

Vinicius Souza Moraes

***“Previsão de Ondas Geradas Por Ventos em Águas Interiores e Sua
Alteração Devido à Presença de Vegetação Aquática em Margens de
Lagos”***

Ilha Solteira – SP
Dezembro de 2009



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**“Previsão de Ondas Geradas Por Ventos em Águas Interiores e Sua
Alteração Devido à Presença de Vegetação Aquática em Margens de Lagos”**

Vinicius Souza Moraes

Orientador: Prof. Dr. Geraldo de Freitas Maciel

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Área do Conhecimento: Ciências Térmicas.

Ilha Solteira – SP
Dezembro de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

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

- M827p Moraes, Vinicius Souza.
Previsão de ondas geradas por ventos em águas interiores e sua alteração devido à presença de vegetação aquática em margens de lagos / Vinicius Souza Moraes. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009.
250 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2009
- Orientador: Geraldo de Freitas Maciel
Bibliografia: p. 133-136
1. Simulação (Computadores). 2. Ondas produzidas pelo vento. 3. Lagos. 4. Dinâmica de vegetação. 5. Dissipação de energia. 6. Vigas viscoelásticas.

FOLHA DE APROVAÇÃO



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

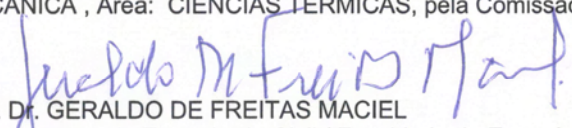
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Previsão de Ondas Geradas Por Ventos em Águas Interiores e Sua Alteração Devido à Presença de Vegetação Aquática em Margens de Lagos

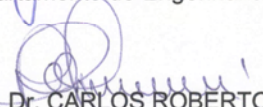
AUTOR: VINICIUS SOUZA MORAIS

ORIENTADOR: Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL

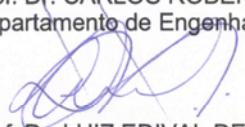
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA MECÂNICA, Área: CIÊNCIAS TÉRMICAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. CARLOS ROBERTO MINUSSI

Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. LUIZ EDIVAL DE SOUZA

Instituto de Engenharia de Sistemas e Tecnologias da Informação / Universidade Federal de Itajubá

Data da realização: 11 de dezembro de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família como um todo. Em especial, quero dedicar, ao meu avô José Gomes de Souza (In memorian), que infelizmente não me viu graduar, nem tão pouco me tornar um mestre, porém, tenho certeza que seria de muito orgulho para essa pessoa, dotada de uma inteligência extraordinária, que passou sua vida a priorizar os estudos.

AGRADECIMENTOS

Há tantos a agradecer, por tanto se dedicarem a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me posto a aprender! Sei que me esquecerei de muitos, perdoem-me pela falha.

A Minha Família, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente: meu pai José Cássio de Moraes, minha mãe Rosemeire Gomes de Souza Moraes, meus irmãos: Tobias Souza Moraes, Douglas Souza Moraes e Cássio Souza Moraes e minhas avós: Araci Gomes de Souza e Esmerinda Chaves Moraes de onde surgiram meus sobrenomes.

Aos amigos Evandro Fernandes da Cunha, Joel Vasco e Flávio Sato pelos momentos vividos, convívio de longa data e ajuda dentro do trabalho.

Aos amigos de Mestrado como um todo, que se fizeram presentes, que compartilharam comigo esses momentos de aprendizado e ajudas mútuas.

Aos docentes da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, pelo convívio, amizade e eventuais esclarecimentos técnico-científicos. Em especial ao Professor Dr. Geraldo de Freitas Maciel que me conduziu durante o mestrado, se tornando um amigo acima de tudo.

À banca examinadora por aceitar, contribuir com entusiasmo e critério científico na avaliação deste trabalho.

À agência de fomento FAPESP (Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão de bolsa de mestrado, garantindo meus estudos.

Agradeço também à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira e ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica (PPGEM), por onde obtive minha graduação e mestrado, bem como ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), por onde também convivi no decorrer desse trabalho.

Enfim, à todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para que este percurso pudesse ser concluído. O MUITO OBRIGADO é mísero, porém sincero.

RESUMO

Este trabalho dá continuidade e aperfeiçoa um modelo automatizado para estimativa de altura de ondas geradas em lagos de barragens, a partir dos dados característicos de vento. Infere sobre a climatologia dos ventos, a fim de determinar as maiores alturas de ondas e identificar pontos críticos, tanto para a segurança à navegação, quanto para as margens do reservatório.

Lagos de barragens, foco desta dissertação são, em sua maioria, dotados de vegetação aquática. Dentro dessa temática, uma busca por modelos capazes de qualificar e quantificar o quão as ondas geradas pelo vento reagem ao atravessar esses obstáculos naturais em termos de oscilação das plantas, presentes nas margens, foi também discutida.

Para os propósitos aqui expostos, um aplicativo computacional foi utilizado para a previsão de ondas e estruturado de maneira que pudesse fornecer resultados gráficos de forma automatizada com maior precisão e no menor tempo possível. O *software*, fruto do desenvolvimento dos estudos da equipe de pesquisa e mais recentemente aprimorado no presente trabalho, batizado de *OndisaCAD*, integra-se dentro de ambientes *CADs*, precisamente no *AutoCAD* da *Autodesk*, possibilitando, assim, a geração de ótimas interfaces e resultados gráficos.

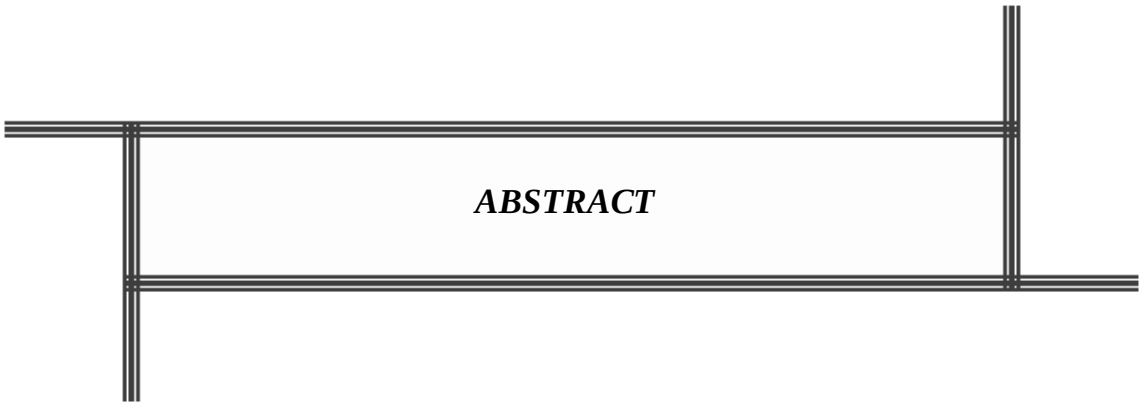
No que tange à dissipação de energia através da vegetação existente nos lagos e suas margens, o aspecto dinâmico associado à própria movimentação da vegetação foi comparado ao comportamento do movimento de vigas engastadas em sua parte inferior, o que permitiu prescrever a movimentação dos organismos vivos (plantas) frente a uma excitação provocada pela passagem de onda.

O *software OndisaCAD* encontra-se operacional e bem documentado nos anexos desta dissertação.

A previsão de taxas de atenuação das ondas sobre fundos vegetados depende, além dos fatores geométricos e físicos da vegetação, da extensão do campo vegetado.

Uma análise preliminar identificou a necessidade de se investigar mais detalhadamente os efeitos de não-linearidade geométrica e física do organismo vivo (planta).

Palavras chave: *Simulação Numérica. Vento-Onda. Lagos. Vegetação em Margens. Dissipação de Energia. Vigas Viscoelásticas.*



ABSTRACT

This work continues and perfects an automated model for estimating the height of waves generated in lakes dams, entering the characteristic data of the wind. It follows on the climatology of the winds to determine the largest wave heights and identify critical points, for the safety of navigation and margin of the reservoir.

Lakes dams, focus of this dissertation are mostly equipped with aquatic vegetation. Inside this subject, a search for models able to qualify and quantify how the waves generated by winds respond to cross these natural barriers in terms of oscillation of plants, present on the margin, was also discussed.

For the purposes set out here, a software was used for predicting waves and structured so that could provide automated graphics results with more accurately and with a shortest possible time. The software, due to the development of studies of the research team and more recently extended in the present work, called OndisaCAD, works within CADs environments, specifically in AutoCAD of Autodesk's, allowing the generation of great interfaces and graphical results.

With respect to the dissipating energy through the vegetation in the lakes and their margins, the dynamic aspect associated with their movement of the vegetation was compared to the behavior of the movement of beams embedded in its bottom, which allowed to prescribe the movement of living organisms (plants) front of an excitement caused by the passage of a wave.

The software OndisaCAD is operational and well documented in the annexes of this dissertation.

Abstract

The prediction of decay rates of waves on bottom vegetated depends, in addition to geometric and physical factors of vegetation, the extent of vegetated field.

A preliminary analysis has identified the need to investigate further the effects of geometric nonlinearity and physical living organism (plant).

Keywords: *Numerical Simulation. Wind-Wave. Lakes. Margin Vegetation. Energy Dissipation. Viscoelastic Beams.*

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 – Fator de correção devido a localização em terra do ponto de medição</i>	24
<i>Figura 1.2 – Pista de vento esquemática para a direção norte</i>	28
<i>Figura 1.3 – Acompanhamento de uma partícula em ondas geradas por vento</i>	29
<i>Figura 1.4 – Organograma de determinação de alturas de ondas e períodos significativos</i>	33
<i>Figura 2.1 – Processo de digitalização do reservatório de Ilha Solteira</i>	35
<i>Figura 2.2 – Conteúdo dos dados gerados em 2003</i>	37
<i>Figura 2.3 – Sistema de transmissão de dados em campo</i>	38
<i>Figura 2.4 – Sistema de recepção de dados na UNESP/FEIS</i>	39
<i>Figura 2.5 – Aspecto gráfico do processo inicial de obtenção das pistas de vento</i>	40
<i>Figura 2.6 – Aplicação do programa PISTA.LSP no lago Fictício, direção OSO com espaçamento da malha de 500m</i>	41
<i>Figura 2.7 – Alerta por problemas na execução do programa PISTA.LSP</i>	41
<i>Figura 2.8 – Caixa de diálogo informativa, final da execução do programa PISTA.LSP</i>	42
<i>Figura 2.9 – Aplicação do programa ONDA.LSP no lago Fictício, método SMB, velocidade do vento de 7m/s, direção OSO</i>	43
<i>Figura 2.10 – Caixa de diálogo informativa, processamento com êxito</i>	44
<i>Figura 3.1 – Rosa-dos-ventos de reinância relativa ao mês de julho (CESP)</i>	48
<i>Figura 3.2 – Rosa-dos-ventos de reinância relativa ao mês de novembro (CESP)</i>	48
<i>Figura 3.3 – Rosa-dos-ventos de reinância, período de 1977-90</i>	50
<i>Figura 3.4 – Rosa-dos-ventos de dominância, período de 1977-90</i>	50
<i>Figura 3.5 – Diagrama de ventos medidos em 2003</i>	52
<i>Figura 3.6 – Dados de vento de apenas um dia no lago de Porto Primavera, 2004 (a) Detalhes da data e velocidade e (b) Detalhe direção do vento</i>	54
<i>Figura 3.7 – Rosas-dos-ventos predominantes mensais, campanha 2008-09</i>	57
<i>Figura 3.8 – Rosas-dos-ventos dominantes mensais, campanha 2008-09</i>	58

<i>Figura 3.9 – Rosas-dos-ventos de todo período de medição da campanha 2008-09 (a) reinantes e (b) dominantes</i>	58
<i>Figura 3.10 – Mapa de pistas de vento para o lago de Ilha Solteira, vento na direção NNE</i>	61
<i>Figura 3.11 – Mapa de pistas de vento para o lago de Ilha Solteira, vento na direção NNO</i>	61
<i>Figura 3.12 – Mapa de pistas de vento para o lago de Jupia, vento na direção NNE</i>	62
<i>Figura 3.13 – Mapa de pistas de vento para o lago de Jupia, vento na direção NNO</i>	62
<i>Figura 3.14 – Mapa de pistas de vento para o lago de Três Irmãos, direção NNE</i>	63
<i>Figura 3.15 – Mapa de pistas de vento para o lago de Três Irmãos, direção NNO</i>	63
<i>Figura 3.16 – Mapa de pistas de vento para o lago de Porto Primavera, direção NE</i>	64
<i>Figura 3.17 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NNE, maior vento médio (5,92m/s)</i>	65
<i>Figura 3.18 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NNO, vento máximo (24,62m/s)</i>	66
<i>Figura 3.19 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NNE, maior vento médio (5,92m/s)</i>	66
<i>Figura 3.20 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NNO, vento máximo (24,62m/s)</i>	67
<i>Figura 3.21 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NNE, maior vento médio (5,92m/s)</i>	67
<i>Figura 3.22 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NNO, vento máximo (24,62m/s)</i>	68
<i>Figura 3.23 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NO, vento médio (10,00m/s)</i>	68
<i>Figura 3.24 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NO, vento máximo (20,00m/s)</i>	69
<i>Figura 4.1 – Processos erosivos nas margens da barragem de Ilha Solteira</i>	71
<i>Figura 4.2 – Amortecimentos de ondas nas margens do lago de Ilha Solteira</i>	72
<i>Figura 4.3 – (a) Imagem subaquática da B. Subquadrípara (cortesia: CESP) e (b) detalhe desta espécie de vegetação na época de estiagem</i>	75
<i>Figura 4.4 – Representação do organismo utilizado por (a) Lovås e Tørum (2001) e (b) Ghisalberti e Nepf (2002)</i>	76
<i>Figura 4.5 – (a) Posicionamento do campo de cordas de nylon no INPH e (b) ensaio sendo realizado no laboratório da EPUSP</i>	77
<i>Figura 4.6 – (a) Esquema da malha metálica utilizada como suporte à fixação das cordas de nylon, em vista superior e (b) Vista lateral, já com as cordas fixadas</i>	78
<i>Figura 4.7 – Elemento submetido a um carregamento hidrodinâmico, modelado como uma viga engastada</i>	79
<i>Figura 4.8 – Tela do DOS e execução do programa de Vasco (2005)</i>	81
<i>Figura 4.9 – Arquivo de inserção dos dados de entrada no programa</i>	81
<i>Figura 4.10 – Visualização dos arquivos criados pelo programa de Vasco (2005)</i>	82
<i>Figura 5.1 – Organismos aquáticos presentes nas margens do lago de Ilha Solteira</i>	85
<i>Figura 5.2 – Tela inicial do programa ANSYS</i>	88

<i>Figura 5.3 – Inserção por comando do título do projeto</i>	88
<i>Figura 5.4 – Detalhe do título do projeto</i>	89
<i>Figura 5.5 – Inserindo por comando as unidades no Sistema Internacional</i>	89
<i>Figura 5.6 – Inserindo pontos</i>	90
<i>Figura 5.7 – Resultado da inserção dos pontos</i>	90
<i>Figura 5.8 – (a) Tela anterior à seleção dos pontos e (b) Resultado da união entre os pontos</i>	91
<i>Figura 5.9 – Elemento BEAM188 e suas propriedades geométricas</i>	92
<i>Figura 5.10 – (a) Comando e (b) Efeito de visualização da geometria</i>	93
<i>Figura 5.11 – Tela geral de inserção das propriedades do material</i>	94
<i>Figura 5.12 – Inserção de EX e Poisson</i>	94
<i>Figura 5.13 – Tela de inserção da propriedade densidade</i>	95
<i>Figura 5.14 – Tela Shear Response, inserção da viscoelasticidade</i>	95
<i>Figura 5.15 – Tela de inserção das malhas</i>	96
<i>Figura 5.16 – (a) Tela anterior à escolha das divisões, (b) Malhagem da viga e (c) Reagrupamento dos elementos</i>	97
<i>Figura 5.17 – Tela anterior à escolha do ponto de engaste</i>	98
<i>Figura 5.18 – Tela de escolha dos engastes</i>	98
<i>Figura 5.19 – Visualização da viga na área de trabalho</i>	99
<i>Figura 5.20 – Tela de criação de funções</i>	99
<i>Figura 5.21 – Carregando uma função no ANSYS</i>	100
<i>Figura 5.22 – Tela anterior à escolha do ponto de aplicação da força</i>	101
<i>Figura 5.23 – Tela de inserção da força</i>	101
<i>Figura 5.24 – (a) Tela de inserção da função força e (b) Visualização da viga na área de trabalho</i>	102
<i>Figura 5.25 – Tela de seleção do tipo de análise</i>	102
<i>Figura 5.26 – Tela dos principais parâmetros de simulação</i>	103
<i>Figura 5.27 – Tela de solver</i>	104
<i>Figura 5.28 – Gráfico gerado durante as iterações de convergência</i>	104
<i>Figura 5.29 – Tela “DOS” que acompanha o ANSYS</i>	105
<i>Figura 5.30 – Nota de solução realizada com sucesso</i>	106
<i>Figura 5.31 – Tela de seleção do tipo de deformação</i>	106
<i>Figura 5.32 – Exemplo de estrutura deformada + estrutura não deformada</i>	107
<i>Figura 5.33 – Tela de seleção do ponto de deslocamento em função do tempo</i>	107
<i>Figura 5.34 – Resultado da plotagem: Deslocamento (m) x Tempo(s)</i>	108
<i>Figura 5.35 – Tela de informação dos dados inseridos no programa</i>	108
<i>Figura 5.36 – Deslocamento máximo em viga engastada utilizando ANSYS</i>	109
<i>Figura 6.1 – Layout das vigas apresentada pelo programa (a) e em deslocamento (b)</i>	112
<i>Figura 6.2 – Deslocamento linear do organismo a partir de várias forças</i>	113

<i>Figura 6.3 – Deslocamento não-linear do organismo a partir de várias forçantes</i>	114
<i>Figura 6.4 – Esforço transiente aplicado na extremidade do organismo rígido (coral)</i>	115
<i>Figura 6.5 – Comportamento dinâmico, segundo a variação do diâmetro d</i>	116
<i>Figura 6.6 – Comportamento dinâmico, segundo a variação da massa específica ρ</i>	116
<i>Figura 6.7 – Comportamento dinâmico, segundo a variação do módulo à flexão E_s</i>	117
<i>Figura 6.8 – Resultados de Vasco (2005) variando parâmetros (a) Diâmetro, (b) Massa específica e (c) Módulo a flexão</i>	118
<i>Figura 6.9 – Evolução no deslocamento do organismo com o tempo para um pulso senoidal. (a) Presente trabalho e (b) Vasco (2005)</i>	119
<i>Figura 6.10 – Forças atuantes ao longo do organismo para uma profundidade de $h=0,7m$ e período da onda de $T=1s$</i>	120
<i>Figura 6.11 – Análise linear: (a) Layout da viga apresentada pelo programa e (b) Organismo sofrendo a ação das forçantes da Figura 6.10</i>	121
<i>Figura 6.12 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo, abordagem linear: (a) Vasco (2005) e (b) Presente trabalho</i>	122
<i>Figura 6.13 – Influência do incremento temporal na resposta dos deslocamentos: (a) $t=0,001s$, (b) $t=0,05s$ e (c) $t=0,1s$</i>	123
<i>Figura 6.14 – Análise não-linear: Organismo sofrendo a ação das forçantes</i>	124
<i>Figura 6.15 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo para uma abordagem não-linear utilizando as forças da Figura 6.10</i>	125
<i>Figura 6.16 – Forças atuantes ao longo do organismo para $h=2m$ e $T=3s$</i>	126
<i>Figura 6.17 – Deslocamento máximo sofrido pelo organismo com as forças da Figura 6.15: (a) análise linear e (b) análise não-linear</i>	126
<i>Figura 6.18 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo para uma abordagem linear e não-linear utilizando as forças da Figura 6.16</i>	127
<i>Figura 6.19 – Domínio de validade, abordagem linear e não-linear</i>	128
<i>Figura 6.20 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo para uma abordagem não-linear utilizando os dados da Tabela 6.2 e Figura 6.16</i>	129

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 – Frequências mensais para todo o período de medição (CESP)</i>	47
<i>Tabela 3.2 – Velocidades médias mensais para todo o período de medição (CESP)</i>	47
<i>Tabela 3.3 – Frequências anuais, período de 1977-90</i>	49
<i>Tabela 3.4 – Velocidades médias anuais, período de 1977-90</i>	49
<i>Tabela 3.5 – Médias totais para toda a campanha de medição, período de 1977-90</i>	50
<i>Tabela 3.6 – Ventos máximos anuais, período de 1977-90</i>	51
<i>Tabela 3.7 – Ventos médios, projeto ONDISA – 2003</i>	52
<i>Tabela 3.8 – Velocidade média do vento corrigida para cada direção (2003)</i>	53
<i>Tabela 3.9 – Velocidades médias mensais para a campanha de 2008-09</i>	55
<i>Tabela 3.10 – Frequências mensais para a campanha de 2008-09</i>	56
<i>Tabela 3.11 – Ventos dominantes mensais para a campanha de 2008-09</i>	56
<i>Tabela 3.12 – Resumo das médias durante a campanha de 2008-09</i>	57
<i>Tabela 3.13 – Ventos Máximos (extremos) para a campanha de 2008-09</i>	59
<i>Tabela 5.1 – Deslocamento máximo variando a Força aplicada na extremidade, comprimento constante da viga de 500mm</i>	110
<i>Tabela 5.2 – Deslocamento máximo variando o comprimento da viga, Força constante aplicada na extremidade de 100N</i>	110
<i>Tabela 6.1 – Algumas características dos organismos para demonstração (coral)</i>	115
<i>Tabela 6.2 – Características dos organismos (“cordas sob ação de empuxo fixadas em canal de ondas” – Item 4.4 do CAPÍTULO 4), reprodução de Vasco (2005).</i>	120

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

α_i	Ângulo entre a direção principal e a direção secundária
$d\ddot{u} / dt$	Aceleração total (m/s^2)
Δt	Incremento temporal (s)
Δx	Incremento espacial (m)
ρ	Massa Específica (kg/m^3)
ω	Frequência
A	Área normal projetada (m^2)
C	Constante de Creager (3,41)
C_d	Coeficiente de arrasto
C_M	Coeficiente de inércia
d	Diâmetro do organismo (m)
D	Duração do vento (h)
ep	Espaçamento entre organismos (m)
E_s	Módulo Elástico (N/m^2)
f	Função
F	Pista efetiva (Fetch) (km)
$\bar{F}$	Força de Morrison (N)
$\vec{F}_D$	Vetor força de arrasto (N)
$\vec{F}_I$	Vetor força de inércia (N)
g	Aceleração da gravidade (m/s^2)
h	Lâmina normal – profundidade (m)
H	Altura da onda (m)
lc	Extensão do campo de organismos (m)

Lista de Símbolos e Unidades

L	<i>Comprimento do corpo (m)</i>
n_{sond}	<i>Número de sondas espaçadas igualmente no campo de organismos</i>
P	<i>Força aplicada (N)</i>
R_L	<i>Relação entre a velocidade de vento na água e na terra</i>
T	<i>Período da onda (s)</i>
T_e	<i>Temperatura (°C)</i>
$\vec{u}$	<i>Vetor velocidade (m/s)</i>
U	<i>Velocidade do vento (m/s)</i>
V	<i>Volume ocupado pelo corpo(m³)</i>
x_i	<i>Comprimento na direção secundária (km)</i>
y	<i>Deslocamento máximo (m)</i>
z	<i>Elevação em que está sendo realizada a medição do vento (m)</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 19

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – VENTOS E ONDAS 22

1.1	VENTOS	22
1.1.1	Ventos na atmosfera	22
1.1.2	Correção da velocidade do vento	23
<i>1.1.2.1</i>	<i>Elevação</i>	<i>23</i>
<i>1.1.2.2</i>	<i>Efeitos de localização</i>	<i>24</i>
<i>1.1.2.3</i>	<i>Correção de estabilidade</i>	<i>25</i>
<i>1.1.2.4</i>	<i>Velocidade média no tempo</i>	<i>25</i>
<i>1.1.2.5</i>	<i>Coeficiente de arraste</i>	<i>26</i>
1.2	PISTA DE VENTO	26
1.3	ALTURA DE ONDA	29
1.3.1	Modelos empíricos de previsão de altura de onda	30
1.3.2	Modelo SMB	31
1.3.3	Método JONSWAP	32

CAPÍTULO 2 VENTOS PISTAS E ONDAS EM LAGOS DE BARRAGENS 34

2.1	OndisaCAD	34
2.1.1	Mapa digitalizado	35
2.2	PROGRAMAÇÃO	35
2.2.1	Vento	36
<i>2.2.1.1</i>	<i>Antigo sistema de transmissão</i>	<i>36</i>
<i>2.2.1.2</i>	<i>Atual sistema de transmissão</i>	<i>38</i>
2.2.2	Pista de vento	39
<i>2.2.2.1</i>	<i>Programa PISTA.LSP</i>	<i>40</i>
2.2.3	Onda	42
<i>2.2.3.1</i>	<i>Programa ONDA.LSP</i>	<i>43</i>
2.2.4	Etapas da simulação numérica	44

CAPÍTULO 3	ESTUDO DE CASOS PARA OS LAGOS DE ILHA, PORTO PRIMAVERA, JUPIÁ E TRÊS IRMÃOS	46
3.1	ANÁLISE DOS DADOS DE VENTOS	46
3.1.1	Ventos em Ilha Solteira (CESP)	46
3.1.2	Ventos em Ilha Solteira (2003)	52
3.1.3	Ventos em Porto Primavera (2004)	53
3.1.4	Ventos em Ilha Solteira (2008/2009)	55
3.2	MAPAS DE PISTAS DE VENTO	60
3.3	MAPAS DE ALTURAS DE ONDA	64
CAPÍTULO 4	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA – ATENUAÇÃO DE ONDAS SOBRE FUNDOS VEGETADOS	70
4.1	O FUNDO VEGETADO	70
4.2	ASPECTOS DA INTERAÇÃO ONDA-VEGETAÇÃO	73
4.2.1	Caracterização dos organismos	74
4.3	ABORDAGEM LINEAR DO FUNDO VEGETADO	75
4.4	MODELOS EXISTENTES NA LITERATURA	76
4.4.1	Modelo numérico	78
4.4.1	Operacionalização do código numérico	80
4.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS E NOVOS RUMOS DE MODELAGEM	82
CAPÍTULO 5	ABORDAGEM NÃO-LINEAR DO FUNDO VEGETADO	84
5.1	ABORDAGEM NÃO-LINEAR DO FUNDO VEGETADO	84
5.1.1	Modelagem no programa ANSYS 9.0	86
5.2	EXEMPLO DE RESULTADOS UTILIZANDO O ANSYS	109
CAPÍTULO 6	ESTUDO DE CASOS: ABORDAGEM NÃO-LINEAR DO FUNDO VEGETADO	111
6.1	RESULTADOS PRÉVIOS DA MODELAGEM	112
6.1.1	Análise linear em regime permanente	112
6.1.2	Análise não-linear em regime permanente	114
6.1.3	Análise em regime transiente	115
6.2	ABORDAGEM LINEAR UTILIZANDO O SOFTWARE ANSYS	119
6.3	ABORDAGEM NÃO-LINEAR UTILIZANDO O SOFTWARE ANSYS	123
6.3.1	Testes de viscoelasticidade do material	128
CAPÍTULO 7	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		133

ANEXO A – RECEPÇÃO DOS DADOS DE VENTO		137
A.1	LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	137
A.1.1	Testes do link entre estação coletora e recepção	139
A.1.2	A antiga estação coletora	142
A.2	O ANTIGO ANEMÔMETRO 2D	142
A.3	O ANEMÔMETRO ULTRASSÔNICO 3D CSAT3	150
A.3.1	Testes de bancada do Anemômetro 3D	151
A.3.2	Instalação em campo do Anemômetro 3D	158
A.4	O ANEMÔMETRO SÔNICO 2D	169
A.4.1	Testes de bancada do Anemômetro 2D	170
A.4.2	Instalação em campo Anemômetro 2D	176
ANEXO B – MONITORAMENTO CONTÍNUO E TRATAMENTO DOS NOVOS DADOS DE VENTO		184
B.1	MONITORAMENTO COM O ANEMÔMETRO 3D CSAT3	184
B.2	TRATAMENTO DOS NOVOS DADOS DE VENTOS	188
B.3	MONITORAMENTO COM O ANEMÔMETRO WINDSONIC	194
B.4	CORREÇÃO DO TRATAMENTO DOS NOVOS DADOS DE VENTOS	195
B.5	DADOS INCONSISTENTES DA CAMPANHA 2008/2009	195
ANEXO C – MANUAL DO SOFTWARE <i>OndisaCAD</i> E <i>OndisaCsat3</i>		198
C.1	MANUAL <i>OndisaCAD</i>	198
C.2	MANUAL <i>OndisaCsat3</i>	215
ANEXO D – MAPAS DE ALTURA DE ONDAS PARA OS LAGOS DE ESTUDO		218
D.1	MAPAS DE ONDAS PARA ILHA SOLTEIRA	219
D.2	MAPAS DE ONDAS PARA JUPIÁ	227
D.3	MAPAS DE ONDAS PARA TRÊS IRMÃOS	235
D.4	MAPAS DE ONDAS PARA PORTO PRIMAVERA	243

INTRODUÇÃO

Em se tratando da motivação do trabalho, os reservatórios do oeste Paulista são reservatórios de barragens de usos múltiplos e que fazem parte de segmentos de hidrovias, além de fazer parte de complexos de navegação e rotas comerciais.

Os efeitos produzidos pelo vento são associados à geração de ondas. Há necessidade de metodologias de previsão e monitoramento de ondas para: fins de segurança à navegação, proteção de margens e eventuais áreas de abrigo.

Há interesse no estudo dos efeitos das ondas devido à localização da barragem da UHE de Ilha Solteira. Acidentes, já ocorridos na hidrovia Tietê-Paraná, evidenciam a importância de conhecer o fenômeno.

Dentro de um contexto de aplicabilidade em engenharia, mapas de alturas de ondas foram determinados, visando identificar: pontos críticos, zonas críticas e eventuais áreas de abrigo. Através de um sistema de previsão de ondas em tempo real, o modelo contribuirá para fornecer informações de apoio e segurança à navegação.

A partir da medição de ventos locais, e de seu contínuo monitoramento, **este trabalho objetiva:**

Primeiramente:

- ✓ O desenvolvimento de sistemas automatizados de aquisição tratamento e análise de dados de vento;
- ✓ Aprimoramento de *software* para a determinação de pistas de vento e alturas de ondas; e
- ✓ Contribuição na dinâmica da movimentação do fundo vegetado presente nos lagos da região.

Posteriormente

✓ Realização da expansão da rede de medição, implementando novos sensores de medição de dados de vento e onda, dando continuidade à coleta de dados.

Esta **Dissertação de Mestrado** está dividida em **07** capítulos e **04** anexos que contemplam, em um primeiro foco, assuntos relacionados à climatologia de ventos que sopram pela região (captação de dados e análise dos mesmos). Contempla também a formação de ondas geradas por esses ventos nos principais lagos que circundam o noroeste paulista. Em um segundo foco, esse trabalho destina-se a uma abordagem geral sobre o mecanismo onda de vento-movimentação de plantas presentes nas margens desses lagos. De forma sumária, os Capítulos e Anexos discorrem sobre:

✓ **1º Capítulo** – Está relacionado à teoria sobre ventos e ondas, suas medições, e considerações na análise dos dados de vento.

✓ **2º Capítulo** – Descreve os métodos utilizados nas simulações de pistas de vento e ondas.

✓ **3º Capítulo** – Contempla o estudo acerca dos dados de vento usados em diferentes períodos, além de estudos de casos dos lagos da região.

✓ **4º Capítulo** – Dedicar-se à fundamentação teórica da atenuação de ondas sobre fundos vegetados.

✓ **5º Capítulo** – Aborda sobre vigas engastadas na simulação do fundo vegetado, bem como a modelagem das mesmas.

✓ **6º Capítulo** – Expõe o estudo de casos lineares e não-lineares do fundo vegetado.

✓ **7º Capítulo** – Resume as principais conclusões do trabalho e suas perspectivas futuras.

✓ **Anexo A** – Descreve a infraestrutura de recepção dos dados de vento, discorrendo sobre as melhorias da antiga estação de medição de vento e retomada parcial de seus dados. Contempla também a chegada dos novos equipamentos na unidade (2008-2009), bem como testes de funcionamento, instalação e operacionalização do novo Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3.

✓ **Anexo B** – Mostra como está sendo feito o monitoramento dos dados provindos do Anemômetro instalado em campo, bem como o tratamento dos mesmos, a fim de se obter dados mais abrangentes e de utilidade na previsão de ondas.

- ✓ **Anexo C** – Apresenta os manuais de utilidade dos programas deste trabalho (*OndisaCAD* – aperfeiçoado e *OndisaCsat3* – desenvolvido), afim de um posterior avanço no assunto.
- ✓ **Anexo D** – Apresenta os mapas temáticos de altura de ondas para os 4 lagos de estudo dessa dissertação em todas as direções da rosa dos ventos para efeitos de comparação, já que utilizam como dados de entrada, um vento crítico.

A **Dissertação de Mestrado** que segue faz parte das exigências para a obtenção do título de mestre junto ao **Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - Área de Conhecimento: Ciências Térmicas**. Está inserida numa série de outros projetos que vêm sendo desenvolvidos e que estão em constante aprimoramento pela equipe de trabalho de Ondas Gravitacionais da FEIS/UNESP.

O excessivo número de páginas deste trabalho deve-se aos anexos que contemplam: missões em campo, manuais de utilização de *software*, imagens, entre outros.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – VENTOS E ONDAS

1.1 VENTOS

O vento pode ser considerado como o ar em movimento. Resulta do deslocamento de massas de ar, derivado dos efeitos das diferenças de pressão atmosférica entre duas regiões distintas e é influenciado por efeitos locais como a orografia e a rugosidade do solo.

Essas diferenças de pressão têm uma origem térmica estando diretamente relacionadas com a radiação solar e os processos de aquecimento das massas de ar. Formam-se a partir de influências naturais, como continentalidade, maritimidade, latitude, altitude.

Entre 1 e 2% da energia proveniente do sol (o sol irradia cerca de $1,74 \times 10^{14}$ kWh) é convertida em energia eólica, cerca de 50 a 100 vezes superior a energia convertida em biomassa (0.011%) por todas as plantas da terra.

1.1.1 Ventos na atmosfera

A camada de ar que envolve a Terra é conhecida como atmosfera (atmos = ar; esfera = esfera terrestre). A atmosfera pode ser dividida em cinco camadas: a troposfera, a estratosfera, a mesosfera, a ionosfera e a exosfera, excedendo os 400 km de altitude.

A troposfera é a camada mais próxima da crosta terrestre, na qual estão imersos os seres vivos de hábito terrestre. Esta camada tem aproximadamente 80% do peso atmosférico, ou seja, é onde o ar está mais concentrado. Esse nome, troposfera, significa "esfera turbulenta", pois é ao longo dos seus aproximadamente 12 km de espessura onde ocorrem quase todos os fenômenos meteorológicos. Assim, nessa camada é que as informações meteorológicas são utilizadas na estimativa dos ventos de superfície.

Entende-se por vento reinante aquele que possui uma maior probabilidade de ocorrer em uma determinada direção. O vento dominante seria aquele que tem um maior potencial energético em termos de ωu^2 , onde ω é a frequência e u é a velocidade do vento.

A velocidade do vento em determinado ponto de medição depende de fatores como a altitude, o relevo, a direção, entre outros. Para que os valores de velocidade do vento sejam utilizados para a previsão de ondas, estes devem ser padronizados segundo critérios específicos de acordo com o tipo de influência como, por exemplo, a correção da velocidade do vento.

1.1.2 Correção da velocidade do vento

De acordo com U.S. Army Corps of Engineers (2001), cinco correções devem ser realizadas na velocidade do vento, a saber: elevação, efeitos de localização, estabilidade (devido a diferença de temperatura), velocidade média no tempo e coeficiente de arraste.

1.1.2.1 Elevação

Se os ventos são medidos a uma elevação diferente de 10 m, as velocidades devem ser ajustadas para a altura de medição padrão. A correção é feita adotando-se o perfil descrito na Equação 1.1 de acordo com U.S. Army Corps of Engineers (2001).

$$U_{(10)} = U_{(z)} \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \quad (1.1)$$

onde z é a elevação em que está sendo realizada a medição em metros.

1.1.2.2 Efeitos de localização

Difícilmente obtêm-se dados de vento sobre a água, mas sim dados de locais em terra próximos à área de estudo. Em Ilha Solteira não é diferente. Entretanto, é possível transportar os dados de um local para outro, desde que eles sejam resultantes do mesmo gradiente de pressão.

A relação entre a velocidade de vento na água e a velocidade do vento na terra a uma altura de $10m$ é dada pelo coeficiente R_L , obtido a partir da Figura 1.1, onde U_w e U_L representam a velocidade do vento sobre a água e a terra, respectivamente (extraído de U.S. Army Corps of Engineers (2001)). Se o anemômetro localiza-se próximo à costa, os ventos que sopram da água em direção à terra não necessitam de ajuste, ou seja, adota-se $R_L = 1$.

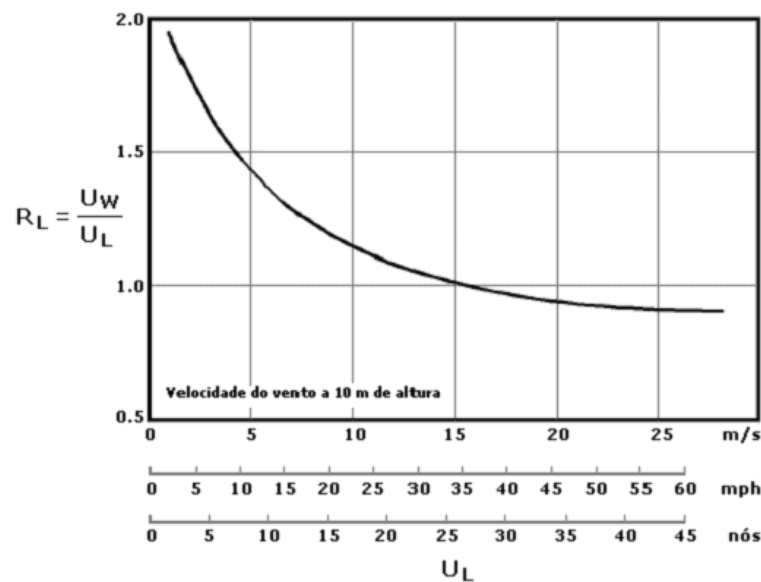


Figura 1.1 – Fator de correção devido a localização em terra do ponto de medição

1.1.2.3 Correção de estabilidade

A correção de estabilidade é relativa aos efeitos da diferença de temperatura entre o ar e a água. Se a diferença entre essas temperaturas ($\Delta Te = Te_{ar} - Te_{água}$) for zero, a camada possui uma estabilidade neutra, e nenhuma correção é necessária. Se ΔTe for negativa, a camada é instável e a velocidade do vento é mais efetiva no crescimento das ondas. Se ΔTe for positiva, a camada é estável, e a velocidade do vento é menos eficiente. Na ausência de dados de temperatura deve-se adotar $R_T = 1,1$. O coeficiente de correção R_T (obtido de um gráfico fornecido pelo CERC (1983)) é utilizado para a correção da velocidade da seguinte forma (Equação 1.2):

$$U = R_T U(10) \quad (1.2)$$

1.1.2.4 Velocidade média no tempo

A velocidade dos ventos é frequentemente observada e relatada como velocidade máxima, medida durante o período de 24 horas. Estudos indicam que esta velocidade extrema normalmente ocorre em períodos menores que 2 minutos. Assim, a medida da velocidade máxima, devido a sua curta duração, não deve ser usada sozinha para a determinação da velocidade do vento para a geração de ondas. Mas, na falta de dados, a medida pode ser modificada para uma velocidade média (no tempo). Neste procedimento, a velocidade extrema deve ser convertida em uma velocidade média, para tempos de 10, 25, 50 minutos ou 1 hora. A conversão pode ser feita por um ábaco fornecido pelo CERC (1983) ou utilizando as Equações 1.3 e 1.4:

$$R_U = \frac{U_{\max}}{U_{3600}} = 1,277 + 0,295 \tanh \left[0,9 \log_{10} \left(\frac{45}{t} \right) \right] \quad (1.3)$$

$$t = \frac{1609}{U_{\max}} \quad (1.4)$$

onde:

$U_{\max}$ é a velocidade máxima diária (m/s);

U_{3600} a velocidade média do vento para uma hora de duração (m/s); e

t o tempo (em segundos) para atravessar uma milha ou 1609m.

1.1.2.5 Coeficiente de arraste

As equações de geração de ondas do CERC (1983) são expressas em termos do fator de tensão do vento U_A . Este fator de tensão leva em consideração a relação não-linear entre a tensão do vento e sua velocidade, como a Equação 1.5.

$$U_A = 0,71U^{1,23} \quad (1.5)$$

Para corpos d'água interiores, lagos, baías e estuários, o U. S. Army Coastal Engineering Research Center (1973) recomenda a utilização de dados de ventos obtidos através de instrumentação, como anemômetros e anemógrafos, em miniestações meteorológicas, como é o caso do presente trabalho.

1.2 PISTA DE VENTO

Quando a onda é gerada pela ação do vento, a altura da onda fica condicionada a três fatores relacionados ao vento: a velocidade, a duração e a pista sobre a qual ele sopra.

A pista de vento é a área de geração de ondas definida como sendo a região na qual a velocidade e direção do vento podem ser consideradas aproximadamente constantes. Segundo

o U. S. Army Coastal Engineering Research Center (1973), esta velocidade é considerada constante quando as variações não excedem 2,5 m/s, partindo da velocidade média.

Na aplicação dos métodos de estimativa da altura destas ondas, uma importante etapa consiste na determinação do comprimento da pista de vento, também conhecida como *fetch*. Na grande maioria dos métodos empregados, o comprimento desta pista entra como uma variável importante no processo de estimativa da altura da onda. Portanto, uma boa estimativa da altura da onda tem início com uma eficiente determinação do comprimento da pista de vento.

O efeito da largura da pista de vento pode ser desprezado em áreas de geração que possuem a largura tão grande, ou superiores ao comprimento. Esta situação é comumente identificada em áreas oceânicas.

Já em águas interiores, as pistas são limitadas pelas margens que contornam tais corpos d'água. Pistas de vento de grande comprimento, se comparado à largura, são frequentemente encontradas, e a influência do entorno não pode ser desprezada. Estes casos de área de geração afetada pela margem resultam em altura de onda significativamente menor se comparada à mesma condição de geração em corpos de água sem limitação marginal.

Saville (1954) propôs um método para determinar o efeito da largura da pista na geração da onda. Este método se aplica a corpos d'água de largura uniforme, como canais. No entanto, na grande maioria dos casos de águas interiores, as margens são irregulares e este método deixa de contemplá-los.

Saville (1954) propõe então um segundo e mais abrangente método que consiste na construção de 19 linhas radiais a partir do ponto de incidência da onda em intervalos de 5° , de tal modo que as radiais extremas formem com a direção do vento um ângulo de 45° . Cada uma destas radiais devem se estender até a margem.

Para o cálculo do comprimento da pista efetiva, esta passa a ser a média das projeções dos segmentos no eixo principal ponderada pelos co-senos dos ângulos. Como pode ser verificado na imagem esquemática da Figura 1.2, o ângulo máximo do segmento mais distante com eixo principal é de 45 graus.

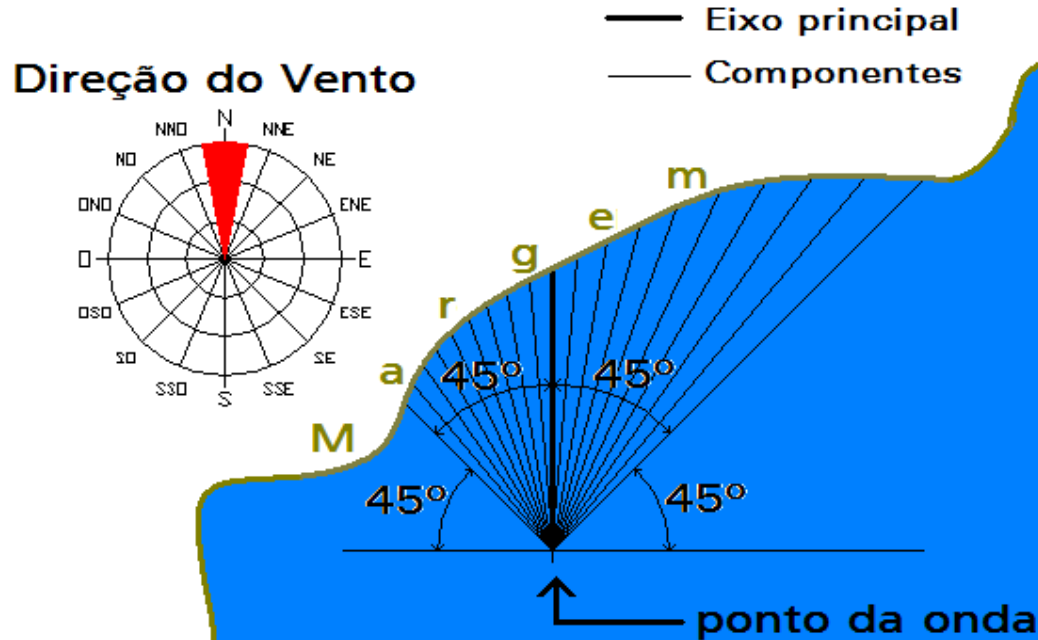


Figura 1.2 – Pista de vento esquemática para a direção norte

Na utilização desse método supõe-se que as ondas estejam em águas profundas. Considera-se que a direção do vento é uniforme e que mantém a mesma direção dentro da área de geração. Despreza-se ainda a influência da topografia marginal, considerando o relevo a uma mesma cota da lâmina d'água. Assim, assumindo essas considerações, o comprimento de pista em cada ponto onde se deseja saber a altura de onda, segundo Saville (1954), é obtido pela Equação 1.6:

$$F = \frac{\sum_i x_i \cos \alpha_i}{\sum_i \cos \alpha_i} \quad (1.6)$$

onde:

- F é o comprimento da pista efetiva de vento;
- α_i é o ângulo entre a direção principal e a direção secundária; e
- x_i é o comprimento na direção secundária.

