2010.

#### 4.1.1 Condições gerais de aplicação do modelo

Para aplicação do modelo SWAN, como se pode ver na Figura 36 e na Tabela 4, utilizaram-se três malhas de cálculo no processo de transferência do estado do mar ao largo até junto do porto:

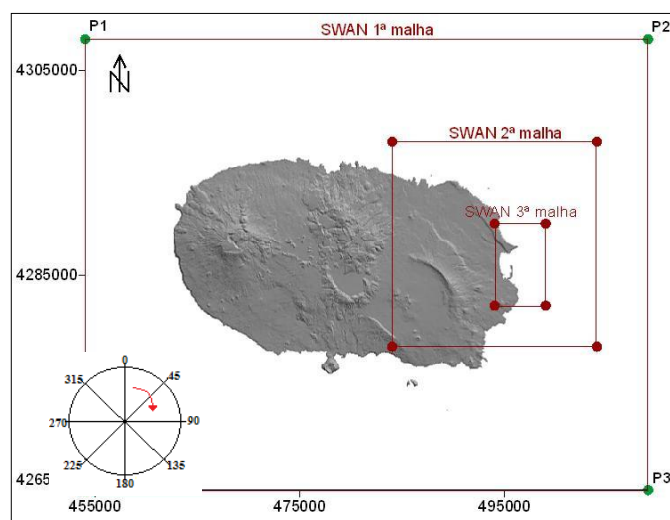
A malha maior com um afastamento entre nós de 200 m define uma região retangular com 55 km por 40 km que contém a região marítima envolvente da Ilha Terceira.

A malha seguinte é quadrada com 20 km de lado e com um afastamento entre nós de 100 m.

A terceira malha define uma região retangular com 5 km por 8 km e um afastamento entre nós de 25 m.

Utilizaram-se também arquivos de batimetria progressivamente mais refinados para cada malha de cálculo, todos obtidos da carta náutica, à escala 1:75 000, publicada pelo Instituto Hidrográfico com o nº 46405 e o título “Arquipélago dos Açores – Grupo Central, Ilha Terceira (planos dos portos de Angra do Heroísmo e da Praia da Vitória)”. Os eixos x e y das malhas de cálculo são paralelos aos lados dessa carta.

Figura 36 - Malhas utilizadas nas simulações feitas com o SWAN.



Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

Tabela 4 - Características das malhas utilizadas na simulação com o SWAN.

Malha	X inicial	Y inicial	Nº. DX	Nº. DY	DX (m)	DY (m)
1	454000	4264000	275	220	200	200
2	484000	4278000	200	200	100	100
3	494000	4282000	200	320	25	25

Fonte: Elaboração do próprio autor.

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 no que se refere à qualidade da previsão. Quanto ao tempo necessário ao cálculo, uma simulação do SWAN com uma malha (a 1ª malha assinalada na Figura 36) demora cerca de 60s enquanto que com as três malhas de cálculo mencionadas acima uma simulação demora tipicamente 180 segundos). Com efeito, dois meses (Janeiro e Fevereiro de 2009) de simulações horárias equivalem a 1416 simulações e cerca de 23h, utilizando uma malha apenas. No caso de se usarem três malhas aninhadas demora aproximadamente 70h.

Para os cálculos do SWAN, o espectro direcional foi definido a partir da discretização de um espectro em frequência contendo 21 intervalos, de 0.070 a 2.0 Hz, com distribuição logarítmica, e de uma discretização em direção cobrindo os 360°, dividida em 144 intervalos ( $\Delta\theta = 2.5^\circ$ ).

Todas as execuções foram realizadas com a versão 40.72 do SWAN e os fenômenos físicos incluídos foram:

Na 1ª malha global: refração, o empolamento e a arrebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*).

Nas 2ª e 3ª malhas: refração, o empolamento e a arrebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*), interações entre tríades de ondas (*triadwave-waveinteractions*) e a geração de harmônicas (*frequencyshifting*).

Nunca se considerou a influência das correntes marítimas.

Note-se que as condições na fronteira da malha1 proveem dos resultados do modelo WAVEWATCH III em quatro pontos localizados nos cantos dessa malha. Uma análise prévia às previsões para estes quatro pontos permitiu verificar que o ponto com mais influência sobre a zona do Porto de Praia da Vitória é o ponto P2 (ver Figura 35). Assim, de modo a simplificar o processo de transferência entre os modelos WWIII e SWAN, consideraram-se os resultados obtidos por WWIII no ponto P2 sendo implementadas as condições de agitação previstas para este ponto em todos os pontos das fronteiras da 1ª malha do SWAN. As malhas subsequentes do SWAN têm como condições de fronteira os resultados da malha anterior.

### **4.1.2 Cálculos efetuados**

Os cálculos foram realizados para duas situações:

#### **Situação I – Sem vento**

Para este caso, considerando o período referente aos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009, foram efetuados cálculos com o modelo SWAN para:

- Análise da variação da altura de onda incidente nos resultados da agitação marítima em frente ao porto;
- Análise da variação da direção da onda incidente nos resultados da agitação marítima em frente ao porto;
- Análise da variação do período da onda incidente nos resultados da agitação marítima em frente ao porto;
- Evolução das características da agitação marítima ao longo dos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009.

#### **Situação II – Com Vento**

Para este caso, considerando o período referente ao ano de 2009, foram efetuados cálculos com o modelo SWAN para:

- Análise do comportamento das ondas nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009, comparando dados no ponto 2 e ao largo com relação as alturas, períodos e direções.
- Análise do comportamento das ondas no ano de 2009, comparando dados no ponto 2 e ao largo com relação as alturas, períodos e direções.
- Análise dos resultados obtidos na boia e no ponto 2 com resultados obtidos com vento e sem vento em termos do período e da altura significativa das ondas.

Para a comparação dos resultados numéricos com resultados experimentais, são considerados, cinco parâmetros estatísticos (WILLMOTT et al., 1985). São eles o Scatter index (SI), o índice de Correlação (R), o erro médio quadrático (RMSE) e o índice de concordância (IC) e o Bias.

O RMSE, Erro quadrático médio, é uma medida frequentemente usada da diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores efetivamente observados a partir do

ambiente que está sendo modelado. Quanto menor for o seu valor, maior é a concordância entre o (neste caso) numérico e o experimental.

O índice de concordância de Willmott determina a exatidão do método e indica o grau de afastamento dos valores estimados em relação aos valores observados. Esse índice varia de 0, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita, enquanto que o erro médio quadrático e o índice de dispersão são valores de erro absoluto e relativo, respectivamente, sendo a concordância dos valores numéricos com os de referência tanto melhor quanto menor forem os valores.

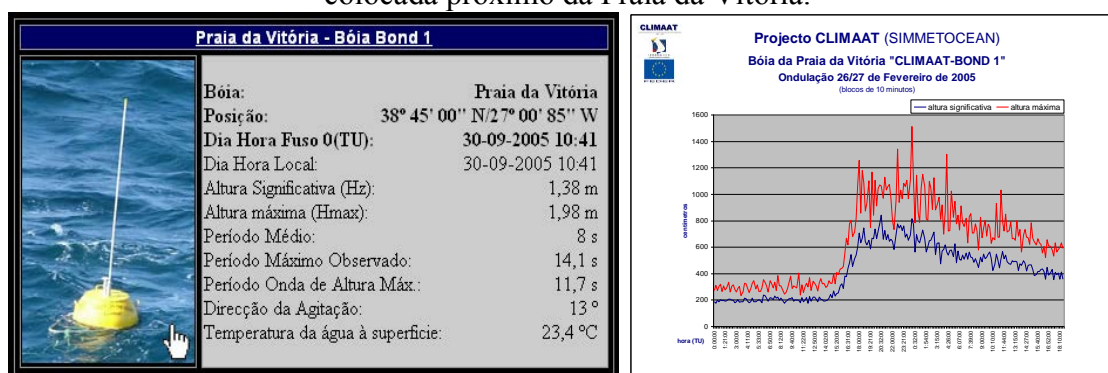
Essas comparações estão sendo relacionados com as medições da Boia e com resultados do modelo SWAN com vento para Janeiro e Fevereiro de 2009.

Em seguida, descreve-se mais pormenorizadamente os instrumentos de medição de ondas e as metodologias utilizadas para o tratamento de dados e preparação dos arquivos.

#### 4.1.3 Instalação dos equipamentos de medição

A aquisição de dados na zona marítima adjacente ao porto da Praia da Vitória é efetuada com uma boia-ondógrafo (Figura 37) instalada a uma profundidade de aproximadamente 90 m e a 4 km a nordeste do porto (Figura 38). As coordenadas da boia (P2) estão indicadas na Tabela 5.

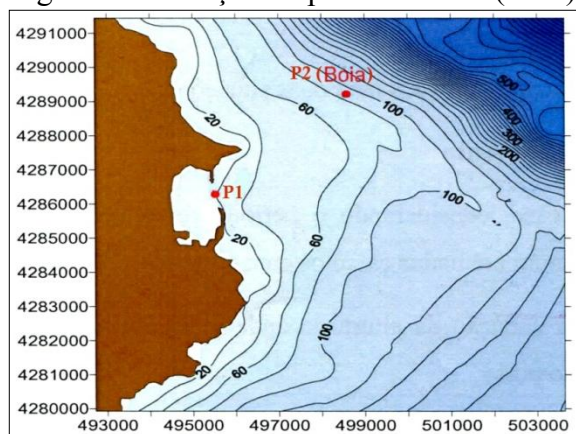
Figura 37 – Medições da agitação marítima na boia-ondógrafo do projeto CLIMAAT colocada próximo da Praia da Vitória.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados e imagens do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, Lisboa, Portugal.

Para efetuar comparações entre resultados numéricos e dados, foi utilizado o ponto correspondente à localização da boia-ondógrafo (Ponto2), como pode ser observado na Figura 38.

Figura 38 - Posição do ponto P1 e P2 (Boia).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 5 - Coordenadas dos pontos estudados.

Coordenadas	P1	P2
X	495530	498580
Y	4286288	4289218

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Esta boia fornece dados de agitação marítima on-line, atualizados em média a cada 15 minutos, com os valores de altura significativa, altura máxima, período médio, período máximo observado, período da onda de altura máxima e direção da ondulação. No site do projeto CLIMAAT (2013) é possível aceder aos dados medidos em tempo real da referida boia. No presente trabalho considerou-se os valores de 3 em 3 horas no período de 2009 e 2010.

#### ***4.1.4 Condições forçantes do modelo SWAN (Ondas e ventos)***

Inicialmente é necessário criar um arquivo com as previsões de ondas obtidas pelo modelo WWIII. Assim, retira-se do site <ftp://193.136.241.181/>, da Universidade dos Açores (com acesso mediante senha) os arquivos tab77 no ponto P2 (canto superior direito da Figura 34), esses se referem a parâmetros da agitação marítima, tais como a altura significativa de ondas, comprimento de onda, período, direção média e frequência e direção de pico a cada 1 hora ( Figura 39). Esses dados são atualizados a cada 12 horas.

Figura 39 - Exemplo do tipo de arquivo tab77.

Date	Time h m s	Hs (m)	L (m)	Tr (s)	Dir. (d.N)	Spr. (deg)	fp (Hz)	p_dir (d.N)	p_spr (deg)
20120515	1 00 00	2.726	74.3	6.66	65.9	29.30	0.1313	60.0	21.05
20120515	2 00 00	2.689	74.6	6.67	65.4	29.95	0.1313	59.9	20.97
20120515	3 00 00	2.627	74.7	6.67	64.7	30.39	0.1312	59.4	20.75
20120515	4 00 00	2.564	75.0	6.69	64.1	30.51	0.1311	59.3	20.57
20120515	5 00 00	2.499	75.3	6.70	63.5	30.51	0.1311	59.1	20.39
20120515	6 00 00	2.433	75.2	6.70	63.2	30.59	0.1313	59.1	20.40
20120515	7 00 00	2.367	74.8	6.69	63.3	30.72	0.1319	59.5	20.68
20120515	8 00 00	2.312	74.4	6.67	63.4	30.91	0.1327	59.8	21.18
20120515	9 00 00	2.270	74.2	6.66	63.4	31.17	0.1333	60.0	21.79
20120515	10 00 00	2.238	74.3	6.67	63.2	31.44	0.1336	60.2	22.38
20120515	11 00 00	2.210	74.4	6.68	63.0	31.77	0.1339	60.2	22.91
20120515	12 00 00	2.182	74.5	6.68	62.8	32.18	0.1341	60.0	23.41
20120515	13 00 00	2.155	74.5	6.69	62.4	32.60	0.1343	59.7	23.83
20120515	14 00 00	2.131	74.6	6.70	62.0	32.95	0.1342	59.3	24.14
20120515	15 00 00	2.108	74.8	6.70	61.6	33.19	0.1337	59.1	24.29

Fonte: Adaptado de ftp://193.136.241.181/tab77\_1205150.ww3, da Universidade dos Açores.

Esses arquivos referem a todo o domínio de cálculo do modelo WWIII. Em seguida, cria-se um arquivo.bat para extrair as características da agitação marítima (arquivo pontos\_2\_exp.txt) nos pontos que constituirão a fronteira do modelo SWAN, como indica a Figura 40, neste caso no ponto P2 da Figura 38.

Figura 40 - Representação do arquivo.bat responsável por extrair as características da agitação marítima.

```

retirar_previsoes_marco_abril.bat - Notepad
File Edit Format View Help
del pontos2_exp.txt

copy tab77_0903240.ww3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903250.ww3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903260.ww3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903270.ww3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903280.ww3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903290.ww3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

```

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Dotado desses arquivos, criou-se um programa em Fortran, denominado dados\_previsao\_77.f que é responsável por criar os arquivos de input com as previsões de ondas que serão inseridos no SWAM. Este programa encontra-se nos apêndices desta tese.

#### 4.1.5 Ventos

Um segundo passo é criar os arquivos de ventos aos 10 m que serão inseridos no SWAN. Esses arquivos são criados pelo modelo meteorológico regional de meso-escala MM5 (*The Fifth-Generation NCA/Penn State Mesoscale Model*) da Universidade dos Açores – Portugal (ESTEVEES et al., 2007; TOMÉ et al., 2005). Os dados necessários para a inicialização do MM5 foram obtidos a partir do modelo global AVN. Tal como as previsões do estado do mar, as previsões meteorológicas são feitas a 72 horas e este atualizadas todas as 12 horas.

Os arquivos encontram-se no site <ftp://193.136.241.181/>, da Universidade dos Açores (com acesso mediante senha). Este modelo acompanha a topografia, possibilitando a simulação ou previsão da circulação atmosférica no domínio da meso-escala ou da escala regional. As séries de dados incluem arquivos com lista de números equivalentes ao valor da velocidade do vento à altura de 10 m na sua respectiva componente, com um único arquivo para cada hora, como indica a Figura 41.

Os arquivos de ventos estão separados em duas componentes U10 e V10, pelo que para estarem de acordo com os parâmetros de entrada do SWAN, deverão constar de único ficheiro. Para tal, utilizou-se um programa desenvolvido em Fortran denominado `cria_u10_v10_new.f` para os meses de Janeiro a Setembro e `cria_u10_v10_new_meses101112.f` para os meses de Outubro a Dezembro, o qual irá neste arquivo criar um único arquivo UV. Estão indicados os valores de U10 e V10 a cada hora na zona de estudo, como pode ser visto como exemplo na Figura 42 que ilustra a velocidade do vento no dia 01 de janeiro de 2009 a 1h da manhã.

Figura 41 - Interface das medidas de U10 e V10 fornecidas pelo modelo MM5.

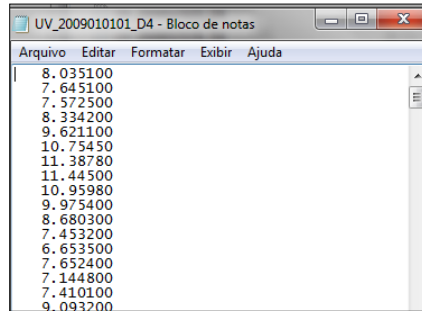


The screenshot shows the index of the FTP directory <ftp://193.136.241.180/Previsao/>. It lists 14 files, each with a name, size, and last modified date. The files are organized into two groups: PSLV (likely representing wind speed) and U10/V10 (representing wind components). Each group has four files corresponding to days D1, D2, D3, and D4.

Name	Size	Last Modified
PSLV_20101217_12_D1.TAR.gz	1171 KB	12/17/2010 4:19:00 PM
PSLV_20101217_12_D2.TAR.gz	188 KB	12/17/2010 4:23:00 PM
PSLV_20101217_12_D3.TAR.gz	429 KB	12/17/2010 4:32:00 PM
PSLV_20101217_12_D4.TAR.gz	968 KB	12/17/2010 5:44:00 PM
U10_20101217_12_D1.TAR.gz	1383 KB	12/17/2010 4:19:00 PM
U10_20101217_12_D2.TAR.gz	241 KB	12/17/2010 4:23:00 PM
U10_20101217_12_D3.TAR.gz	556 KB	12/17/2010 4:32:00 PM
U10_20101217_12_D4.TAR.gz	1264 KB	12/17/2010 5:44:00 PM
V10_20101217_12_D1.TAR.gz	1366 KB	12/17/2010 4:19:00 PM
V10_20101217_12_D2.TAR.gz	236 KB	12/17/2010 4:23:00 PM
V10_20101217_12_D3.TAR.gz	560 KB	12/17/2010 4:32:00 PM
V10_20101217_12_D4.TAR.gz	1297 KB	12/17/2010 5:44:00 PM

Fonte: Adaptado do site <ftp://193.136.241.180/previsao/>, da Universidade dos Açores.

Figura 42 - Representação do arquivo de velocidade do vento UV2009010101\_D4.dat.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Também relacionado com as características dos ventos a serem inseridos no modelo SWAN, necessita-se de uma lista com o nome de arquivo de ventos a serem utilizados pelo modelo. Um exemplo dessa lista é observada no Quadro 1.

Quadro 1 - Representação da lista de ventos.txt.

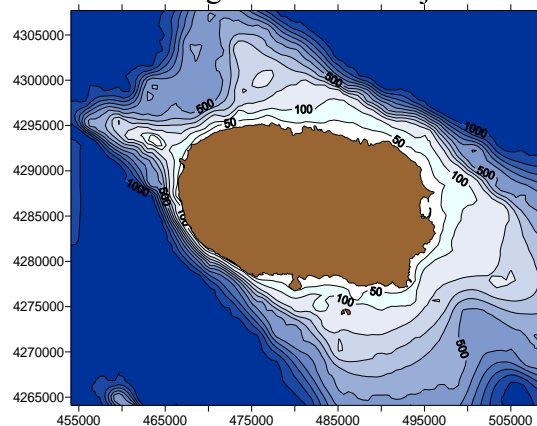
```
UV_2009010101_D4.txt
UV_2009010102_D4.txt
UV_2009010103_D4.txt
UV_2009010104_D4.txt
```

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.1.6 Batimetria

A batimetria da zona em estudo provém das cartas náuticas, à escala 1:75 000, publicada pelo Instituto Hidrográfico com o nº 46405 e o título “Arquipélago dos Açores” – Grupo Central, Ilha Terceira (planos dos portos de Angra do Heroísmo e da Praia da Vitória), como pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 - Batimetria na região marítima adjacente à Ilha Terceira



Fonte: Imagem cedida pelo Instituto Hidrográfico, Arquipélago do Açores.



#### 4.1.7 Domínio Computacional

Para os cálculos com o modelo SWAN, utilizaram-se três malhas como observado na Figura 36. As suas características estão descritas na Tabela 6. 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 no que se refere à qualidade da previsão.

Utilizaram-se também arquivos de batimetria progressivamente mais refinados para cada malha de cálculo, todos obtidos da carta náutica, à escala 1:75 000, publicada pelo Instituto Hidrográfico com o nº 46405 e o título “Arquipélago dos Açores – Grupo Central, Ilha Terceira (planos dos portos de Angra do Heroísmo e da Praia da Vitória)”. Os eixos x e y das malhas de cálculo são paralelos aos lados dessa carta.

As condições na fronteira da malha 1 proveem dos resultados das características da agitação marítima do modelo previsão à escala regional WAVEWATCH III em quatro pontos (P1 a P4, ver Figura 36) localizados nos cantos dessa malha, para o período de 2009 e 2010.

Como referido, uma análise prévia às previsões para estes quatro pontos permitiu verificar que o ponto com mais influência sobre a zona do Porto de Praia da Vitória é o ponto P2 (ver Figura 38). Assim, de modo a simplificar o processo de transferência entre os modelos WWIII e SWAN, consideraram-se os resultados obtidos por WWIII no ponto P2 sendo implementadas as condições de agitação previstas para este ponto em todos os pontos das fronteiras da 1ª malha do SWAN.

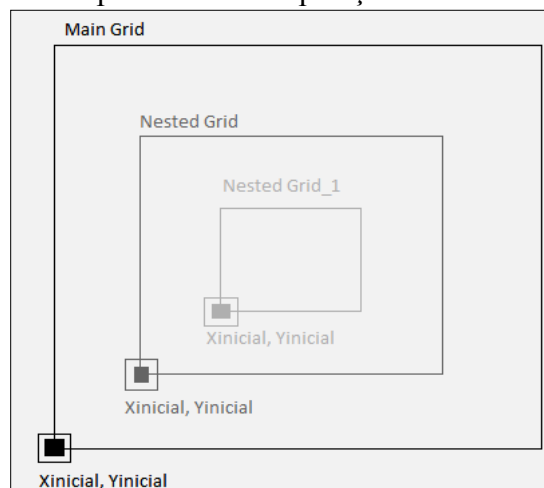
Os resultados da malha global fornecem as condições de fronteira para a 2ª malha aninhada (Nested Grid), e os resultados desta malha providenciam as condições de fronteira para a 3ª malha (Nested Grid\_1).

Tabela 6 -Características das malhas adotadas para o porto da Praia da Vitória.

	Main Grid1	Nested Grid	Nested Grid_1
X inicial	454100	492727	494318
Y inicial	4264100	4279924	4283636
Comprimento em X (m)	54800	10909	3333
Comprimento em Y (m)	43600	11515	4622
DX (m)	200	100	25
DY (m)	200	100	25
DX transferência de dados	100	25	-
DY transferência de dados	100	25	-

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 44 - Esquema representativo da posição das coordenadas das malhas



Fonte: Adaptado de Fortes, Pinheiro e Palha (2007).

Os arquivos de cada malha são fornecidos ao modelo SWAN e neles consta apenas o valor da cota do fundo em cada ponto dessa malha.

As simulações com o modelo SWAN foram feitas para o período de 2009 a 2010 em modo estacionário.

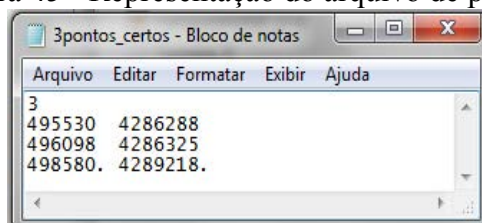
As principais características das simulações foram:

- A versão SWAN 40.72, sem considerar a interação com correntes;
- O espectro direcional caracterizado por um espectro em frequência de JONSWAP de 21 intervalos, de 0.04 a 0.5 Hz, com distribuição logarítmica, e uma discretização em direção que cobre 360°, dividida em 24 intervalos.
- Um coeficiente de arrebentação constante de 0.65 para o período total;
- Inclusão dos fenômenos físicos de difração, interação onda-onda tripla (TRIAD) e quádrupla (QUAD) e arrebentação induzida pelo fundo e por excesso de declividade (whitecapping). O atrito de fundo é introduzido segundo a expressão semi-empírica de JONSWAP.

O modelo SWAN, através da interface SOPRO, permite a visualização dos resultados do modelo em todos os pontos de cada uma das malhas, mas também em pontos específicos dessas malhas. No presente trabalho, escolheram-se dois pontos da malha 3 que correspondem a: um ponto em frente ao porto da Praia da Vitória (P1), que permite analisar as condições à entrada do porto, e um ponto coincidente com a posição da boia ondógrafo (P2\_Boia) que permite a comparação dos resultados obtidos com o modelo SWAN e dos dados recolhidos na boia (Figura 38), validando assim o modelo numérico utilizado.

O arquivo que é fornecido ao modelo SWAN para indicação desses pontos é do tipo .dat e nele consta a quantidade de pontos a serem analisados e suas respectivas coordenadas UTM. Um exemplo deste arquivo é representado na Figura 45.

Figura 45 - Representação do arquivo de pontos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Todas as condições de forçamento do modelo, as características das malhas utilizadas, dos arquivos de batimetria, o nome dos arquivos de output e outras variáveis necessárias à execução do modelo SWAN, fazem parte de um ficheiro de parâmetros “input”, o qual é construído automaticamente com o pacote de software SOPRO, (FORTES; PINHEIRO; SANTOS, 2008).

#### ***4.1.8 Programas Utilizados no Tratamento de Resultados***

Após a criação dos arquivos necessários para utilizar o modelo numérico SWAN, procedeu-se à realização dos cálculos numéricos, os quais forneceram entre outros resultados, os valores de  $H_s$  (altura significativa),  $T_p$  (período de pico) e  $\theta$  (direção de onda para a frequência de pico), com uma periodicidade de 3 horas, no período de 2009 a 2010, no ponto P2\_boia.

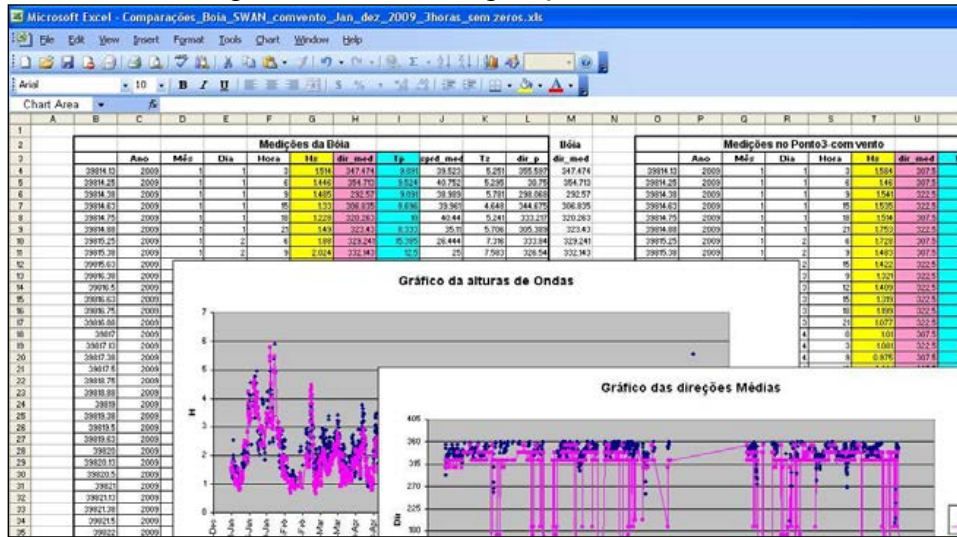
Dotado desses resultados, e afim de validar o modelo SWAN, primeiramente efetuaram-se comparações com os resultados obtidos pelo modelo na posição da boia. Por se tratar de 2 anos de dados (2009 a 2010), optou-se por fazer essas comparações com médias a cada 3 horas.

O primeiro passo foi criar os arquivos do SWAN e de WWII de 3 em 3 horas.

O segundo passo foi fazer as comparações entre dados da boia e dados do SWAN de 3 em 3 horas. Note-se que houve que eliminar os valores que não existiam em simultaneamente na boia e no SWAN.

A partir daí foi possível fazer as comparações entre dados das medições e dos dados do SWAN (Figura 46), tanto para  $H_s$ ,  $T_p$  ou  $Dir_{med}$ .

Figura 46 - Planilha representativa de comparações entre dados do SWAN e da Boia.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Além das comparações entre Boia e SWAN, efetuaram-se nesta tese análises estatísticas dos resultados obtidos por tal comparação.

Para a comparação dos resultados numéricos com resultados experimentais, são considerados, nesta tese, cinco parâmetros estatísticos (WILLMOTT et al., 1985). São eles o erro médio quadrático (RMSE), o índice de dispersão (SI) e os índices de concordância (IC), o Bias e o ID (índice de desempenho) dados pelas equações (44) a (49):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \tag{44}$$

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{x}} \tag{45}$$

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \tag{46}$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - x_i}{n} \tag{47}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2 \right)^{0.5}} \tag{48}$$

$$ID = IC * R \tag{49}$$

sendo  $x_i$  os valores de referência,  $y_i$  os valores dos modelos numéricos,  $\bar{x}$  é a média dos valores de referência e  $n$  é o número de pontos. Os índices de concordância variam de zero a um, sendo que quanto maior é o valor, maior é a concordância dos valores numéricos com os de referência. Enquanto que o erro médio quadrático e o índice de dispersão são valores de erro absoluto e relativo, respectivamente, sendo a concordância dos valores numéricos com os de referência tanto melhor quanto menor forem os valores.

O índice R representa a correlação entre os valores simulados e observados. O índice ID (índice de desempenho) representa o produto entre o índice de concordância IC e o índice de Correlação R.

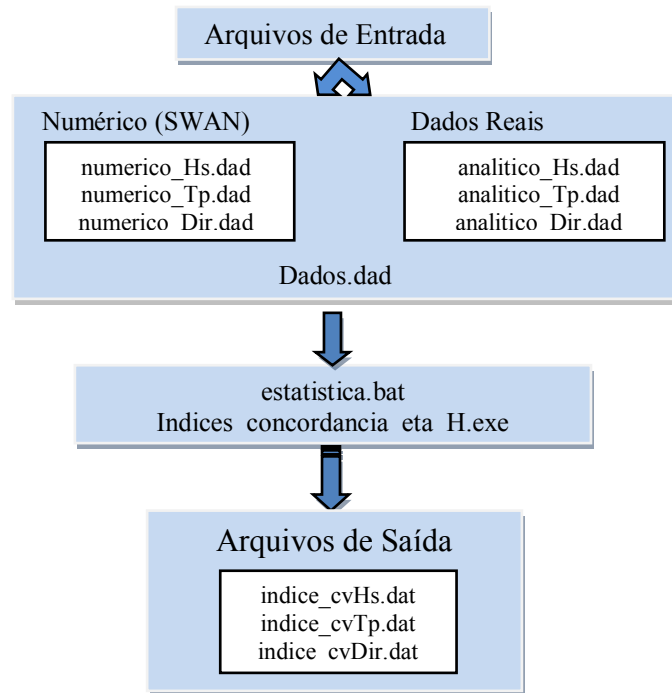
A análise estatística foi aplicada aos dados obtidos pelo SWAN e pela boia, isso com o intuito de analisar as precisões do modelo comparadas com os dados obtidos diretamente na boia. Para isso, utilizou-se dos programas de estatísticas, desenvolvidas no LNEC, "Indices\_concordancia\_eta\_H.exe" e "estatistica.bat".

Os arquivos de dados de entrada são:

- Os arquivos de resultados numéricos são os chamados "numericocv\_Tp.dad", "numericocv\_Hs.dad" e "numericocv\_Dir.dad",
- Os arquivos de dados da boia, "analitico\_Tp.dad", "analitico\_Hs.dad" e "analitico\_Dir.dad".
- O arquivo "dados.dad", que indica o número total dos registros de onda em todo o período estudado.
- Os arquivos de saída para esses programas são: "indice\_cvTp.dat", "indice\_cvHs.dat" e "indice\_cvDir.dat", onde o RMSE (Root Mean Square Error) e o IC (Índice de Concordância) para cada parâmetro estudado ( $H_s$ ,  $Dir$ ,  $t_p$ ) são encontrados. Um exemplo destes arquivos é encontrado nos Apêndices desta Tese.

A Figura 47 ilustra um fluxograma dos processos para a realização das análises estatística do SWAN x sensor de pressão.

Figura 47 - Fluxograma da análise estatística dos resultados SWAN e Boia.

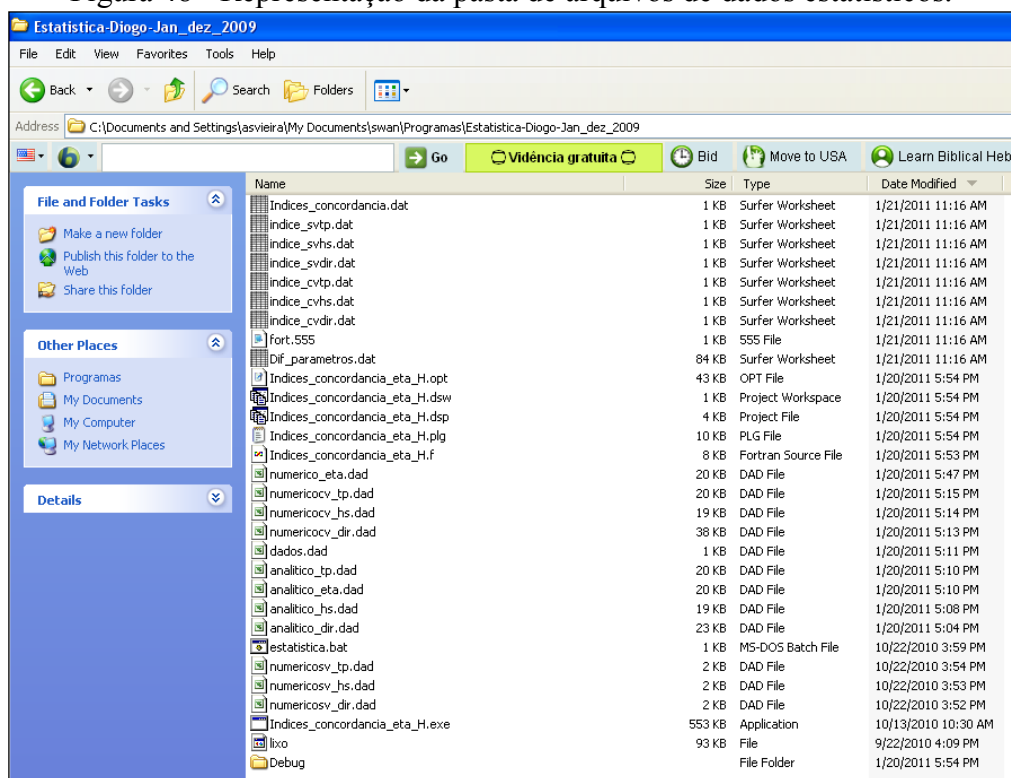


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os resultados obtidos mostram os parâmetros estatísticos utilizados para estudar o erro. Diretamente a partir dos arquivos do programa de saída obtém-se a raiz quadrada de erro, que é uma medida frequentemente utilizada das diferenças entre os valores previstos pelo modelo numérico e os valores efetivamente observados da Boia, e o Índice de Concordância, que toma os valores de 0 a 1, quanto maior for o valor, mais concordantes são os valores numéricos com os reais. Conhecendo o RMSE, também pode ser obtido o Índice de dispersão (SI), que relaciona o desvio dos valores com o significativo, tornando mais fácil comparar a exatidão dos valores diferentes para a mesma amostra.

Os arquivos de entrada seguem a nomenclatura: numericcv\_xx e analiticcv\_xx, em que xx indica o tipo de parâmetros que se esta a analisar ( $H_s$ ,  $T_p$  ou  $Dir_{med}$ ), como indica a Figura 48.

Figura 48 - Representação da pasta de arquivos de dados estatísticos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

No arquivo estatistica.bat estão as linhas de comando para a obtenção dos valores dos índices ( Figura 49).

Figura 49 - Representação do arquivo de estatística.

```

estatistica.bat - Notepad
File Edit Format View Help

copy numerico_cvdir.dad numerico.dad
copy analitico_dir.dad medicoes.dad
Indices_concordancia_eta_H.exe
copy RMSE_wilmott_MAE.dat indice_cvdir.dat
copy Indices_concordancia_numerico.dat estatistica_numerico_cvdir.dat

copy numerico_cvhs.dad numerico.dad
copy analitico_hs.dad medicoes.dad
Indices_concordancia_eta_H.exe
copy RMSE_wilmott_MAE.dat indice_cvhs.dat
copy Indices_concordancia_numerico.dat estatistica_numerico_cvhs.dat

copy numerico_cvtp.dad numerico.dad
copy analitico_tp.dad medicoes.dad
Indices_concordancia_eta_H.exe
copy RMSE_wilmott_MAE.dat indice_cvtp.dat
copy Indices_concordancia_numerico.dat estatistica_numerico_cvtp.dat

```

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os resultados gerados terão como resposta os arquivos (indicados na Figura 50).

Figura 50 - Representação dos resultados obtidos pelo programa  
Índices\_concordancia\_eta\_H.f

índice_cvtp.dat	1 KB	Surfer Worksheet
índice_cvhs.dat	1 KB	Surfer Worksheet
índice_cvdir.dat	1 KB	Surfer Worksheet
estatistica_numerico_cvtp.dat	1 KB	Surfer Worksheet
estatistica_numerico_cvhs.dat	1 KB	Surfer Worksheet
estatistica_numerico_cvdir.dat	1 KB	Surfer Worksheet
RMSE_Wilmott_MAE.dat	1 KB	Surfer Worksheet
Índices_concordancia_numerico.dat	1 KB	Surfer Worksheet
Dif_parametros.dat	84 KB	Surfer Worksheet

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 4.2 Lago da Barragem de Ilha Solteira – São Paulo – Brasil

### 4.2.1 Instalação e Operação dos Equipamentos (histórico das atividades desenvolvidas pela equipe do Ondisa1)

A instrumentação para aquisição de dados quando do início do projeto ONDISA inclui, um sensor de pressão e um anemômetro. O sensor de pressão Druck foi do modelo PDCR 1830, para até 50 psig, com não linearidade de 0,06% do fundo de escala, dotado de cabo de alimentação de 500 ft, com tubo de ventilação que fornecia a pressão atmosférica de referência. O anemômetro utilizado foi o da marca Young, modelo R.M.05103, com hélice de eixo horizontal e sensor de direção do vento acoplados num único medidor.

O equipamento disponível para comunicação de dados constava de duas estações remotas compostas de data-logger, sendo um CR10 e outro CR23X, rádio-modem, antena unidirecional, painel solar e bateria, alojados em caixa a prova de intempéries e uma estação base composta de antena omnidirecional, rádio-modem alimentado pela rede elétrica e interface RS232 para computador para recebimento dos dados, todos fornecidos pela Campbell.

A instalação dos sensores e a criação da ligação por rádio teve de atender a critérios condicionantes tais como a segurança dos equipamentos contra vandalismo e acessibilidade para manutenção, que acabaram por condicionar a opção pela instalação na estrutura da ponte rodoferroviária de Santa Fé do Sul.

A manutenção dessa ligação remota e os protocolos de aquisição de dados desenvolvidos são descritos neste item.

<sup>1</sup> ONDISA- Grupo de trabalho que estuda ondas geradas por vento em lagos de barragens – UNESP – Ilha Solteira.



A estação remota de aquisição de dados foi montada com o logger CR10-X, tripé para suporte do anemômetro, coletor solar para operação autônoma e sensor de pressão. Após discussão do assunto com os engenheiros da construtora, que na época ainda mantinha o canteiro de obras no local, decidiu-se pela instalação no pilar 12 da ponte, pela disponibilidade de área e por ser o único com acesso por terra a partir da ponte. O pilar 12 funciona como elemento para conferir rigidez, apoiado em 28 tubulões coroados por um bloco de amarração de grandes dimensões. A face voltada para a margem esquerda acomodava a cabine de força da ponte e a outra face estava livre. O nível da água oscilava entre 4 a 7 metros abaixo da base do pilar, num local com cerca de 9 a 12 metros de profundidade.

Após a decisão do local da instalação foi necessário obter ainda a anuência do DER, que já havia recebido a obra, embora a construtora ainda fosse responsável pelo canteiro.

A implantação contou com a participação de operários da construtora e de um mergulhador requisitado pelo projeto, além dos técnicos da UNESP, em três dias de trabalho. A instalação do suporte com o anemômetro consumiu um dia de trabalho, o sensor de nível com seu cabo guia o segundo dia e a instalação da antena da estação base um terceiro dia, aproveitando uma torre de comunicações do canteiro da obra.

O sensor de pressão foi instalado com ajuda de um cabo guia ancorado no fundo por um bloco de aço de 30kg, e que desce junto a um condutor de águas pluviais de aço galvanizado de 100mm, para dificultar sua visualização no trecho exposto do bloco de concreto da base do pilar. O cabo é suportado no nível da base do pilar por uma roldana instalada num suporte chumbado no concreto, o que permite a movimentação do cabo para manutenção do sensor. O sensor foi atado ao cabo com presilhas plásticas, o que permitiu variar a profundidade do sensor conforme o nível da água.

Posteriormente verificou-se que a operação autônoma do equipamento era dificultada pelo posicionamento do coletor solar, que recebia pouca incidência de luz para fazer frente ao alto consumo do rádio, utilizado quase continuamente. A construtora não aprovou uma proposta para reposicionamento do coletor na face norte do pilar, mas instalou-se no local uma fonte de tensão e uma bateria auxiliar, alojados na cabine de força da ponte.

Após a instalação dos sensores de vento e onda, a estação base foi localizada no próprio canteiro de obras da ponte rododiferroviária, para testes de funcionamento do equipamento e da velocidade de comunicação. Estabelecida a comunicação com a estação de aquisição e com a segunda estação remota, a intenção era transformar a base em repetidora, deslocando a base para Ilha Solteira.

Com o rádio base nesse local foram conduzidas as primeiras tentativas para estabelecer a ligação com o câmpus da FEIS, utilizando o data logger 21X e a segunda antena direcional como a segunda estação móvel. Para esses testes, após o direcionamento da antena a estação era chamada manualmente a partir da base na ponte, de forma que cada teste envolveu um trabalho de campo em duas etapas, sendo uma para instalar a estação móvel e posicionar a antena, seguindo-se o deslocamento até à base para operar manualmente o programa de comunicação. Nessa fase foram testados, sem sucesso, 3 locais, sendo o primeiro na Central de Laboratórios da Engenharia Civil, no câmpus da FEIS, outro numa estrutura sobre a barragem de Ilha Solteira e o último sobre o reservatório elevado do sistema de abastecimento de água de Ilha Solteira. Em nenhum desses locais foi possível estabelecer a comunicação.

Após esses testes iniciou-se um processo para localizar pontos possíveis para a instalação da repetidora em local intermediário. Para isso a estação base foi instalada na FEIS, realizando-se uma campanha de campo com a segunda estação, dotada de antena direcional. Em cada ponto testado, a antena era posicionada aproximadamente na direção da base e por meio de telefone celular era acionado o operador na base, que tentava contato manualmente com o programa de comunicação. Essa operação foi repetida várias vezes com reposicionamento da antena a cada tentativa. Foram testados vários pontos no caminho entre Ilha Solteira e Paranaíba, pela margem direita do rio e no retorno a Ilha Solteira via Santa Fé do Sul, pelo Estado de São Paulo. Embora conseguindo contato, não se identificou nessa campanha um local em que já existisse uma estrutura que pudesse ser aproveitada para a instalação da estação repetidora.

Nessa ocasião surgiu a proposta de utilizar as torres dos faróis de navegação da hidrovia. Assim, uma segunda campanha de campo foi realizada de barco, para testar o contato com os faróis São Martinho e Limoeiro, mantidos pela AHRANA, empresa responsável pela administração da hidrovia. Para essa campanha a configuração foi mudada, ficando uma estação remota no campus da FEIS e levando-se para o campo a estação base com antena omnidirecional. Para isso foi necessário utilizar um computador portátil para a base e adaptar o rádio base para alimentação por bateria, mas o processo ganhou agilidade, com o operador de campo verificando diretamente o estabelecimento do link e conferindo sua qualidade pelas estatísticas de falhas de comunicação fornecidas pelo programa. Além disso, podem ser testados simultaneamente as duas etapas do link, chamando alternadamente as estações remotas na FEIS e na Ponte.

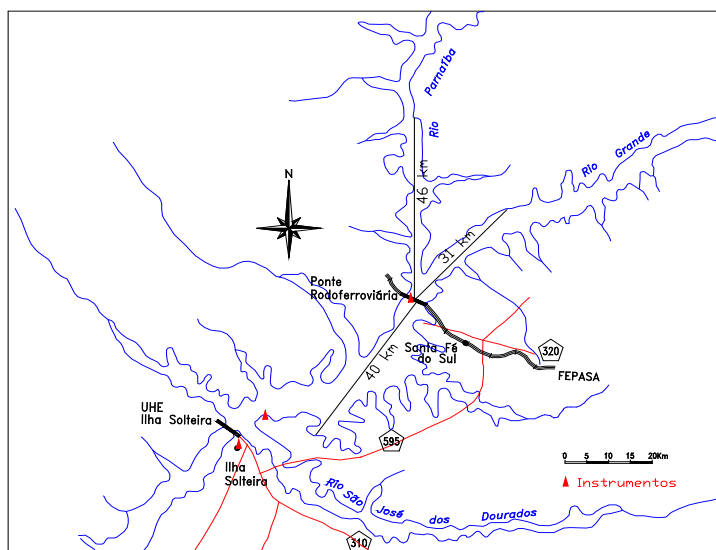
O resultado da comunicação foi positivo nos dois faróis, sendo escolhido o farol São Martinho devido a sua localização mais próxima, diminuindo o custo das viagens de barco para a manutenção dos equipamentos. Pesou também na escolha uma avaliação sobre as possibilidades de atenuação do sinal pelo vapor d'água ao longo da trajetória sobre a superfície do lago entre a ponte e o farol. Esse critério favorecia o farol São Martinho pois além da torre do farol Limoeiro ser menor, está localizada a baixa altura sobre o lago, enquanto que o outro situa-se no alto de um morro e possui uma torre maior.

A instalação definitiva da repetidora do farol São Martinho utilizou apenas o rádio-modem, instalado sem o data-logger, uma bateria auxiliar externa carregada pelo painel solar e a antena omnidirecional. Perceberam a necessidade de implantar uma pequena modificação no modem, uma vez que o mesmo foi fornecido para operar comandado pelo logger, necessitando de um comando do mesmo para entrar no modo de repetição. Realizaram um teste no aterramento do pára-raios da torre, bem como um extensão do suporte do para-raios para compensar a presença da antena.

Quando foi estabelecendo o link de comunicação, foi realizado outra campanha de campo, com medição da intensidade de campo do sinal transmitido e recebido. Nessa fase a antena da ponte foi redirecionada horizontalmente com informações de topografia e no eixo vertical com as informações sobre a intensidade de campo do sinal recebido na repetidora do farol.

A Figura 51 mostra um mapa do reservatório com a localização dos sensores e do repetidor de sinal em relação ao câmpus da UNESP.

Figura 51 - Reservatório da barragem de Ilha Solteira e localização dos instrumentos de aquisição e comunicação de dados.



Fonte: Adaptado de Unesp (2011).

### 4.2.2 *Programas de Aquisição de Dados*

As principais diretrizes dos programas de aquisição de dados foram a frequência de leitura e as velocidades de transmissão conseguidas pelo rádio. Como não eram disponíveis as informações fundamentais sobre a altura e período típicos das ondas a serem monitoradas decidiu-se por uma amostragem de dados contínua à maior velocidade possível que possibilitou a transmissão dos dados brutos, sem nenhum processamento remoto.

Esse trabalho foi facilitado pelo programa integrado de comunicação, edição e compilação de programas fornecido com o equipamento, que possui ferramentas de avaliação da quantidade de leituras necessárias para completar a memória disponível e do tempo de transmissão necessário.

Além disso foi considerado um fator de segurança para dificuldades de comunicação, pois a memória do tipo carretel era preenchida com dados novos independentemente da transmissão, o que poderia levar à perda de dados. Além dessas informações realizaram um teste na primeira fase do estabelecimento da ligação com a base no canteiro de obras, em que se conseguiu um fluxo contínuo em tempo real de cerca de 12 leituras por segundo.

Considerando todos esses fatores, estabeleceram um esquema de aquisição de pressão: 8 leituras por segundo e de dados de direção e velocidade de vento integrados a cada 5 segundos, a cada minuto era gerado uma linha com dia e hora e a cada 15 minutos o vento máximo do período. O programa de aquisição destes dados foi desenvolvido pelo membro da equipe de trabalho do Professor Dr. Milton Dall'Aglio Sobrinho e encontra-se no Anexo A.2 desta tese.

O Quadro 2 apresenta as informações relativas ao esquema de armazenamento de variáveis e de intervalos de leitura fornecidos pelo ambiente integrado de programação.

Quadro 2 - Esquema de armazenagem de variáveis do programa de aquisição.

Final Storage Label File for: VENTOND4.CSI Date: 6/7/2000 Time: 12:20:35
102 OuTput_Table 0.13 Sec 1 102 L 2 Prof_m L
104 OuTput_Table 1.00 Min 1 104 L 2 Day_RTM L

```

3 Hour_Minute_RTM L

203 OuTput_Table 5.00 Sec
1 203 L
2 vel_vento L
3 Dir_vent L

206 OuTput_Table 15.00 Min
1 206 L
2 vel_vento_S_WVT L
3 Dir_vent_DI_WVT L
4 Dir_vent_SDI_WVT L
5 vel_vento_MAX L
6 vel_vento_Hr_Min_MAX L
7 vel_vento_Sec_MAX L

209 OuTput_Table 1.00 Min
1 209 L
2 Day_RTM L
3 Hour_Minute_RTM L

Estimated Total Final Storage Locations
used per day 1443552.0

```

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O Quadro 3 apresenta um resumo da análise da temporização da execução do programa.

Quadro 3 - Resumo da análise da temporização da execução do programa.

```

Program Trace Information File for: VENTOND4.CSI
Date: 6/7/2000
Time: 12:20:35

Program Table 1 Execution Interval 0.125 Seconds
Table 1 Estimated Total Program Execution Time in msec 29.9 w/OuTput 34.2
Table 1 Estimated Total Final Storage Locations used per day 1386720.0

Program Table 2 Execution Interval 5.000 Seconds
Table 2 Estimated Total Program Execution Time in msec 52.7 w/OuTput 116.1
Table 2 Estimated Total Final Storage Locations used per day 56832.0
Estimated Total Final Storage Locations used per day 1443552.0

```

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Verifica-se no Quadro 3 que o tempo de execução do programa no caso mais crítico em que são executadas todas as saídas simultaneamente é de 116 milissegundos e que as leituras efetuadas a cada 125ms consomem 34ms para execução e transmissão, compondo uma temporização com folga suficiente.

O caso da armazenagem já não é tão simples em virtude da grande massa de dados gerados, capaz de preencher cerca de 22 vezes a memória. Com isso, a transmissão não podia falhar por mais de uma hora para não comprometer o fluxo de dados. O tempo de chamada da estação base para a transmissão dos dados foi ajustado inicialmente para 1 hora, com repetição em 30 minutos em caso de falha de comunicação, passando posteriormente para uma chamada a cada 10 minutos, com 3 tentativas de repetição a cada minuto em caso de falha na comunicação.

### **4.2.3 Tratamento dos Dados**

Os arquivos originais de dados foram salvos com o nome padronizado de DATBAKxx.DAT, com “xx” indicando o número do arquivo. O tratamento inicial para redução dos dados incluiu a criação de duas séries de arquivos padronizados descritos no Quadro 4, além dos originais.

Quadro 4 - Tipos de arquivos com dados das leituras de vento e onda.

DATBAKxx.DAT - dados originais, tamanho variável
DATPDxx.TXT - dados originais, agrupados em tamanhos padronizados
DATPDxx.RD1 - contém apenas as linhas de data/hora e de vento retiradas do arquivo DATPDxx.TXT pelo programa VENTO2
DATPDxx.RD2 - contém dados de data, hora/minuto, leitura mínima e máxima no intervalo, retirados do arquivo DATPDxx.TXT

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A estrutura dos dados nos arquivos é apresentada a seguir.

#### **DATBAKxx.DAT**

Os dados são separados por vírgulas. Cada linha corresponde a uma instrução de escrita do programa de aquisição. Cada linha inicia-se com o rótulo do comando que salvou dados no arquivo: a identificação do comando possui 3 dígitos, sendo o primeiro referente à tabela de execução (ver manual do logger) e os dois últimos indicam a linha do programa.

Os rótulos presentes no arquivo são os seguintes:

102 - pressão referente a altura de onda; 8 leituras por segundo

104 - data e hora; 1 a cada minuto

203 - dados de vento médio e direção; integrados a cada 5 segundos

209 - data e hora gravados pela tabela 2 de execução; 1 a cada minuto

206 - estatística de vento gerada pelo logger, a cada 15 minutos

O Quadro 5 apresenta um trecho do arquivo original com as características citadas em DATBAKxx.DAT

Quadro 5 - Exemplo dos dados brutos originais

102,1.536
102,1.534
104,166,1630
203,9.03,18.43
206,7.5,29.33,4.01,9.03,1630,.125
209,166,1630
102,1.536
102,1.539

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### **DATPDxx.TXT**

Esses arquivos seguem a mesma estrutura dos originais (DATBAKxx.DAT), apenas excluindo as linhas dos rótulos 209, que são dados redundantes, iguais aos das linhas 104. Possuem tamanho padrão, equivalente a 900 minutos de observação

#### **DATPDxx.RD1**

Contém dados com rótulos de vento e data retirados dos DATPDxx.TXT. São gerados pelo programa “Reduz3”, para serem usados como entrada no programa da estatística de ventos observados. O Quadro 6 apresenta um exemplo do conteúdo.

Quadro 6 - Exemplo do conteúdo dos arquivos tipo RD1.

104,159,1029 { OBS - Rótulo, Dia, Hora/Minuto }
203,18.42,62.74 { OBS - Rótulo, Velocidade, Direção }
203,19.05,58.51
. . . . . { OBS 12 rótulos 203 no original }
203,16.3,52.65
104,159,1030
203,18.7,67.64
206,18.84,53.59,9.67,23.99,1015,20 { OBS – vento max. ver manual logger }
203,18.2,67.25

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## DATPDxx.RD2

São arquivos gerados pelo programa “Reduz4”, com dados dos DATPDxx.TXT. Contêm em cada linha, Dia, Hora/Minuto, Número de leituras do intervalo, Leitura mínima, Leitura Máxima e Variação de leitura (Máx. - Mín.) no período. O número de pontos é usado como controle: se igual a 480, o intervalo é correto, se diferente, ocorreu anomalia na transmissão dos dados. Um exemplo do conteúdo dos arquivos tipo RD2 é dado no Quadro 7.

Quadro 7- Exemplo do conteúdo dos arquivos tipo RD2.

{Dia, Hora/Minuto, Num. Pontos Mínimo, Máximo Dif.}						
162	1120	540	1.550	1.569	0.0190	
162	1019	473	1.542	1.566	0.0240	
162	1020	480	1.553	1.562	0.0090	
162	1021	419	1.549	1.567	0.0180	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## EVENTOS.TXT

É um arquivo gerado pelo programa “Ajunta”, reunindo todos os eventos significativos identificados pelo “Acha3” em vários arquivos DaTpdxx.RD2, com base em critérios estatísticos. Cada linha contém a Data, Hora/Minuto, número de pontos, máxima diferença observada e arquivo DATPDxx onde se encontra o dado original. Um exemplo do conteúdo do arquivo Eventos.TXT é dado no Quadro 8.

Quadro 8- Exemplo do conteúdo do arquivo Eventos.TXT

274	411	480	0.107	29
274	412	97	0.114	29
274	1508	475	0.095	29
275	854	480	0.089	29

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para a identificação das frequências de ocorrência dos eventos significativos e identificação das maiores ondas o arquivo Eventos foi colocado em ordem decrescente segundo a altura de onda.

### 4.2.3 Programas Utilizados no Tratamento de Dados

Os programas utilizados para a redução e análise da grande massa de dados gerada foram desenvolvidos em Visual Basic pelo membro da Equipe Ondisa, professor Dr. Milton Dall’Aglio Sobrinho, seguindo a diretriz de arquivos de entrada e saída já apresentada no item anterior. Cada programa efetuava poucas operações com os dados, sendo empregados de



forma sequencial até produzir o resultado desejado. A seguir é apresentada uma lista dos programas e de suas funções básicas e entradas e saídas. A listagem dos códigos fonte dos principais programas é apresentada nos Anexos desta tese.

### **ARRUMA3**

Função - padroniza os tamanhos de arquivos

Entrada - arquivos DATBAKxx.DAT

Saída - arquivos DATPDxx.TXT

### **REDUZ3 - Sub ReduzirDados**

Função - seleciona a pressão máxima e mínima de cada minuto

cria arquivos apenas com os dados de vento

atua em um arquivo DATBAK de cada vez

Entrada - DATBAKxx.DAT; um de cada vez

Saída - DATBAKxx.RD1

Saída - DATBAKxx.RD2

Obs: não usado na fase definitiva, e sim o Reduz4

### **REDUZ4 - Sub ReduzirDados**

Função - seleciona a pressão máxima e mínima de cada minuto

Entrada - DATPDxx.TXT

Saída - DATPDxx.RD2

### **ACHA3 - Sub EncontraOnda**

Função - seleciona períodos com ondas acima de um determinado critério criado pelo programa com base nos dados lidos

Entrada - arquivos DATPDxx.RD2 (versão b)

Saída - arquivos ONDREDxx.TXT (versão a)

ONDASxx.TXT (versão b)

### **AJUNTA - Sub LeOndaReduzido**

Função - reúne todos os arquivos gerados pelo “Acha3” em um único arquivo

Entrada - Arquivos ONDREDxx.TXT (versão a)

Arquivos ONDASxx.TXT (versão b)

Saída - Arquivo EVENTOS.TXT

### **SELEC1**

Função - cria arquivos com dados de pressão dos intervalos indicados por ACHA3 localizados nos arquivos DaTpd

Entrada - arquivos DATPDxx.DAT e dia/hora/minuto desejado  
dia/hora/minuto fornecidos pelo arquivo EVENTOS.TXT

Saída - arquivos EVENTOxx.TXT

### **VENTO1 - Sub EncontraVentos**

Função - seleciona apenas dados de vento nos arquivos de dados brutos

Entrada - DATPDxx.TXT

Saída - DATPDxx.RD1

### **DIRVENT1**

Função - faz as médias de vento a cada minuto com dados a cada 5 segundos; os dados de “vento2” (rótulo 206) são apenas transcritos em arquivo de saída

Entrada - arquivos tipo DATPDxx.RD1;

Saída – arquivos VENTOxx.TXT com dia/hora/minuto e velocidade média e Direção no minuto

arquivos STVENTxx.TXT com as estatísticas horárias feitas pelo próprio logger – rótulo “206”; antes em cada linha vão os dados do dia e da hora/minuto.

### **DRVENT2.**

Função – calcula a distância percorrida em cada quadrante com as médias de vento a cada minuto fornecidas pelo DRVENT1

Entrada - arquivos VENTOxx.TXT com dia/hora/minuto e velocidade média e Direção no minuto;

Saída – arquivo OUTVENTO.TXT com cada linha dada por dia, minutos de dados, arquivo xx original, velocidade média do vento, velocidades em cada quadrante, % em cada quadrante.

### **TRATONDA**

Função - transformar os dados de cada evento em alturas de onda com a aplicação dos fatores de atenuação e constantes de correção da calibragem eventualmente existentes

Entrada - arquivos EVENTOxx.TXT

Saída - arquivos EVENTOxx.PRN

OBS – na versão para tempo real, operará diretamente nos dados brutos.

Além das rotinas de tratamento já expostas foi utilizado o software MathCad para efetuar a análise de frequência dos maiores eventos observados por meio de transformada rápida de Fourier, cuja codificação é apresentada também nos Anexos desta tese.

#### ***4.2.4 Metodologia Utilizada e Explorada Especificamente nesta Tese***

Descreve-se aqui todo o procedimento para executar as comparações de alturas significativas de ondas obtidas pelo espectro de onda do sensor de pressão com simulações numéricas feitas com o modelo SWAN alimentado pela batimetria local, intensidade e direção do vento.

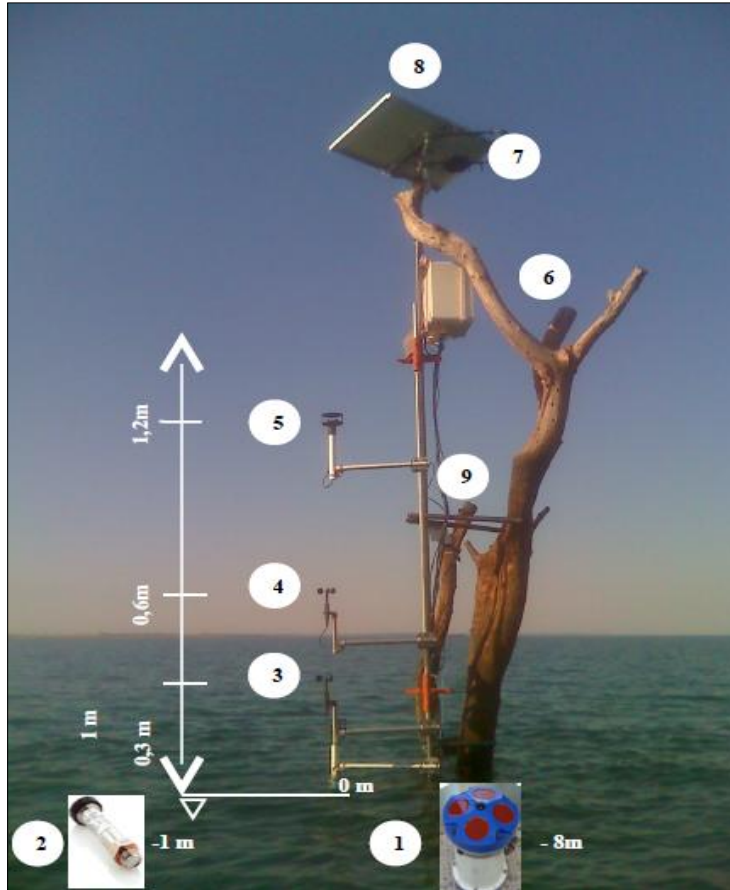
#### ***4.2.5 Coleta de dados de ventos e tratamentos***

Inicialmente foram coletados os dados de ventos fornecidos pelo anemômetro sonico2D a 1.2m de altura do nível da água, instalado na árvore de instrumentação instalado no lago da barragem ( Figura 52), onde vários equipamentos (sensores de pressão, anemômetros e outros) foram instalados para medir continuamente vento e as características de onda.

Um grupo desses instrumentos foram instalados na árvore de instrumentação localizada na latitude 20°20'49.07" e longitude 51°18'17.63", para medir o vento e as características de onda. Em detalhe, o equipamento implantado no interior do lago e perto da árvore consiste em (Figura 52 e 53 a) e b ): (1) um ADCP-Waves, que foi implantado a 8 m de profundidade, a 20 m de distância da base da árvore e conectados via cabo ao rádio localizado na caixa de instrumentação, (2) um transdutor de pressão (Druck), a qual foi implantado a 1 m de profundidade e ligado ao conjunto de dados do registrador / rádio localizado na caixa de instrumentação, (3 e 4). Anemômetros convencionais do tipo concha, que estão localizados em 0,3 e 0,6 m no topo da estrutura ligada à árvore, (5) um Anemômetro Ultrasônico 2D, que foi localizado no 1.2m de altura, (6) da caixa de instrumentação, que contém dados de rádio, baterias, etc; (7) Antenas para transmissão de

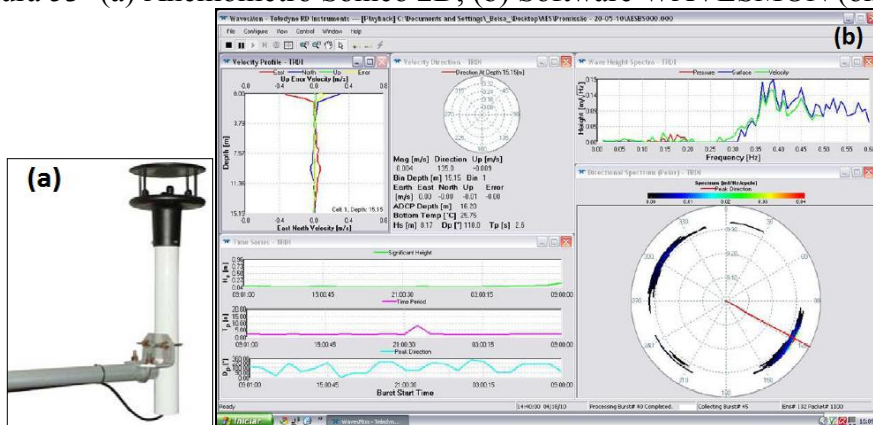
dados; (8) um sistema de painel solar de energia, 80w, (9) uma câmera de vídeo com baixo consumo de energia e alta resolução, para visualização de onda em tempo real.

Figura 52 - Árvore de instrumentação no lago da barragem de Ilha Solteira.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados da Equipe Ondas Gravitacionais do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, Ilha Solteira.

Figura 53- (a) Anemômetro Sônico 2D, (b) Software WAVESMON (onda).

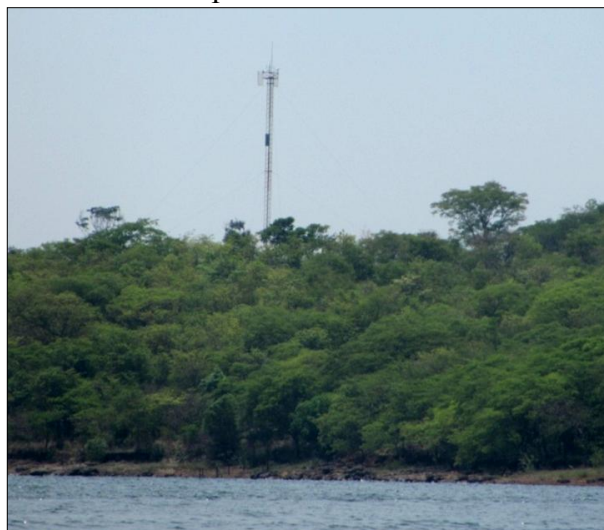


Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados da Equipe Ondas Gravitacionais do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, Ilha Solteira.

Por se tratar de uma topografia desfavorável entre a árvore de instrumentação e a estação base, localizada no laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, foi necessária

a utilização de uma torre repetidora para intermediar tal caminho e para isso foi utilizado a telemetria com rádios de espectro VHF de 900Mhz para assegurar a confiabilidade do link que seria estabelecido entre a torre de instrumentação e a estação base. Para isso, foi cedido para instalação da estação repetidora o Farol de São Martinho (Figura 54), de propriedade da AHRANA – Administração da Hidrovia do Paraná, localizado próximo (~ 3 km) do local onde se encontra a torre de instrumentação para coleta dos dados. A Figura 54 indica a torre no Farol de São Martinho.

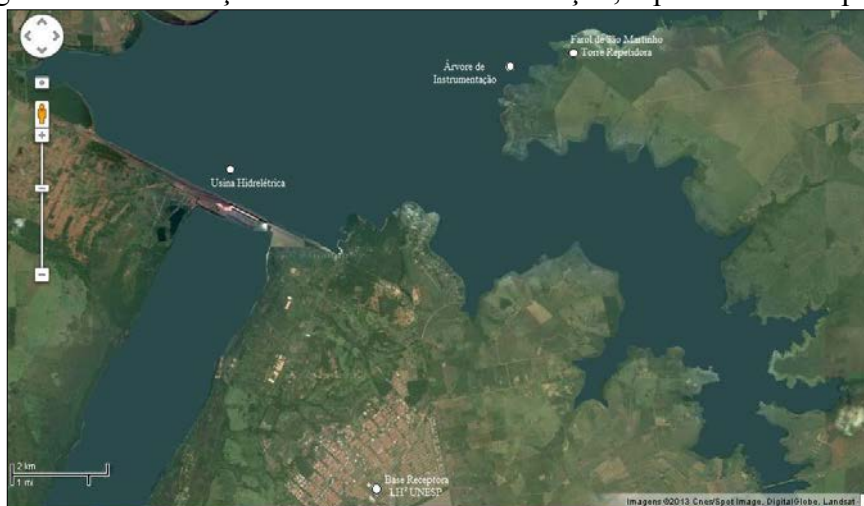
Figura 54 - Torre repetidora no Farol de São Martinho.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 55 apresenta a localização da torre de instrumentação para a aquisição simultânea de dados de vento e ondas sobre o espelho d'água do lago de Ilha Solteira, com acoplamento a um sistema de transmissão por link via rádio (Árvore – Farol São Martinho – Base Receptora LH<sup>2</sup> Unesp).

Figura 55- Localização da torre de instrumentação, repetidora e receptora.



Fonte: Adaptado do Google Maps (2013).

A Figura 56 mostra como são os dados brutos extraídos da árvore Campbell.

Figura 56 - Representação dos dados brutos de vento extraídos do anemômetro.

ventos_09_12_2010-15_12_2010 - Bloco de notas												
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda							48681	Sonic_2
TOAS	CR1000	Arvore	CR1000	13413	CR1000.Std.14	CPU:Torre	Ilha	2Dsonic_Druck5.cr1				
TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_speed_2	mean_wind_direction_2	wind_speed_2_wvc								
TS	RN	m/s	Deg	Deg								
	WVC	WVC	WVC	WVC								
09/12/2010	12:33:00	68657	1.3735	193.5639				7.428551				
09/12/2010	12:34:00	68658	1.713083			192.7177		7.748525				
09/12/2010	12:35:00	68659	1.519709			207.2322		5.65174				
09/12/2010	12:36:00	68660	1.522416			194.716	5.677714					
09/12/2010	12:37:00	68661	1.61682	201.0453				4.13393				
09/12/2010	12:38:00	68662	1.110375			203.2045		7.243413				
09/12/2010	12:39:00	68663	1.073625			217.1595		4.528079				
09/12/2010	12:40:00	68664	0.9171665			211.695	5.656516					
09/12/2010	12:41:00	68665	0.9538335			213.3749		5.094147				
09/12/2010	12:42:00	68666	0.6137084			210.8301		12.04131				
09/12/2010	12:43:00	68667	1.103834			188.2372		7.958919				
09/12/2010	12:44:00	68668	0.7624165			178.6356		9.669285				
09/12/2010	12:45:00	68669	0.4885	167.6534				13.88907				
09/12/2010	12:46:00	68670	0.7598335			176.7923		12.23521				
09/12/2010	12:47:00	68671	0.7648951			190.6245		7.612172				
09/12/2010	12:48:00	68672	0.8460003			216.4432		16.72888				
09/12/2010	12:49:00	68673	0.87975	221.8856				10.77475				
09/12/2010	12:50:00	68674	1.026208			215.9576		7.242867				
09/12/2010	12:51:00	68675	1.009917			217.0619		5.554369				
09/12/2010	12:52:00	68676	0.8149379			209.3669		9.776895				
09/12/2010	12:53:00	68677	0.8780834			230.63	10.43354					
09/12/2010	12:54:00	68678	0.9171246			228.7002		10.50723				
09/12/2010	12:55:00	68679	0.9794586			215.4375		7.201511				
09/12/2010	12:56:00	68680	0.8721337			224.4749		0				
09/12/2010	12:57:00	68681	0.9671662			227.2498		5.002867				

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.2.6 Metodologia utilizada para a construção da batimetria

Com auxílio do grupo de pesquisa de ondas gravitacionais da Unesp de Ilha Solteira, foi determinada a batimetria do Lago a qual trata de um levantamento hidrográfico que utiliza um conjunto de métodos e técnicas que visam cobrir uma determinada área aquática, por meio de um sistema de linhas de sondagem, dispostas regularmente. É realizada por uma embarcação que percorre estas linhas, medindo simultaneamente a profundidade do local e a suas coordenadas, resultando na expressão cartográfica de curvas semelhantes às curvas de nível topográficas.

Para a obtenção de dados de profundidade utiliza-se um sonar (ecobatímetro), que emite ondas sonoras numa determinada frequência, a qual ao se deparar com algum obstáculo é refletida e captada pelo instrumento, medindo a profundidade através do tempo de retorno da onda.

O posicionamento das coordenadas é feito por um GPS de boa precisão, que integrado ao computador, juntamente com o sonar, fornece os dados de cada ponto do traçado.

Foi usado um Ecobatímetro Navisound 205 (Figura 57), após um ajuste prévio de frequência (de acordo com a quantidade de interferências, causadas por algas e demais objetos no fundo do rio), para ler a distância vertical, da superfície da água até o fundo, de cada ponto da rota traçada pelo barco.

As coordenadas foram obtidas por um DGPS Max, que captou todos os pontos de localização geográfica ao longo do trajeto, com alta precisão. Este equipamento necessita de um intervalo de tempo de aproximadamente 30 minutos para ajuste de posição automático, preferencialmente estando em posição estagnada, visando a redução dos erros de leitura.

Figura 57 - Imagem do Ecobatímetro Navisound 205.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados da Equipe Ondas Gravitacionais do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, Ilha Solteira.

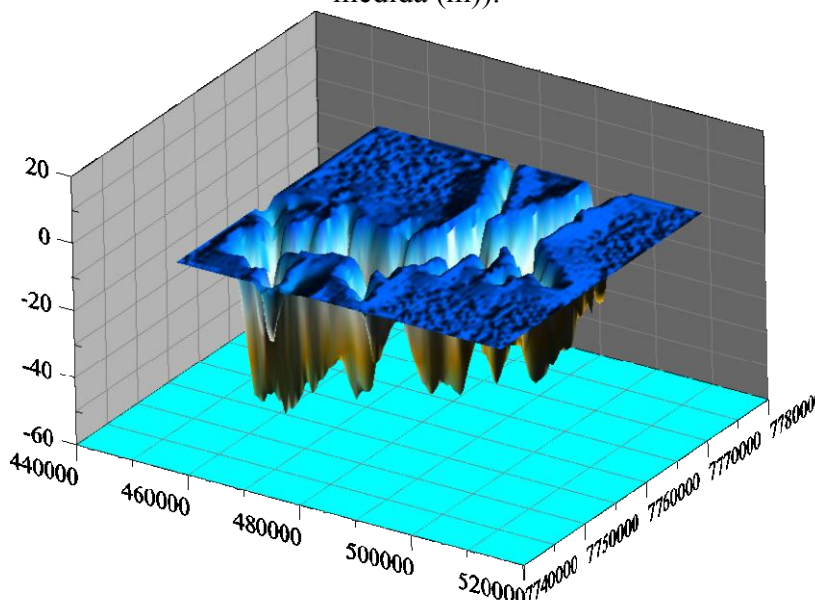
Figura 58- Imagem do DGPS Max – CSI Wireless.



Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados da Equipe Ondas Gravitacionais do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, Ilha Solteira.

Estes dados foram tratados e a partir de então foram organizados em 3 colunas,  $x, y$  e  $z$  onde  $z$  representa a profundidade,  $x$  as coordenadas UTM leste e  $y$  norte. Tomou-se como nível do lago a cota 326.5m que foi a mesma obtida pela equipe no momento do levantamento batimétrico. A Figura 59 indica o levantamento batimétrico 3D, feito no Software Grapher.

Figura 59 - Representação gráfica 3D da batimetria do Lago de Ilha Solteira (unidade de medida (m)).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.2.7 Metodologia utilizada para o cálculo de $H(f)$

Tomando como base a coleta de dados obtida a partir do sensor de pressão, o sinal de pressão é amostrado com uma frequência de 5 leituras por segundo e transmitido para a base juntamente com uma *string* identificadora da data, hora, minuto e segundo da leitura.

A primeira atividade da sequência de cálculo é a determinação da profundidade média do sensor. Esse cálculo é efetuado a cada minuto, ou seja, abrangendo uma amostra de 300 leituras.

A profundidade média de cada minuto é subtraída do sinal total, gerando o sinal de variação de pressão,  $X(i)$ , com  $i$  variando de 0 a 299.

Apenas a variação de pressão é submetida à transformada discreta de Fourier, gerando duas séries de 150 dados,  $ReX(k)$  e  $ImX(k)$ , correspondendo à parte real e a imaginária da transformada.

Com a profundidade total do local de instalação e com a imersão do sensor dada pela profundidade média é calculado o fator de correção  $H(f)$ , que depende de  $k$ , que por sua vez depende do comprimento de onda  $L$ . Para uma onda de águas profundas ( $d \gg L$ ):  $\tanh kd = 1$  e  $L = 1,5613 T^2$ . É utilizado um processo iterativo, partindo-se do valor de  $L$  para águas profundas. O processo termina quando a diferença entre dois valores do parâmetro  $k$  for menor que 0,0001, ou quando a convergência não é atingida em 20 iterações. A Figura 60 apresenta o trecho de código do processo para cálculo de  $H(f)$ .

Figura 60 - Trecho do código do processo para cálculo de  $H(f)$ .

```
' z = imersão ou recobrimento do sensor de pressão
' N = número de pontos (300)
tanhkd0 = 0.996
For f = 1 To N/2
    freq = f*SampleRate/N
    Ctel = Pi*2*g / (Pi*2*freq)^2
    Lx = Pi*2*tanhkd0
    kx = Pi*2/Lx
' processo iterativo para definir L e k
For ik = 1 To 20
    Lnovo = Ctel * tanh(kx * prof_local)
    knovo = Pi*2/Lnovo
    If (Abs(Lnovo - Lx)) >= 0.00001 Then
        Lx = Lnovo
        kx = knovo
    Else
        ik = 20
        Lx = Lnovo
        kx = knovo
    End If
Next ik
H2(f) = 1/(cosh(kx*(prof_local-z))/cosh(kx*prof_local))^2
If H2(f) > 10 Then H2(f)=10 ' limite filtra dias sem ondas
Next f
```



Com  $H(f)$  calculado, a correção é aplicada aos vetores  $ReX$  e  $ImX$ , sendo então chamada a transformada inversa. Após a inversão os dados ficam disponíveis em um vetor  $XC(i)$  e são também registrados em arquivo, juntamente com a informação sobre a data e hora.

O vetor de valores de onda  $XC$  é então ordenado em ordem decrescente e calcula-se a média dos maiores 100 valores a cada minuto. Essa média é armazenada no vetor  $Hs(j)$  com  $j$  correspondente ao minuto do dia sendo tratado. Ao final do dia, o processo repetiu-se 1440 vezes, produzindo o vetor de alturas significativas a cada minuto.

O protótipo do programa foi testado em planilhas Excel, usando macros codificadas em VBA, Visual Basic for Applications, com as entradas e saídas de resultados parciais diretamente na planilha como indica a Figura 61. Apesar do protótipo rodar em um esquema bastante ineficiente, pois o processo de escrever valores parciais nas células da planilha consome muito mais tempo que a gravação em arquivos texto, o tratamento completo de 1 dia de dados foi efetuado em cerca de 5 minutos num processador I5 de 3.2GHz rodando Windows7-64bits.

Figura 61 - Planilha de resultado da execução dos macros de cálculos das alturas significativas de ondas obtidas a partir do espectro de pressão.

Hora	Minuto	Segundo	Prof.	Delta	freq	1/H2	ReX(k)	ImX(k)	ReXC(k)	ImXC(k)	XC(i)	Hora	Minuto	Leitura	Profundidzmin	hmax	hmedio	hmax/hn complet	hs	
1	1	0	1.08436	0.00449			3.1E-14	0	3.1E-14	0	-0.05119	1	1	300	1.07626	-0.3216	0.32924	0.0399	9.53723	0.11086
1	1	0.2	1.0843	0.00443	0.01667	1.08362	0.04904	-0.00096	0.05314	-0.00104	-0.09361	1	2	300	1.07758	-0.26543	0.27465	0.04444	28.6346	0.12204
1	1	0.4	1.0843	0.00443	0.03333	1.08394	0.04228	-0.02339	0.04583	-0.02535	-0.04335	1	3	300	1.07813	-0.21511	0.2358	0.03523	7.08043	0.09653
1	1	0.6	1.07952	-0.00035	0.05	1.08334	0.01189	0.01388	0.0129	0.01506	0.05083	1	4	300	1.07889	-0.3219	0.30166	0.03455	6.88222	0.09604
1	1	0.8	1.07474	-0.00513	0.06667	1.08909	-0.03711	0.00648	-0.04041	0.00705	0.12919	1	5	300	1.07931	-0.28254	0.23539	0.03882	32.8698	0.10437
1	1	1	1.07474	-0.00513	0.08333	1.09688	0.01566	-0.04083	0.07178	-0.05408	0.15204	1	6	300	1.07858	-0.21407	0.21829	0.03526	6.69847	0.09568
1	1	1.2	1.07468	-0.00519	0.1	1.11068	0.00602	0.04997	0.00669	0.0555	0.08775	1	7	300	1.07698	-0.18623	0.17575	0.02594	33.3554	0.07056
1	1	1.4	1.07474	-0.00513	0.11667	1.1324	-0.01573	-0.02324	-0.01781	-0.02632	-0.03648	1	8	300	1.07417	-0.20121	0.20513	0.02618	30.2404	0.07015
1	1	1.6	1.0748	-0.00507	0.13333	1.16353	0.02667	0.00606	0.03104	0.00705	-0.16401	1	9	300	1.0736	-0.17137	0.17358	0.03424	16.8588	0.09084
1	1	1.8	1.08185	0.00198	0.15	1.2049	-0.01317	0.01109	-0.01587	0.01336	-0.20922	1	10	300	1.0739	-0.19718	0.19602	0.02748	7.35146	0.07621
1	1	2	1.08436	0.00449	0.16667	1.25682	0.065	0.04891	0.0817	0.06147	-0.14597	1	11	300	1.07297	-0.25352	0.24489	0.04096	7.64089	0.10781

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As macros utilizadas para este processo estão nos anexos desta tese.

Para um desempenho mais rápido no processamento destes macros, foi criado pela autora um macro denominado `Faz_tudo`, onde o mesmo executa todos os procedimentos de uma única vez, e além disso é possível calcular as médias das alturas significativas, máximas, médias e profundidades com intervalos de 1;5;10;30 minutos e 1 hora. Para tanto utilizou-se um painel de controle desenvolvido em Visual- Basic como indica a Figura 62.

Figura 62 - Painel de controle para cálculo de médias.

*** Painel de Controle ***		Hora no Tempo	Hora	Minuto	Profundidade	hmax	hmedio	hs
Cálculo das Médias		40553.0424	1	1	1.076255097	0.329244858	0.039901443	0.110862624
<input type="radio"/> 1 minuto <input type="radio"/> 5 minutos <input checked="" type="radio"/> 10 minutos <input type="radio"/> 30 minutos <input type="radio"/> 1 hora		40553.0431	1	2	1.07758353	0.274653187	0.04443897	0.120404829
Geração Gráfica		40553.0438	1	3	1.078125237	0.235803379	0.035233731	0.096526178
<input type="text" value="1min"/> <input type="text" value="5min"/> <input type="text" value="10min"/> <input type="text" value="30min"/> <input type="text" value="1hora"/>		40553.0444	1	4	1.078808663	0.201627528	0.034550377	0.09694335
Formatar tabelas		40553.0451	1	5	1.079314423	0.235387017	0.038824811	0.104371445
		40553.0458	1	6	1.078578203	0.218292171	0.035263853	0.095678754
		40553.0465	1	7	1.07697597	0.175747649	0.025944421	0.070561339
		40553.0472	1	8	1.07417496	0.205125286	0.026176075	0.070153792
		40553.0479	1	9	1.073604053	0.17357639	0.034243371	0.090842112
		40553.0486	1	10	1.07389637	0.196023995	0.027482543	0.076213879
		40553.0493	1	11	1.072974017	0.244892384	0.040964221	0.107806755
		40553.0500	1	12	1.072305583	0.307871659	0.042803875	0.117108179
		40553.0507	1	13	1.0725634	0.183960829	0.026630238	0.074410734
		40553.0514	1	14	1.072047087	0.228464043	0.031851372	0.086880152
		40553.0521	1	15	1.071613793	0.196389938	0.023775674	0.067894793
		40553.0528	1	16	1.071486527	0.173854941	0.023821552	0.06748811
		40553.0535	1	17	1.070983053	0.169606778	0.020563788	0.063487334
		40553.0542	1	18	1.07008595	0.242186458	0.032262493	0.088918499
		40553.0549	1	19	1.067494737	0.154364295	0.030879346	0.081382841
		40553.0556	1	20	1.06643456	0.255582834	0.031750932	0.086608416
		40553.0563	1	21	1.065505467	0.198179889	0.035303978	0.09343177
		40553.0569	1	22	1.06484259	0.157637276	0.030473654	0.081239616
		40553.0576	1	23	1.063330987	0.219628235	0.033521234	0.089846704
		40553.0583	1	24	1.065572063	0.23546416	0.037389938	0.0989677

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O programa denominado Faz\_tudo elaborado pela autora, utiliza-se dos macros desenvolvidos pelo professor Dr. Milton Dall'Aglio Sobrinho como parte das rotinas. Os programas utilizados são: Corrige, Reduz4 e Macro1, os quais estão todos descritos no desta tese.

Através destes programas foi possível determinar as alturas significativas, médias e máximas de ondas para um período de 6 meses (outubro de 2010 a março de 2011) na localização do sensor de pressão, cujos estudos de casos estão mostrados no capítulo de resultados.

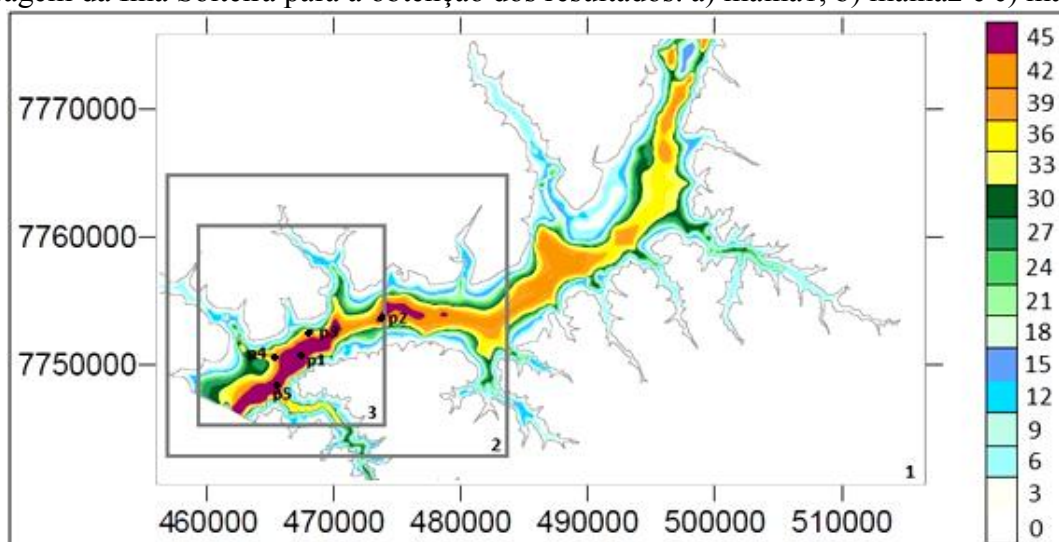
Com os resultados de alturas significativas de ondas obtidos pelo espectro de ondas adquiridos pelo sensor de pressão, passou-se para a segunda etapa deste processo, onde, através de dados de ventos (coletados no mesmo período) obtidos pelo anemômetro 2D sônico instalado no lago, se utilizou o modelo numérico SWAN a fim de determinar as alturas significativas de ondas a fim de fazer comparações entre dados experimentais e numéricos com o intuito de validar o modelo para recintos fechados.

#### 4.2.8 Discretização do domínio de cálculo

O domínio de cálculo do modelo SWAN foi discretizado através de três malhas retangulares, uma que cobre toda a região do lago da barragem de Ilha Solteira, Figura 63. A malha maior (global) possui as dimensões 54km por 33km, e é composta de unidades quadrangulares de 1000m de lado. A 2ª malha (aninhada) foi definida com uma resolução de

500 m, cobrindo um retângulo de 26,6 km por 18,4 km. A 3ª malha (aninhada) foi definida com uma resolução de 250 m, cobrindo um retângulo de quadrado de 14,8 km por 14,3 km. Na malha aninhada foram definidos 5 pontos P1 a P5, onde se extraíram resultados das execuções do SWAN (Figura 63).

Figura 63 - Definição das malhas do modelo SWAN e localização dos pontos no lago da barragem da Ilha Solteira para a obtenção dos resultados: a) malha1, b) malha2 e c) malha3.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 7- Características das malhas utilizadas na simulação com o SWAN.

Malha	X inicial	Y inicial	Nº. DX	Nº. DY	DX (m)	DY (m)
1	456680	7741700	58	33	1000	1000
2	457220	7744520	53	34	500	500
3	459329	7745690	58	57	250	250

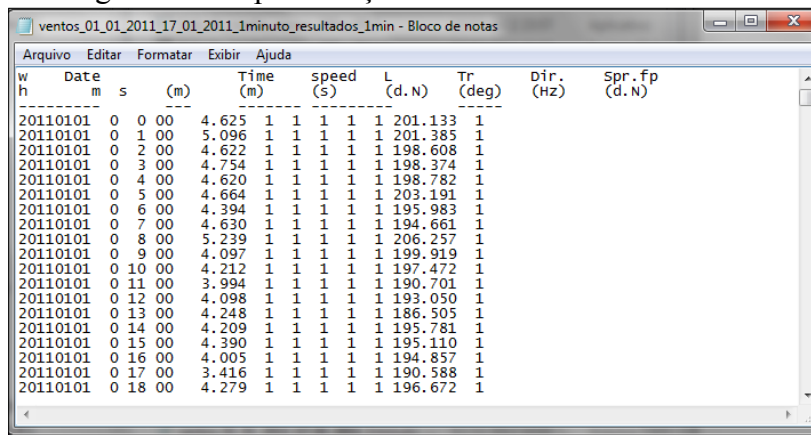
Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.2.9 Condições de vento e parâmetros gerais do modelo

As condições de forçamento do modelo SWAN foram os dados de vento obtidos no anemômetro a 10 m. Esses dados de vento foram tratados de modo a serem lidos pelo modelo SWAN.

O programa utilizado para criar o arquivo de ventos de acordo com a leitura do SWAN é o `media_vento` que se encontra no anexo desta tese. Executando este programa, temos a seguinte planilha de dados (Figura 64) onde podemos ver o ano, mês, dia, hora, minuto, segundo, intensidade e direção do vento; os parâmetros de valor 1 são valores que não são lidos pelo SWAN.

Figura 64 - Representação de dados tratados de vento.



w	Date	Time	speed	L	Tr	Dir.	Spr.fp			
h	m	s	(m)	(S)	(deg)	(Hz)	(d.N)			
20110101	0	0	00	4.625	1	1	1	1	201.133	1
20110101	0	1	00	5.096	1	1	1	1	201.385	1
20110101	0	2	00	4.622	1	1	1	1	198.608	1
20110101	0	3	00	4.754	1	1	1	1	198.374	1
20110101	0	4	00	4.620	1	1	1	1	198.782	1
20110101	0	5	00	4.664	1	1	1	1	203.191	1
20110101	0	6	00	4.394	1	1	1	1	195.983	1
20110101	0	7	00	4.630	1	1	1	1	194.661	1
20110101	0	8	00	5.239	1	1	1	1	206.257	1
20110101	0	9	00	4.097	1	1	1	1	199.919	1
20110101	0	10	00	4.212	1	1	1	1	197.472	1
20110101	0	11	00	3.994	1	1	1	1	190.701	1
20110101	0	12	00	4.098	1	1	1	1	193.050	1
20110101	0	13	00	4.248	1	1	1	1	186.505	1
20110101	0	14	00	4.209	1	1	1	1	195.781	1
20110101	0	15	00	4.390	1	1	1	1	195.110	1
20110101	0	16	00	4.005	1	1	1	1	194.857	1
20110101	0	17	00	3.416	1	1	1	1	190.588	1
20110101	0	18	00	4.279	1	1	1	1	196.672	1

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O programa `média_vento`, é responsável por organizar as planilhas de ventos, realizar as correções de altura de vento de acordo com a posição do anemômetro, bem como fazer as médias dos ventos. Nesta tese, foram utilizadas correções de altura do vento a 1,2m e médias a cada 1minuto.

Para os cálculos do SWAN, o espectro direcional foi definido a partir da discretização de um espectro em frequência contendo 21 intervalos, de 0,070 a 2,0 Hz, com distribuição logarítmica, e de uma discretização em direção cobrindo os 360°, dividida em 144 intervalos ( $\Delta\theta = 2,5^\circ$ ).

Todas as execuções foram realizadas com a versão 40.72 do SWAN e os fenômenos físicos incluídos foram refração, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (whitecapping), interações entre tríades de ondas (triad wave-wave interactions) e a geração de harmônicas (frequency shifting).

Para tais condições, foram efetuados os cálculos com o modelo SWAN para as condições de vento de outubro de 2010 a março de 2011 e obtiveram-se as características da agitação no lago nos pontos assinalados P1 a P5 (ver Figura 63), onde o Ponto5 representa a posição da árvore instrumental de onde foram coletados os dados de vento e ondas. Quanto ao tempo necessário ao cálculo, uma simulação do SWAN com uma malha (a 1ª malha assinalada na Figura 63) demora cerca de 40s enquanto que com as três malhas de cálculo mencionadas acima uma simulação demora tipicamente 120 segundos. Meio ano de simulações equivalem a 708 simulações e cerca de 24h, utilizando 3 malhas aninhadas.

Para a execução do modelo numérico SWAN, foram necessários a criação de alguns arquivos de entrada, como a batimetria do lago, pontos a serem analisados (foram escolhidos 5 pontos onde 1 deles (ponto 5) representa a posição georeferenciada da árvore de (latitude 20020'49 .07" e longitude 51018'17 .63");( lembrando que é necessário a conversão das

coordenadas geográficas para UTM para sua introdução no SWAN). Para esta transformação de unidades de medida foi utilizado o site: <http://www.carto.eng.uerj.br/cgi/index.cgi?x=geo2utm.htm>, onde se colocou a coordenadas em latitude e longitude e obteve-se UTM. Feito isso as novas coordenadas são: Norte: 7750072.758989 ; Leste : 468164.456335.

#### ***4.2.10 Metodologia utilizada para a construção das malhas***

Em posse das metodologias do item 4.2, realizaram-se comparações das alturas significativas de ondas obtidas pelo espectro de pressão devidamente transformadas com alturas significativas de ondas determinadas pelo SWAN alimentado da batimetria, intensidade e direção dos ventos. Tais estudos estão inseridos no capítulo de Resultados.

## 5 RESULTADOS

Neste item, têm-se os estudos obtidos, num primeiro momento em águas abertas, realizado no Porto da Praia da Vitória, Açores – Portugal, tomando como alvo as alturas significativas, período médio das ondas e direções de pico no período de 2 anos (2009-2010) utilizando o modelo SWAN a partir dos dados obtidos pelo WWIII e comparados com dados obtidos pela Boia-Ondógrafo, bem como análises estatísticas dos mesmos.

Num segundo momento, em águas restritas, testes numéricos foram realizados no Lago da Barragem de Ilha Solteira – São Paulo Brasil, onde foram feitas as previsões de ondas utilizando o modelo SWAN para um período de 6 meses (outubro de 2010 a março de 2011), efetuaram-se comparações entre medidas de alturas significativas de ondas obtidas pelo sensor de pressão e aplicação do modelo numérico SWAN a partir de dados de ventos obtidos através de um anemômetro 2D sônico instalado no lago.

### 5.1. O Porto da Praia da Vitória

#### 5.1.1 Situação I - Sem vento

Os resultados apresentados a seguir são referentes à utilização de apenas 1 malha e sem a influência do vento. Efetuaram-se as seguintes simulações para cada uma das análises:

Análise da influência da altura de onda, para as seguintes condições de agitação marítima incidente:

- a) Caso 1:  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 260^\circ$ ;
- b) Caso 2:  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 5m$ ,  $Dir = 260^\circ$ .
- c) Caso 1:  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 320^\circ$ ;
- d) Caso 2:  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 5m$ ,  $Dir = 320^\circ$ .