A forte influência da variabilidade do formato das margens, na determinação da pista de vento, faz com que o processo gráfico se torne excessivamente cansativo ao usuário. Surge, portanto, a necessidade de um programa computacional que forneça graficamente o

comprimento das pistas de vento bem como a localização destas pistas no lago e seus respectivos valores para ser utilizado no cálculo de altura de onda.

1.3 ALTURA DE ONDA

Para gerar uma onda é preciso que exista uma fonte de energia que, ao ser transmitida à água, produza um movimento oscilatório das partículas do líquido sem que haja um transporte importante de massa. As ondas aqui estudadas se desenvolvem por transferência de energia entre o vento e a superfície do corpo d'água.

O local que recebe os efeitos iniciais do vento é chamado de área de geração. Dentro desta área, as ondas apresentam uma forma desorganizada. Pela contínua ação do vento, as ondas vão se modificando (Figura 1.3 (a)), até que, ao sair desta área, assumem gradualmente uma forma mais regular e simétrica (Figura 1.3 (b)), organizando-se em “trens de onda”, e passa a ser chamada de ondulação. Quando a velocidade do vento persiste o bastante e tem área suficiente para atuar, atinge-se um limite em que a transferência de energia do ar para a água iguala a taxa de dissipação de energia por arrebentação das ondas (Figura 1.3 (c)). Ocorre então a produção da máxima altura de onda que pode ser mantida por esse vento. Em águas do mar, esta condição é denominada “mar completamente desenvolvido”. A ilustração da Figura 1.3 mostra três instantes em que uma partícula é vista no desenvolvimento de uma onda gerada por vento.

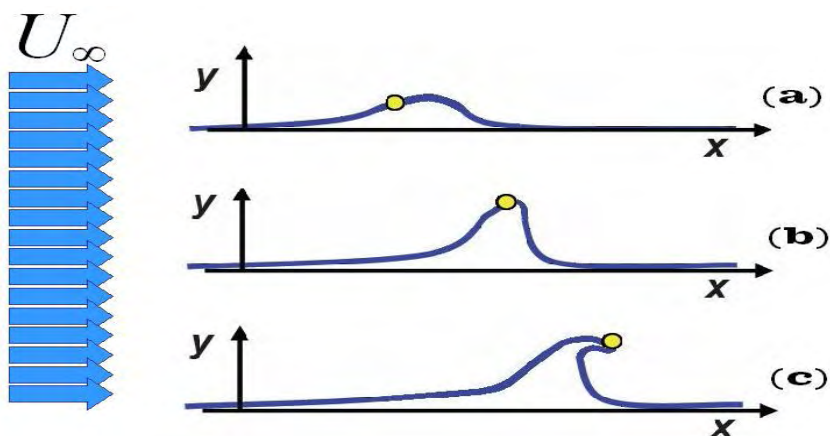


Figura 1.3 – Acompanhamento de uma partícula em ondas geradas por vento, onde U_{∞} é a incidência da velocidade do vento

Quando a onda atinge seu completo desenvolvimento, porém havendo ainda pista para percorrer, diz-se que se trata de onda limitada pela duração. Por outro lado, caso ela não atinja o desenvolvimento completo, mesmo tendo ocorrido duração do vento para isto, diz-se se tratar de onda limitada pela pista. Nos lagos da região do noroeste paulista: Ilha Solteira, Jupia, Porto Primavera e Três Irmãos, as ondas geradas são limitadas pela pista.

As ondas geradas pela ação do vento possuem como ação restauradora, a gravidade, por isso é também conhecida como ondas gravitacionais. A direção de propagação da onda é coincidente com a direção do vento que a gerou.

Quanto aos estudos de estimativa das ondas anteriormente realizadas, especificamente nos lagos de Ilha Solteira e Porto Primavera, são consideradas as análises feitas por Lima (2005) e Kaiser (1995).

Lima (2005) estimou a altura das ondas no lago de Ilha Solteira através do método JONSWAP (item 1.3.3 deste mesmo capítulo) baseado em informações de vento obtidas pela CESP entre 1977 e 1990. Já Kaiser (1995) realizou a estimativa no lago de Porto Primavera, utilizando vários métodos, entre eles o método JONSWAP teve uma relevância considerável.

1.3.1 Modelos empíricos de previsão de altura de onda

A American Society of Civil Engineers apresenta três formulações empíricas para a estimativa das ondas máximas geradas pela ação de ventos, a saber:

A mais tradicional delas é a fórmula denominada **SGM**, onde para uma pista efetiva superior a 32 km tem-se a Equação 1.7 e para pista efetiva inferior a 32 km tem-se a Equação 1.8:

$$H_{\max} = 0,4724(UF)^{0,5} \quad (1.7)$$

$$H_{\max} = 0,4724(UF)^{0,5} 3,6942F^{0,25} 8,2 \quad (1.8)$$

A segunda formulação (Equação 1.9), de acordo com **Wolf**:

$$H_{\max} = (0,0623U - 1,1653)F^{0,5} \quad (1.9)$$

E a terceira formulação (Equação 1.10), de acordo com **Creager**:

$$H_{\max} = 2,6581 \frac{F^{0,37} U^{0,48}}{C} \quad (1.10)$$

onde:

H é a altura da onda (m);
 C a constante de Creager (3,41);
 U a velocidade do vento (m/s); e
 F é a pista efetiva (km).

1.3.2 Modelo SMB

O modelo **SMB** (Sverdrup, Munk e Bretschneider – Shore Protection Manual (1973)) é um método muito empregado em função de sua simplicidade e eficiência. É um modelo proposto durante a Segunda Guerra Mundial com o objetivo de auxiliar o planejamento das operações de desembarque dos aliados. O método se baseou em campos de ventos regulares, isto é, constantes no tempo e no espaço.

Este método foi objeto de inúmeras revisões, por vários autores, os quais propuseram modificações nos coeficientes que relacionam os parâmetros adimensionais do método. A versão do método aqui utilizado é a proposta pelo United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation, formulado pelas Equações 1.11 e 1.12:

$$\frac{gH_s}{U^2} = 0,283 \tanh \left[0,0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,42} \right] \quad (1.11)$$

$$\frac{gT_s}{2\pi U} = 1,2 \tanh \left[0,077 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,25} \right] \quad (1.12)$$

onde:

H é a altura da onda (m);
 T o período da onda (s);
 g aceleração da gravidade (m/s²);
 U a velocidade do vento (m/s); e
 F é a pista efetiva (km).

1.3.3 Método JONSWAP

O projeto JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) 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 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, ao utilizarem registros de onda do nordeste do Atlântico, propuseram um modelo para mar plenamente desenvolvido.

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 1.13:

$$D \geq 1,167 \frac{F^{0,7}}{U^{0,4}} \quad (1.13)$$

onde:

D é a duração do vento (h);

U a velocidade (m/s); e

F é a 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 1.14:

$$H_s = 0,0163 F^{0,5} U \quad (1.14)$$

onde :

H_s é a 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 1.15:

$$H_s = 0,0248U^2 \quad (1.15)$$

Resumidamente a Figura 1.4, com base nos trabalhos de Carter (1982), sendo T_s o período significativo, ilustra o projeto JONSWAP.

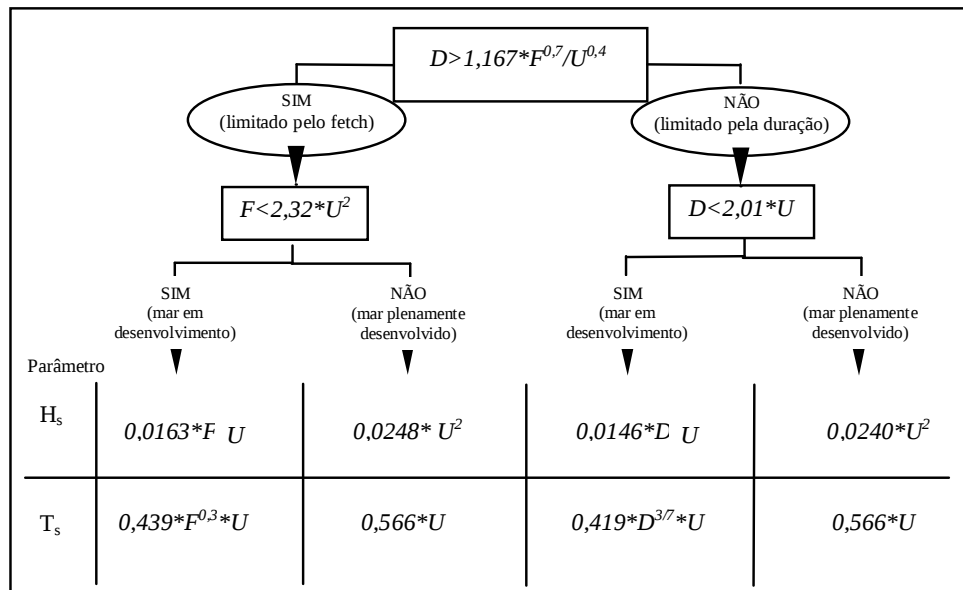


Figura 1.4 – Organograma de determinação de alturas de ondas e períodos significativos

É preciso salientar que no estudo em questão foi utilizada a opção que limita a altura da onda pelo *fetch* (ramo da esquerda), pois os dados utilizados não forneciam a duração do vento, ou seja, para a geração dos mapas foi admitida a hipótese de que o vento médio é constante para todo o período.

CAPÍTULO 2

VENTOS, PISTAS E ONDAS EM LAGOS DE BARRAGENS

2.1 OndisaCAD

O tratamento dos dados de vento, a determinação das pistas e a respectiva estimativa da altura de onda sugerem, do ponto de vista da exequibilidade dos objetivos, a adoção de uma linguagem computacional que disponha de uma variedade suficiente de recursos de manipulação de estruturas de dados genéricos (numéricos e alfanuméricos) aliada a uma imprescindível interface gráfica. O projeto *OndisaCAD* teve como precursor o trabalho de Marques (2005), e desde então tem sido aprimorado, e atualmente, este trabalho contempla a sua terceira versão.

A linguagem de programação eleita mais adequada é a linguagem *LISP*. O *LISP* é uma linguagem de programação científica, criada durante a década de 1950, nos Estados Unidos, mais especificamente no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Devido as suas características de programação recursiva e manipulação de estruturas de dados genéricas, o *LISP* tornou-se a linguagem de programação padrão no desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial. Assim, tal linguagem foi escolhida como sendo a mais adequada para os objetivos aqui pretendidos.

O *AutoLISP* é uma implementação da linguagem *LISP* desenvolvida dentro do ambiente do *AutoCAD*. Surgiu em meados da década de 1980. O *AutoLISP* foi inspirado no *LISP* devido a flexibilidade e eficiência desta linguagem para tratar estruturas de dados não uniformes, o *VisualLISP* é a nova geração de ambiente de programação em *AutoLISP*.

2.1.1 Mapa digitalizado

A base cartográfica foi composta a partir de imagens de satélite (imagens já em arquivo eletrônico), e digitalizada com o auxílio de um *software CAD*. Para a escolha da base ideal levou-se em conta que, a partir da data de geração das imagens, não houve mudanças nos contornos do corpo d'água e o detalhamento dos mesmos era suficiente para os objetivos do projeto.

Após a digitalização da imagem é feita a reescalação, para que o mapa digitalizado obtenha o tamanho original (com a extensão *CAD* utilizado), e seu georeferenciamento. A Figura 2.1 ilustra o processo de digitalização.

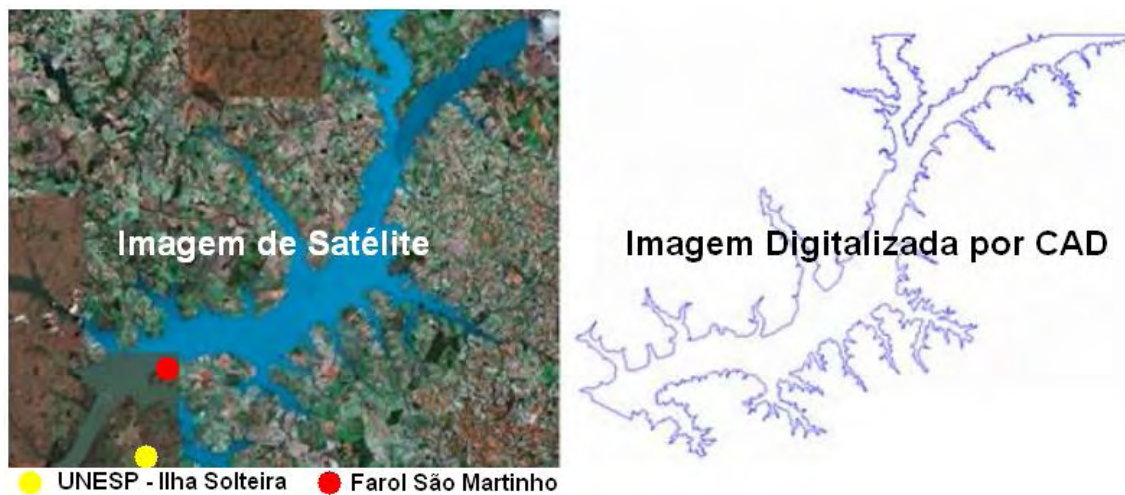


Figura 2.1 – Processo de digitalização do reservatório de Ilha Solteira

2.2 PROGRAMAÇÃO

A grande quantidade de dados e de etapas necessárias em um processo que contemple o tratamento dos dados de vento, a determinação das pistas e a estimativa de altura de ondas, requer um mecanismo que torne tal processo ágil, seguro e preciso. Estas características foram obtidas por meio de programas específicos aplicáveis de modo a considerar as necessidades do usuário para um estudo completo dentro dos objetivos propostos.

Os programas que tratam do processamento dos dados de vento não são apenas de aplicação específica aos dados coletados em Ilha Solteira. Segue o mesmo raciocínio os programas que tratam de agilizar o processo de representação gráfica através da execução de diagramas de vento, de comprimento de pistas ou de altura de ondas, podendo ser amplamente utilizados indistintamente.

No processo de definição e descrição dos programas tentar-se-á apresentar a evolução do processo que deu origem aos mesmos, de modo a aproximar o leitor, tanto quanto possível, das implicações das decisões no processo de desenvolvimento do programa até chegar ao estágio atual.

Com relação aos elementos básicos da linguagem *AutoLISP*, deve-se considerar:

- Qualquer linha de comando escrita em linguagem *AutoLISP*, deverá estar entre parênteses. Para cada parêntese que é aberto, deverá necessariamente existir outro o fechando. Caso isto não aconteça, surgirão mensagens de erro.
- As aspas servem para separar o que é nome de variável do que são comandos do *AutoLISP*. São também utilizadas para indicar elementos alfanuméricos, denominados *strings*.
- Os espaços em branco entre linhas não influenciam na execução do programa. São utilizados por motivos estéticos na separação de linhas e módulos do programa.
- O texto que segue em uma linha, à direita do ponto e vírgula, não é considerado parte do programa. É utilizado para inserir textos explicativos ou cancelar uma linha de programação sem precisar apagá-la.
- Não faz nenhuma diferença ao programa se o mesmo está escrito em letras maiúsculas ou minúsculas, exceto quando o programa está se referindo a uma palavra relacionada com caixas de diálogo.

2.2.1 Vento

2.2.1.1 Antigo sistema de transmissão

Até antes da aquisição dos novos equipamentos, os dados de vento disponíveis eram os referentes às coletas realizadas no farol São Martinho na campanha de 2003, que por sua vez eram recebidos no mesmo laboratório, armazenados e processados em forma de arquivos eletrônicos (arquivo com extensão *.txt*). A Figura 2.2, de forma resumida, mostra como os dados eram visualizados.

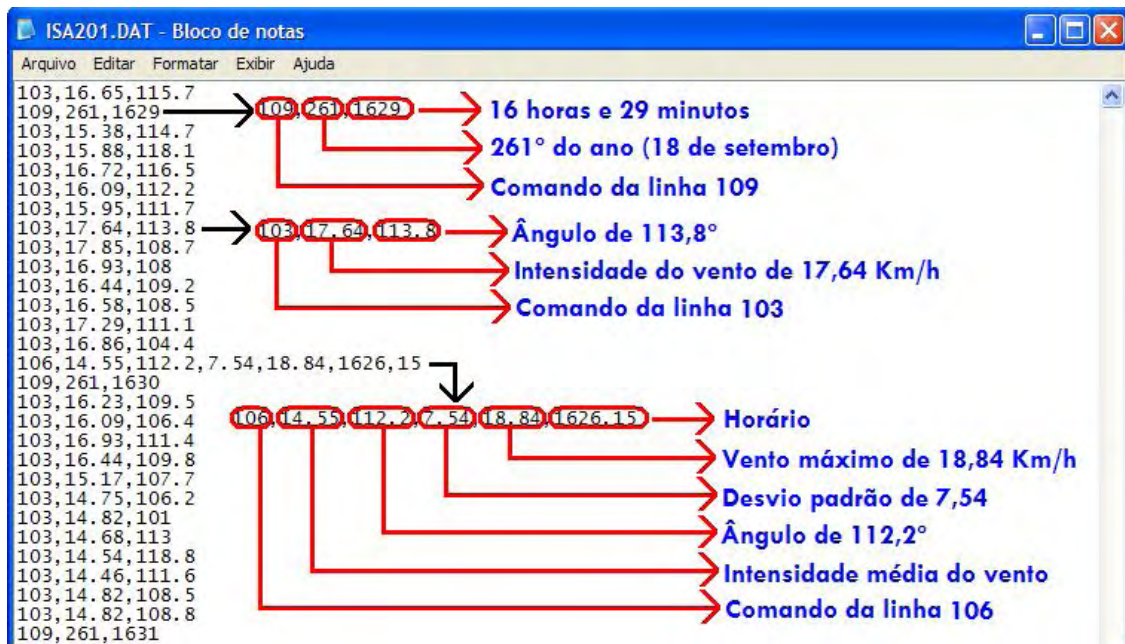


Figura 2.2 – Conteúdo dos dados gerados em 2003

As medições eram feitas a cada 5 segundos, e os arquivos obedeciam à seguinte estruturação:

- Cada medição era disposta em uma linha;
- Cada linha recebia um código, que a iniciava;
 - o código 103 é a medição que foi realizada, escrita a cada 5 segundos;
 - o código 106 fornece a intensidade média nos últimos 15 minutos, sua direção, desvio padrão, vento máximo no período e a hora, escrita a cada 15 minutos;
 - o código 109 fornece o dia e a hora, escrito a cada minuto.
- Todos os dados eram armazenados em um arquivo *.txt*, o sistema funcionava em tempo integral.

A estação passou por um período de manutenção, após o anemômetro ter sido danificado por vandalismo. Desde julho/2007, após ter sido recalibrado, este foi reinstalado e as medições foram realizadas em caráter experimental, porém, os problemas de comunicação destes equipamentos persistiram. O **ANEXO A** contempla, entre outros assuntos, a tentativa de restauração da comunicação deste equipamento, bem como a instalação de novos e modernos sistemas da captação e envios de dados de vento.

2.2.1.2 Atual sistema de transmissão

O Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3 da Campbell instalado no farol São Martinho, coleta os dados brutos de vento e os envia por rádio - telemetria ao laboratório de Hidrologia e Hidrometria na UNESP/FEIS, onde ficam armazenados para um posterior tratamento.

O atual sistema é composto por duas etapas: sistema de transmissão em campo e sistema de recepção na UNESP/FEIS.

A Figura 2.3 ilustra o sistema de transmissão em campo composto por: (a) Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3, (b) Datalogger CR1000, (c) Rádio RF 450 transmissor e (d) Antena unidirecional transmissora.

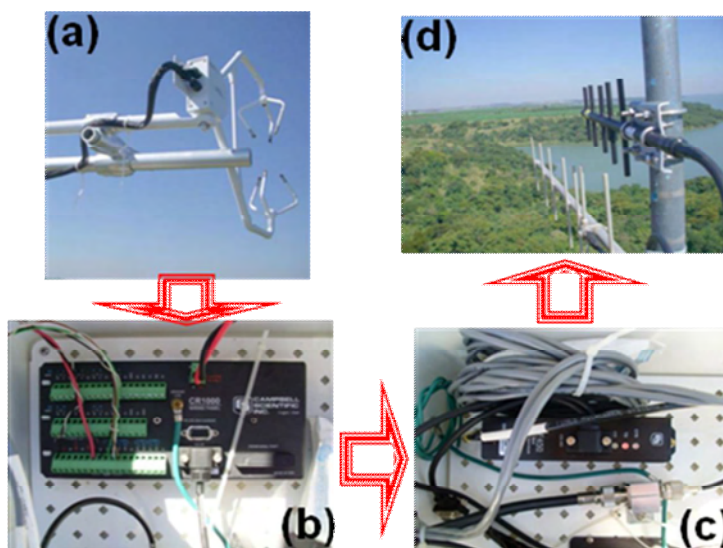


Figura 2.3 – Sistema de transmissão de dados em campo

Já a Figura 2.4 ilustra o sistema de recepção no laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP/FEIS. E composto por: (a) Antena Omni multidirecional receptora, (b) Rádio RF 450 receptor e (c) PC receptor de dados.

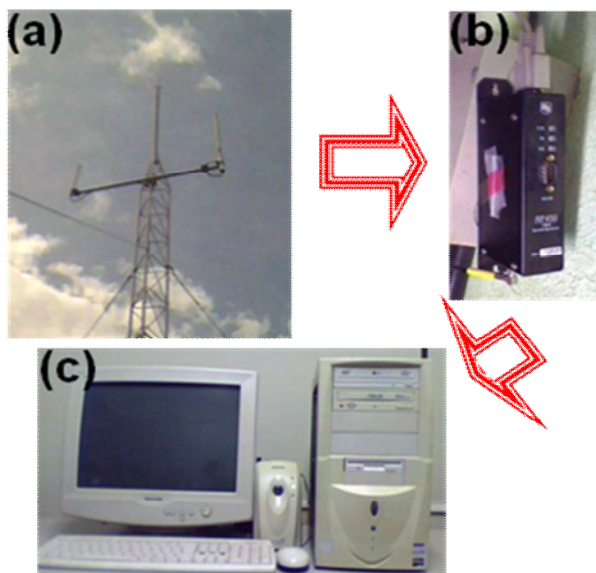


Figura 2.4 – Sistema de recepção de dados na UNESP/FEIS

2.2.2 Pista de vento

A localização aproximada dos pontos de maior pista de vento, no lago de Ilha Solteira, foi um dos objetivos principais do presente trabalho. Até antes de surgir o *OndisaCAD* com Marques (2005), o método constituía em: a partir de uma imagem em escala conveniente que fornecia o contorno das margens do lago, traçar uma a uma, as linhas auxiliares conforme o método de Saville. Não se dispunha, naquele momento, de nenhuma rotina auxiliar de programação. Todo o processo era executado pelo usuário com o auxílio de programas amplamente difundidos como planilha eletrônica e programa de desenho assistido por computador.

A importância da determinação gráfica suficientemente precisa do contorno da margem revelou a importância da base cartográfica sobre a qual ela seria extraída. A base pode ser um mapa, uma imagem de satélite ou qualquer outro elemento que permita a

extração do contorno da margem.

Partindo de uma foto de satélite, as margens foram contornadas no *AutoCAD* e o conjunto foi georreferenciado, conforme descrito no item 2.1.1. A Figura 2.5 ilustra um contorno do reservatório de Ilha Solteira e primeiros passos na determinação das pistas de vento.

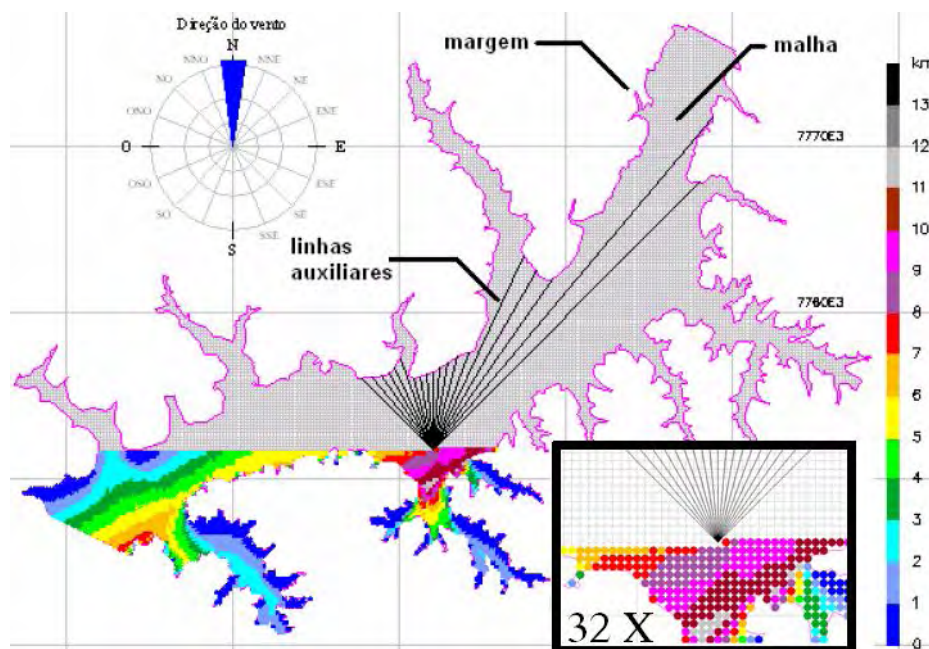


Figura 2.5 – Aspecto gráfico do processo inicial de obtenção das pistas de vento

A partir desse ponto, a programação de uma rotina que percorresse pontos de uma região e/ou sub-região do lago, de forma automática, e que registrasse graficamente e de maneira evidente, o comprimento da pista em cada ponto foi criada. Para cada direção o programa percorre todos os pontos do lago (de acordo com a malha escolhida).

2.2.2.1 Programa *PISTA.LSP*

Com base no arquivo gerado pelo programa criado, o processamento gráfico fica a cargo do programa *PISTA.LSP*. Ao percorrer cada ponto da malha, o mesmo é classificado em um dos 14 intervalos de comprimento de pista, recebendo uma cor que caracteriza o intervalo a que pertence. A localização das coordenadas do ponto é imediatamente sucedida pela execução da marcação colorida correspondente. O contorno de um lago Fictício foi criado para demonstrar a aplicação do programa *PISTA.LSP*, mostrado na Figura 2.6.

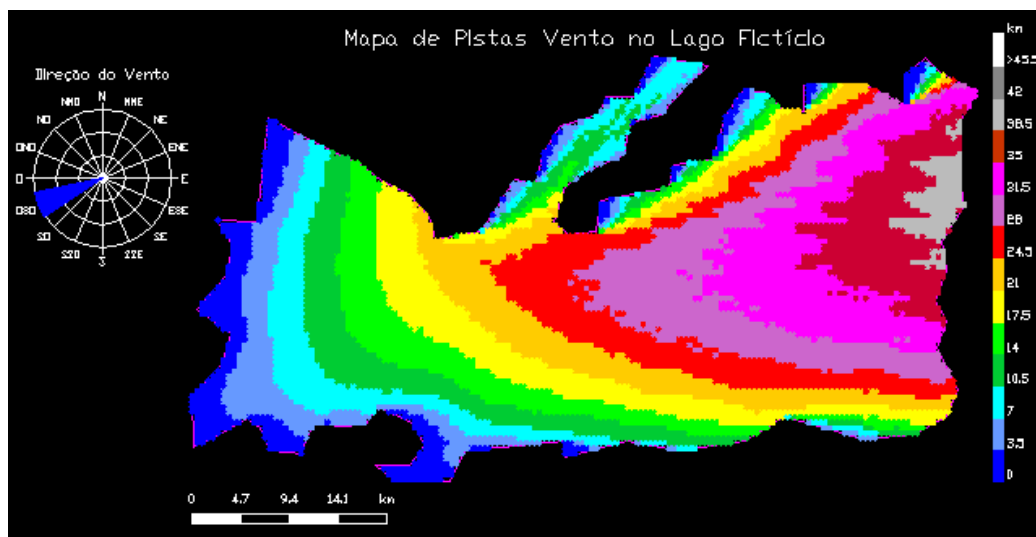


Figura 2.6 – Aplicação do programa PISTA.LSP no lago Fictício, direção OSO com espaçamento da malha de 500m

A distância entre os nós da malha passou a ser fixada pelo usuário no momento de processar o programa, não permitindo alterações da distância entre os nós ao executar o programa PISTA.LSP.

Ao final do processamento do programa PISTA.LSP é mostrada uma caixa de diálogo informativa. Em caso de qualquer elemento ou processamento inesperado, a execução do programa é interrompida e é informado um alerta, como ilustrado pela Figura 2.7.



Figura 2.7 – Alerta por problemas na execução do programa PISTA.LSP

Para o caso de processamento de acordo com o esperado, é informada uma caixa de diálogo conforme ilustrado pela Figura 2.8, retirada no final da execução do programa PISTA.LSP no lago Fictício apresentado nessa seção.

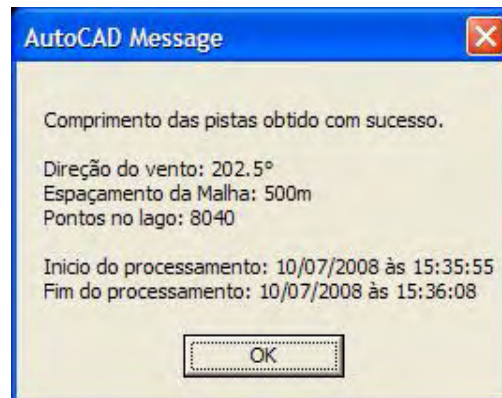


Figura 2.8 – Caixa de diálogo informativa, final da execução do programa PISTA.LSP

2.2.3 Onda

Os programas de determinação da pista de vento possuem formulação geométrica, pois dependem única e exclusivamente do entorno da margem para uma definição completa.

Já nos processos de estimativa de altura de ondas, o comprimento da pista é somente uma das variáveis envolvidas.

Os programas aplicáveis às ondas foram fundamentados na mesma idéia de percorrer os nós de uma malha de modo a estimar a altura da onda na posição relativa a cada nó.

A altura da onda é estimada por equações que recebem o comprimento da pista e a intensidade do vento como variáveis independentes.

No momento da execução de qualquer um dos programas relativos à estimativa de altura de ondas, uma das opções mostradas se refere à escolha do método semi-empírico utilizado pelo programa. Dentre as opções de escolha estão os seguintes métodos disponíveis:

- SGM através do comando “sgm”;
- Wolf pelo comando “w”;
- Creager pelo comando “c”;
- SMB pelo comando “smb”;
- JONSWAP através do comando “j”.

Estes comandos não precisam ser memorizados pelo usuário porque são informados como opções pelo programa em uma caixa de diálogo no momento da sua execução.

2.2.3.1 Programa ONDA.LSP

Analogamente ao programa PISTA.LSP, o programa ONDA.LSP se baseia nas informações fornecidas pelo arquivo gerado na inserção da malha escolhida. A informação adicional a respeito da intensidade da velocidade do vento, necessária para estimar a altura da onda, é informada pelo usuário no momento que se deseja saber o mapa de altura de ondas.

Para cada ponto do interior do lago, depois de processadas as informações de pista e intensidade do vento e obtida a altura estimada da onda, esta é classificada em um dos 14 intervalos coloridos (atualmente em tons de azul) de altura de onda, recebendo uma cor que caracteriza o intervalo a que pertence.

A localização das coordenadas do ponto é imediatamente sucedida pela execução da marcação colorida correspondente. O mesmo contorno do lago Fictício foi utilizado para demonstrar a aplicação do programa ONDA.LSP (ainda em cores variadas), mostrado na Figura 2.9, que utilizou os resultados da pista exibida na Figura 2.6, ou seja, espaçamento da malha de 500m.

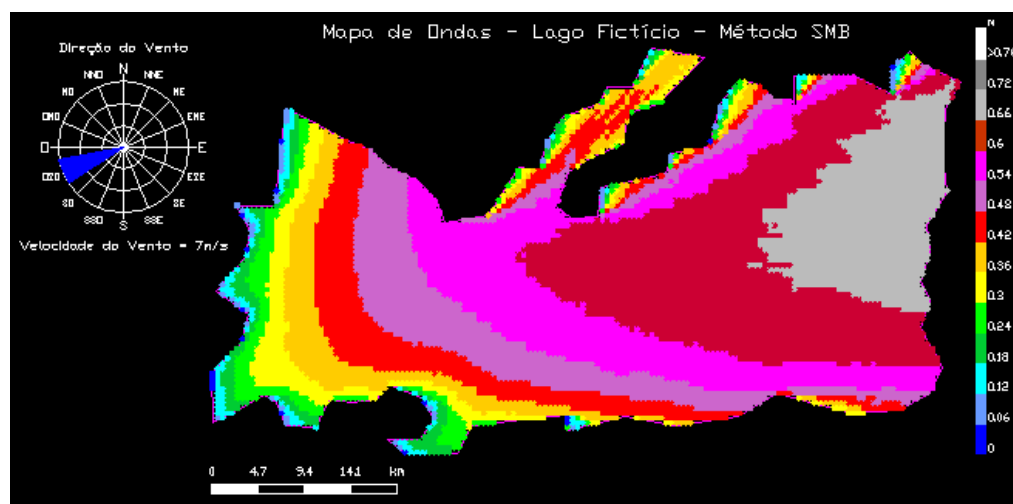


Figura 2.9 – Aplicação do programa ONDA.LSP no lago Fictício, método SMB, velocidade do vento de 7m/s, direção OSO

Ao final do processamento do programa ONDA.LSP, a exemplo do programa PISTA.LSP são mostradas caixas de diálogo informativas. Pela Figura 2.10 é apresentado o exemplo do processamento ocorrido conforme o planejado.



Figura 2.10 – Caixa de diálogo informativa, processamento com êxito

2.2.4 Etapas da simulação numérica

A seguir serão apresentadas as etapas da simulação numérica a serem seguidas no *OndisaCAD*, como relatado em Moraes et al. (2008) e Cunha et al. (2009), a saber:

- *i* – Os anemômetros fazem a medição da velocidade e direção dos ventos;
- *ii* – Por rádio – telemetria os dados são enviados para uma base instalada no laboratório de Hidrologia e Hidrometria da FEIS/UNESP;
- *iii* – No laboratório os dados são recebidos, lidos e arquivados;
- *iv* – O *software OndisaCsat3* analisa e processa os dados fornecendo: velocidades médias, intensidades máximas, direções, frequências (entre outros) de qualquer período de interesse.
- *v* – Assim, o *software OndisaCAD* pode ser acionado por um usuário para produzir rosa de ventos, mapas de pistas, mapas de ondas e diagramas de alturas de ondas ou comprimento de pistas, tudo em tempo real, necessitando apenas a introdução prévia do contorno do lago.

Segue os principais aplicativos que compõem o *OndisaCAD* e uma breve descrição dos mesmos:

Rosa-dos-ventos

Esta rotina confecciona rosa de ventos a partir da frequência e da velocidade média dos ventos.

Mapa de pistas de vento

Esta rotina gera mapas de comprimento de pistas de vento para toda a região do lago ou para uma sub-região específica.

Mapa de ondas

Esta rotina gera mapas de altura de ondas para toda a região do lago ou para uma sub-região específica.

Diagrama de comprimento de pistas de vento

Esta rotina produz diagramas de comprimento de pistas de vento para todas as direções.

Diagrama de altura de ondas

Esta rotina produz diagramas de altura de ondas para todas as direções.

Pista de vento

Esta rotina calcula o comprimento da pista de vento em um dado ponto e direção no interior do lago.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASOS PARA OS LAGOS DE JUPIÁ, ILHA SOLTEIRA, PORTO PRIMAVERA E TRÊS IRMÃOS

3.1 ANÁLISE DOS DADOS DE VENTOS

Os dados de vento analisados foram, a princípio, extraídos de três bases distintas (farol São Martinho, CESP e Porto Primavera) em quatro períodos diferentes: o primeiro e mais antigo são os dados gerados pela CESP entre os anos de 1977 e 1990, o segundo período é a análise dos dados do projeto ONDISA (2003), o terceiro, ano de 2004 refere-se a dados do lago de Porto Primavera fornecidos pela CESP e medidos no próprio lago e, por fim, o quarto período refere-se aos dados relativos dos ventos atuais que sopram no lago de Ilha Solteira (2008-09) captados, tratados e analisados dentro desta dissertação.

Decidiu-se seguir uma apresentação cronológica dos dados de vento, a saber: CESP (1977-90), ONDISA (2003), Porto Primavera (2004) e Ilha Solteira (2008-09).

3.1.1 Ventos em Ilha Solteira (CESP)

Estes dados de vento são referentes a uma campanha de medição realizada pela CESP no período de 1977 a 1990, obtidos na estação meteorológica que foi operada pela CESP em Ilha Solteira (Latitude 20°21'S; Longitude 51°22'W; Altitude 326,00m).

Os dados brutos (dados CESP sem tratamento estatístico) possuíam informações

diárias de velocidades médias para cada direção, frequências e os ventos máximos de cada dia, ou seja, direção e intensidade dos ventos máximos diários.

A partir dos dados CESP (dados diários) foi realizado um tratamento estatístico para organizá-los em dados mensais e dados anuais, ou seja, foram extraídas as médias mensais e anuais.

Inicialmente foram encontradas as médias aritméticas mensais e anuais e, a partir das médias mensais de cada ano, elaborou-se planilhas com as médias mensais para todo o período de medição, tanto para velocidades médias quanto para frequências (Tabela 3.1). A Tabela 3.2 ilustra (nos mesmos moldes da Tabela 3.1) a planilha de velocidades médias.

Tabela 3.1 – Frequências mensais para todo o período de medição (CESP)
(em destaque encontra-se o vento com maior frequência)

Frequências (%)								
Mês	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janeiro	13,1	22,8	13,7	13,2	5,5	7,9	7,2	12,1
Fevereiro	9,9	22,3	18,9	11,1	6,0	10,2	6,6	8,7
Março	7,5	21,5	21,0	15,0	6,4	10,7	5,9	6,7
Abril	5,6	20,5	23,4	18,3	7,9	9,3	4,0	4,5
Maio	6,0	20,1	23,5	14,8	8,5	10,4	3,1	4,0
Junho	6,5	22,5	24,3	12,9	7,4	11,3	2,2	3,2
Julho	5,6	24,8	26,3	13,8	6,2	10,9	2,0	3,6
Agosto	4,6	23,0	25,8	14,5	4,8	12,8	2,7	2,8
Setembro	5,1	18,6	22,7	20,1	7,4	15,2	2,9	4,2
Outubro	6,6	19,4	19,2	17,0	7,4	14,0	4,6	7,1
Novembro	8,8	24,3	16,8	13,7	5,5	11,8	5,0	9,1
Dezembro	11,9	23,1	12,7	11,7	4,9	8,9	6,3	12,6

Tabela 3.2 – Velocidades médias mensais para todo o período de medição (CESP)

Velocidades Médias Mensais (m/s)								
Mês	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janeiro	2,7	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	2,1	2,6
Fevereiro	2,6	2,8	2,5	2,1	1,8	2,1	2,1	2,4
Março	2,4	2,5	2,4	2,2	1,9	2,0	1,9	2,1
Abril	2,4	2,6	2,7	2,5	2,0	2,1	2,0	2,1
Maio	2,2	2,6	2,5	2,3	2,0	2,4	2,2	2,0
Junho	2,3	2,7	2,4	2,2	1,9	2,2	1,9	2,0
Julho	2,5	3,1	2,8	2,6	2,3	2,7	2,0	2,2
Agosto	2,4	3,1	2,9	2,7	2,2	2,5	2,1	1,9
Setembro	2,7	3,1	3,2	3,1	2,7	2,9	2,6	2,2
Outubro	2,8	2,9	3,0	3,0	2,9	2,6	2,3	2,2
Novembro	2,8	3,0	2,9	2,7	2,8	2,4	2,3	2,5
Dezembro	2,8	2,8	2,6	2,6	2,7	2,3	2,2	2,5

É possível notar (Tabela 3.1) que os ventos ocorrem com maior frequência soprando de Nordeste (de outubro a março) e em outro período sopra de Leste (de abril a setembro). Já na Tabela 3.2 pode-se ver que os ventos mais intensos também ocorrem nessas mesmas direções.

Foi confeccionada então, rosa-dos-ventos de reinância para cada um dos períodos citados anteriormente. Para tanto foi escolhido um mês que sintetizasse as informações de todo o período em questão. Para o período de outubro a março (de dominância NE) foi escolhido o mês de novembro, que é o mês com maior percentagem no período, seguindo o mesmo critério para o período de abril a setembro (de dominância E) foi escolhido o mês de julho. A Figura 3.1 representa o mês de julho e a Figura 3.2 o mês de novembro.

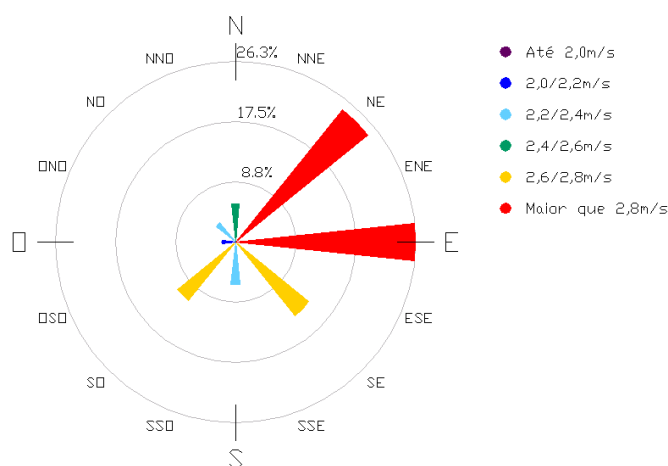


Figura 3.1 – Rosa-dos-ventos de reinância relativa ao mês de julho (CESP)

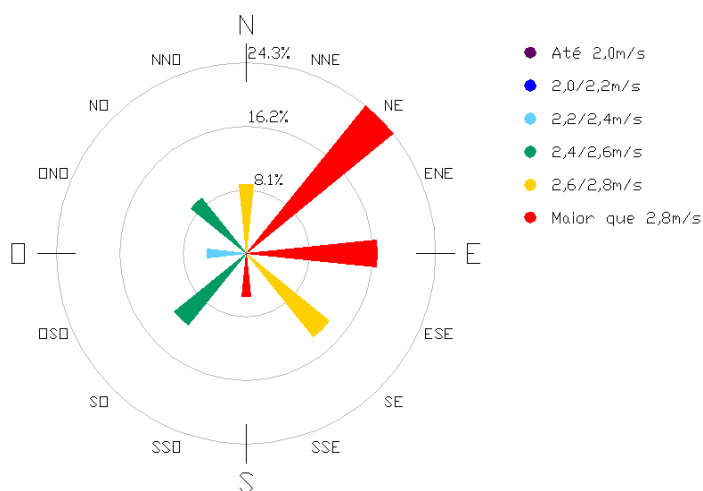


Figura 3.2 – Rosa-dos-ventos de reinância relativa ao mês de novembro (CESP)

Também foram confeccionadas planilhas para as médias anuais, tanto para as frequências quanto para as velocidades médias. A partir dessas planilhas decidiu-se trabalhar com dados que pudessem resumir toda a campanha de medição. Era sabido que até certo ponto poderia se perder um pouco da representatividade desses dados. No entanto, o ganho viria na diminuição do volume de informações.

As Tabelas 3.3 e 3.4 representam as frequências e as velocidades médias anuais obtidas para as principais direções respectivamente, entre os anos de 1977 a 1990.

Tabela 3.3 – Frequências anuais, período de 1977-90

Frequências Médias Anuais (%)								
Ano	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1977	18,46	17,41	17,95	10,79	10,08	10,00	5,18	6,58
1978	13,45	15,80	24,09	9,94	11,49	8,01	5,41	4,85
1979	11,73	13,38	18,46	13,78	9,48	7,30	3,64	4,68
1980	7,61	23,71	17,91	18,77	5,46	13,89	3,77	6,30
1981	3,86	25,21	16,38	24,19	4,67	14,33	3,71	4,92
1982	2,74	26,52	17,18	24,16	2,43	12,33	4,42	7,23
1983	3,41	25,56	20,73	19,18	3,16	13,02	4,82	7,71
1984	6,53	25,58	19,78	10,30	4,41	12,98	4,95	9,38
1985	4,98	24,51	23,23	12,48	4,44	13,30	4,43	8,43
1986	8,61	22,83	23,06	12,78	6,88	9,74	4,92	8,69
1987	6,84	22,76	21,03	9,09	6,44	9,69	3,97	5,69
1988	6,48	18,79	23,84	11,53	6,15	11,06	3,86	4,95
1989	10,91	16,78	23,36	14,13	9,58	9,38	4,37	5,69
1990	11,78	22,09	22,70	8,10	11,01	8,33	4,08	4,79

Tabela 3.4 – Velocidades médias anuais, período de 1977-90

Velocidades Médias Anuais (m/s)								
Ano	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1977	2,4	2,5	2,7	2,1	2,0	2,2	2,4	2,5
1978	2,3	2,5	2,5	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2
1979	2,9	3,0	2,8	2,9	2,6	2,7	2,7	2,5
1980	2,8	3,4	3,1	3,0	2,4	2,5	2,2	2,4
1981	2,6	3,2	3,0	3,0	2,3	2,3	2,2	2,4
1982	2,8	3,1	3,0	2,9	2,3	2,5	2,4	2,4
1983	2,9	3,1	2,8	2,8	2,3	2,6	2,5	2,6
1984	3,2	2,9	2,8	2,4	3,0	2,5	2,1	2,5
1985	3,2	3,3	3,1	2,5	2,9	2,6	2,4	2,4
1986	2,5	3,1	3,2	2,8	2,4	2,7	2,4	2,5
1987	2,5	3,0	2,8	2,5	2,1	2,6	2,3	2,5
1988	2,4	3,2	3,1	2,9	2,2	2,6	2,1	2,2
1989	2,7	3,0	3,0	3,0	2,5	2,8	2,4	2,4
1990	2,5	2,9	2,9	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3

A partir desses dados anuais tirou-se a média para todo o período, tanto para as frequências como para as velocidades médias, organizando assim a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Médias totais para toda a campanha de medição, período de 1977-90

Médias da Campanha de Medição								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Frequências (%)	8,4	21,5	20,7	14,2	6,8	11,0	4,4	6,4
Velocidades (m/s)	2,7	3,0	2,9	2,7	2,4	2,5	2,3	2,4

A partir dos dados da Tabela 3.5 foram confeccionadas rosas-dos-ventos, tanto para reinância quanto para dominância, representadas nas Figuras 3.3 e 3.4 respectivamente. Entende-se por dominância o valor ωu^2 (aspecto energético do vento) onde ω = frequência e u = velocidade do vento.