Análise da influência da Direção de onda, para as seguintes condições de agitação marítima incidente:

- a) Caso 1:  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 260^\circ$ ;
- b) Caso 2:  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 320^\circ$ .
- c) Caso 1:  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 260^\circ$ .
- d) Caso 2:  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 320^\circ$ .

Análise da influência do período de onda para as seguintes condições de agitação marítima incidente:

a) Caso 1:  $t_p = 15\text{s}$ ,  $H_s=2\text{m}$ ,  $Dir=320^\circ$ .

b) Caso 2:  $t_p = 13\text{s}$ ,  $H_s=2\text{m}$ ,  $Dir=320^\circ$ .

Evolução das características da agitação marítima ao longo de 10 horas no dia 01 de Janeiro de 2009.

Evolução das características da agitação marítima ao longo dos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009

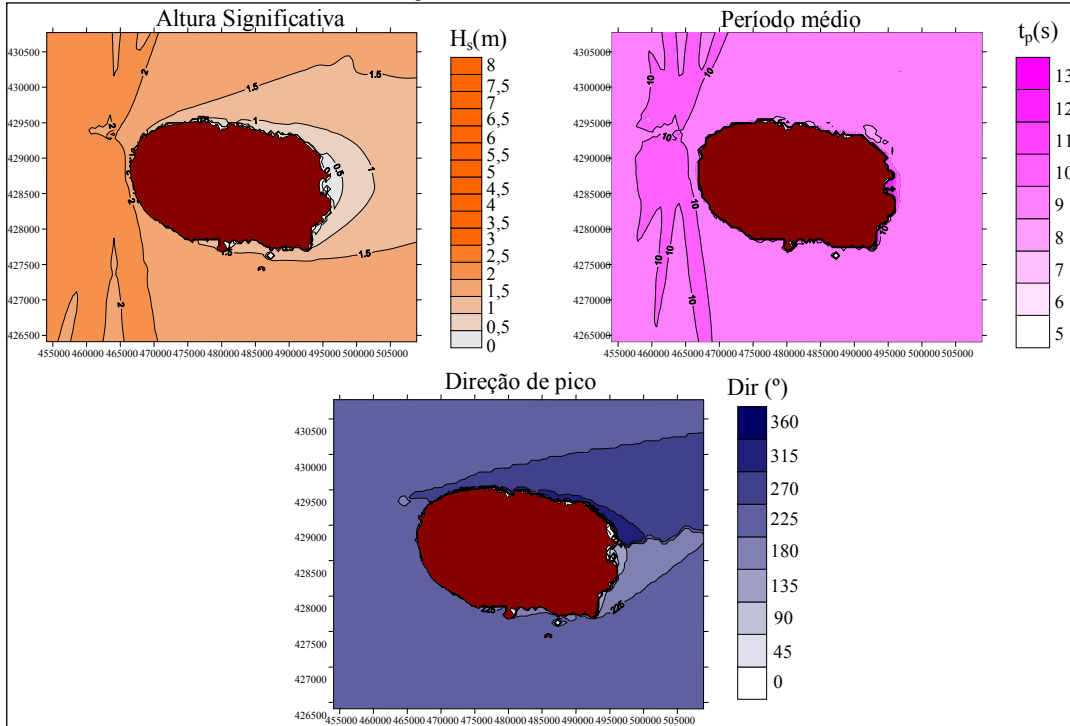
Para as cinco primeiras análises, os resultados consistem nos valores da altura significativa ( $H_s$ ), Período médio ( $t_p$ ) e Direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à primeira malha. Na última análise, os resultados consistem na série temporal de valores de  $H_s$  e  $Dir$  num ponto em frente ao porto, durante 10 horas do dia 01 de Janeiro de 2009 e nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009.

#### *5.1.1.1 Análise da influência da altura de onda*

Nas Figuras 65 e 66 apresentam-se os resultados da altura significativa ( $H_s$ ), Período médio ( $t_p$ ) e Direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à primeira malha, para as condições de agitação marítima seguintes:

a) Caso 1:  $t_p=13$  s,  $H_s=2$  m,  $Dir=260^\circ$ ;

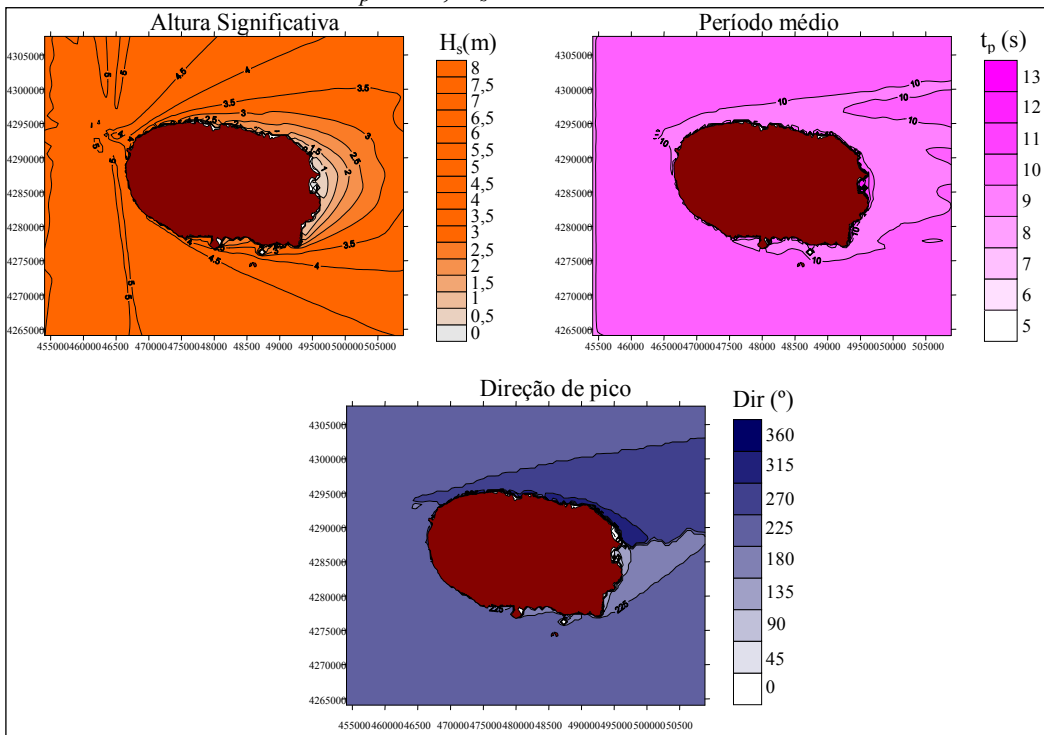
Figura 65 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p=13$ s,  $H_s=2$ m e  $Dir=260^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

b) Caso 2 :  $t_p=13$  s,  $H_s=5$  m,  $Dir=260^\circ$ .

Figura 66- Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p=13$ s,  $H_s=5$ m e  $Dir=260^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.



Da análise das Figuras 65 e 66 observa-se que para qualquer das alturas de onda incidentes, vale registrar:

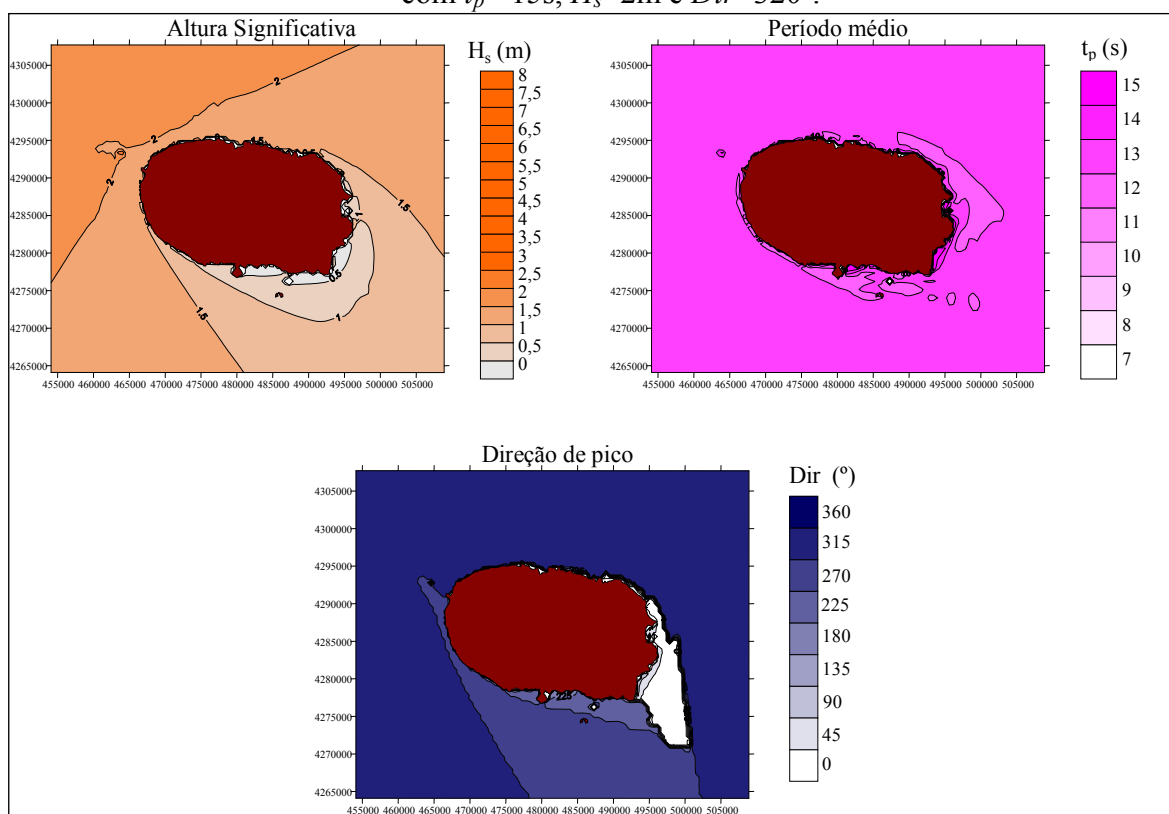
Para a direção de onda de  $260^\circ$  e  $t_p = 13$  s, a zona do porto da Praia da Vitória encontra-se abrigada à agitação incidente. Com efeito, dá-se uma redução significativa da altura de onda desde o largo até essa zona. Essa redução é proporcional à altura de onda incidente. Portanto, o modelo tem um comportamento quase linear.

Uma rotação significativa das direções de onda em torno da Ilha, devido à refração e difração.

Nas apresentam-se os resultados da altura significativa ( $H_s$ ), Período médio ( $t_p$ ) e Direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à primeira malha, para as condições de agitação marítima seguintes:

a) Caso 1:  $t_p = 15$ s,  $H_s=2$ m,  $Dir=320^\circ$ ;

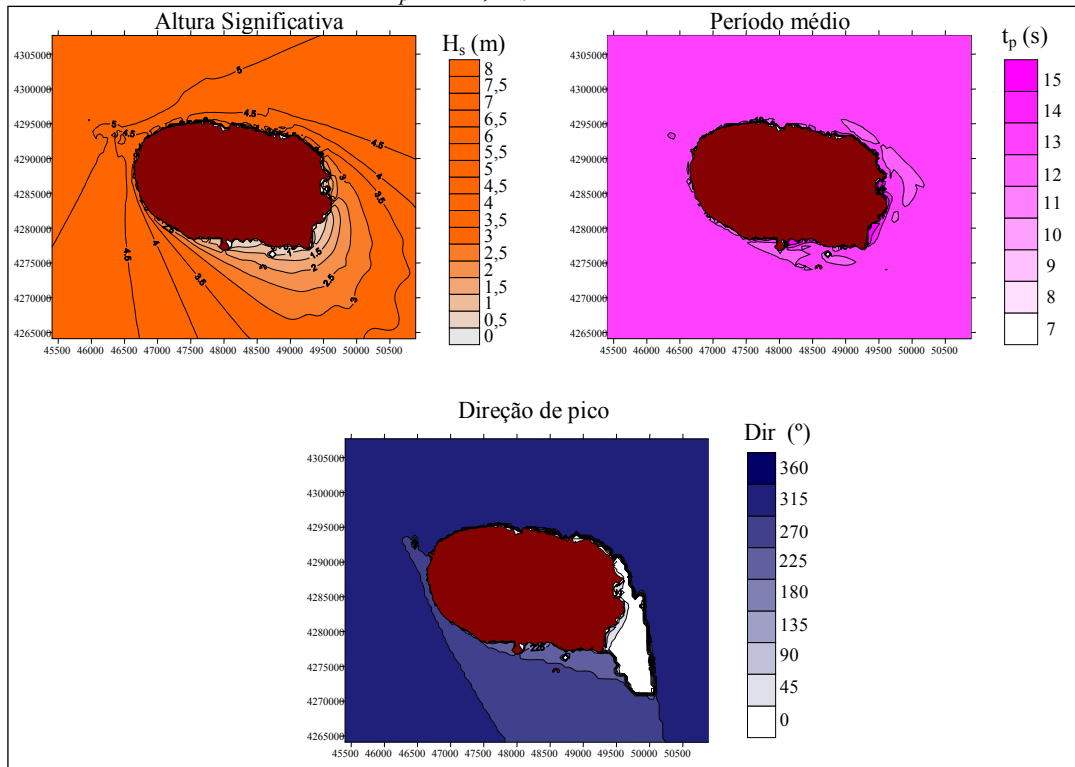
Figura 67 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 15$ s,  $H_s=2$ m e  $Dir=320^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

b) Caso 2:  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 5m$ ,  $Dir = 320^\circ$ ;

Figura 68 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 5m$  e  $Dir = 320^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Da análise das Figuras 67 e 68 observa-se que para qualquer das alturas de onda incidentes:

Para a direção de onda de  $320^\circ$  e  $t_p = 15s$ , a zona do porto da Praia da Vitória tem uma menor proteção a agitação incidente quando comparada com um ângulo de incidência de  $260^\circ$ . Com efeito, dá-se uma redução significativa da altura de onda desde o largo até essa zona. Essa redução é proporcional à altura de onda incidente. Portanto, o modelo tem um quase comportamento linear.

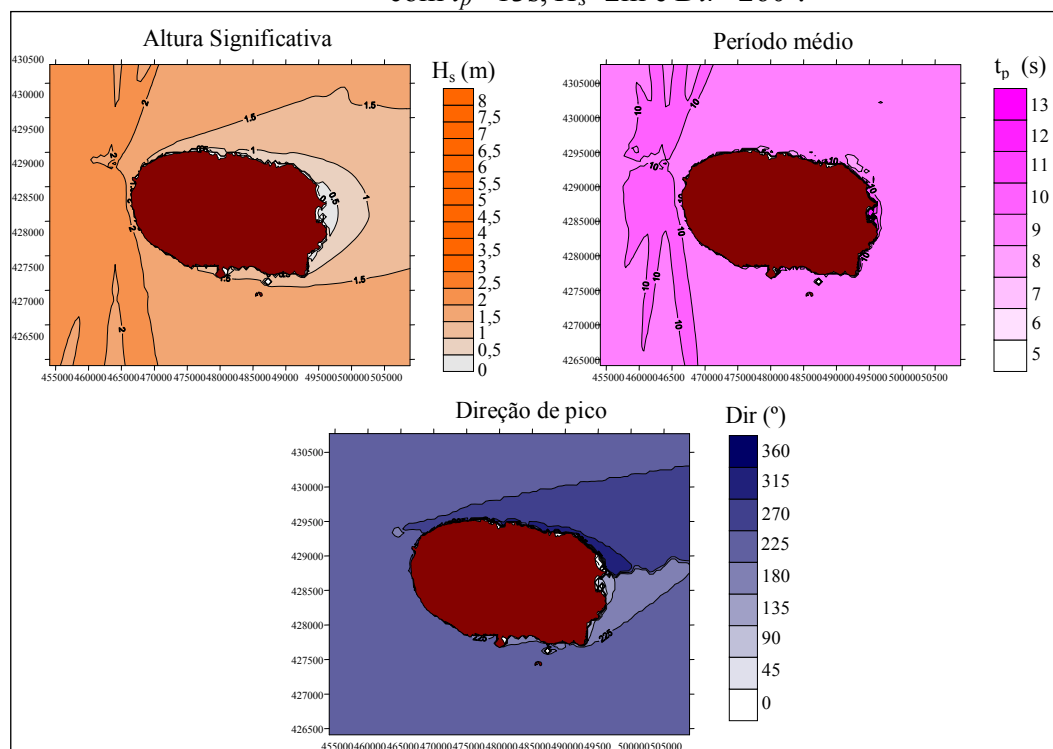
Uma rotação significativa das direções de onda em torno da Ilha, devido à refração e difração.

### 5.1.1.2 Análise da influência da direção da onda

Nas Figuras 69 e 70 apresentam-se os resultados da altura significativa ( $H_s$ ), Período de médio ( $t_p$ ) e Direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à primeira malha, para as condições de agitação marítima seguintes.

a) Caso 1:  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 260^\circ$ ;

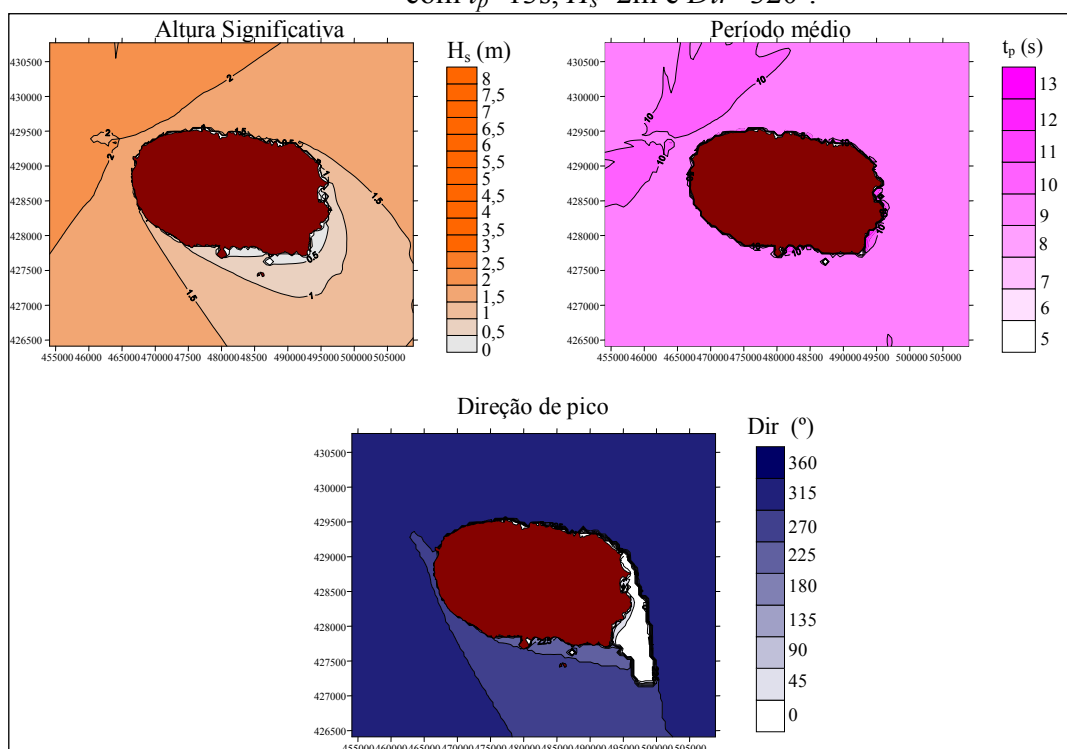
Figura 69 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$  e  $Dir = 260^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

b) Caso 2:  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 320^\circ$ .

Figura 70 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 13s$ ,  $H_s = 2m$  e  $Dir = 320^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Da análise das Figuras 69 e 70 observa-se que:

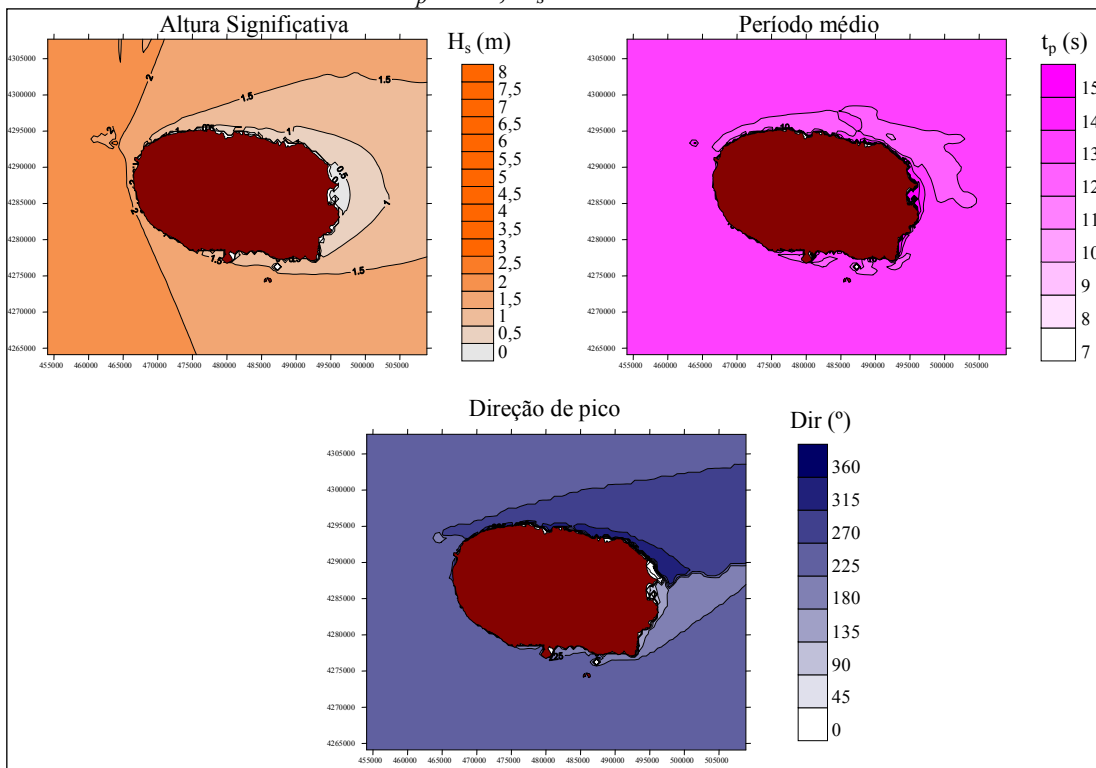
Quando o ângulo de incidência da onda é de  $260^\circ$ , existe uma maior proteção (menores alturas de onda) na zona do porto da Praia da Vitória relativamente à direção de  $320^\circ$ . Com efeito, uma onda de  $260^\circ$  tem de rodar mais significativamente para atingir o porto da Praia da Vitória do que uma onda de  $320^\circ$ .

Para ambas as direções de onda a altura de onda em frente ao porto não excede 0,5 metros de altura.

Nas Figuras 71 e 72 apresentam-se os resultados de Altura significativa,  $H_s$ , Período médio ( $t_p$ ) e Direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à primeira malha, para as condições de agitação marítima seguintes

a) Caso 1:  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 2m$ ,  $Dir = 260^\circ$ ;

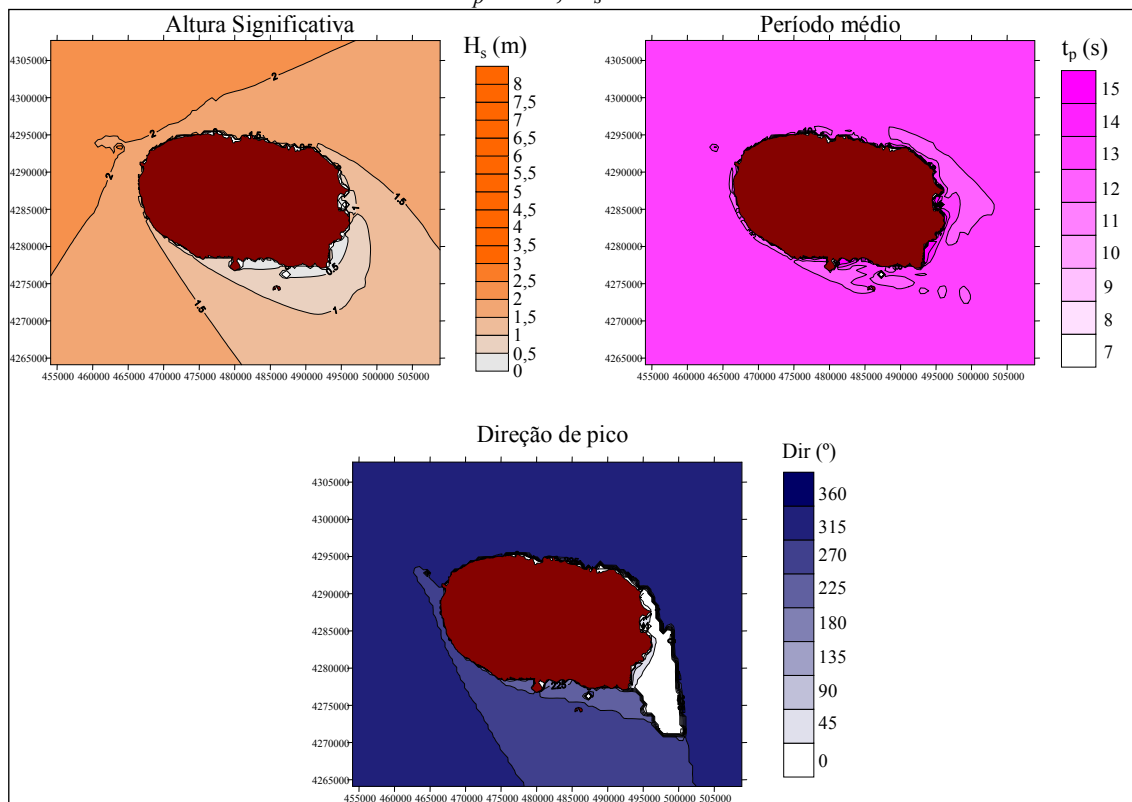
Figura 71 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 15s$ ,  $H_s = 2m$  e  $Dir = 260^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

b) Caso 2:  $t_p = 15s$ ,  $H_s=2m$ ,  $Dir=320^\circ$ ;

Figura 72 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p=15s$ ,  $H_s=2m$  e  $Dir=320^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Da análise das Figuras 71 e 72 observa-se que:

Quando o ângulo de incidência da onda é de  $320^\circ$ , existe uma menor proteção (maiores alturas de onda) na zona do porto da Praia da Vitória relativamente à direção de  $260^\circ$ .

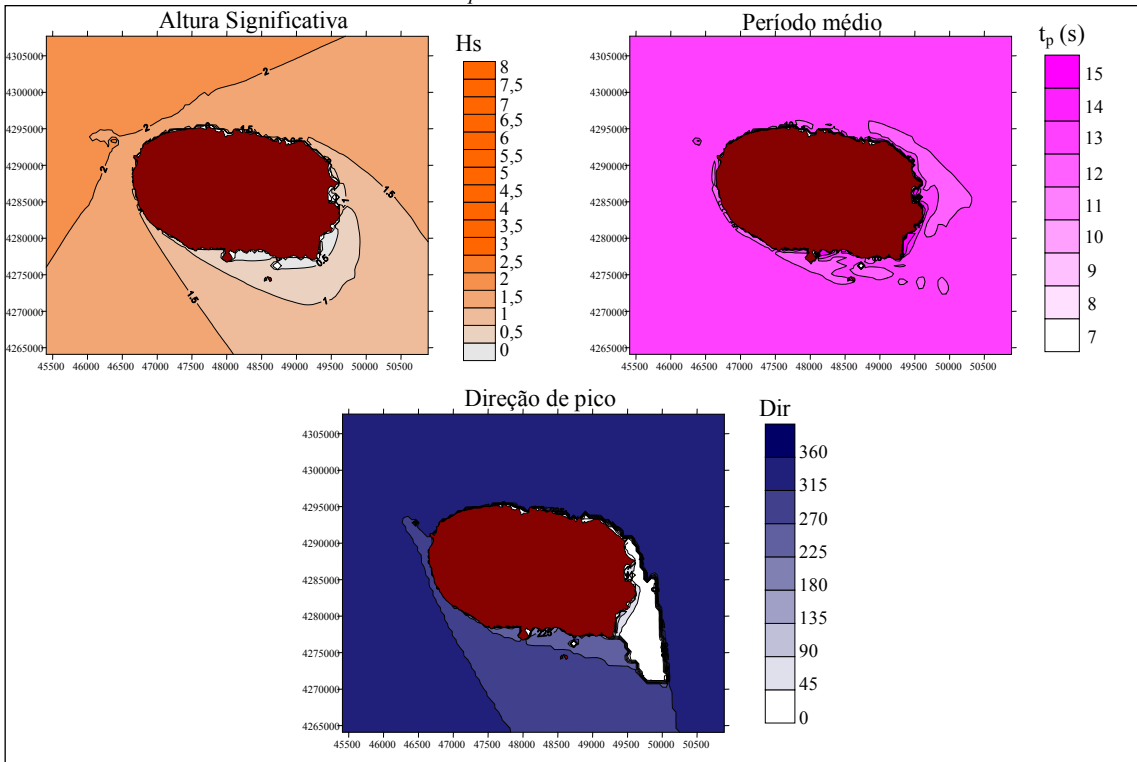
Para ambas as direções de onda a altura de onda em frente ao porto não excede 0,5 metros de altura.

### 5.1.1.3 Análise da influência do período da onda.

Nas Figuras 73 e 74 apresentam-se os resultados de altura significativa ( $H_s$ ), Período médio ( $t_p$ ) e Direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à primeira malha, para as condições de agitação marítima seguintes:

a) Caso 1:  $t_p = 15$  s,  $H_s = 2$  m,  $Dir = 320^\circ$ ;

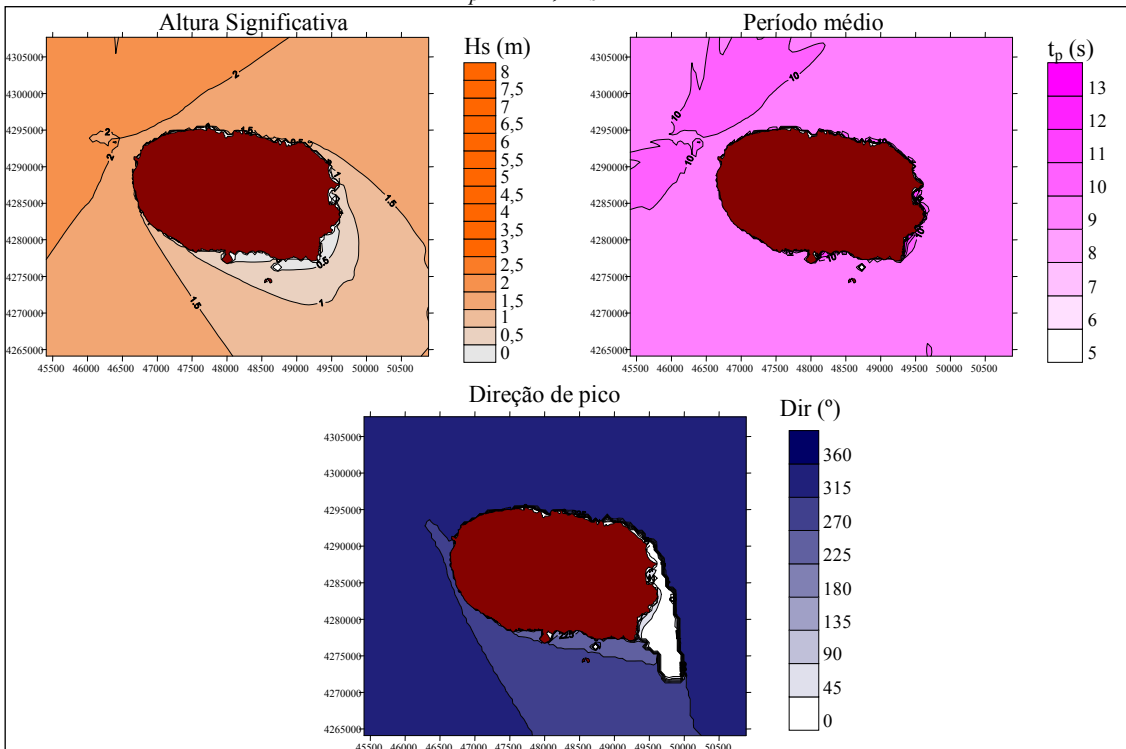
Figura 73 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 15$  s,  $H_s = 2$  m e  $Dir = 320^\circ$ .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

b) Caso 2:  $t_p = 13$  s,  $H_s = 2$  m,  $Dir = 320^\circ$ .

Figura 74 - Altura significativa, período médio e direção de pico para uma onda incidente com  $t_p = 13$  s,  $H_s = 2$  m e  $Dir = 320^\circ$ .



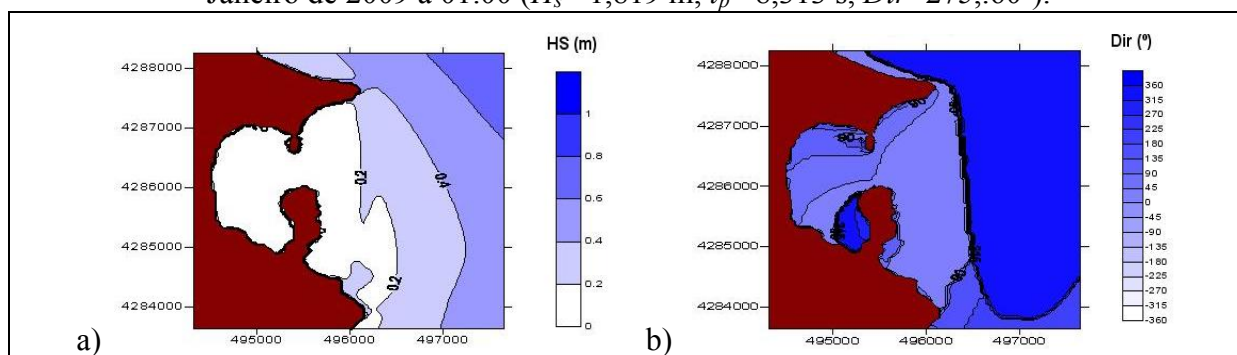
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se que com os períodos de 13 e 15 segundos e ângulo de incidência de  $320^\circ$ , o comportamento das alturas significativas são bem semelhantes de modo a que as ondas com maior amplitude chegam mais próximas da área de interesse, entretanto próximo a costa elas não ultrapassam os 0,5m.

#### 5.1.1.4 Análises Malha 3 - 1 de Janeiro de 2009, às 01:00 e às 10:00 horas

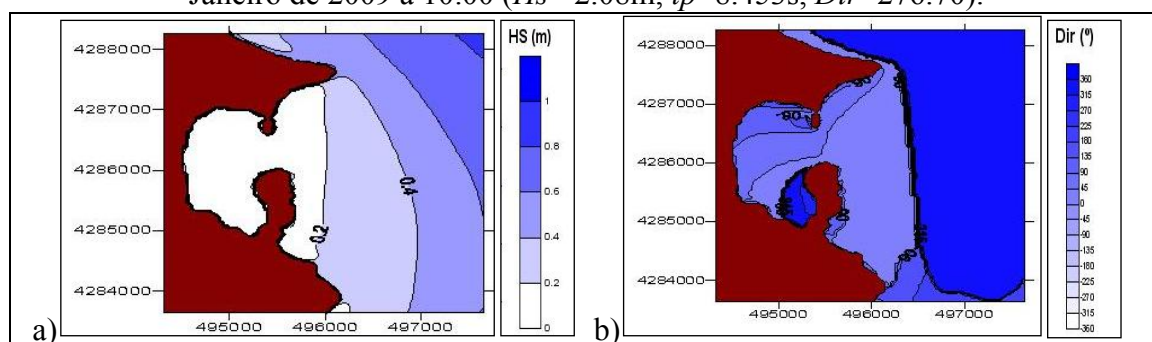
A título de exemplo, apresentam-se nas figuras os resultados da altura significativa ( $H_s$ ), e a direção de onda ( $Dir$ ) no domínio computacional correspondente à 3ª malha, para as condições de agitação marítima do dia 1 de Janeiro de 2009, à 01:00 e à 10:00 horas.

Figura 75- a) altura significativa e b) direção de pico para uma onda incidente do dia 1 de Janeiro de 2009 à 01:00 ( $H_s= 1,819$  m,  $t_p=8,313$  s,  $Dir=275,60^\circ$ ).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 76 - a) altura significativa e b) direção de pico para uma onda incidente do dia 1 de Janeiro de 2009 à 10:00 ( $H_s= 2.08$ m,  $t_p=8.453$ s,  $Dir=276.70^\circ$ ).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Da análise das Figuras 75 e 76, constata-se que:

Uma redução significativa da altura de onda desde a zona exterior ao porto até a zona interior. Para estes dois casos, a agitação no porto é inferior a 0.2 m, o que seria de esperar, pois a direção de onda ao largo é próxima de W. O porto encontra-se realmente abrigado a essa agitação.

Uma rotação significativa das direções de onda na entrada do porto, devido à orientação do porto.

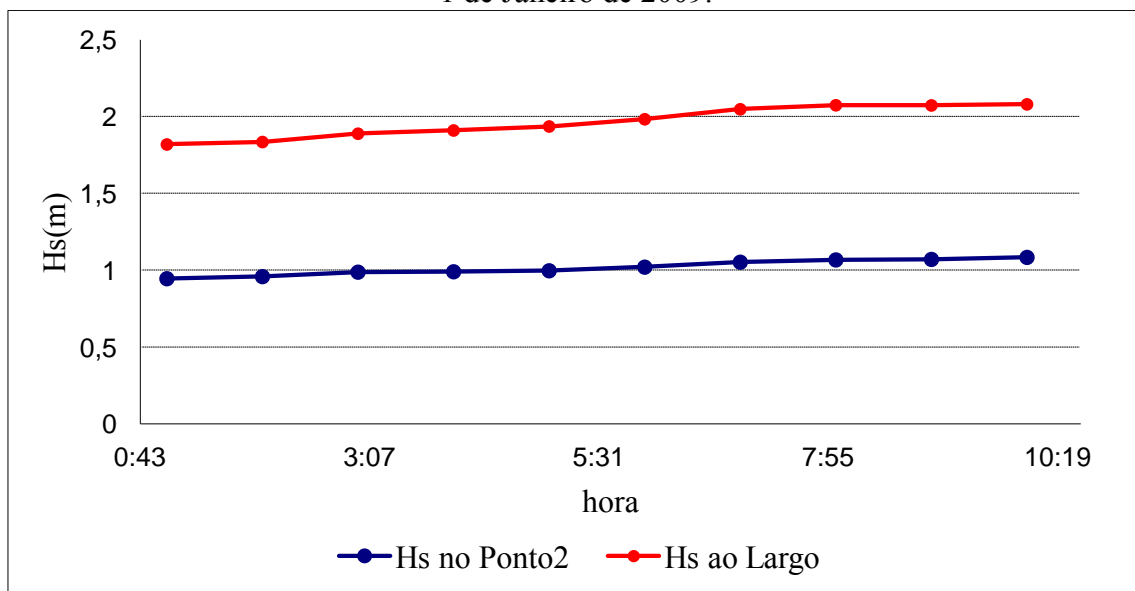
É de notar que estes resultados têm de ser vistos com cuidado, pois no porto os fenômenos de difração e reflexão têm importância, fenômenos estes que ou não são simulados pelo SWAN ou quando o são, tal é feito de forma aproximada.

### 5.1.1.5 Evolução das características da agitação marítima

Nesta seção foram realizadas simulações com o modelo SWAN para os meses de Janeiro e Fevereiro de 2009, considerando a situação sem ventos e utilizando três malhas de cálculo.

A Figura 77 indica a representação gráfica da altura de ondas observadas no dia 1 de Janeiro de 2009, no ponto boia, conforme Figura 38.

Figura 77 - Representação gráfica da altura significativa ao largo (Ponto 0) e no ponto P2, dia 1 de Janeiro de 2009.



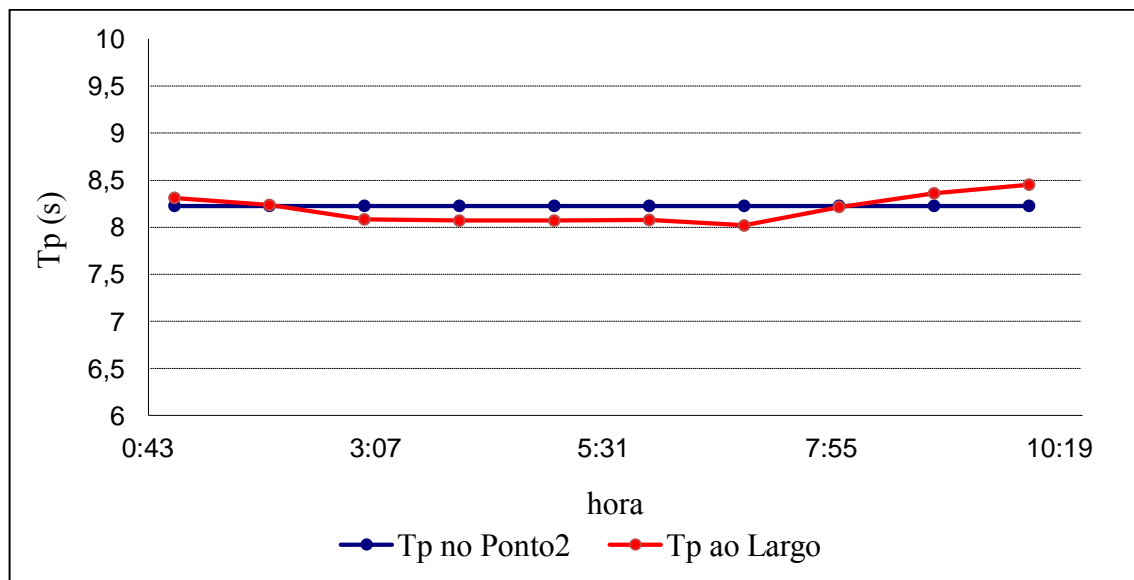
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 77, que as alturas de ondas ao largo e no ponto P2 admitem as mesmas características evolutivas, de modo a que no ponto ficam em torno de 1 m e ao largo em torno de 2 m.

A Figura 78 representa o gráfico dos períodos ao largo e o período médio no Ponto P0 no dia 1 de Janeiro de 2009 durante 10 horas.



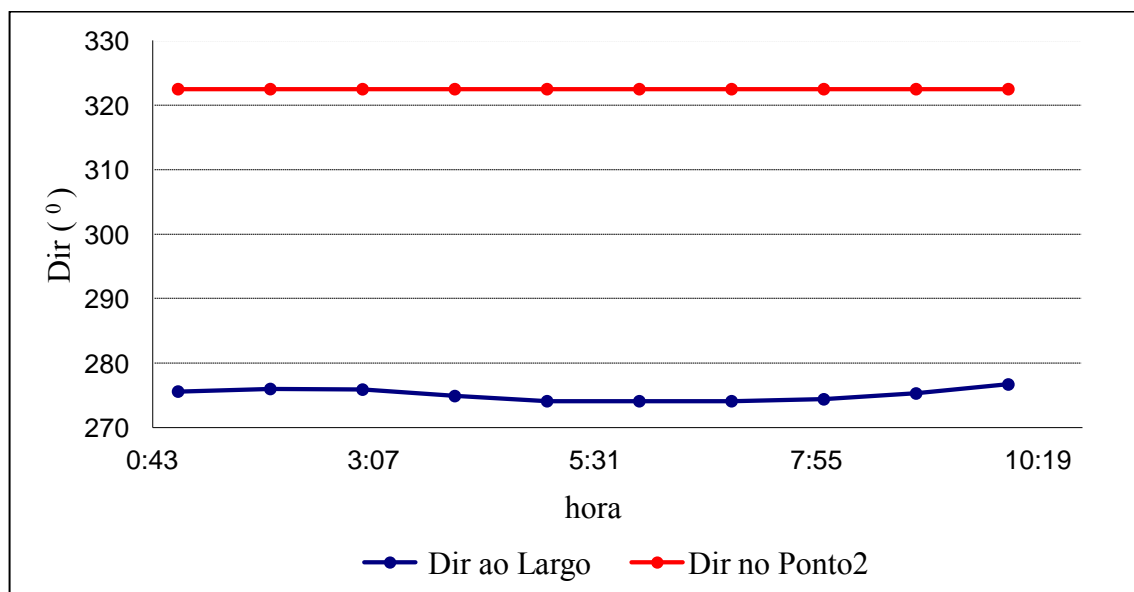
Figura 78 - Representação gráfica dos períodos ao largo (Ponto P0) e no Ponto P2, dia 1 de Janeiro de 2009.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nota-se que os períodos médios no dia 1 de Janeiro seguem a mesmas relações entre si, de modo que os períodos estão entre 8 e 8,5 segundos.

Figura 79 - Representação gráfica das direções de onda ao largo (Ponto P0) e no Ponto P2, dia 1 de Janeiro de 2009.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 79 que existe uma forte rotação da direção da onda desde o largo até junto à boia, que é o resultado da refração. Ao longo do período em estudo, as direções de onda na boia são invariáveis.

A Tabela 8 apresenta os cálculos para as condições de agitação marítimas observadas ao longo de 10 horas no dia 01 de Janeiro de 2009.

Tabela 8 - Cálculos das condições de agitação marítima observada ao longo de 10 horas no dia 01 de Janeiro de 2009.

Ano	Mês	Dia	Hora		Hs0	T0	Dir0	Hs_P	T_P	Dir_P	T_P_med
2009	1	1	0	39814							
2009	1	1	1	39814,04	1,819	8,313	275,6	0,94597	8,2281	322,5	6,2168
2009	1	1	2	39814,08	1,835	8,237	276	0,95945	8,2281	322,5	6,1653
2009	1	1	3	39814,13	1,889	8,084	275,9	0,98847	8,2281	322,5	6,078
2009	1	1	4	39814,17	1,91	8,071	274,9	0,99103	8,2281	322,5	6,0715
2009	1	1	5	39814,21	1,936	8,071	274,1	0,99753	8,2281	322,5	6,0661
2009	1	1	6	39814,25	1,983	8,078	274,1	1,02109	8,2281	322,5	6,0931
2009	1	1	7	39814,29	2,048	8,019	274,1	1,05339	8,2281	322,5	6,0586
2009	1	1	8	39814,33	2,074	8,217	274,4	1,06802	8,2281	322,5	6,201
2009	1	1	9	39814,38	2,073	8,361	275,3	1,07137	8,2281	322,5	6,2902
2009	1	1	10	39814,42	2,08	8,453	276,7	1,08461	8,2281	322,5	6,3539

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 5.1.2 Situação II - Com Vento

Neste item, utilizaram-se 3 malhas computacionais para análise da influência do vento no mês de Janeiro de 2009: uma de 500x500m outra de 200x200m e outra menor de 50x50m.

#### 5.1.2.1 Resultados em todo o domínio computacional

Primeiramente, o vento foi introduzido em todo o domínio de cálculo com intensidade e direção constantes obtidas das previsões com o modelo meteorológico regional de meso escala MM5 para o mesmo ponto P2.

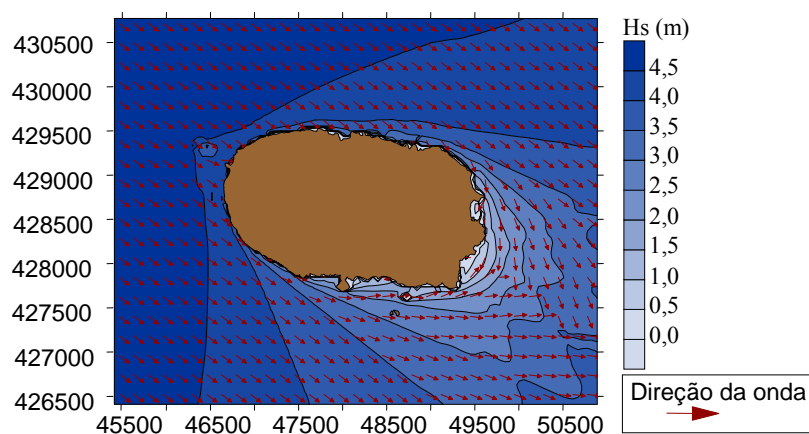
A título de exemplo na Figura 80 apresentam-se os resultados relativos à propagação efetuada com o SWAN, para um estado de agitação incidente proveniente de Noroeste (314°), com uma altura significativa de 4,5 metros e um período de pico de 11 segundos. Trata-se da agitação marítima prevista para o dia 15 de Janeiro de 2009, às 09:00horas, altura em que o vento previsto pelo modelo MM5 para a região em estudo tinha uma intensidade de 6 a 8 m/s e um rumo de Oeste (280°). Os resultados apresentados dizem respeito a uma simulação com o SWAN considerando a influência deste vento.

Tratando-se de agitação vinda de Noroeste é de esperar que a zona Sudeste da Ilha esteja mais protegida da agitação do que as restantes zonas. De fato, esta zona de sombra provocada pela Ilha aparece bem representada na figura da 1ª malha, onde os fenômenos de

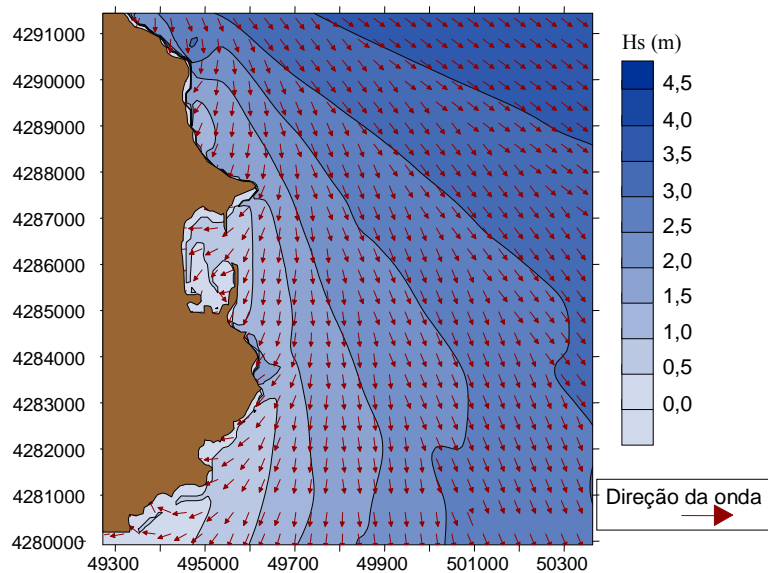
difração e refração da onda levam-na a rodar e a diminuir a sua altura. No entanto nestas zonas os valores de direção devem ser vistos com cuidado uma vez que o fenômeno da difração não é corretamente simulado pelo SWAN. Mais ainda, dentro do porto os valores não são os mais corretos, pois o modelo SWAN não tem em conta os efeitos de reflexão nas fronteiras do porto.

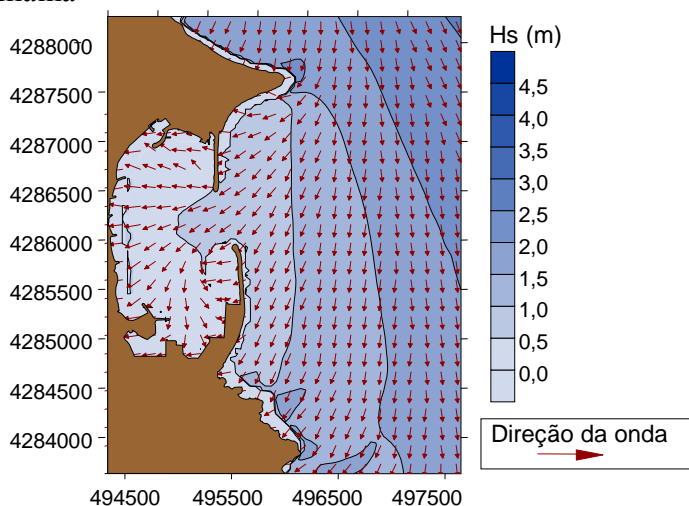
Figura 80 - Resultados do SWAN - 3 malhas para  $H_s = 4,5$  m,  $t_p = 11$  s e  $Dir = 314^\circ$ .

1<sup>a</sup> malha



2<sup>a</sup> malha



3<sup>a</sup> malha

Fonte: Elaboração do autor com imagem do banco de dados e imagens do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, Lisboa, Portugal.

### 5.1.2.2 Evolução das características da agitação marítima

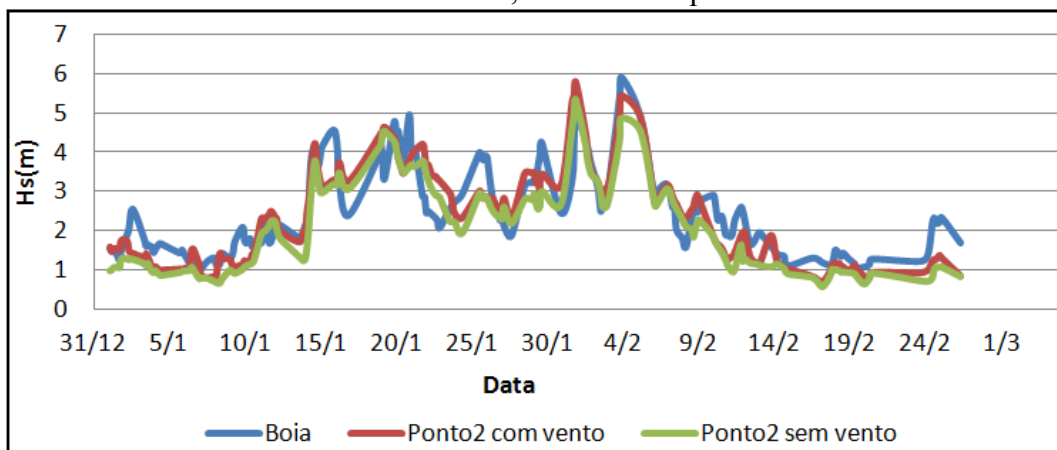
Utilizaram-se previsões do vento aos 10 m, obtidas pelo CMMG – Universidade dos Açores (TOMÉ et al., 2005; ESTEVES et al., 2007) com o modelo meteorológico regional de meso escala MM5 (PSU/NCAR). Os dados necessários para a inicialização do MM5 foram obtidos a partir do modelo global de aviação americano AVN que é um modelo espectral com 170 ondas o que corresponde à resolução de aproximadamente 80 km e que atualmente faz a previsão para 384 horas. A resolução temporal do modelo é de 9 minutos. A resolução vertical é de 42 níveis com 3 níveis na camada limite, 12 níveis abaixo dos 800 hPa e 10 níveis acima dos 100 hPa. Este modelo tem ainda uma resolução razoável nos 250 hPa. A resolução temporal e espacial referidas só se aplicam às simulações até às 84 horas (COMET, 1998).

Tal como as previsões do estado do mar, as previsões meteorológicas são feitas a 72 horas e atualizadas todas as 12 horas.

O principal objetivo nesta fase é confirmar a validade da implementação do SWAN comparando as previsões obtidas com este modelo na zona de fundeio da boia-ondógrafo na Praia da Vitória com as medições aí efetuadas.

Na Figura 81 apresentam-se as séries temporais das alturas significativas daquelas previsões, bem como as respectivas medições no período que vai do dia 1 de Janeiro ao dia 26 de Fevereiro de 2009, tal figura ilustra comparações de dados obtidos a partir da boia com dados numéricos gerados pelo SWAN sem a influência de ventos e com a influência de ventos a 8m/s no Ponto2.

Figura 81 - Representação gráfica das alturas significativas de ondas dos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 de 3 em 3 horas, na boia e no ponto2 com e sem vento.

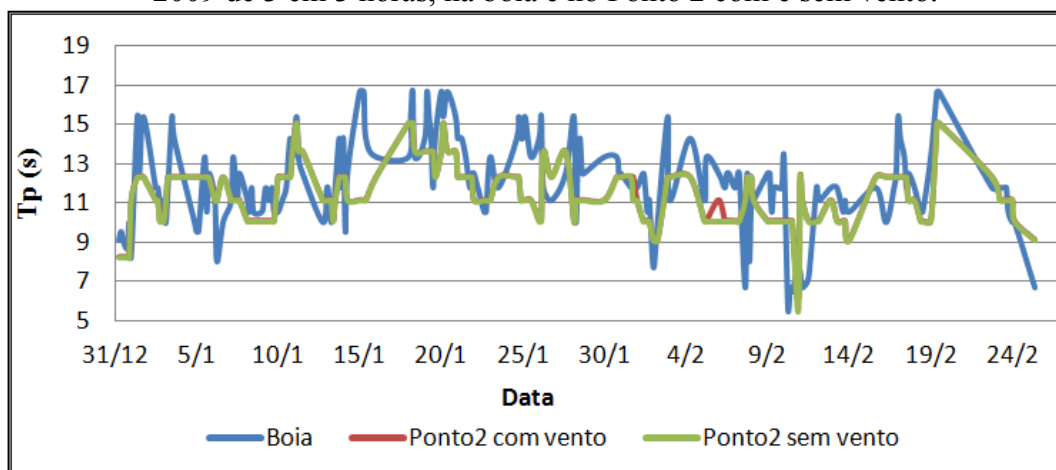


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 81, que nos meses de Janeiro e Fevereiro o andamento geral dos valores de  $H_s$  acompanham bem os valores medidos na boia, especialmente quando se trata de uma análise entre a boia e os dados com vento. Verifica-se também que em geral os resultados do modelo SWAN sem vento são em geral mais baixos do que as medições.

A Figura 82 representa os períodos de pico para os meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 de 3 em 3 horas, relacionando os dados obtidos a partir da boia com simulações numéricas efetuadas pelo SWAN, sem vento e com incidência de vento de 8m/s no Ponto 2, que é a mesma posição da boia.

Figura 82 - Representação gráfica do período de pico nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 de 3 em 3 horas, na boia e no Ponto 2 com e sem vento.



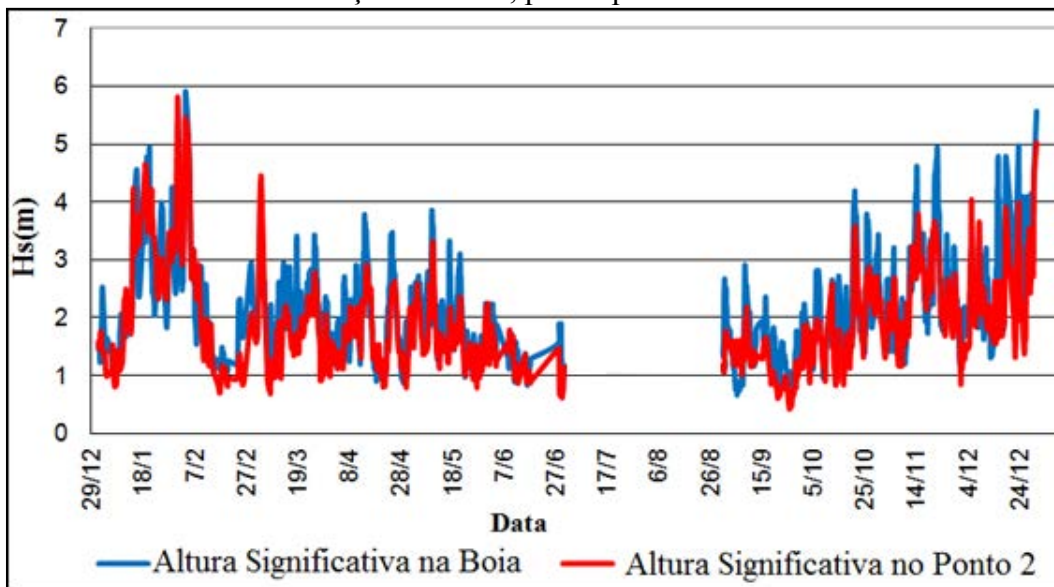
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tomando com análise a Figura 82, nota-se que o andamento dos valores numéricos dos períodos de pico obtidos com e sem vento seguem os valores  $t_p$  medidos, nota-se algumas vezes que na boia as ondas têm maior período como por exemplo no dia 25 de Fevereiro de 2009, a contra partida temos aqui o dia 1 de Fevereiro de 2009 onde observa-se que o período da onda na boia é inferior as alturas com vento e sem vento.

### 5.1.3 Comparações entre Boia e SWAN

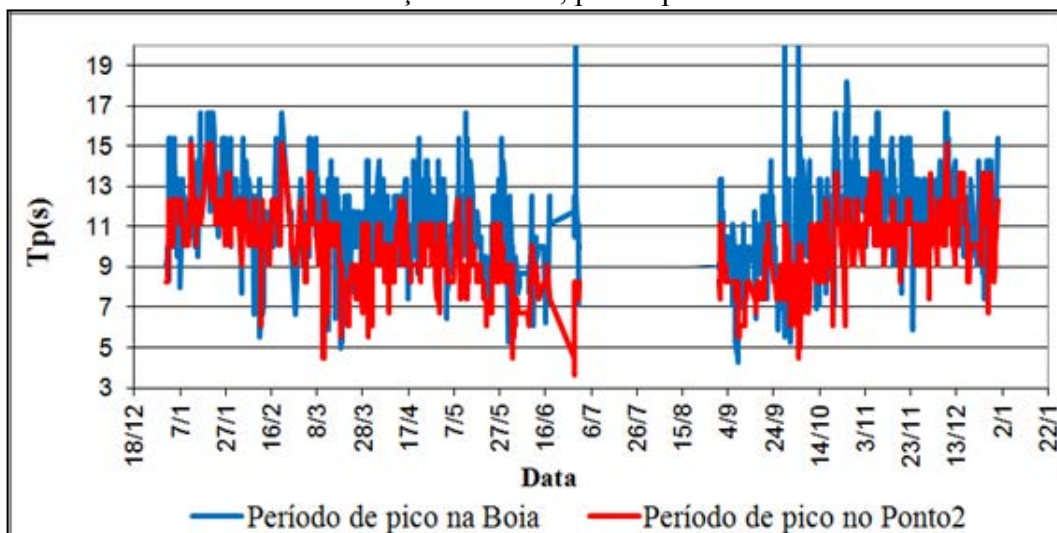
Da Figura 83 à 86 apresentam-se as séries temporais das alturas de onda significativas, período médio de zero ascendente e direção média, bem como as respectivas medições no período que vai do dia 1 de Janeiro de 2009 a 31 de Dezembro de 2009.

Figura 83 - Comparação dos resultados da altura significativa obtidos com o SWAN com as medições da boia, para o período 2009.



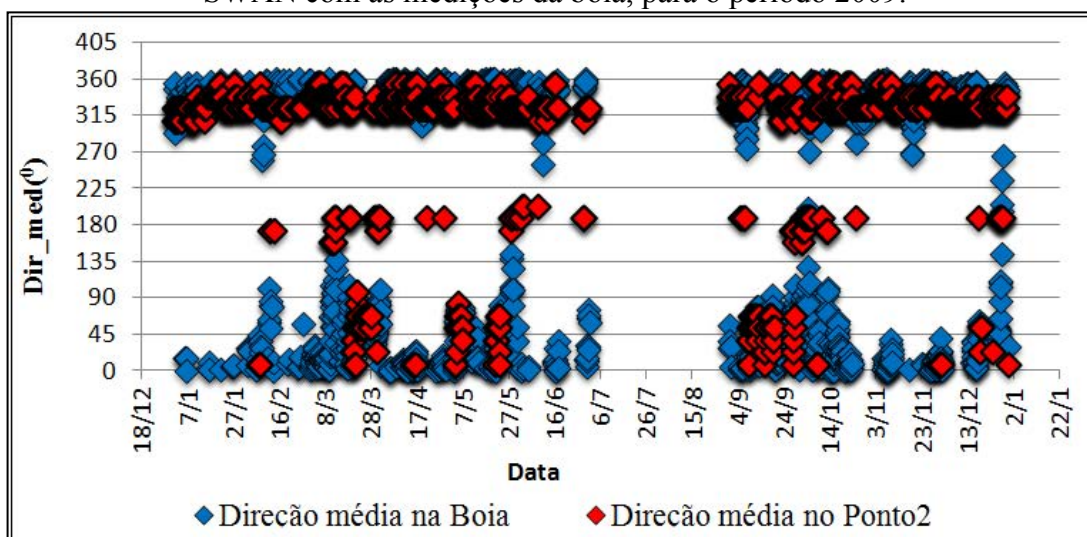
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 84 - Comparação dos resultados do período de zero ascendente obtidos com o SWAN com as medições da boia, para o período 2009.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 85 - Comparação dos resultados das direções média de zero ascendente obtidos com o SWAN com as medições da boia, para o período 2009.



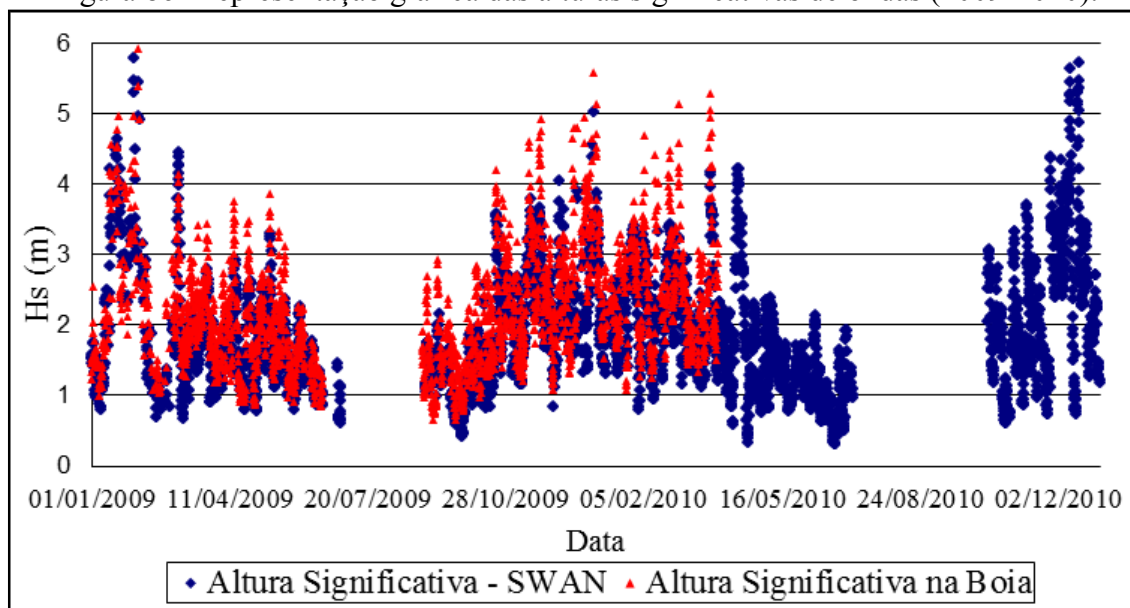
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em geral, pode-se concluir que o comportamento dos valores numéricos e medidos para quaisquer dos parâmetros da onda é semelhante. Esta concordância é claramente maior para o parâmetro de altura significativa de onda. No entanto, verifica-se que os valores obtidos por meio do modelo numérico estão subestimados em relação aos valores experimentais. Para o parâmetro período de pico ( $t_p$ ), (Figura 85), verifica-se que a semelhança entre valores medidos e numéricos é menor, e mais uma vez os valores obtidos pelo modelo numérico subestimam os valores experimentais. Finalmente, as maiores diferenças são entre valores medidos e numéricos com relação às direções de onda.

### 5.1.4 Análises completas para os anos de 2009 a 2010

Foram realizadas no âmbito desta pesquisa análises comparativas entre alturas significativas de ondas, períodos médios e direções de pico obtidas pelo modelo SWAN para o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2010 com dados obtidos pela boia de janeiro de 2009 a 31 de março de 2010. A Figura 86 ilustra a comparação entre as alturas significativas das ondas.

Figura 86- Representação gráfica das alturas significativas de ondas (2009-2010).



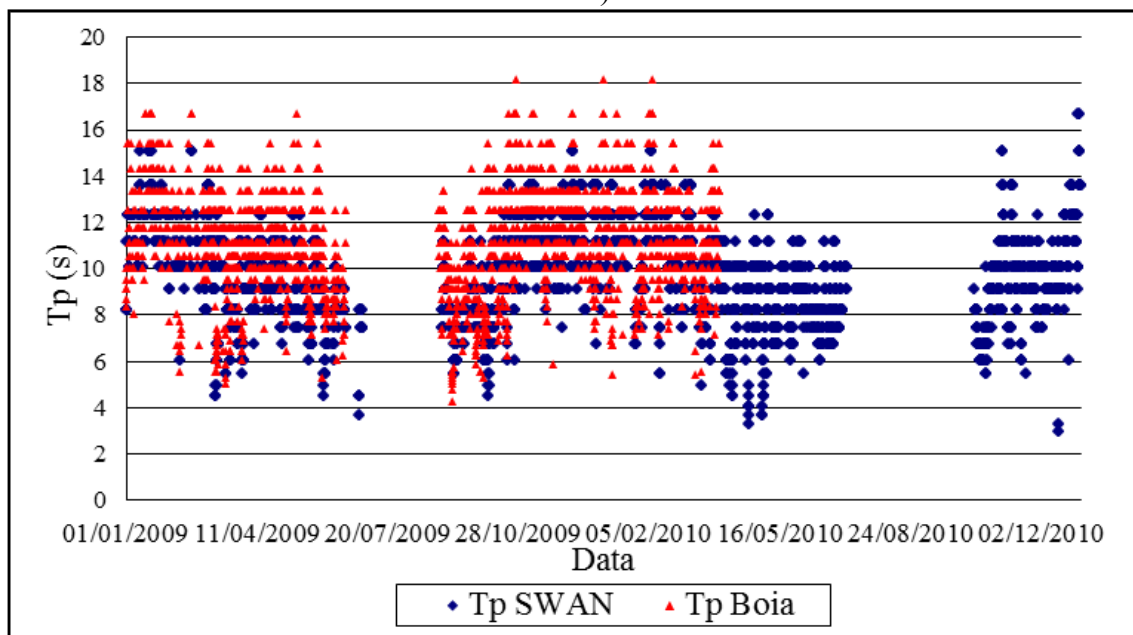
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 86 que existe uma grande concordância entre os valores obtidos de modo numérico pelo SWAN e com valores experimentais obtidos na Boia; entretanto nota-se que os valores medidos estão mais elevados do que os obtidos através do modelo numérico.

Dando sequência a análise de dados, a Figura 87 representa as medições relacionadas aos períodos de pico obtidos pelo SWAN (janeiro de 2009 a dezembro de 2010) e medições obtidas pela Boia (janeiro de 2009 a março de 2010).



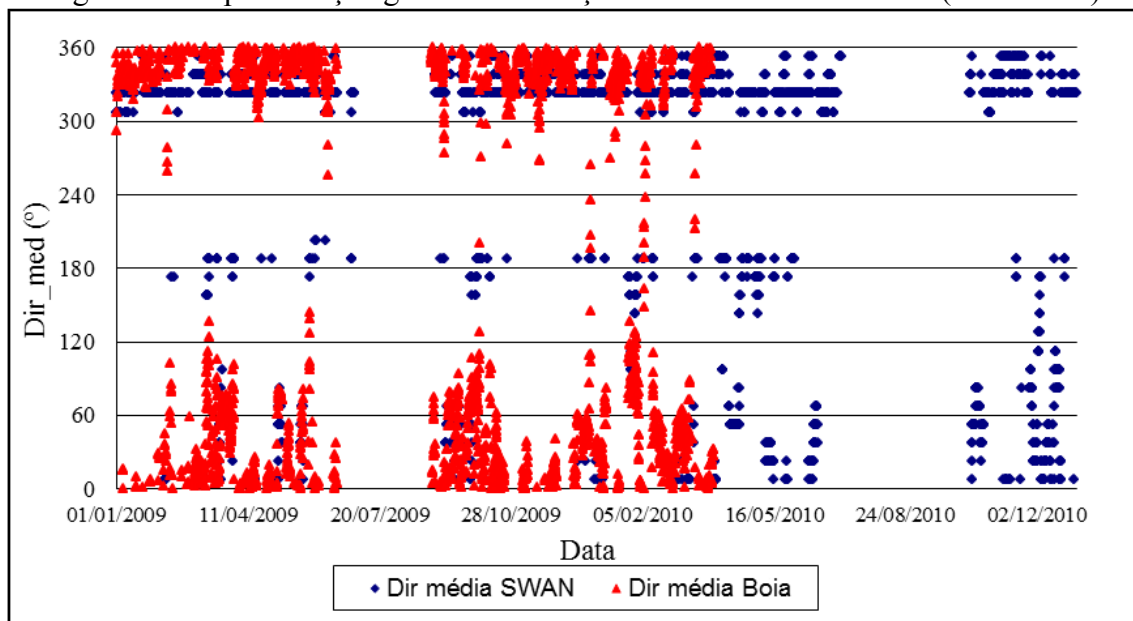
Figura 87- Representação gráfica dos períodos de pico na boia e no Ponto2(SWAN)- (2009-2010).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 87 que os valores medidos na boia apresentam períodos de pico relativamente maiores do que os obtidos através do método numérico. Já para o período de 01 de abril a 31 de dezembro de 2010 não houve medições na boia.

Figura 88- Representação gráfica das direções médias Ponto 2 e Boia (2009-2010).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 88 que existe uma maior dispersão entre os valores medidos na boia e os valores numéricos obtidos pelo SWAN no Ponto 2.

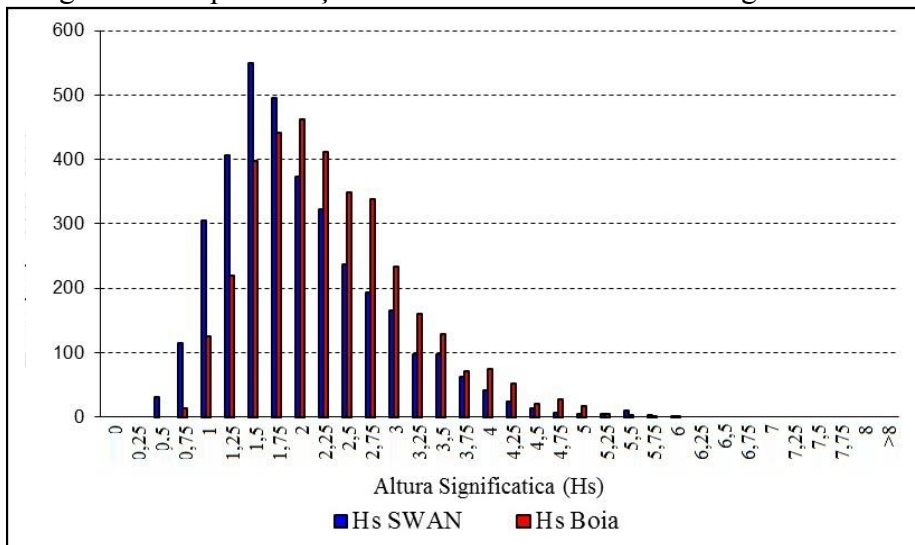
### 5.1.5 Ocorrência de Eventos

Descreve-se neste item o número de ocorrências das alturas significativas de ondas ( $H_s$ ), períodos de pico ( $t_p$ ) e direções médias ( $Dir$ ) de janeiro de 2009 a março de 2010, na boia e, no Ponto 2 utilizando o SWAN.

As medições foram coletadas a cada uma hora, mas como o modelo SWAN foi obtido de três em três horas, foram feitas médias de três em três horas.

É indicado pela Figura 89 o número de ocorrências das alturas significativas de ondas observadas no período de janeiro de 2009 a março de 2010.

Figura 89- Representação das ocorrências das alturas significativas.

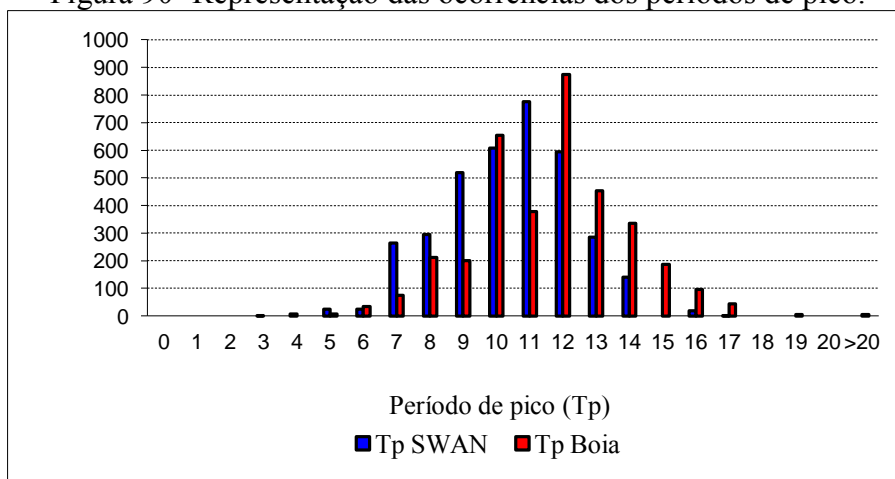


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se através da Figura 89 que as alturas significativas de ondas com maior ocorrência (acima de 300), estão em torno de 1 m e 2,25 m para o Ponto 2 (SWAN) e para as medições na boia estão entre 1,5 m a 2,75 m o que, de um modo geral, as alturas significativas obtidas na boia são relativamente maiores dos que as medidas no Ponto 2 com o SWAN.

A Figura 90 vem ilustrar a representação gráfica dos períodos de pico observados na boia e os obtidos pelo SWAN no Ponto 2.

Figura 90- Representação das ocorrências dos períodos de pico.

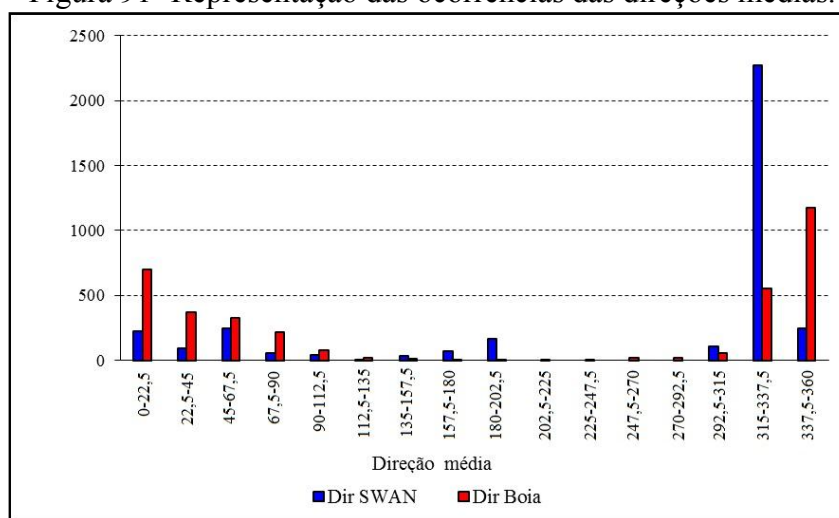


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 90 que os períodos de pico superiores a uma ocorrência de 300 vezes, encontra-se entre 9s a 12s para as medidas obtidas a partir do SWAN com maior índice de vezes para 11s; já para as medidas obtidas na boia, tem-se esta ocorrência (>300) entre 10s e 14s com um maior índice de vezes para 12s. Tal mostra que os períodos de pico fornecidos pela boia apresentam maiores ocorrências em períodos maiores que os do medido no Ponto 2 obtidos pelo SWAN.

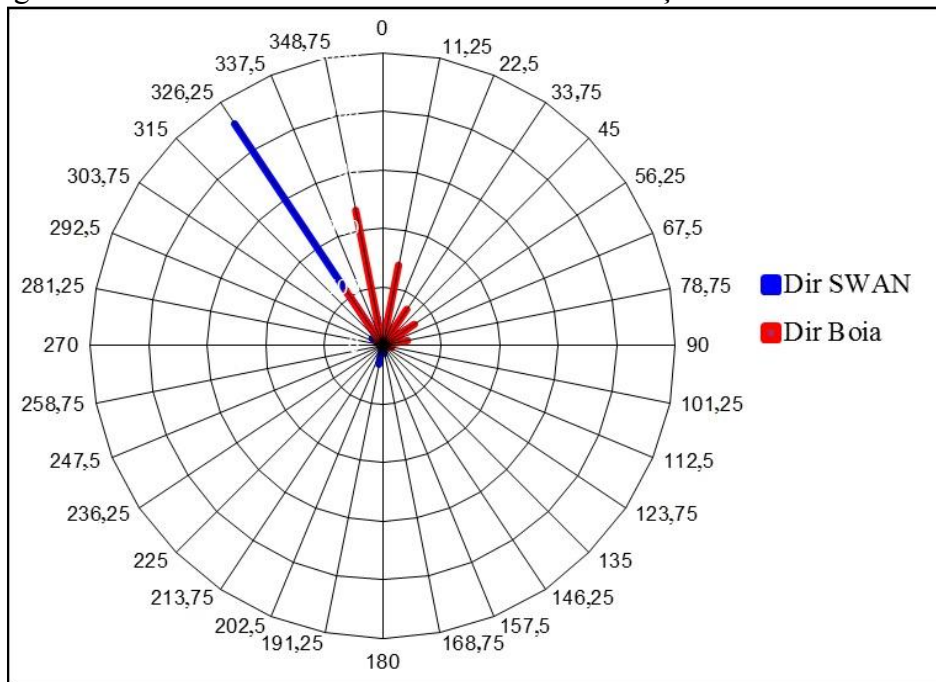
A fim de completar as análises realizadas no Porto da Praia da Vitória, fez-se a Rosa dos Ventos (Figura 92) das ocorrências das direções médias obtidas pelas medições realizadas na boia e pelas medições efetuadas pelo SWAN no Ponto 2 para o período de Janeiro de 2009 a março de 2010. Fez-se também o gráfico de barras (Figura 91) e a Tabela 9, para melhor visualização em valores das ocorrências de tais direções médias.

Figura 91- Representação das ocorrências das direções médias.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 92- Rosa dos Ventos das ocorrências das direções médias 2009-2010.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 9- Ocorrências de direções médias: SWAN e boia 2009-2010

SWAN		boia	
Intervalo	Ocorrências	Intervalo	Ocorrências
0 – 22,5	222	0 – 22,5	441
22,5 - 45	93	22,5 - 45	235
45 – 67,5	247	45 – 67,5	206
67,5 - 90	56	67,5 - 90	137
90 – 112,5	38	90 – 112,5	49
112,5 - 135	4	112,5 - 135	11
135 – 157,5	37	135 – 157,5	6
167,5 - 180	70	167,5 - 180	1
180 – 202,5	162	180 – 202,5	4
202,5 - 225	0	202,5 - 225	5
225 – 247,5	0	225 – 247,5	2
247,5 - 270	0	247,5 - 270	10
270 – 292,5	0	270 – 292,5	11
292,5 - 315	108	292,5 - 315	36
315 – 337,5	2276	315 – 337,5	348
337,5 - 360	244	337,5 - 360	742

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se nas Figuras 91 e 92 e na Tabela 9 uma maior ocorrência de ondas vindos entre 315-337,5 graus (2276 vezes) no Ponto 2 fornecidas pelo SWAN enquanto que as ondas medidas obtidas na boia, a maior ocorrência das direções médias dos ventos está entre 337,5-360 graus (742 vezes).

O próximo item (5.1.6) vem completar o estudo realizado no Porto da Praia da Vitória com os dados estatísticos obtidos durante todo o período de estudo.

### 5.1.6 Dados estatísticos: Janeiro de 2009 a março de 2010

Para as análises estatísticas de Janeiro de 2009 a março de 2010, utilizou-se dos parâmetros erro médio quadrático (RMSE), índice de dispersão (SI) e índice de concordância (IC), Média do SWAN, Média do Sensor, Bias, índice de correlação (R) e índice de desempenho (ID) já descrito no capítulo 4. A Tabela 10 indica o resultado destas análises.

Tabela 10- Análise estatística

	RMSE (m)	SI (%)	IC (%)	Média SWAN (m)	Média Sensor (m)	Bias (m)	ID (%)	R (%)
$H_s$	0,85	38,8	70,3	1,92	2,19	-0,27	50	70,7
$Dir$	179,47	92,5	60	286,46	193,91	92,5	33	54,5
$t_p$	2,38	21,4	65,8	9,95	11,12	-1,18	46	70,5

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A partir desses resultados, verifica-se que:

Os valores de IC para  $H_s$ ,  $Dir$  e  $t_p$ , são sempre superiores a 60%, o que mostra uma boa concordância entre valores numéricos e medidos, para todas as simulações efetuadas, e especialmente para  $H_s$  que chega a mais de 70%.

O valor de ID (índice de desempenho) que representa o produto entre o índice de concordância e o índice de correlação R chega a 50% para o caso das alturas significativas o que mostra um bom desempenho do modelo.

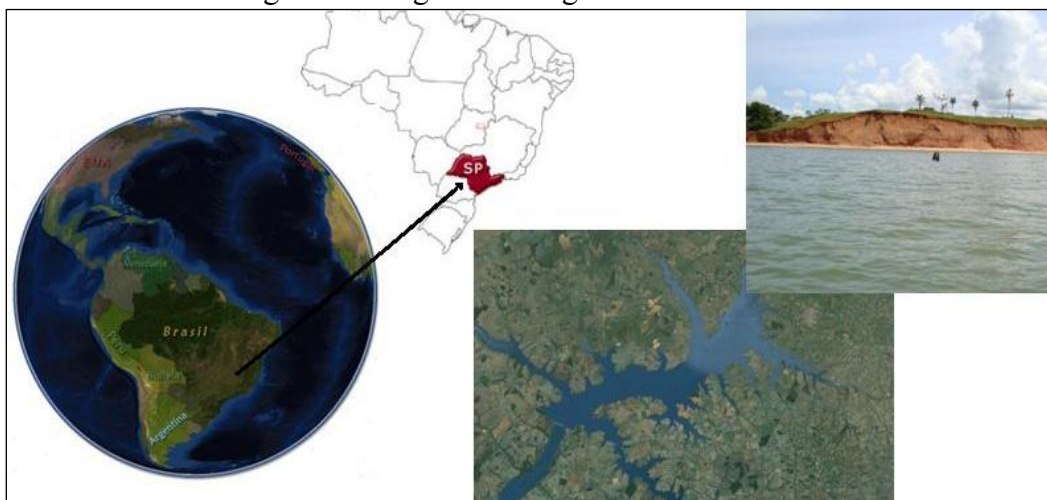
O Valor negativo para o Bias ( $H_s$  e  $t_p$ ) mostram que os dados obtidos pela boia superestimaram os valores obtidos pelo SWAN.

## 5.2. Lago da Barragem de Ilha Solteira

O lago da barragem de Ilha Solteira está situado na cidade de Ilha Solteira, município brasileiro que pertence à região Noroeste do Estado de São Paulo, a 699 km da Capital. Localiza-se a uma latitude 20°25'58" Sul e a uma longitude 51°20'33" Oeste, estando a uma altitude de aproximadamente 335 metros, e na junção entre os rios Tiete e Paraná com a divisa do Estado do Mato Grosso do Sul. Sua importância está relacionada a rota comercial da hidrovia Tiete- Paraná, principal meio de transporte do MERCOSUL. O reservatório de Ilha Solteira estende-se pelas águas do Rio Paraná e São José dos Dourados. Possui uma área de

1.231Km<sup>2</sup> com um volume total de 21 bilhões e 166 milhões de m<sup>3</sup> de água, o que equivale a 5 ou 6 vezes a Baía de Guanabara, sendo o terceiro maior do país.

Figura 93- Lago da Barragem de Ilha Solteira.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

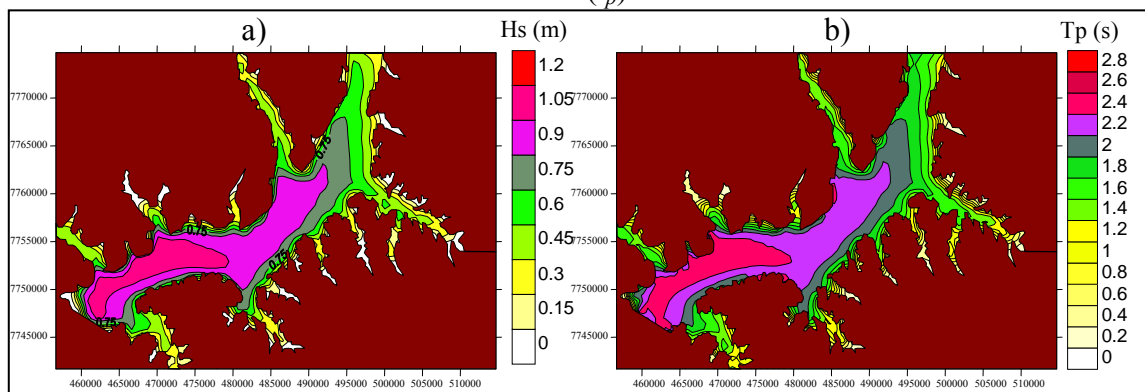
Nesta zona está a ser realizado um vasto plano de monitorização que faz parte do projeto FINEP – ONDISA5 (UNESP, 2011), que visa o desenvolvimento de modelos de previsão de ondas geradas por ventos para fins de segurança à navegação. Nesse âmbito têm sido realizadas recolhas de dados de vento e ondas.

A recolha dos dados de ondas foi efetuada com uma torre de anemômetros com 6 metros de altura e um perfilador acústico ADCP-Waves (*Acoustic Doppler Current Profile*). A torre é composta por anemômetros convencionais, tipo conchas, dispostos nas alturas de 0,3; 0,6; 1,2; 2,4 e 4,8 metros e no topo um anemômetro 2D sônico digital. Os dados foram registrados num datalogger da Campbell Scientific, modelo CR1000.

Os anemômetros tipo concha foram utilizados para medir a velocidade do vento enquanto o anemômetro sônico 2D mediu os parâmetros de velocidade e direção. Estes dados foram obtidos a cada minuto, com médias armazenadas a cada 5 minutos.

A Figura 94 apresenta, em todo o domínio, a altura significativa das ondas e seus respectivos períodos para o dia 01 de março de 2011 às 18:26 h, que teve um vento de intensidade 13,1m / s para uma direção de 75,9 °.

Figura 94- Representação gráfica das a) alturas significativas ( $H_s$ ) e b) período médio de onda ( $t_p$ ).

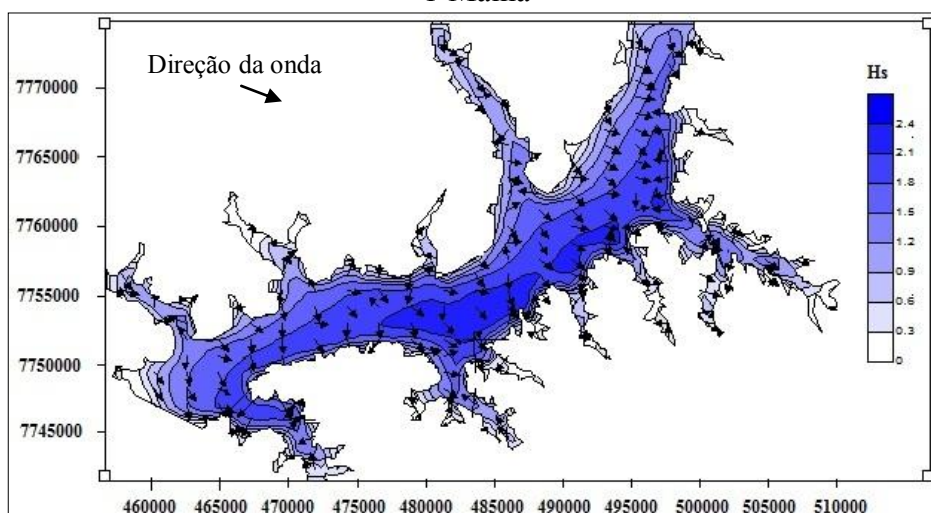


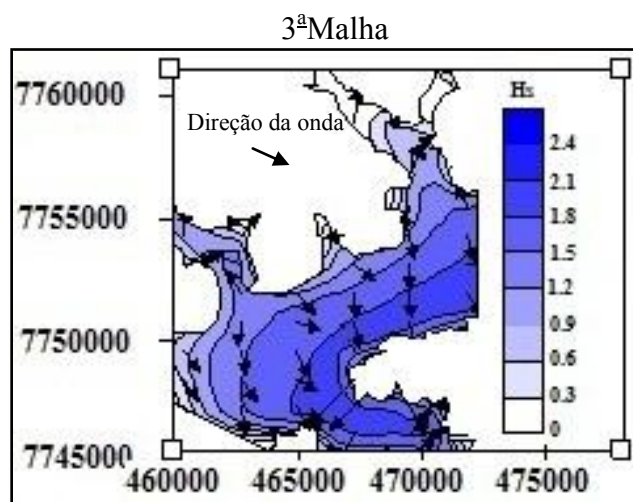
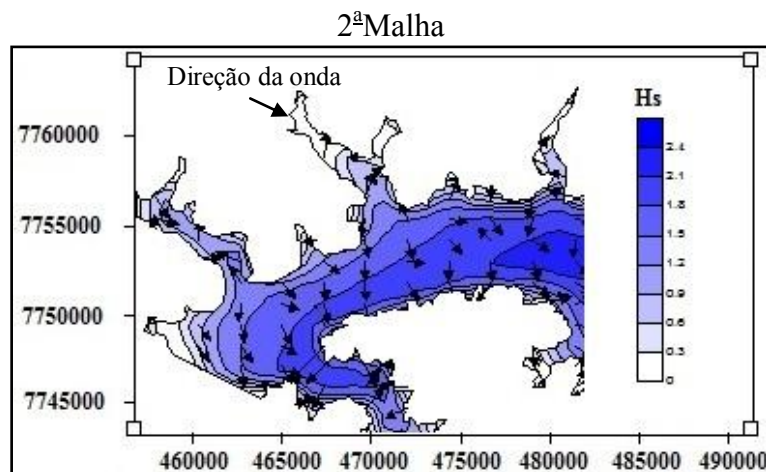
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os resultados mostram que as alturas de onda significativas e períodos variam de 0 a 1,4 m e 0,2 a 3 s, respectivamente, sendo os maiores observados no sudeste do reservatório de Ilha Solteira. Observa-se uma boa concordância espacial entre os parâmetros altura significativa e período médio no lago da barragem, para uma mesma força de vento. Isto está de acordo com a direção e velocidade da força de vento.

Afim de verificar o comportamento dos vetores de direção das ondas, realizou-se um ensaio numérico com as 3 malhas computacionais e obteve-se assim a Figura 95.

Figura 95- Resultados do SWAN das 3 malhas para um vento de 25m/s na direção  $300^{\circ}$ .  
1ª Malha





Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 5.2.1 *Comparações do Modelo Numérico SWAN e dados Obtidos pelo Sensor de Pressão*

Utilizando-se as medidas de ventos obtidas pelo anemômetro 2D Sônico instalado no Lago da Barragem de Ilha Solteira e corrigidos a 1,2m, bem como medições de espectro de ondas obtidas pelo sensor de pressão Druck também instalado no Lago procedeu-se ao tratamento dos dados medidos no sensor e realizaram-se cálculos numéricos utilizando o SWAN para o período de outubro de 2010 a março de 2011; tal coleta de dados medidos foi obtida a cada minuto.