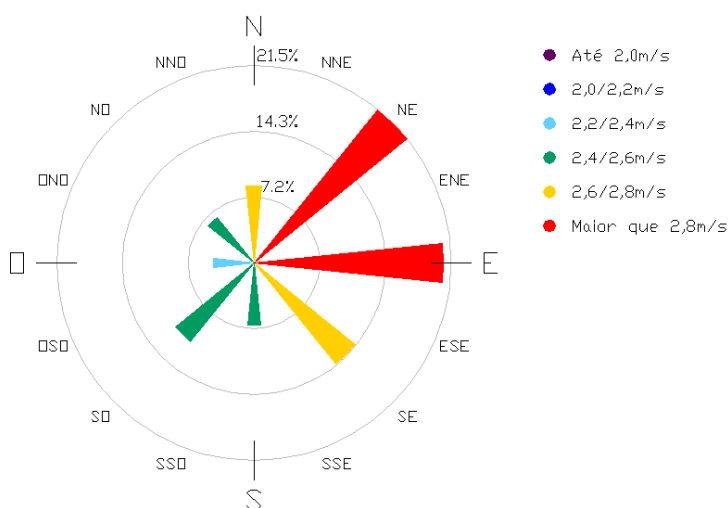


Figura 3.3 – Rosa-dos-ventos de reinância, período de 1977-90

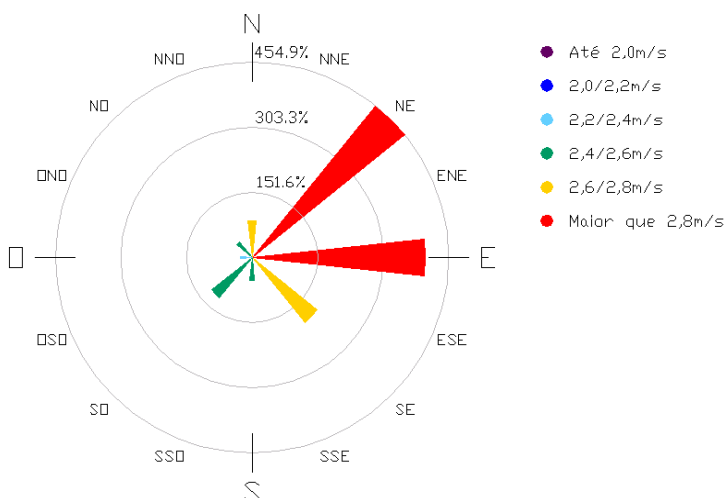


Figura 3.4 – Rosa-dos-ventos de dominância, período de 1977-90

Analisando a Figura 3.3 é possível observar que o vento reinante no lago de Ilha Solteira sopra de Nordeste com uma velocidade superior a $2,8\text{m/s}$ ($3,0\text{m/s}$ na Tabela 3.5). A Figura 3.4 mostra que o vento dominante sopra também de Nordeste com a mesma velocidade.

O vento Leste nos dois casos se aproxima muito (em frequência) do vento de Nordeste, logo como a precisão utilizada nas medições é de 45° é possível que tanto o vento dominante quanto o reinante soprem de uma direção entre NE e E, direção esta que não é possível ser identificada a partir do banco de dados utilizado.

Os ventos máximos anuais e o mês de sua ocorrência também foram extraídos e organizados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Ventos máximos anuais, período de 1977-90

Ventos Máximos Anuais			
Ano	Direção	Intensidade (m/s)	Mês de Ocorrência
1977	W	12,1	Novembro
1978	N	6,0	Janeiro
1979	NE	10,2	Julho
1980	SE	14,2	Setembro
1981	SE	14,1	Dezembro
1982	NW	16,0	Novembro
1983	NE	14,3	Dezembro
1984	E	12,8	Outubro
1985	E	13,4	Novembro
1986	NE	17,3	Novembro
1987	NE	15,5	Fevereiro
1988	SW	15,6	Outubro
1989	SE	16,5	Outubro
1990	NE	16,7	Janeiro

É possível observar que a grande maioria dos ventos máximos ocorrem na direção NE (5 ocorrências no período de 14 anos), sendo que o vento de maior intensidade já registrada neste período também ocorre na direção NE, com uma intensidade de $17,3\text{m/s}$.

3.1.2 Ventos em Ilha Solteira (2003)

No banco de dados do projeto ONDISA, referente a medições realizadas no ano de 2003, foram identificadas as seguintes velocidades médias para cada direção, dispostas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Ventos médios, projeto ONDISA - 2003

Ventos Médios (m/s)															
E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESSE
3,69	5,08	5,28	4,53	5,31	5,97	4,64	4,61	4,75	4,56	4,44	3,44	2,97	2,67	3,08	2,42

É possível observar na Tabela 3.7 que a máxima das médias sopra da direção NNO com uma intensidade de 5,97m/s. A campanha de medição também mostrou que o vento reinante sopra da direção O, e o vento dominante sopra da direção NNO, contudo, as estatísticas mostraram que as frequências de ocorrência dos ventos de ENE e NE estão próximas das frequências do vento dominante.

No processamento dos dados de vento foi utilizada a metodologia exposta no **CAPÍTULO 2**. Os diagramas referentes aos dados de vento sem correção coletados no ano de 2003 através do projeto ONDISA são ilustrados pela Figura 3.5.

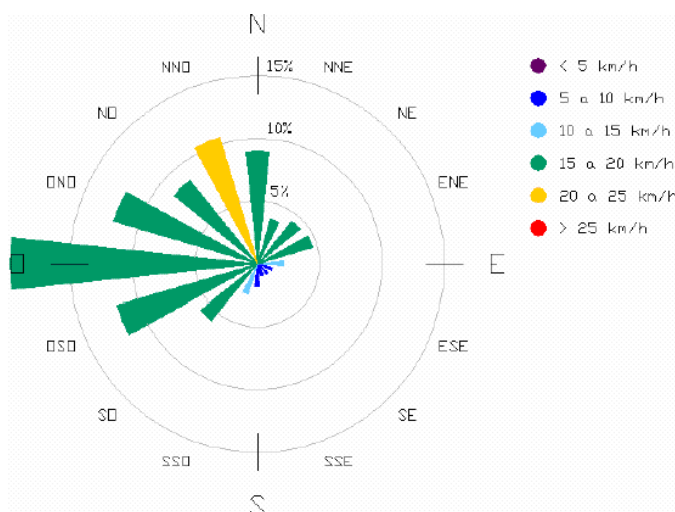


Figura 3.5 – Diagrama de ventos medidos em 2003

Para a utilização das informações relativas aos ventos na estimativa das ondas deverão ser utilizados os dados já corrigidos (fatores de correção de 1,20 e 0,85 adotado por Marques (2005)). A Tabela 3.8 contém tais informações.

Tabela 3.8 – Velocidade média do vento corrigida para cada direção (2003)

Velocidade média para cada direção				
Direção	Coefficiente Correção	Velocidade Registrada (km/h)	Velocidade Corrigida (km/h)	Velocidade Corrigida (m/s)
E	1,19	13,6	16,2	4,5
ENE	1,19	18,3	21,7	6,0
NE	1,19	19,0	22,6	6,3
NNE	0,85	16,3	13,8	3,8
N	0,85	19,1	16,3	4,5
NNO	0,85	21,5	18,3	5,1
NO	0,85	16,7	14,2	3,9
ONO	0,85	16,6	14,1	3,9
O	0,85	17,1	14,5	4,0
OSO	0,85	16,4	13,9	3,9
SO	0,85	16,0	13,6	3,8
SSO	0,85	12,4	10,5	3,0
S	1,19	10,7	12,7	3,5
SSE	1,19	9,6	11,5	3,2
SE	1,19	11,1	13,2	3,7
ESE	1,19	8,7	10,3	2,9

3.1.3 Ventos em Porto Primavera (2004)

Para geração de mapas de pistas e ondas no lago de Porto Primavera serão utilizados dados de vento fornecidos pela CESP e medidos no próprio lago, assim uma análise mais realista poderá ser realizada.

A campanha realizada em Porto Primavera merece uma atenção no que diz respeito aos valores de ventos médios e maiores ventos, pois tais dados foram obtidos ainda em curtíssimo prazo e não reflete a realidade de médias, como pode ser visto na Figura 3.6 (escaneada), o período de medição foi de apenas um dia e os dados estão ainda em papel. A Figura 3.6(a) mostra o detalhamento da data e das divisões do papel na velocidade do vento, já a Figura 3.6(b) ilustra o detalhamento da direção do vento.

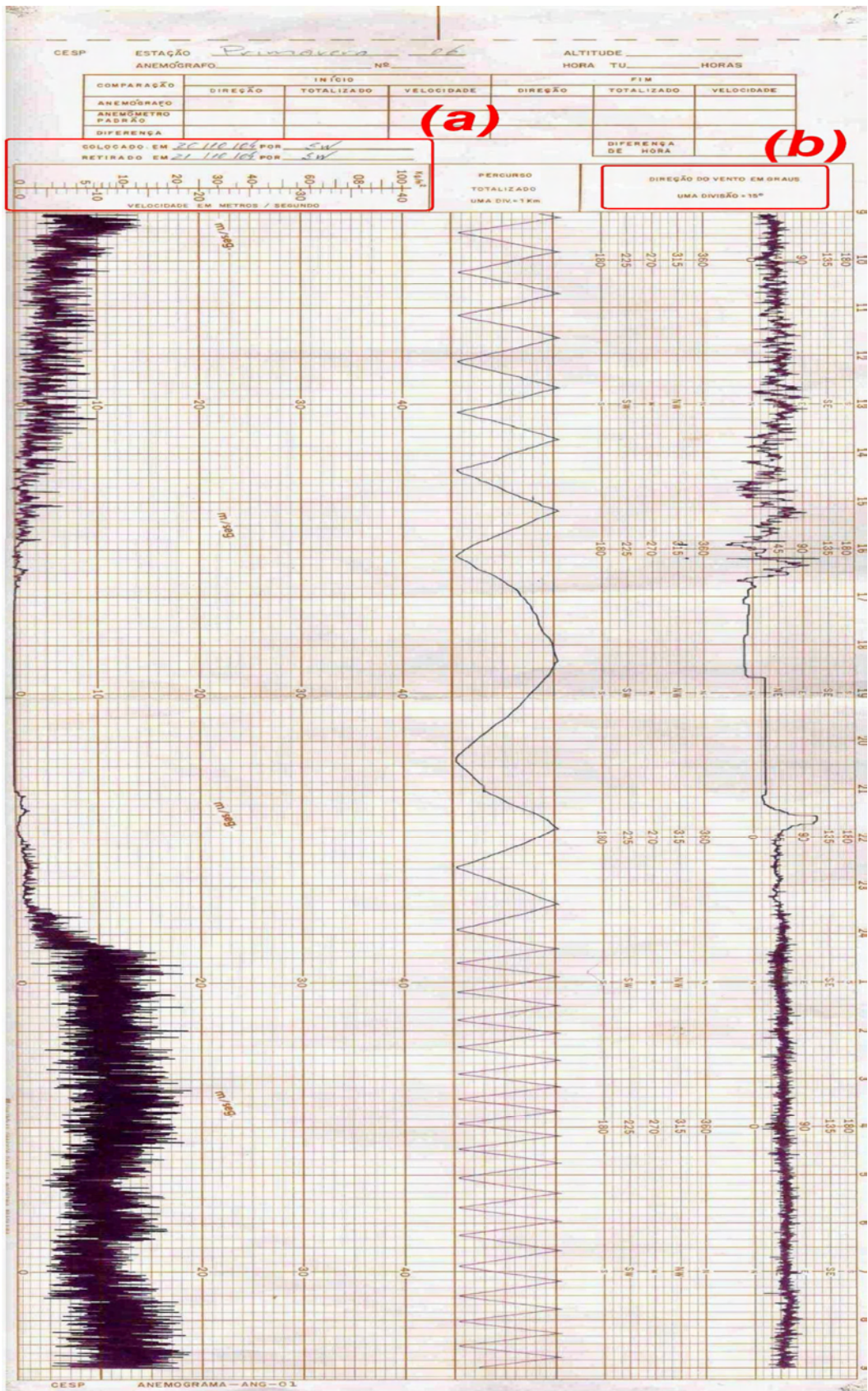


Figura 3.6 – Dados de vento de apenas um dia no lago de Porto Primavera, 2004
(a) Detalhes da data e velocidade e (b) Detalhe direção do vento

Nota-se pela Figura 3.6, analisando visualmente, que o vento médio sopra de NE em uma intensidade de 10m/s , e o vento máximo ocorrido foi também na direção NE soprando com uma velocidade de 10m/s .

3.1.4 Ventos em Ilha Solteira (2008/2009)

Para o estudo de casos do presente trabalho foi utilizado o novo banco de dados captados pelo Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3 localizado na torre do farol São Martinho, referente a atuais medições realizadas entre os anos de 2008 e 2009.

Para o tratamento dos novos dados de vento foi criado um *software*, batizado de *OndisaCsat3*, capaz de analisar o conteúdo do arquivo bruto gerado pela recepção direta dos dados de vento e fazer o tratamento dos mesmos, gerando assim os dados necessários para caracterizar os ventos no lago de Ilha Solteira. O **ANEXO B** mostra como foi feita tal programação, bem como os dados gerados pelo CSAT3 e alguns problemas enfrentados quando da instalação dos equipamentos.

Assim, com a utilização do *software OndisaCsat3*, e após verificar se os dados estão a contento durante o período considerado (Junho a Outubro/2008), os resultados foram então analisados. Decidiu-se gerar tabelas e rosas-dos-ventos para facilitar a interpretação dos dados. Assim, tais resultados foram analisados e dispostos em tabelas para apreciação dos valores emitidos pelo *software OndisaCsat3*. A Tabela 3.9 mostra, nesse contexto, os dados médios mensais de intensidade dos ventos. A frequência de ocorrência, no mesmo período de tratamento dos dados, está disposta na Tabela 3.10.

Tabela 3.9 – Velocidades médias mensais para a campanha de 2008-09

Velocidades Médias Mensais (m/s)																
Mês	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Junho	4,68	4,35	4,39	4,95	4,15	3,73	3,91	3,76	2,66	2,38	1,55	1,77	2,86	2,45	2,74	3,73
Julho	3,62	3,19	5,34	6,29	4,73	4,53	4,48	3,82	3,47	3,03	1,72	1,32	1,57	1,80	2,25	2,54
Agosto	5,65	4,92	5,86	6,12	5,10	4,59	4,54	4,50	3,84	3,81	3,28	2,90	3,10	1,57	5,42	5,97
Setembro	5,55	5,03	5,08	6,49	5,79	5,09	5,31	4,98	4,57	2,87	2,47	2,79	3,41	2,79	5,19	5,34
Outubro	4,52	3,91	4,42	5,75	4,69	4,59	4,94	4,81	3,91	2,91	2,71	3,77	4,74	4,38	4,42	4,96

Tabela 3.10 – Frequências mensais para a campanha de 2008-09

Frequências (%)																
Mês	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Junho	7,36	5,83	5,20	6,41	6,32	11,08	17,63	13,87	4,21	3,08	1,86	1,98	3,22	2,97	3,73	5,26
Julho	0,86	0,87	4,75	13,33	10,47	18,14	25,28	16,48	3,97	1,82	0,68	0,77	0,71	0,60	0,60	0,66
Agosto	0,86	1,38	4,48	9,08	8,15	16,39	26,78	19,30	5,24	3,52	1,64	0,90	0,51	0,28	0,59	0,88
Setembro	9,86	7,84	9,76	10,36	9,41	6,77	10,03	10,22	3,24	1,67	1,31	1,69	2,32	1,58	5,62	8,30
Outubro	4,26	5,42	6,57	10,23	6,40	11,11	19,35	13,91	4,11	3,03	1,99	2,50	2,59	1,49	2,43	4,61

A partir das Tabelas 3.9 e 3.10, tem-se a reinância ou predominância dos ventos. Para a dominância dos mesmos dados de vento, necessita-se de uma fusão entre tais Tabelas (3.9 e 3.10). Assim a Tabela 3.11 foi construída.

Tabela 3.11 – Ventos dominantes mensais para a campanha de 2008-09

Ventos Dominantes																
Mês	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Junho	161,2	110,3	100,2	157,1	108,8	154,2	269,5	196,1	29,8	17,4	4,5	6,2	26,3	17,8	28,0	73,2
Julho	11,3	8,9	135,4	527,4	234,2	372,2	507,4	240,5	47,8	16,7	2,0	1,3	1,8	1,9	3,0	4,3
Agosto	27,5	33,4	153,8	340,1	212,0	345,3	552,0	390,8	77,3	51,1	17,6	7,6	4,9	0,7	17,3	31,4
Setembro	303,7	198,4	251,9	436,4	315,5	175,4	282,8	253,5	67,7	13,8	8,0	13,2	27,0	12,3	151,4	236,7
Outubro	87,0	82,9	128,4	338,2	140,8	234,1	472,2	321,8	62,8	25,7	14,6	35,5	58,2	28,6	47,5	113,4

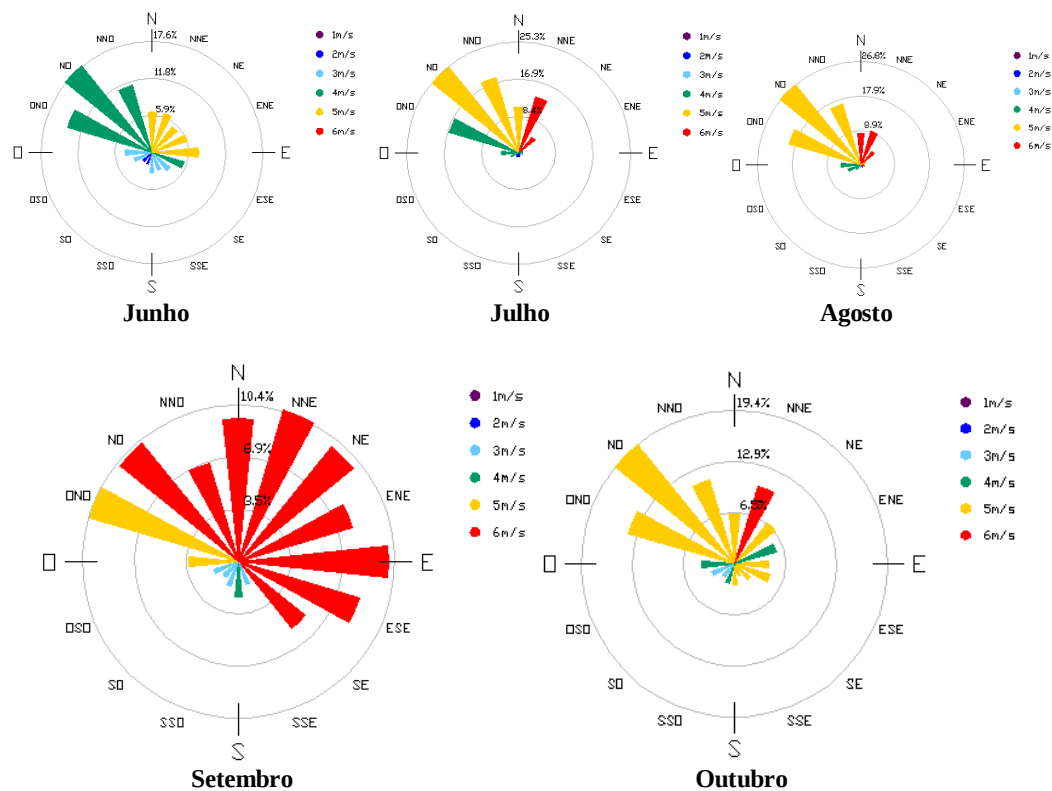
Decidiu-se trabalhar com dados que pudessem resumir toda a campanha de medição. Era sabido também que até certo ponto poderia se perder um pouco da representatividade desses dados, no entanto, o ganho viria na diminuição do volume de informações.

A partir desses dados, tirou-se a média para todo o período, tanto para as frequências como para as velocidades médias, organizando assim a Tabela 3.12, que resume os dados das Tabelas 3.9, 3.10 e 3.11 em uma análise das médias das velocidade dos ventos, das frequências e dos ventos dominantes de todo período.

Tabela 3.12 – Resumo das médias durante a campanha de 2008-09

Médias de todo período															
E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Média das Velocidades															
4,80	4,28	5,02	5,92	4,89	4,51	4,64	4,37	3,69	3,00	2,35	2,51	3,14	2,60	4,00	4,51
Média das Frequências															
4,64	4,27	6,15	9,88	8,15	12,70	19,81	14,76	4,15	2,62	1,50	1,57	1,87	1,38	2,59	3,94
Média dos Ventos Dominantes															
107,1	78,2	154,9	346,3	195,0	257,8	425,9	282,3	56,6	23,6	8,2	9,9	18,4	9,3	41,6	80,1

As imagens da Figura 3.7 representam as rosas-dos-ventos predominantes mensais com dados retirados a partir das Tabelas 3.9 e 3.10.

**Figura 3.7 – Rosas-dos-ventos predominantes mensais, campanha 2008-09**

As imagens da Figura 3.8 representam as rosas-dos-ventos dominantes mensais com dados retirados a partir da Tabela 3.11.

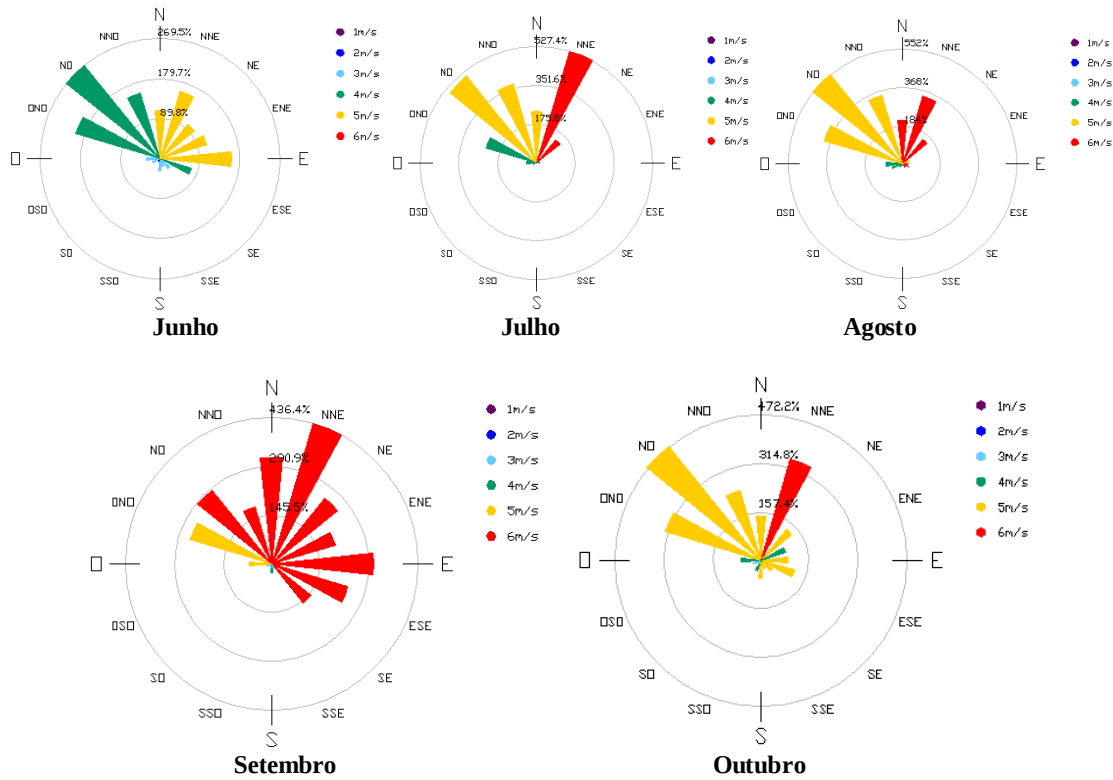


Figura 3.8 – Rosas-dos-ventos dominantes mensais, campanha 2008-09

As imagens da Figura 3.9 ilustram uma comparação entre as rosas-dos-ventos reinantes (a) e predominantes (b) de todo período de medição.

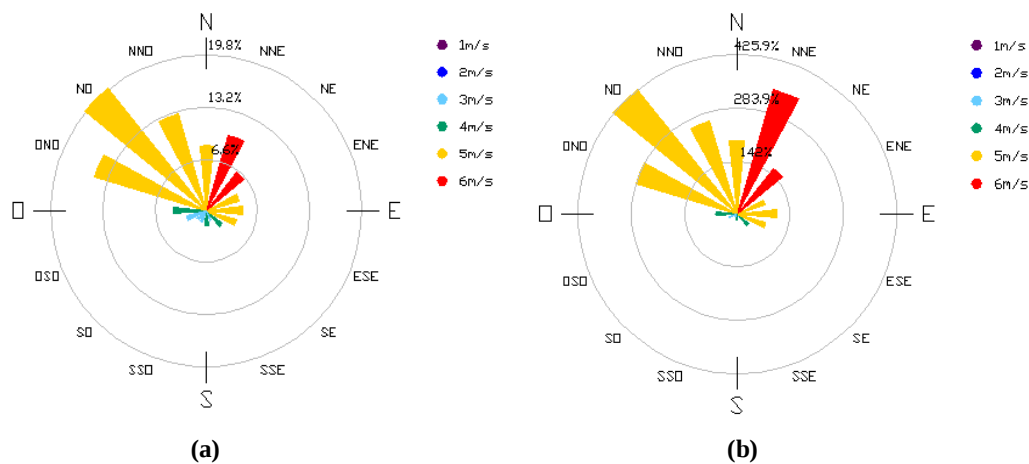


Figura 3.9 – Rosas-dos-ventos de todo período de medição da campanha 2008-09
(a) reinantes e (b) dominantes

A partir dessas análises de dados de vento, nota-se que os ventos predominantes (reinentes) característicos da região, no período de medição, ocorreram na direção Noroeste com uma intensidade média de $4,64\text{m/s}$ e frequência de $19,81\%$, com resultados de dominância (aspecto energético) de $425,9\%$. Há de se notar que a direção dos ventos predominantes é coincidente com a direção dos ventos dominantes. Já a maior média dos ventos ocorre na direção NNE e possui uma intensidade de $5,92\text{m/s}$ com uma frequência de $9,88\%$ resultando em uma dominância de $346,3\%$.

Outra análise de interesse é o maior vento ocorrido, a Tabela 3.13 ilustra os maiores ventos semanais ocorridos durante o período de medição, bem como a média mensal desses maiores ventos.

Tabela 3.13 – Ventos Máximos (extremos) para a campanha de 2008-09

Ventos Máximos			
Semana/Mês	Direção	Intensidade (m/s)	Média mensal (m/s)
1º/Junho	NO	11,68	12,57
2º/Junho	O	14,99	
3º/Junho	O	11,32	
4º/Junho	NNO	12,31	
1º/Julho	NNO	10,61	12,11
2º/Julho	NNO	13,53	
3º/Julho	NO	11,39	
4º/Julho	NO	12,91	
1º/Agosto	ONO	21,97	17,61
2º/Agosto	NNO	17,12	
3º/Agosto	NO	14,31	
4º/Agosto	NO	17,06	
1º/Setembro	O	13,90	15,79
2º/Setembro	ONO	17,73	
3º/Setembro	NO	18,26	
4º/Setembro	ONO	13,30	
1º/Outubro	ONO	18,68	19,06
2º/Outubro	NNO	24,62	
3º/Outubro	ONO	19,46	
4º/Outubro	ONO	13,50	

É possível observar que todos os ventos máximos ocorreram na faixa compreendida entre norte e oeste (2° quadrante da rosa-dos-ventos), sendo que o vento de maior intensidade registrado no período ocorreu na direção NNO, com uma intensidade de $24,62\text{m/s}$, no dia 10/10/2008 às 21h30min.

3.2 MAPAS DE PISTAS DE VENTO

Decidiu-se gerar mapas abrangendo a situação de ventos médios e máximos em todos os casos, segundo os registros da nova campanha de medição de ventos (2008-09), excetuando o caso de Porto Primavera.

Realizaram-se simulações para o lago de Ilha Solteira e um estudo prévio dos lagos de Jupia e Três Irmãos com dados transladados de Ilha Solteira, pois nesse momento ainda não se tinha dados tratados de vento dos últimos dois lagos, essa situação justificou-se, em 1ª ordem, devido a praticamente ausência de acidentes orográficos ou barreiras entre esses 3 espelhos d'água.

Já no caso do lago de Porto Primavera, as simulações foram realizadas a partir dos dados captados pela digitalização dos dados de um único evento (ainda em papel) registrados naquele reservatório.

Os ventos médios mais intensos e os ventos máximos (extremos) resumem-se a seguir:

- *Campanha Ilha Solteira (2008/2009)*

Maior Vento Médio → 5,92m/s na direção NNE.

Vento Máximo → 24,62m/s na direção NNO.

- *Porto Primavera (registro de 2004)*

Vento Médio (análise visual do registro disponível) → 10m/s na direção NE.

Vento Máximo (análise visual do registro disponível) → 20m/s na direção NE.

A partir dessas forçantes características, partiu-se para a geração, via *OndisaCAD*, dos mapas temáticos dos lagos. Então para os lagos de Ilha Solteira, Jupia e Três Irmãos serão gerados dois mapas de pistas de vento, o primeiro retratando o caso de maior vento médio (maior probabilidade de ocorrência) e o segundo para vento máximo (maior poder de destruição). Já para o lago de Porto Primavera, o mapa de pistas de vento será feito apenas para a direção NE, pois é nessa direção que ocorre os ventos médios e também o maior vento, segundo o registro disponível.

As Figuras 3.10 e 3.11 ilustram para o lago de Ilha Solteira os mapas de pistas de vento para as direções NNE e NNO respectivamente.

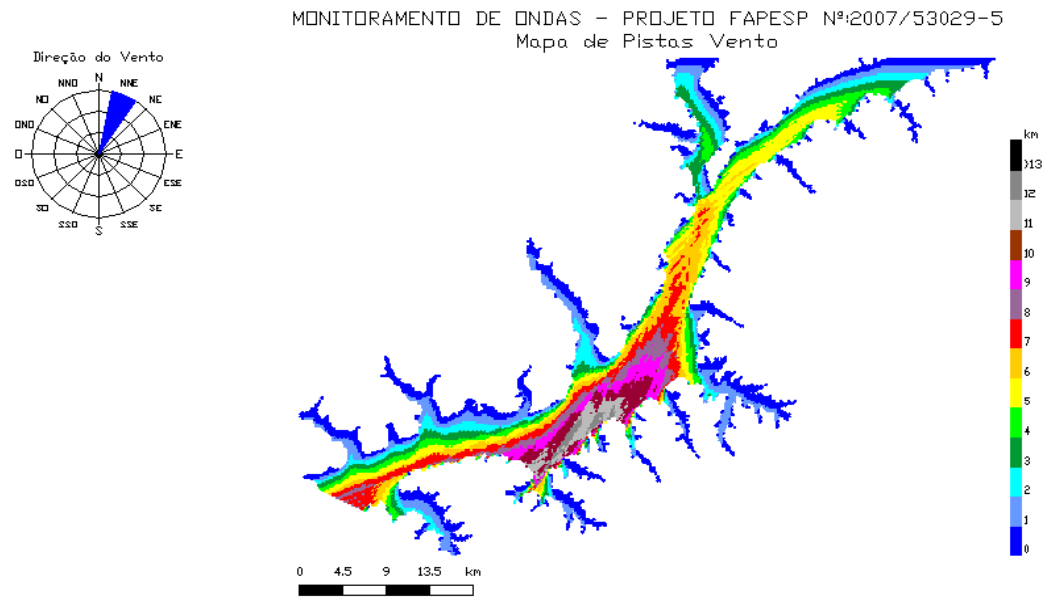


Figura 3.10 – Mapa de pistas de vento para o lago de Ilha Solteira, vento na direção NNE

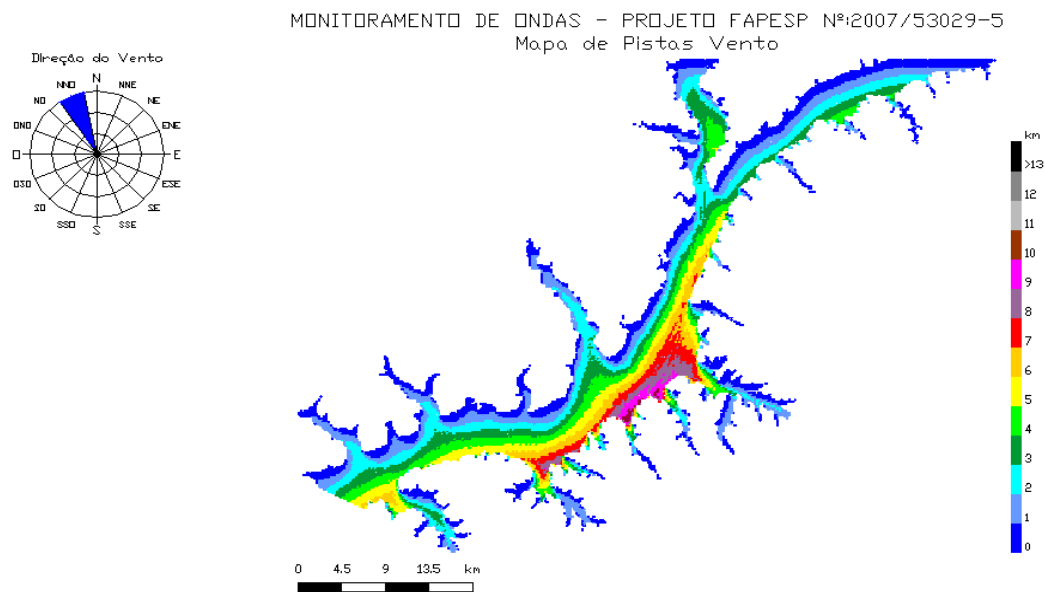


Figura 3.11 – Mapa de pistas de vento para o lago de Ilha Solteira, vento na direção NNO

Nota-se que, ventos provindos das direções NNE e NNO, provocam pistas de até 12 e 9km respectivamente, e essas maiores pistas de vento estão localizadas no lado sudeste do lago de Ilha Solteira.

Nas Figuras 3.12 e 3.13 são ilustrados, para o lago de Jupia, os mapas de pistas de vento para as direções NNE e NNO respectivamente.

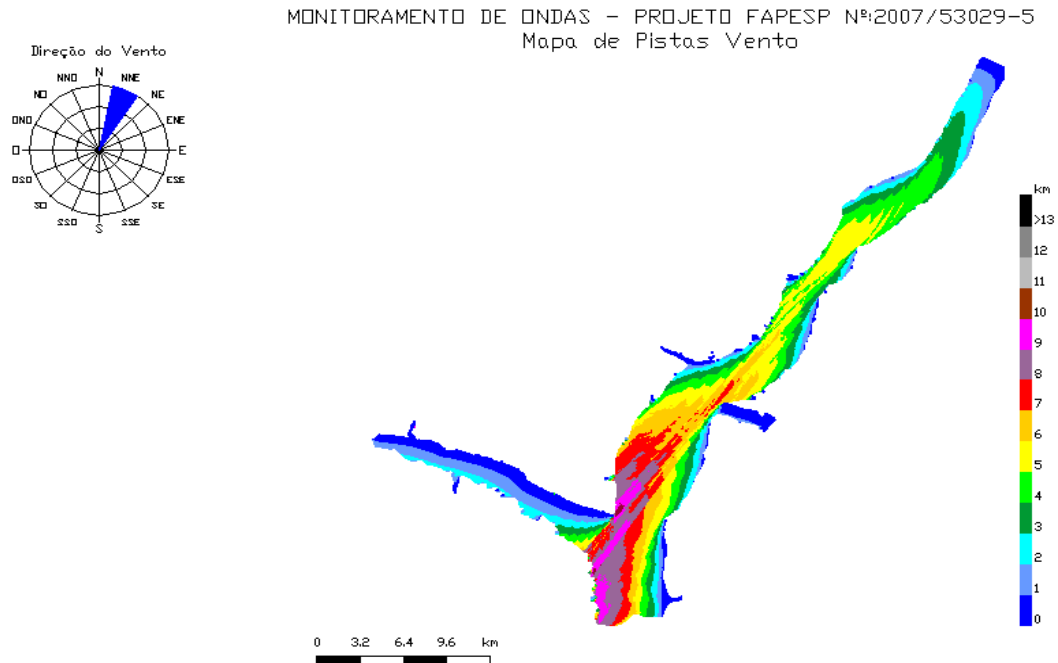


Figura 3.12 – Mapa de pistas de vento para o lago de Jupia, vento na direção NNE

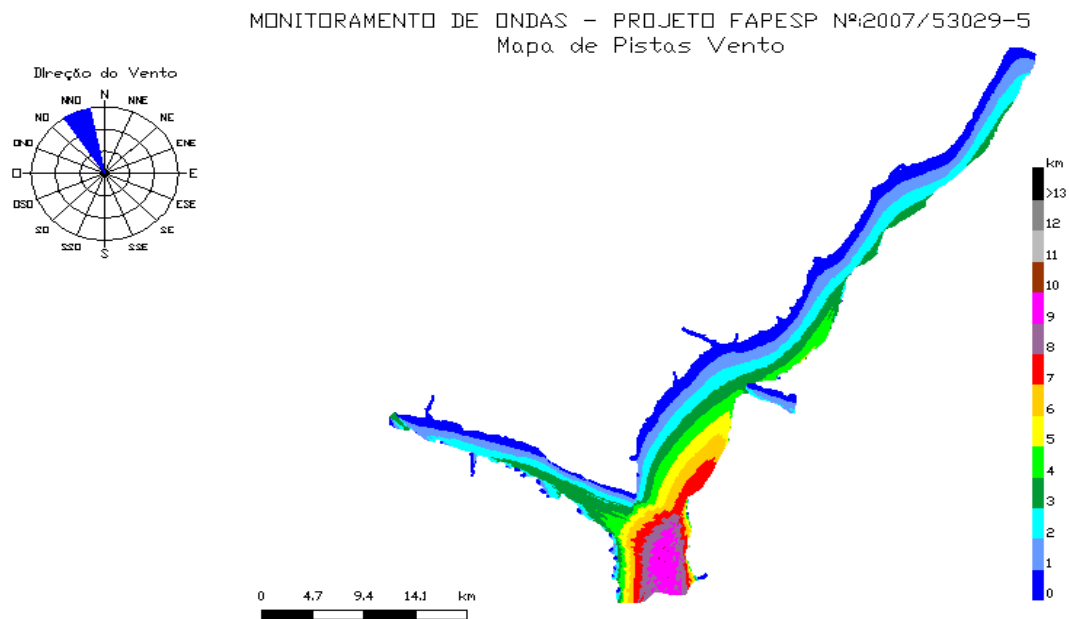


Figura 3.13 – Mapa de pistas de vento para o lago de Jupia, vento na direção NNO

No caso do lago de Jupia, utilizando os dados de vento soprados em Ilha Solteira, para a direção incidente do vento de NNE, as maiores pistas de vento estão localizadas na faixa sudoeste do lago, produzindo uma pista de vento de até *9km* nesses pontos. Já no caso de ventos provindos de NNO, as maiores pistas estão localizadas no sul do lago de Júpiá, produzindo pistas de até *9km* também.

As Figuras 3.14 e 3.15 ilustram para o lago de Três Irmãos os mapas de pistas de vento para as direções NNE e NNO respectivamente.

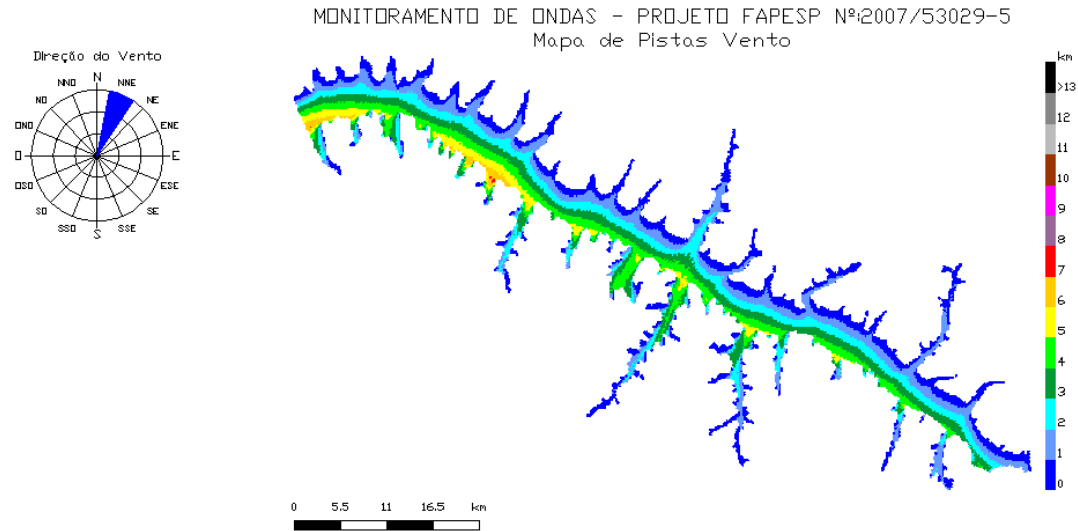


Figura 3.14 – Mapa de pistas de vento para o lago de Três Irmãos, direção NNE

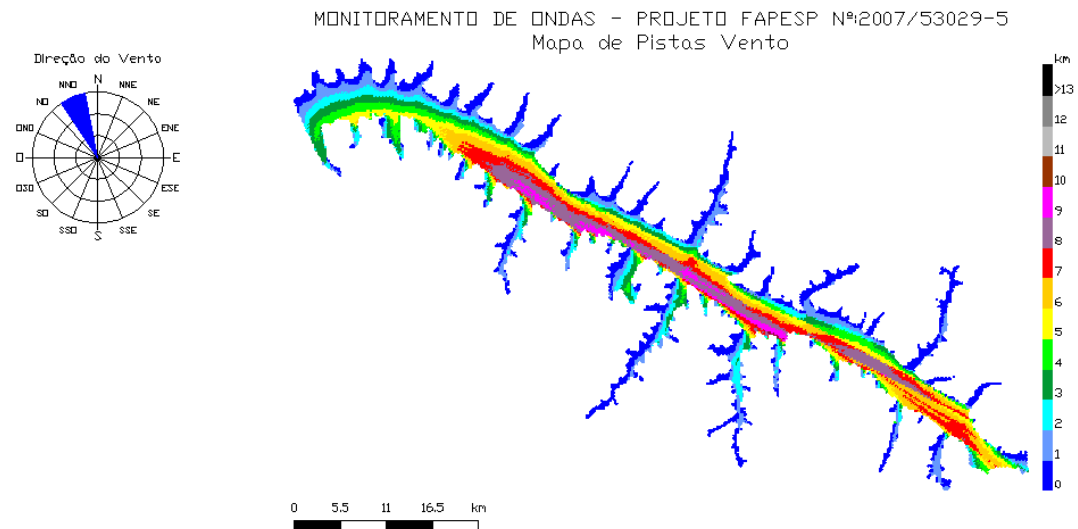


Figura 3.15 – Mapa de pistas de vento para o lago de Três Irmãos, direção NNO

Em se tratando do lago de Três Irmãos, as maiores pistas de vento na direção NNE foram de 7km e para a direção de incidência do vento de NNO, obtivemos maiores pistas de 9km. Esses valores poderiam ser maiores se tivéssemos ventos provindos ao longo da faixa de maior extensão do lago (NO ou SE). Como se pode notar no **ANEXO D**.

Como dito anteriormente, para o lago de Porto Primavera, apenas a direção NE será mostrada no caso do mapa de pistas de vento, como pode ser visto na Figura 3.16.

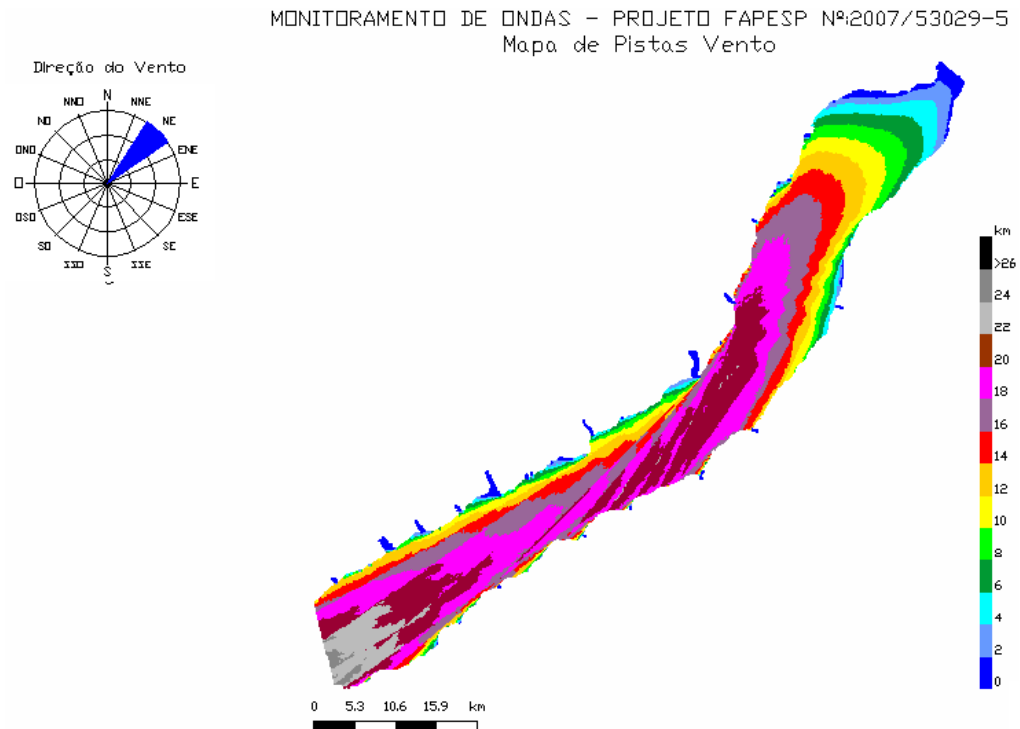


Figura 3.16 – Mapa de pistas de vento para o lago de Porto Primavera, direção NE

Nota-se para o lago de Porto Primavera que, devido ao seu maior tamanho e a uma incidência de vento ocorrida ao longo de sua maior extensão, estes ventos produzirão maiores pistas de vento que nos outros lagos, cerca de 24km em sudeste do lago.

3.3 MAPAS DE ALTURAS DE ONDA

O aplicativo que calcula a altura das ondas trabalha com interface similar ao cálculo das pistas. Inicialmente o usuário fornece a direção do vento, a intensidade desejada e seleciona o método a ser utilizado no cálculo.

Estão disponíveis no programa os métodos JONSWAP, SMB, Wolf, Creager e SGM. Decidiu-se adotar o método JONSWAP pela sua grande utilização em estudos anteriores.

É preciso salientar que todos os métodos disponíveis foram criados para a utilização

em condições de águas profundas, contudo na bibliografia é sugerida também a sua aplicação em corpos de água interiores.

Como no caso do mapa de pistas de vento, os mapas de altura de ondas serão demonstrados similarmente. Assim, os ventos médios e máximos serão analisados através do *OndisaCAD*, e os resultados encontram-se a seguir:

As Figuras 3.17 e 3.18 ilustram, para o lago de Ilha Solteira, os mapas de altura de ondas para as direções NNE (maior vento médio) e NNO (vento máximo).

Como se pode verificar, as maiores ondas estão localizadas nos mesmos pontos em que se têm as maiores pistas de vento, quando se trata de uma mesma direção. Assim as maiores ondas na direção NNE estão à sudeste do lago de Ilha Solteira, cerca de $0,4m$ de altura, assim como as maiores pistas também (ver Figura 3.10). Lembrando que para essa direção o vento utilizado foi de $5,92m/s$.

Já para o caso da direção NNO, as maiores ondas também estão à sudeste do lago de Ilha Solteira, porém com cerca de $1,20m$ de altura, já que a intensidade de vento incidente nessa direção foi de $24,62m/s$.

As Figuras 3.19 e 3.20 ilustram, para o lago de Jupia, os mapas de altura de ondas para as direções NNE (maior vento médio) e NNO (vento máximo).

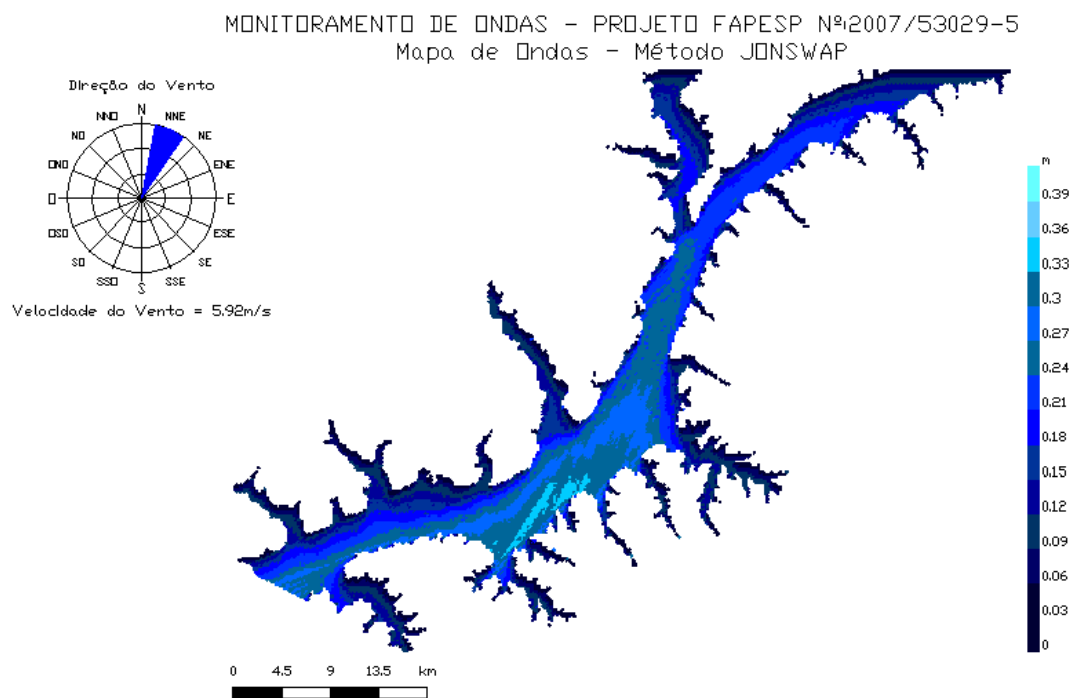


Figura 3.17 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NNE, maior vento médio ($5,92m/s$)

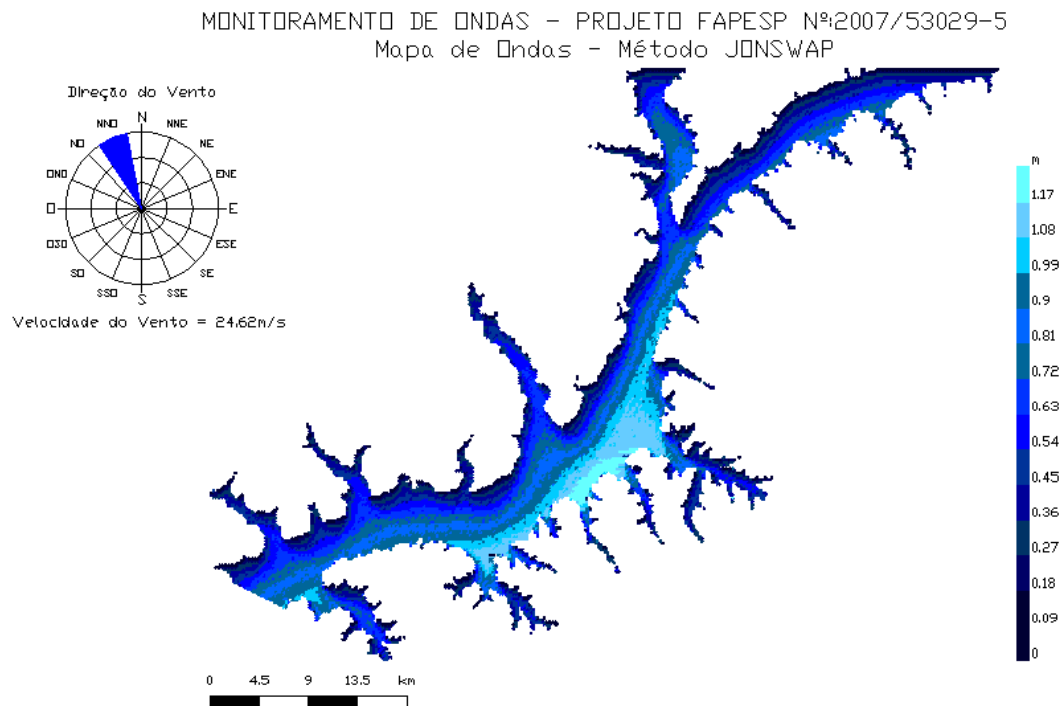


Figura 3.18 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NNO, vento máximo (24,62m/s)

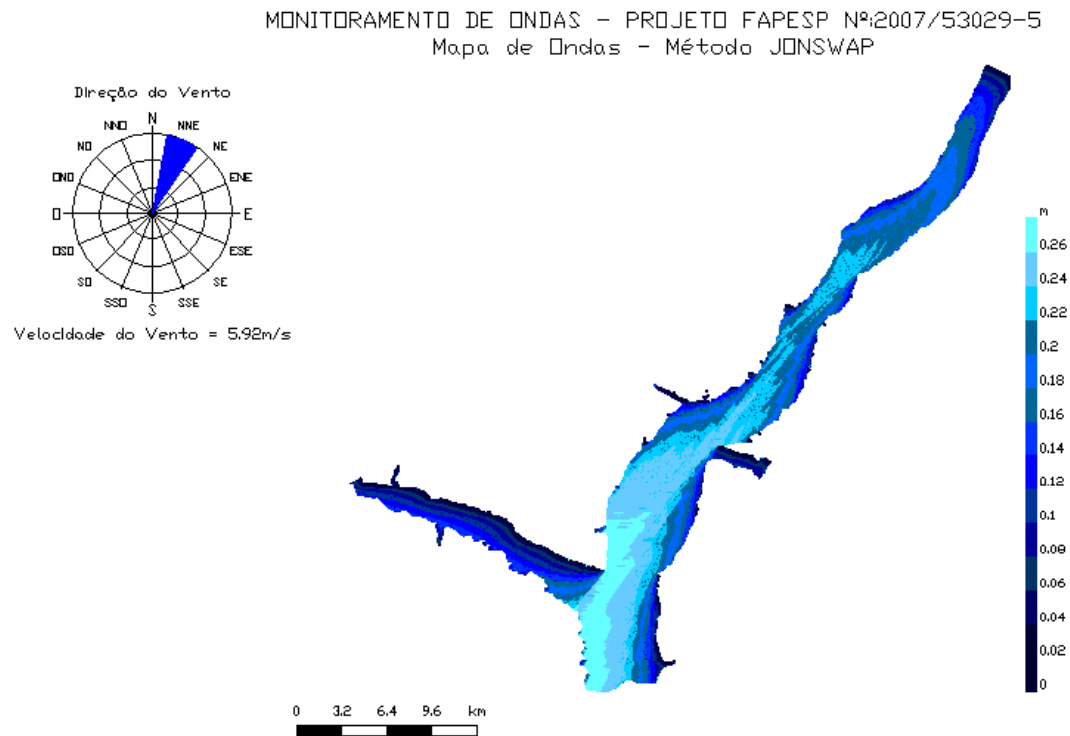


Figura 3.19 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupiá, direção NNE, maior vento médio (5,92m/s)

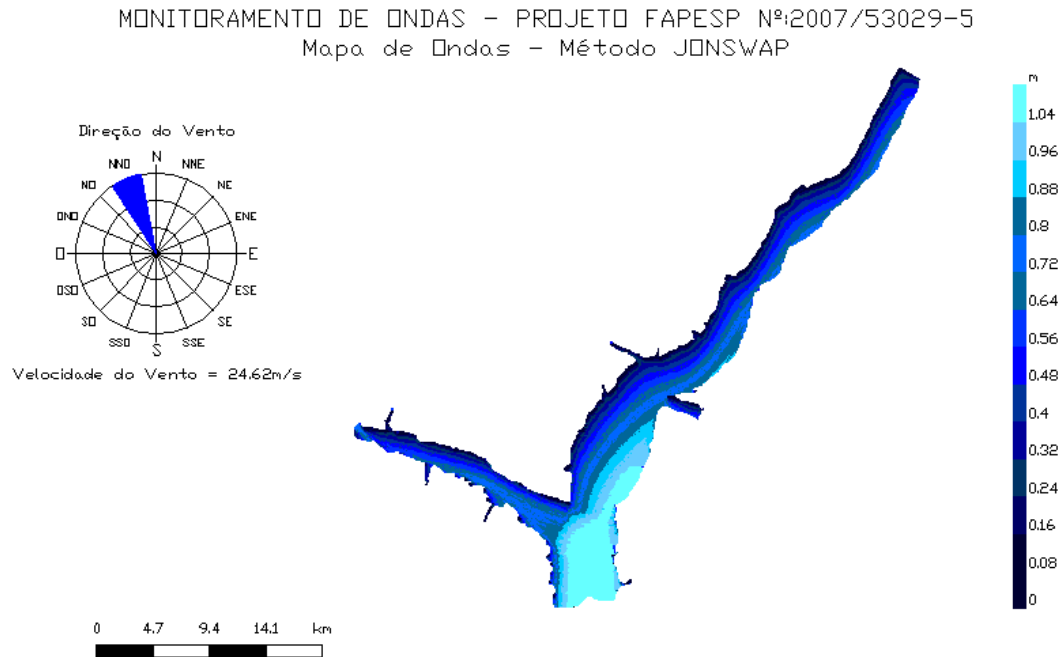


Figura 3.20 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NNO, vento máximo (24,62m/s)

Observa-se com o mapa de altura de ondas no lago de Jupia que, ondas de 0,25 e 1,05m podem ser encontradas para as direções NNE e NNO respectivamente, respeitando a intensidade do vento incidente.

As Figuras 3.21 e 3.22 ilustram, para o lago de Três Irmãos, os mapas de altura de ondas para as direções NNE (maior vento médio) e NNO (vento máximo).

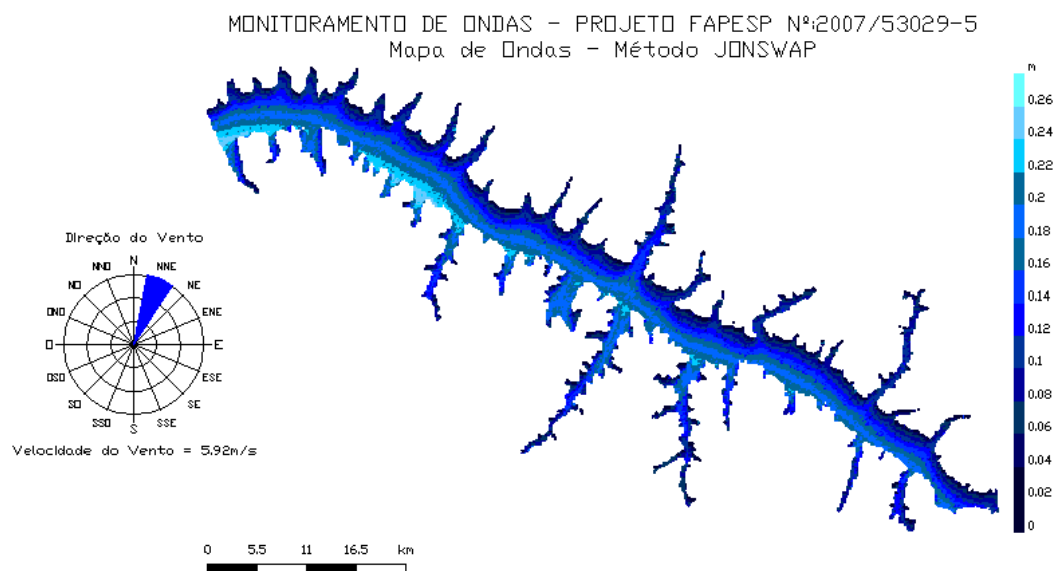


Figura 3.21 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NNE, maior vento médio (5,92m/s)

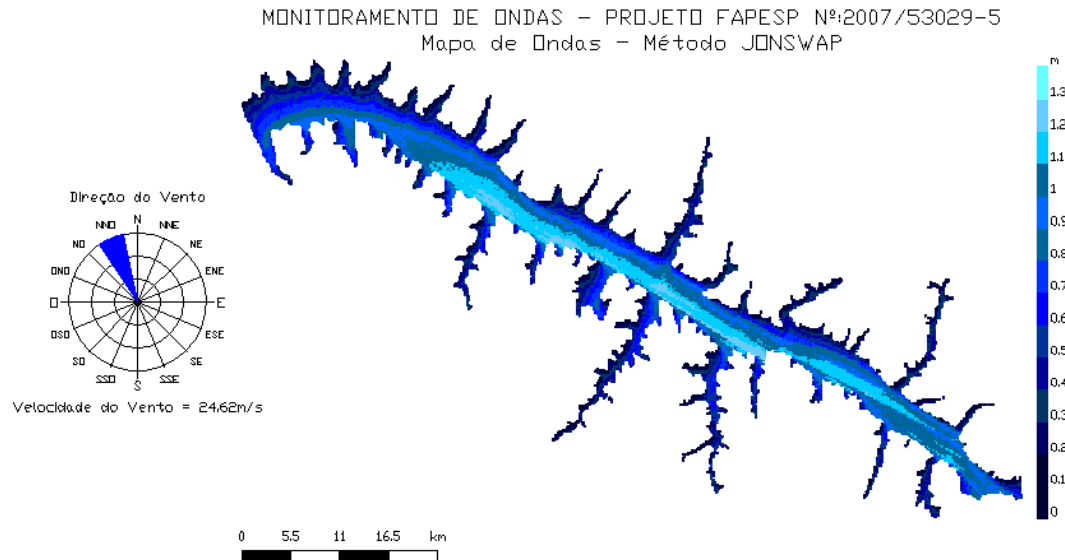


Figura 3.22 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NNO, vento máximo (24,62m/s)

Para o lago de Porto Primavera, as maiores ondas são de 0,25m para a direção NNE e 1,3m para a direção NNO.

As Figuras 3.23 e 3.24 ilustram, para o lago de Porto Primavera, os mapas de altura de ondas para a direção NO, caso de vento médio e vento máximo respectivamente.

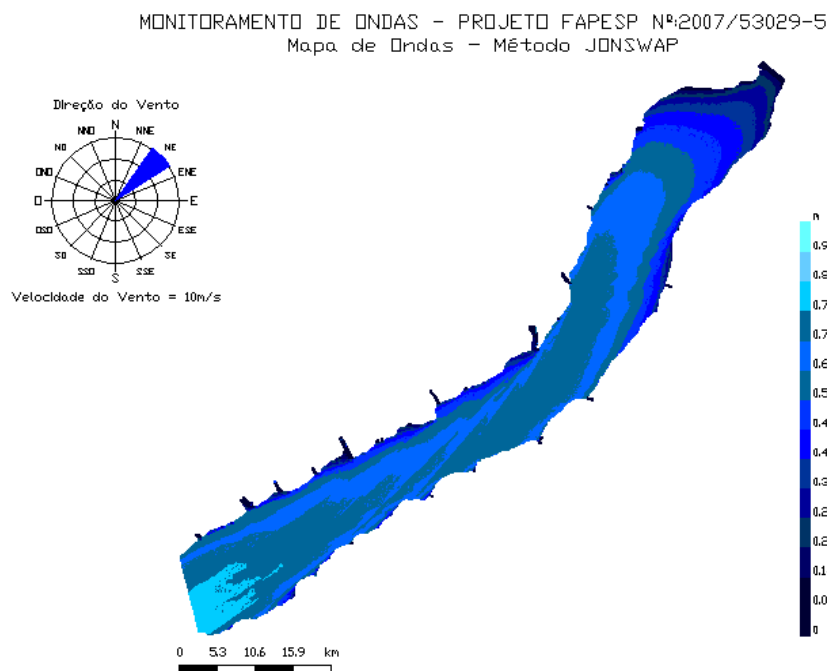


Figura 3.23 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NO, vento médio (10,00m/s)

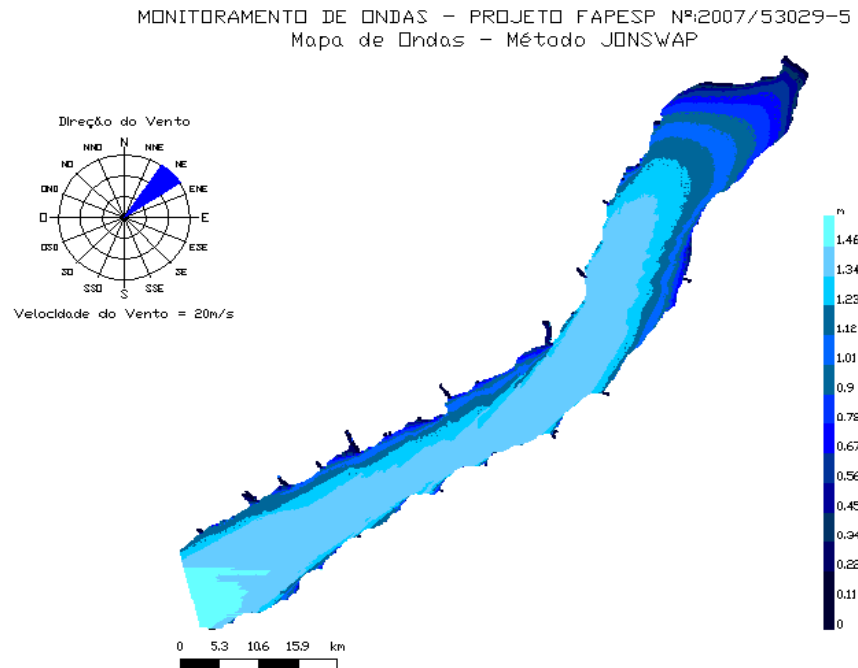


Figura 3.24 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NO, vento máximo (20,00m/s)

No caso dos mapas de ondas do lago de Porto Primavera, como apenas uma direção foi analisada nesse estudo de caso (NO), obteve-se alturas de ondas de 0,9 e 1,45m para os casos de incidência de vento de 10,00 e 20,00m/s respectivamente.

A fim de ilustrar o potencial do código computacional *OndisaCAD*, e uma posterior comparação entre resultados, o **ANEXO D** contempla os mapas de altura de ondas para os 4 lagos de estudo em todas as direções da rosa-dos-ventos. Para tal estudo, padronizou-se como vento incidente, o vento máximo encontrado na campanha 2008/2009, ou seja, 24,62m/s.

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ATENUAÇÃO DE ONDAS SOBRE FUNDOS VEGETADOS

4.1 O FUNDO VEGETADO

O meio ambiente está sendo focado com grande importância nos dias de hoje devido a preocupação com os fatores que ameaçam a sua integridade. Um exemplo muito evidente é o efeito-estufa, assim como a elevação do nível do mar que ameaça todo o litoral do planeta.

As ondas de gravidade, pela faixa de frequência em que são geradas, são as ondas de maior energia e são, reconhecidamente, as mais devastadoras. Acidentes de repercussão mundial só vêm alertar ainda mais a comunidade científica a respeito da necessidade de intensa investigação dos mecanismos de previsão e minimização dos danos causados por ondas gravitacionais. Em escala de menor intensidade energética, mas com grande frequência de ocorrência, podem ser citados outros danos causados pelas ondas gravitacionais, como na operação de portos, canais de navegação, alteração de perfis de praia, proteção e segurança das comunidades litorâneas.

Soma-se a essa gama de situações e voltando-se mais ao contexto regional, ressalta-se a potencialidade para a navegação do noroeste paulista, que pode ser prejudicada pela ação intensa de ondas geradas por ventos, que provocam erosões e assoreamento em canais de navegação. Não obstante, as próprias ondas geradas pelas embarcações podem também causar danos às margens.

No sentido de mitigar os problemas causados pelas ondas, na grande maioria das vezes, investe-se na construção de obras rígidas, como por exemplo diques e quebra-mares,

interferindo drasticamente na conformação ou *layout* natural. Entretanto, soluções alternativas de obras que não alterem de modo considerável o ecossistema no qual estão inseridas ganham força nos dias de hoje, face ao apelo constante pela manutenção e proteção do meio ambiente como um todo.

A Figura 4.1 ilustra a ação erosiva de ondas geradas por ventos sobre margens de reservatórios.



Figura 4.1 – Processos erosivos nas margens da barragem de Ilha Solteira

Uma alternativa às obras rígidas, para proteção de litorais, baseia-se na constatação de que as ondas que se propagam por áreas com vegetação (ou outros organismos semelhantes) perdem considerável parcela de sua energia. Através da avaliação de uma área de estudo particular, pode-se eleger uma espécie vegetal que possa ser utilizada, mantendo o equilíbrio do ecossistema. No entanto, pouco é conhecido a respeito da mecânica pela qual a onda perde energia. Existem poucas ferramentas de projeto e dimensionamento que atendam a esta lacuna, ainda que sejam encontrados alguns trabalhos na literatura que forneçam norteadores e sirvam como base para estudos mais aprofundados.

A vegetação é um importante agente em margens de corpos de água e ecossistemas costeiros por influenciar processos de caráter químico, biológico e físico. Massel et al. (1999) afirma que, em áreas de manguezais, a interação entre as ondas e a vegetação vai além da interação mecânica. Nestas e em outros tipos de vegetação, processos bioquímicos estão intimamente relacionados ao movimento da água, devido às mares e ondas.

Apesar da importância da vegetação submersa na absorção da energia da onda, cabe lembrar que o excesso de vegetação, principalmente em lagos formados por usinas

hidrelétricas, provoca o fenômeno conhecido como eutrofização. É evidente que a falta de vegetação também provoca danos, devido ao escoamento ser livre de obstáculos. Um exemplo disso é a extração de algas nos lagos noruegueses, que são utilizadas nas indústrias farmacêutica e alimentícia, setores agrícolas, entre outros.

Em se tratando de processos físicos (ou mecânicos), notadamente a interação onda-vegetação submersa, a acomodação hidrodinâmica nas margens de corpos de água é fortemente influenciada pela presença da vegetação. Esse fato ocorre, por exemplo, em lagos artificiais de barragens, onde parte da energia do escoamento é atenuada pela vegetação, o que concorre para a proteção das margens e taludes de canais de navegação de ações erosivas e assoreamento.

A Figura 4.2 ilustra o processo de amortecimento de ondas devido à presença de vegetação nas margens.



Figura 4.2 – Amortecimentos de ondas nas margens do lago de Ilha Solteira

No caso apresentado, a vegetação submersa apresenta-se como obstáculo ao escoamento, tanto para correntes quanto para escoamentos oscilatórios. Dessa forma, é provocada a estabilização do habitat, devido a diminuição da capacidade do fluido em suspender e transportar sedimentos, devido a queda da energia hidrodinâmica.

No entanto, a determinação e previsão dos processos físicos com acurácia ainda figuram como desafios aos pesquisadores da área. Em termos de estudos acerca do assunto, existem poucas investigações dos processos físicos em lagos e estuários tropicais, quando comparados com aqueles feitos em estuários temperados. No entanto, o interesse da comunidade científica vem crescendo, tendo em vista problemas como defesa do litoral,

elevação relativa do nível médio do mar, acesso a portos, entre outros.

Mais precisamente no que tange à interação energética entre escoamentos oscilatórios e a vegetação submersa, desconhecem-se muitos detalhes de tal fenômeno, além do que, há escassez de trabalhos da literatura retratando esse fenômeno no Brasil.

4.2 ASPECTOS DA INTERAÇÃO ONDA-VEGETAÇÃO

A dissipação da energia da onda pela presença de vegetação submersa é um assunto que vem sendo tratado há relativamente pouco tempo pela comunidade científica internacional. Observa-se, no entanto, uma evolução crescente na proposta de modelos de dissipação, levando a um aumento no número de trabalhos publicados acerca da temática abordada, refletindo o interesse da comunidade científica na melhor compreensão do fenômeno da interação onda-vegetação submersa. No Brasil, segundo o conhecimento dos autores, esse assunto ainda é muito recente, tendo sido tema de uma tese de doutoramento em Lima (2005) e uma dissertação de mestrado em Vasco (2005).

Existem diversas formas de abordar a interação onda-vegetação. Inicialmente, a vegetação presente no fundo de corpos de água era tratada como sendo uma extensão do atrito, ou seja, um fator adicional ao atrito devido ao fundo. Seguindo esse pensamento, um dos primeiros trabalhos na temática é o de Price et al. (1968).

Outro trabalho que lida com este fato é o de Camfield (1983), que procura estimar a altura de onda gerada pelo vento sobre regiões inundadas. O autor apresenta um método alternativo ao cálculo da altura da onda através de uma pista efetiva, uma vez que o método tradicional proposto pelo CERC (1977), para o cálculo de pistas não levava em consideração o fundo com atrito elevado.

Posteriormente, surgiram tentativas no sentido de quantificar os esforços hidrodinâmicos que incidiam sobre a vegetação. Nesse ponto, diversas dificuldades aparecem, em virtude da complexidade do fenômeno estudado. Além do pouco conhecimento da interação entre o escoamento e a vegetação, existem interações entre vegetações, sendo que a sua estrutura varia no tempo e é exposta a forças variáveis no tempo e espaço. Na tentativa de modelar esse fenômeno complexo, são feitas aproximações teóricas baseada em um modelo idealizado.

Com o avanço dos modelos de interação entre a onda e a vegetação submersa, aumenta-se a preocupação em retratar com mais fidelidade o fenômeno natural. Esse fato mostra que, nos dias atuais, pode-se falar realmente em interação onda-vegetação, mostrando que a vegetação aquática deixa de ser apenas um obstáculo ao escoamento e passa a ser agente efetivo na dissipação da energia da onda.

Segundo Neary (2003), para escoamentos não-oscilatórios, a vegetação tem maior importância na dissipação da energia do escoamento do que o fundo. Sendo assim, a função da vegetação aquática está bem além de ser apenas um obstáculo para ondas gravitacionais ou elemento que debita energia da onda gravitacional. A necessidade de estabelecer uma correta avaliação dos esforços atuantes na vegetação submersa depende do conhecimento de sua biomecânica, assim como de suas propriedades físicas.

4.2.1 Caracterização dos organismos

O sucesso da representação de fenômenos naturais está na capacidade de se reproduzir em laboratório, as mesmas condições que são percebidas no ambiente. Não obstante, a necessidade de parâmetros físicos calibrados experimentalmente ou mesmo a visualização de fenômenos na natureza são etapas indispensáveis no contexto apresentado.

Durante meados de 2003, dentro desse projeto, realizou-se um monitoramento no reservatório de Ilha Solteira, que é o terceiro maior reservatório do Brasil em termos de volume. As principais atividades, que envolveram equipes multidisciplinares de três instituições (FEIS-UNESP, COPPE-UFRJ e IPH-UFRGS), foram: monitorar o regime de ondas e vento em uma pequena porção da área de estudo, bem como a execução da batimetria local, identificação de espécies vegetais responsáveis pela atenuação da energia da onda e estabilização das margens, entre outras atividades.

No local de estudo, foram identificadas diversas espécies que estabilizavam as margens do reservatório de Ilha Solteira. Entretanto, a espécie predominante era a *Brachiaria subquadrípara*. Esta planta tem vários caules, que são delgados e finos, de onde folhas crescem verticalmente. A *B. subquadrípara* (Figura 4.3) não possui sustentação própria, permanecendo na vertical por meio da ação do empuxo quando submersa, possuindo baixa rigidez.

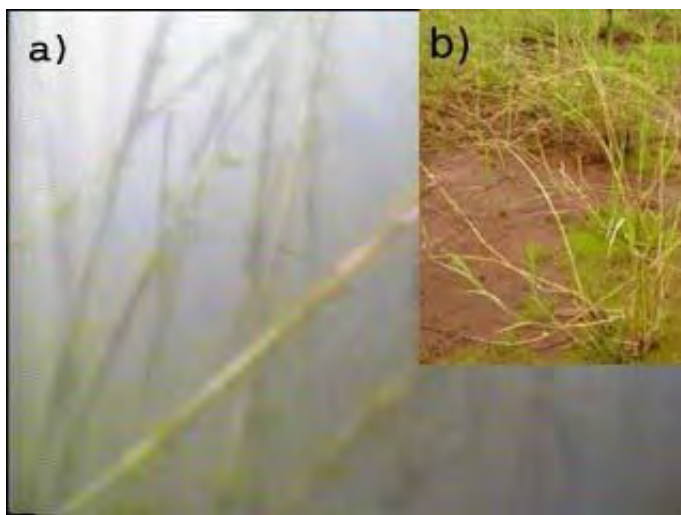


Figura 4.3 – (a) Imagem subaquática da *B. Subquadrípara* (cortesia: CESP) e (b) detalhe desta espécie de vegetação na época de estiagem

Pelo menos mais dois tipos de plantas também são encontrados com frequência na área de estudo: *Panicum maximum* (capim colônia) e *Cynodon dactylon* (grama seda).

Duas frentes serão tratadas separadamente contemplando, na primeira (a seguir), o estudo do aspecto da dinâmica linear¹ do fundo vegetado e na segunda frente (**CAPÍTULO 5**) será abordado o aspecto não-linear do assunto.

4.3 ABORDAGEM LINEAR DO FUNDO VEGETADO

Retomando o assunto do amortecimento de ondas sobre fundos vegetados às margens de reservatórios, o objetivo desta parte da pesquisa é investigar uma onda quando esta se propaga por obstáculos naturais, como a vegetação e demais organismos aquáticos semelhante, que habitam os fundos de corpos d'água.

Os resultados experimentais de Vasco (2005) avaliaram o aspecto energético e dinâmico, simulando a mecânica dos organismos aquáticos por cordas de nylon (frágil). Os resultados numéricos, por sua vez, avaliaram parâmetros físicos no comportamento geral dos organismos (rígidos). De um modo geral, os ensaios numéricos com o modelo desenvolvido, apontaram para prognósticos que corroboram modelos da literatura.

¹ Dentre as referências analisadas, em relação à abordagem linear, centrou-se nas informações contidas na dissertação de mestrado de Vasco (2005), pois, além de ser a referência de maior conteúdo do assunto, possuímos o código computacional utilizado na dissertação do mesmo. Uma das propostas do presente estudo é de avançar no assunto inserindo a não-linearidade no caso.

A pergunta chave que se coloca nesse tipo de investigação é qual a ordem de magnitude dos coeficientes de transmissão de energia quando ondas gravitacionais se propagam sobre fundos vegetados, ou ainda, que parcela da energia da onda é debitada para movimentar as estruturas ou organismos vivos (plantas) presentes em margens de lagos de barragens?

4.4 MODELOS EXISTENTES NA LITERATURA

A vegetação submetida à ação de ondas nas margens de corpos de água, quando analisada sob o ponto de vista mecânico e para modelar o aspecto dinâmico, pode ser empreendida uma analogia do comportamento dos organismos como vigas viscoelásticas engastadas sujeitas a esforços que variam no tempo.

Sabe-se que a substituição de organismos aquáticos por qualquer outro material (fibra de vidro e cordas de nylon, por exemplo), na validação experimental de um modelo, insere erros de ordem mecânica, desde que não seja obedecida uma escala conveniente. Mesmo devido a dificuldade em encontrar materiais que reproduzam em escala de laboratório o aspecto dinâmico e mecânico da vegetação observada na natureza, vários pesquisadores buscam maneiras de simular a presença de organismos aquáticos por outros materiais, como os exemplos mostrados na Figura 4.4: organismos simulados por Lovås e Tørum (2001) e Ghisalberti e Nepf (2002).

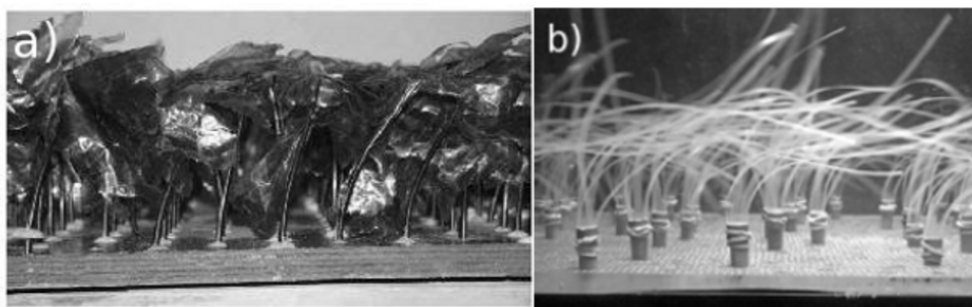


Figura 4.4 – Representação do organismo utilizado por (a) Lovås e Tørum (2001) e (b) Ghisalberti e Nepf (2002)

Entretanto, existem também pesquisadores que acreditam que a maneira mais correta de avaliar esse tipo de problema é utilizando a própria vegetação estudada, como é o caso de Freeman et al. (2000).

Para avaliar tanto o aspecto dinâmico quanto o energético da interação entre a onda e a vegetação submersa, Vasco (2005) realizou ensaios de cunho experimentalista em canal de ondas instrumentado com sensores resistivos.

O laboratório do INPH possui canal de ondas com 45 m de pista, altura de 1 m e largura de 0,8 m, com gerador de ondas do tipo pistão. Utilizaram-se cinco sensores resistivos na aquisição das alturas das ondas, distribuídos pelo campo de cordas igualmente espaçadas, que foram calibrados de acordo com método estático clássico. O laboratório da EPUSP possui um canal de ondas de 25 m de pista, 1,0 m de altura e 1,0 m de largura. O gerador de ondas (batedor) é do tipo cunha e é controlado por mecanismo automatizado, cujas faixas de funcionamento de frequência são de 0,5 a 2 Hz.

A característica da vegetação observada em visitas de campo da equipe de trabalho às margens do reservatório de Ilha Solteira é basicamente flexível. Optou-se, então, por utilizar um material artificial para simular a vegetação flexível. Vários outros pesquisadores, por razões diversas, também utilizam materiais artificiais para simular o efeito da vegetação submersa (LOVÅS; TØRUM, 2001 e GHISALBERTI; NEPF, 2002). Foram feitos testes com diversos materiais, sendo que as cordas de nylon apresentaram as características consideradas satisfatórias dentre os materiais ensaiados. A visualização do campo de cordas de nylon em cada laboratório é feita na Figura 4.5:

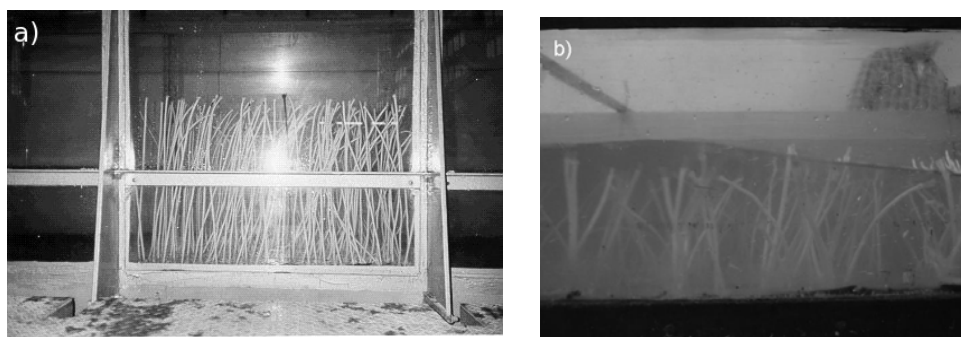


Figura 4.5 – a) Posicionamento do campo de cordas de nylon no INPH e
b) ensaio sendo realizado no laboratório da EPUSP

Para avaliação do aspecto energético, utilizou-se um campo de cordas, simulando uma área vegetada, de 3m de comprimento. Para fixação das cordas de nylon, foi utilizada uma malha metálica retangular com espaçamento de 2,5cm. A Figura 4.6 ilustra o esquema geral adotado.

Para avaliação do aspecto dinâmico, coloca-se apenas uma corda de nylon no canal, submetendo-a a um regime de ondas preestabelecido. Para obtenção do deslocamento da corda de nylon, lança-se mão da técnica da cinematografia. Esta técnica consiste em filmar o

experimento e posteriormente obter o deslocamento da corda de nylon a partir da análise das filmagens. O ponto de interesse maior é a ponta da corda (nó superior), onde ocorrem os deslocamentos máximos sofridos pelo elemento.

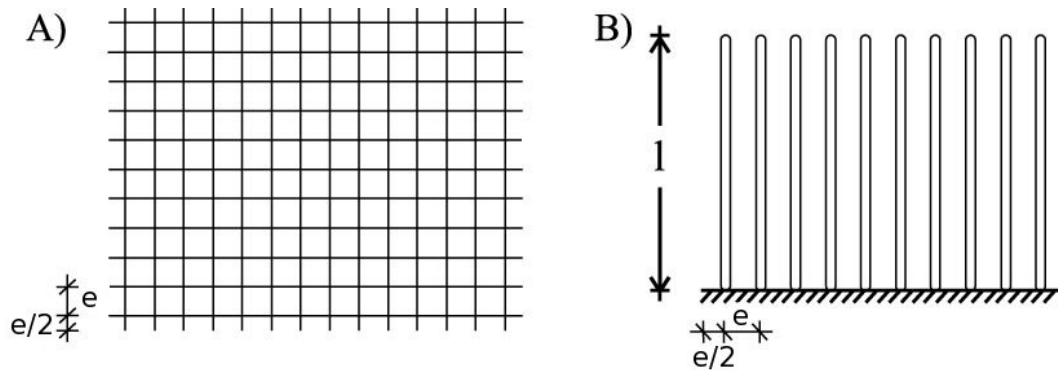


Figura 4.6 – (a) Esquema da malha metálica utilizada como suporte à fixação das cordas de nylon, em vista superior e (b) Vista lateral, já com as cordas fixadas

4.4.1 Modelo numérico

Para analisar a parcela dinâmica, como descrito anteriormente, Vasco (2005) recorre à analogia do comportamento do organismo com problemas dinâmicos conhecidos. Problemas dinâmicos simples (como é o caso do modelo massa-mola) não podem ser usados, uma vez que a restrição para apenas um grau de liberdade simplifica demasiadamente o elemento estudado.

Tentar representar a dinâmica dos organismos aquáticos por vigas parece uma idéia intuitiva, mas contrária à realidade em alguns aspectos. Com essa analogia, surge a necessidade de extrair do organismo estudado parâmetros físicos característicos de vigas (como, por exemplo, o módulo elástico à flexão E_S). A obtenção desses parâmetros fica comprometida principalmente quando se trata de organismos frágeis, que não possuem sustentabilidade própria (dependem do empuxo para permanecerem na vertical).

Existem trabalhos na literatura, de cunho essencialmente experimentalista, que buscam maneiras de determinar parâmetros físicos da vegetação (FREEMAN et al., 2000) e organismos similares (GAYLORD et al., 2001). Quando dados são escassos, esses tipos de trabalhos podem ser usados para obter estimativas quantitativas para certos parâmetros físicos.

Na parte numérica foram avaliados os aspectos dinâmico e energético. Entretanto, Vasco (2005) utilizou nas simulações um tipo de vegetação com características semelhantes à de um coral, (características do vegetal com menor flexibilidade e maior rigidez). O aspecto dinâmico foi quantificado através da aplicação de esforços instantâneos, verificando o comportamento do organismo, assim como a influência de alguns parâmetros. O aspecto energético foi avaliado através da relação entre alturas de onda. A Figura 4.7 representa os parâmetros utilizados.

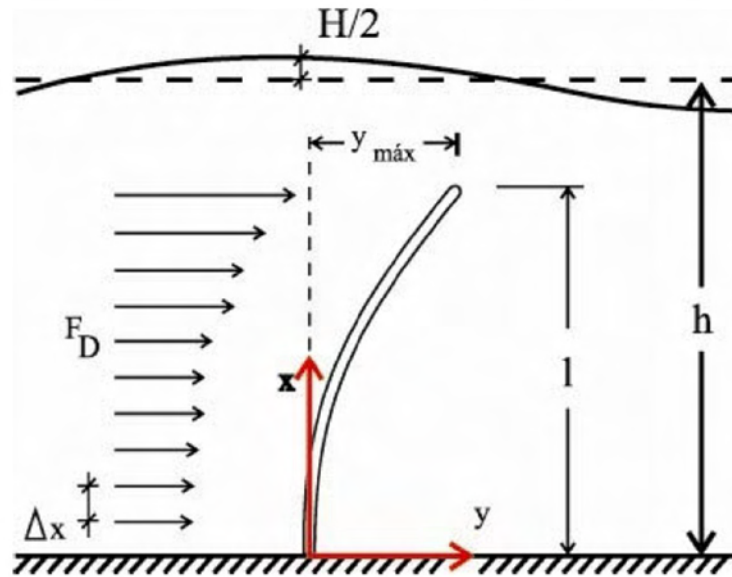


Figura 4.7 – Elemento submetido a um carregamento hidrodinâmico, modelado como uma viga engastada

A vegetação transforma a energia cinética absorvida em movimento. A quantificação desses esforços baseia-se nas equações de Morison², que foi concebida para observar os esforços exercidos pelas ondas em pilares.

² As Forçantes transientes utilizadas na presente dissertação (**CAPÍTULO 6**) são baseadas nas forças de arrasto e de inércia (equações de Morison), conforme indicado em 4.1:

$$\vec{F} = \vec{F}_D + \vec{F}_I \quad (4.1)$$

$$\vec{F} = \frac{1}{2} C_d \rho A \vec{u} |\vec{u}| + C_M \rho V \frac{d\vec{u}}{dt}$$

onde: $\vec{F}_D$ é o vetor força de arrasto; $\vec{F}_I$ é o vetor força de inércia; C_d é o coeficiente de arrasto; ρ é a massa específica do fluido; A é a projeção da área normal ao escoamento; $\vec{u}$ é o vetor velocidade; C_M é o coeficiente de inércia; V é o volume ocupado pelo corpo; e $d\vec{u}/dt$ é a aceleração total.

Em Vasco (2005), alguns desses parâmetros foram determinados experimentalmente, como é o caso da Área e do Volume, outros foram obtidos ajustando o modelo numérico até que o organismo simulado concedesse valores observados experimentalmente, como é o caso do coeficiente de arrasto C_d . Assim, no **CAPÍTULO 6** as forçantes utilizadas serão as resultantes obtidas pelo modelo numérico de Vasco (2005).

No estudo do tema em questão, Vasco (2005) desenvolveu um programa em *linguagem C* que, ao ser executado, soluciona as equações tanto do aspecto dinâmico quanto do energético. O item 4.4.1 contempla os passos que foram seguidos para a operacionalização e familiarização com o código numérico.