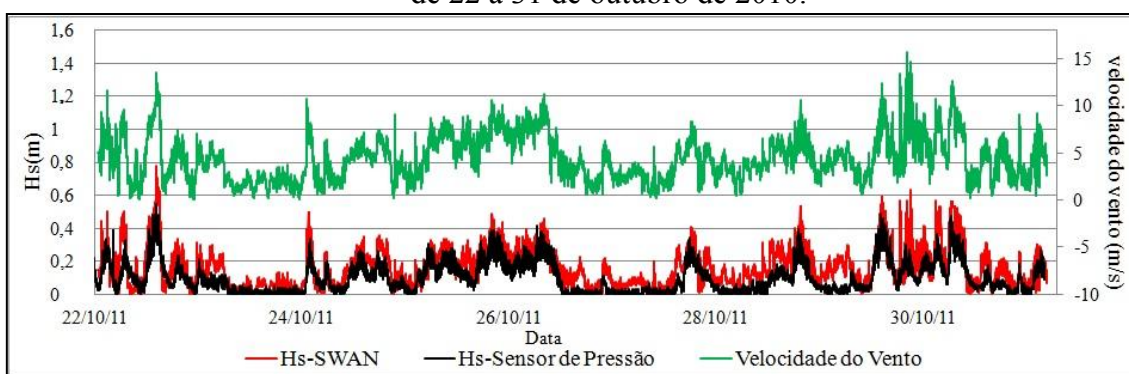
Descreve-se neste item as comparações entre os resultados obtidos pelo SWAN no Ponto 5 (árvore) e os dados coletados a partir do sensor de pressão (mesma posição do Ponto5). Procedeu-se ao tratamento dos dados obtidos pelo sensor de pressão (como visto no



capítulo 4, nomeadamente pelas Macros desenvolvidas em VB (Visual Basic), para obtenção de alturas de onda significativas. Os cálculos numéricos obtidos pelo SWAN tendo como condições forçantes os dados de vento (velocidade e direção) do anemômetro.

A Figura 96 representa análises comparativas entre as alturas significativas de ondas obtidas pelo SWAN com as alturas significativas de ondas adquiridas pelo sensor de pressão. São também indicadas as velocidades dos ventos no período que vai de 22 a 31 de outubro de 2010, que atuaram como condições forçantes ao modelo SWAN.

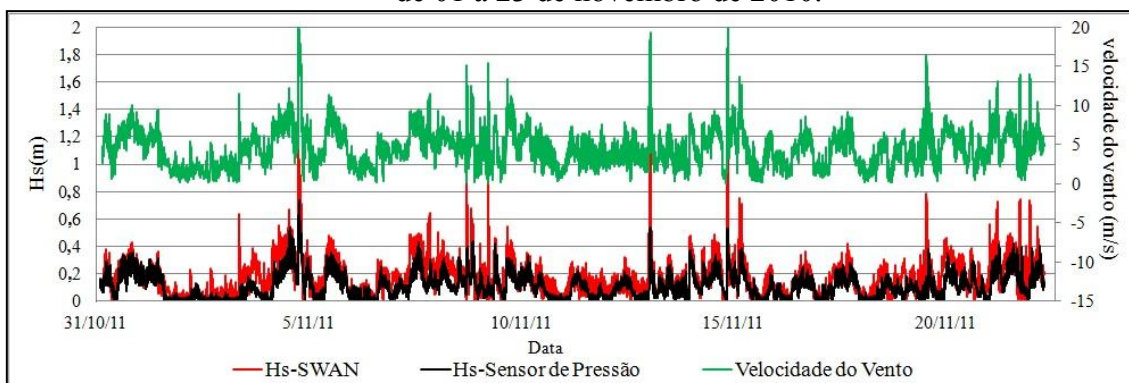
Figura 96- Representação das alturas significativas de ondas e ventos para o período que vai de 22 a 31 de outubro de 2010.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 97 representa as análises comparativas efetuadas entre as alturas significativas de ondas obtidas pela SWAN e as alturas significativas de ondas adquiridas pelo sensor de pressão, indicando-se também as velocidades dos ventos para o período que vai de 01 a 23 de novembro de 2010.

Figura 97- Representação das alturas significativas de ondas e ventos para o período que vai de 01 a 23 de novembro de 2010.

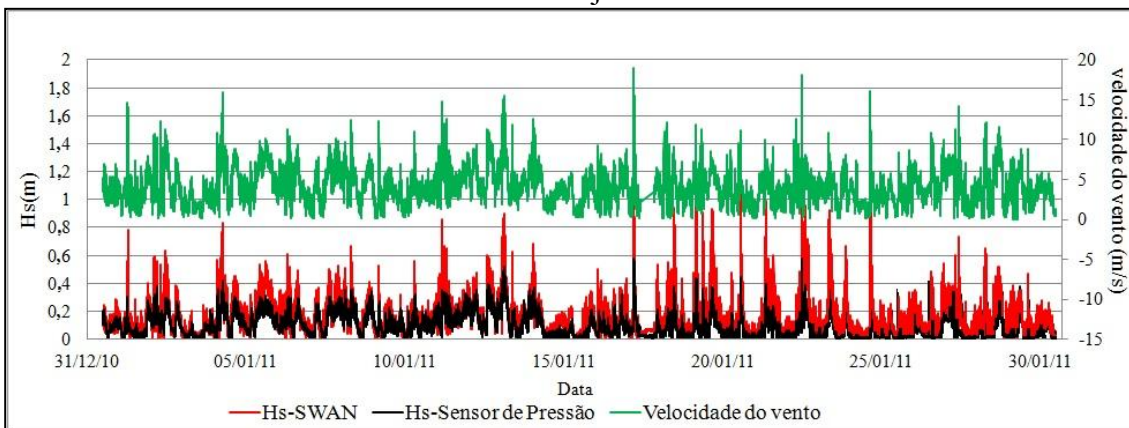


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os dados obtidos no mês de dezembro não se encontram nesta Tese devido a que as medições obtidas pelo sensor de pressão não possuem uma sequência de dados contínua.

A Figura 98 representa as análises comparativas efetuadas entre as alturas significativas de ondas obtidas pela SWAN e as alturas significativas de ondas adquiridas pelo sensor de pressão, indicando-se também as velocidades dos ventos para o período que vai de 01 a 31 de janeiro de 2011.

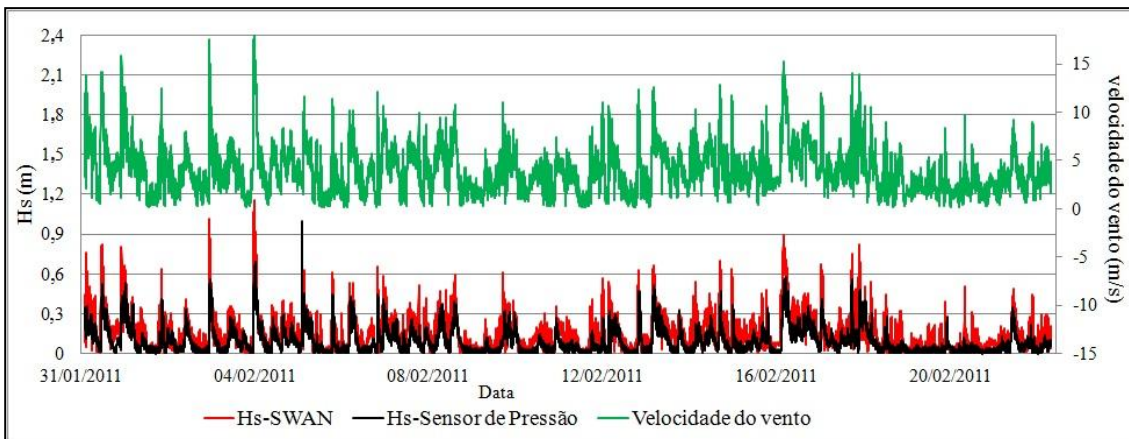
Figura 98- Representação das alturas significativas de ondas e ventos para o período que vai de 01 a 31 de janeiro de 2011.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 99 representa as análises comparativas efetuadas entre as alturas significativas de ondas obtidas pela SWAN e as alturas significativas de ondas adquiridas pelo sensor de pressão, indicando-se também as velocidades dos ventos para o período que vai de 01 a 23 de fevereiro de 2011.

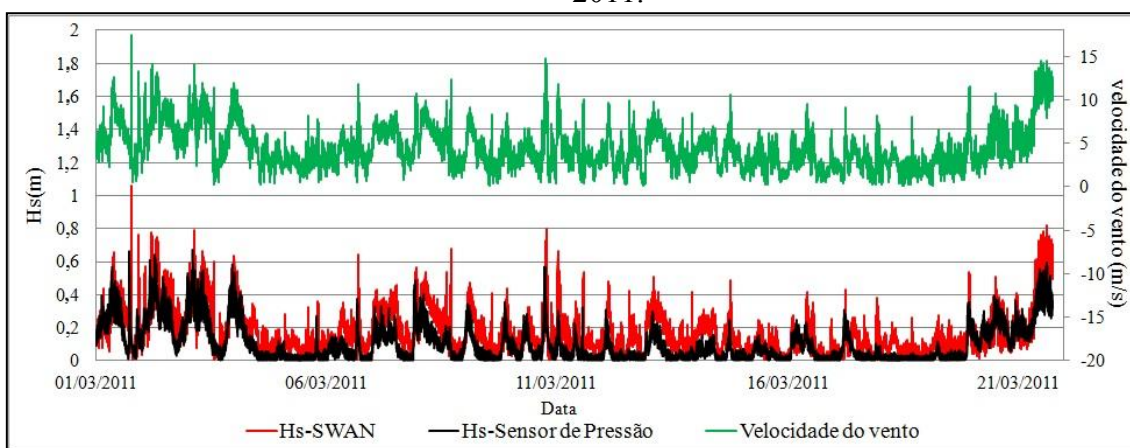
Figura 99- Representação das alturas significativas de ondas e ventos, para o período que vai de 01 a 23 de fevereiro de 2011 .



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 100 apresenta os resultados numéricos e dados in situ (sensor de pressão) de valores de altura de onda significativa, ao longo do mês de março de 2011, bem como a representação das velocidades dos ventos no mesmo período.

Figura 100- Representação gráfica das alturas significativas de onda de 01 a 21 de março de 2011.



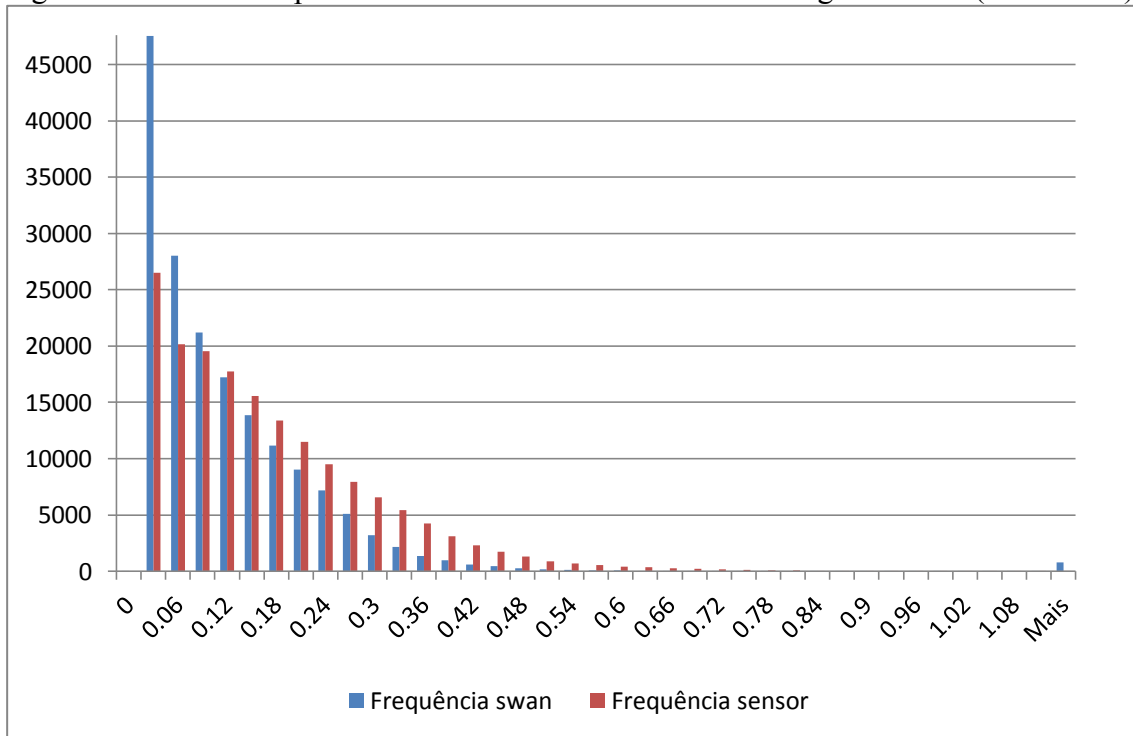
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Através das Figuras 96 a 100, pode-se concluir que o comportamento e a magnitude dos resultados numéricos e experimentais são semelhantes. Além disso, o padrão tanto numérico como o experimental segue a variação dos dados de vento. Mas há algumas diferenças com relação ao fato de que os resultados numéricos não atingem os valores máximos observados, especialmente quando o vento sopra com maior intensidade (VIEIRA; MACIEL; FORTES, 2013).

### 5.2.2 Ocorrências de Eventos

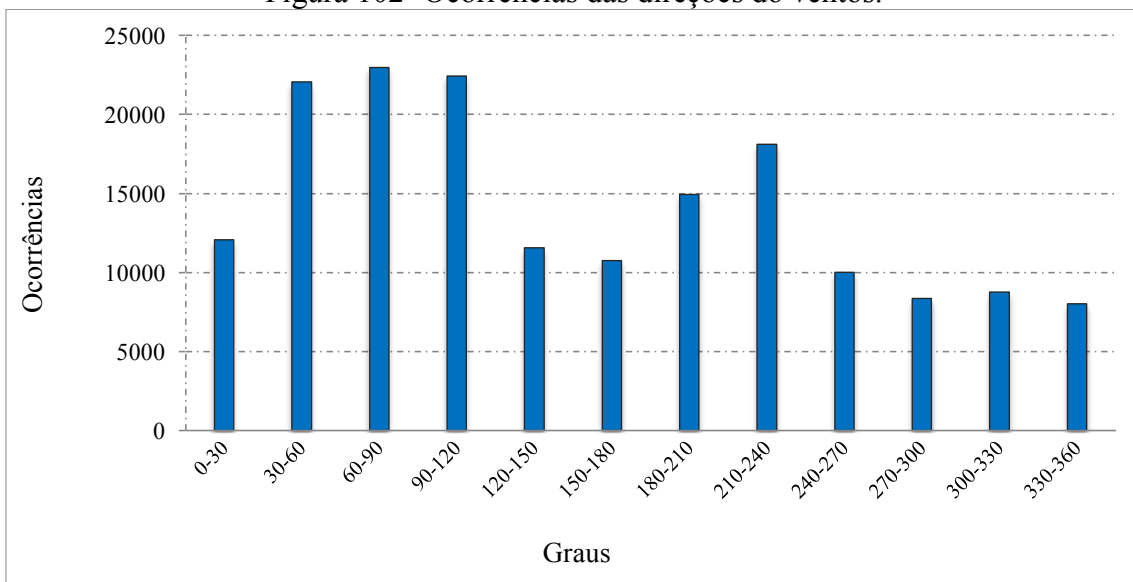
Trata neste item, a representação das ocorrências obtidas pelo sensor de pressão e pelo SWAN, no período de outubro de 2010 a março de 2011 tanto para as alturas significativas (Figura 101) como para a direção dos ventos (Figura 102).

Figura 101- Gráfico representativo das ocorrências de alturas significativas (2010-2011).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 102- Ocorrências das direções do ventos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se na Figura 101 que o SWAN possui uma maior quantidade de alturas significativas de ondas para ondas até 0,12m, para alturas significativas de ondas superiores a 0,12m, o sensor de pressão sobrepõe a quantidade de ondas obtidas pelo SWAN.

Observando a Figura 102 nota-se que os ventos de maiores incidências estão entre  $0^{\circ}$  e  $120^{\circ}$ , o que justifica maiores alturas significativas de ondas nas proximidades da barragem.

### 5.2.3 Análises Estatísticas

Para as análises estatísticas de outubro de 2010 a março de 2011, utilizaram-se os parâmetros erro médio quadrático (RMSE), índice de dispersão (SI) e índice de concordância (IC), Média do SWAN, Média do sensor, Bias, ID e R já descritos no capítulo 4. A Tabela 11 indica os resultados destas análises.

Tabela 11- Análise estatística (índices calculados com base em nível de persistência de 97% de  $H_s$ )

	RMSE (m)	SI (%)	IC (%)	Média SWAN (m)	Média Sensor (m)	Bias (m)	ID (%)	R (%)
$H_s$	0,039	44	70,2	0,14	0,09	0,14	56	79,4

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observa-se através da tabela 11 que os resultados obtidos com o sensor de pressão apresentam concordância em 70% com os dados obtidos pelo SWAN o que mostra um resultado significativo com índice de desempenho na casa dos 60%.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

### 6.1 Conclusões

Dentro da perspectiva de se estabelecer o padrão de agitação de ondas em área adjacente ao Porto da Praia da Vitória (caso português), e um futuro sistema de alerta de ondas para trechos da Hidrovia Tietê-Paraná, notadamente em trechos de hidrovia dentro de lagos de barragens (caso brasileiro), esta tese trouxe a problemática em se propor e discutir ferramentas eficazes para se calcular ondas a partir da forçante do vento seja em regiões abertas ou em regiões mais confinadas.

A pesquisa desenvolvida traz uma contribuição significativa, pois vem preencher lacunas sobre previsão de ondas em lagos de barragens (zona confinada) com presença de atividades econômicas, através da piscicultura (tanques-rede), navegação interior, geração de energia, abastecimento de água. Ademais há uma preocupação das companhias de navegação quanto à segurança de comboios e chatas quando da ação de ondas de forte magnitude, sobretudo quando da perspectiva de aumento do tráfego na hidrovia Tietê-Paraná, em vista de aumento de sua taxa de utilização com a incursão do transporte do etanol. Mais ainda, ondas geradas no reservatório de grandes dimensões e uso múltiplos podem ser prejudicial para as operações da usina assim como para a estabilidade de suas margens, em alguns casos. Neste contexto, as ondas são geradas principalmente pelo vento.

Nessa mesma direção, essa tese de doutorado insere-se num projeto de maior amplitude que procura definir uma arquitetura inicial do sistema de alerta para a navegação no noroeste paulista, projeto esse financiado, inicialmente pela FAPESP, na sequência pela Capes e FINEP.

Por outro lado, também é interessante analisar o desempenho do modelo SWAN em zonas costeiras abertas, dada a extensão litoral da costa brasileira. Com efeito, o modelo SWAN pode-se tornar uma ferramenta importante na eficiente previsão das características da agitação marítima em qualquer zona costeira, o que permitirá estar inserido em projetos de maior dimensão como os sistemas integrados de avaliação do risco de erosão e inundação em zonas costeiras ou sistemas de alerta para a inundação e navegação de zonas portuárias e costeiras.

Seja qual for à aplicação é importante notar que as previsões efetuadas com o modelo SWAN dependem dos parâmetros e condições de aplicação desse modelo, e esta será tanto

melhor quanto mais nos depararmos com situações em que haja a disponibilidade de dados medidos *in situ* para validação do modelo numérico, o que constitui uma mais valia no sentido de ganhar sensibilidade à aplicação generalizada deste modelo. É neste sentido que se insere o trabalho aqui apresentado.

Nesta tese descrevem-se duas aplicações do modelo SWAN, uma relacionada à zona marítima adjacente ao porto da Praia da Vitória, na Ilha da Terceira, do Arquipélago dos Açores, Portugal, e outra em uma zona confinada – o lago da barragem de Ilha Solteira. Em ambos os casos ondas são geradas, predominantemente, pela ação de vento.

Para o estudo de caso do porto da praia da Vitória, compararam-se os valores previstos na zona de fundeio da boia-ondógrafo da Praia da Vitória, na Ilha Terceira do arquipélago dos Açores, com os medidos pela mesma boia no ano de 2009 e 2010. Essa análise foi efetuada recorrendo à comparação entre os resultados numéricos e as medições e à análise estatística de parâmetros estatísticos relacionados com a altura de onda, direção média e períodos de pico.

Em geral, os resultados numéricos apresentaram o mesmo andamento que os medidos, o que foi confirmado pelas representações gráficas das Figuras 83 a 86 e os parâmetros estatísticos calculados. Essa concordância é melhor para o parâmetro  $H_s$ , e progressivamente menor para  $t_p$  e  $Dir$ . Verificou-se que, em geral, o modelo tem tendência a subestimar os parâmetros da onda.

De modo a ilustrar a aplicação a uma zona confinada, efetuou-se também a aplicação do modelo SWAN ao lago da barragem de Ilha Solteira situada no estado de São Paulo, Brasil. Neste caso, o modelo foi utilizado para estudar a agitação gerada pelo vento numa zona junto ao lago, considerando um conjunto de dados de vento disponíveis nessa zona e que cobrem um período de seis meses de duração. Assim como no estudo de caso de mar aberto, este estudo de caso apresentou, em geral, resultados numéricos que seguem a tendência dos medidos pelo sensor de pressão, que respondeu de forma coerente à forçante do vento.

No caso do lago da barragem de Ilha Solteira, as alturas significativas de onda foram obtidas a partir de medições de campo nos dias 21 de outubro de 2010 a 21 de março de 2011. A partir da comparação, os resultados do modelo SWAN apresentaram grandes semelhanças em comportamento com os resultados experimentais, o que permite indicar o código como ferramenta promissora para previsão de ondas geradas por ventos em lagos de barragens. O modelo apresentou resultados de alturas significativas de onda  $H_s$  superiores aos registrados pelo sensor de pressão.

As diferenças encontradas entre os resultados numéricos e os medidos podem ser devidas às simplificações admitidas nos cálculos efetuados, por falta de informação, especificamente no que diz respeito aos ventos (ventos constantes em todo o domínio computacional e baseados nos valores obtidos no anemômetro 2D, muito próximo à superfície).

No que tange à metodologia proposta, esta se mostrou operacional no caso português quando do uso do código SWAN alimentado por forçantes atuantes em áreas externas, reproduzindo, em concordância (IC) bons resultados aferidos pela boia (caso do Ponto 2 na Praia da Vitória).

Nessa mesma direção, sem, no entanto considerar ação de forçante externa além do domínio do lago da barragem, o código SWAN conduziu a índices de concordância IC (IC = 70,2%) com os valores medidos pelo sensor de pressão DRUCK instalado a uma lâmina de 1,5 metros da superfície livre, na profundidade de 8m, distando 10 metros da “árvore de instrumentação”, esta localizada a cerca de 50 metros da margem.

Assim exposto, verifica-se com base na Figura 89 (Porto da praia da Vitória) e Figura 101 (lago da barragem de Ilha Solteira), que para a Praia da Vitória existe uma maior frequência para o SWAN de ocorrência de alturas significativas de ondas até 1,75m (fornecidas pelo SWAN), e para alturas maiores que 1,75m, a frequência de ocorrência na boia é maior. Para o caso do lago da barragem de Ilha Solteira, existe uma maior frequência para o SWAN de ocorrência de alturas significativas de ondas até 0,12m, para alturas maiores que 0,12m, o sensor de pressão passou a registrar maiores frequências de ocorrência.

Tais análises, dentro de uma faixa de aceitabilidade de primeira ordem (níveis de projetos básicos), permitem indicar o código SWAN, já consagrado na previsão de agitação marítima em águas abertas, como ferramenta útil e promissora para determinação de ondas em recintos fechados, tal como o caso do lago da barragem de Ilha Solteira.

## **6.2 Perspectivas Futuras**

Em relação ao modelo SWAN, utilizado para efetuar simulações em recinto aberto (Praia de Vitória) e recinto fechado (Lago da Barragem de Ilha Solteira) fica como perspectiva uma calibração de parâmetros e criação de uma malha mais refinados, a partir de um banco de dados mais extenso, o que poderá ainda melhorar os resultados, sem perdas de vista, principalmente, em se aplicar o código em condições não estacionárias.



Outra proposta de trabalho futuro é aplicar o modelo numérico SWAN, em lagos de barragens, mas desta vem no intuito de determinar índices de atenuação da onda pela presença de vegetação do fundo, o que vai aliviar sobremaneira a ação destas sobre as margens do reservatório, evitando ação erosiva intensa, como se tem observado nas margens dos lagos das barragens do noroeste paulista, por exemplo.

### 6.3 Artigos publicados pela pesquisadora durante o período de doutorado

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; FORTES, J. C.; MINUSSI, C. R.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M. Comparative analysis of the swan numerical model predictions and of the pressure sensor measurements at the ilha solteira lake. In: INTERNATIONAL SHORT COURSE/CONFERENCE ON APPLIED COASTAL RESEARCH – SCACR, 6., 2013, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: LNEC, 2013.

FERREIRA, F. O.; MACIEL, G. F.; FIOROT, G. H.; CUNHA, E. F.; VIEIRA, A. S.; SARDINHA JUNIOR, R.; SILVA, A. E. M. Numerical investigation of roll waves occurring in non-newtonian fluid flow. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON RHEOLOGY, 6., 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2013.

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; FORTES, J. C. Análise comparativa de previsões de ondas geradas por vento utilizando o modelo numérico SWAN e medições do sensor de pressão no Lago da Barragem de Ilha Solteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

MACIEL, G. F.; VIEIRA, A. S.; MINUSSI, C. R. Previsão de alturas de ondas em recintos fechados utilizando o modelo numérico SWAN. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2012, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2012.

MACIEL, G. F.; FERREIRA, F. O.; FIOROT, G. H.; MINUSSI, C. R.; COSTA, L. M. C. G.; VIEIRA, A. S.; CUNHA, E. F. Simulação Roll através de software fazer FLUENT. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDRÁULICA – LAD, 25., 2012, San José, Costa Rica. **Anais...** San José: IAHR, 2012.

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; FORTES, C. J. E. M.; MINUSSI, C. R.; CUNHA, E. F.; FERREIRA, F. O.; FIOROT, G. H. Aplicação do modelo numérico SWAN à geração e propagação de ondas geradas por vento em recintos fechados. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDRÁULICA – LAD, 25., 2012, San José, Costa Rica. **Anais...** San José: IAHR, 2012.

VIEIRA, A. S.; FORTES, C. J.; MACIEL, G. F.; MINUSSI, C. R. Comparative analysis of wind generated waves on the Ilha Solteira lake, by using numerical models OndisaCad and SWAN. In: INTERNATIONAL SHORT CONFERENCE ON APPLIED COASTAL RESEARCH – SCACR, 5., 2011, Aachen. **Proceedings...** Aachen: Aachen University, 2011.

RAPOSEIRO, P.; REIS, M. T.; FORTES, C. J.; SANTOS, J. A.; VIEIRA, A. S.; NEVES, D.; SIMÕES, A.; FERREIRA, F. C.; AZEVEDO, E. B. Methodology for flood risk evaluation in port áreas: application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). In: INTERNATIONAL SHORT CONFERENCE ON APPLIED COASTAL RESEARCH – SCACR, 5., 2011, Aachen. **Proceedings...** Aachen: Aachen University, 2011.

SANTOS, J. A.; RODRIGUES, S.; NEVES, D. R.; VIEIRA, A. S.; FORTES, C. J.; REIS, M. T.; SIMÕES, A.; AZEVEDO, E. B. MOIA: an integrated decision support tool for port management. In: INTERNATIONAL ISCRAM CONFERENCE, 8., 2011, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: ISCRAM, 2011.

NEVES, D. R. C. B.; RODRIGUES, S.; VIEIRA, A. S.; SANTOS, J. A.; FORTES, C. J. E. M.; REIS, M. T.; SIMÕES, A.; AZEVEDO, E. B. Avaliação do risco para a navegação em zonas portuárias: avanços na constituição de um sistema de suporte à decisão. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6., 2011, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde. **Proceedings...** Ilha da Boa Vista: APRH, 2011.

REIS, M. T.; FORTES, C. J. E. M.; NEVES, D. R. C. B.; RODRIGUES, S.; SANTOS, J. A.; VIEIRA, A. S.; SIMÕES, A.; AZEVEDO, E. B. Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6., 2011, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde. **Proceedings...** Ilha da Boa Vista: APRH, 2011.

VIEIRA, A. S.; FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; SIMÕES, A.; MACIEL, G. F.; MINUSSI, C. R. Modelação numérica da agitação marítima na Praia da Vitória e lago de Ilha Solteira, utilizando o modelo SWAN. In: CONGRESSO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA – CMNE, 2011, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2011.

VIEIRA, A. S.; FORTES, C. J.; MACIEL, G. F.; MINUSSI, C. R. Aplicação do modelo numérico SWAN para o lago de Ilha Solteira – Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA MARÍTIMA – MARTECH, 1., 2011, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Instituto Superior Técnico – IST, 2011.

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; FORTES, C. J. E. M.; MINUSSI, C. R.; TROVATI, L. R.; DALL’AGLIO SOBRINHO, M.; MORAIS, V. S.; FERNANDES, E. C.; LIMA, G. B.; OLIVEIRA, E. B. Proposta de dois simuladores de ondas geradas por vento em águas restritas: SWAN e ONDISACAD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011.

MACIEL, G. F.; FERREIRA, F. O.; FIOROT, G. H.; VIEIRA, A. S.; MINUSSI, C. R. Modelos representativos de evolução de ondas em escoamento de lama: uma abordagem de ordem teórico-numérico e experimental. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 24., 2010, Punta del Este. **Anais...** Punta del Este: IAHR, 2010. v. 1. p. 20-30.

## REFERÊNCIAS

- AIRY, G. B. Tides and waves. In: ROSE, H. J. et al. **Encyclopaedia metropolitana**. London: B. Fellowes, 1845. v. 192, p. 241-396.
- ALMEIDA, R. Vendaval derruba 10 torres de transmissão de energia. [S.l.]: Jornal Impacto Online, 05 maio 2013. Disponível em: <<http://www.jornalimpactoonline.com.br/cidades/vendaval-derruba-10-torres-de-transmissao-de-energia>>. Acesso em: 15 jun. 2013.
- ANCTIL, F.; QUACH, T. T. Contrôle et analyse de mesures manométriques de vagues de surface. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Ottawa, v. 24, n. 4, p. 539-546, 1997. DOI 10.1139/196-120.
- ÂNGELO, J. S. F. C. **Aplicação do SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao Estuário de Diogo Lopes, Brasil**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- AS DESCIDAS mais incríveis do planeta. **Revista Ondas - qual é a sua?** [S.l.], 2012. Disponível em: <[ondasonline.xpg.com.br](http://ondasonline.xpg.com.br)>. Acesso em: 15 out. 2012.
- AZEVEDO, E. B.; GONÇALO, V. O projecto CLIMAAT e o seu contributo para a monitorização e caracterização da agitação marítima no arquipélago dos Açores. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 4., 2005, Angra do Heroísmo. **Anais...** Angra do Heroísmo: PIANC, 2005.
- AZEVEDO, E. B.; MENDES, P.; GONÇALO, V. Projetos CLIMAAT e CLIMARCOST Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos, Clima Marítimo e Costeiro. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE CLIMA E RECURSOS NATURAIS NOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA - WSCRA08, 2008, Ilha do Sal, Cabo Verde. **Anais...** Ilha do Sal: CPLP, 2008.
- BARRERA, C.; AZEVEDO, E. B.; RUEDA, M. J.; GELADO, M. D.; LLINÁS, O. Real-time monitoring network in the Macaronesian region as a contribution to the Coastal Ocean Observations Panel (COOP). **Journal of Operational Oceanography**, London, v. 1, n. 1, p. 59-69, 2008.
- BATTJES, J. A.; STIVE, M. J. F. Calibration and verification of a dissipation model for random breaking waves. **Journal Geophysical Research**, Hoboken, v. 90, n. C5, p. 9159-9167, 1985.
- BERKHOFF, J. C. W. Computation of combined refraction-diffraction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COASTAL ENGINEERING, 13., 1972, Vancouver, Canada. **Proceedings...** Vancouver: [s.n.], 1972. v. 2, p. 471-490.
- BOOIJ, N. R.; HOLTHUIJSEN, L. H.; RIS, R. C. The SWAN wave model for shallow water. In: INTERNATIONAL COASTAL ENGINEERING CONFERENCE – ICCE'96, 25., 1996, Orlando. **Proceedings...** Orlando: American Society of Civil Engineers, 1996. p. 668-676.

BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, part I: model description and validation. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 104, n. C4, p. 7649-7666, 1999.

BRETSCHNEIDER, C. L. The generation and decay of wind waves in deep water. **Transactions of the American Geophysical Union**, Hoboken, v. 33, n. 3, p. 381-389, 1952.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **CR1000 measurement and control system**: instruction manual. Logan: Campbell Scientific, 2006a.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **CSAT 3 three dimensional sonic anemometer**: instruction manual. Logan: Campbell Scientific, 2007.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **Solar panels**: instruction manual. Logan: Campbell Scientific, 2006b.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **Two dimensional sonic anemometer**: instruction manual. Logan: Campbell Scientific, 2005.

CAPITÃO, R. **Modelação estocástica numérica e física da agitação marítima**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002.

CARTER, D. J. T. **Prediction of wave height and period for a constant wind velocity using the JONSWAP results**. Wormley: Institute of Oceanographic Sciences, 1982.

COLI, A.; FORTES, C. J.; SANTOS, J. A.; CAPITÃO, R.; CARVALHO, M. M. Metodologia de propagação de regimes de agitação marítima do largo para a costa: análise dos modelos BACKTRACKREFSPEX e SWAN. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 6., 2002, Porto. **Anais...** Porto: APRH, 2002.

CLIMA E METEOROLOGIA DOS ARQUIPÉLAGOS ATLÂNTICOS - CLIMAAAT. **Praia da Vitória - Bóia Bond 1**. Ponta Delgada: Universidade dos Açores, Centro do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais - CMMG, 2013. Disponível em: <<http://www.climaat.angra.uac.pt/>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

COOPERATIVE PROGRAM FOR OPERATIONAL METEOROLOGY, EDUCATION AND TRAINING – COMET. AVN/MRF model characteristics. In: CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 12., 1998, Phoenix. **Proceedings...** Phoenix: American Meteorological Society, 1998.

CUNHA, E. F.; MORAIS, V. S.; MACIEL, G. F.; MAGINA, F. Sistema de transmissão de dados de vento e onda, via rádio telemetria, em lagos de barragens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009.

DALRYMPLE, R. A.; KIRBY, J. T. **REF/DIF 1 version 2.3**: documentation manual: combined refraction/diffraction model. Newark: University of Delaware, 1991. (CACR Report, n. 91-2).

DEAN, R.G.; DALRYMPLE, R.A. **Water wave mechanics for engineers and scientists**. 2. ed. New Jersey: World Scientific, 1991. (Advanced Series on Ocean Engineering, v.2).

ELDEBERKY, Y. **Nonlinear transformation of wave spectra in the nearshore zone**. Thesis (Ph.D.) - Delft University of Technology, Delft, 1996.

ESTEVEES, M.; TOMÉ, R.; MIRANDA, P. M. A.; AZEVEDO, B. Desempenho do MM5 em modo operacional: o Furacão Gordon na região dos Açores. In: SIMPÓSIO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA DA APMG, 5., 2007, Peniche, Portugal. **Anais...** Peniche: APMG, 2007.

ESTEVEES, R.; VALENTE, A.; COSTA, M.; REIS, F.; AZEVEDO, E. Dados direccionais de agitação marítima nos Açores (Projeto CLIMAAT – Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos). In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 6., 2009, Funchal, Portugal. **Anais...** Funchal: PIANC, 2009.

FENG, M.; LI, Y.; MEYERS, G. Multidecadal variations of fremantle sea level: footprint of climate variability in the tropical Pacific. **Geophysical Research Letters**, Hoboken, v. 31, p. L16302, 2004.

FERREIRA, A. N. **Estudo de acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná: aspectos preventivos**. 2000. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FORTES, C. J. E. M. **Transformações não lineares de ondas em zonas portuárias: análise pelo método dos elementos finitos**. 2002. Tese (Doutoramento em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Tecnologia, Lisboa, 2002.

FORTES, C. J. E. M. **Modelação matemática da refração e da difracção combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 1993.

FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; SANTOS, J. A.; NEVES, M. G.; CAPITÃO, R. SOPRO – pacote integrado de modelos de avaliação dos efeitos das ondas em portos. **Revista da Tecnologia da Água**, n. 1, p.51-61, 2006.

FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; PALHA, A. O pacote de dados SOPRO 3.1: evoluções recentes. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 5., 2007, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: PIANC, 2007.

FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; SANTOS, J. A. Acoplagem de modelos numéricos no Pacote SOPRO. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 9., 2008, Estoril, Portugal. **Anais...** Estoril: APRH, 2008.

FREE WAVE. **Spread Spectrum Rádios**: instruction manual. Version 6.3R. Boulder: Free Wave, 2012.

GILL INSTRUMENTS. **WindSonic**. Lymington: Gill Instruments, 2006.

GOOGLE MAPS. **Ilha Solteira - SP**. Mountain View: Landsat, 2013. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=w1>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

GREGÓRIO, T. S. M. **DREAMS-SIMNAV**. 2004. 88 f. Relatório (Projecto Final de Curso) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2004.

HOLTHUIJSEN, L. H. **Waves in oceanic and coastal waters**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

JEFFREYS, H. On the formation of waves by wind. **Proceedings of the Royal Society A**, London, n. 107, p. 189-206, 1924.

JEFFREYS, H. On the formation of waves by wind, II. **Proceedings of the Royal Society A**, London, n. 110, p. 341-347, 1925.

KIRBY, J. T.; WEI, G.; CHEN, Q. **FUNWAVE 1.0 fully nonlinear boussinesq wave model**: documentation and user's manual. Newark: University of Delaware, 1998. (CACR, n. 98-06)

KOMEN, G. J.; CAVALERI, L.; DONELAN, M.; HASSELMANN, M.; HASSELMANN, S.; JANSSEN, P. A. E. M. **Dynamics and modeling of ocean waves**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

LIMA, S. F.; NASCIMENTO, M. F.; UAISSONE, A. J. R.; NEVES, C. F. Estimativa das maiores ondas geradas pelo vento no reservatório de Ilha Solteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003.

LOGIURATO, F. Inlets in Egypt, France and Italy mimic wave diffraction through an opening. In: AMERICAN PHYSICAL SOCIETY. **Teaching Physics with Google Earth**. College Park: Physucs Central - Physics Buzz Blog, 5 jan. 2012. Disponível em: <<http://physicsbuzz.physicscentral.com/2012/01/teaching-physics-with-google-earth.html>>. Acesso em: 15 out. 2012.

MACIEL, G. F.; TROVATI, L. R.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M.; NEVES, C. F.; CUNHA, E. F.; MORAIS, V. S. Alerta de ventos e ondas para a segurança da navegação. In: SEMINÁRIO DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO HIDROVIÁRIO INTERIOR, 6., 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBENA, 2009.

MARQUES, M. **Sistema automatizado para estimativa de ondas geradas por vento em reservatórios de barragens**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MATOS, M. F.; FORTES, C. J. E. M.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Modelação da agitação marítima no Estuário de Diego Lopes, Rio Grande do Norte. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 7., 2011, Porto. **Anais...** Porto: FEUP, 2011.

MILES, J. W. On the generation of surface waves by shear flow. **Journal of Fluid Mechanics**, Cambridge, v. 3, p. 185-204, 1957.

MITSUYASU, H.; HONDA, T. Wind-induced growth of water waves. **Journal of Fluid Mechanics**, Cambridge, v. 123, p. 425-442, 1982.

MORAIS, V. S.; CUNHA, E. F.; MACIEL, G. F. Medição, previsão e análise numérica dos mecanismos de geração de ondas a partir da cinética de ventos e dissipação de ondas na presença de fundos com vegetação, em Lagos de Barragens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: 2009.

MORAIS, V. S.; VASCO, J. R. G.; MACIEL, G. F. Criação de um sistema automatizado de previsão de ondas geradas por ventos em águas interiores e sua alteração devido à influência de vegetação aquática. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 5., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: ABCM, 2008.

MULLIGAN, R. P.; BOWEN, A. J.; HAY, A. E.; VAN DER WESTHUYSEN, A. J.; BATTJES, J. A. White capping and wave field evolution in a coastal bay. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 113, p. C03008, 2008.

PADILLA-HERNÁNDEZ, R. **Numerical modelling of wind wave energy dissipation at the bottom including ambient currents**. 2002. 171 f. Dissertation (Ph.D) - Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium, 2002.

NWOGU, O. Efeito de correntes constantes no direcional Aceno Spectra. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE MECÂNICA OFFSHORE E ENGENHARIA ÁRTICO, 12., 1993, Glasgow. **Proceedings...** Glasgow: [s.n.], 1993. v. 1, p. 25-32.

PALHA, A. C. PyMOIA – previsão, em tempo real, da agitação marítima em zonas portuárias. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 5., 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: PIANC, 2007. (1 CD-ROM).

PARALISAÇÃO da hidrovía Tietê-Paraná por causa de acidente gera prejuízo em Araçatuba, SP. Produção: TEM Notícias 2. edição - Rio Preto/Araçatuba. São José do Rio Preto: Globo TV, 26 mar. 2013. 1 filme (2 mim 36s) : son., color. Disponível em: <<http://globotv.globo.com/tv-tem-interior-sp/tem-noticias-2a-edicao-rio-pretoaracatuba/v/paralisacao-da-hidrovía-tiete-parana-por-causa-de-acidente-gera-prejuizo-em-aracatuba-sp/2482129/>>. Acesso em: 15 jun. 2013.

PHILLIPS, O. M. On the geration of waves by turbulent wind. **Journal of Fluid Mechanics**, Cambridge, v. 2, p. 417-445, 1957.

PIERSON, W. J.; MOSKOWITZ, L. A proposed spectral form for fully developed wind seas. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 69, n. 24, p. 5181-5190, 1964.

PINHEIRO, L. V.; FORTES, C. J. E. M.; SANTOS, J. A.; NEVES, M. G.; CAPITÃO, R.; COLI, A. B. SOPRO: caracterização da agitação marítima: aplicações. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA, 4., 2005, Angra do Heroísmo. **Anais...** Angra do Heroísmo: PIANC, 2005.

PINHEIRO, L. V.; FERNANDES, J. L. M.; FORTES, C. J. E. M. Finite element mesh generator with local density conditioned to bathymetry for wave propagation models in

coastal zones. In: STATE OF THE ART IN NUMERICAL GRID GENERATION II: from theory to practice, 2006, Rome. **Proceedings...** Rome: [s.n.], 2006a.

PINHEIRO, L. V.; FERNANDES, J. L. M.; FORTES C. J. E. M. sobre um gerador de malhas de elementos finitos com densidade local condicionada à batimetria para modelos de propagação de ondas em zonas portuárias. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM MECÂNICA DOS FLUIDOS E TERMODINÂMICA, 1., 2006, Lisboa. **Anais...** Lisboa: FCT, 2006b.

PINHEIRO, L. V.; FORTES, C. J. E. M.; SANTOS, J. A.; NEVES, M. G. Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 8., 2006, Figueira da Foz, Portugal. **Anais...** Figueira da Foz: FCTUC, 2006.

PIPKIN, B. F. et al. **Laboratory exercises in Oceanography**. New York: W.H. Freeman, 1987. 257 p.

RIBEIRO, M.; GONÇALVES, A.; CAPITÃO, R.; FORTES, C. J. E. M. Base de dados de agitação marítima da costa portuguesa. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004, Lisboa. **Anais...** Lisboa: PIANC, 2004.

RIS, R. C. **Spectral modelling of wind waves in coastal waters**. 1997. 160 f. Thesis (Ph.D.) - Delft University of Technology, Delft, 1997.

RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N. A third-generation wave model for coastal regions, part II: verification. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 104, n. C4, p.7667-7681, 1999

ROGERS, W. E.; HWANG, P. A.; WANG, D. W. Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional-scale applications. **Journal of Physical Oceanography**, Boston, v. 33, p. 366-389, 2002.

SANDERS, J. W. A growth-stage scaling model for the wind-driven sea. **Deutsche Hydrografische Zeitschrift**, Heidelberg, v. 29, n. 4, p. 136-161, 1976.

SANTOS, J. A.; GUILHERME, L.; FORTES, C. J. E. M.; PINHEIRO, L.; SIMÕES, A. Coupling numerical models for wave propagation in the MOIA package. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach, Special Issue n. 56, p. 544-548, 2009.

SAVILLE, T. **The effect of fetch width on wave generation**. Vicksburg: Beach Erosion Board, 1954. (Technical Memorandum, n. 70).

SIMÕES, A. O clima de agitação marítima nas Ilhas da Macaronésia: um estudo nos Açores: projetos CLIMAAT e CLIMAAT II, INTERREG IIIB – Açores, Madeira e Canárias, MAC/2.3/A3 – 03/MAC/2.3/A5. In: JORNADAS TÉCNICAS DE ENCERRAMENTO DO PROJETO CLIMAAT II, 2006, Funchal. **Comunicações...** Ponta Delgada: Universidade dos Açores, 2006.

SVERDRUP, H. U.; MUNK, W. H. **Wind, sea and swell: theory of relations for forecasting**. Washington, D.C.: U.S. Navy Hydrographic Office, 1947. (Pub. n. 601).



SIMÕES, A.; TOMÉ, R.; REIS, F.; AZEVEDO, E. **Avaliação da qualidade das previsões de agitação marítima no Arquipélago dos Açores**: projetos CLIMAAT e CLIMAAT II, INTERREG IIIB – Açores, Madeira e Canárias, MAC/2.3/A3 – 03/MAC/2.3/A5. Ponta Delgada: Universidade dos Açores, 2009.

THE SWAN TEAM. **SWAN Cycle III version 40.72**: user manual. Delft: Delft University of Technology, 2008.

TOLMAN, H. L. **The numerical model WAVEWATCH**: a third generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas. Delft: Technische Universiteit Delft, 1989. (Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, n. 89-2).

TOLMAN, H. L. An evaluation of expressions for wave energy dissipation due to bottom friction in the presence of currents. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 16, p. 165-179, 1992

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18**. Washington, D.C.: National Oceanic and Atmospheric Administration, 1999. (Technical note, 166).

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22**. Washington, D.C.: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002. (Technical note, 222).

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 3.14**. Washington, D.C.: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2009. (Technical note, 276).

TOMÉ, R.; RAMALHO, C.; FERREIRA, J. P.; MIRANDA, P. M. A. Previsão do tempo nos Açores com modelos de alta resolução. In: SIMPÓSIO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA DA APMG, 4., 2005, Sesimbra, Portugal. **Anais...** Sesimbra: APMG, 2005.

TORRES de transmissão de energia caem em Ilha Solteira: vento forte causou a queda. Produção: Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira. Ilha Solteira: AHI Unesp, 2010. 1 filme (2 mim 16s) : son., color. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=7aUYZA0XpQ>>. Acesso em: 15 out. 2012.

UNITED STATES ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. **Shore protection manual**. 3. ed. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers, 1973.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. Faculdade de Engenharia. Laboratório de Hidrologia e Hidrometria. **Projeto ONDISA5**: Hidrovia Tietê-Paraná: alerta de vento e ondas para segurança da navegação: relatório final. Ilha Solteira: Laboratório de Hidrologia e Hidrometria, jun. 2011. Disponível em: <[http://200.145.241.31/dec/lh2/documentos/Relatorio\\_FINAL\\_FINEP\\_ONDISA5.pdf](http://200.145.241.31/dec/lh2/documentos/Relatorio_FINAL_FINEP_ONDISA5.pdf)>. Acesso em: 3 ago. 2013.

VASCO, J. R. G. **Modelo conceitual de dissipação da energia da onda que se propaga por fundos vegetados**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; FORTES, J. C. O Modelo SWAN como ferramenta útil na previsão de onda em recinto fechado – estudo de caso no Lago da Barragem de Ilha Solteira S.P. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

WANDI GROUP. The WAM model: a third generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**, Boston, v. 18, p. 1775-1810, 1988.