4.4.1 Operacionalização do código numérico

Passo 1 – Primeiramente é necessário gerar um arquivo de texto, em extensão *.txt* nomeado como “entrada”, como todos os dados de entrada necessários, como pode ser visto a seguir:

DADOS DE ENTRADA

Δx = incremento espacial (m); altura do organismo = $10 * DX$;
 Δt = incremento temporal (s);
 E_s = módulo elástico à flexão (N/m^2);
 n_{sond} = número de sondas espaçadas igualmente no campo de organismos;
 p = massa específica do organismo (Kg/m^3);
 h = lâmina normal – profundidade (m);
 T = período da onda (s);
 H = altura da onda (m);
 lc = extensão do campo de organismos (m);
 d = diâmetro do organismo (m);
 Cd = coeficiente de arrasto;
 ep = espaçamento entre organismos (m).

Passo 2 – Juntar o arquivo de texto “entrada” com o arquivo de execução do programa, em seguida executar o programa,

Passo 3 – O programa pedirá o tipo de carregamento a ser submetido, dando a opção de carregamentos diversos ou gerado por ondas, portanto escolhe-se uma opção.

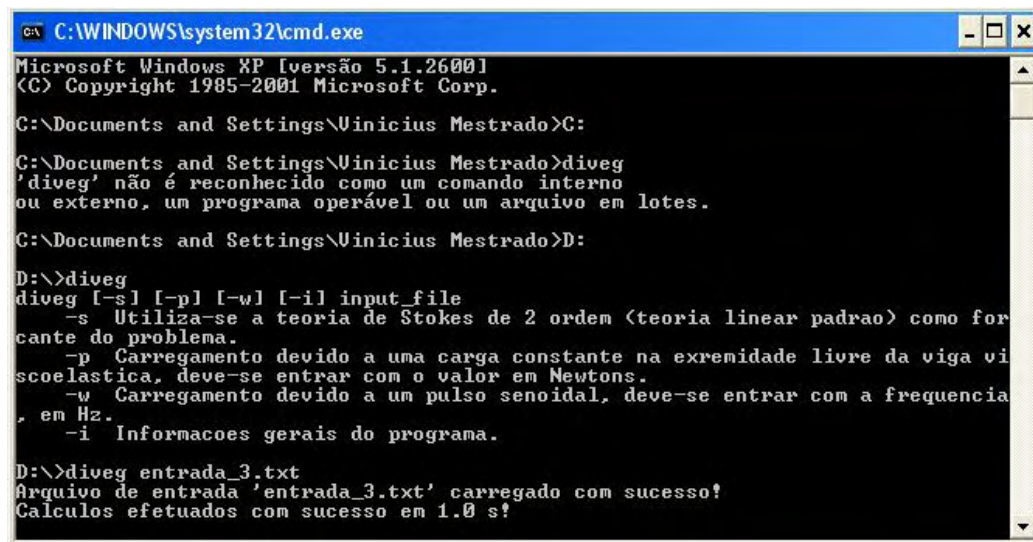
Passo 4 – Em seguida o programa pedirá a opção de excitação da planta, dando as opções carregamento pontual constante ou meio-pulso senoidal, portanto, escolhe-se uma opção.

Passo 5 – Em seguida o programa pedirá o valor do carregamento, se anteriormente escolheu-se carregamento pontual, ou pedirá o valor da frequência única do carregamento, se anteriormente foi escolhida a opção carregamento meio pulso senoidal.

Passo 6 – A seguir, o programa pedirá para escolher quais os relatórios a serem gerados, dando as opções, todos os resultados, nenhum resultado extra ou fazer uma seleção, portanto escolhe-se uma opção.

Passo 7 – Após a escolha dos tipos de relatórios, esses relatórios serão gerados na forma de arquivo único para cada um, e serão enviados para a mesma pasta onde o arquivo de texto de entrada está juntamente com o arquivo de execução do programa.

Ao executar (em DOS, Figura 4.8) o programa criado por Vasco (2005), já com a inserção dos dados de entrada em um arquivo chamado *entrada_3.txt* (Figura 4.9), vários arquivos são gerados no mesmo diretório onde se localiza o programa.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [versão 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Vinicius Mestrado>C:

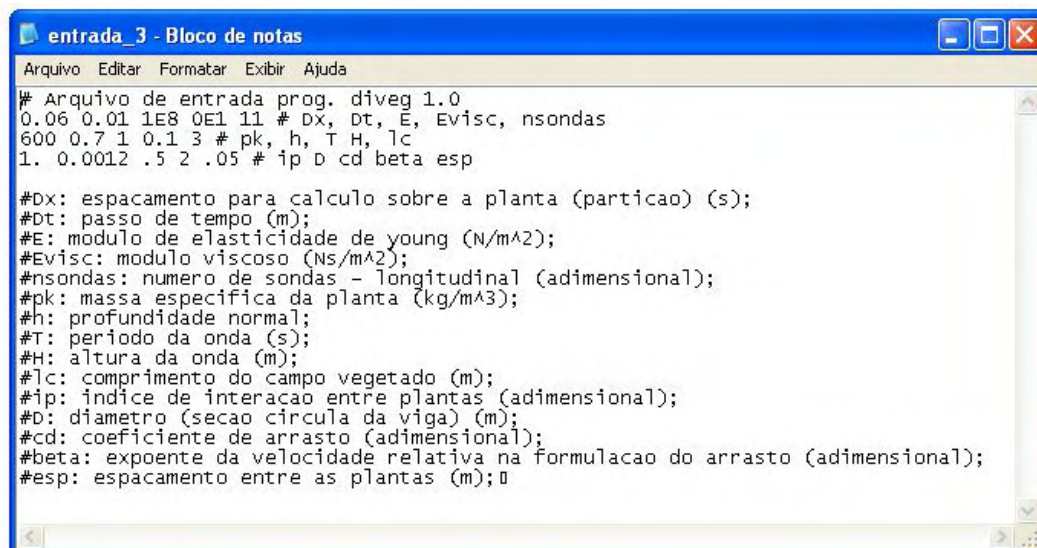
C:\Documents and Settings\Vinicius Mestrado>diveg
'diveg' não é reconhecido como um comando interno
ou externo, um programa operável ou um arquivo em lotes.

C:\Documents and Settings\Vinicius Mestrado>D:

D:\>diveg
diveg [-s] [-p] [-w] [-il input_file]
-s Utiliza-se a teoria de Stokes de 2 ordem <teoria linear padrao> como for-
cante do problema.
-p Carregamento devido a uma carga constante na extremidade livre da viga vi-
scoelastica, deve-se entrar com o valor em Newtons.
-w Carregamento devido a um pulso senoidal, deve-se entrar com a frequencia
, em Hz.
-i Informacoes gerais do programa.

D:\>diveg entrada_3.txt
Arquivo de entrada 'entrada_3.txt' carregado com sucesso!
Calculos efetuados com sucesso em 1.0 s!
  
```

Figura 4.8 – Tela do DOS e execução do programa de Vasco (2005)



```

# Arquivo de entrada prog. diveg 1.0
0.06 0.01 1E8 0E1 11 # DX, Dt, E, Evisc, nsondas
600 0.7 1 0.1 3 # pk, h, T H, lc
1. 0.0012 .5 2 .05 # ip D cd beta esp

#DX: espacamento para calculo sobre a planta (particao) (s);
#Dt: passo de tempo (m);
#E: modulo de elasticidade de young (N/m^2);
#Evisc: modulo viscoso (Ns/m^2);
#nsondas: numero de sondas - longitudinal (adimensional);
#pk: massa especifica da planta (kg/m^3);
#h: profundidade normal;
#T: periodo da onda (s);
#H: altura da onda (m);
#lc: comprimento do campo vegetado (m);
#ip: indice de interacao entre plantas (adimensional);
#D: diametro (secao circula da viga) (m);
#cd: coeficiente de arrasto (adimensional);
#beta: expoente da velocidade relativa na formulacao do arrasto (adimensional);
#esp: espacamento entre as plantas (m);
  
```

Figura 4.9 – Arquivo de inserção dos dados de entrada no programa

Os arquivos criados podem ser visto na Figura 4.10, junto com o arquivo de entrada de dados (*entrada_3.txt*) e o arquivo de execução do programa (*diveg*). Dentre os arquivos criados pelo programa, os de maior interesse para nosso problema são: altura, ângulo e força, que também podem ser visto na mesma ilustração.

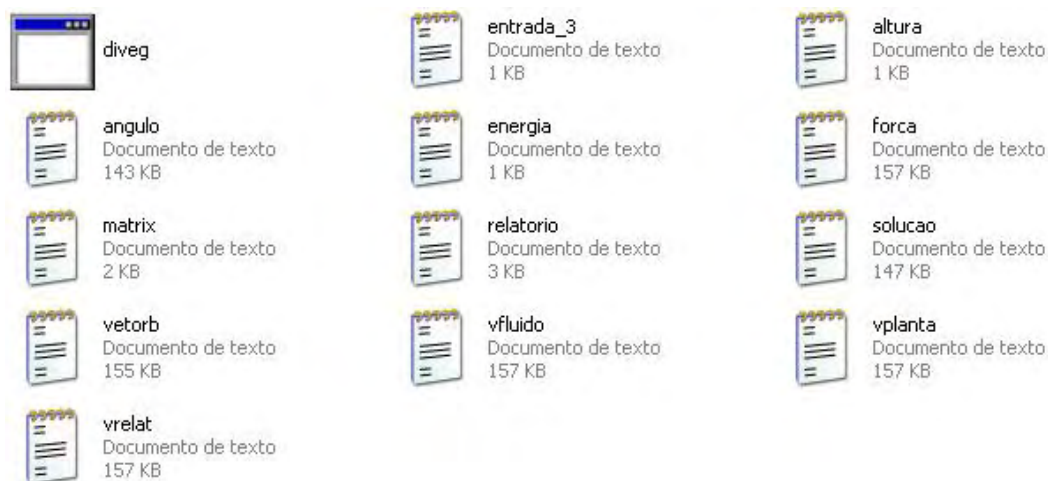


Figura 4.10 – Visualização dos arquivos criados pelo programa de Vasco (2005)

Na parte experimental, Vasco (2005) analisou os aspectos dinâmico e energético da vegetação simulada por cordas de nylon (representando a *B. subquadrípara*, espécie encontrada no reservatório de Ilha Solteira). O aspecto dinâmico foi quantificado através do deslocamento do nó superior da corda de nylon (ponta da corda). O aspecto energético foi quantificado através da relação entre a altura registrada por sensores resistivos em diversos pontos do campo de elementos e a altura incidente (altura de onda inicial que incide no campo de elementos).

4.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS E NOVA MODELAGEM

Além de apresentar modelos da literatura sobre interação onda-vegetação, emitindo pareceres com relação às diferentes abordagens e maneiras de solucionar o problema, Vasco (2005) apresentou um modelo próprio, desenvolvido a partir de uma vocação regional e constatação de ocorrência do fenômeno em lagos de barragens.

Vasco (2005) mostrou que os resultados experimentais obtidos, com relação à dinâmica, quando da simulação da vegetação presente no sítio de estudo (margens do reservatório de Ilha Solteira-SP) por cordas de nylon, quando comparados com seus resultados do modelo numérico e teóricos, mostra que há uma boa concordância no deslocamento numérico e experimental. Com relação às velocidades, a acurácia é menor, fato esse atribuído à medida indireta da velocidade: cinematografia, ou seja, medida de deslocamentos pelo tempo no vídeo (LIMA, 2005).

Pode-se afirmar, então, que o modelo numérico desenvolvido tem potencialidades e pode ser aplicado como uma ferramenta de apoio na modelagem do fundo vegetado tratado linearmente. Porém, um estudo acerca da não-linearidade do problema deve ser abordado, podendo fornecer resultados interessantes.

CAPÍTULO 5

ABORDAGEM NÃO-LINEAR DO FUNDO VEGETADO

5.1 ABORDAGEM NÃO-LINEAR DO FUNDO VEGETADO

Para abordagem não-linear a seguir, realizou-se a modelagem com o auxílio de programas e *software* comerciais, visto a dificuldade de progredir o assunto criando códigos computacionais próprios considerando a não-linearidade das equações.

Esta parte do projeto tem como enfoque principal tratar numericamente os efeitos não-lineares decorrentes de deslocamentos e deformações expressivas de organismos vivos (plantas) engastados no fundo, quando submetidos à ação dinâmica de ondas gravitacionais em águas restritas de lagos de barragens.

Tal constatação deriva, como já citado, de observação experimental tanto sobre sítios reais (margens do lago da barragem de Ilha Solteira), quanto de experimentos realizados em canais de onda, a partir da observação da movimentação de materiais representativos da vegetação.

Assim exposto, pretende-se contribuir na melhoria do *software* desenvolvido na dissertação de mestrado de Vasco (2005), através da implementação e testes de validação de termos não-lineares do modelo de movimentação da vegetação sob a forçante da onda.

Procurou-se avaliar o efeito da onda incidente sobre o organismo (aspecto dinâmico). Tal efeito é a dissipação de energia, avaliada em termos da redução da altura da onda, e investigado em termos da oscilação adquirida pelo organismo. Assim, foi empreendida uma analogia dos organismos como sendo vigas viscoelásticas engastadas. A imagem da Figura 5.1

ilustra a vegetação e demais organismos aquáticos semelhantes, que habitam os fundos de corpos d'água de barragens.



Figura 5.1 – Organismos aquáticos presentes nas margens do lago de Ilha Solteira

Retomando o assunto, foi feita uma pesquisa em campo no intuito de saber quais tipos de vegetais estão comumente presentes em lagos. Neste caso, a barragem de Ilha Solteira, sendo constatado que há uma grande concentração de vegetação do tipo *Braquiárias subquadríparas* (detalhada na Figura 5.1). Procurou-se avaliar o efeito da onda incidente sobre o organismo (aspecto dinâmico). Tal efeito é a dissipação de energia, avaliada em termos da redução da altura da onda, e investigado em termos da oscilação adquirida pelo organismo.

Com base no que foi dito anteriormente, na modelagem computacional, os organismos vivos presentes no fundo do reservatório são tratados como sendo vigas viscoelásticas engastadas na extremidade inferior, e uma vez caracterizado do ponto de vista biomecânico (módulo elástico, módulo viscoso, comprimento, diâmetro, etc), pretende-se determinar os deslocamentos y e as taxas de deformação dy/dx , devido a ação de diversas forçantes $p(x,t)$, como relatado em Moraes et al. (2009).

No que diz respeito à movimentação da vegetação, esta é tratada sob o aspecto dinâmico, onde o carregamento externo será dado pela forçante (fazendo uma analogia à onda) da onda que se propaga sobre a vegetação. Posteriormente, com o auxílio de um ondógrafo direcional, poderíamos tratar o aspecto energético, dado pelo cômputo de energia debitada da onda para movimentar a planta a partir da medida de ondas a montante do campo vegetado, dentro e a jusante do mesmo.

A calibração será atendida quando a movimentação da vegetação produzida pelo

modelo for semelhante e conferir ordens de grandeza dos valores observados nos experimentos de campo, e na ausência desses, em resultados de laboratório.

5.1.1 Modelagem no programa *ANSYS 9.0*

Os métodos computacionais foram inicialmente desenvolvidos na década de 1960 para resolver equações lineares e com interface bidimensional. No decorrer dos anos, os computadores possibilitaram o desenvolvimento de métodos tridimensionais e posteriormente, na década de 1970, resolução de equações de comportamento não-linear. Simulações eram restritas. Apenas supercomputadores tinham capacidade de resolver métodos e equações. Graças à evolução da informática e desenvolvimento de *software* com interface mais amigáveis, hoje, a simulação computacional é difundida em diversas áreas.

Dentre as vantagens da utilização de ferramentas computacionais de simulação numérica, estão:

- Baixo custo de aquisição e operação, já que as tecnologias computacionais vêm se tornando cada vez mais acessíveis ao longo dos anos.
- Oferecem informações detalhadas sobre o estudo, com relativa facilidade de acesso aos dados de saída;
- Permitem a rápida mudança de parâmetros, otimizando a análise e interpretação;
- Podem simular detalhamento realístico da geometria em estudo; e
- Permitem o estudo de fenômenos de risco, sem oferecer risco ao usuário.

O *ANSYS* é um software que tem liderado a evolução das ferramentas de simulação virtual baseadas na tecnologia de Elementos Finitos. Pode ser utilizado nas mais diversas classes de problemas de engenharia. Possui soluções para as áreas mecânicas, escoamento de fluidos e outras. Pela diversificada capacidade do programa, o *ANSYS* possui habilidades para resolver vários tipos de análises estruturais. Os primeiros parâmetros desconhecidos calculados em uma análise de estruturas são deslocamentos e rotações. Outras quantidades, como deformações, tensões e força de reação, são derivadas então dos deslocamentos nodais.

As análises estruturais estão disponíveis apenas nos programas *ANSYS/Multiphysics*, *ANSYS/Mechanical*, *ANSYS/Structural*, e *ANSYS/Professional*.

Dentre os tipos de análises de estruturas que podem ser executadas com o *ANSYS*, a Análise Dinâmica Transiente é usada para determinar a resposta de uma estrutura às cargas arbitrariamente variáveis no tempo, nessa análise são permitidas as não-linearidades da análise estática.

Para a análise de uma estrutura, o *ANSYS* divide o procedimento em três etapas: “*Preprocessor*”, “*Solution*” e “*Postprocessor*”. Na primeira etapa, “*Preprocessor*”, é feita a modelagem da estrutura, a definição do tipo de elemento estrutural (viga, barras, placas, etc.), das constantes características do elemento e do tipo de material relacionado ao mesmo. Ainda nessa etapa, são numerados os nós e as barras. Na segunda etapa, “*Solution*”, é feita a definição dos tipos de forças atuantes na estrutura e suas condições de apoio e do tipo de análise escolhido. Feita a análise da estrutura, inicia-se a terceira etapa, “*Postprocessor*”, em que é feita a apresentação dos resultados da análise da etapa anterior. Só após as análises estáticas e/ou dinâmicas é que se pode utilizar o módulo de otimização e seus métodos e ferramentas. A seguir, um “passo a passo” será mostrado no intuito de familiarizar o leitor com o *software* escolhido.

Inicializando o programa ANSYS

Ao iniciar o programa *ANSYS*, uma tela como a imagem da Figura 5.2 é oferecida ao usuário, essa tela inicial do programa possui uma interface amigável e oferece inúmeras possibilidades e atalhos.

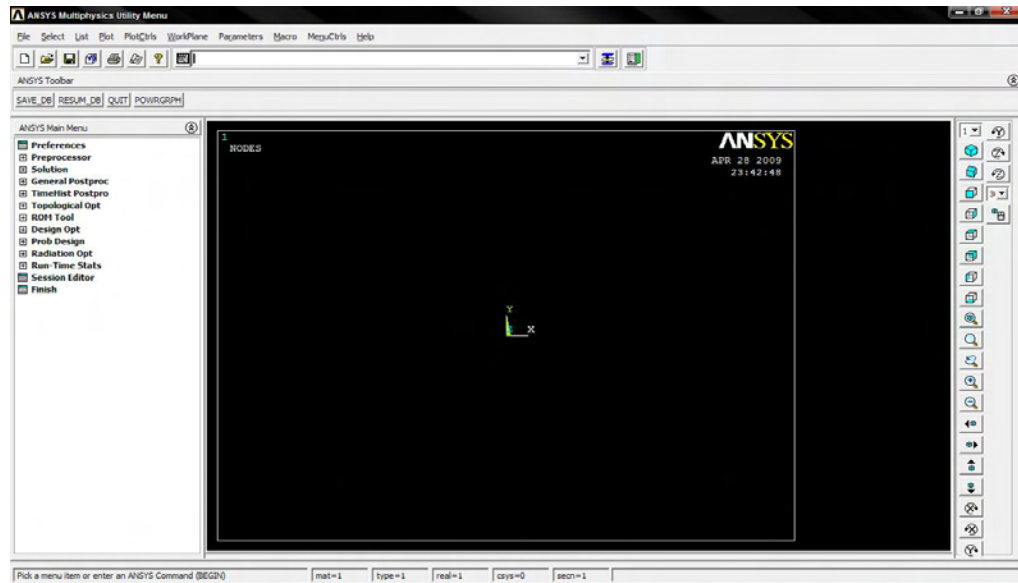


Figura 5.2 – Tela inicial do programa ANSYS

Há duas maneiras de simular algo com esse programa: a primeira é por comandos, deve-se nesse caso conhecer os comandos, pois são específicos do programa, a segunda é através de atalhos. Nesse caso não necessita de conhecer os comandos, pois os atalhos estarão inserindo os comandos automaticamente. Nas simulações presentes serão utilizadas as duas maneiras de inserção de dados.

Para o nosso caso particular, simulação do fundo vegetado de lagos sujeito à passagem de ondas, como é feito por várias etapas, decidiu-se separar por itens e descrever a forma que foi inserido os valores. Durante os passos a seguir, apenas uma planta será demonstrada, porém, estende-se a mesma formulação para várias plantas.

Dando título ao projeto

Iniciamos a simulação definindo um título ao projeto, “Simulação Fundo Vegetado”, essa inserção foi feita por comandos da seguinte forma: digita-se no “*Prompt de comando do ANSYS*” o comando seguido do nome do projeto, como mostra a Figura 5.3.

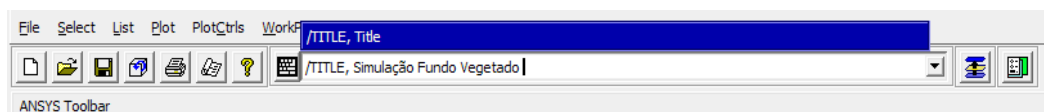


Figura 5.3 – Inserção por comando do título do projeto

Após inserir o comando, o título do projeto fica exposto na área de trabalho (parte inferior esquerda), como mostra a Figura 5.4, lembrando que o programa não aceita acentos.

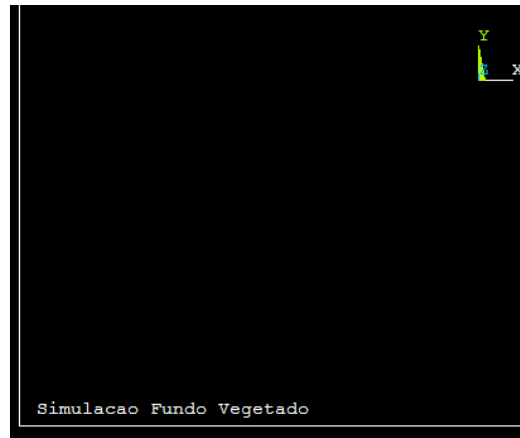


Figura 5.4 – Detalhe do título do projeto

Definindo unidades no Sistema Internacional

O próximo passo seria definir todas as unidades que serão inseridas durante a simulação no Sistema Internacional de Unidades. Esse passo foi feito por comandos da seguinte forma: Digita-se no “*Prompt de comando do ANSYS*” o comando seguido de SI, como mostra a Figura 5.5.

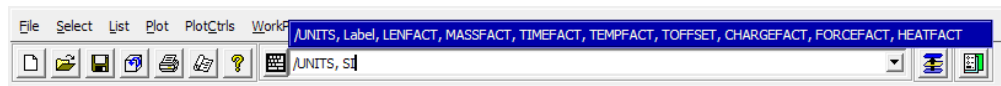


Figura 5.5 – Inserindo por comando as unidades no Sistema Internacional

Logo que o comando é aceito, todas as unidades dos valores inseridos na simulação estarão no SI.

A - Iniciando o “*Preprocessor*”

A.1 - Definindo a geometria

A.1.1 - Definindo pontos

Para definir os pontos utilizaram-se os atalhos disponíveis, através da seguinte sequência: *Preprocessor* → *Modeling* → *Create* → *Keypoints* → *In Active CS*, então digitam-se os valores dos pontos nos eixos coordenados, primeiro ponto 0,0,0 e segundo ponto 0,0.7,0 como mostra a Figura 5.6.

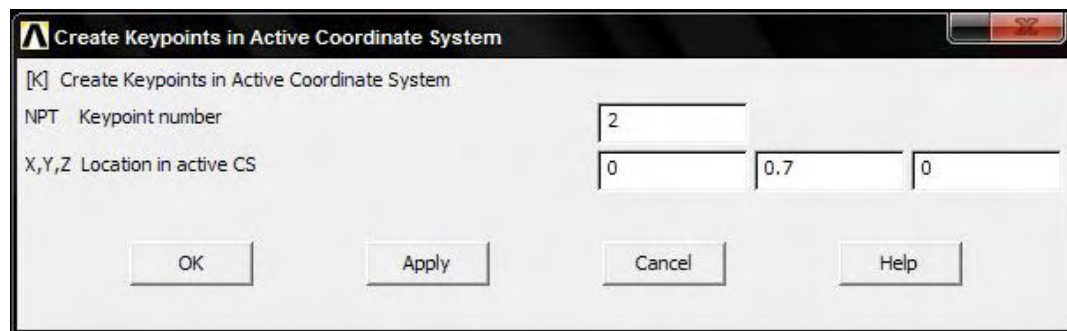


Figura 5.6 – Inserindo pontos

Ao ativar os pontos, os mesmos aparecem na área de trabalho do ANSYS como mostra a Figura 5.7.



Figura 5.7 – Resultado da inserção dos pontos

A.1.2 - Definindo linha entre os pontos

Utilizando o seguinte atalho: *Preprocessor* → *Modeling* → *Create* → *Lines Lines* → *In Active CS*, seleciona-se os dois pontos feitos no item anterior, A Figura 5.8 (a) ilustra a tela que possibilita a seleção dos pontos. Após selecionar os pontos, uma linha de 0,7m é criada unindo os mesmos, como mostra a Figura 5.8 (b).

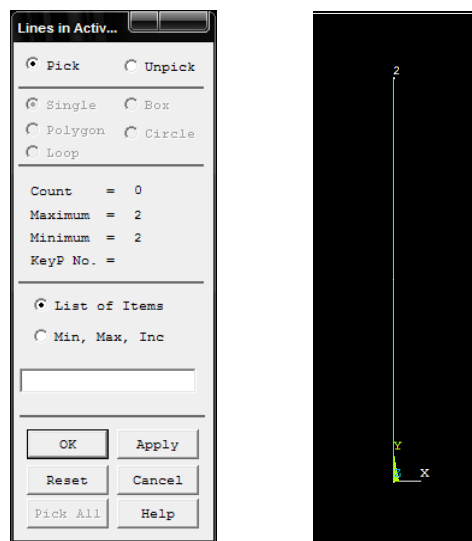


Figura 5.8 – (a) Tela anterior à seleção dos pontos e (b) Resultado da união entre os pontos

A.1.3 - Definição do material

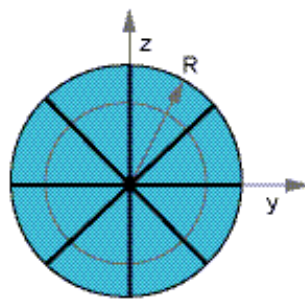
O material a ser utilizado nas presentes simulações deve possuir algumas propriedades particulares como: suportar grandes deslocamentos e viscoelasticidades.

Em se tratando da modelagem realizada através do **ANSYS**, o modelo constitutivo viscoelástico com propriedades de deslocamentos não-lineares não está implementado para todo o tipo de elemento. As não-linearidades provocadas pelas grandes deformações seguem a “*Teoria das Grandes Deformações*”. Os elementos que estão habilitados com o modelo viscoelástico são: elementos VISCO88 e VISCO89 para pequenas deformações viscoelásticas e elementos LINK180, SHELL181, PLANE182, PLANE183, SOLID185, SOLID186, SOLID187, SOLSH190, BEAM188, BEAM189, SHELL208, e SHELL209 para as pequenas

e grandes deformações viscoelásticas.

No presente caso será utilizado o elemento BEAM188. Dentre vários tipos de vigas que poderão ser selecionadas, necessitamos de um elemento circular e sólido (analogia à planta). A Figura 5.9 ilustra, em uma secção transversal, o elemento BEAM188 e suas propriedades geométricas.

Type: BEAM, Subtype: CSOLID



Data to be supplied in the value fields:

R, N, T

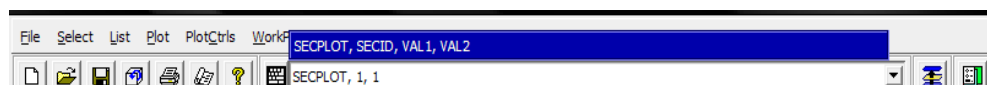
R = Radius

N = Number of divisions around the circumference.

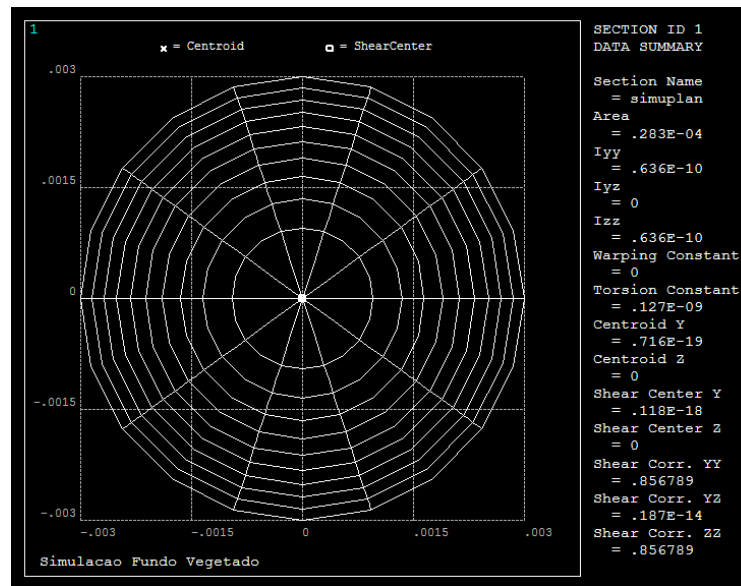
T = Number of divisions through the radius

Figura 5.9 – Elemento BEAM188 e suas propriedades geométricas

Existe um comando que verifica como a geometria do elemento viga é analisada pelo ANSYS. O comando em questão está representado na Figura 5.10 (a) e o respectivo efeito na Figura 10 (b).



(a)



(b)

Figura 5.10 – (a) Comando e (b) Efeito de visualização da geometria

Assim, a geometria até o momento é a seguinte: uma viga circular sólida de 0,7m de comprimento e 0,006m de diâmetro de secção transversal.

A.2 - Inserindo as propriedades do material

A.2.1 - Módulo de elasticidade e coeficiente de poisson

Para inserir as propriedades no elemento BEAM188 foi utilizado o atalho: *Preprocessor* → *Material Props* → *Material Models*, assim, uma tela como a Figura 5.11 aparece, seleciona-se → *Structural* → *Linear* → *Elastic* → *Isotropic* e uma tela como da Figura 5.12 lhe dará a possibilidade de inserir o Módulo de Elasticidade (*EX*) e o Coeficiente de Poisson.

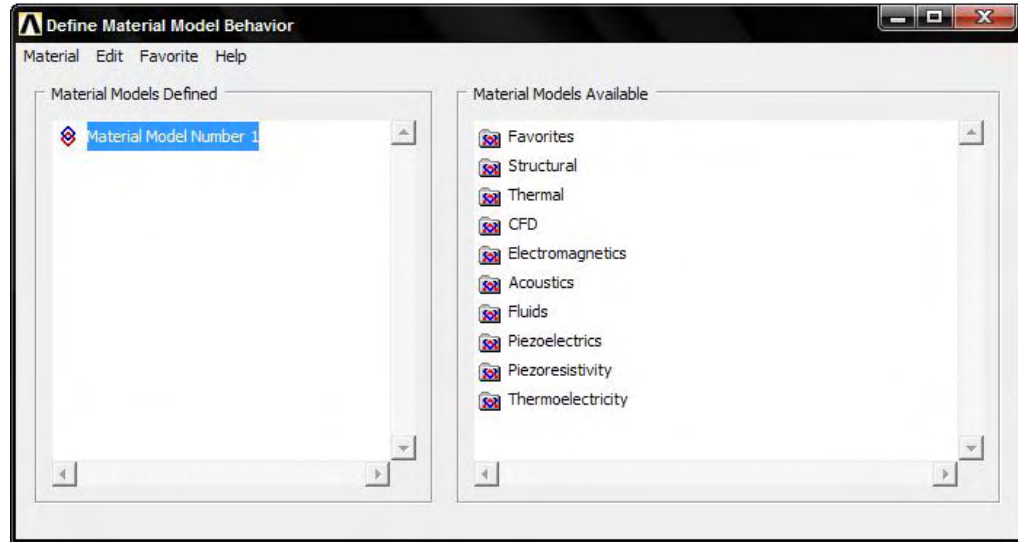


Figura 5.11 – Tela geral de inserção das propriedades do material

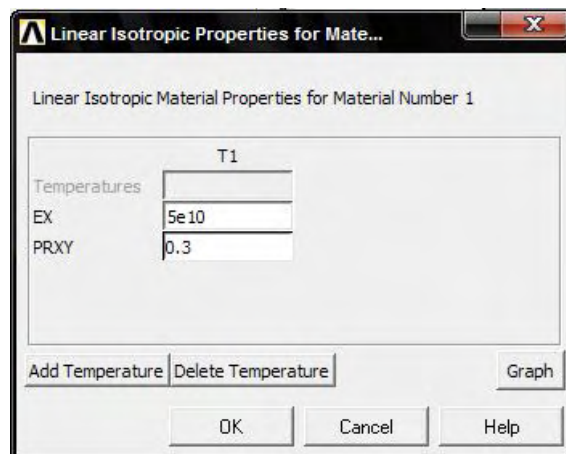


Figura 5.12 – Inserção de EX e Poisson

A.2.2 - Massa específica (Densidade)

Após a inserção dos valores como a da Figura 5.12, clica-se em ok para finalizar tal janela e voltar à janela da Figura 5.11. Assim, seleciona-se ➔ *Structural* ➔ *Density* para abrir a janela da Figura 5.13 que lhe dará a possibilidade de inserir a propriedade densidade. Nesse caso o valor inserido está mostrado na própria Figura 5.13.

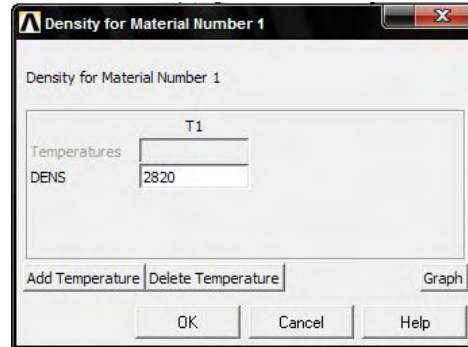


Figura 5.13 – Tela de inserção da propriedade densidade

A.2.3 - Viscoelasticidade

Ainda na tela geral de inserção de propriedades do material, a viscoelasticidade é uma propriedade de suma importância na simulação deste trabalho. Há 5 formas de inserir a viscoelasticidade (a partir da tela da Figura 5.11), utilizando o caminho: *Structural* → *Nonlinear* → *Viscoelastic*, que são: *Curve Fiting*, *Maxwell*, *Shear Response*, *Volumetric Response* e *Shift Function*, esses 3 últimos dentro de *Prony*.

Caso não possua dados experimentais para ajustar as curvas, o ideal é adotar uma função de fluência baseada na série de *Prony*. Nesse caso, a opção *Shear Response*, utiliza a série de *Prony* para prover a função de fluência com base no módulo de elasticidade cisalhante G . Os parâmetros de entrada seriam o valor inicial G e o tempo de relaxação τ , já a opção *Volumetric Response*, utiliza a série de *Prony* para prover a função de fluência com base no modelo de elástico volumétrico K (*Bulk moduli*).

Nesta simulação utilizou-se a opção *Shear Response* para inserir a viscoelasticidade na viga, como mostra a Figura 5.14.

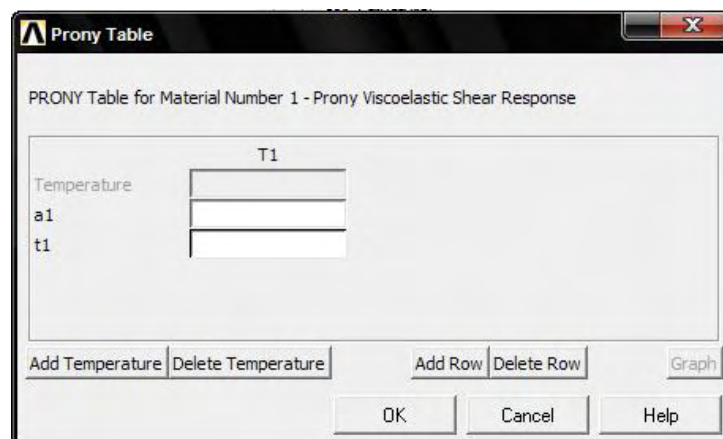


Figura 5.14 – Tela *Shear Response*, inserção da viscoelasticidade

Após a inserção das propriedades do material, o mesmo está caracterizado e o próximo passo é definir como o ANSYS analisará os efeitos provocados na estrutura. O número de divisões do elemento é extremamente importante para uma análise bem feita.

A.2.4 - Inserindo divisões do elemento (malhas)

Através do atalho: *Preprocessor* → *Meshing* → *Size Cntrls* → *ManualSize* → *Lines* → *All Lines*, uma tela como a da Figura 5.15 aparece e pode-se inserir o número de divisões do elemento. Nesse caso, o elemento foi dividido em 10 partes iguais, todas com 0,07m ao longo da viga.

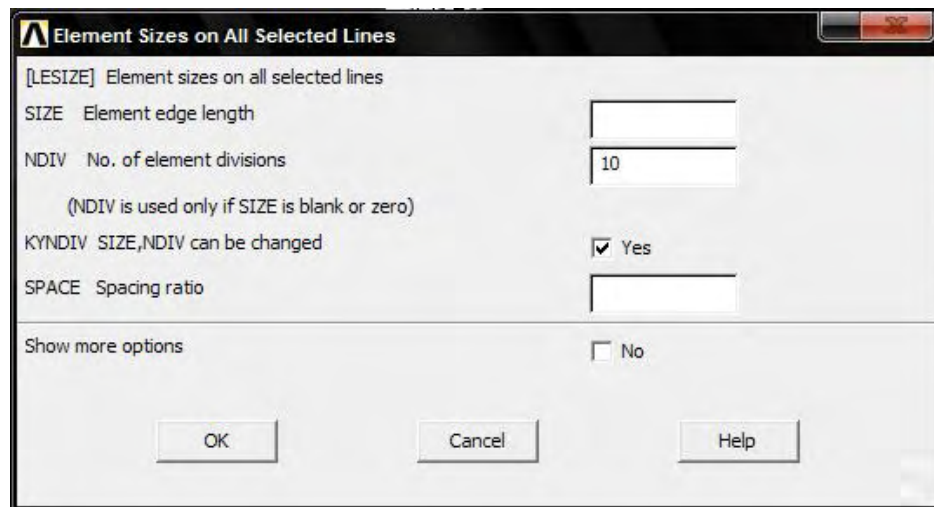


Figura 5.15 – Tela de inserção das malhas

Obs: essa divisão é ao longo da viga, as divisões da secção transversal já foram inseridas quando da escolha do elemento.

A.2.5 - Reagrupando a divisão do elemento

Após dividir o elemento em um número suficientemente pequeno (quanto mais divisões, maior o tempo de processamento), deve-se reagrupar os elementos, formando uma única linha, isso se faz pelo atalho: *Preprocessor* → *Meshing* → *Mesh* → *Lines*, assim uma

tela como a da Figura 5.16 (a) aparece e escolhe-se todas as divisões clicando em *Pick All*, A Figura 5.16 (b) mostra as 10 divisões do elemento realizada pelo ANSYS e a Figura 5.16 (c) ilustra o reagrupamento das mesmas.

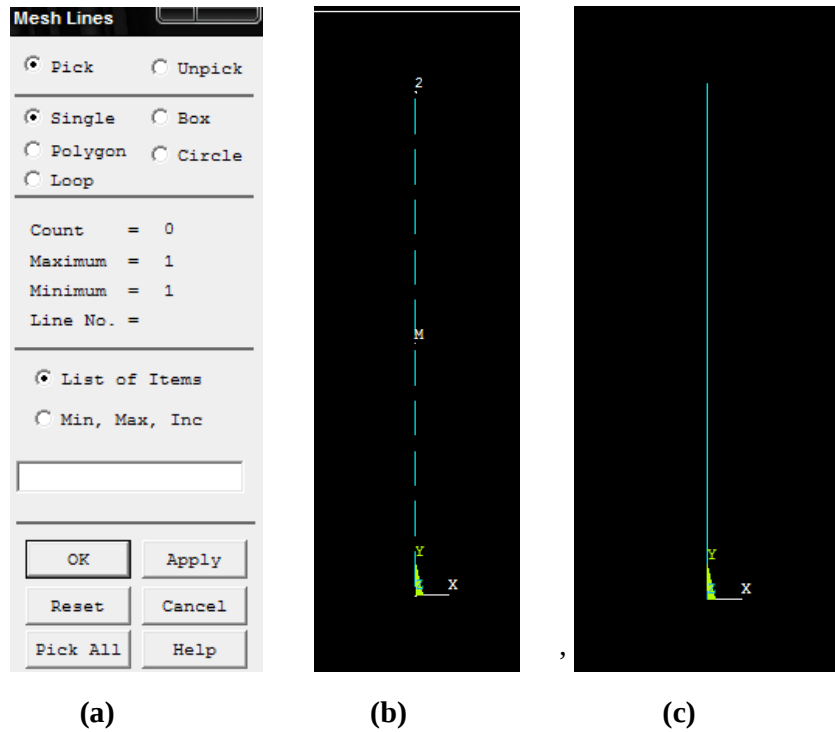


Figura 5.16 – (a) Tela anterior à escolha das divisões, (b) Malhagem da viga e (c) Reagrupamento dos elementos

B - Inicializando o “Solution”

B.1 - Inserindo o engaste na viga

Para a simulação do fundo vegetado, fazendo uma analogia às plantas presentes no fundo do lago, devem-se engastar as vigas em sua parte inferior. Assim, para inserir tal engaste, utiliza-se o atalho: *Solution* → *Define Loads* → *Apply* → *Structural* → *Displacement* → *On keypoints*, assim, uma janela como a da Figura 5.17 aparece.

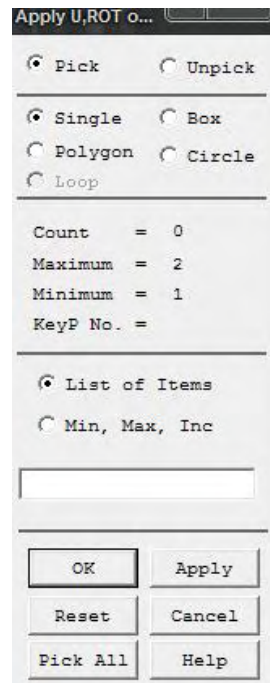


Figura 5.17 – Tela anterior à escolha do ponto de engaste

Seleciona-se o ponto inferior da viga e automaticamente uma tela como a Figura 5.18 lhe dá a opção de selecionar o tipo de engastamento, que pode ser ausência de deslocamentos nos eixos (x , y , z) ou ausência de rotação nos planos (xy , yz , xz). Em nosso caso, não existe deslocamento em nenhuma direção nem tão pouco rotação em algum plano. Assim seleciona-se o engaste total como detalha a Figura 5.18.

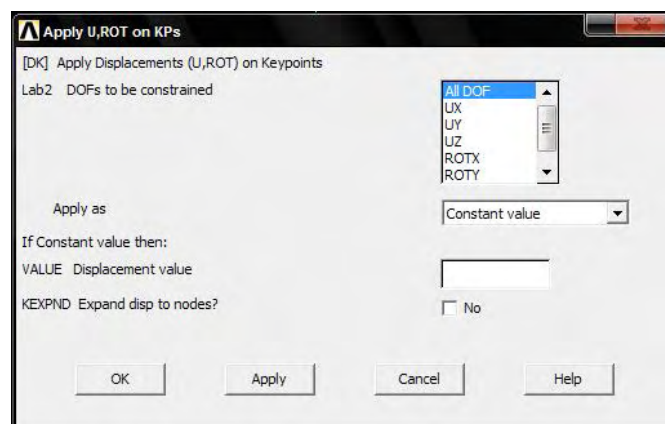


Figura 5.18 – Tela de escolha dos engastes

Escolhido o tipo de engaste, o mesmo é representado na estrutura da área de trabalho como mostra a Figura 5.19.

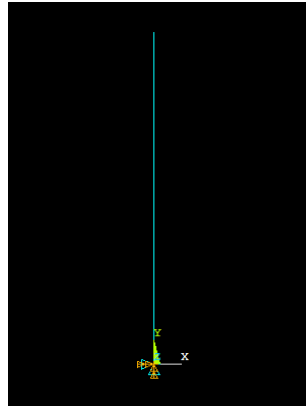


Figura 5.19 – Visualização da viga na área de trabalho

B.2 - Criando a função força

Para criar uma função força deve-se utilizar o atalho: *Parameters* → *Functions* → *Define/Edit*, e uma tela como a imagem da Figura 5.20 é mostrada, nessa tela define-se a função a ser utilizada pelo código, seja ela uma função constante ou variável no tempo. Logo após criar a função deve-se salvar a mesma.

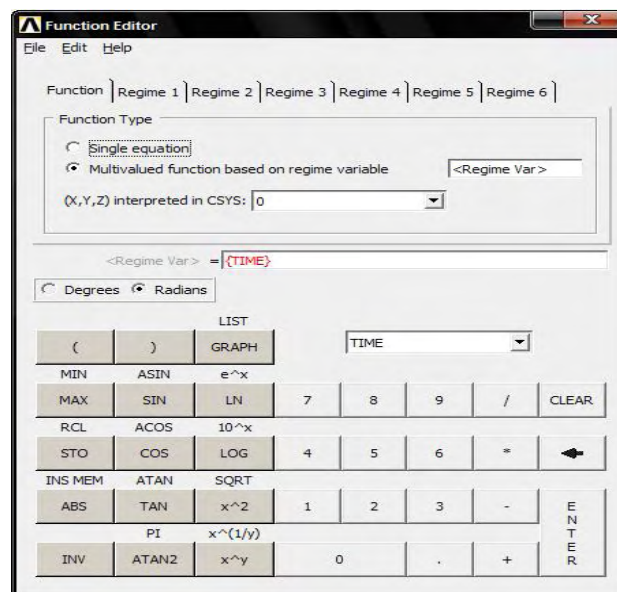


Figura 5.20 – Tela de criação de funções

B.3 - Carregando a função força

Para carregar uma função dentro do ANSYS, utiliza-se o atalho: *Parameters* → *Functions* → *Read From File*, assim escolhe-se o arquivo criado anteriormente, dá-se um nome à função e, se necessário, insere-se os valores das variáveis, dependendo da função feita, como mostra a Figura 5.21.

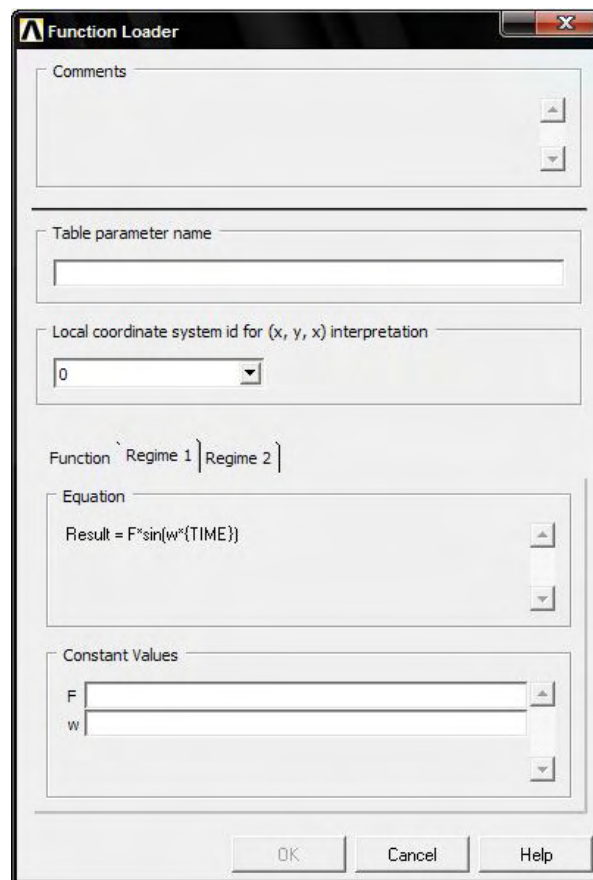


Figura 5.21 – Carregando uma função no ANSYS

B.4 - Aplicando a força

Analogamente à aplicação do engaste, para aplicar a força utiliza-se o atalho: *Solution* → *Define Loads* → *Apply* → *Structural* → *Force/Moment* → *On keypoints*, assim, uma janela como a da Figura 5.22 aparece e através dela pode-se escolher o ponto de aplicação da força, nesse caso, extremidade superior da viga.

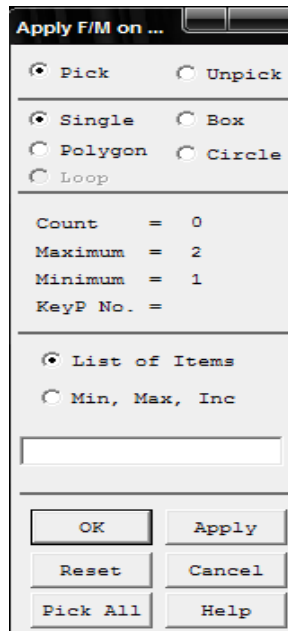


Figura 5.22 – Tela anterior à escolha do ponto de aplicação da força

Escolhido o ponto de aplicação da força, uma janela como a imagem da Figura 5.23 é mostrada e nela pode-se inserir o valor da força e eixo de aplicação da mesma. Como nesse caso a força será uma função, deve-se carregar (detalhe da Figura 5.23) a função força.

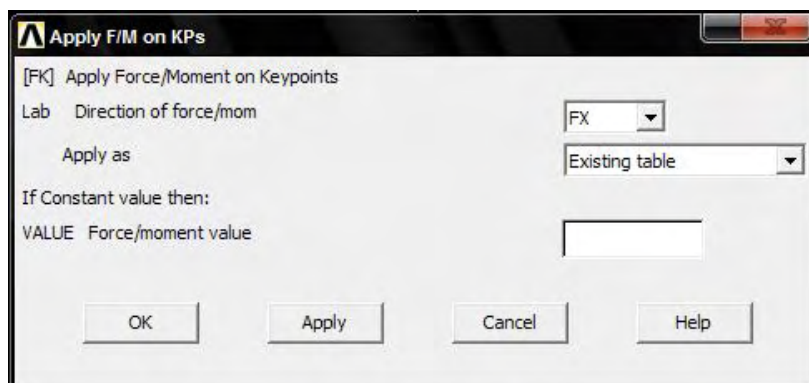


Figura 5.23 – Tela de inserção da força

Quando se opta por utilizar uma função, uma tela como a imagem da Figura 5.24 (a) é mostrada e nela estão presentes todas as funções carregadas previamente. Após inserir uma força na estrutura, a mesma é mostrada no ponto de aplicação escolhido, como mostra a Figura 5.24 (b).

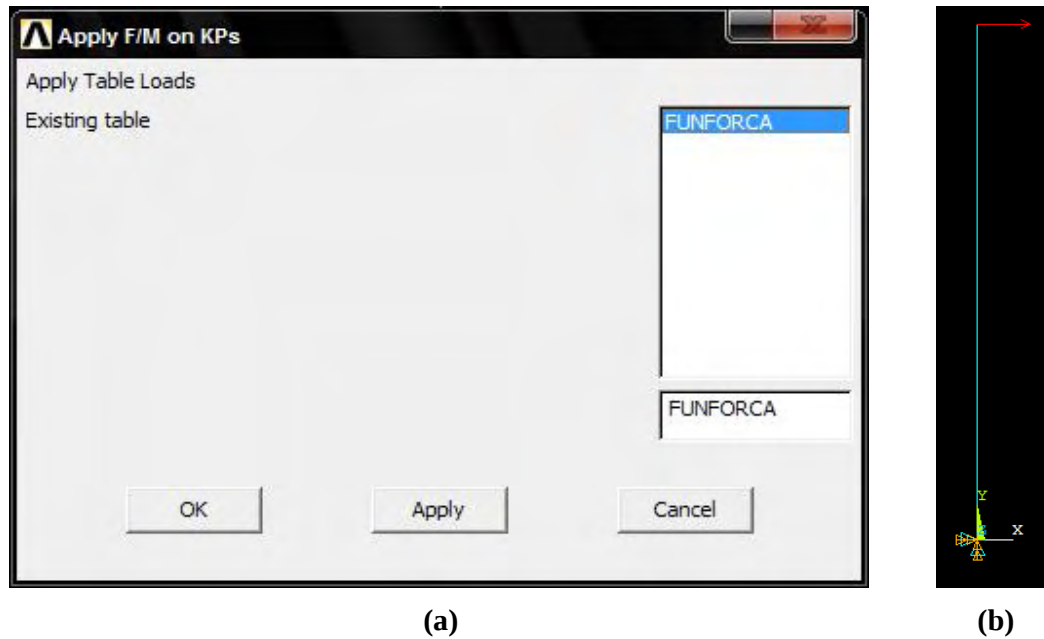


Figura 5.24 – (a) Tela de inserção da função força e (b) Visualização da viga na área de trabalho

B.5 - Escolhendo o tipo de análise

A escolha de uma análise transiente é feita pelo seguinte atalho: *Solution* → *Analysis Type* → *New Analysis*, culminando na janela da Figura 5.25.

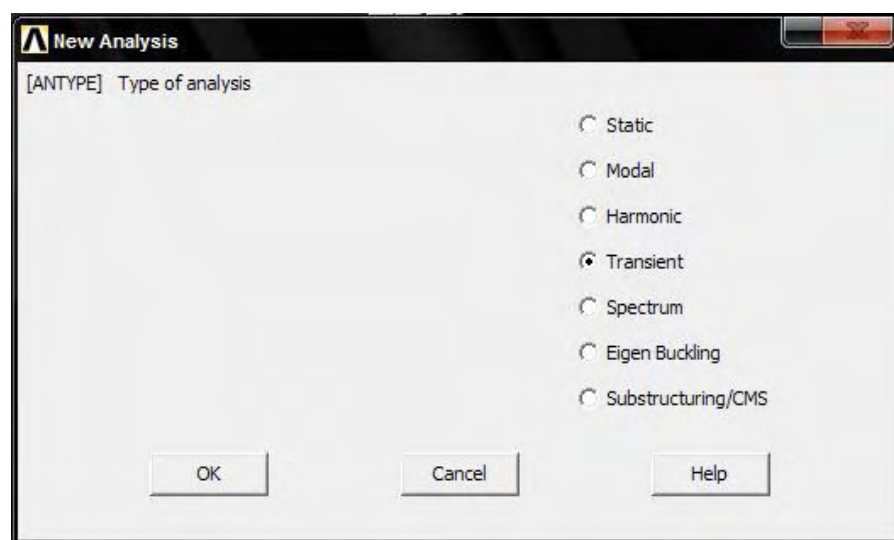


Figura 5.25 – Tela de seleção do tipo de análise

B.6 - Escolhendo a forma de análise

Pelo atalho: *Solution* → *Analysis Type* → *Sol'n Controls*, uma tela como a Figura 5.26 é acionada e a partir de tal tela pode-se inserir alguns parâmetros de análise da simulação como: tempo total de simulação, passo de tempo, não-linearidade transiente (grandes deformações), gravar todos os passos, etc. Os valores desses parâmetros inseridos na simulação estão demonstrados na Figura 5.26.

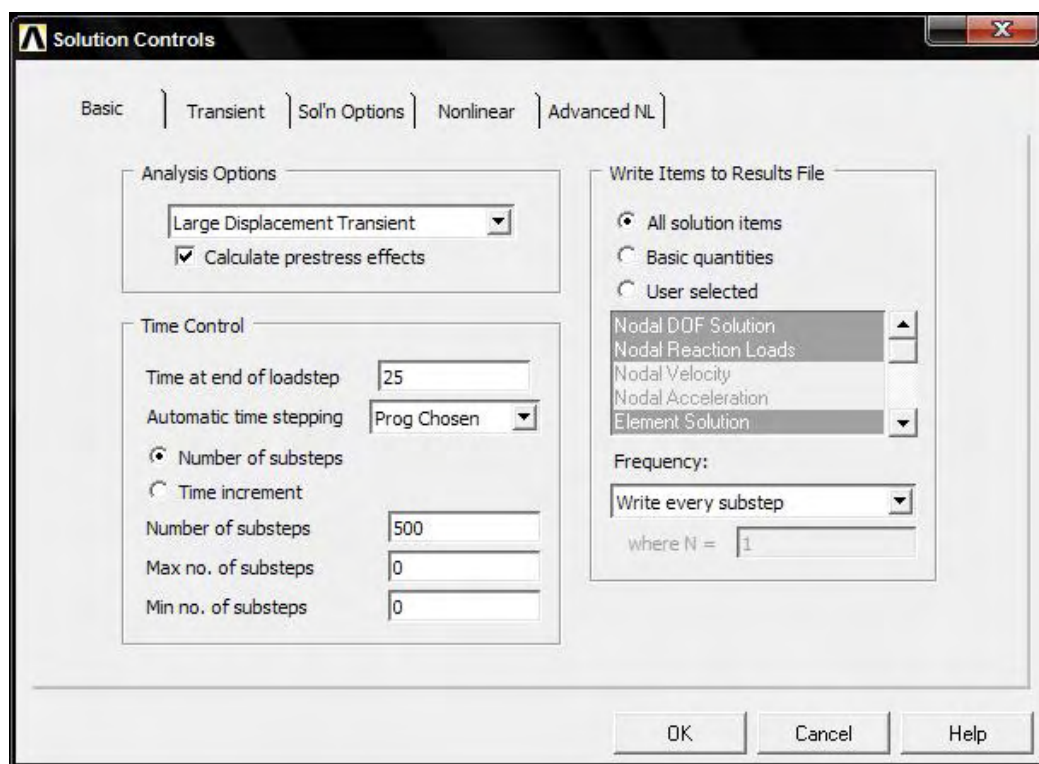


Figura 5.26 – Tela dos principais parâmetros de simulação

B.7 - Iniciando o solver

O *solver* é o início dos cálculos, É nesse momento que a simulação é solucionada, tal solução é iniciada através do atalho: *Solution* → *Solve* → *Current LS* como mostra a Figura 5.27, que contempla também o pequeno resumo da simulação que vai ser realizada (mostrada junto com o *Start* da simulação).

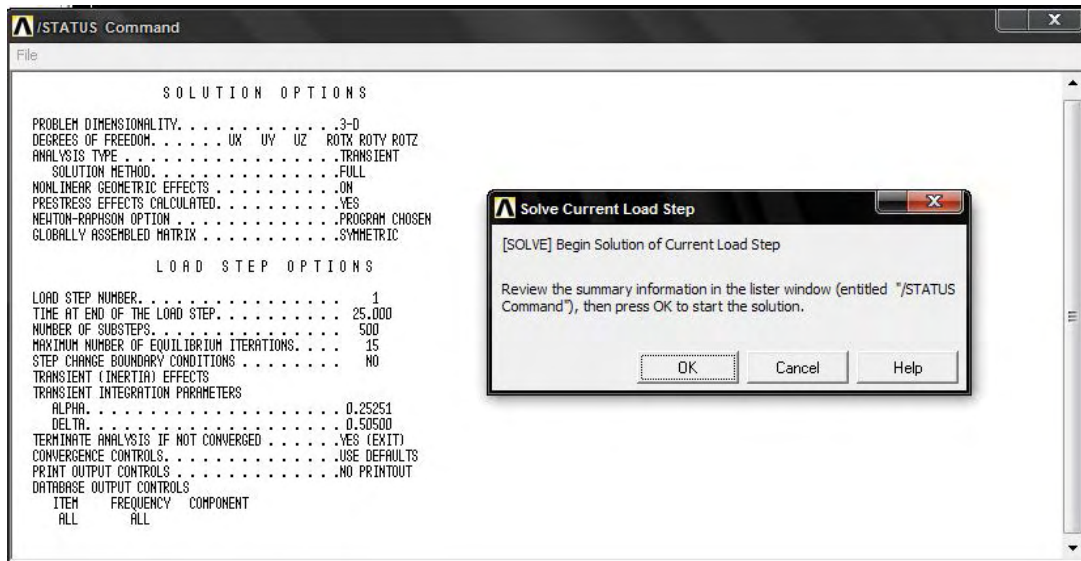


Figura 5.27 – Tela de solver

B.8 - Acompanhando o resolução do solver

Dependendo do tipo de análise inserida na simulação, algumas telas podem ser acompanhadas durante a solução do problema. Em nosso caso, como se trata de uma solução não-linear, um gráfico das iterações de convergência é mostrado enquanto a solução avança como mostra a Figura 5.28.

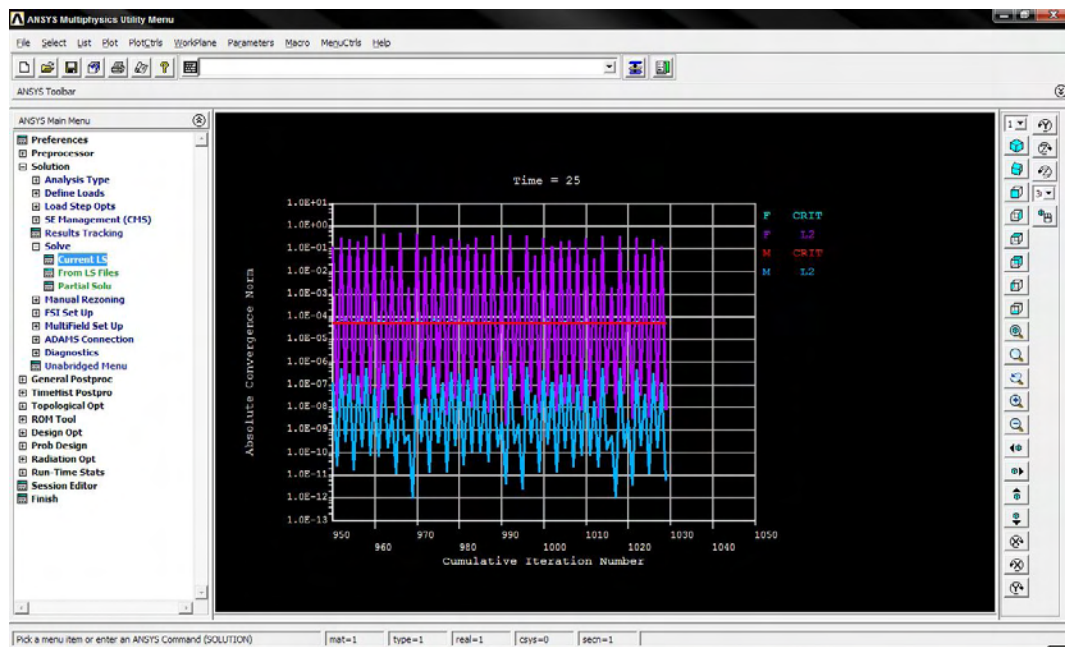


Figura 5.28 – Gráfico gerado durante as iterações de convergência

Quando se trata de uma simulação transiente, as iterações ao longo do tempo podem ser acompanhadas em uma janela que acompanha o ANSYS sempre que o programa é aberto. Aliás, essa janela demonstra tudo que se faz no programa, um exemplo desta janela durante uma simulação transiente está demonstrado na Figura 5.29.