WEI, G.; KIRBY, J. T.; GRILLI, S. T.; SUBRAMANYA, R. A time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, Reston, v. 120, p. 251- 261, 1995.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. . **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

Ilha Solteira-SP, 06 de agosto de 2013

---

Assinatura do Aluno

## ANEXO A – PROGRAMAS DESENVOLVIDOS PELA EQUIPE DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Programas computacionais necessários para a execução desta tese desenvolvidos pela equipe de trabalho.

### A.1 Programas para a conversão de espectro de pressão para altura significativa de onda

Macros desenvolvidos pelo membro da equipe Professor Dr. Milton Dall’Aglio Sobrinho com o objetivo de transformar os espectros de ondas obtidos pelo sensor de pressão em alturas significativas de ondas.

Os programas utilizados foram: Reduz 4, Macro1 e Corrige, que estão aqui descritos neste item.

#### A.1.1 Reduz 4

##### Sub Reduz4()

```
'
' Versao 4 :Reduz1 Macro
' Trabalha com delta níveis - variação em relação a media
' diferença para versao 3: não precisa calcular a média
' esta informação é buscada nos dados originais
' Ao invés do nível médio, a versao 4 calcula a média das ondas positivas
'
```

Dim minuto\_atual As Integer

Dim hora As Integer

Dim zmin, zmed, zmax, zsom, z, profundidade As Double

Dim np, j, k As Integer

Dim npmax As Integer

npmax = 300

Dim linha As Long

Dim linha\_ini As Long

linha = ActiveCell.Row

coluna = ActiveCell.Column

minuto\_atual = Cells(linha, 2).Value

hora = Cells(linha, 1).Value

linha\_ini = linha

linha\_sai = linha

Cells(linha\_ini - 1, coluna + 2).Value = "Hora"

```

Cells(linha_ini - 1, coluna + 3).Value = "Minuto"
Cells(linha_ini - 1, coluna + 4).Value = "Leituras"
Cells(linha_ini - 1, coluna + 6).Value = "dzmin"
Cells(linha_ini - 1, coluna + 5).Value = "Profundidade"
Cells(linha_ini - 1, coluna + 7).Value = "hmax"
Cells(linha_ini - 1, coluna + 8).Value = "hmedio"

```

retoma:

```

' inicializa as variaveis
'
profundidade = 0
zsom = 0
zmin = Cells(linha, coluna).Value
zmax = zmin
zsom = zmin
np = 1

```

novalinha:

```

'While Cells(linha + 1, 4).Value <> ""

    linha = linha + 1
    novo_minuto = Cells(linha, 2).Value
    hora_nova = Cells(linha, 1).Value
    'If novo_minuto = "" Then - estrutura nao e esta
    ' todas as linhas tem hora e minuto

    If novo_minuto = minuto_atual Then

        z = Cells(linha, coluna).Value
        profundidade = profundidade + Cells(linha, 4)
        If z > 0 Then zsom = zsom + z
        If z > zmax Then
            zmax = z
        Else
            If z < zmin Then zmin = z
        End If
        np = np + 1

    Else
        ' terminou o minuto, calcula a media, ou é sujeira ignora
        ' segundo = Cells(linha, 3).Value
        ' If segundo = 0 Then ' está certo, é novo minuto
        hora_nova = Cells(linha, 1).Value
        zmed = zsom / np
        profundidade = profundidade / np
        Cells(linha_ini, coluna + 2).Value = hora
        Cells(linha_ini, coluna + 3).Value = minuto_atual
        Cells(linha_ini, coluna + 4).Value = np
        Cells(linha_ini, coluna + 6).Value = zmin
        Cells(linha_ini, coluna + 5).Value = profundidade

```

```

Cells(linha_ini, coluna + 7).Value = zmax
Cells(linha_ini, coluna + 8).Value = zmed
minuto_atual = novo_minuto
hora = hora_nova
' hora_atual = Cells(linha, 1).Value
linha_ini = linha_ini + 1
zsom = 0
profundidade = 0
zmin = Cells(linha, coluna).Value
zmax = zmin
If zmin > 0 Then zsom = zmin
np = 1
' Else ' segundo nao é 0 - nao -e novo minuto
' Cells(linha, 2).Value = ""
' Cells(linha, 1).Value = ""
'End If

End If

If Cells(linha + 1, coluna).Value <> "" Then ' nao termina
GoTo novalinha
Else ' terminaram os dados imprime ultimo minuto
zmed = zsom / np
profundidade = profundidade / np
Cells(linha_ini, coluna + 2).Value = hora
Cells(linha_ini, coluna + 3).Value = minuto_atual
Cells(linha_ini, coluna + 4).Value = np
Cells(linha_ini, coluna + 6).Value = zmin
Cells(linha_ini, coluna + 5).Value = profundidade
Cells(linha_ini, coluna + 7).Value = zmax
Cells(linha_ini, coluna + 8).Value = zmed
End If
' Wend
' If Cells(linha + 2, 4).Value = "" Then GoTo finaliza
' Rows(linha + 1).Delete
'Else: GoTo finaliza
'End If
' linha = linha + 1
' GoTo retoma

finaliza:
Cells(linha_sai, coluna).Select

'Selection.Copy
'Range("E2").Select
'ActiveSheet.Paste
' myChart.Application.DataSheet.Rows(3).Delete
End Sub

```

### ***A.1.2 Macro1***

#### **Sub Macro1()**

```

'
' Macro1 Macro
'
' calcula altura significativa a cada minuto
'
'   Windows("01-2011-d31.xlsx").Activate
'   teste1 = Activeworbook.Caption
lini = Cells(1, 5).Value ' linha do inicio dos dados brutos
n = Cells(4, 5).Value ' Nmax = 512
linha_ini = lini
linha_fini = linha_ini + n - 1
linha_resulta = linh_ini
col = ActiveCell.Column
linha_sai = lini
Cells(linha_ini - 1, col + 11).Value = "hs"

retoma:
' copia as celulas do minuto atual para o range fixo
For i = 0 To n - 1
    x = Cells(linha_ini + i, col)
    Cells(lini + i, col + 1).Value = x
Next i
linha_ini = linha_ini + n

    With ActiveSheet.Sort
        .SortFields.Clear
        .SortFields.Add Key:=Range("M10:M309"), _
            SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
        .SetRange Range("M10:M309")
        .Header = xlGuess
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With
'Applying sort.
'   With ActiveWorkbook.Worksheets(ActiveSheet.Name).Sort
'       .SortFields.Clear
'       .SortFields.Add Key:=Range("A2:A11"), _
'           SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
'       .SetRange Range("A1:A11")
'       .Header = xlYes
'       .MatchCase = False
'       .Orientation = xlTopToBottom
'       .SortMethod = xlPinYin
'       .Apply
'   End With
'   MsgBox "Sort complete.", vbInformation

```

```

'Range("M100:M309").Select
'Selection.ClearContents
'Range("M100").Select
'ActiveCell.FormulaR1C1 = "=AVERAGE(R[-90]C:R[-1]C)"
'Range("M100").Select
'Selection.Copy
'Selection.End(xlUp).Select
hs = Cells(5, 5).Value
Cells(linha_sai, col + 11).Value = hs
linha_sai = linha_sai + 1
'
'critério de parada testa se existe hmax
para = Cells(linha_sai, col + 7).Value
If para = "" Then GoTo finaliza
GoTo retoma
finaliza:
Range("M10").Select 'Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
'::=False, Transpose:=False

```

### ***A.1.3 Corrige***

#### **Public Sub Corrige()**

```

'
' por mds em 06.2011
' gera alturas corrigidas ao lado das
' pressoes lidas no arquivo dados
' brutos de cada dia de leituras
'
' inicia em qualquer celula
' exige estrutura rigida de planilha
' E1 = linha de inicio dos dados (7) - sempre igual nesta fase
' E2 = profundidade adotada para o local de instalacao (6m)
' E3 = sample rate (5 por segundo)
' E4 = numero de pontos da amostra N (512) sempre igual nesta fase
'
'
Dim XX(511) As Double
Dim XC(511) As Double
Dim H2(256) As Double
Dim ReX(256) As Double
Dim ReXC(256) As Double
Dim ImXC(256) As Double
Dim ImX(256) As Double
Dim Pi, Pi2, Pi2g, Cte, somaX, mediaX As Double
Dim Lx, kx, Inovo, knovo, NR As Double
Dim SampleRate, g, tanhkd0, arghiper As Double

```

```

g = 9.81
Pi = 3.14159265358979
Pi2 = Pi * 2
Pi2g = 2 * Pi * g
lini = Cells(1, 5).Value ' linha do inicio dos dados brutos
prof_local = Cells(2, 5).Value ' profundidade total do local adotada
SampleRate = Cells(3, 5).Value ' numero de amostras por segundo
n = Cells(4, 5).Value ' Nmax = 512
N2 = n / 2

tanhkd0 = 0.996
' prof_local = xmedia - profundidade do sensor
inf = lini
col = 4
' imprime o cabeçalho

Cells(lini - 2, 5).Value = mediaX
Cells(lini - 1, 5).Value = "Delta"
Cells(lini - 1, 6).Value = "freq" ' para controle
Cells(lini - 1, 7).Value = "1/H2" ' para controle
Cells(lini - 1, 8).Value = "ReX(k)" ' para controle
Cells(lini - 1, 9).Value = "ImX(k)" ' para controle
Cells(lini - 1, 10).Value = "ReXC(k)" ' para controle
Cells(lini - 1, 11).Value = "ImXC(k)" ' para controle
Cells(lini - 1, 12).Value = "XC(i)" ' para controle

Novo_Bloco: ' começa a leitura de 512 novos valores de pressao

' imprime andamento
Cells(lini - 2, 5).Value = inf
' entra o primeiro e testa para fim do programa
compara = Cells(inf + 10, 4).Value
If compara = "" Then GoTo finaliza

' inicia a aquisicao dos dados de mais um bloco dos 844 do dia
somaX = 0#

For i = 0 To n - 1
    lin = inf + i
    XX(i) = Cells(lin, col).Value
    somaX = somaX + XX(i)
Next i
mediaX = somaX / n
'
' calcula a variação em relação a media
For i = 0 To n - 1
    XX(i) = XX(i) - mediaX
Next i
' imprime para controle
For i = 0 To n - 1

```



```

    Cells(inf + i, 5).Value = XX(i)
Next i

' inicia o calculo da correcao H2
' baseado na Calc_H2 Macro
' Calculo da função de transferencia pressão nível de onda. Projeto ONDISA8. Por mds em
05/2011
'
'
z = mediaX ' imersao ou recobrimento do sensor de pressao
H2(0) = 1
NR = SampleRate / n

For f = 1 To N2
    freq = f * NR
    Cells(inf + f, 6).Value = freq ' para controle
    Cte1 = Pi2g / (Pi2 * freq) ^ 2

    Lx = Pi2 * tanhkd0
    kx = Pi2 / Lx
' processo iterativo para definir L e k
    For ik = 1 To 10
        Inovo = Cte1 * tanh(kx * prof_local)
        knovo = Pi2 / Inovo
        If (Abs(Inovo - Lx)) >= 0.00001 Then
            Lx = Inovo
            kx = knovo
        Else
            ik = 10
            Lx = Inovo
            kx = knovo
        End If
    Next ik
    arghiper = kx * (prof_local - z)
    arghiper2 = kx * prof_local
    H2(f) = 1 / (cosh(kx * (prof_local - z)) / cosh(kx * prof_local)) ^ 2
    If H2(f) > 10 Then H2(f) = 10# ' limite filtra dias sem ondas

    ' H2(f) = 1 / H2(f)
' imprime 1/H2 para controle

    Cells(inf + f, 7).Value = H2(f)

Next f

' terminou o calculo de H2

' inicia a DFT

For k = 0 To N2

```

```

    ReX(k) = 0
    ImX(k) = 0
Next k

For k = 0 To N2
    For i = 0 To n - 1
        Cte = Pi2 * k * i / n
        ReX(k) = ReX(k) + XX(i) * Cos(Cte)
        ImX(k) = ImX(k) + XX(i) * Sin(Cte)
    Next i
Next k
' imprime o resultado para controle

For k = 0 To N2
    Cells(inf + k, 8).Value = ReX(k)
    Cells(inf + k, 9).Value = ImX(k)
Next k

' CORRECAO

' com a DFT aplica a correcao
For k = 0 To N2 / 2
    ReXC(k) = ReX(k) * H2(k)
    ImXC(k) = ImX(k) * H2(k)
    Cells(inf + k, 10).Value = ReXC(k)
    Cells(inf + k, 11).Value = ImXC(k)
Next k

For k = (N2 / 2) + 1 To N2
    ReXC(k) = ReX(k) ' * H2(k)
    ImXC(k) = ImX(k) ' * H2(k)
    Cells(inf + k, 10).Value = ReXC(k)
    Cells(inf + k, 11).Value = ImXC(k)
Next k

' chama a IFT e refaz XX no vetor XC

For k = 0 To N2
    ReXC(k) = ReXC(k) / N2
    ImXC(k) = -1 * ImXC(k) / N2
Next k

ReXC(0) = ReXC(0) / 2#
ReXC(N2) = ReXC(N2) / 2#

For i = 0 To n - 1
    XC(i) = 0#
Next i
For k = 0 To N2

```

```

For i = 0 To n - 1
    Cte = Pi2 * k * i / n
    XC(i) = XC(i) + ReXC(k) * Cos(Cte)
    XC(i) = XC(i) + ImXC(k) * Sin(Cte)
Next i
Next k
' atribui resultados na planilha
' coloca de volta na planilha XC ao lado do original XX

For i = 0 To n - 1
    Cells(inf + i, 12).Value = XC(i)
Next i
' prepara novo bloco para DFT
inf = inf + n

GoTo Novo_Bloco ' para teste só calcula 1 unica amostra

finaliza:

Cells(lini, 6).Select

End Sub

```

---

```

Function tanh(x As Double)
Dim a, b As Double
    a = Exp(x)
    b = Exp(-x)
    tanh = (a - b) / (a + b)

End Function

```

---

```

Function cosh(x As Double)
    cosh = Exp(x) + Exp(-x)
End Function

```

## A.2 Programas para aquisição de dados

```
;{CR10X}
; Programa que faz a leitura da onda com alta velocidade
; e manda para a memoria a 8 dados por segundo
; Por mds em 06.06.00
; Esse é uma união do ONDA5 e VENTO3
;
*Table 1 Program
 01: 0.125 Execution Interval (seconds)
; esta parte igual ao ONDA5
1: Full Bridge w/mv Excit (P9)
 1: 1 Reps
 2: 5 2500 mV Slow Ex Range
 3: 3 25 mV Slow Br Range
 4: 1 DIFF Channel
 5: 1 Excite all reps w/Exchan 1
 6: 2500 mV Excitation
 7: 1 Loc [ Prof_m ]
 8: 3.55203 Mult
 9: 0.0 Offset
2: Do (P86)
 1: 10 Set OuTput Flag High (Flag 0)
3: Sample (P70)
 1: 1 Reps
 2: 1 Loc [ Prof_m ]
4: If time is (P92)
 1: 0000 Minutes (Seconds --) into a
 2: 1 Interval (same units as above)
 3: 10 Set OuTput Flag High (Flag 0)
5: Real Time (P77)
 1: 0110 Day,Hour/Minute (midnight = 0000)
*Table 2 Program
 02: 05 Execution Interval (seconds)
; esta parte foi retirada do programa VENTO3
1: Pulse (P3)
 1: 1 Reps
 2: 1 Pulse Channel 1
 3: 21 Low Level AC, OuTput Hz
 4: 4 Loc [ vel_vento ]
 5: 0.3528 Mult
 6: 0.0 Offset
2: Excite-Delay (SE) (P4)
 1: 1 Reps
 2: 05 2500 mV Slow Range
 3: 5 SE Channel
 4: 2 Excite all reps w/Exchan 2
 5: 2 Delay (units 0.01 sec)
 6: 2500 mV Excitation
```

```

7: 3    Loc [ Dir_vent ]
8: 0.142 Mult
9: 0.0  Offset
3: Do (P86)
  1: 10   Set OuTput Flag High (Flag 0)
4: Sample (P70)
  1: 1    Reps
  2: 4    Loc [ vel_vento ]
5: Sample (P70)
  1: 1    Reps
  2: 3    Loc [ Dir_vent ]
6: If time is (P92)
  1: 0000  Minutes (Seconds --) into a
  2: 15    Interval (same units as above)
  3: 10    Set OuTput Flag High (Flag 0)
7: Wind Vector (P69)
  1: 1    Reps
  2: 60    Samples per Sub-Interval
  3: 00    S, é1, & â(é1) Polar
  4: 4    Wind Speed/East Loc [ vel_vento ]
  5: 3    Wind Direction/North Loc [ Dir_vent ]
8: Maximum (P73)
  1: 1    Reps
  2: 11    Value with Hr-Min-Sec
  3: 4    Loc [ vel_vento ]
9: If time is (P92)
  1: 0000  Minutes (Seconds --) into a
  2: 1    Interval (same units as above)
  3: 10    Set OuTput Flag High (Flag 0)
10: Real Time (P77)
  1: 0110  Day,Hour/Minute (midnight = 0000)
*Table 3 Subroutines

```

End Program

-Input Locations-

```

1 Prof_m   1 1 1
2 cont_vent 1 0 0
3 Dir_vent 1 2 1
4 vel_vento 1 3 1
5 East_win 1 0 0
6 N_Dir    1 0 0

```

## APÊNDICE A – PROGRAMAS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DA TESE

Programas computacionais necessários para a execução desta tese desenvolvidos pela autora com ajuda e supervisão da Dr. Conceição Juana Espinosa Moraes Fortes, orientadora do Doutorado Sanduiche de 1 ano desenvolvido no LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lisboa – Portugal.

### A.1 Programas para estruturação dos dados de vento de acordo com as normas exigidas pelo modelo SWAN

#### A.1.1 Previsões de ondas

Para criar a tabela de previsões de ondas, inicialmente é necessário ir ao site <ftp://193.136.241.181/>, da Universidade dos Açores (com acesso mediante senha) para buscar os arquivos tab77 e salva-los na pasta onde se encontra o programa para a geração das previsões. O site nos fornece os dados como indicado na Figura 103.

Figura 103 - Representação do site de dados de previsão de ondas do WWIII.

Index of ftp://193.136.241.181/			
Name	Size	Last Modified	
tab77_1006230.www3	6 KB	6/23/2010	9:28:00 AM
tab77_1006231.www3	6 KB	6/23/2010	9:07:00 PM
tab77_1006240.www3	6 KB	6/24/2010	9:26:00 AM
tab77_1006241.www3	6 KB	6/24/2010	8:20:00 PM
tab77_1006250.www3	6 KB	6/25/2010	9:24:00 AM
tab77_1006251.www3	6 KB	6/25/2010	8:37:00 PM
tab77_1006260.www3	6 KB	6/26/2010	9:43:00 AM
tab77_1006261.www3	6 KB	6/26/2010	8:23:00 PM
tab77_1006270.www3	6 KB	6/27/2010	9:25:00 AM
tab77_1006271.www3	6 KB	6/27/2010	8:23:00 PM
tab77_1006280.www3	6 KB	6/28/2010	9:27:00 AM
tab77_1006281.www3	6 KB	6/28/2010	9:14:00 PM
tab77_1006290.www3	6 KB	6/29/2010	9:28:00 AM
tab77_1006291.www3	6 KB	6/29/2010	8:43:00 PM
tab77_1006300.www3	6 KB	6/30/2010	9:27:00 AM
tab77_1007010.www3	6 KB	7/1/2010	2:07:00 PM
tab77_1007011.www3	6 KB	7/1/2010	8:37:00 PM
tab77_1007020.www3	6 KB	7/2/2010	9:23:00 AM

Fonte: Adaptado de <ftp://193.136.241.181/>, da Universidade dos Açores.

Em seguida, cria-se um arquivo.bat para extrair as características da agitação marítima (arquivo pontos 2\_exp.txt) nos pontos que constituirão a fronteira do modelo SWAN, como indica a Figura 104.

Figura 104 - Representação do arquivo.bat.

```
retirar_previsoes_marco_abril.bat - Notepad
File Edit Format View Help
del pontos2_exp.txt

copy tab77_0903240.wv3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903250.wv3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903260.wv3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt

copy tab77_0903270.wv3 dados.dad
dados_previsao_77.exe
type dat.dat>>pontos2_exp.txt
```

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Obs.: as tab77 devem estar no mesmo arquivo do programa.

Depois de criado o arquivo.bat, roda-se o mesmo ( e por conseguinte executa-se o programa dados\_previsao\_77.f), e a saída de resultados será no arquivo pontos2\_exp.txt.

O programa: dados\_previsao\_77.f é apresentado abaixo:

### ***A.1.2 Programa dados\_previsão\_77***

#### **program separar**

c Para um arquivo de dados para retira a previsao do dia .

```
real*8 AJUDA(7000,12), HS
character lixo
```

```
open(unit=2, file="dados.dad")
open(unit=33, file="dat.dat")
```

```
I=1
n=1
read(2,*)lixo
read(2,*)lixo
read(2,*)lixo
```

```
do
read(2,*,end=22)(ajuda(i,j),j=1,12)
WRITE(77,*)AJUDA(I,1),ajuda(i,2), ajuda(i,3),ajuda(i,4)
nTOT=nTOT+1
I=I+1
enddo
```

```

22  write(*,*)'ntot=',ntot

do i=1,24

WRITE(77,*)'inicio',i

write(33,666)(ajuda(I,K), K=1,12)

666 FORMAT(12f12.3)

444  enddo

end
    
```

O arquivo pontos2\_exp.txt é do tipo como indica a Figura 105.

Figura 105 - Representação do arquivo pontos2\_exp.txt.

Date h		Time m	Hs s	L (m)	Tr (m)	D <sub>ir.</sub> (s)	Spr. (d. N)	fp (deg)	p_dir (Hz)	p_spr (d. N)	
20090101	1	0	0	1.819	67.7	6.23	263.2	42.22	0.1203	275.6	45.99
20090101	2	0	0	1.835	66.2	6.18	262.7	40.48	0.1214	276	45.38
20090101	3	0	0	1.889	65.1	6.13	262.1	38.92	0.1237	275.9	43.79

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Feito isso, seu arquivo de previsões de ondas esta pronto para ser usado no SWAN. Este arquivo esta em SWAN/77.

### A.1.3 Ventos

Os ventos são retirados do site <ftp://193.136.241.181/>, da Universidade dos Açores (com acesso mediante senha). Existem arquivos para a componente U10 e para a componente V10, pelo que os mesmos precisam passar por um tratamento de modo a serem compatíveis com as normas pedidas pelo SWAN. A Figura 106 indica a interface do site.

Figura 106 - Interface do site dos ventos.

Name	Size	Last Modified
PSLV_20101217_12_D1.TAR.gz	1171 KB	12/17/2010 4:19:00 PM
PSLV_20101217_12_D2.TAR.gz	188 KB	12/17/2010 4:23:00 PM
PSLV_20101217_12_D3.TAR.gz	429 KB	12/17/2010 4:32:00 PM
PSLV_20101217_12_D4.TAR.gz	968 KB	12/17/2010 5:44:00 PM
U10_20101217_12_D1.TAR.gz	1383 KB	12/17/2010 4:19:00 PM
U10_20101217_12_D2.TAR.gz	241 KB	12/17/2010 4:23:00 PM
U10_20101217_12_D3.TAR.gz	556 KB	12/17/2010 4:32:00 PM
U10_20101217_12_D4.TAR.gz	1264 KB	12/17/2010 5:44:00 PM
V10_20101217_12_D1.TAR.gz	1366 KB	12/17/2010 4:19:00 PM
V10_20101217_12_D2.TAR.gz	236 KB	12/17/2010 4:23:00 PM
V10_20101217_12_D3.TAR.gz	560 KB	12/17/2010 4:32:00 PM
V10_20101217_12_D4.TAR.gz	1297 KB	12/17/2010 5:44:00 PM

Fonte: Adaptado de <ftp://193.136.241.180/Previsao/>, da Universidade dos Açores.



Depois de salvar as previsões U10 e V10 numa pasta (exemplo ventos\_2009), é necessário juntar tudo num só arquivo UV e para isso utiliza-se o programa:

- cria\_u10\_v10\_new.f para os meses de Janeiro a Setembro
- cria\_u10\_v10\_new\_meses101112.f para os meses de Outubro a Dezembro, os quais se encontram no arquivo ventos\_2009.

Estes programas transformam os dados U10 e V10 num arquivo único UV, na área de estudo, os quais serão utilizados para rodar o SWAN.

O arquivo cria\_u10\_v10\_new.f é apresentado neste apêndice:

Obs.: Os U10 e V10 devem estar no mesmo arquivo do programa cria\_u10\_v10\_new.f. Quando se for rodar o SWAN é necessário a criação de uma lista de ventos, a qual consta apenas UV\_ano\_mes\_dia\_hora, esta lista é feita no wordpad.

Um exemplo dessa lista é:

```
UV_2009010101_D4.txt
UV_2009010102_D4.txt
UV_2009010103_D4.txt
....
```

### ***A.1.3.1 Programa para gerar UV para os meses de Janeiro a Setembro***

**program cria\_UV**

```
integer dia,11,12
real
u(75,5000),v(75,5000),x(5000),y(5000)
character(22) FILEU,FILEV
character(20) FILEUV
logical ex

C   atencao: SO DA PARA OS
MESES 1 A 9

      MES=9

      DO DIA=1,31

C   MANHA
```

```
0'   write(FILEU(1:9),'(a9)')U10_2009

      write(FILEU(10:10),'(I1)')MES

0'   write(FILEV(1:9),'(a9)')V10_2009

      write(FILEV(10:10),'(I1)')MES

90'  write(FILEUV(1:8),'(a8)')UV_200

      write(FILEUV(9:9),'(I1)')MES
      if (dia.lt.10) then
```

```

write(FILEU(11:11),'(a1)')0'
write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA
write(FILEU(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
write(FILEV(11:11),'(a1)')0'
write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA
write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
write(FILEUV(10:10),'(a1)')0'
write(FILEUV(11:11),'(I1)')DIA
write(FILEUV(14:20),'(a7)')_D4.tx
t'

falta=0

inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
    write(*,*)'falta1',fileu
    falta=1

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1
write(FILEU(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1
write(FILEV(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
    if (not(ex)) then

write(*,*)'falta2',fileu
    falta=2

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1
write(FILEU(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1

```

```

write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
    if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
    falta=3

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-2
write(FILEU(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-2
write(FILEV(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
        endif
    endif
endif

else

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA
write(FILEU(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA
write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
write(FILEUV(10:11),'(I2)')DIA
write(FILEUV(14:20),'(a7)')_D4.tx
t'

falta=0

inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
    write(*,*)'falta1',fileu
    pause
    falta=1

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1

```

```

write(FILEU(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
    if (not(ex)) then

write(*,*)'falta2',fileu
        pause
        falta=2

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
    if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
        pause
        falta=3

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-2

write(FILEU(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-2

write(FILEV(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
        endif
    endif
endif

endif

open(unit=10,file=FILEU)

```

```

k=1
do while(not.eof(10))
    read(10,*)
x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
C    if (k.eq.45) write(*,*)
k,x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
        j=4
        do i=1,14
            read(10,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
c            write(*,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
                j=j+5
c                pause
            enddo
        k=k+1
    enddo

write(*,*)
write(*,*)
write(*,*)'estou aqui'
write(*,*)k,'pontos lidos em U10'
write(90,*)k,'pontos lidos em',fileu
close(10)

open(unit=20,file=FILEV)

k=1
do while(not.eof(20))
    read(20,*)
x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
c    write(*,*)
x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
        j=4
        do i=1,14
            read(20,*)
v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
c            write(*,*)
v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
                j=j+5
c                pause
            enddo
        k=k+1
    enddo

write(*,*)
write(*,*)
write(*,*)k,'pontos lidos em V10'
write(90,*)k,'pontos lidos em',filev

```

```

close(20)
  write(*,*)
  write(*,*)

if (falta.eq.0) then
  l1=1
  l2=12
elseif (falta.eq.1) then
  l1=13
  l2=24
elseif (falta.eq.2) then
  l1=25
  l2=36
elseif (falta.eq.3) then
  l1=37
  l2=48
endif
do l=11,l2
  if (l-l1+1.lt.10) then

write(FILEUV(12:12),'(a1)')0'

write(FILEUV(13:13),'(i1)')l-l1+1
  else

write(FILEUV(12:13),'(i2)')l-l1+1
  endif

  open(unit=30, file=FILEUV)

  do j=1,130
    divi=int(j/13)
    modo=mod(j,13)
    if (modo.eq.0) then
      modo=13
      divi=divi-1
    endif
    k=10*modo-divi
    write(30,*) u(l+1,k)
  enddo
  do j=1,130
    divi=int(j/13)
    modo=mod(j,13)
    if (modo.eq.0) then
      modo=13
      divi=divi-1
    endif
    k=10*modo-divi

```

```

write(30,*) v(l+1,k)
  enddo
  write (*,*) FILEUV, ' criado
com sucesso'
  CLOSE (30)
  enddo

C   TARDE

  if (dia.lt.10) then

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEUV(11:11),'(I1)')DIA

write(FILEUV(14:20),'(a7)')'_D4.tx
t'

falta=0

inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
  write(*,*)'falta 1',fileu
  pause
  falta=1

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

inquire(file=FILEU,
exist=ex)
  if (not(ex)) then

```

```

write(*,*)'falta2',fileu
           pause
           falta=2

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

           inquire(file=FILEU,
exist=ex)
           if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
           pause
           falta=3

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

           endif
           endif
endif

ELSE

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEUV(10:11),'(I2)')DIA

```

```

write(FILEUV(14:20),'(a7)')'_D4.tx
t'

falta=0

inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
           write(*,*)'falta1',fileu
           pause
           falta=1

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

           inquire(file=FILEU,
exist=ex)
           if (not(ex)) then

write(*,*)'falta2',fileu
           pause
           falta=2

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

           inquire(file=FILEU,
exist=ex)
           if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
           pause
           falta=3

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

```

```

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'
        endif
    endif
endif

ENDIF
open(unit=10,file=FILEU)

k=1
do while(not.eof(10))
    read(10,*)
x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
C    if (k.eq.45) write(*,*)
k,x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
        j=4
        do i=1,14
            read(10,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
c    write(*,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
c    j=j+5
c    pause
        enddo
        k=k+1
    enddo

write(*,*)
write(*,*)
write(*,*)k,'pontos lidos em U10'
write(90,*)k,'pontos lidos em',fileu
close(10)

open(unit=20,file=FILEV)
k=1
do while(not.eof(20))
    read(20,*)
x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
c    write(*,*)
x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
        j=4
        do i=1,14
            read(20,*)
v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
c    write(*,*)
v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)

```

```

c    j=j+5
c    pause
        enddo
        k=k+1
    enddo

write(*,*)
write(*,*)
write(*,*)k,'pontos lidos em V10'
write(90,*)k,'pontos lidos em',filev
close(20)
write(*,*)
write(*,*)

if (falta.eq.0) then
l1=13
l2=24
elseif (falta.eq.1) then
l1=25
l2=36
elseif (falta.eq.2) then
l1=37
l2=48
elseif (falta.eq.3) then
l1=49
l2=60
endif
do l=l1,l2
    if (l-l1+12.lt.10) then

write(FILEUV(12:12),'(a1)')'0'

write(FILEUV(13:13),'(i1)')l-l1+13
    else

write(FILEUV(12:13),'(i2)')l-l1+13
    endif

open(unit=30, file=FILEUV)

do j=1,4860
    divi=int(j/486)
    modo=mod(j,486)
    if (modo.eq.0) then
        modo=486
        divi=divi-1
    endif
    k=10*modo-divi
    write(30,*) u(l+1-
12,k)

```

```

        enddo

        do j=1,4860
            divi=int(j/486)
            modo=mod(j,486)
            if (modo.eq.0) then
                modo=486
                divi=divi-1
            endif
            k=10*modo-divi

```

```

                write(30,*) v(l+1-
12,k)
            enddo
            write (*,*) FILEUV, ' criado
com sucesso'
            CLOSE (30)
            enddo

            ENDDO

            end program

```

### A.1.3.2 Programa para gerar UV para os meses de Outubro a Dezembro

**program cria\_UV**

```

integer dia,l1,l2
real
u(75,5000),v(75,5000),x(5000),y(5000)
character(22) FILEU,FILEV
character(20) FILEUV
logical ex

C      sO DA PARA OS MESES 10 11 E
12     MES=12

      DO DIA=1,31

C      MANHA

      write(FILEU(1:8),'(a8)')U10_2009'
      write(FILEU(9:10),'(I2)')MES
      write(FILEV(1:8),'(a8)')V10_2009'
      write(FILEV(9:10),'(I2)')MES

      write(FILEUV(1:7),'(a7)')UV_200
9'

      write(FILEUV(8:9),'(I2)')MES

      if (dia.lt.10) then

```

```

      write(FILEU(11:11),'(a1)')0'
      write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA
      write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'
      write(FILEV(11:11),'(a1)')0'
      write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA
      write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

      write(FILEUV(10:10),'(a1)')0'
      write(FILEUV(11:11),'(I1)')DIA
      write(FILEUV(14:20),'(a7)')'_D4.tx
t'

      falta=0

      inquire(file=FILEU, exist=ex)
      if (not(ex)) then
          write(*,*)'falta1',fileu
          falta=1

      write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1

```

```

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
    if (not(ex)) then

write(*,*)'falta2',fileu
        falta=2

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
        falta=3

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-2

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-2

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'
        endif
    endif
endif

else

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA

```

```

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEUV(10:11),'(I2)')DIA

write(FILEUV(14:20),'(a7)')'_D4.tx
t'

falta=0

inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
write(*,*)'falta1',fileu
    pause
    falta=1

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'
write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'
    inquire(file=FILEU,
exist=ex)
    if (not(ex)) then

write(*,*)'falta2',fileu
        pause
        falta=2

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'
        inquire(file=FILEU,
exist=ex)

```



```

                                if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
                                pause
                                falta=3

write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-2

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-2

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

                                endif
                                endif
                                endif

                                endif

                                open(unit=10,file=FILEU)

                                k=1
                                do while(not.eof(10))
                                    read(10,*)
x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
C   if (k.eq.45) write(*,*)
k,x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
                                    j=4
                                    do i=1,14
                                        read(10,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
c   write(*,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
                                    j=j+5
c   pause
                                enddo
                                k=k+1
                                enddo

                                write(*,*)
                                write(*,*)
                                write(*,*)'estou aqui'
                                write(*,*)k,'pontos lidos em U10'
                                write(90,*)k,'pontos lidos em',fileu
                                close(10)

                                open(unit=20,file=FILEV)

```

```

                                k=1
                                do while(not.eof(20))
                                    read(20,*)
x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
c   write(*,*)
x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
                                    j=4
                                    do i=1,14
                                        read(20,*)
v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
c   write(*,*)
v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
                                    j=j+5
c   pause
                                enddo
                                k=k+1
                                enddo

                                write(*,*)
                                write(*,*)
                                write(*,*)k,'pontos lidos em V10'
                                write(90,*)k,'pontos lidos em',filev
                                close(20)
                                write(*,*)
                                write(*,*)

                                if (falta.eq.0) then
l1=1
l2=12
                                elseif (falta.eq.1) then
l1=13
l2=24
                                elseif (falta.eq.2) then
l1=25
l2=36
                                elseif (falta.eq.3) then
l1=37
l2=48
                                endif
                                do l=11,l2
                                    if (l-11+1.lt.10) then

write(FILEUV(12:12),'(a1)')'0'

write(FILEUV(13:13),'(i1)')l-11+1
                                    else

write(FILEUV(12:13),'(i2)')l-11+1

```

```

endif

open(unit=30, file=FILEUV)

do j=1,130
  divi=int(j/13)
  modo=mod(j,13)
  if (modo.eq.0) then
    modo=13
    divi=divi-1
  endif
  k=10*modo-divi
  write(30,*) u(l+1,k)
enddo
do j=1,130
  divi=int(j/13)
  modo=mod(j,13)
  if (modo.eq.0) then
    modo=13
    divi=divi-1
  endif
  k=10*modo-divi
  write(30,*) v(l+1,k)
enddo
write (*,*) FILEUV, ' criado
com sucesso'
CLOSE (30)
enddo

C   TARDE

if (dia.lt.10) then

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEUV(11:11),'(I1)')DIA

```

```

write(FILEUV(14:20),'(a7)')'_D4.tx
t'

falta=0

inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
  write(*,*)'falta1',fileu
  pause
  falta=1

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'
inquire(file=FILEU,
exist=ex)
if (not(ex)) then

write(*,*)'falta2',fileu
  pause
  falta=2

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEV(13:22),'(a10)')'_12_D
4.txt'
inquire(file=FILEU,
exist=ex)
if (not(ex)) then

write(*,*)'falta3',fileu
  pause
  falta=3

write(FILEU(12:12),'(I1)')DIA-1

write(FILEU(13:22),'(a10)')'_00_D
4.txt'

```

```

write(FILEV(12:12),'(I1)')DIA-1
write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
endif
endif
endif
ELSE
write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA
write(FILEU(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA
write(FILEV(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
write(FILEUV(10:11),'(I2)')DIA
write(FILEUV(14:20),'(a7)')_D4.tx
t'
falta=0
inquire(file=FILEU, exist=ex)
if (not(ex)) then
write(*,*)'falta1',fileu
pause
falta=1
write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA
write(FILEU(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA
write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
inquire(file=FILEU,
exist=ex)
if (not(ex)) then
write(*,*)'falta2',fileu
pause

```

```

falta=2
write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1
write(FILEU(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1
write(FILEV(13:22),'(a10)')_12_D
4.txt'
inquire(file=FILEU,
exist=ex)
if (not(ex)) then
write(*,*)'falta3',fileu
pause
falta=3
write(FILEU(11:12),'(I2)')DIA-1
write(FILEU(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
write(FILEV(11:12),'(I2)')DIA-1
write(FILEV(13:22),'(a10)')_00_D
4.txt'
endif
endif
endif
ENDIF
open(unit=10,file=FILEU)
k=1
do while(not(eof(10)))
read(10,*)
x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
C if (k.eq.45) write(*,*)
k,x(k),y(k),u(1,k),u(2,k),u(3,k)
j=4
do i=1,14
read(10,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
c write(*,*)
u(j,k),u(j+1,k),u(j+2,k),u(j+3,k),u(j+4,k)
j=j+5
c pause
enddo

```

```

        k=k+1
    enddo

    write(*,*)
    write(*,*)
    write(*,*)k,'pontos lidos em U10'
    write(90,*)k,'pontos lidos em',fileu
    close(10)

    open(unit=20,file=FILEV)

    k=1
    do while(not(eof(20)))
        read(20,*)
    x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
    c
        write(*,*)
    x(k),y(k),v(1,k),v(2,k),v(3,k)
        j=4
        do i=1,14
            read(20,*)
    v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
    c
            write(*,*)
    v(j,k),v(j+1,k),v(j+2,k),v(j+3,k),v(j+4,k)
    c
            j=j+5
            pause
        enddo
        k=k+1
    enddo

    write(*,*)
    write(*,*)
    write(*,*)k,'pontos lidos em V10'
    write(90,*)k,'pontos lidos em',filev
    close(20)
        write(*,*)
        write(*,*)

    if (falta.eq.0) then
        l1=13
        l2=24
    elseif (falta.eq.1) then
        l1=25
        l2=36
    elseif (falta.eq.2) then
        l1=37
        l2=48
    elseif (falta.eq.3) then
        l1=49

```

```

        l2=60
    endif

    do l=11,l2
        if (l-l1+12.lt.10) then

            write(FILEUV(12:12),'(a1)')0'

            write(FILEUV(13:13),'(i1)')l-l1+13
        else

            write(FILEUV(12:13),'(i2)')l-l1+13
        endif

        open(unit=30, file=FILEUV)

        do j=1,4860
            divi=int(j/486)
            modo=mod(j,486)
            if (modo.eq.0) then
                modo=486
                divi=divi-1
            endif
            k=10*modo-divi
            write(30,*) u(l+1-
12,k)

        enddo
        do j=1,4860
            divi=int(j/486)
            modo=mod(j,486)
            if (modo.eq.0) then
                modo=486
                divi=divi-1
            endif
            k=10*modo-divi
            write(30,*) v(l+1-
12,k)

        enddo
        write (*,*) FILEUV, ' criado
com sucesso'
        CLOSE (30)
    enddo

    ENDDO

end program

```

## A.2 Metodologia para Gerar os Transfer's

Os arquivos necessário para a corrida do SWAN:

- Batimetria: TERCEIRA\_z, por exemplo;
- lista de ventos - LISTA\_VENTOS\_2009\_janeiro-fevereiro\_24h, por exemplo;
- Características da agitação Marítima – Ponto2\_Previsao\_Janeiro\_a\_Dezembro\_2009-3valores, por exemplo;

Todos os arquivos do tipo UV\_2009010111\_D4.txt, por exemplo, na pasta onde vai ser corrido o SWAN

O arquivo de pontos do tipo abaixo q representa os pontos certos, neste caso são 3. É um arquivo feito no excell:

3	
495530	4286288
496098	4286325
498580.	4289218.

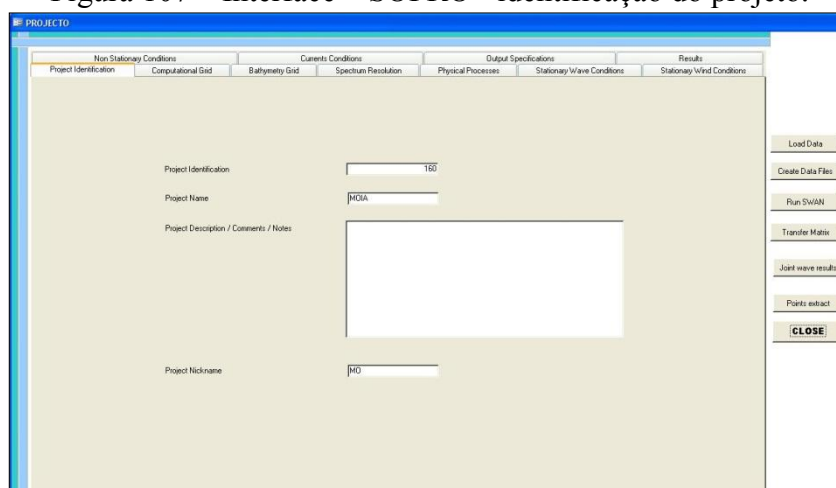
Deve-se preencher todos os campos do SOPRO/SWAN.

### A.2.1 Interface gráficas do SWAN

Neste item destaca-se todas a janelas para a corrida do SWAN com os procedimentos para execução do mesmo.

Identificação do Projeto: Indica-se o nome do projeto a ser executado

Figura 107 – Interface – SOPRO - identificação do projeto.

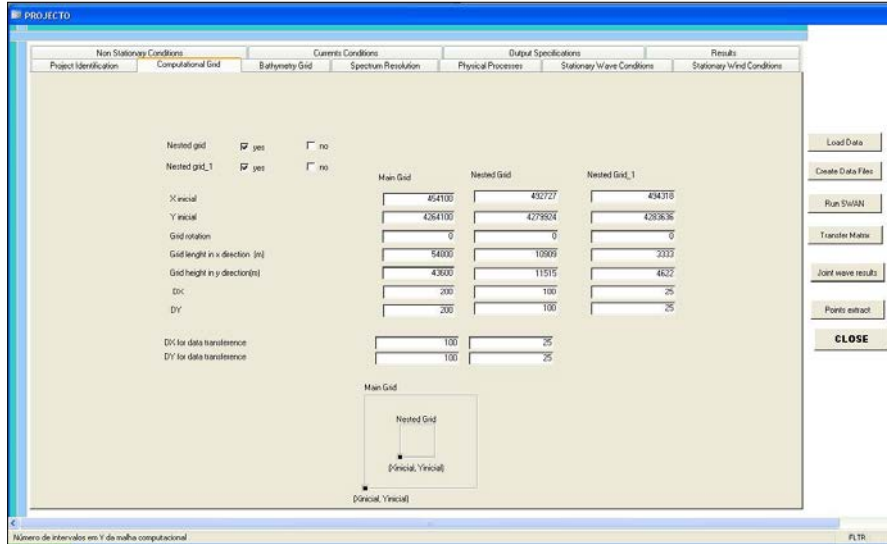


Fonte: Elaboração do próprio autor.

## A.2.2 Computacional Grid

Nesta interface, determina-se as malhas a serem executadas, bem como suas dimensões, e seus parâmetros.

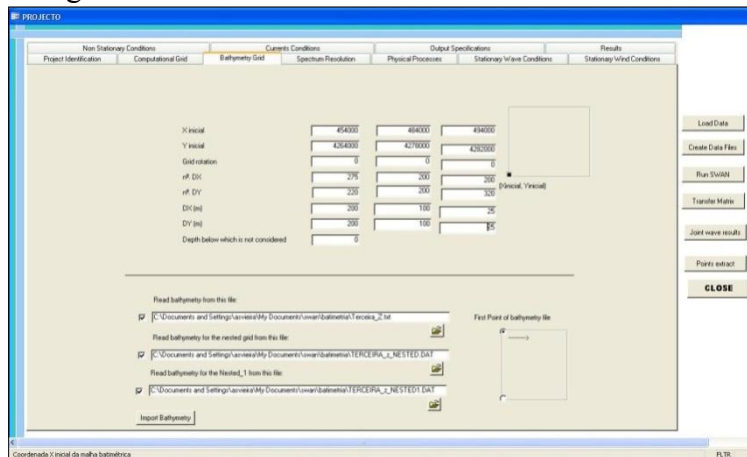
Figura 108 – Interface – SOPRO - Grade computacional.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## Bathymetry Grid

Figura 109 - Interface – SOPRO - Grade Batimétrica.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## Spectrum Resolution

## Physical Processes

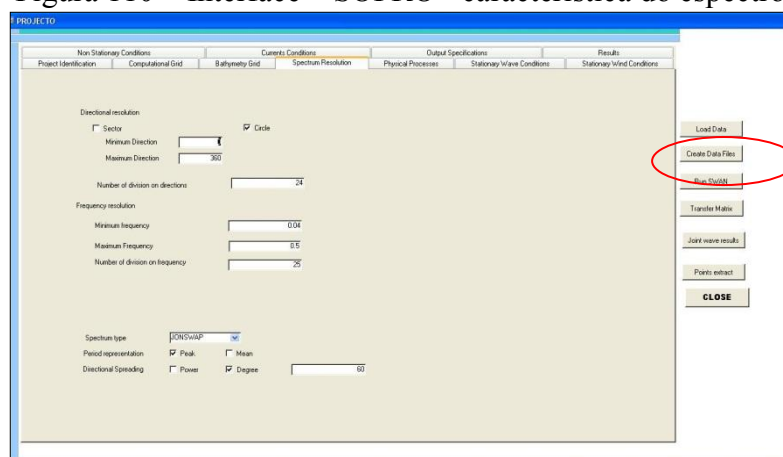
## Stationary Wave Conditions

## Stationary Wind Conditions

## Results

Depois basta mandar executar no SOPRO/SWAN, o create data file:

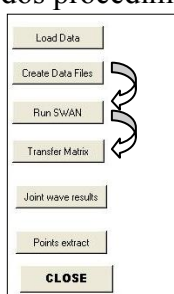
Figura 110 – Interface – SOPRO - característica do espectro.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em seguida executa-se Run SWAN e depois executar o Transfer Matrix, comp pode ser ilustrado na Figura 111.

Figura 111 - Representação dos procedimentos para executar o SWAN.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com tudo isso nos lugares certos, basta clicar em transfer matrix, os mesmos vão ser gerados dentro da pasta SW\_160\_MOIA. Obtêm-se um arquivo do tipo TRANSFER P1.dat para cada ponto desejado como indica a

Figura 112.

Figura 112 - Representação do arquivo de saída do SWAN.