```

ANSYS 9.0 Output Window

FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.1170      CRITERION= 0.6950E-03
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.6172E-06  CRITERION= 0.1850E-03
EQUIL ITER 1 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= -0.56
FORCE CONVERGENCE VALUE = 23.81        CRITERION= 0.1270E-02
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.3135E-03  CRITERION= 0.1533E-03
EQUIL ITER 2 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= -0.13
FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.4490E-03  CRITERION= 0.6197E-03 <<<
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.1200E-05  CRITERION= 0.1571E-03 <<<
>>> SOLUTION CONVERGED AFTER EQUILIBRIUM ITERATION 2
*** LOAD STEP 1 SUBSTEP 117 COMPLETED. CUM ITER = 264
*** TIME = 5.85000 TIME INC = 0.500000E-01
*** RESPONSE FREQ = 8.890 PERIOD= 0.1125 PTS/CYC = 2.2
*** AUTO STEP TIME: NEXT TIME INC = 0.50000E-01 UNCHANGED

FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.7743E-01  CRITERION= 0.5936E-03
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.1208E-05  CRITERION= 0.1508E-03
EQUIL ITER 1 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= 0.10
FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.7434E-02  CRITERION= 0.6033E-03
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.6622E-07  CRITERION= 0.1476E-03 <<<
EQUIL ITER 2 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= -0.46
FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.1599E-06  CRITERION= 0.6152E-03 <<<
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.3997E-10  CRITERION= 0.1507E-03 <<<
>>> SOLUTION CONVERGED AFTER EQUILIBRIUM ITERATION 2
*** LOAD STEP 1 SUBSTEP 118 COMPLETED. CUM ITER = 266
*** TIME = 5.90000 TIME INC = 0.500000E-01
*** RESPONSE FREQ = 7.791 PERIOD= 0.1283 PTS/CYC = 2.6
*** AUTO STEP TIME: NEXT TIME INC = 0.50000E-01 UNCHANGED

FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.1160      CRITERION= 0.6686E-03
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.6166E-06  CRITERION= 0.1447E-03
EQUIL ITER 1 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= 0.55
FORCE CONVERGENCE VALUE = 23.20        CRITERION= 0.1247E-02
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.3005E-03  CRITERION= 0.1897E-03
EQUIL ITER 2 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= 0.13
FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.4383E-03  CRITERION= 0.6704E-03 <<<
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.1178E-05  CRITERION= 0.1942E-03 <<<
>>> SOLUTION CONVERGED AFTER EQUILIBRIUM ITERATION 2
*** LOAD STEP 1 SUBSTEP 119 COMPLETED. CUM ITER = 268
*** TIME = 5.95000 TIME INC = 0.500000E-01
*** RESPONSE FREQ = 8.850 PERIOD= 0.1130 PTS/CYC = 2.3
*** AUTO STEP TIME: NEXT TIME INC = 0.50000E-01 UNCHANGED

FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.8125E-01  CRITERION= 0.6290E-03
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.1039E-05  CRITERION= 0.1865E-03
EQUIL ITER 1 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= -0.14
FORCE CONVERGENCE VALUE = 1.662        CRITERION= 0.6628E-03
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.6643E-05  CRITERION= 0.9617E-04 <<<
EQUIL ITER 2 COMPLETED. NEW TRIANG MATRIX. MAX DOF INC= 0.62
FORCE CONVERGENCE VALUE = 0.3170E-04  CRITERION= 0.5623E-03 <<<
MOMENT CONVERGENCE VALUE = 0.3744E-07  CRITERION= 0.9837E-04 <<<
>>> SOLUTION CONVERGED AFTER EQUILIBRIUM ITERATION 2

```

Figura 5.29 – Tela “DOS” que acompanha o ANSYS

Ao finalizar a simulação com sucesso, uma mensagem como a da Figura 5.30 aparecerá, mostrando que os dados inseridos no ANSYS foram interpretados pelo mesmo corretamente.

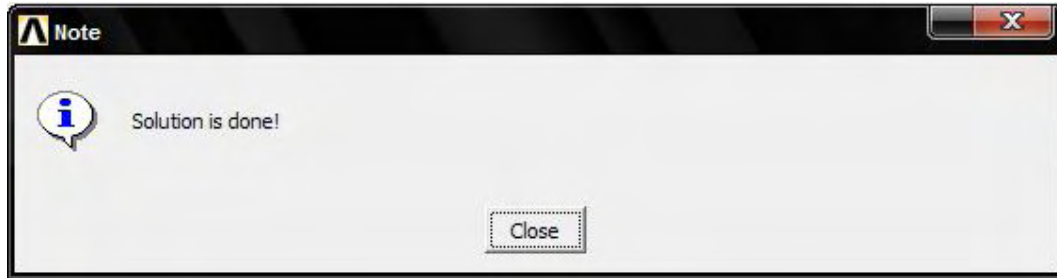


Figura 5.30 – Nota de solução realizada com sucesso

C - Inicializando o “Postprocessor”

C.1 - Plotando a maior deformação da estrutura

Através do atalho: *General Postproc* → *Plot Results* → *Deformed Shape* pode-se plotar a maior deformação ocorrida pela estrutura durante a simulação, bastando para isso apenas escolher o tipo de deformação: somente estrutura deformada, estrutura deformada + estrutura não deformada, etc. A tela de seleção do tipo de deformação a ser exibida é mostrada na Figura 5.31 e a estrutura deformada acompanhada da viga não deformada é ilustrada na Figura 5.32.

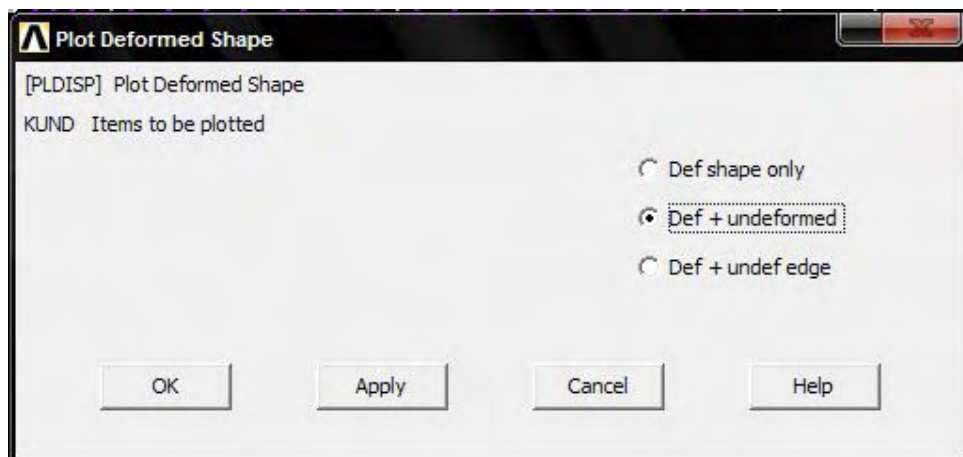


Figura 5.31 – Tela de seleção do tipo de deformação

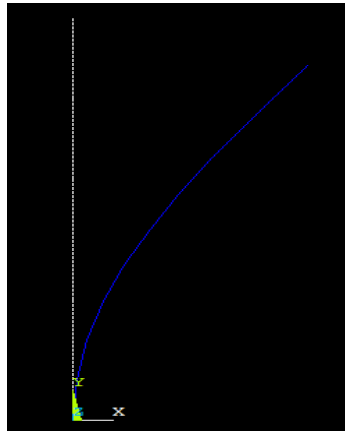


Figura 5.32 – Exemplo de estrutura deformada + estrutura não deformada

C.2 - Plotando deslocamentos em função do tempo

Seguindo o caminho: *TimeHist Postproc* uma imagem como a Figura 5.33 aparece, adiciona-se o eixo de deslocamento, nesse caso, deslocamento da extremidade da viga no eixo x, a Figura 5.33 também contempla a janela de opção do eixo de deslocamento a ser analisado.

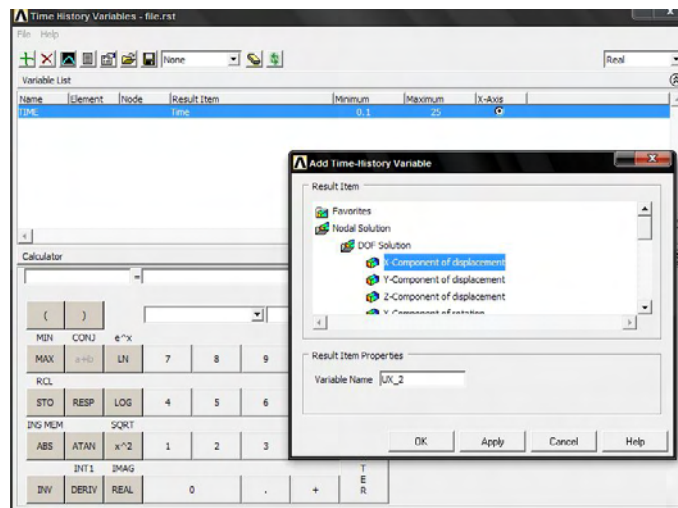


Figura 5.33 – Tela de seleção do ponto de deslocamento em função do tempo

Assim, escolhe-se o ponto que será analisado o deslocamento em função do tempo, assim, um ponto de interesse é a extremidade superior da estrutura, pois é o ponto de maior deslocamento atingido durante a simulação. O ANSYS então plota o deslocamento da

extremidade escolhida em função do tempo de simulação determinado. A Figura 5.34 ilustra o resultado da plotagem em função do tempo para essa simulação.

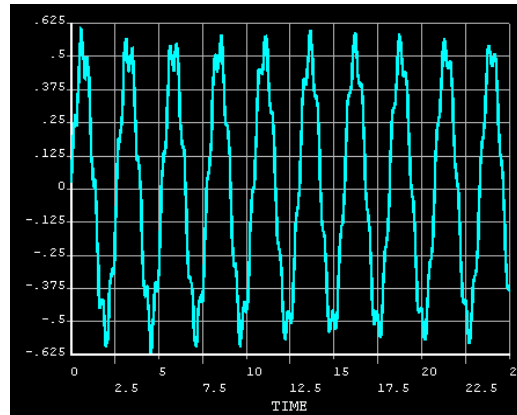


Figura 5.34 – Resultado da plotagem: Deslocamento (m) x Tempo(s)

O ANSYS permite que os dados inseridos e/ou selecionados possam ser retirados em forma de comandos para serem inseridos em outra análise sem a necessidade de buscar todos os atalhos, poupando muito tempo, tais dados estão disponíveis no caminho: *Session Editor* que termina em uma janela como a da Figura 5.35.



Figura 5.35 – Tela de informação dos dados inseridos no programa

5.2 EXEMPLO DE RESULTADOS UTILIZANDO O ANSYS

A título de ilustração, um comparativo de resultados entre cálculos manuais e através do programa ANSYS foi realizado, a Tabela 5.1 representa o deslocamento máximo variando a força aplicada na extremidade e a Tabela 5.2 representa, nos mesmos moldes, a variação do comprimento da barra engastada. O esquema da Figura 5.36 ilustra o comparativo:

DESLOCAMENTO MÁXIMO DE VIGA ENGASTADA

Análise da variação da força e do comprimento

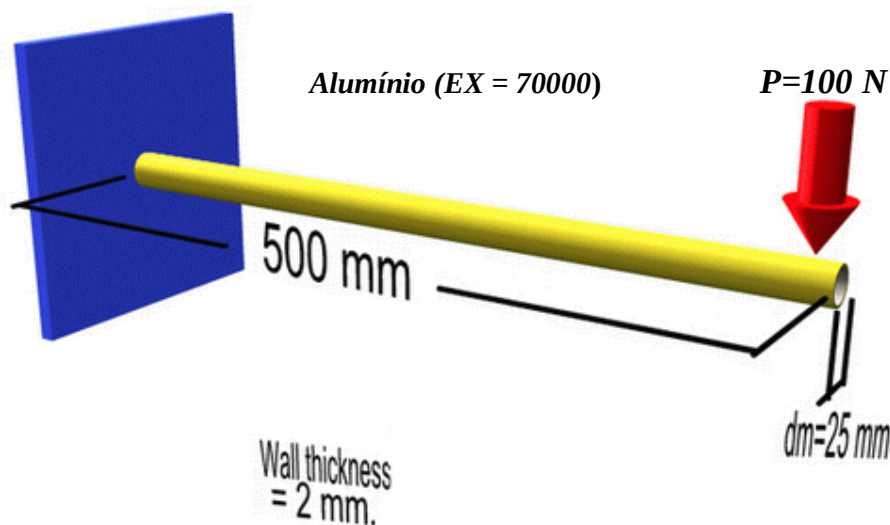


Figura 5.36 – Deslocamento máximo em viga engastada utilizando ANSYS

Cálculo teórico/manual do deslocamento máximo:

$$y = \frac{PL^3}{3EI} = \frac{(100\text{N})(500\text{mm})^3}{3(70000\text{MPa})(\frac{1}{4}\pi((12.5\text{mm})^4 - (10.5\text{mm})^4))} = 6.18\text{mm}$$

Tabela 5.1 – Deslocamento máximo variando a força aplicada na extremidade, comprimento constante da viga de 500mm

Força (N)	Solução Teórica (mm)	Solução ANSYS (mm)	ERRO (%)
75	4,635	4,656	0,00451
80	4,944	4,967	0,00463
90	5,562	5,588	0,00465
100	6,180	6,209	0,00467
110	6,798	6,829	0,00454
120	7,416	7,450	0,00456
125	7,725	7,761	0,00464

Tabela 5.2 – Deslocamento máximo variando o comprimento da viga, força constante aplicada na extremidade de 100N

Comprimento (mm)	Solução Teórica (mm)	Solução ANSYS (mm)	ERRO (%)
750	20,857	20,904	0,00222
800	25,313	25,365	0,00204
900	36,042	36,102	0,00167
1000	49,440	49,511	0,00143
1100	65,805	65,886	0,00123
1200	85,432	85,526	0,00110
1250	96,562	96,663	0,00104

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASOS

ABORDAGEM NÃO-LINEAR DO FUNDO VEGETADO

A dissipação de energia da onda quando esta atravessa um fundo vegetado é um tema que proporciona grandes desafios, pois os mecanismos que compõem esse problema não são triviais. Alguns autores consideram que a diminuição da altura dessas ondas não é influenciada pela movimentação dos organismos presentes, mas sim pelo oferecimento de uma espécie de macrorrugosidade adicional no percurso da onda, porém, uma outra frente de autores, que vem tomando espaço na comunidade científica, aborda que o deslocamento dos organismos vivos exerce forte influência na altura de onda e sua dissipação, uma vez que estes se movimentam a partir de parcela da energia da onda debitada e usada nos seus mecanismos de movimentação. A partir dessa segunda linha de pesquisadores e sempre trazendo a noção de biomecanicidade envolvida em mecanismos de dissipação de ondas quando de sua passagem sobre fundos vegetados, esta dissertação tenta contribuir, neste capítulo, abordando a influência dos diversos parâmetros físicos e geométricos da planta sobre a cinemática e dinâmica de sua própria movimentação.

Este capítulo discorre sobre estudo de casos utilizando o *software* comercial ANSYS 9.0. Inicialmente apresenta os resultados prévios da modelagem de vigas engastadas (analogia à planta) abordando o problema de forma linear e não-linear, em situações de regime permanente e transiente. Posteriormente, entrando especificamente no caso de “plantas engastadas”, a abordagem linear e não-linear são analisadas. Por fim, a inserção do parâmetro viscoelástico do material é introduzido.

6.1 RESULTADOS PRÉVIOS DA MODELAGEM

A fim de verificar a sensibilidade do código computacional ANSYS para a deformação de vigas, em situação de comportamento linear e não-linear, foram realizados, em título de ilustração, duas análises com cargas pontuais aplicadas na extremidade da planta visando a determinação do deslocamento máximo do organismo.

6.1.1 Análise linear em regime permanente

Para observar a interface do *software*, um campo de “vegetação” foi criado, supondo uma carga ilustrativa na extremidade e no centro do organismo. A título de demonstração, observa-se na Figura 6.1(a), o *Layout* de entrada da simulação de um campo vegetado (espaçamento entre vigas de 0,2m). A Figura 6.1(b) ilustra o mesmo campo em modo de deslocamento devido a atuação das forçantes simultâneas atuantes na extremidade e no centro da viga representativa do organismo.

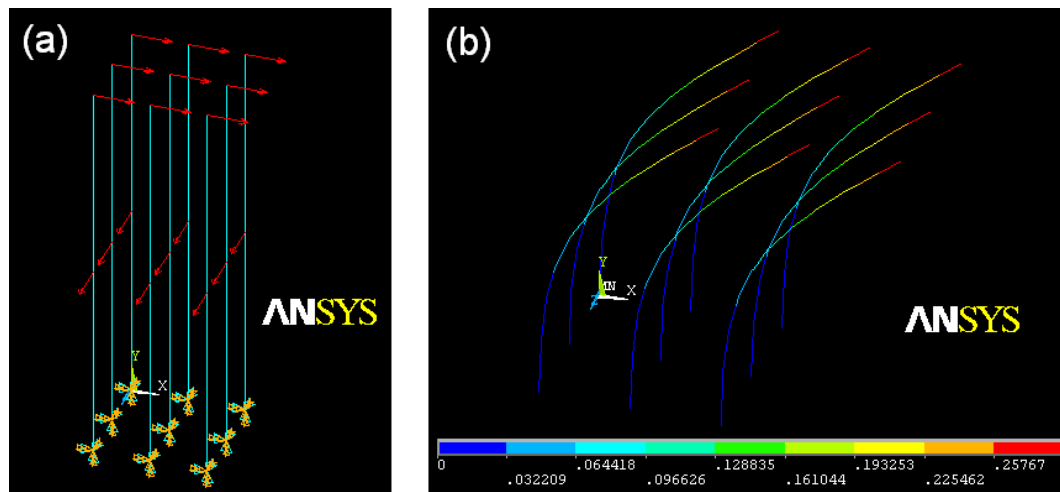


Figura 6.1 – Layout das vigas apresentada pelo programa (a) e em deslocamento (b)

Excetuando os dados que caracterizam a viga, existe também todo um estudo acerca da inserção de valores no programa, como é o caso da escolha de uma malha adequada, subdivisões do elemento (neste caso 10 divisões no corpo da viga trazem excelentes resultados em um bom tempo de processamento), dentre outros.

Um teste complementar, ainda em situação permanente, consistiu no estudo de sensibilidade do modelo linear, à ação de forças crescentes aplicadas na extremidade da planta. Esses resultados são ilustrados na Figura 6.2.

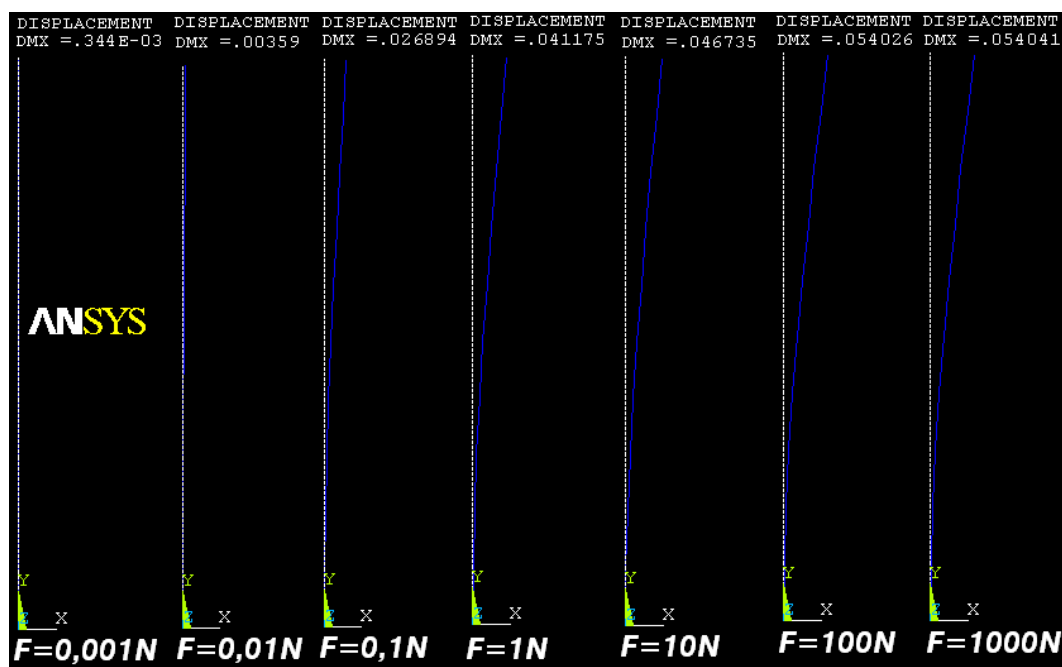


Figura 6.2 – Deslocamento linear do organismo a partir de várias forças

Pareceu-nos que o código ANSYS possui algum limitador interno que não permite deformações maiores que um valor máximo (estimado em menos de 10% do tamanho da planta), verificando assim que há um limite de carregamento e consequente deformação máxima, a partir da qual o modelo linear perderia seu domínio de aplicação, tornando-se imprecisa ou inadequada. Constata-se essa informação ao se verificar que quando a força inserida ultrapassa um determinado valor, mensagens de alerta aparecem no decorrer da simulação, como se questionasse ao usuário se aquela opção deveria ser, de fato, usada e prosseguida.

6.1.2 Análise não-linear em regime permanente

Uma segunda série de testes foi feita, nos mesmos moldes do primeiro, porém, com um tratamento não-linear do problema. A Figura 6.3 ilustra os valores de deslocamento máximo sofrido pelo organismo, sob a ação de forçantes crescentes.

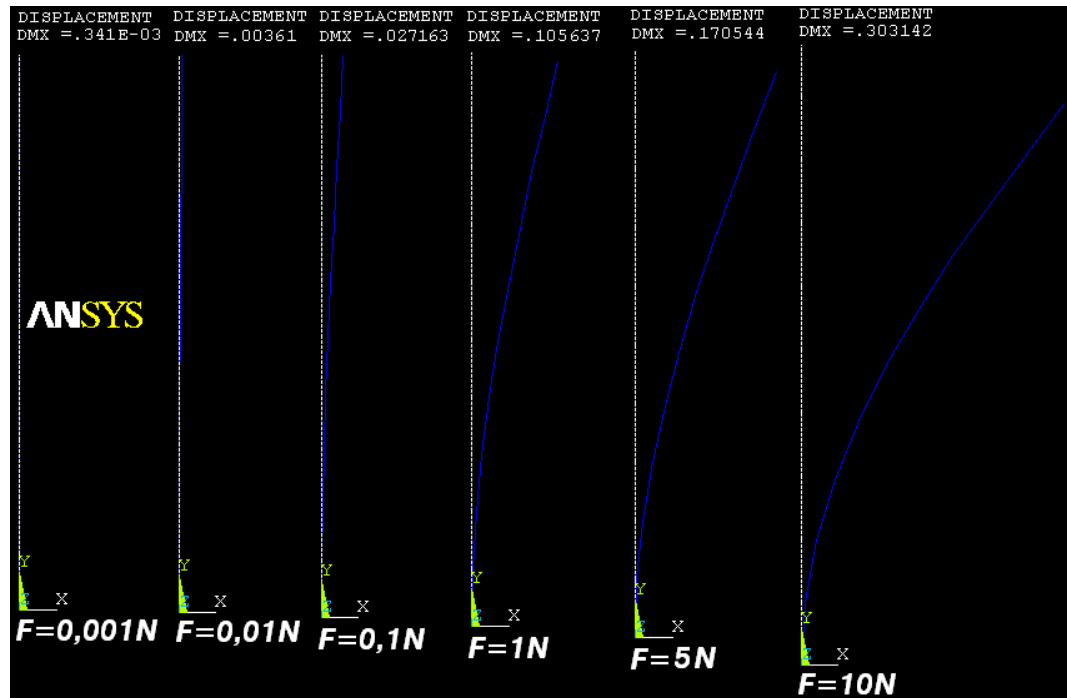


Figura 6.3 – Deslocamento não-linear do organismo a partir de várias forçantes

Observa-se que no tratamento inserindo a não-linearidade, os efeitos de deslocamento vão sendo incrementados em função da ação crescente da força, porém a partir de certa forçante, que venha produzir deslocamento da magnitude do comprimento da planta (casos extremos), a simulação, como esperado, é interrompida.

Nota-se nas Figuras 6.2 e 6.3 que para valores de cargas até a ordem de 10^{-1} N , os valores de deslocamento da extremidade da planta são parecidos. Nestes casos, o parâmetro $y_{\text{máx}}/L$ está na ordem de 5% (inferior a 10%).

6.1.3 Análise em regime transiente

O organismo selecionado para a demonstração a seguir possui características de um organismo rígido, similares a de um coral. A Tabela 6.1 ilustra algumas características dos organismos e os valores adotados como referência (Gaylord (2001)).

Tabela 6.1– Algumas características dos organismos para demonstração (coral)

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade
Comprimento do corpo	L	0,7	m
Diâmetro do corpo	d	0,006	m
Módulo Elástico	E_s	5×10^{10}	N/m ²
Massa Específica	ρ	2820	kg/m ³

Os dados da Tabela 6.1, entre outros, foram inseridos no programa após diversos testes, com o intuito de fazer a analogia de uma viga engastada no fundo.

A análise realizada, frente a um caso de esforço transiente (força excitadora utilizada por Gaylord (2001)), tem por objeto investigar o efeito de parâmetros físicos na estratégia de sobrevivência da “planta” como: diâmetro do corpo, massa específica e módulo elástico. A força excitadora do modelo é um pulso semi-senoidal, com duração de 0,05s e intensidade máxima unitária ($f = P \sin \omega t$, onde $\omega = \pi/0,05$, $P = 1$ para $0 \leq t \leq 0,05$ e $P = 0$ para $t > 0,05$), como pode ser visto na Figura 6.4, obtendo resultados interessantes sobre a tendência dos organismos de voltarem ao equilíbrio estático.

Nos casos avaliados nessa análise, as imagens representarão o deslocamento do nó superior, local este onde é aplicada a força (pulso semi-senoidal), o tempo de simulação foi de 25s, tempo esse mais que o suficiente para prever o comportamento dos organismos simulados, visto que a demanda computacional seria muito grande para tempos de simulação da ordem de minutos.

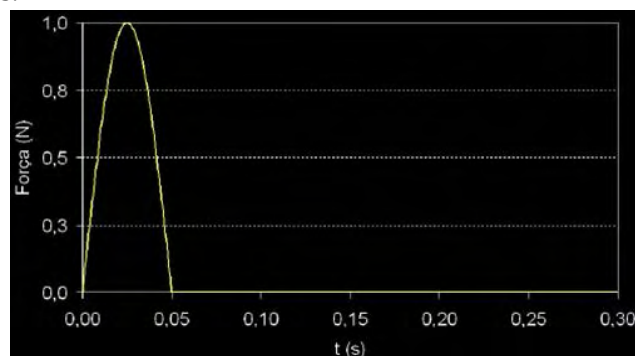


Figura 6.4 – Esforço transiente aplicado na extremidade do organismo rígido (coral)

Observa-se inicialmente o comportamento dinâmico do nó superior do organismo similar a um coral frente à variação do seu diâmetro. Pode-se notar pela Figura 6.5, que com o aumento do diâmetro, maior é a inércia do organismo, portanto maior é o esforço externo necessário para deslocá-lo. Quanto menor o diâmetro, menor a força restauradora, ou seja, leva-se um tempo maior para o organismo atingir o estado de repouso e consequentemente, as amplitudes de oscilação com o tempo são maiores.

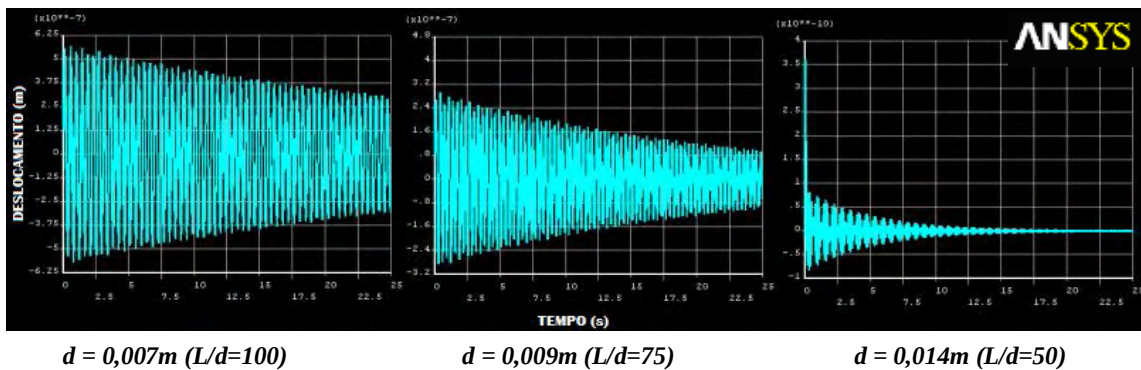


Figura 6.5 – Comportamento dinâmico, segundo a variação do diâmetro d

A Figura 6.6 analisa o efeito da variação da massa específica do organismo. Pode-se verificar através da mesma que quanto maior a massa específica do corpo, maior a inércia, assim, maior é o tempo gasto para o organismo simulado voltar a atingir o equilíbrio estático.

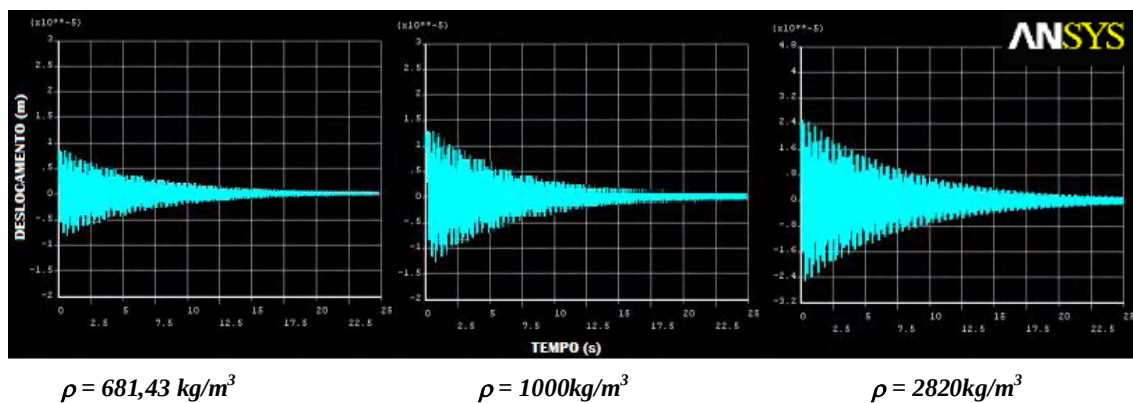


Figura 6.6 – Comportamento dinâmico, segundo a variação da massa específica ρ

Pode-se observar na Figura 6.7 o efeito na dinâmica do organismo com a variação no módulo à flexão (E_s). O módulo à flexão está diretamente relacionado à força restauradora. Portanto as amplitudes de oscilação das simulações com maiores valores de E_s são menores, e o tempo para o organismo atingir o equilíbrio também é menor. Em outras palavras, um organismo com alto valor de E_s (organismo rígido) experimenta baixas deformações totais (no plano yx), enquanto que um organismo com baixo valor de E_s (organismo frágil) apresenta altas deformações.

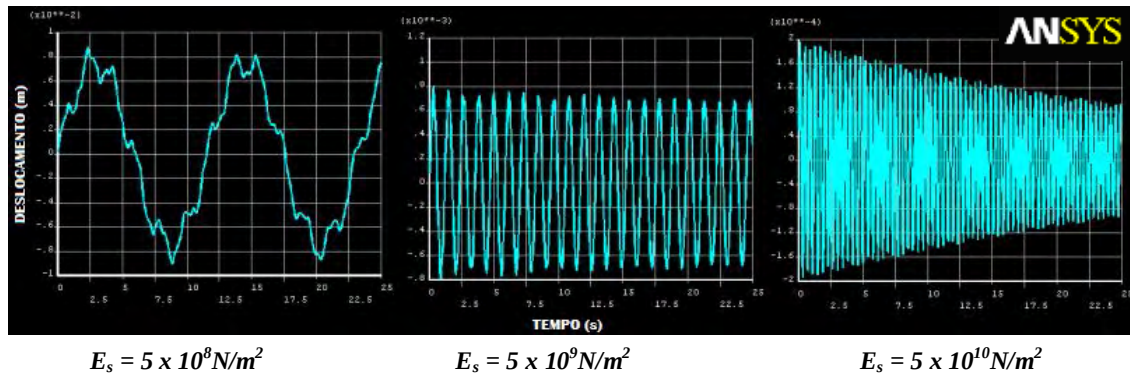
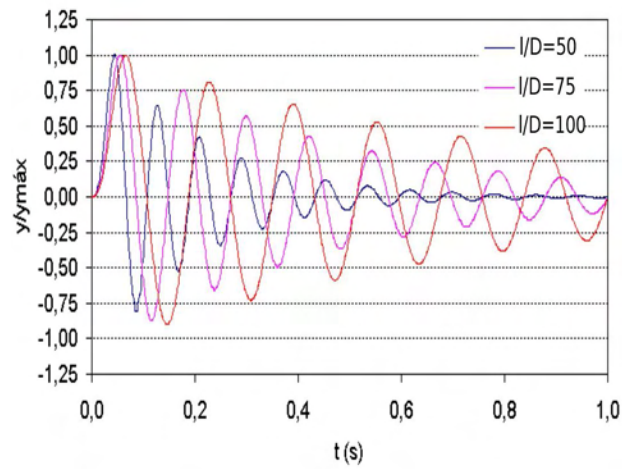


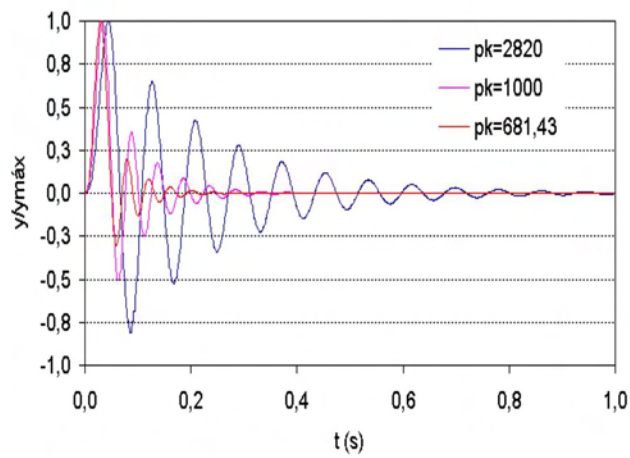
Figura 6.7 – Comportamento dinâmico, segundo a variação do módulo à flexão E_s

Com base nessas análises do aspecto dinâmico, organismos frágeis (baixos valores de E_s , ρ e d) necessitariam de um controle natural como estratégias de sobrevivência em ambientes sujeitos a esforços hidrodinâmicos instantâneos intensos, como pode ser esse o caso de vegetação sujeita às ondas provindas dos ventos em reservatórios de usos múltiplos.

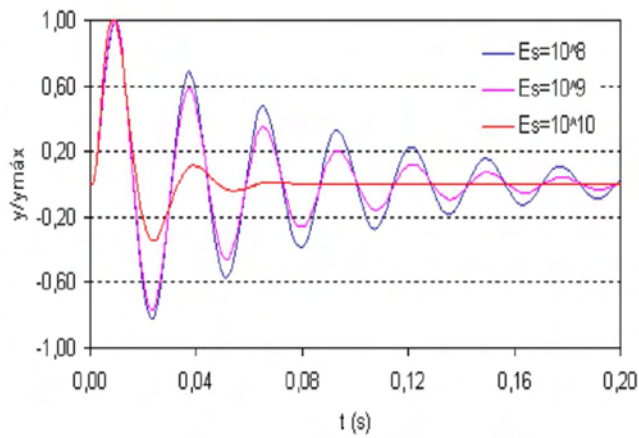
Comparando o comportamento dinâmico simulado com Vasco (2005) apresentado na Figura 6.8, nota-se que há uma mesma tendência de comportamento entre os resultados simulados. Restringe-se a uma análise de tendência, uma vez que os dados de entrada dos modelos não foram exatamente os mesmos. No modelo de Vasco (2005) as entradas são os parâmetros físicos (valores diretos), já o ANSYS, em alguns casos, não utiliza parâmetros físicos diretos como valores de entrada no modelo. Mesmo assim, o comportamento dinâmico dos organismos simulados ofereceram uma boa concordância em se tratando da **tendência** que o organismo reage ao sofrer um esforço transiente, ou seja, em todos os casos a **tendência** de restauração do ponto de equilíbrio foi a mesma.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.8 – Resultados de Vasco (2005) variando parâmetros
(a) Diâmetro, (b) Massa específica e (c) Módulo à flexão

De modo a ilustrar o comportamento do organismo aquático simulado com o tempo, mostra-se na Figura 6.9 vários instantes em que a posição do organismo é capturada para um pulso semi-senoidal. A Figura 6.9(a) representa o presente trabalho sendo t_1 o primeiro instante capturado, t_2 o segundo e assim por diante, porém, os intervalos entre tempos são diferentes. A Figura 6.9(b) retirada de Vasco (2005) também segue o mesmo raciocínio.

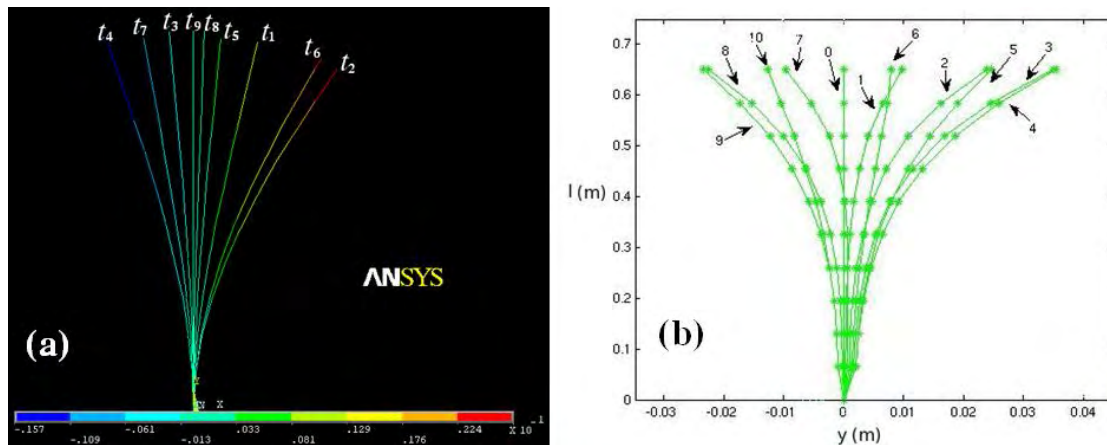


Figura 6.9 – Evolução no deslocamento do organismo com o tempo para um pulso senoidal.
(a) Presente trabalho e (b) Vasco (2005)

Nota-se que os deslocamentos possuem a mesma ordem de grandeza, porém, não possuem as mesmas curvaturas nos diferentes instantes captados. Essa seria uma simulação no intuito de verificar a **tendência** de amortização dos organismos, pois no momento não possuíamos os instantes de captação da curvatura da planta de Vasco (2005).

6.2 ABORDAGEM LINEAR UTILIZANDO O SOFTWARE ANSYS

Inicialmente o estudo de casos de maior interesse seria reproduzir os resultados obtidos por Vasco (2005) em um *software* comercial, já que para o avanço desse assunto (analisar não-linearmente o problema) necessitar-se-ia comparar os resultados com aqueles obtidos na análise linear. Assim, o programa criado pelo autor foi estudado e reproduzido novamente observando alguns parâmetros, a saber: comprimento e diâmetro da planta, massa específica, módulo elástico, força de arrasto e ângulo de deformação.

Os principais dados utilizados por Vasco (2005) e reproduzidos no ANSYS foram: diâmetro do organismo, comprimento do corpo, incremento temporal, módulo elástico, massa específica, malha e força, disponíveis na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Características dos organismos (“cordas sob ação de empuxo fixadas em canal de ondas” – Item 4.4 do **CAPÍTULO 4**), reprodução de Vasco (2005).

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade
Incremento temporal	t	0,01	s
Comprimento do corpo	L	0,65	m
Diâmetro do corpo	d	0,006	m
Módulo Elástico	Es	1	N/m ²
Massa Específica	ρ_K	600	kg/m ³
Malha	-	10	Divisões

Em Vasco (2005) a forçante incidente (resultante) no organismo é dado pelo cômputo entre a força de arrasto provocada pela onda incidindo sobre a planta e a força de inércia promovida pela planta, para isso o modelo (a cada incremento temporal) teve que ser retro-alimentado.

Em se tratando da forçante sofrida pela planta, Vasco (2005) não trabalha com cargas uniformemente distribuídas, uma vez que seu código considera discretização do domínio de cálculo. Em outras palavras, ao longo do organismo existem pontos igualmente distanciados que sofrem ação de uma forçante dependente do tempo.

A Figura 6.10 mostra o formato das forças individuais aplicadas ao longo da “planta” do presente trabalho para os dados da Tabela 6.2.

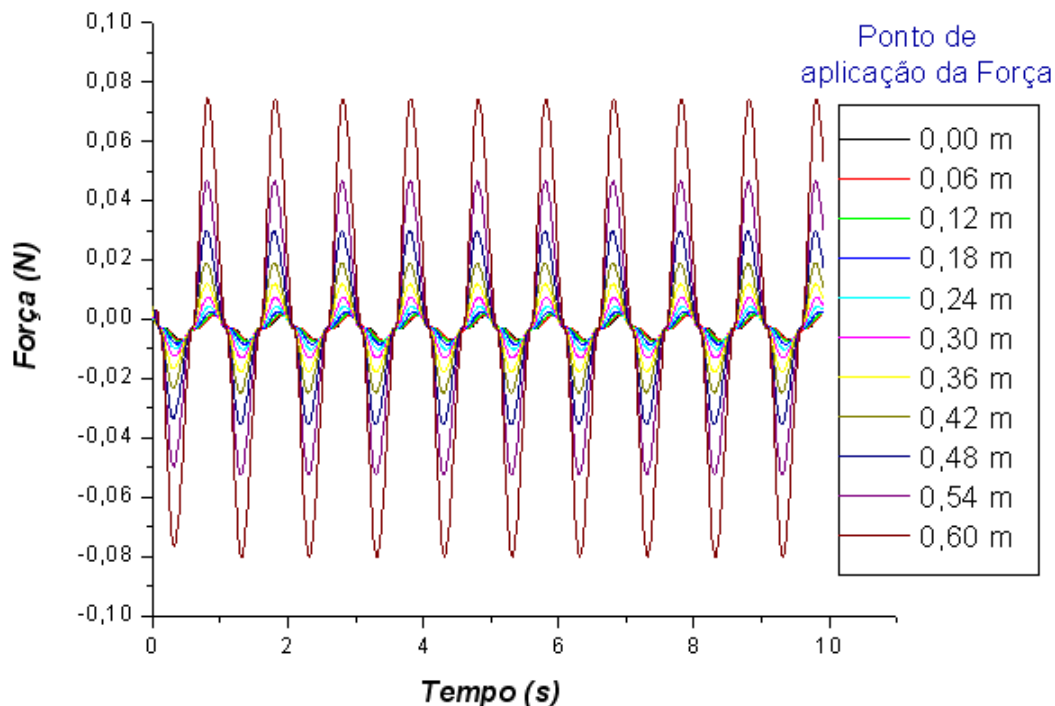


Figura 6.10 – Forças atuantes ao longo do organismo para uma profundidade $h=0,7m$ e período da onda de $T=1s$

De posse da força que será aplicada em cada nó na simulação, a mesma foi inserida no programa. A Figura 6.11(a) ilustra o "Layout" do organismo simulado no ANSYS. Tal organismo foi dividido em 10 partes iguais (malha), em cada um destes nós foi aplicada uma força dependente apenas do tempo, força esta retirada dos resultados do programa de Vasco (2005) para uma onda propagando em canal de ondas, numa profundidade $h=0,75m$ e período $T=1s$, e incidindo em um "campo vegetado" (cordas). Já a Figura 6.11(b) ilustra a viga em deslocamento.

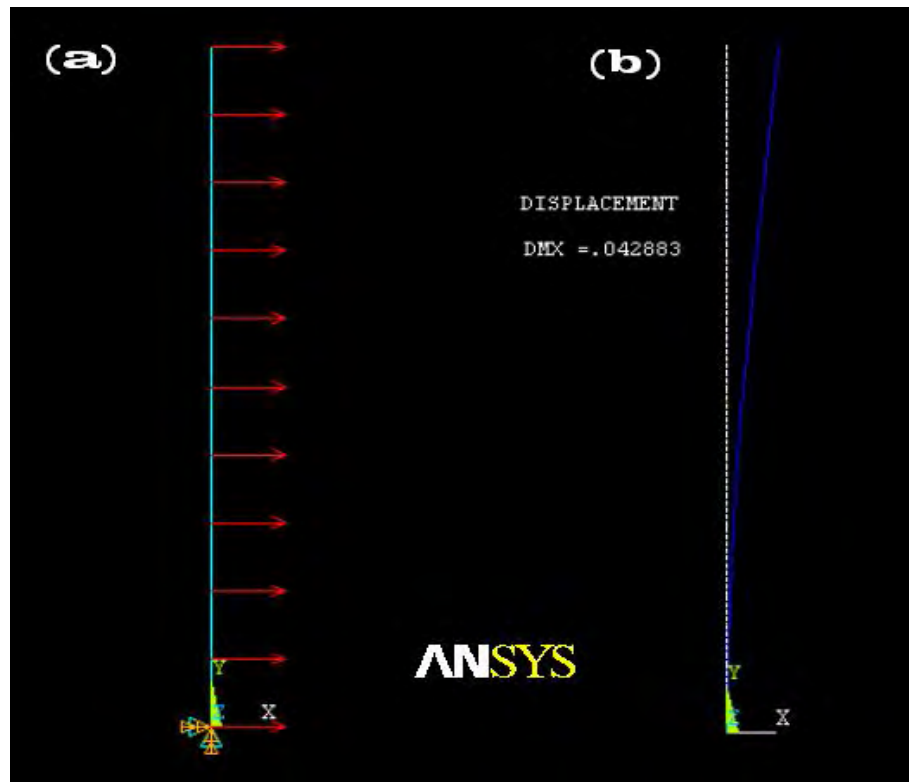


Figura 6.11 – Análise linear: (a) Layout da viga apresentada pelo programa e (b) Organismo sofrendo a ação das forçantes da Figura 6.10

A Figura 6.12 ilustra uma comparação dos resultados do modelo linear entre o presente trabalho utilizando o programa ANSYS com o trabalho de Vasco (2005). Nota-se uma boa tendência entre as curvas de deslocamento sofridas pela extremidade do corpo ao longo do tempo.

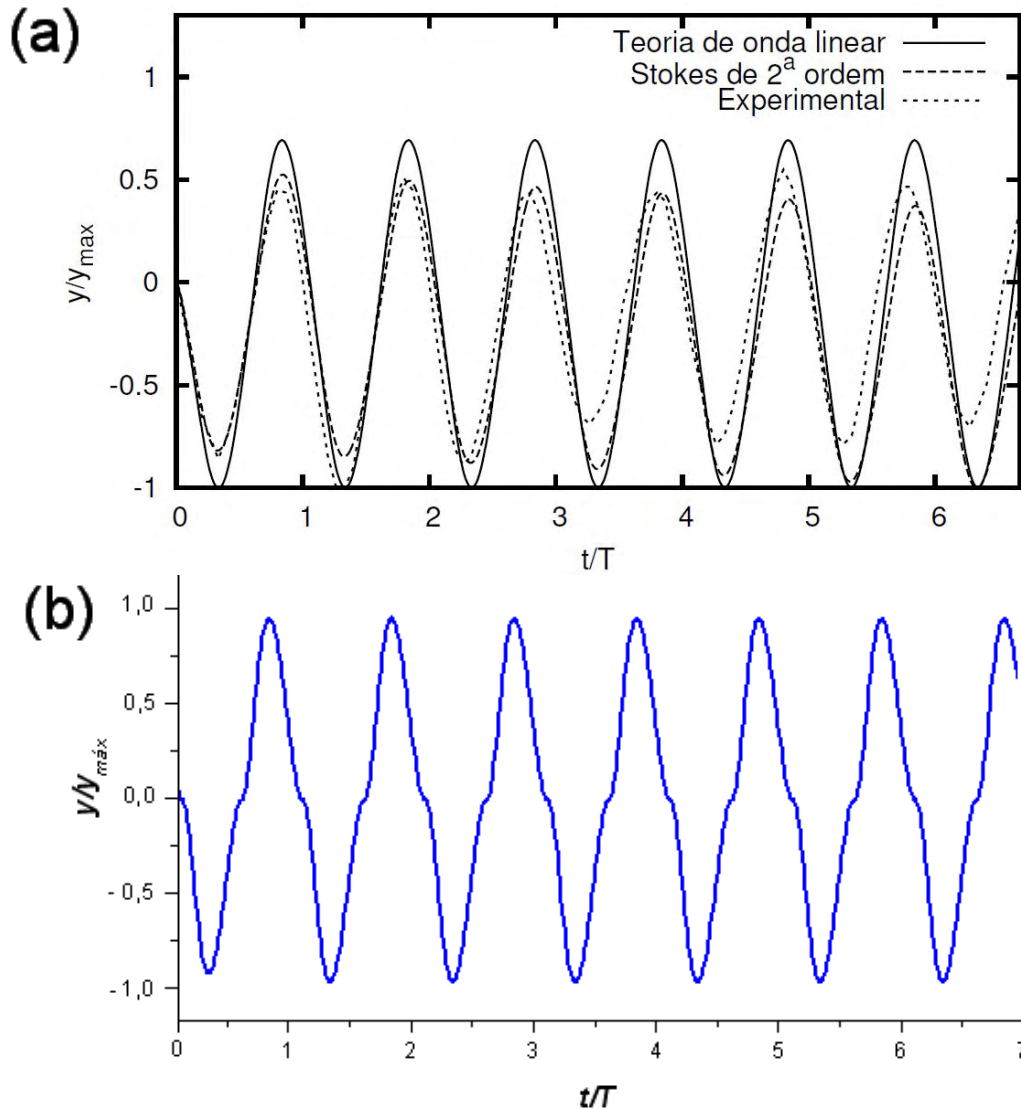


Figura 6.12 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo, abordagem linear: (a) Vasco (2005) e (b) Presente trabalho

Assim, pode-se notar e concluir que tanto o programa de Vasco (2005) quanto o programa ANSYS tendem a se aproximar de um resultado em comum em se tratando do caso linear.

Observa-se, entretanto, a partir da Figura 6.10, que aparecem pequenos desvios (sem qualquer sentido físico) tanto no campo de forças como deslocamentos (Figura 6.12(b)) para valores nulos (eixo das abscissas). Isto deveu-se, neste caso, a uma entrada de valores discretos do campo de forças geradas pelas ondas, a partir dos resultados da teoria linear presente em Vasco (2005) que, associado ao valor do incremento temporal adotado na simulação, gerou estes desvios. A Figura 6.13 mostra a influência do incremento temporal na resposta dos deslocamentos dos organismos.

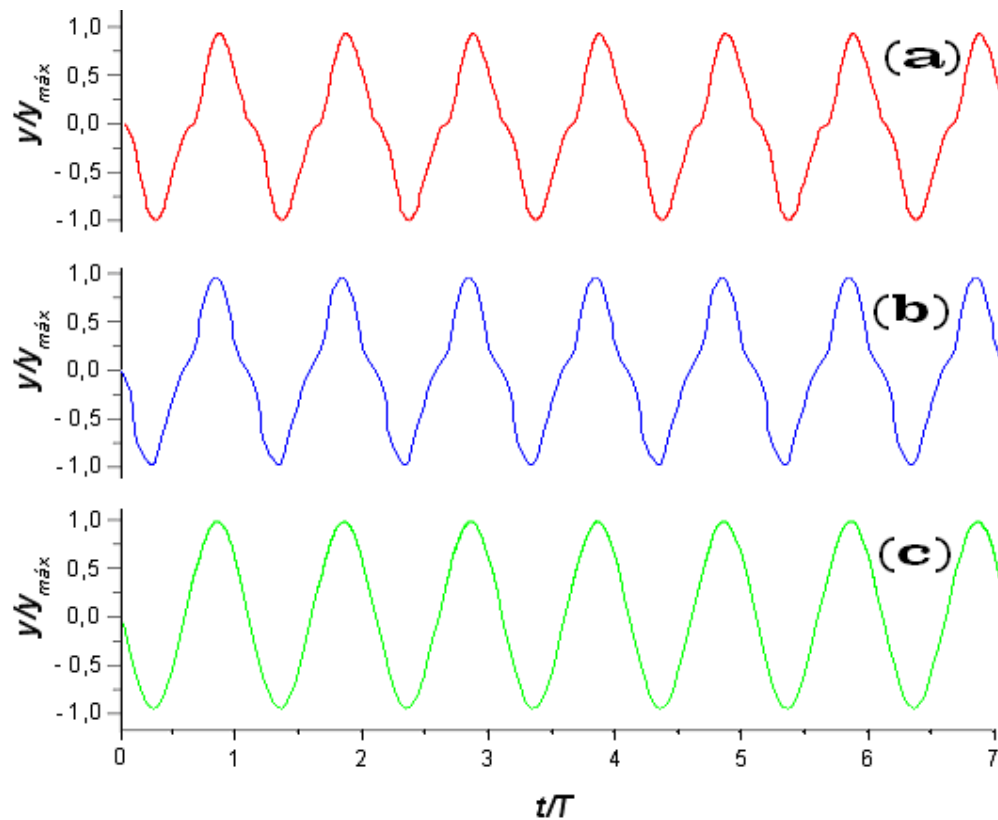


Figura 6.13 – Influência do incremento temporal na resposta dos deslocamentos:
(a) $t=0,001s$, (b) $t=0,05s$ e (c) $t=0,1s$

Nota-se na Tabela 6.2 que o valor utilizado foi de $t=0,01s$. Decidiu-se, então, analisar a influência desse parâmetro no deslocamento do organismo. A partir da Figura 6.13, pode-se observar que para valores de $t > 0,01s$ a interpolação entre os pontos deixa a curva mais suavizada, já para valores de $t < 0,01s$ a discretização dos pontos faz com que a curva de deslocamento no eixo nulo das abscissas crie desvios, o que não tem sentido físico, como comentado anteriormente. Assim a partir desse ponto, foi adotado o valor do incremento temporal como sendo $t=0,1s$ para uma melhor visualização dos resultados.

6.3 ABORDAGEM NÃO-LINEAR UTILIZANDO O SOFTWARE ANSYS

A mesma análise realizada pelo ANSYS para abordagem linear também foi feita para uma abordagem não-linear, a fim de sanar algumas dúvidas e questionamentos como: até que ponto a não-linearidade proporciona resultados diferentes dos obtidos pela abordagem linear.

Assim, o resultado, para a viga em deslocamento, utilizando os mesmos dados de entrada que no caso linear, está representado na Figura 6.14, o seu “*Layout*” seria o mesmo da Figura 6.11(a).



Figura 6.14 – Análise não-linear: Organismo sofrendo a ação das forçantes

Nota-se que o maior deslocamento sofrido pelo organismo no caso linear foi de $0,042883m$ e para o caso não-linear o deslocamento máximo foi de $0,043044m$, ou seja, diferença de menos de $0,4\%$. Assim, os efeitos da não-linearidade nesse caso, para os valores tomados como base nas simulações, não surtem grandes efeitos no deslocamento do organismo.

A análise não-linear do deslocamento da viga ao longo do tempo está representada na Figura 6.15, verifica-se que os deslocamentos são parecidos com aqueles sofridos no caso linear.

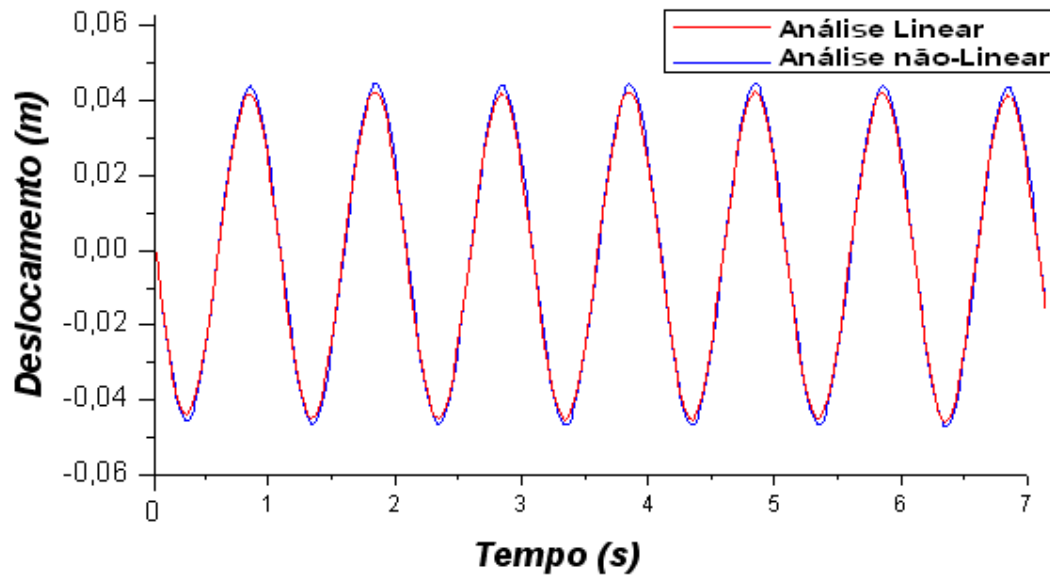


Figura 6.15 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo para abordagens linear e não-linear utilizando as forças da Figura 6.10

Estes resultados (não-lineares), assim como os resultados e análise feita para o deslocamento linear, mostram que o fato de inserirmos a não-linearidade no programa ANSYS para o estudo de organismos aquáticos como o representado nessa dissertação, produz efeitos de ordem muito baixa. Assim, a teoria das grandes deformações não é necessária nesse caso, uma vez que a teoria linear reproduz, com fidelidade necessária, os deslocamentos obtidos.

Como pode-se ver na Figura 6.11(b), a relação entre o maior deslocamento horizontal (extremidade) e a altura do organismo não chega a 8% ($0,042883/0,6$). Nesse ponto, surgiu um questionamento: “será que os valores das forças inseridas no código computacional não seriam de ordem muito baixa para se aplicar a teoria das grandes deformações e consequentemente a não-linearidade?”

Em busca de sanar tal dúvida e progredir no assunto, foi feita uma análise, tomando como forçante do problema, ventos soprados no lago de Ilha Solteira ($24,62\text{m/s}$). Assim, exportou-se essa dinâmica de ventos para o lago de Porto Primavera (mesmo eixo norte-sul). O **ANEXO C** traz os resultados de onda para Porto Primavera, apontando uma onda de 2m , para este cenário. De posse dessa informação, profundidade $h=2\text{m}$ (próximo às margens) e um período de $T=3\text{s}$, esses dados foram inseridos no código de Vasco (2005), apenas com o intuito de obtenção do campo de força resultante, conforme ilustrado pela Figura 6.16:

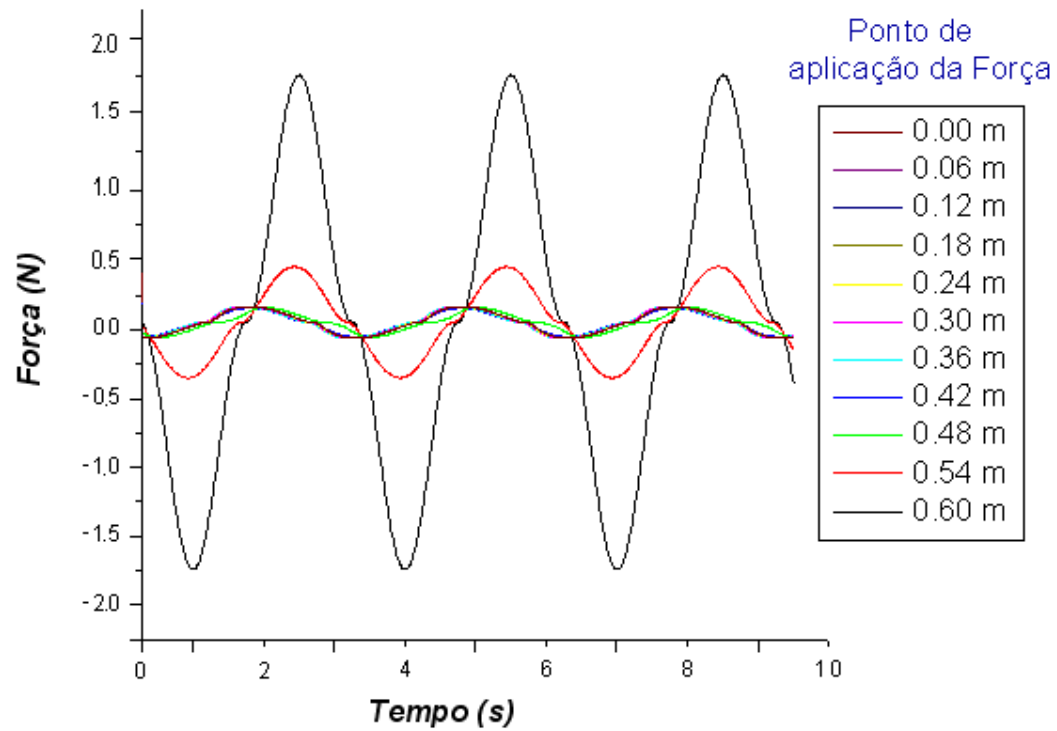


Figura 6.16 – Forças atuantes ao longo do organismo para $h=2m$ e $T=3s$

A Figura 6.17 mostra os deslocamentos máximos produzidos na planta ao entrar com as forças da Figura 6.16, para o caso linear (a) e para o caso não-linear (b).

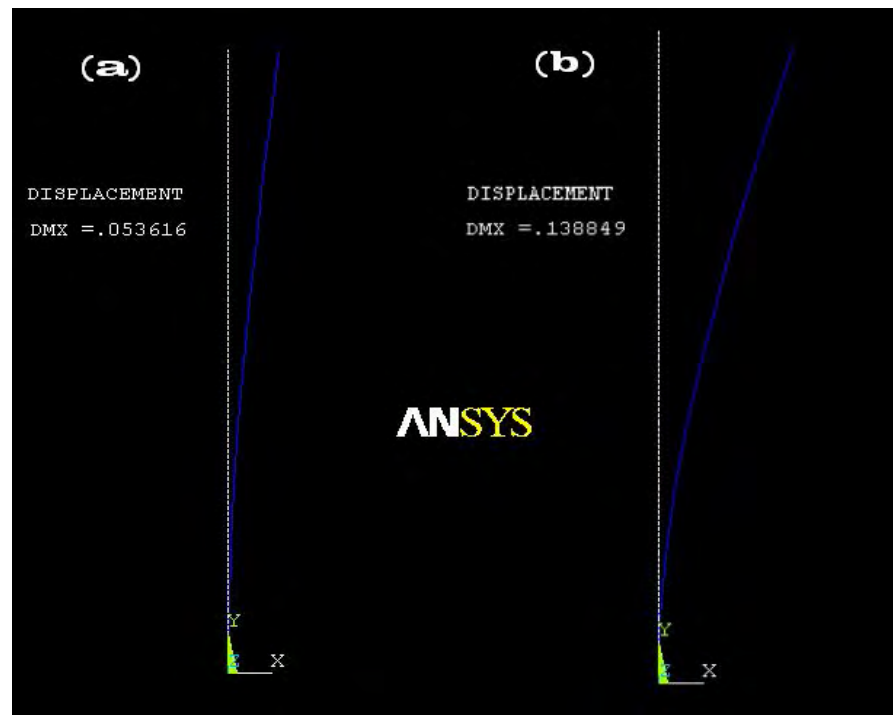


Figura 6.17 – Deslocamento máximo sofrido pelo organismo com as forças da Figura 6.16: (a) análise linear e (b) análise não-linear

Com o resultado do campo de forças atuantes ao longo da planta e mantido inalterados outros valores inseridos no ANSYS, foram realizadas análises lineares e não-lineares, sendo as primeiras não mais aplicáveis. Os resultados de tais análises podem ser visto na Figura 6.18, que contempla o deslocamento da extremidade da planta em relação ao tempo.

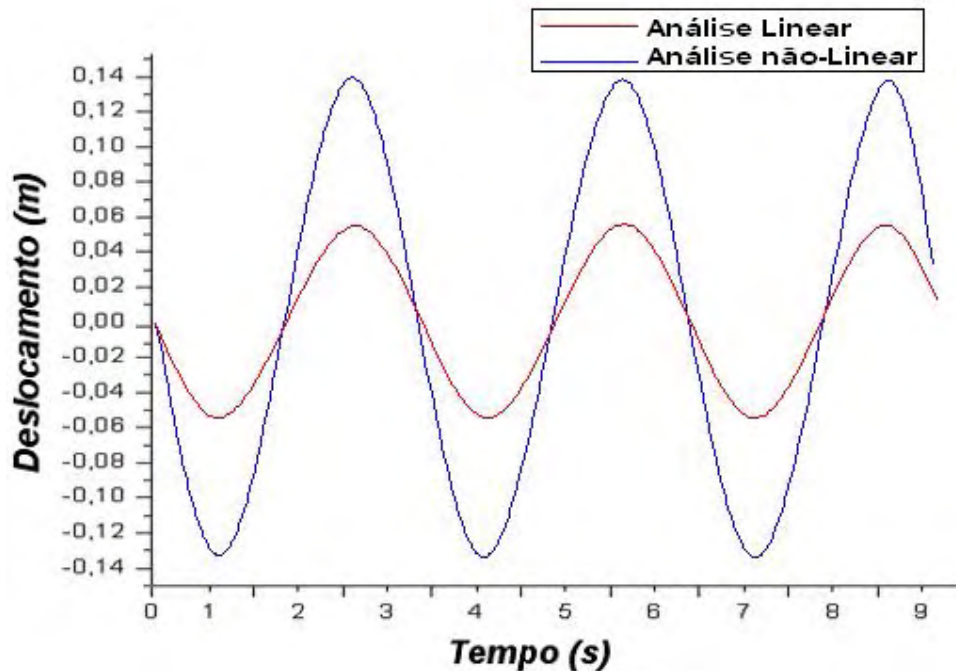


Figura 6.18 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo para uma abordagem linear e não-linear utilizando as forças da Figura 6.16

Pode-se notar que os deslocamentos foram, novamente, muito pequenos utilizando a teoria linear, porém, com o aumento da forçante provocada pela alteração da altura e período da onda incidente, a análise não-linear, utilizando a teoria das grandes deformações, mostra que os modelos se distanciam.

Ademais, percebe-se que a teoria das pequenas deformações é perfeitamente capaz de prever o comportamento dos organismos aquáticos quando $h \cong L$. Entretanto, para $h \cong 3L$ (consequentemente maiores forçantes) o modelo linear perde a validade, e somente utilizando a teoria das grandes deformações é capaz de se observar com fidelidade um maior deslocamento dos organismos aquáticos.

Segundo a literatura (VASCO, 2005), Figura 6.19, para carga centrada na extremidade de vigas, nota-se que os deslocamentos lineares possuem maior amplitude que os deslocamentos não-lineares com o aumento da força. O modelo linear teria assim, validade até taxas de deformações menores que 10%, para valores superiores, o modelo linear não seria mais aplicável, surgindo assim, a necessidade de se implementar modelos não-lineares convergentes.

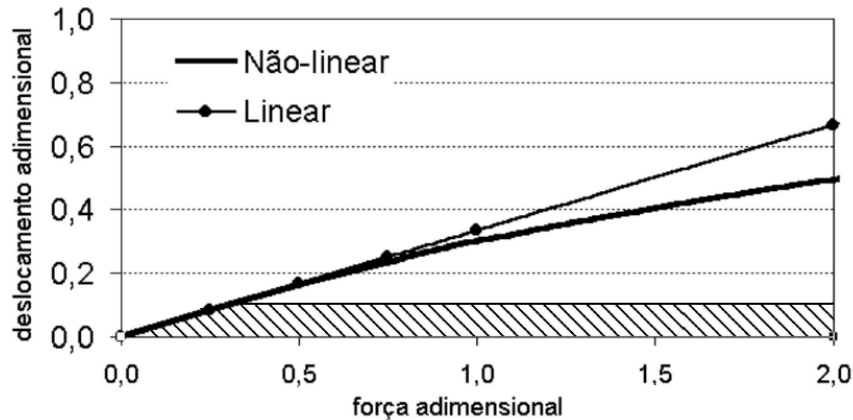


Figura 6.19 – Domínio de validade, abordagem linear e não-linear

Diferentemente do gráfico da Figura 6.19, os deslocamentos lineares do presente trabalho não são maiores que as deformações não-lineares, isso ocorre, como comentado anteriormente, pelo fato do *software* comercial ANSYS possuir estratégias de alertas quando algo na simulação não procede a contento, assim, o programa informa (não explicitamente) através de avisos que a teoria de pequenos deslocamentos não é mais aplicável para forças e consequentemente deslocamentos dessa magnitude.

Estes resultados estão concordando com os da presente simulação, pois como pode ser visto, o deslocamento máximo da planta no caso linear fica estacionado em perto de $0,05m$ (8% em relação ao comprimento do organismo), não importando a força aplicada, já para o caso não-linear, esses valores prosseguem, onde a extremidade do organismo apresenta uma deformação da ordem de 25% em relação ao tamanho da planta, ou seja, acima da aplicabilidade da teoria linear.

6.3.1 Testes de viscoelasticidade do material

Em nível de avaliação apenas qualitativo, testes numéricos foram empreendidos no ANSYS variando parâmetros de viscoelasticidade do organismo. Adotou-se como referência a modelagem não-linear utilizando os valores da Tabela 6.2 e inserindo a força da Figura 6.16.

A Figura 6.20 ilustra o deslocamento do nó superior da planta em função do tempo variando níveis de parâmetros de viscoelasticidade.

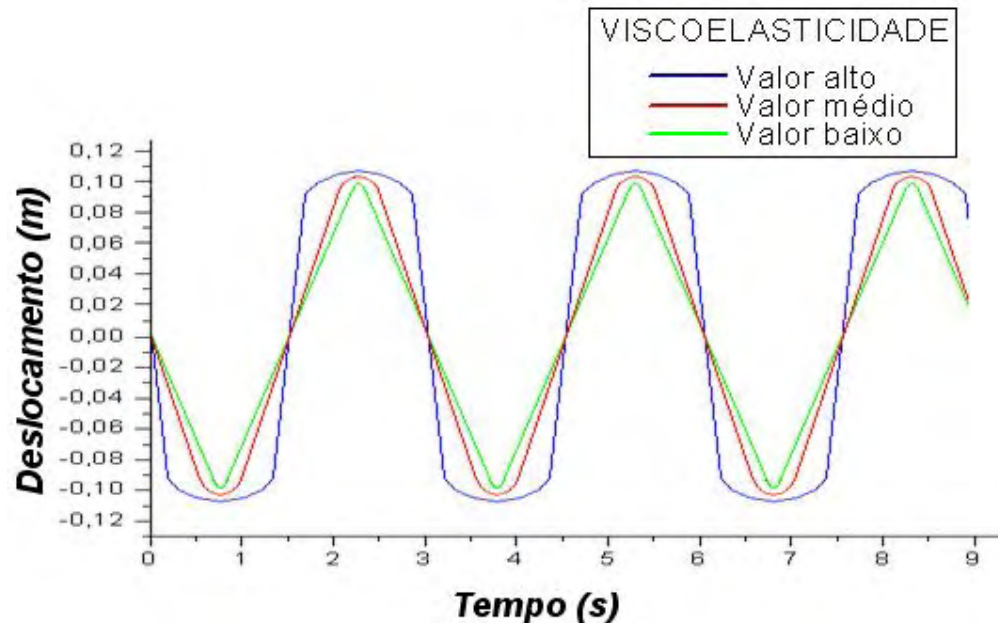


Figura 6.20 – Deslocamento da extremidade do organismo em função do tempo para uma abordagem não-linear utilizando os dados da Tabela 6.2 e Figura 6.16

A opção do ANSYS escolhida para inserir a viscoelasticidade na simulação do organismo foi o *Shear Response*, como relatado no **CAPÍTULO 5** e mostrado na Figura 5.14 do mesmo capítulo.

Os resultados dessa inserção de diferentes níveis viscoelásticos não puderam ser analisados mais criteriosamente, pois não possuíamos valores experimentais para aproximar o modelo tratado do modelo real.

Nota-se nos resultados da inserção de valores não calibrados (“incertos”) de viscoelasticidade, que as curvas de deslocamento possuem sempre o mesmo período, seguindo o período da onda. Porém, possuem picos diferentes, e em alguns casos, a forma de deslocamento fica mais suave no ponto de inversão de eixos.

Pode-se, então, concluir que a viscoelasticidade deverá sim provocar efeitos expressivos no deslocamento da planta. Uma boa calibração desses parâmetros seria necessária para que o modelo possa prever resultados mais realísticos, parâmetros estes de difícil e delicada obtenção experimental.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Quanto à previsão de ondas geradas por ventos em lagos de barragens, deixamos com essa segunda dissertação do Grupo de Pesquisa no tema, uma contribuição maior no que diz respeito a melhor saída gráfica e operacionalidade do *software* desenvolvido, com um número mais expressivo de casos-teste, a partir de ventos medidos regularmente no entorno de um lago de barragem. Tal climatologia de ventos e ondas assim determinadas, atreladas aos mecanismos de atenuação de energia devido aos fundos vegetados junto as margens de canais e lagos, vem nos fornecer, em nível de anteprojeto, pistas e ferramentas interessantes de engenharia.

Os processos e estudos utilizados para a determinação das maiores pistas contavam principalmente com o bom-senso e a experiência, já que estas pistas eram identificadas visualmente e posteriormente calculadas por processos gráficos. Os cálculos das alturas de ondas também se tornavam imprecisos, tanto por uma variável ser a pista que já vinha com um erro embutido em seu cálculo, e também pela falta de um sistema georreferenciado.

O tempo, pela excessiva quantidade de cálculos exigidos em trabalhos dessa natureza, era também um fator que limitava os processos mais antigos. Com isso os estudos restringiram-se a cálculos de poucas pistas de vento. Assim, dificultavam-se análises mais refinadas que necessitassem de um tratamento estatístico para a determinação de áreas de maior ocorrência de ondas significativas que viessem interagir com estruturas situadas na costa do lago, por exemplo.

De plano, o *software* desenvolvido por esta equipe de trabalho, inicialmente concebido por Marques (2005), possibilita a previsão de ondas em tempo real a partir de base de dados de ventos soprando em recintos fechados. As rotinas desenvolvidas são de fácil utilização e a saída gráfica é automática. Os mapas de pista ou de onda podem ser gerados a cada trinta segundos aproximadamente.

O *software OndisaCAD*, pela simplicidade de manuseio e pela grande rapidez no processamento, mostrou-se uma ferramenta útil para estudos de climatologia de vento e regime de ondas em lagos interiores e, por conseguinte, no auxílio de desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos.

Em se tratando da modelagem do fundo vegetado, esta análise demonstrou que o modelo concebido pôde, de um modo geral, representar os deslocamentos em qualquer ponto de um organismo com características e propriedades físicas conhecidas. Optou-se, nesta dissertação, fazer alusão aos organismos (plantas) que respondessem à flexão, falou-se em organismos rígidos. Ainda que esforços tenham sido enveredados na busca de melhor delinear a dinâmica da vegetação, ainda avançou-se pouco. O *software* usado ANSYS proporcionou uma apreciação razoável das tendências nos deslocamentos e deformações. Permitiu avaliar as diversas respostas das vigas a variações dos aspectos físicos e geométricos (não-linearidade geométrica e física), cujos resultados estão em conformidade com a literatura concernente. Entretanto, a validação do modelo é penalizada sob dois aspectos: só dispúnhamos de experimentos físicos realizados em canais de ondas com “campo de cordas”, e não acoplamos ao modelo ANSYS, um modelo de ondas, seja linear, seja não-linear. As forçantes do problema foram inseridas a partir de respostas do modelo de ondas linear, desenvolvido por Vasco (2005), o que não invalida, entretanto, os resultados apontados nessa dissertação.

Do ponto de vista numérico, pôde-se comprovar a influência de diversos termos tais como diâmetro e comprimento do corpo (viga, planta, organismo), módulo elástico, massa específica e módulo viscoelástico, no deslocamento do organismo simulado; representando de forma satisfatória resultados lineares encontrados na literatura, bem como fornecendo indicativos de resultados não-lineares do mesmo problema.

Assim posto, embora essa simulação não tenha sido ideal, visto os vários dados “imprecisos” inseridos, esta foi capaz de mostrar que o modelo em desenvolvimento está apresentando resultados, devendo ainda ser mais estudado e mais explorado, no tocante à entrada de dados, sobretudo no tratamento do problema específico, para que possa, enfim, tornar-se uma ferramenta útil nos estudos da modelagem do fundo vegetado sujeito à ação de forças provindas de ondas gravitacionais. Neste item, uma atenção particular aos efeitos viscoelásticos da vegetação e sua entrada e compatibilidade com o ANSYS deve ser melhor investigado. Na mesma direção, um modelo de onda não-linear deverá ser implementado e acoplado à movimentação da planta.

Em termos da evolução no estado da arte concernente ao comportamento geral dos organismos aquáticos, é imprescindível a criação de uma equipe multidisciplinar com estudiosos de diversas áreas, com o objetivo de agilizar a emissão de conclusões e entendimento da interação onda-planta (organismo vivo). Em termos de modelagem numérica já se tem, com larga experiência e certeza, a boa classe de modelo. Entretanto quanto à sua validação estamos ainda na dependência de experimentos físicos (delicados e complexos) a serem feitos com a própria vegetação.

Assim, fica como perspectivas para trabalhos futuros:

- ❖ Avançar na tecnologia dos *softwares* para que possam ser usados em celulares;
- ❖ Implementar modelos computacionais mais de uso técnico científico do meio (SWAN) e comparar com as previsões globais do *OndisaCAD*;
- ❖ Operacionalizar os ondógrafos em campo, no que diz respeito à interação vento-onda;
- ❖ Obter resultados de calibração prévio para dinâmica da planta, o que possibilitaria melhores estimativas nos coeficientes de dissipação de energia;
- ❖ Enveredar esforços na utilização do ANSYS, que se mostrou uma boa ferramenta, contudo há necessidade de acoplar-se um modelo de onda linear e não-linear...
- ❖ Implementar técnicas de sistemas inteligentes (redes neurais, lógica fuzzy, etc).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Ronaldo. Lisp para AutoCAD. Florianópolis: VisualBooks, 2000.

BRETSCHNEIDER, C. L. Prediction of waves and currents. **Look Lab. Hawaii**, n. 3. p. 1-17, 1973.

CAMFIELD, F. E. Wind-wave propagation over flooded, vegetated land. **Technical Paper**, Vicksburg, Miss, n. 77-12, CERC, 1977.

CAMFIELD, F. E. Wind-wave growth with high friction, **Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering**, ASCE, n. 109, p. 115-117, 1983.

CANDELLA, R. N. **Estudo de casos de ondas no Atlântico Sul através de modelagem numérica**. 1997. 80 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

CARTER, D. J. T. Predictions of wave height and period for a constant wind velocity using the JONSWAP results. **Ocean Engineering**, v. 9, n. 1, p. 17-33, 1982.

COVAS, J. M. A. Estudo da agitação marítima em Alcalá. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO SOBRE SIMULAÇÃO E MODELAÇÃO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 1., Blumenau, 1983. **Trabalhos técnicos portugueses**. Florianópolis: ABRH, 1983. v. 2. p. 595-609.

CUNHA, E. F.; MORAIS, V. S.; MACIEL, G. F. Sistema de transmissão de dados de vento e onda, via rádio-telemetria, em lagos de barragens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., Campo Grande, 2009. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009.

DALRYMPLE, R. A.; KIRBY, J. T.; HWANG, P. A. Wave refraction due to areas of energy dissipation. **Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering**, ASCE, n. 110, p. 67-79, 1984.

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.

FREEMAN, G. E.; RAHMEYER, W. H.; COPELAND, R. R. Determination of resistance due to shrubs and woody vegetation. **Technical Report, US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center**, Vicksburg, MS, TA7 E8, n. AD, p. A 383-997, 2000.

GAÁL, J. A. **Curso de AutoLISP**. Campinas: DeseCAD Computação Gráfica, 1997.

GAYLORD, B.; HALE, B. B.; DENNY, M. W. Consequences of transient fluid forces for compliant benthic organisms. **Journal of Experimental Biology**, n. 204, p. 1347-1360, 2001.

GHISALBERTI, M.; NEPF, H. M. Mixing layers and coherent structures in vegetated aquatic flow. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. C2, p. 1-11, 2002.

JOHNSON, A. S. Drag, drafting, and mechanical interactions in canopies of the red alga *Chondrus crispus*. **Biology Bulletin**, n. 201, p. 126-135, 2001.

KAISER, I. M. **Ondas geradas por ventos em reservatórios artificiais: um panorama**. 1995. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

KOBAYASHI, N.; RAICHLE, A. W.; ASANO, T. Wave attenuation by vegetation. **Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering**, ASCE, v. 119, n. 1, p. 30-48, 1993.
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: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15., Curitiba, 2003. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003.

LIMA, S. F. **Amortecimento de ondas gravitacionais por campos de vegetação simulados por elementos de grande flexibilidade**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LOVÅS, S. M.; TØRUM, A. Effects of the kelp *Laminaria hyperborea* upon sand dune erosion and water particle velocities. **Coastal Engineering**, v. 44, p. 37-63, 2001.

MACIEL, G. F.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M. D.; MARCON, C. N.; MARQUES, M. Previsão automatizada de ondas em lagos de barragens. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 22., Guayana, Venezuela 2006. **Anais...** Disponível em: <<http://www.ppgec.feis.unesp.br/producao2006/43.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2009.

MASSEL, S.R.; FURUKAWA, K.; BRINKMAN, R. M. Surface wave propagation in mangrove forest. **Fluid Dynamics Research**, v. 24, p. 219-249, 1999.

MARQUES, M. **Sistema automatizado para estimativa de ondas geradas por ventos em reservatórios de barragens**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MATSUMOTO, E. Y. **AutoLISP 2002**. São Paulo: Érica, 2001.

MENDEZ, F. J.; LOSADA, I. J. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. **Coastal Engineering**, 2004. No prelo.

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., Campo Grande, 2009. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009.

MORAIS, V. S.; MACIEL, G. F.; VASCO, J. R. G. Criação de um sistema automatizado de previsão de ondas geradas por ventos em águas interiores e sua alteração devido a influência de vegetação aquática. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 5., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: ABCM, 2008.

MORK, M. The effect of kelp in wave damping. **Sarsia Online**, 1996. Disponível em: <<http://www.ifm.uib.no/sol>>. Acesso em: 15 out. 2009.

MUHAMMAD, I. **Simulation of the Wind effect on the Itaipu Reservoir in Brazil**. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Coastal. Research Laboratory, Christian Albrechts University, Kiel, Germany, 2001.

NEARY, V. S. Numerical Solution of Fully Developed Flow with Vegetative Resistance.

Journal of Engineering Mechanics, v. 129, n. 5., 2003.

PIERSON, W. J.; MOSKOWITZ, L. A proposed spectral form for fully developed wind sea.

J. Geophys. Res., n. 69, p. 5181-5190, 1964.

PRICE, W. A.; TOMLINSON, K. W.; HUNT, J. N. The effect of artificial seaweed in

promoting the build-up of beaches. In: COASTAL ENGINEERING CONFERENCE. 11.,

1968. **Proceedings...** London: ASCE, 1968. p. 570-578.

SAVILLE, T. The effect of fetch width on wave generation. **Journal Technical**

Memorandum, n. 70, 1954.

TROVATI, L. R.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M.; MACIEL, G. F. **Produção de ondas**

induzidas pelo vento no lago de Ilha Solteira. 2001. Relatório Final de Pesquisa FAPESP.

Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. **Shore protection**

manual. 3. ed. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers, 1973/77/83.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Coastal engineering manual**. 3. ed.. Washington,

D.C.: Department of Army Corps of Engineers, 2001/2004. CD-ROM.

UTTER, B. D.; DENNY, M. W. Wave-induced forces on the giant kelp *Macrocystis pyrifera*

(*agardh*): field test of a computational model. **Journal of Experimental Biology**, n. 199, p.

2645-2654, 1996.

VASCO, J. R. G.; MACIEL, G. F. Estimativas de dissipação de energia de ondas propagando

sobre fundos vegetados. In: IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON

COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 26., Guarapari, ES, 2005. **Anais...**

CD-ROM. v. 1.

VASCO, J. R. G. **Modelo conceitual de dissipação da energia da onda que se propaga por**

fundos vegetados. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia,

Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

WIEGEL, R. L. **Oceanographical Engineering**. Washington, D.C.: Prentice-Hall, 1964.

(International series in Theoretical and Applied Mechanics).

ANEXO A

RECEPÇÃO DOS DADOS DE VENTO

Este **ANEXO** é dedicado a intervenções realizadas no intuito de estabelecer um monitoramento contínuo dos dados de vento (banco de dados) que sopram na região das margens do lago de Ilha Solteira, mais precisamente no farol São Martinho onde está localizada a estação coletora.

A.1 LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

O farol São Martinho, (um dos faróis de navegação da hidrovia Tietê-Paraná) que é mantido pela AHRANA, empresa responsável pela administração da hidrovia, foi escolhido devido a proximidade da localização e a praticidade de acesso, diminuindo o custo das viagens de barco ou terra para visita e manutenção dos equipamentos. A localização do farol no lago de Ilha Solteira pode ser visto na Figura A.1.

Outro fator relevante na escolha do farol São Martinho foi uma avaliação sobre as possibilidades de atenuação do sinal pelo vapor d'água ao longo da trajetória, sobre a superfície do lago.

Os equipamentos de medição de dados de ventos estão instalados no topo da estrutura do farol conforme o detalhe na Figura A.2.

O farol São Martinho está localizado na posição 20°20'98S 51°18'.07W e é composto por uma torre metálica estaiada (Figura A.3) com 30 metros de altura.



Figura A.1 – Lago de Ilha Solteira, pontos de leitura e recepção de dados



Figura A.2 – Farol São Martinho (detalhe do topo da estrutura)



Figura A.3 – Torre metálica estaiada do farol (20°20'98S 51°18'.07W)

A.1.1 Testes do link entre estação coletora e recepção

A priori não enfrentávamos problemas de conexão entre a base e o farol de São Martinho. Quando da visita do engenheiro-especialista INPE ao projeto, solicitamos que alguns testes de comunicação fossem executados, cuja análise detalhada é descrita a seguir.

O parecer do especialista recomenda plano de mudanças nas antenas tanto da emissão quanto recepção de forma a evitar quaisquer problemas na transmissão de dados.

No teste de propagação do enlace de radiofrequência entre UNESP/FEIS e farol de São Martinho, realizado em outubro de 2008 pela equipe do Projeto Fapesp da FEIS/UNESP, foi medido o nível de potência do sinal de radiofrequência de 900 MHz e o nível de ruído recebido.

Para realização do teste de propagação foi instalada na torre do farol de São Martinho um transceptor da marca Freewave modelo FGR-115-RC e uma antena onidirecional de 3 dBi de ganho com 30 m de altura. Na FEIS/UNESP, no Laboratório de Hidráulica e Hidrometria, foi instalado um segundo transceptor da marca Freewave modelo FGR-155-RC e utilizada a antena onidirecional de 3 dBi de ganho com 12 m de altura pertencente ao sistema de telemetria do sensor de vento 3-D instalado no farol de São Martinho.

Para os testes foi utilizado um notebook com o software “*Freewave PTP Diagnostics 1.0*” conectado, através de sua porta serial, ao transceptor instalado na FEIS/UNESP para o teste de propagação. A distância do enlace é de 9,7 km.

No teste de propagação, o nível de sinal recebido no transceptor instalado na UNESP-FEIS foi de -95 dBm e o nível de ruído foi -119 dBm. Para este modelo de transceptor a sensibilidade nominal de recepção é -108 dBm o que resulta em 13 dB para a margem de recepção e 24 dB para a relação sinal-ruído (S/R).

A Figura A.4 ilustra os resultados da medição da qualidade do sinal obtidos com o software “*Freewave PTP Diagnostics 1.0*” para o enlace em questão.

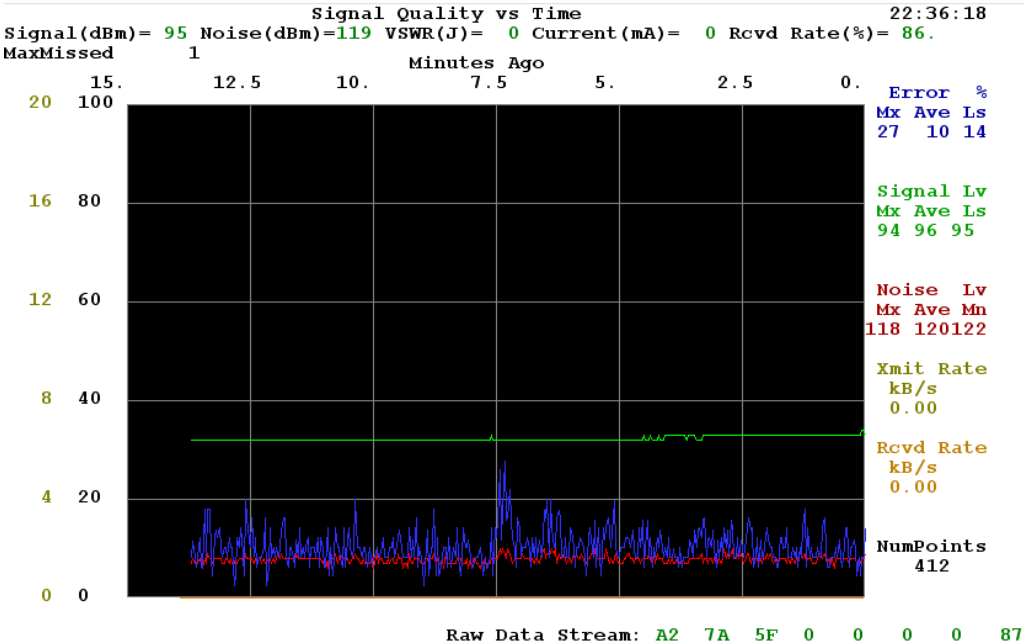


Figura A.4 – Qualidade do sinal de recepção medido para o enlace FEIS/UNESP - farol de São Martinho com antenas de 3 dBi

Neste transceptor, os sinais recebidos com potência até -80 dBm são considerados de qualidade boa. Sinais recebidos com potência entre -80 dBm e -90 dBm são considerados pobres. Sinais recebidos abaixo de -90 dBm são considerados enlaces inviáveis ou enlaces instáveis que exibem alta taxa de erros. Como o sinal recebido foi de -95 dBm, o enlace com antenas onidirecionais de 3 dBi de ganho é considerado ruim ou instável (com alta taxa de erro).

Com os resultados dessas medições, pode ser inferido o nível de sinal recebido na localidade FEIS/UNESP para o atual sistema de telemetria do sensor de vento 3-D que utiliza o transceptor da marca Campbell modelo RF450 com a mesma potência de transmissão (+30 dBm) e a mesma sensibilidade de recepção (-108 dBm) do transceptor da marca Freewave utilizado nos testes.

O sistema de telemetria do sensor de vento 3-D utiliza uma antena onidirecional de 3 dBi instalada na UNESP-FEIS e uma antena direcional de 9 dBi instalada no farol de São Martinho, sendo que essa última antena representa um ganho adicional de 6 dB no enlace com relação à configuração com antenas de 3 dBi em ambas as localidades utilizadas na configuração do teste de propagação.

Assim, para o sistema de telemetria do sensor de vento 3-D o nível estimado para o sinal de recepção será de -89 dBm, sendo o enlace considerado pobre (nível de recepção entre -80 dBm e -90 dBm).

Para melhorar a qualidade e estabilidade do enlace do sistema de telemetria do sensor 3-D recomenda-se a utilização de antenas de maior ganho em ambas as localidades do enlace.

Considerando, por exemplo, na localidade FEIS/UNESP, a substituição da antena onidirecional de 3 dBi de ganho por uma antena direcional de 17 dBi de ganho e na localidade farol de São Martinho a substituição antena direcional de 9 dBi por uma antena direcional de 17 dBi de ganho, o enlace teria um ganho adicional de 22 dB, elevando o sinal de recepção de -95 dBm para -73 dBm e a sua qualidade de enlace de instável para boa.

Se forem utilizadas antenas de 20 dBi em ambas as localidades do enlace o ganho adicional seria de 28 dB elevando o nível do sinal de recepção para -67 dBm o que resulta num enlace de superior qualidade e robustez o que é altamente desejável.

A.1.2 A antiga estação coletora

A estação coletora dos dados de vento passou por um período de manutenção em 2007, após o Anemômetro 2D ter sido danificado por vandalismo. Os equipamentos constituintes da estação completa de medição pré-existente foram então retirados do farol São Martinho e encaminhados a representantes da CAMPBELL no Brasil (São Paulo). O Anemômetro foi então reparado pela CAMPBELL (julho/2007) e sua estrutura de transmissão foi calibrada novamente.

Após testes de funcionamento em laboratório a estação foi relocada no farol São Martinho. O Anemômetro utilizado até então (campanha 2003) era o modelo Young R.M.05103, com hélice de eixo horizontal e sensor de direção do vento acoplados num único medidor da marca canadense CAMPBELL.

O equipamento disponível para comunicação de dados no projeto constava de uma estação remota composta de Datalogger modelo CR10X e rádio-modem, antena unidirecional, painel solar e bateria, alojados em caixa a prova de intempéries, rádio-modem alimentado por painel fotovoltaico e interface RS232 para computador para recebimento dos dados, todos fornecidos pela CAMPBELL.

A.2 O ANTIGO ANEMÔMETRO 2D

Em meados de 2007, os dados enviados pela estação de sensoriamento remoto não estavam chegando a contento à estação de recepção, no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP – Ilha Solteira, então uma missão foi realizada no dia 19-10-2007 no intuito de restabelecer a conexão e envio de dados de vento.

As principais suspeitas até então eram:

- O painel solar não estaria carregando a bateria;
- O modem estaria com problemas causados por descargas eletrostáticas;
- Os cabos poderiam estar soltos ou com oxidações.

Foi elaborado então um plano de ação para a substituição do sistema transmissor e troca de bateria se houvesse necessidade, bem como verificação de todos os cabos envolvidos no sistema.

Esta missão contou com um técnico de nível superior, um técnico de nível médio, um mestrando, além do operador do barco, totalizando 4 pessoas envolvidas. A comunicação foi efetuada através de rádio comunicador entre o farol São Martinho e o Laboratório de Hidrologia e Hidrometria. Eventualmente, quando o sinal estava fraco, foi utilizado celular.

Antes da partida, rumo ao rio, todos os equipamentos foram conferidos e colocados no barco da Figura A.5, ainda em frente ao Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da FEIS – UNESP.



Figura A.5 – Barco utilizado na visita à torre do farol São Martinho

A Figura A.6 ilustra ainda distante, o que se podia avistar da torre do farol São Martinho após 15 minutos de viagem de barco.



Figura A.6 – Vista da torre ainda distante das margens do lago

Após chegada à base da torre do farol São Martinho, já com os equipamentos necessários para substituição de algum eventual material danificado, iniciou-se a subida da torre. Chegando ao topo, o primeiro passo realizado foi efetuar a medição da tensão da bateria (Figura A.7, que ilustra também o rádio comunicador utilizado), assim foi constatado que o painel solar estava operando de maneira satisfatória, pois a tensão da bateria estava próxima de 12V, como era de se esperar.



Figura A.7 – Bateria de 12V utilizada no campo

Nesse momento, estava descartado qualquer tipo de problema com a bateria, painel solar e os cabos desses equipamentos, então verificou-se o antigo modem instalado, como ilustram as Figuras A.8 e A.9.

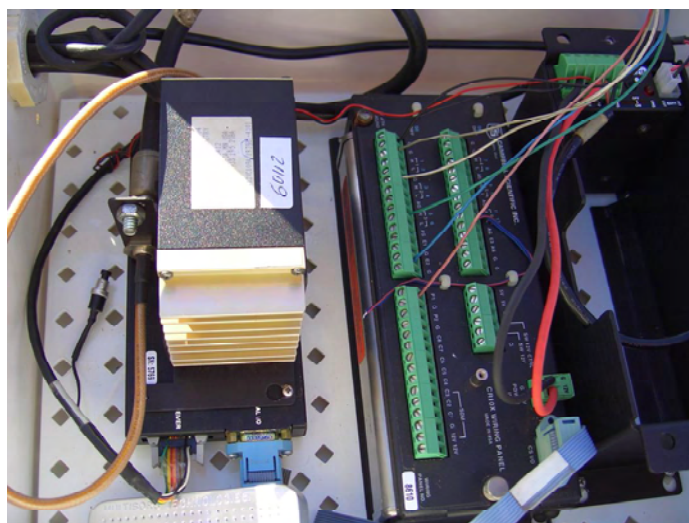


Figura A.8 – Vista do antigo modem fechado

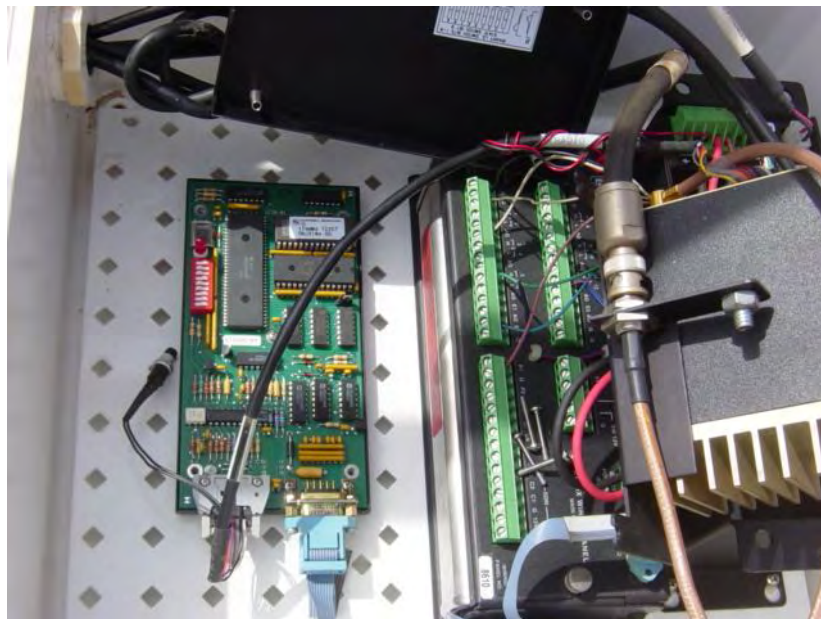


Figura A.9 – Vista do antigo modem aberto

Iniciou-se então a operação de substituição do modem, pois havia um forte indício de que se havia algum equipamento danificado, esse poderia ser o modem. Tal substituição pode ser acompanhado na sequência de Figuras de A.10 a A.14.



Figura A.10 – Retirada do modem antigo

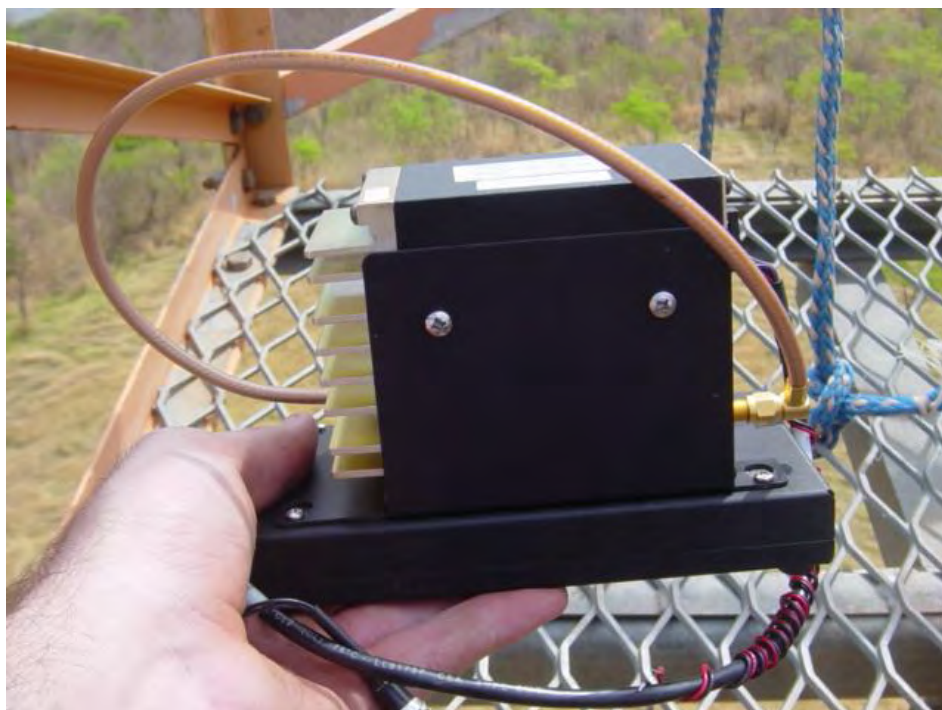


Figura A.11 – Novo modem, vista geral



Figura A.12 – Novo modem, vista das conexões frontais

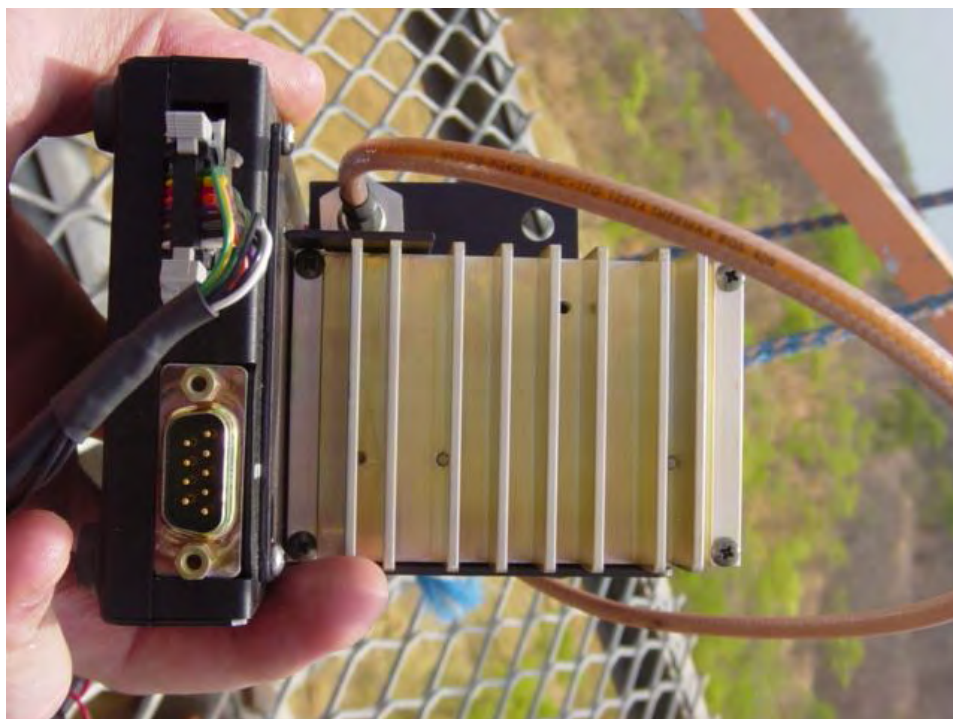


Figura A.13 – Novo modem, vista das conexões traseiras



Figura A.14 – Novo modem, instalado

Após substituição do modem, a conexão ainda estava inoperante, conforme contato via rádio com o técnico presente no laboratório. Assim foram verificados as conexões e posicionamento da antena unidirecional (Figura A.15).



Figura A.15 – Antena transmissora utilizada no campo

Foram verificadas também, no intuito de observação, as conexões e posicionamento do painel solar, como mostrado na Figura A.16.



Figura A.16 – Painel solar utilizado em campo

Ainda sem sinal de conexão entre o equipamento e o Laboratório na UNESP, a situação do Anemômetro (Figura A.17) também foi analisada, constatando que a hélice e o eixo vertical estavam girando livremente.



Figura A.17 – Anemômetro utilizado em campo

Assim, chegava-se ao final da missão, ainda sem sucesso, pois a conexão não estava plenamente estabelecida. A Figura A.18 ilustra a torre do farol São Martinho visto das margens do lago de Ilha Solteira ao final da missão.



Figura A.18 – Vista da torre ainda nas margens do lago

Durante os testes e acompanhamento do projeto, na busca de solucionar o problema, a conexão foi estabelecida durante apenas uma semana, e a estação passou a transmitir seus dados normalmente, como pode ser visto na Figura A.19, que apresenta um pequeno trecho dos dados recebidos.