The screenshot shows a text editor window titled 'Surfer - [TRANSFER\_P1 Jan\_lev.matb02.dat]'. The data is organized in a grid with columns labeled A through I and rows numbered 1 through 21. The first row (row 1) has a value of 1.819 in column A. The subsequent rows contain numerical data for columns B through I.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1.819	8.313	275.6	0.64199	8.2281	172.5	1.7561		
2	1.835	8.237	276	0.70334	8.6668	172.5	1.7636		
3	1.869	8.084	275.9	0.60015	8.2281	172.5	1.7709		
4	1.91	8.071	274.9	0.60351	8.2281	172.5	1.7712		
5	1.936	8.071	274.1	0.53412	8.2281	172.5	1.9219		
6	1.983	8.078	274.1	0.4745	8.2281	172.5	2.1595		
7	2.048	8.019	274.1	0.47596	8.2281	172.5	2.2346		
8	2.074	8.217	274.4	0.48306	8.2281	172.5	2.2281		
9	2.073	8.361	275.3	0.53956	8.2281	172.5	1.9938		
10	2.08	8.453	276.7	0.59572	8.2281	172.5	1.8951		
11	2.104	8.489	277.9	0.56257	8.2281	172.5	1.9012		
12	2.135	8.503	278.8	0.51981	8.2281	172.5	2.273		
13	2.135	8.489	279.3	0.39133	8.2281	7.5	2.2618		
14	2.084	8.475	279.2	0.47182	8.2281	172.5	2.2289		
15	2.041	8.453	278.8	0.53788	8.2281	172.5	2.1005		
16	2.067	8.446	277.9	0.47623	8.2281	172.5	2.0925		
17	2.096	8.46	278.9	0.42516	8.2281	7.5	2.2956		
18	2.136	8.518	276.5	0.42383	8.2281	7.5	2.199		
19	2.331	10.515	280	0.46688	10.0705	7.5	2.2188		
20	2.595	10.767	287.5	0.53036	11.1411	7.5	2.1803		
21	2.785	10.823	285.9	0.45222	11.1411	7.5	2.2628		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Esses arquivos devem ser abertos no Excel e arrumados em colunas. Tendo como visão a Figura 113.

Figura 113 - Representação do arquivo do SWAN em Excel.

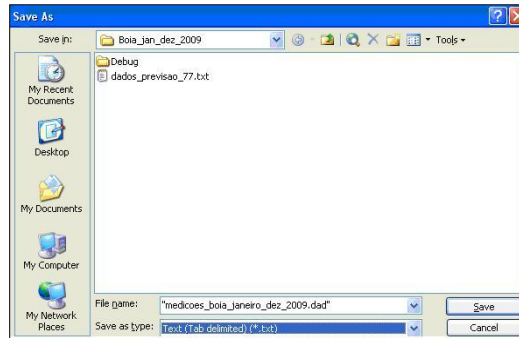
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ano	mês	dia	hora	hs	HT	IT	dir	H(0)	T(0)	dir(0)	Tm																			
2009	1	1	0	39814																										
2009	1	1	1	39814.042	1.819	8.313	275.6	0.64199	8.2281	172.5	1.7561																			
2009	1	1	2	39814.083	1.826	8.237	276	0.70334	8.2281	172.5	1.7636																			
2009	1	1	3	39814.125	1.889	8.084	275.9	0.60615	8.2281	172.5	1.7709																			
2009	1	1	4	39814.167	1.91	8.071	274.9	0.60351	8.2281	172.5	1.7712																			
2009	1	1	5	39814.208	1.938	8.071	274.11	0.53412	8.2281	172.5	1.9216																			
2009	1	1	6	39814.25	1.983	8.078	274.1	0.4745	8.2281	172.5	2.1505																			
2009	1	1	7	39814.292	2.048	8.019	274.1	0.47595	8.2281	172.5	2.2348																			
2009	1	1	8	39814.333	2.074	8.217	274.4	0.48396	8.2281	172.5	2.2281																			
2009	1	1	9	39814.375	2.073	8.361	276.3	0.63866	8.2281	172.5	1.9938																			
2009	1	1	10	39814.417	2.08	8.453	276.7	0.58572	8.2281	172.5	1.8851																			
2009	1	1	11	39814.458	2.104	8.489	277.9	0.56257	8.2281	172.5	1.9812																			
2009	1	1	12	39814.5	2.135	8.503	278.8	0.51981	8.2281	172.5	2.273																			
2009	1	1	13	39814.542	2.125	8.489	279.3	0.39133	8.2281	7.5	2.2616																			
2009	1	1	14	39814.583	2.084	8.475	279.2	0.47182	8.2281	172.5	2.2289																			
2009	1	1	15	39814.625	2.041	8.453	278.8	0.53788	8.2281	172.5	2.1005																			
2009	1	1	16	39814.667	2.067	8.446	277.9	0.47623	8.2281	172.5	2.0825																			
2009	1	1	17	39814.708	2.096	8.46	276.9	0.42516	8.2281	7.5	2.2955																			
2009	1	1	18	39814.75	2.135	8.518	276.5	0.42383	8.2281	7.5	2.199																			
2009	1	1	19	39814.792	2.231	10.515	280	0.46589	10.0765	7.5	2.2168																			
2009	1	1	20	39814.833	2.596	10.787	287.5	0.63035	11.1411	7.5	2.1803																			
2009	1	1	21	39814.875	2.785	10.823	285.9	0.4522	11.1411	7.5	2.2628																			
2009	1	1	22	39814.917	2.954	10.881	284	0.449	11.1411	7.5	2.2005																			
2009	1	1	23	39814.958	3.125	11.086	282.6	0.44611	11.1411	7.5	2.1781																			
2009	1	2	0	39815	3.206	11.669	282	0.46385	12.3255	7.5	2.1574																			
2009	1	2	1	39815.042	3.474	11.875	285	0.48536	12.3255	7.5	2.2255																			
2009	1	2	2	39815.083	3.632	12.165	284.5	0.46311	12.3255	7.5	2.2737																			
2009	1	2	3	39815.125	3.765	12.81	283.8	0.48834	12.3255	7.5	2.2322																			
2009	1	2	4	39815.167	3.84	12.804	283.1	0.50153	12.3255	22.5	2.2859																			

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### A.3 Metodologia de como gerar os arquivos da boia de 3 em 3 horas

Primeiramente deve-se criar um arquivo com os dados da boia em excell e salva-los como por exemplo: `medicoes_boia_janeiro_dez_2009.dad`, como indica a Figura 114.

Figura 114 - Representação de tipo de arquivo e formato dos dados.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Este arquivo deve ser salvo dentro da pasta onde se tem o programa `separa_agitacao_Boia_3horas.f`.

009	1	1	0	1.6806	5.4257	342.6891	42.0542	8.6957	9.1188	43.2341
009	1	1	3	1.5197	5.2509	347.4745	39.5232	9.0909	35.5969	41.0331
009	1	1	6	1.4462	5.2951	354.7132	40.7525	9.5238	30.7504	41.3311
009	1	1	9	1.4851	5.7806	292.5701	38.9889	9.0909	298.0677	45.9761

Feito o arquivo, roda-se o programa: `separa_agitacao_Boia_3horas.f`, o qual vai criar o arquivo: `Medicoes_Boia_Janeiro_Dez_2009_3horas.dat` que pode ser aberto no surfer.



Deve-se então salva-lo em formato de xls (excell), para a partir daí fazer os gráficos e comparações que quiser.

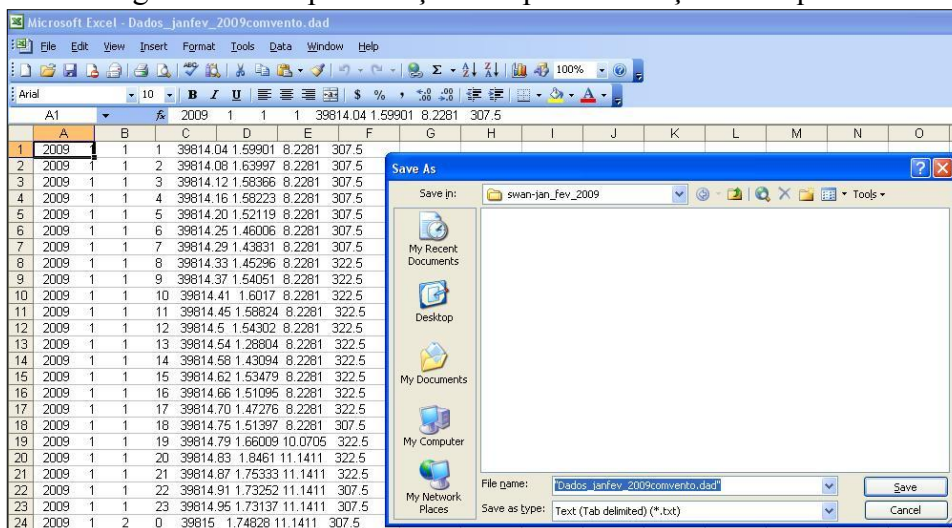
Um exemplo desse arquivo é do tipo.

2009.000	1.000	1.000	0.000	1.081	5.420	342.089	42.024	8.090	9.115
2009.000	1.000	1.000	3.000	1.514	5.251	347.474	39.523	9.091	355.597
2009.000	1.000	1.000	6.000	1.446	5.295	354.713	40.752	9.524	30.750
2009.000	1.000	1.000	9.000	1.485	5.781	292.570	38.989	9.091	298.068
2009	1	1	12	0	0	0	0	0	0
2009.000	1.000	1.000	15.000	1.330	4.648	306.835	39.961	8.696	344.675
2009.000	1.000	1.000	18.000	1.228	5.241	320.263	40.440	10.000	333.217
2009.000	1.000	1.000	21.000	1.490	5.706	323.430	35.110	8.333	305.389
2009	1	2	0	0	0	0	0	0	0
2009	1	2	3	0	0	0	0	0	0

#### A.4 Metodologia de como criar os arquivos para do SWAN de 3 em 3 horas

Para gerar os arquivos do SWAN de 3 em 3 horas, cria-se um arquivo com os dados que quiser com opor exemplo: Dados\_janfev\_2009comvento.dad, e salva-se da maneira indicada na Figura 115.

Figura 115 - Representação de tipo de extensão do arquivo.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Feito isso , executa-se o programa: separa\_agitacao\_SWAN\_3horas.f, o qual vai gerar um arquivo dentro da mesma pasta com o nome: Dados\_JanFev\_2009comvento\_3horas.dat, do tipo:

2009	1	1	3	39814.129	0.983	8.228	322.500
2009	1	1	6	39814.250	1.017	8.228	322.500
2009	1	1	9	39814.379	1.066	8.228	322.500
2009	1	1	12	39814.500	1.132	8.228	322.500
2009	1	1	15	39814.629	1.085	8.228	322.500
2009	1	1	18	39814.750	1.067	8.228	322.500

Salva-se esse arquivo gerado em formato do excell e a partir dai faz-se os gráficos e comparações desejadas.

### A.5 Metodologia de como fazer as comparações entre dados da boia e dados do SWAN de 3 em 3 horas

Deve-se utilizar os arquivos criados em cada programa: junta-los numa mesma planilha do excell, para eliminar os valores que não existem simultaneamente na boia e no SWAN. Neste nosso caso existem valores da Boia (medições) que não tem todos os valores de 3 em 3 horas. Assim:

Verifica-se se os dados dos dias e meses tanto ta boia como dos dados do SWAN estão alinhados de forma correcta a estarem as datas iguais dos dois na mesma linha.

Próximo passo é eliminar os zeros existentes nas linhas dos dados das medições. Para isso deve-se:

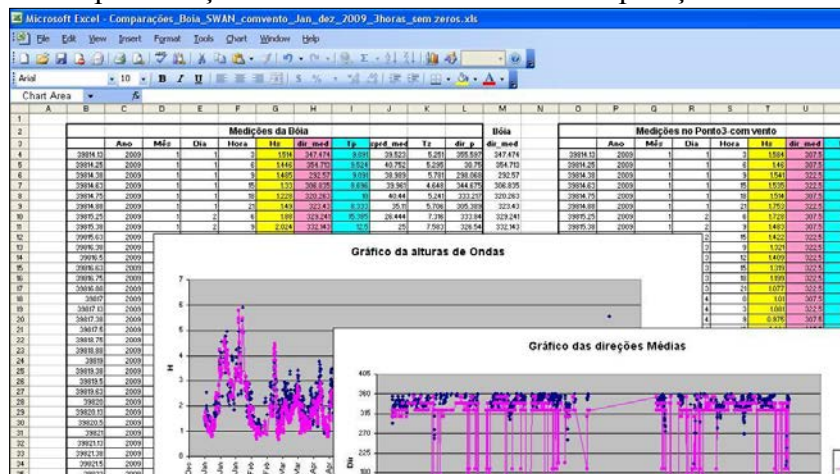
Clicar na coluna desejada em seguida escolher a opção no menu do excel: data-Filter, em seguida clicar na seta que aparece uma coluna seleccionada e marcar a opção zero.

Para eliminar essas linhas, basta selecciona-las e ir em edit-delete row, assim as linhas com zero vão desaparecer.

Para voltar a ver todas as linhas não excluídas, basta ir novamente em data-filter, e assim voltará a aparecer como se deseja.

A partir dai é possível fazer as comparações entre dados das medições e dos dados do SWAN. Como indica a Figura 116.

Figura 116 -Representação da Planilha de dados de comparação entre swan e boia.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Obs: neste caso, os valores das direções ultrapassaram 360 graus então para isso fez-se o seguinte comando no excell para que todos os valores fiquem entre 0 e 360 graus.

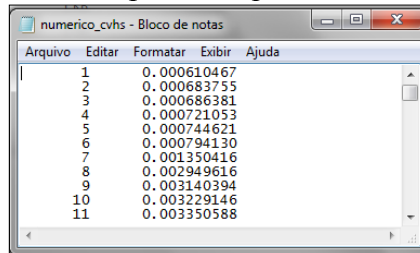
Verifica-se em qual coluna esta como aqui por exemplo estava na coluna H e os dados corrigidos vão para a coluna M. basta colocar na célula m4 o seguinte comando: =IF(H4>360,H4-360,H4), e assim gera-se os valores das direções entre  $0^0$  e  $360^0$ .

## A.6 Metodologia de como gerar os dados Estatístico

Seguindo de modelo a pasta: Programas - Estatística Diogo\_jan\_dez\_2009.

Neste item estaremos fazendo cálculos estatísticos de um ano, deve-se seguir como modelo os arquivos representados nas Figura 117 e Figura 118.

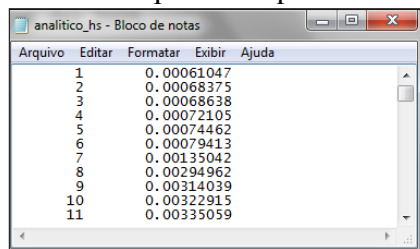
Figura 117 - Exemplo do arquivo numericov\_hs é:



1	0.000610467
2	0.000683755
3	0.000686381
4	0.000721053
5	0.000744621
6	0.000794130
7	0.001350416
8	0.002949616
9	0.003140394
10	0.003229146
11	0.003350588

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 118 - Exemplo do arquivo analitico\_hs é:



1	0.00061047
2	0.00068375
3	0.00068638
4	0.00072105
5	0.00074462
6	0.00079413
7	0.00135042
8	0.00294962
9	0.00314039
10	0.00322915
11	0.00335059

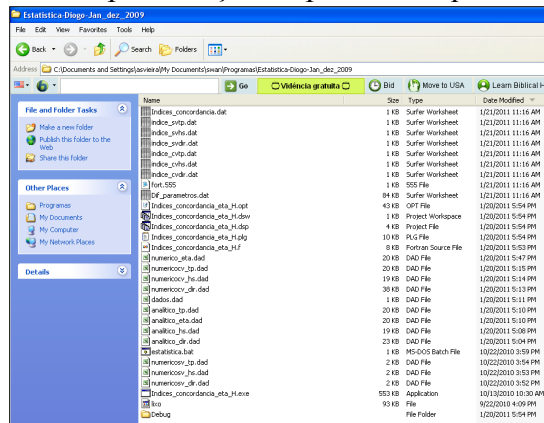
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Repete-se estes arquivos para outras características,  $H_s$ , eta, dir etc. Na pasta Dados.dad vai-se ter os seguintes arquivos:



A pasta com todos os dados para a geração do processo esta da forma como indica a Figura 119.

Figura 119 - Representação da pasta de arquivos de dados.

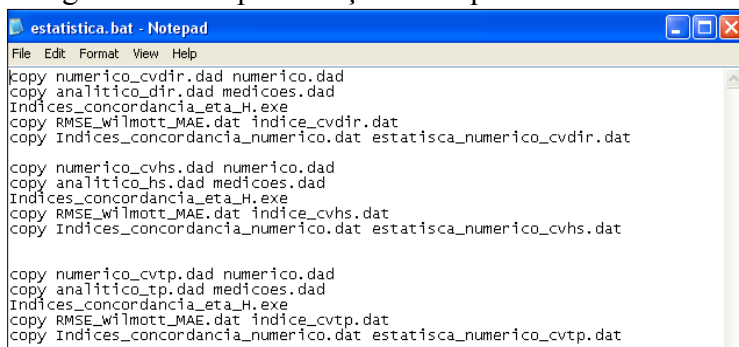


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para gerar: o índice de concordância numérico, o RMSE, Wilmott, MAE e a definição dos parâmetros, deve-se executar os programas : Indices\_concordancia\_eta\_ H.f e indices\_concordancia\_eta\_H.exe.

No arquivo estatística.bat estão as linhas de comando que o programa vai seguir como indica a Figura 120.

Figura 120 - Representação do arquivo estatística.bat.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para rodar o programa, deve -se executa-lo a partir do arquivo estatística.bat, dando dois cliks sobre ele.

Os resultados gerados vão sair nos arquivos:

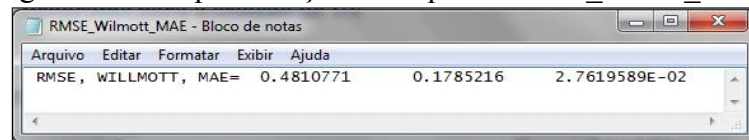
indice_cvtp.dat	1 KB	Surfer Worksheet
indice_cvhs.dat	1 KB	Surfer Worksheet
indice_cvdire.dat	1 KB	Surfer Worksheet
estatistica_numerico_cvtp.dat	1 KB	Surfer Worksheet
estatistica_numerico_cvhs.dat	1 KB	Surfer Worksheet
estatistica_numerico_cvdire.dat	1 KB	Surfer Worksheet

Os resultados gerados pelo programa saem da seguinte forma:

RMSE_Wilmott_MAE.dat	1 KB	Surfer Worksheet
Indices_concordancia_numerico.dat	1 KB	Surfer Worksheet
Dif_parametros.dat	84 KB	Surfer Worksheet

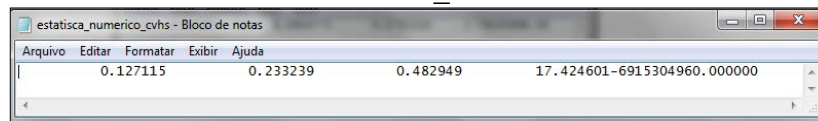
No arquivo índice\_concordancia\_numerico, temos os seguintes dados estatísticos: Média, Variância, desvio padrão, assimetria e coeficiente de curtose.

Figura 121 - Representação do arquivo RMSE\_Wilott\_MAE.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 122 - Representação dos arquivos que são obtidos no arquivo índice\_concordancia\_numerico.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## A.7 Programa para os cálculos Estatísticos e índices de concordância

```

program estatistica

    implicit none
    include 'dimensions.h'

c    Comparacao dados medidos xmeas
com resultados numericos x, Calcula
estatisticas da diferença
c    è preciso sempre ver as dimensões
que estão no arquivo dimensions.h

c    arquivos de dados:
numerico_eta.dad, analitico_eta.dad,
dados.dad
c    arquivos de resultados:
Indices_concordancia.dat ,
Dif_parametros.dat

    integer i,j,ntot,ntempo,nsondas
  
```

```

    real
numerico(1:ngauges,1:n),analitico(1:ngaug
es,1:n),Hrms_num(1:n),

*Hrms_data(1:n),dif(1:ngauges,1:n),soma_
numerico(1:ngauges),

*soma_analitico(1:ngauges),Media_analiti
co(1:ngauges),
*Media_numerico(1:ngauges),

*Media_dif(1:ngauges),soma_dif(1:ngaug
e),soma_dif2(1:ngauges),
*soma_dif_abs(1:ngauges),

*Media_Hrms_num,Media_Hrms_data,so
ma_Hrms_num,soma_Hrms_data,
*soma_dif_Hrms,soma_dif2_Hrms,
tempo(n)

    real
analitico_medianalitico(1:ngauges,1:n),
  
```

```

*numerico_medianalitico(1:ngauges,1:n),d
if_medif2(1:ngauges,1:n),

*dif_medif3(1:ngauges,1:n),dif_medif4(1:
ngauges,1:n),
  *soma_medif2(1:ngauges),

*soma_medif3(1:ngauges),soma_medif4(1
:ngauges),
  *soma_dados_media(1:ngauges),

*desviopadrao(1:ngauges),variancia(1:nga
uges),assimetria(1:ngauges)
  *,curtosis(1:ngauges),

*RMSE(1:ngauges),Willmott(1:ngauges),S
I(1:ngauges),
  *MAE(1:ngauges),dif_Hrms(1:n),

*Hrms_num_mediaHrmsdata(1:n),dif_med
if2Hrms(1:n),

*dif_medif3Hrms(1:n),dif_medif4Hrms(1:
n),

*Hrms_data_mediaHrmsdata(1:n),soma_di
fabs_Hrms(1:ngauges)

      real
media_dif_Hrms,soma_medif2Hrms,soma
_medif3Hrms,

*soma_medif4Hrms,soma_dados_mediaHr
ms

      real
numerico_medianumerico(1:ngauges,1:n),s
oma_x2(1:ngauges),

*soma_x3(1:ngauges),soma_x4(1:ngauges)
,media_x(1:ngauges),
  *x_xmedia(1:ngauges,n),

*desviopadrao_numerico(1:ngauges),varia
ncia_numerico(1:ngauges)
  *,assimetria_numerico(1:ngauges),

*x(1:ngauges,n),curtosis_numerico(1:ngau
ges)

```

```

open(3,file="numerico_eta.dad")
open(4,file="analitico_eta.dad")
open(7,file="dados.dad")

open(55,file="Indices_concordanci
a.dat")
open(56,file="Dif_parametros.dat")

c   open(353,file="indices.dat")

c   read(3,*)ntot

c   Leitura de dados
read (7,*)ntempo
read (7,*) nsondas

write(*,*)ntempo,nsondas
ntot=ntempo

do i=1,ntempo

  read(3,*)tempo
(i),(numerico(j,i),j=1,nsondas)

  read(4,*)tempo
(i),(analitico(j,i),j=1,nsondas)
  enddo

  ntot=ntempo

333 format(6f16.6)

do j=1,nsondas
  do i=1,ntempo
    dif(j,i)=0
c   write(*,*)tempo(i),numerico(j,i),i,j
  enddo

soma_numerico(j)=0
soma_analitico(j)=0
Media_analitico(j)=0
Media_numerico(j)=0
Media_dif(j)=0
soma_dif(j)=0
soma_dif2(j)=0
soma_dif_abs(j)=0

soma_medif2(j)=0

```

```

soma_medif3(j)=0
soma_medif4(j)=0

soma_x2(j)=0.
soma_x3(j)=0.
soma_x4(j)=0.

rmse(j)=0
assimetria(j)=0.
curtosis(j)=0.
variancia(j)=0.
desviopadrao(j)=0.
MAE(j)=0.
willmott(j)=0.

enddo

do j=1,nsondas

    do i=1,ntempo

        soma_numerico(j)=(numerico(j,i)+soma_numerico(j))
        soma_analitico(j)=(analitico(j,i)+soma_analitico(j))

        dif(j,i)=numerico(j,i)-analitico(j,i)
        write(*,*)dif(j,i)

        soma_dif(j)=dif(j,i)+soma_dif(j)

        soma_dif2(j)=dif(j,i)**2+soma_dif2(j)

        soma_dif_abs(j)=abs(dif(j,i))+soma_dif_abs(j)

    enddo

enddo

do j=1,nsondas
write(*,*)'soma_anal,soma_num,soma_dif',soma_analitico(j),
*soma_numerico(j),soma_dif(j)
enddo

```

```

do j=1,nsondas

    Media_analitico(j)=soma_analitico(j)/(ntot)
    Media_numerico(j)=soma_numerico(j)/(ntot)
    Media_dif(j)=soma_dif(j)/(ntot)

enddo

do j=1,nsondas

    write(*,*)'Med_anal,Med_num,Mdi_dif',Media_analitico(j),
*Media_numerico(j), Media_dif(j)
    enddo

    write (*,*)

    do j=1,nsondas
    DO i=1,ntempo

        analitico_medianalitico(j,i)=analitico(j,i)-Media_analitico(j)
        numerico_medianalitico(j,i)=numerico(j,i)-Media_analitico(j)
        x_xmedia= Xnumerico-Media(xmnumerico)
        numerico_medianumerico(j,i)=numerico(j,i)-Media_numerico(j)

        dif_medif2(j,i)=(dif(j,i)-Media_dif(j))**2
        dif_medif3(j,i)=(dif(j,i)-Media_dif(j))**3
        dif_medif4(j,i)=(dif(j,i)-Media_dif(j))**4

    enddo
    enddo

do j=1,nsondas
    do i=1, ntempo

        soma_medif2(j)=dif_medif2(j,i)+soma_medif2(j)

        soma_medif3(j)=dif_medif3(j,i)+soma_medif3(j)

```

```

        soma_medif4(j)=dif_medif4(j,i)+soma_medif4(j)

        soma_dados_media(j)=(abs(analitico_medianalitico(j,i))+
*abs(numerico_medianalitico(j,i)))**2+soma_dados_media(j)

c        soma_x2=SOMA((Xnum-Media(xmnum))^2
        soma_x2(j)=soma_x2(j)+(numerico_medianumerico(j,i))**2
        soma_x3(j)=soma_x3(j)+(numerico_medianumerico(j,i))**3
        soma_x4(j)=soma_x4(j)+(numerico_medianumerico(j,i))**4
                enddo
        enddo

        do j=1,nsondas

        desviopadiao(j)=sqrt((soma_medif2(j))/(ntot))
        variancia(j)=soma_medif2(j)/(ntot)
        assimetria(j)=(soma_medif3(j))/(desviopadiao(j)**3*(ntot))
        curtosis(j)=(soma_medif4(j))/(desviopadiao(j)**4*(ntot))

        enddo

        do j=1,nsondas

        RMSE(j)=sqrt(soma_dif2(j)/(ntot))
        write(*,*)'soma_diferença**2',
soma_dif2(j)
        write(*,*)'RMSE=',RMSE(j)
        write(*,*)

        SI(j)=RMSE(j)/Media_analitico(j)
        Willmott(j)=1-
(soma_dif2(j)/soma_dados_media(j))
        MAE(j)=soma_dif(j)/(ntot)

```

```

        write(*,*)'RMSE, WILLMOTT,
MAE=',RMSE(j), WILLMOTT(j),MAE(j)
        enddo

c        do j=1,6
c        if(j.eq.1)then
c        nome(j)(1:11)='MED_DIF_ETA'
c        elseif(j.eq.2)then
c        nome(j)(1:11)='VAR_DIF_ETA'
c        elseif(j.eq.3)then
c        nome(j)(1:11)='STD_DIF_ETA'
c        elseif(j.eq.4)then
c        nome(j)(1:11)='SKW_DIF_ETA'
c        elseif(j.eq.5)then
c        nome(j)(1:11)='KUR_DIF_ETA'
c        elseif(j.eq.6)then
c        nome(j)(1:11)='DIF_HRMS_WG'
c        endif

c        enddo
        write(*,*)

        do j=1,nsondas

        Write(55,335)media_dif(j),variancia(j),desviopadiao(j),
*assimetria(j),curtosis(j),RMSE(j),MAE(j),
Willmott(j)

        Write(*,*)'media_dif,variancia,desviopadiao,assimetria,
*curtosis,RMSE,MAE,Willmott'

        Write(*,335)media_dif(j),variancia(j),desviopadiao(j),
*assimetria(j),curtosis(j),RMSE(j),MAE(j),
Willmott(j)

        enddo

        write(56,338)

        do i=1,ntempo

```



```

        Write(56,337)numerico(1,i),(dif(j,i)
,j=1,nsondas),dif_Hrms(i)

        enddo

*****
c     parte só numerica

        do j=1,nsondas
        write(*,*)soma_x2(j)
        desviopadrao_numerico(j)=sqrt((so
ma_x2(j))/(ntot-1))
        variancia_numerico(j)=soma_x2(j)/
(ntot-1)

c
        assimetria=(soma3)/desviopadrao*
*3*ntot/(ntot-1)/(ntot-2)
        assimetria_numerico(j)=(soma_x3(j)
)/(desviopadrao_numerico(j)**3)*
        *ntot/(ntot-1)/(ntot-2)

c
        curtosis=(soma4)/desviopadrao**4
        curtosis_numerico(j)=(soma_x4(j))/
(desviopadrao_numerico(j)**4)
        **ntot*(ntot+1)/((ntot-1)*(ntot-
2)*(ntot-3))-
        *3*(ntot-1)**2/((ntot-2)*(ntot-3))

        enddo

        write(*,3361)
        do j=1,nsondas

        Write(55,335)
        Media_numerico(j),variancia_ume
rico(j),
        *desviopadrao_numerico(j),

```

```

*assimetria_numerico(j),curtosis_numerico
(j)

        Write(*,335)
        Media_numerico(j),variancia_ume
rico(j),
        *desviopadrao_numerico(j),

*assimetria_numerico(j),curtosis_numerico
(j)

        enddo

3361 format('media,variancia,desvio
padra,assimetria, curtosis')

335 format(8f16.9)

336
format(2x,'parametro',8x,'MEAN',14x,'VA
R',14x,'STD',14x

*,'SK',12x,'KURT',12x,'RMSE',12x,'MAE',
10x,'Willmott')

337 format(7f16.9)

338
format(10x,'X',15x,'DIF_MEAN',12x,'DIF
_VAR',13x,'DIF_STD',13x

*,'DIF_SK',13x,'DIF_KURT',13x,'DIF_HR
MS')

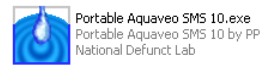
        close (55)
        end

```

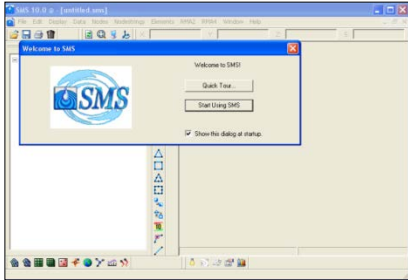
## A.8 Rotinas para criar malhas a partir de sua batimetria

Estes procedimentos servem para criar malhas a partir de suas batimetrias, desde que a mesma já esteja em formato tipo xyz.dat por exemplo. Além disso podemos definir qual é o tipo de espaçamento que se deseja entre um ponto e outro.

Para isso utiliza-se o programa Portable Aquaveo SMS 10.exe



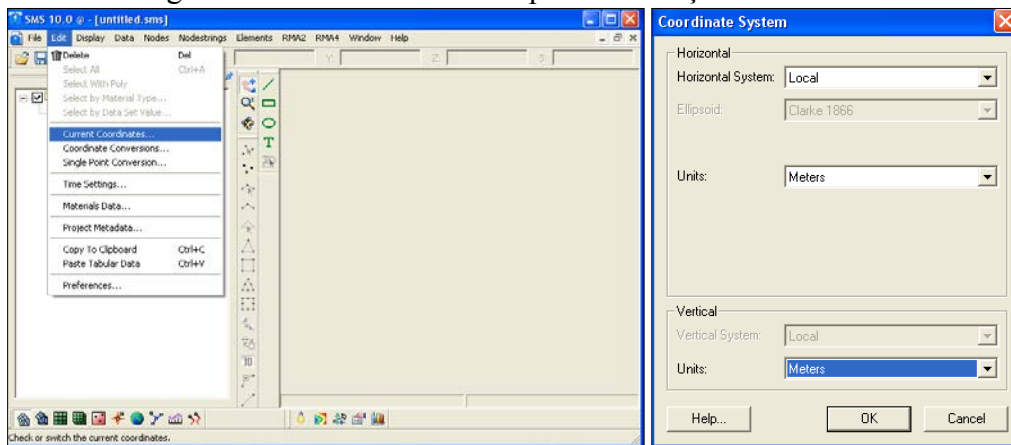
Abre-se o programa e irá aparecer a seguinte caixa:



Deve-se escolher a opção Start Using SMS

Em seguida deve-se colocar as unidades de medidas em metros seguindo os passos das seguintes ilustrações na Figura 123.

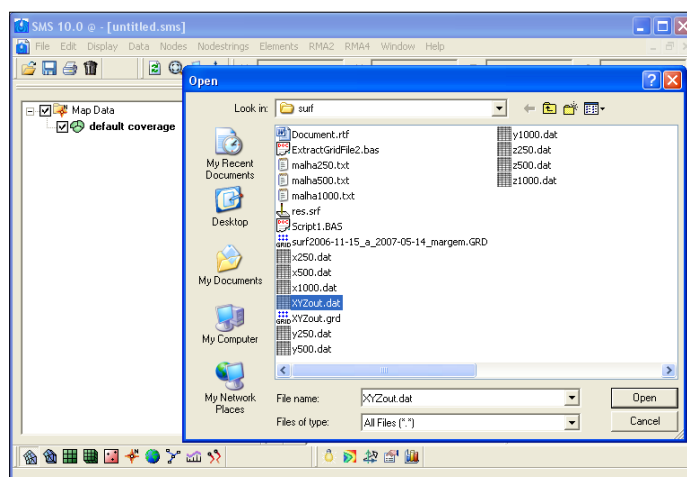
Figura 123 - Processo iniciais para construção das malhas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em seguida, deve-se carregar o arquivo batimétrico desejado através do menu File-open como indica a Figura 124.

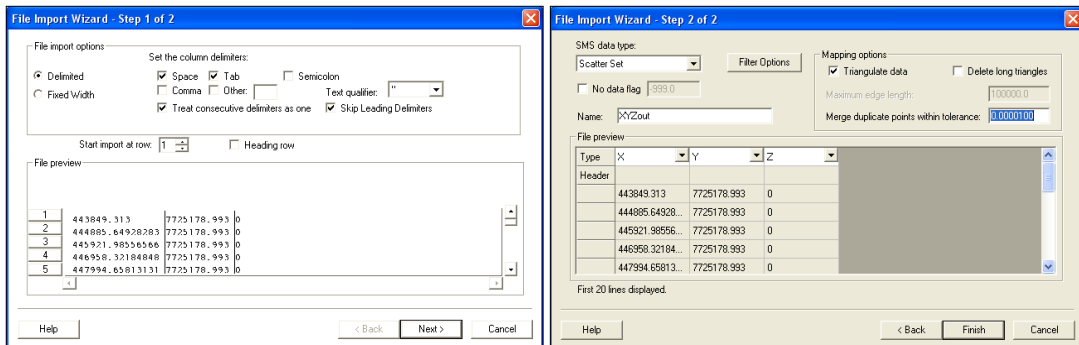
.Figura 124 – Modo de como carregar o arquivo batimétrico.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Clicando em open, vai aparecer uma janela open file format. Deve se escolher: use import wizard e ok. Em sequência vão aparecer 2 etapas onde as mesmas devem estar da forma como indica a Figura 125.

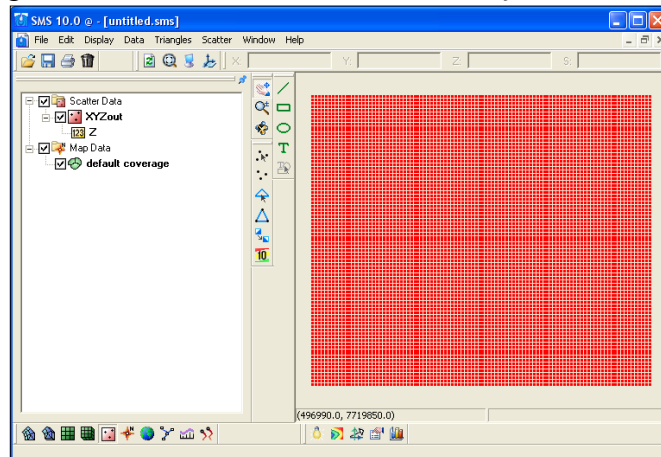
.Figura 125 – Processos para a construção das malhas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Neste caso temos o seguinte resultado ilustrado na Figura 126.

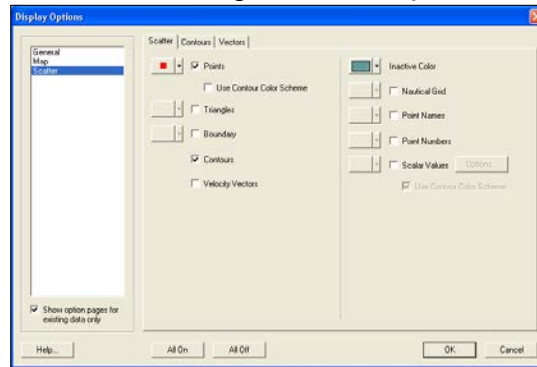
Figura 126 – Resultado inicial da construção das malhas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para aparecer as linhas batimétricas deve-se selecionar Display – Display options ou CTRL+D e em seguida marcar na opção scatter a opção contour. Se quiser tirar os pontos vermelhos da malha basta desativar a opção points deste mesmo menu. Como ilustrado na Figura 127 .

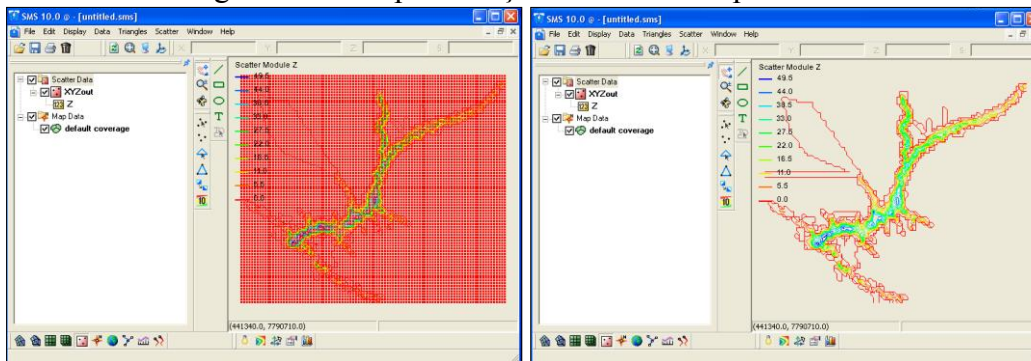
Figura 127 - Processo para a construção das malhas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Clicar em ok e tem-se a seguinte figura (com pontos ou sem pontos) como ilustrado na Figura 128.

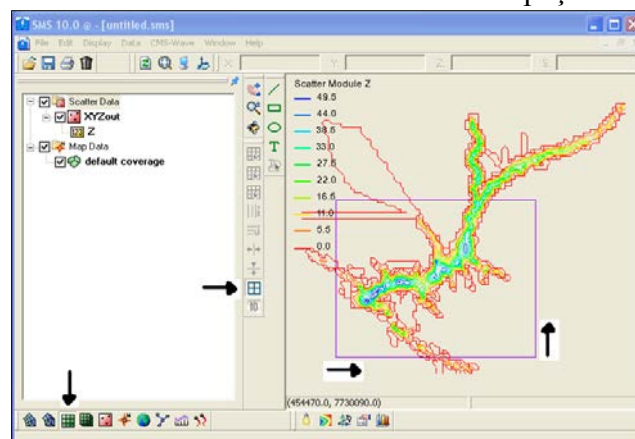
Figura 128 – Representação da malha completa Ilha.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Feito isso vamos determinar qual a área da malha que queremos e para isso deve-se marcar no menu inferior esquerdo a opção cartesian grid module, em seguida a opção create cartesian grid na barra de ferramentas vertical. Feito isso, deve-se iniciar a marcar na tela da figura a área desejada iniciando da esquerda para a Direita sendo da parte inferior para a superior como ilustrado na Figura 129 e da-se 2 cliks ao final da escolha da área.

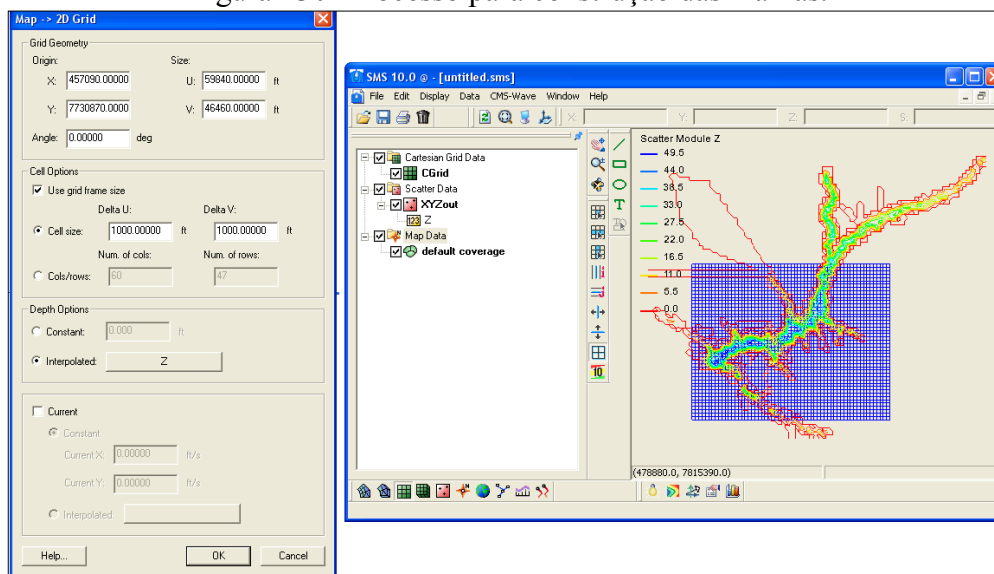
Figura 129 - Escolha da área a ser criada a malha e o espaço utilizado na grade1.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Aparece uma janela de opções para determinar os espaçamentos entre os pontos, a grid geometric e o ângulo que se quer deixar a malha. Deve se deixar da seguinte maneira. Neste caso escolhemos um espaçamento de 1000m e ângulo de inclinação 0. Não esquecer de selecionar a opção interpolated em Depth options e clicar em ok. A Figura 130 ilustra esse processo.

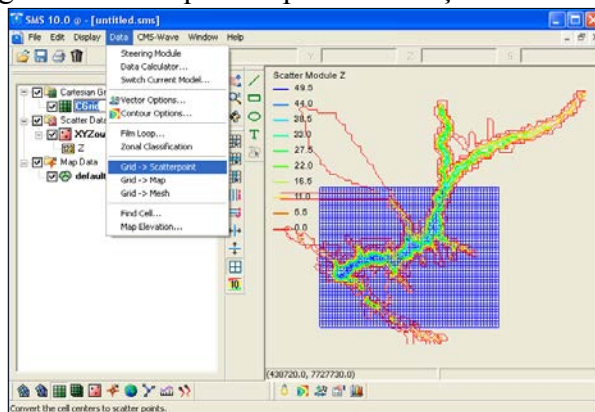
Figura 130 -Processo para construção das malhas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

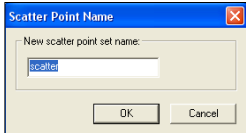
Para deixar na tela somente a área desejada, deve-se clicar em CGRID – data- grid scatterpoint como indica a Figura 131.

Figura 131 – Sequência para construção das malhas.

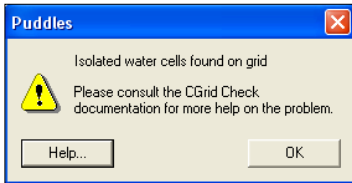


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Vai aparecer uma tela para escolher um nome:

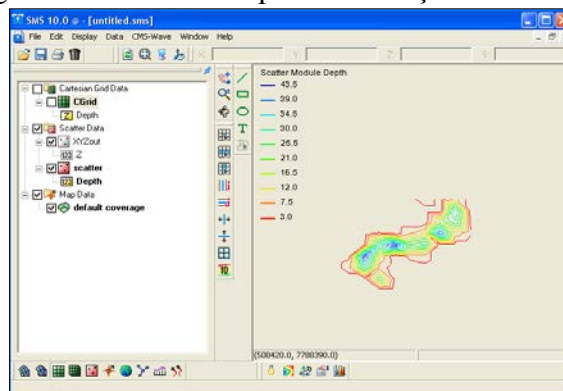


clica-se em ok, caso apareça a janela:



clica-se em ok e tem se o seguinte resultado ilustrado na Figura 132 .

Figura 132 – Processo para construção das malhas.

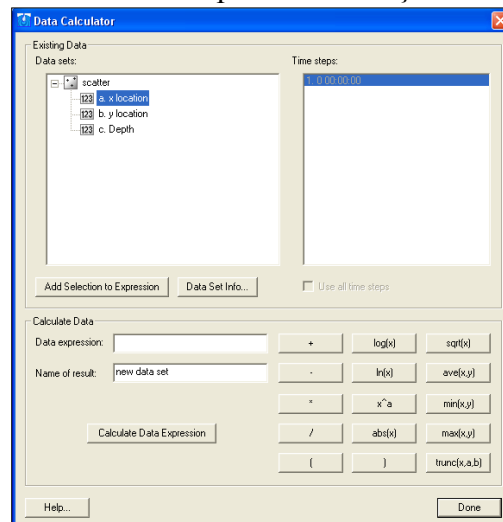


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Feito isso devemos criar o arquivo ASCII da seguinte maneira:

Selecione a opção scatter data do menu da esquerda, em seguida data do menu superior e data calculator. Ira aparecer a seguinte tela como ilustra a Figura 133.

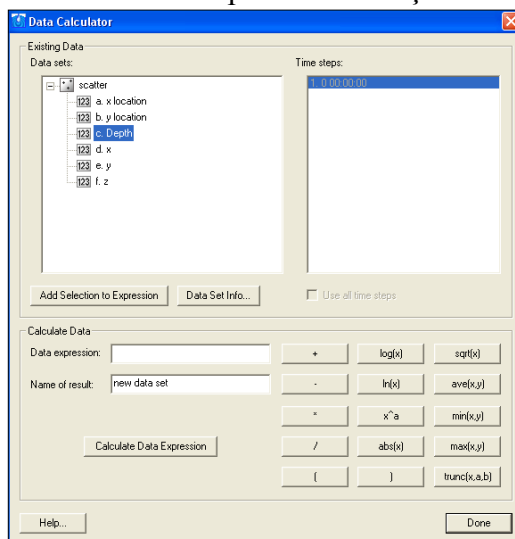
Figura 133 – Processo para a construção das malhas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Deve se clicar duas vezes no a como grafado na figura acima de modo a aparecer o a na caixa de texto Data Expression, fazendo isso coloca-se em Name of result X e assionar calculate data expression. Assim por diante com y e z. A caixa resultado deve ficar da seguinte forma ilustrada na Figura 134 .

Figura 134 – Processos para a construção das malhas.

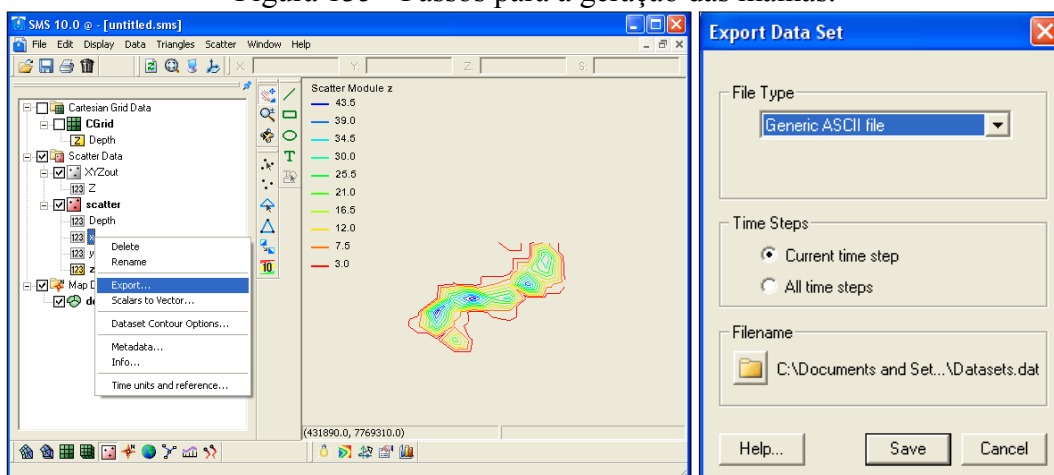


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Clicar em Done.

Feito isso com o botão Direito do mause, deve-se clicar em cada um desses itens criados como indica a Figura 135.

Figura 135 - Passos para a geração das malhas.

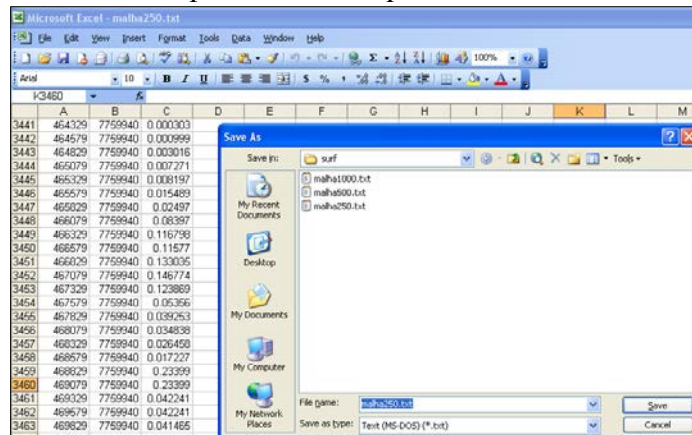


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em Filename seleciona a pasta e salva cada um deles na mesma pasta onde esta a batimetria (neste caso na pasta surf).

Depois de salvos deve-se criar um arquivo no excel com as coordenadas x, y e z e salvar como tipo text(ms-dos)(\* .txt) como indica a Figura 136.

Figura 136 - Estrutura para salvaro arquivo de coordendas batimétricas.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

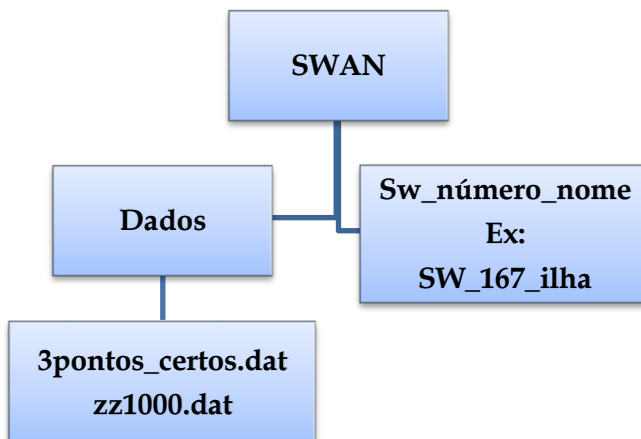
Para fazer uma malha a partir desta criada deve-se ao iniciar o Portable\_Aquaveo\_SMS\_10, quando for carregar em open, basta escolher essa malha criada em txt e fazer os mesmos processos.

## A.9 Processo para transformar coordenadas

Para executar o SWAN a batimetria (malha) deve estar em M e P.. No caso da batimetria de ilha solteira já esta em M e P... caso encontre uma malha batimétrica eu não esteja em M e P é necessário fazer a transformada de coordenadas utilizando-se do site: <http://www.carto.eng.uerj.br/cgi/index.cgi?x=geo2utm.htm>, onde coloca-se os dados de latitude e longitude e obtém-se os dados em UTM.

Como criar um novo projeto no SWAN (baseando-se no meu (ilha))

Inicialmente cria-se uma nova pasta com respectiva estrutura:





Dentro da pasta SWAN devem conter outras duas pasta Dados (cria-se um arquivo no excell com os pontos que deseja investigar na malha e o salva em formato .dat, cria um outro arquivo por exemplo esse zz100.dat).

## A.10 Programas para a correção das alturas de vento

```

program media_ventos
c      Juana Fortes 14/1/2012
c      Calculo das medias dos valores dos
ventos
      integer
ii,J,NPONTOS,ITEMPO,ajuda
      real
LIXO2(365000),vel(365000),dir(365000),
vel2(365000)
      character *10 lixo
      open(3,file="dados_ventos.dad")
      open(8,file="resultados_ventos.dad
")
      open(9,file="in.txt")
c      Leitura de dados
c      .
      write(8,886)
886  format('w Date      Time
speed L      Tr      Dir.
Spr.fp')
      write(8,999)
999  format('h      m s      (m)      (m)
(s)      (d.N)      (deg)      (Hz)      (d.N)')
      write(8,998)
998  format('-----      ---      -----
-----      -----')
      npontos=0
      write(*,*)'Qual o intervalo de
tempo da media dos ventos
*(em minutos)?'
      read(9,*)itempo
      write(*,*)'Qual o ano
inicial?'
      read(9,*)nanno
      write(*,*)'Qual o mes inicial?'
      read(9,*)nmes
      write(*,*)'Qual dia inicial?'
      read(9,*)ndia
      write(*,*)'Qual a hora inicial?'
      read(9,*)nhora
C      *****
      write(*,*)'Qual a altura em que foi
medido o vento?'
      read(9,*)z
C      *****
      write(*,*)itempo,nmes,ndia,nhora
      READ(3,*)lixo
      READ(3,*)lixo
      READ(3,*)lixo
      READ(3,*)lixo
c      Leitura do ficheiro VENTOS.dad
do ii=1,1000000
      read
(3,*,END=533)LIXO2(II),vel(ii),Dir(ii),ve
l2(ii)
343  FORMAT(A19,8F8.2)
C
      vel(ii)=vel(ii)*((10/z)**(1./7.))
C      *****
c      write(*,*)'estou aqui
',ii,vel(ii),DIR(II),VEL2(II)
      npontos=npontos+1
      enddo
533  nvezes=npontos/itempo+1
      write(*,*)nvezes,npontos
      n=0
      npontos_mesmo=0
      ncount=0.
      do j=1,nvezes
c      calculo dA MEDIA
do ii=1,itempo
      if(npontos_mesmo.gt.npontos)goto
888
c      write(*,*)ii
      soma_vel=vel(ii+n)+soma_vel
      soma_dir=DIR(ii+n)+soma_dir
      soma_vel2=vel2(ii+n)+soma_vel2
      npontos_mesmo=npontos_mesmo+
1
      ncount=ncount+1

```

```

c
    write(91,*)npontos_mesmo,n,(ii+n)
, ncount,vel(ii+n)
    enddo
888
    VEL_MEDIA=SOMA_VEL/ncoun
t
    DIR_MEDIA=SOMA_DIR/ncount
    VEL2_MEDIA=SOMA_VEL2/ncoun
t
    ncount=0
    ajuda=1
    ajuda1=0
c
    write(8,*)N,LIXO2(II+N),VEL_M
EDIA, ajuda,ajuda,ajuda,ajuda,ajuda,
c *DIR_MEDIA,VEL2_MEDIA
    if(nmes.lt.10)then
    if(ndia.lt.10)then
        write(8,333)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
        *,ajuda,ajuda,dIR_MEDIA,ajuda
333 format(i4,'0', i1,'0',i1,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
    else
        write(8,335)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
        *,ajuda,ajuda,dIR_MEDIA,ajuda
335 format(i4,'0',i1,i2,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
    endif
    else
    if(ndia.lt.10)then
        write(8,336)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
        *,ajuda,ajuda,dIR_MEDIA,ajuda
336 format(i4, i2,'0',i1,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
    else
        write(8,337)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
        *,ajuda,ajuda,dIR_MEDIA,ajuda
337 format(i4,i2,i2,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)

```

```

endif
endif
C
    write(*,*)N,LIXO2(II+N),VEL_M
EDIA, dIR_MEDIA,VEL2_MEDIA
    n=J*ITEMPO
    soma_vel=0
    soma_dir=0
    soma_vel2=0
    min=min+itempo
    if (min.eq.60)then
    nhora=nhora+1
    min=0.
    endif
    if (nhora.gt.24)then
    ndia=ndia+1
    nhora=1
    if(nmes.eq.2)then
    if (ndia.gt.28)then
    nmes=nmes+1
    ndia=1
    endif
    endif
    if(nmes.eq.1.or. nmes.eq.3 .or.
nmes.eq.5 .or. nmes.eq.7
*.or. nmes.eq.8 .or. nmes.eq.10 .or.
nmes.eq.12) then
    if(ndia.gt.31)then
    nmes=nmes+1
    ndia=1
    endif
    endif
    if(nmes.eq.4.or. nmes.eq.6 .or.
nmes.eq.9 .or. nmes.eq.11) then
    if(ndia.gt.30)then
    nmes=nmes+1
    ndia=1
    endif
    endif
    enddo
    write(*,*)npontos_mesmo
end

```

## A.11 Programas para separar a agitação da Boia em dados de 3 em 3 horas

**program separar**

c Para um arquivo de dados de agitação da boia, só considera os dados de 3 em 3 horas.

```
DIMENSION AJUDA(7000,10)
real HS
```

```
open(unit=2,
file="Medicoes_Boia_Jan_Fev_2009.dad")
open(unit=33,
file="Medicoes_Boia_Jan_Fev_2009_3hor
as.dat")
```

```
I=1
n=1
do
read(2,*,end=22)(ajuda(i,j),j=1,10)
WRITE(*,*)AJUDA(I,1)
nTOT=nTOT+1
I=I+1
enddo
```

```
22 iDIA=1
ithora=0
iano=2009
imes=1
```

```
write(*,*)'ntot=',ntot, 'imes=',imes,
'idia=',idia
```

```
do i=1,NTOT
```

```
WRITE(77,*)'inicio',i
```

```
333 IF (imes.eq.1. and.
IDIA.GT.31)then
iDIA=1
imes=2
elseif (imes.eq.2. and.
iDIA.GT.28)THEN
idia= 1
imes=3
```

```
endif
WRITE(77,*)imes,idia,ithora,i,
ajuda(i,3),ajuda(i,4)

if (ajuda(i,4).ne.int(ajuda(i,4)))goto
444

if (idia.eq.int(ajuda(i,3)). and.
Ithora.eq.int(ajuda(i,4)))then
write(33,666)(ajuda(I,K), K=1,10)
ithora= ithora+3
WRITE(77,*)'tenho valor',i

IF (ITHORA.GT.21)then
ITHORA=0
idia=idia+1
endif

goto 444
else

write(33, 555)iano, imes, idia,ithora
ithora= ithora+3

IF (ITHORA.GT.21)then
ITHORA=0
idia=idia+1
endif

endif
goto 333

666 FORMAT(10f12.3)

555 FORMAT(i6,3x,i3,3x,i3,3x,i3,3x,' 0',
' 0',' 0',
*' 0',' 0',' 0',' 0')

444 enddo

End
```

**A.12 Programa para separar os dados gerados pelo SWAN de 3 em 3 horas**

**program separar**

c Para um arquivo de dados de agitação, só considera os dados de 3 em 3 horas.

```
open(unit=2,
file="Dados_JanFev_2009.dad")
open(unit=33,
file="Dados_JanFev_2009_3horas.dat")
real H
```

```
do
read(2,*,end=22)iano, mes, idia,
thora, thoraexcel,H, T, Teta
```

```
if (int(thora/3.).eq.thora/3.)then
ithora=thora
write(33,666)iano, mes, idia, ithora,
thoraexcel,H, T, Teta
endif
```

```
666 FORMAT(i4,3x,i2,3x,i2,3x,
i2,4f12.3)
```

```
enddo
```

```
continue
```

### A.13 Programa para calcular a média dos ventos e organizar de acordo com as necessidades para a leitura pelo SWAN

Este programa utiliza-se dos dados brutos de ventos vindos da árvore Campbell como indica a Figura 137.

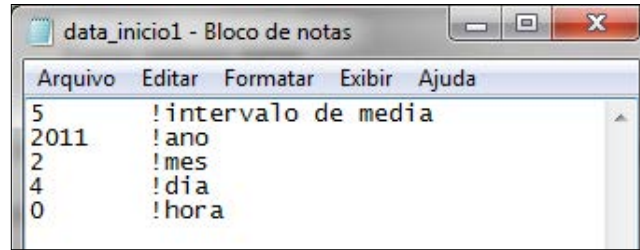
Figura 137- Dados brutos de vento

mean_wind_speed_2 m/s wvc	mean_wind_direction Deg wvc	mean_wind_speed_2 m/s wvc	mean_wind_direction Deg wvc	mean_wind_speed_2 m/s wvc
149982	5.311375	232.029		1.983089
149983	4.970207	227.371		2.35104
149984	4.947792	226.9132		4.017916
149985	5.035834	229.9881		2.839827
149986	5.382915	228.476		2.826821
149987	5.447731	218.6846		4.54091
149988	5.369456	223.1762		3.593573
149989	4.940793	228.4007		4.744022
149990	5.695084	226.1249		3.111999
149991	5.019333	224.6663		3.323925
149992	4.61925	228.9908		3.788184
149993	4.588563	218.0483		7.109861
149994	4.426821	214.8887		0
149995	4.266541	222.3989		0
149996	3.442415	203.4252		0
149997	3.711458	196.4385		0
149998	3.445355	196.6611		0
149999	3.741542	196.0866		0
150000	3.602999	197.6042		0
150001	3.712792	203.4995		0
150002	3.798582	195.2532		0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em seguida determina os valores iniciais do dia, mês e ano que se tem nesses dados brutos no arquivo data\_inicio1, como por exemplo ilustrado na Figura 138 a fim de montar a parte de então a planilha de acordo com que o SWAN lê.

Figura 138 - Planilha para arquivo de intervalo de média e início de dia mês e ano.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pode-se também executar o program e uma única vez para determinados intervalos, basta criar vários arquivos de dat\_inicioX como indica a Figura 139, assim pode-se criar vários arquivos com uma única execução do programa para diferentes médias.

Figura 139 - Planilha com vários data\_inicio para geração de arquivos de ventos.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Especificado as datas de inicio hora mês e ano roda-se o programa media\_ventos descrito em sequência.

```

program media_ventos
c      Juana Fortes 14/1/2012
c      Calculo das medias dos valores dos
ventos
          integer
ii,J,NPONTOS,ITEMPO,ajuda
          real
LIXO2(365000),vel(365000),Dir(365000),
vel2(365000)
          character *10 lixo
          open(3,file="dados_ventos.dad")

```

```

          open(8,file="resultados_ventos.dad
")
          open(9,file="in.txt")
c      Leitura de dados
c      .
          write(8,886)
886   format('w Date           Time
speed L      Tr      Dir.
Spr.fp')
          write(8,999)

```

```

999  format('h    m s    (m)    (m)
      (s)    (d.N) (deg) (Hz)  (d.N)')
      write(8,998)
998  format('-----    ---    -----
      -----    -----')
      npontos=0
      write(*,*)'Qual o intervalo de
tempo da media dos ventos
      *(em minutos)?'
      read(9,*)itempo
      write(*,*)'Qual o ano
inicial?'
      read(9,*)nano
      write(*,*)'Qual o mes inicial?'
      read(9,*)nmes
      write(*,*)'Qual dia inicial?'
      read(9,*)ndia
      write(*,*)'Qual a hora inicial?'
      read(9,*)nhora
      write(*,*)itempo,nmes,ndia,nhora
      READ(3,*)lixo
      READ(3,*)lixo
      READ(3,*)lixo
      READ(3,*)lixo
c    Leitura do arquivo VENTOS.dad
      do ii=1,1000000
      read
(3,*,END=533)LIXO2(II),vel(ii),Dir(ii),ve
l2(ii)
343  FORMAT(A19,8F8.2)
c    write(*,*)'estou aqui
',ii,vel(ii),DIR(II),VEL2(II)
      npontos=npontos+1
      enddo
533  nvezes=npontos/itempo+1
      write(*,*)nvezes,npontos
      n=0
      npontos_mesmo=0
      ncount=0.
      do j=1,nvezes
c    calculo da MEDIA
      do ii=1,itempo
      if(npontos_mesmo.gt.npontos)goto
888
c    write(*,*)ii
      soma_vel=vel(ii+n)+soma_vel
      soma_Dir=DIR(ii+n)+soma_Dir
      soma_vel2=vel2(ii+n)+soma_vel2
      npontos_mesmo=npontos_mesmo+
1

```

```

      ncount=ncount+1
c    write(91,*)npontos_mesmo,n,(ii+n)
, ncount,vel(ii+n)
      enddo
888  VEL_MEDIA=SOMA_VEL/ncoun
t
      DIR_MEDIA=SOMA_DIR/ncount
      VEL2_MEDIA=SOMA_VEL2/ncou
unt
      ncount=0
      ajuda=1
      ajuda1=0
c    write(8,*)N,LIXO2(II+N),VEL_M
EDIA, ajuda,ajuda,ajuda,ajuda,ajuda,
c  *Dir_MEDIA,VEL2_MEDIA
      if (nmes.lt.10)then
      if (ndia.lt.10)then
      write(8,333)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
333  format(i4,'0', i1,'0',i1,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      else
write(8,335)nano,Nmes,ndia,nhora,min,VE
L_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
335  format(i4,'0',i1,i2,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      endif
      else
      if (ndia.lt.10)then
      write(8,336)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
336  format(i4, i2,'0',i1,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      else
write(8,337)nano,Nmes,ndia,nhora,min,VE
L_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda 337
format(i4,i2,i2,i3,i3,' 00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      endif
      endif

```

```

C
  write(*,*)N,LIXO2(II+N),VEL_M
EDIA, Dir_MEDIA,VEL2_MEDIA
  n=J*ITEMPO
  soma_vel=0
  soma_Dir=0
  soma_vel2=0
  min=min+itempo
  if (min.eq.60)then
  nhora=nhora+1
  min=0.
  endif
  if (nhora.gt.24)then
  ndia=ndia+1
  nhora=1
  if(nmes.eq.2)then
  if (ndia.gt.28)then
  nmes=nmes+1
  ndia=1
  endif

  endif
  if(nmes.eq.1.or. nmes.eq.3 .or.
nmes.eq.5 .or. nmes.eq.7

```

```

*.or. nmes.eq.8 .or. nmes.eq.10 .or.
nmes.eq.12) then
  if(ndia.gt.31)then
  nmes=nmes+1
  ndia=1
  endif
  endif
  if(nmes.eq.4.or. nmes.eq.6 .or.
nmes.eq.9 .or. nmes.eq.11) then
  if(ndia.gt.30)then
  nmes=nmes+1
  ndia=1
  endif

  endif
  endif

  enddo
  write(*,*)npontos_mesmo
end

```

Executado este Programa, tem-se o seguinte arquivo resposta ilustrado na Figura 140.

Figura 140 - Resultado da execução do programa para geração da planilha de média de ventos.

w	h	Date	m	s	(m)	Time	speed	L	Tr	Dir.	Spr. fp
						(m)	(s)	(d, N)	(deg)	(Hz)	(d, N)
20110204	0	0	00	5.211	1	1	1	1	232.029	1	
20110204	0	1	00	4.970	1	1	1	1	227.371	1	
20110204	0	2	00	4.948	1	1	1	1	226.913	1	
20110204	0	3	00	5.036	1	1	1	1	229.988	1	
20110204	0	4	00	5.583	1	1	1	1	228.476	1	
20110204	0	5	00	5.448	1	1	1	1	218.685	1	
20110204	0	6	00	5.369	1	1	1	1	223.176	1	
20110204	0	7	00	4.941	1	1	1	1	228.401	1	
20110204	0	8	00	5.695	1	1	1	1	226.125	1	
20110204	0	9	00	5.019	1	1	1	1	224.666	1	
20110204	0	10	00	4.619	1	1	1	1	228.991	1	
20110204	0	11	00	4.589	1	1	1	1	218.048	1	
20110204	0	12	00	4.427	1	1	1	1	214.889	1	
20110204	0	13	00	4.267	1	1	1	1	222.999	1	
20110204	0	14	00	3.442	1	1	1	1	203.425	1	
20110204	0	15	00	3.711	1	1	1	1	196.439	1	
20110204	0	16	00	3.545	1	1	1	1	196.663	1	
20110204	0	17	00	3.742	1	1	1	1	196.087	1	
20110204	0	18	00	3.603	1	1	1	1	197.604	1	

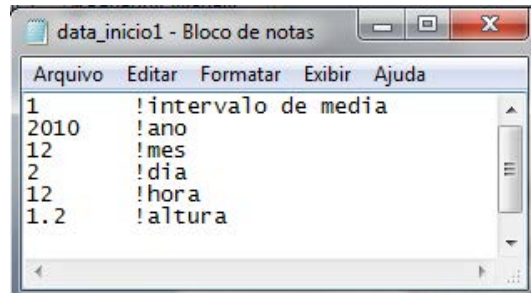
Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### A.14 Programa para organizar os ventos de acordo com que lê o SWAN com correção do vento.

Utilizando-se de dados originais da árvore Campbell, cria-se o arquivo data\_inicio\_1.dat e além de escolher as datas de início do dia. Mês, ano e hora, pode-se estabelecer também a correção do vento para 10m ou para a medida em que estava instalado os equipamentos. Depois disto basta executar esse programa e tem-se a planilha de acordo

com que o SWAN lê. A Figura 141 representa um exemplo do arquivo data\_inicioX, com correção do vento a 1,2 metros .

Figura 141 - Arquivo para a execução do programa de média dos ventos com correção da altura do vento.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Dotado desses arquivos eexecuta-se este programa de cálculo de média de ventos.

```

program media_ventos
c Juana Fortes 14/1/2012
c Calculo das medias dos valores dos
ventos
integer
ii,J,NPONTOS,ITEMPO,ajuda
real
LIXO2(365000),vel(365000),Dir(365000),
vel2(365000)
character *10 lixo
open(3,file="dados_ventos.dad")
open(8,file="resultados_ventos.dad
")
open(9,file="in.txt")
c Leitura de dados
c
write(8,886)
886 format('w Date Time
speed L Tr Dir.
Spr.fp')
write(8,999)
999 format('h m s (m) (m)
(s) (d.N) (deg) (Hz) (d.N)')
write(8,998)
998 format('----- --- -----
----- ----')
npontos=0
write(*,*)'Qual o intervalo de
tempo da media dos ventos
*(em minutos)?'
read(9,*)itempo

```

```

write(*,*)'Qual o ano
inicial?'
read(9,*)nano
write(*,*)'Qual o mes inicial?'
read(9,*)nmes

write(*,*)'Qual dia inicial?'
read(9,*)ndia
write(*,*)'Qual a hora inicial?'
read(9,*)nhora
C
write(*,*)'Qual a altura em que foi
medido o vento?'
read(9,*)z
C
*****

write(*,*)itempo,nmes,ndia,nhora
READ(3,*)lixo
READ(3,*)lixo
READ(3,*)lixo
READ(3,*)lixo
c Leitura do arquivo VENTOS.dad
do ii=1,1000000
read
(3,*,END=533)LIXO2(II),vel(ii),Dir(ii),ve
l2(ii)
343 FORMAT(A19,8F8.2)
C
vel(ii)=vel(ii)*((10/z)**(1./7.))
C
*****

```



```

c      write(*,*)'estou aqui
',ii,vel(ii),DIR(II),VEL2(II)
      npontos=npontos+1
      enddo
533   nvezes=npontos/itempo+1

      write(*,*)nvezes,npontos
      n=0
      npontos_mesmo=0
      ncount=0.
      do j=1,nvezes
c      calculo dA MEDIA
      do ii=1,itempo
      if(npontos_mesmo.gt.npontos)goto
888
c      write(*,*)ii
      soma_vel=vel(ii+n)+soma_vel
      soma_Dir=DIR(ii+n)+soma_Dir
      soma_vel2=vel2(ii+n)+soma_vel2
      npontos_mesmo=npontos_mesmo+
1
      ncount=ncount+1
c
      write(91,*)npontos_mesmo,n,(ii+n)
, ncount,vel(ii+n)
      enddo
888   VEL_MEDIA=SOMA_VEL/ncoun
t
      DIR_MEDIA=SOMA_DIR/ncount
VEL2_MEDIA=SOMA_VEL2/nco
unt
      ncount=0
      ajuda=1
      ajuda1=0
c
      write(8,*)N,LIXO2(II+N),VEL_M
EDIA, ajuda,ajuda,ajuda,ajuda,ajuda,
c      *Dir_MEDIA,VEL2_MEDIA
      if (nmes.lt.10)then
      if (ndia.lt.10)then
      write(8,333)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
333 format(i4,'0', i1,'0',i1,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      else
write(8,335)nano,Nmes,ndia,nhora,min,VE
L_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda

```

```

      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
335 format(i4,'0',i1,i2,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      endif
      else
      if (ndia.lt.10)then
      write(8,336)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
336 format(i4, i2,'0',i1,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      else
      write(8,337)nano,Nmes,ndia,nhora,
min,VEL_MEDIA, ajuda,ajuda,ajuda
      *,ajuda,ajuda,Dir_MEDIA,ajuda
337 format(i4,i2,i2,i3,i3,'
00',f8.3,5i3,f8.3,i3)
      endif
      endif
C
      write(*,*)N,LIXO2(II+N),VEL_M
EDIA, Dir_MEDIA,VEL2_MEDIA

      n=J*ITEMPO
      soma_vel=0
      soma_Dir=0
      soma_vel2=0
      min=min+itempo
      if (min.eq.60)then
      nhora=nhora+1
      min=0.
      endif
      if (nhora.gt.24)then
      ndia=ndia+1
      nhora=1
      if(nmes.eq.2)then
      if (ndia.gt.28)then
      nmes=nmes+1
      ndia=1
      endif
      endif
      if(nmes.eq.1.or. nmes.eq.3 .or.
nmes.eq.5 .or. nmes.eq.7
      *.or. nmes.eq.8 .or. nmes.eq.10 .or.
nmes.eq.12) then
      if(ndia.gt.31)then
      nmes=nmes+1
      ndia=1

```

```

endif
endif
if(nmes.eq.4.or. nmes.eq.6 .or.
nmes.eq.9 .or. nmes.eq.11) then

if(ndia.gt.30)then
nmes=nmes+1
ndia=1

```

```

endif
endif
endif

enddo
write(*,*)npontos_mesmo
end

```

Executado este programa, tem-se o arquivo de ventos com correção do vento como por exemplo a Figura 142.

Figura 142 - Representação da planilha de resultado dos ventos com médias e com correção do vento.

h	m	s	(m)	Time (m)	speed (s)	L (d.N)	Tr (deg)	Dir. (Hz)	Spr. fp (d.N)
20101202	12	0	00	4.122	1	1	1	1	276.018
20101202	12	1	00	3.708	1	1	1	1	282.927
20101202	12	2	00	4.537	1	1	1	1	272.698
20101202	12	3	00	4.370	1	1	1	1	275.887
20101202	12	4	00	4.323	1	1	1	1	285.955
20101202	12	5	00	5.455	1	1	1	1	281.703
20101202	12	6	00	4.408	1	1	1	1	290.841
20101202	12	7	00	5.282	1	1	1	1	279.721
20101202	12	8	00	5.498	1	1	1	1	279.208
20101202	12	9	00	5.399	1	1	1	1	280.550
20101202	12	10	00	4.850	1	1	1	1	283.376
20101202	12	11	00	4.593	1	1	1	1	279.550
20101202	12	12	00	4.827	1	1	1	1	281.589
20101202	12	13	00	4.469	1	1	1	1	292.155
20101202	12	14	00	3.886	1	1	1	1	296.026
20101202	12	15	00	4.180	1	1	1	1	294.299
20101202	12	16	00	4.909	1	1	1	1	282.373
20101202	12	17	00	5.511	1	1	1	1	274.484
20101202	12	18	00	5.888	1	1	1	1	275.538
20101202	12	19	00	5.786	1	1	1	1	283.605
20101202	12	20	00	4.358	1	1	1	1	287.139
20101202	12	21	00	5.280	1	1	1	1	283.445
20101202	12	22	00	4.966	1	1	1	1	285.309
20101202	12	23	00	5.137	1	1	1	1	290.749
20101202	12	24	00	4.927	1	1	1	1	294.248

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## A.15 Programas para execução de macros a fim de determinar alturas significativas de onda a partir de espectro de pressão.

Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 10 minutos. Calcula-se a média e depois são direcionados para a Planilha 2 na formatação referente a linha e coluna correspondente a Figura 143 ilustra a planilha formatada.

Figura 143 - Planilha de médias dos dados do sensor Excel.

1 Minuto		5 Minutos	
Hora	Tempo	Profundidade	Ns
0.00	0	0.00	0.12026073
0.01	0	0.00	0.14184232
0.02	0	0.00	0.14030303
0.03	0	0.00	0.10696095
0.04	0	0.00	0.09023182
0.05	0	0.00	0.11999536
0.06	0	0.00	0.10774991
0.07	0	0.00	0.09906742
0.08	0	0.00	0.198999
0.09	0	0.00	0.0971213
0.10	0	0.00	0.1056241
0.11	0	0.00	0.10594942
0.12	0	0.00	0.07097978
0.13	0	0.00	0.09547648
0.14	0	0.00	0.09178391
0.15	0	0.00	0.07938538
0.16	0	0.00	0.10366859
0.17	0	0.00	0.11728159
0.18	0	0.00	0.11949783
0.19	0	0.00	0.07653001
0.20	0	0.00	0.09246061
0.21	0	0.00	0.10168747
0.22	0	0.00	0.08496438
0.23	0	0.00	0.09185983
0.24	0	0.00	0.07683472
0.25	0	0.00	0.10633647
0.26	0	0.00	0.09917121
0.27	0	0.00	0.08020168
0.28	0	0.00	0.10180832
0.29	0	0.00	0.09184844
0.30	0	0.00	0.09271026

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### Sub media\_10min()

Dim sum, sum1, sum2, sum3 As Double

For j = 0 To 144

sum = 0

sum1 = 0

sum2 = 0

sum3 = 0

For i = 1 To 10

sum = sum + Plan1.Cells(1 + i + 10 \* (1 + j - 1), 3)

sum1 = sum1 + Plan1.Cells(1 + i + 10 \* (1 + j - 1), 4)

sum2 = sum2 + Plan1.Cells(1 + i + 10 \* (1 + j - 1), 5)

sum3 = sum3 + Plan1.Cells(1 + i + 10 \* (1 + j - 1), 6)

Next i

Plan2.Cells(j + 3, 20) = sum / 10

Plan2.Cells(j + 3, 21) = sum1 / 10

Plan2.Cells(j + 3, 22) = sum2 / 10

Plan2.Cells(j + 3, 23) = sum3 / 10

Plan2.Cells(j + 2, 18) = Plan1.Cells(1 + 10 \* (j), 1)

Plan2.Cells(j + 3, 19) = Plan1.Cells(2 + 10 \* (j), 2)

Plan2.Cells(2, 20) = Plan1.Cells(1, 3)

Plan2.Cells(2, 21) = Plan1.Cells(1, 4)

Plan2.Cells(2, 22) = Plan1.Cells(1, 5)

Plan2.Cells(2, 23) = Plan1.Cells(1, 6)

Plan2.Cells(2, 19) = Plan1.Cells(1, 2)

Next j

Range("R1:W1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

```

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Columns("X:X").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Range("R1:W1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0

```

```

        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Range("U1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "10 Minutos"
    With ActiveCell.Characters(Start:=1, Length:=10).Font
        .Name = "Calibri"
        .FontStyle = "Negrito"
        .Size = 14
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontMinor
    End With
    Range("R1:W1").Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 12611584
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

    Range("R147:W147").Select
    Selection.ClearContents
    Range("R147:W147").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
  Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
  Range("R146:W146").Select
  Range(Selection, Selection.End(xlUp)).Select
  ActiveWindow.SmallScroll Down:=-12
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
```

```
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlMedium
```

```
End With
With
```

```
Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
  .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-33
Columns("Y:Y").Select
Range("Y93").Activate
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
```

```
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
```

```
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
```

```
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeRight)
```

```
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
  With
```

```
Selection.Borders(xlInsideVertical)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
```

```

.Weight = xlThin
End With
With
Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0

```

```

.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With

End Sub

```

### A.16 Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 30 minutos

Calcula-se a média e depois são direcionados para a Planilha 2 na formatação referente a linha e coluna correspondente a Figura 143 ilustra a planilha formatada.

#### Sub Média\_30min()

```

Dim sum, sum1, sum2, sum3 As Double
For j = 0 To 48
sum = 0
sum1 = 0
sum2 = 0
sum3 = 0

For i = 1 To 30
sum = sum + Plan1.Cells(1 + i + 30 * (1 + j - 1), 3)
sum1 = sum1 + Plan1.Cells(1 + i + 30 * (1 + j - 1), 4)
sum2 = sum2 + Plan1.Cells(1 + i + 30 * (1 + j - 1), 5)
sum3 = sum3 + Plan1.Cells(1 + i + 30 * (1 + j - 1), 6)
Next i
Plan2.Cells(j + 3, 27) = sum / 30
Plan2.Cells(j + 3, 28) = sum1 / 30
Plan2.Cells(j + 3, 29) = sum2 / 30
Plan2.Cells(j + 3, 30) = sum3 / 30

Plan2.Cells(j + 2, 25) = Plan1.Cells(1 + 30 * (j), 1)
Plan2.Cells(j + 3, 26) = Plan1.Cells(2 + 30 * (j), 2)
Plan2.Cells(2, 27) = Plan1.Cells(1, 3)
Plan2.Cells(2, 28) = Plan1.Cells(1, 4)
Plan2.Cells(2, 29) = Plan1.Cells(1, 5)
Plan2.Cells(2, 30) = Plan1.Cells(1, 6)

```

```

Plan2.Cells(2, 26) = Plan1.Cells(1, 2)
Next j
Range("Y1:AD1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
Columns("AE:AE").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

```

```

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone

    Range("Y51:AD51").Select
    Selection.ClearContents
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Range("Y50:AD50").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlUp)).Select

```

```

Range(Selection, Selection.End(xlUp)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    Range("Y1:AD1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium

```

```

End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
End With

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Columns("AF:AF").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0

```

```

        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With
        Selection.Borders(xlInsideVertical)
            .LineStyle = xlContinuous
            .ColorIndex = 0
            .TintAndShade = 0
            .Weight = xlThin
        End With
        With
            Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
                .LineStyle = xlContinuous
                .ColorIndex = 0
                .TintAndShade = 0
                .Weight = xlThin
            End With
            Range("AB1").Select
            ActiveCell.FormulaR1C1 = "30
Minutos"
            With ActiveCell.Characters(Start:=1,
                Length:=10).Font
                .Name = "Calibri"
                .FontStyle = "Negrito"
                .Size = 14
                .Strikethrough = False
                .Superscript = False
                .Subscript = False
                .OutlineFont = False
                .Shadow = False
                .Underline = xlUnderlineStyleNone
                .ThemeColor = xlThemeColorLight1
                .TintAndShade = 0
                .ThemeFont = xlThemeFontMinor
            End With
            Range("Y1:AD1").Select
            With Selection.Interior
                .Pattern = xlSolid

                .PatternColorIndex = xlAutomatic
                .Color = 12611584
                .TintAndShade = 0
                .PatternTintAndShade = 0
            End With
        End With
    End Sub

```



### A.17 Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 1 hora

Calcula-se a média e depois são direcionados para a Planilha 2 na formatação referente a linha e coluna correspondente a Figura 143 ilustra a planilha formatada.

#### Sub Média\_1hora()

```
Dim sum, sum1, sum2, sum3 As Double
```

```
For j = 0 To 24
```

```
sum = 0
```

```
sum1 = 0
```

```
sum2 = 0
```

```
sum3 = 0
```

```
For i = 1 To 30
```

```
sum = sum + Plan1.Cells(1 + i + 60 * (1 + j - 1), 3)
```

```
sum1 = sum1 + Plan1.Cells(1 + i + 60 * (1 + j - 1), 4)
```

```
sum2 = sum2 + Plan1.Cells(1 + i + 60 * (1 + j - 1), 5)
```

```
sum3 = sum3 + Plan1.Cells(1 + i + 60 * (1 + j - 1), 6)
```

```
Next i
```

```
Plan2.Cells(j + 3, 34) = sum / 30
```

```
Plan2.Cells(j + 3, 35) = sum1 / 30
```

```
Plan2.Cells(j + 3, 36) = sum2 / 30
```

```
Plan2.Cells(j + 3, 37) = sum3 / 30
```

```
Plan2.Cells(j + 2, 32) = Plan1.Cells(1 + 60 * (j), 1)
```

```
Plan2.Cells(j + 3, 33) = Plan1.Cells(2 + 60 * (j), 2)
```

```
Plan2.Cells(2, 34) = Plan1.Cells(1, 3)
```

```
Plan2.Cells(2, 35) = Plan1.Cells(1, 4)
```

```
Plan2.Cells(2, 36) = Plan1.Cells(1, 5)
```

```
Plan2.Cells(2, 37) = Plan1.Cells(1, 6)
```

```
Plan2.Cells(2, 33) = Plan1.Cells(1, 2)
```

```
Next j
```

```
Range("AF1:AK1").Select
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
```

```
Columns("AL:AL").Select
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone
```

```

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle
= xlNone
    Range("AF27:AK27").Select
    Selection.ClearContents
    Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle =
xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle
= xlNone
    Range("AF26:AK26").Select
    Range(Selection,
Selection.End(xlUp)).Select
    Range(Selection,
Selection.End(xlUp)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle
= xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
    End With

```

```

        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    Range("AF1:AK1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle
= xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
    End With

```

```

.Weight = xlMedium
End With

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
Columns("AM:AM").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With
Selection.Borders(xlInsideVertical)

```

```

.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With
Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
Range("A11").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "1 Hora"
With ActiveCell.Characters(Start:=1, Length:=6).Font
.Name = "Calibri"
.FontStyle = "Negrito"
.Size = 14
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ThemeColor = xlThemeColorLight1
.TintAndShade = 0
.ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With
Range("AF1:AK1").Select
With Selection.Interior
.Pattern = xlSolid
.PatternColorIndex = xlAutomatic
.Color = 12611584
.TintAndShade = 0
.PatternTintAndShade = 0
End With
End Sub

```

**A.18 Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 1 minuto**

Calcula-se a média e depois são direcionados para a Planilha 2 na formatação referente a linha e coluna correspondente a Figura 143 ilustra a planilha formatada.

### Sub Média\_1min()

'média 1 minuto

Dim sum, sum1, sum2, sum3 As Double

For j = 1 To 1441

sum = 0

sum1 = 0

sum2 = 0

sum3 = 0

For i = 1 To 1

sum = sum + Plan1.Cells(1 + i + 1 \* (j - 1), 3)

sum1 = sum1 + Plan1.Cells(1 + i + 1 \* (j - 1), 4)

sum2 = sum2 + Plan1.Cells(1 + i + 1 \* (j - 1), 5)

sum3 = sum3 + Plan1.Cells(1 + i + 1 \* (j - 1), 6)

Next i

Plan2.Cells(j + 2, 6) = sum / 1

Plan2.Cells(j + 2, 7) = sum1 / 1

Plan2.Cells(j + 2, 8) = sum2 / 1

Plan2.Cells(j + 2, 9) = sum3 / 1

Plan2.Cells(j + 1, 4) = Plan1.Cells(1 + 1 \* (j - 1), 1)

Plan2.Cells(j + 1, 5) = Plan1.Cells(1 + 1 \* (j - 1), 2)

Plan2.Cells(1 + 1, 6) = Plan1.Cells(1, 3)

Plan2.Cells(2, 7) = Plan1.Cells(1, 4)

Plan2.Cells(2, 8) = Plan1.Cells(1, 5)

Plan2.Cells(2, 9) = Plan1.Cells(1, 6)

Next j

Range("D1443:I1443").Select

Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select  
Selection.ClearContents

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone

Columns("J:J").Select  
Range("J1430").Activate

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone

Columns("K:K").Select  
Range("K1430").Activate

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
  End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
  End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
  End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
```

```
  End With
```

```
  With
```

```
Selection.Borders(xlInsideVertical)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
  .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
With
```

```
Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
  .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
Range("D1442:I1442").Select
Range(Selection,
```

```
Selection.End(xlUp)).Select
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
```

```
  End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
```

```
  End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
```

```
  End With
```

```
  With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
```

```
  End With
```

```
  With
```

```
Selection.Borders(xlInsideVertical)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
  .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
With
```

```
Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
  .Weight = xlThin
```

```
End With
```

```
ActiveWindow.ScrollRow = 2081
```

```
ActiveWindow.ScrollRow = 1
```

```
Range("D1:I1").Select
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle =
xlNone
  Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyl
e = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle
= xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineSt
yle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).Line
Style = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineS
tyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyl
e = xlNone
  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium

```

```

End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
  .LineStyle = xlContinuous
  .ColorIndex = 0
  .TintAndShade = 0
  .Weight = xlMedium
End With

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineSt
yle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).Line
Style = xlNone
  Range("G1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "1 Minuto"
  With Selection.Font
    .Name = "Calibri"
    .Size = 14
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ThemeColor = xlThemeColorLight1
    .TintAndShade = 0
    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
  End With
  Selection.Font.Bold = False
  Selection.Font.Bold = True
  Range("D1:I1").Select
  With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 12611584
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
  End With

End Sub

```

### **A.19 Programa para organizar os valores das alturas significativas, profundidade, altura máxima e altura média, com médias a cada 5 minutos**

Calcula-se a média e depois são direcionados para a Planilha 2 na formatação referente a linha e coluna correspondente a Figura 143 ilustra a planilha formatada.

**Sub Média\_5min()**

```

Dim sum, sum1, sum2, sum3 As Double

For j = 0 To 288
sum = 0
sum1 = 0
sum2 = 0
sum3 = 0

For i = 1 To 5
sum = sum + Plan1.Cells(1 + i + 5 * (1 + j - 1), 3)
sum1 = sum1 + Plan1.Cells(1 + i + 5 * (1 + j - 1), 4)
sum2 = sum2 + Plan1.Cells(1 + i + 5 * (1 + j - 1), 5)
sum3 = sum3 + Plan1.Cells(1 + i + 5 * (1 + j - 1), 6)
Next i
Plan2.Cells(j + 3, 13) = sum / 5
Plan2.Cells(j + 3, 14) = sum1 / 5
Plan2.Cells(j + 3, 15) = sum2 / 5
Plan2.Cells(j + 3, 16) = sum3 / 5

Plan2.Cells(j + 2, 11) = Plan1.Cells(1 + 5 * (j), 1)
Plan2.Cells(j + 3, 12) = Plan1.Cells(2 + 5 * (j), 2)
Plan2.Cells(2, 13) = Plan1.Cells(1, 3)
Plan2.Cells(2, 14) = Plan1.Cells(1, 4)
Plan2.Cells(2, 15) = Plan1.Cells(1, 5)
Plan2.Cells(2, 16) = Plan1.Cells(1, 6)
Plan2.Cells(2, 12) = Plan1.Cells(1, 2)
Next j
Range("K1:P1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

```

```

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Range("N1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "5 Minutos"
    With ActiveCell.Characters(Start:=1, Length:=9).Font
        .Name = "Calibri"
        .FontStyle = "Negrito"
        .Size = 14
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontMinor
    End With
    Columns("Q:Q").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone

```

```

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Range("K1:P1").Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With

Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Range("K1:P1").Select
    Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select
    Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

```

```

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlMedium
    End With
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=276
    Range("K291:P291").Select
    Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone

```



```

Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
Selection.ClearContents
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-60
Columns("R:R").Select
Range("R211").Activate

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With
Selection.Borders(xlInsideVertical)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With
Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
Range("K1:P1").Select
With Selection.Interior

```

```

.Pattern = xlSolid
.PatternColorIndex = xlAutomatic
.Color = 12611584
.TintAndShade = 0
.PatternTintAndShade = 0
End With
ActiveWindow.SmallScroll Down:=279
Range("K290:P290").Select
Range(Selection,
Selection.End(xlUp)).Select

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone

Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlMedium
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlMedium
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlMedium
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlMedium
End With
With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
Range("S283").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-
297
End Sub

```

## A.20 Programa que executa os macros necessários para o calculo das alturas significativas de ondas (Macro1, Corrige e Reduz4)

Este programa executa os macros, e faz de modo automático para cada mês, buscando as planilhas de dados originais do sensor de pressão. Além disso, salva os dados de altura significativa, profundidade, altura máxima, altura mínima, data e hora na planilha 1 do arquivo correspondente a cada dia. A Figura 144 ilustra um arquivo processado referente a este macro faz\_tudo.

Figura 144 - Arquivo gerado na transformação do espectro de onda obtido pelo sensor de pressão para altura significativa.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

```

Sub faz_tudo()
'
' macro para organizar as planilhas com
' medias e hs usando o macromedia e macro
' para o dia.
'
Dim Pasta As String
Dim Arquivo As String
Dim Nome As String
Dim Result As String
Dim Dirteste As String

For i = 1 To 31

Pasta =
"C:\Users\adrianinha\Desktop\projeto-
sensor de pressao_macros-resultados e
processados\resultados\Dezembro de
2010"
    
```

```

Result =
"C:\Users\adrianinha\Desktop\projeto-
sensor de pressao_macros-resultados e
processados\Processados por
macros\Dezembro de 2010"
Dirteste =
"C:\Users\adrianinha\Desktop\projeto-
sensor de pressao_macros-resultados e
processados\Processados por
macros\teste.xlsm"

If i <= 9 Then
Arquivo = "12-2010-d0" & i
Else
Arquivo = "12-2010-d" & i
End If

Nome = Pasta & "\" & Arquivo & ".xlsx"

ChDir Pasta
    
```

```

Workbooks.Open Filename:=Nome

Range("A2:D2").Select
Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Copy
ChDir Pasta
Windows("teste.xlsm").Activate
Sheets("Plan5").Select
Range("A10").Select
ActiveSheet.Paste
Range("L10").Select
Application.CutCopyMode = False
Windows(Arquivo).Activate
ActiveWindow.Close
Windows("teste.xlsm").Activate
Sheets("Plan5").Select
Application.Run "teste.xlsm"!Corrige"
Range("L10").Select
Application.Run "teste.xlsm"!Reduz4"
Application.Run "teste.xlsm"!Macro1"
Application.WindowState =
xlMinimized

Range("N:N,O:O,Q:Q,S:S,T:T,W:W").Sel
ect
Range("W1").Activate
Selection.Copy
Sheets("Plan1").Select
Range("A2:F2").Select
Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.ClearContents
Range("A2").Select
Sheets("Plan5").Select
Selection.Copy
Sheets("Plan1").Select
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
Selection.Columns.AutoFit
Range("A1:A8").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.EntireRow.Delete
Range("H4").Select
Sheets("Plan2").Select
Application.Run
"teste.xlsm"!Média_1min"
Application.Run
"teste.xlsm"!Módulo1.Média_5min"

```

```

Application.Run
"teste.xlsm"!media_10min"
Application.Run
"teste.xlsm"!Média_30min"
Application.Run
"teste.xlsm"!Média_1hora"

' Windows("teste.xlsm").Activate
' Macro para salvar a planilha feita com
as medias
'
ChDir Result
ActiveWorkbook.SaveCopyAs
Filename:=Result & "\" & Arquivo &
".xlsm"
Sheets("Plan5").Select
Application.Run
"teste.xlsm"!limpa_arquivo"

Next i
End Sub

Sub limpa_arquivo()
'
' limpa_arquivo Macro
'
Range("A10:D10").Select
Range(Selection,
Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Sheets("Plan1").Select
Cells.Select
Selection.ClearContents
Sheets("Plan5").Select
End Sub0

```