```

101,2007,198,2000,12.22,8.31,8.31,328.3,.709
101,2007,198,2100,12.45,9.91,9.91,333.2,3.016
101,2007,198,2200,12.61,9.71,9.71,349.4,5.794
101,2007,198,2300,12.44,9.23,9.23,.89,.794
101,2007,198,2400,12.63,8.24,8.24,11.52,6.009
101,2007,199,100,12.76,7.7,7.7,27.6,4.328
101,2007,199,200,12.61,4.769,4.769,42.61,4.31
101,2007,199,300,12.48,3.204,3.204,49.01,.907
101,2007,199,400,12.45,4.941,4.941,55.26,3.022
101,2007,199,500,12.39,8.89,8.89,48.07,4.551
101,2007,199,600,12.35,11.02,11.02,22.99,8.04
101,2007,199,700,12.32,11.37,11.37,357.6,518
101,2007,199,800,12.3,11.76,11.76,341,2.955
101,2007,199,900,12.27,7.41,7.41,329.4,3.898
101,2007,199,1000,12.24,5.896,5.896,317.3,2.78
101,2007,199,1100,12.22,6.65
103,10.8,127
103,10.94,139.3
109,233,1518
109,232,1300
103,22.3,305
103,22.01,300.8
103,19.33,295.5
103,18.84,304.8
103,20.82,294.2
103,23.28,304.8
103,22.72,296.9
103,21.38,304.6
103,23.57,302.7
103,23.28,300.3
103,24.34,299.6
103,23.71,301.7
109,232,1301
103,23.21,299.9
103,23.99,304.7
103,23,301.5

```

Figura A.19 – Dados captados durante a tentativa de restauração da comunicação

Ao mesmo tempo em que estava havendo a tentativa de restabelecimento da comunicação do Anemômetro 2D, chegava em nossa Unidade os novos equipamentos de coleta de dados de vento, Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3, também fornecidos pela CAMPBELL.

Até então, ainda não havia sido restaurada a comunicação porque não houve sinal da estação. Deveriam ser verificadas todas as instalações no laboratório para a localização do problema, ou seja: verificação de cabamentos, antena, receptor de dados, etc. Assim o restabelecimento da conexão não foi feito e este trabalho foi cessado até que os equipamentos do Anemômetro 2D estivessem em condições de uso.

A.3 O ANEMÔMETRO ULTRASSÔNICO 3D CSAT3

Como o monitoramento dos dados de vento é de suma importância no contexto dessa dissertação, a montagem, testes, instalação e operacionalização do novo Anemômetro 3D CSAT3 foram realizadas antecipadamente, como mostrado a seguir.

A.3.1 Testes de bancada do Anemômetro 3D

Após conferir todo material, quantidade e qualidade das embalagens e proteções, o equipamento passou por uma análise detalhada antes de ser montado, visto que seria nesse momento que poderia ser detectada alguma avaria ou danificação aparente. Assim, constatado de que todo equipamento estava em perfeitas condições, pôde-se dar continuidade ao trabalho. A Figura A.20 ilustra as caixas de transporte dos novos equipamentos quando da chegada dos mesmos.



Figura A.20 – Caixas de transporte e detalhe da correspondência dos novos equipamentos

Esta parte tem o objetivo apenas de ilustrar o equipamento recém chegado à Unidade, Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3. A montagem e teste de funcionamento do equipamento recém chegado à Unidade, se deu primeiramente dentro das salas do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da FEIS – UNESP.

A sequência de imagens de A.21 a A.27 ilustra o equipamento e testes de funcionamento, sendo que a Figura A.21 apresenta o Anemômetro CSAT3.



Figura A.21 – Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3

Na Figura A.22, a Caixa Eletrônica do CSAT3, com conectores estilo militar.



Figura A.22 – Caixa Eletrônica

O novo sistema de transmissão e recepção de dados conta com transmissão de última geração. O esquema de montagem do CSAT3 é mostrado na Figura A.23, ainda com conexão direta entre o Datalogger e o Computador.

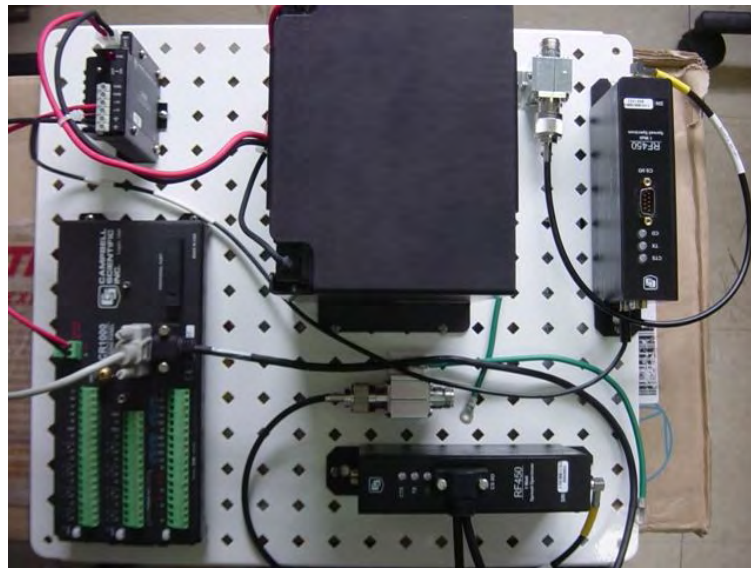


Figura A.23 – Esquema do sistema de transmissão de dados

Como o tempo de permanência desse equipamento em campo seria indeterminado, houve a necessidade de montagem dos equipamentos de transmissão dos dados via rádio. Resolvemos não alocar os dados na memória do Datalogger para evitar segundas visitas a campo. Foram utilizados os dois rádios RF 450, como o da Figura 24.

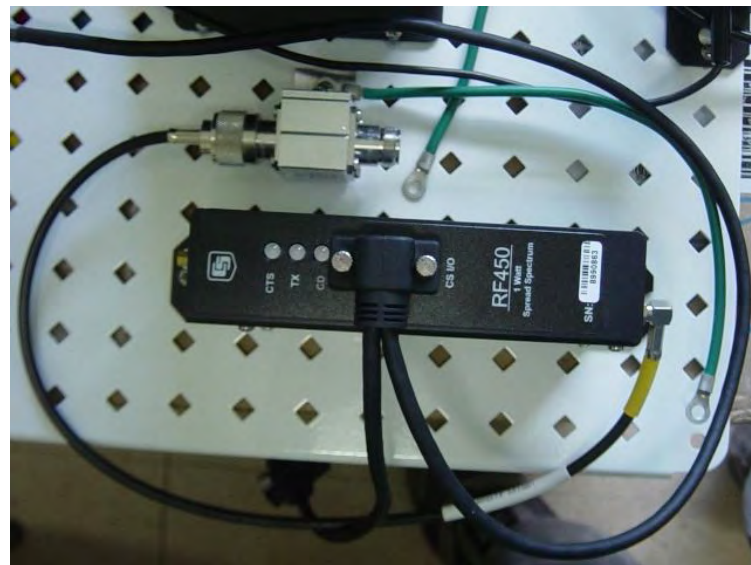


Figura A.24 – Detalhe do rádio RF 450

Será utilizado o Datalogger CR1000 da Figura A.25 para o recebimento dos dados do CSAT3.

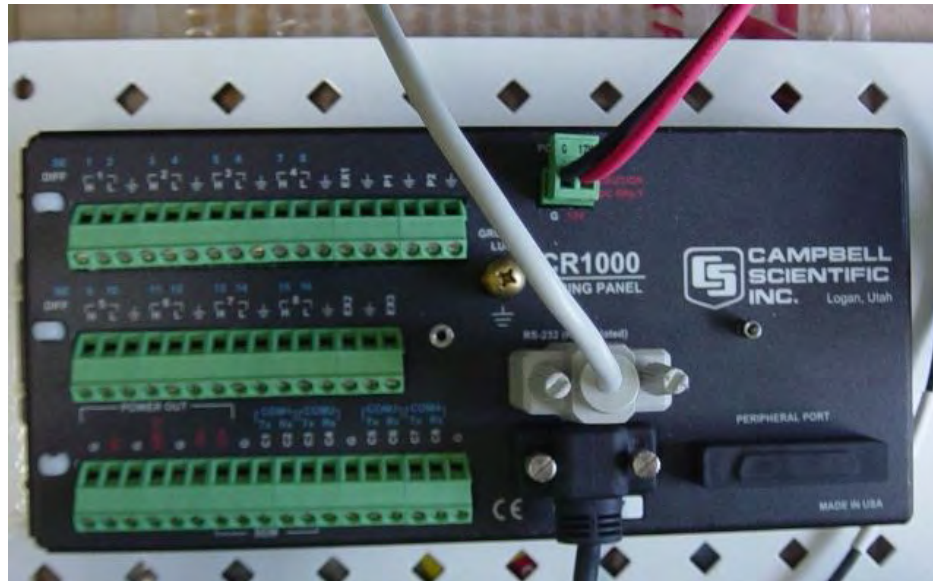


Figura A.25 – Datalogger CR1000

O Acoplamento entre a antena e o equipamento é feito com um protetor de equipamentos a fim de se evitar danos, como mostra a Figura A.26.



Figura A.26 – Protetor entre a antena e rádio

Depois de conectados todos os equipamentos, foi testado a comunicação entre Computador e Datalogger com um software exemplo desenvolvido pela CAMPBELL® para o CSAT3, mostrando a recepção de dados nas direções x, y e z, bem como a temperatura sônica, podendo ser visto na Figura A.27.

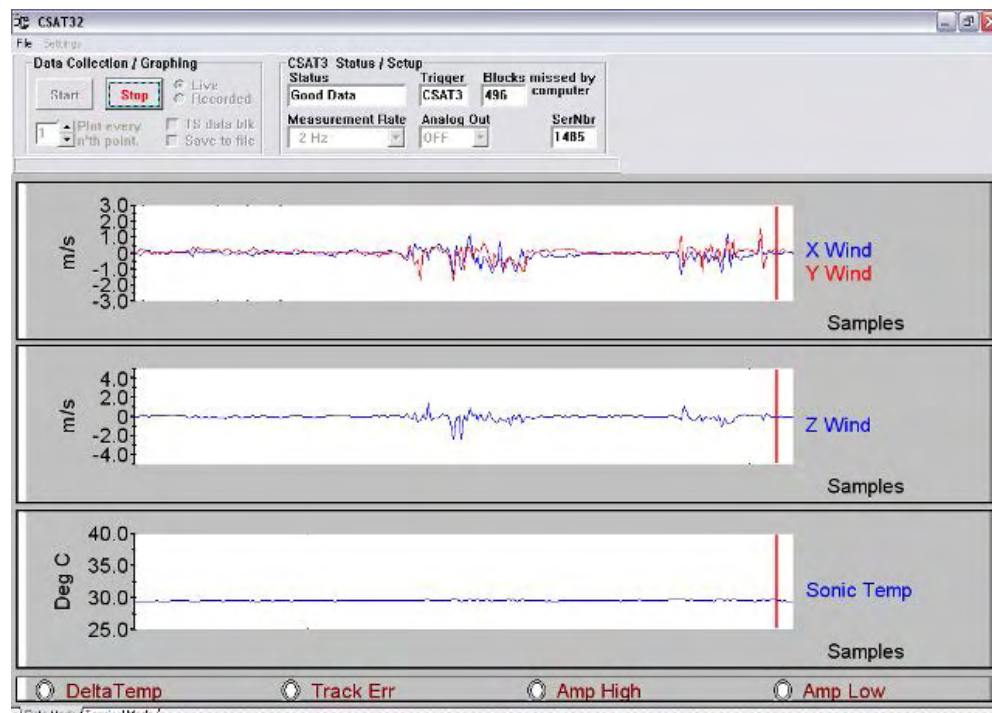


Figura A.27 – Resultados da captura do CSAT3 em um software exemplo

Efetuada os testes como software exemplo, outro software, “PC200W Datalogger Support Software”, também fornecido pela CAMPBELL foi instalado e utilizado para comunicação entre Computador e Datalogger.

Após a comunicação entre esses dois equipamentos, o próximo passo foi decidir quais dados seriam captados e em que intervalo de tempo. Decidiu-se que dados de vento em um intervalo de 5 segundos seriam o ideal e suficiente. Nesse ponto, a criação de um programa de captação de dados (ilustrado na Figura A.28) que será alocado no Datalogger fez-se necessário, e para tal utilizou-se o programa “CRBasic datalogger editor” presente no programa “LoggerNet 3.4.1” responsável pela configuração do Datalogger, também fornecido pela CAMPBELL.

```

PipelineMode
Const SCAN_INTERVAL = 1000    '100 mSec
Const OUTPUT_INTERVAL = 5     '30 Online flux data output interval in minutes.
Const CSAT3_AZIMUTH = 0       'Unique value.
Const CSAT3_OPT = INT (1000/SCAN_INTERVAL) 'Compute CSAT3 Execution Parameter.
Const SDM_PER = 30            'Default SDM clock speed.

Public wind(5)
Alias wind(1) = Ux
Alias wind(2) = Uy
Alias wind(3) = Uz
Alias wind(4) = Ts
Alias wind(5) = diag_csat
Units Ux = m/s
Units Uy = m/s
Units Uz = m/s
Units Ts = C
Units diag_csat = unitless
Public diag_bits(4) As Boolean 'Warning flags.
Alias diag_bits(1) = del_T_f 'Delta temperature warning flag.
Alias diag_bits(2) = sig_lck_f 'Poor signal lock warning flag.
Alias diag_bits(3) = amp_h_f 'Amplitude high warning flag.
Alias diag_bits(4) = amp_l_f 'Amplitude low warning flag.
Units diag_bits = samples
Public batt_volt 'CRBasic datalogger battery voltage.
Public panel_temp
Units batt_volt = V
Units panel_temp = C
Dim vnd_out(8)
Alias vnd_out(3) = vnd_dir_compass
Alias vnd_out(5) = vnd_spd
Alias vnd_out(6) = rslt_vnd_spd
Alias vnd_out(7) = vnd_dir_csat3
Alias vnd_out(8) = std_vnd_dir
Units vnd_dir_compass = degrees
Units vnd_spd = m/s
Units rslt_vnd_spd = m/s
Units vnd_dir_csat3 = degrees
Units std_vnd_dir = degrees
Dim disable_flag_on(2) As Boolean 'Intermediate processing disable flags.
Dim n 'Number of samples in the online statistics.
Units n = samples
Dim wind_east 'East wind in compass coordinate system.
Dim wind_north 'North wind in compass coordinate system.
Dim diag_csat_work As Long 'Working variable used to break out the CSAT3 diagnostic bits.
'*** Final Output Data Tables ***
DataTable (stats,TRUE,-1)
DataInterval (0,OUTPUT_INTERVAL,Min,10)
Average (1,Ts,IEEE4,disable_flag_on(1))
StdDev (1,Ts,IEEE4,disable_flag_on(1))
Average (1,Ux,IEEE4,disable_flag_on(1))
StdDev (1,Ux,IEEE4,disable_flag_on(1))
Average (1,Uy,IEEE4,disable_flag_on(1))
StdDev (1,Uy,IEEE4,disable_flag_on(1))
Average (1,Uz,IEEE4,disable_flag_on(1))
StdDev (1,Uz,IEEE4,disable_flag_on(1))
Sample (1,vnd_dir_compass,IEEE4)
Sample (1,vnd_dir_csat3,IEEE4)
Sample (1,vnd_spd,IEEE4)
Sample (1,rslt_vnd_spd,IEEE4)
Sample (1,std_vnd_dir,IEEE4)
Totalize (1,n,IEEE4,disable_flag_on(1))
Totalize (1,n,IEEE4,NOT (disable_flag_on(1) OR disable_flag_on(2)))
FieldNames ("csat_warnings")
Totalize (1,n,IEEE4,NOT (del_T_f) OR NOT (disable_flag_on(2)))
FieldNames ("del_T_f_Tot")
Totalize (1,n,IEEE4,NOT (sig_lck_f) OR NOT (disable_flag_on(2)))
FieldNames ("sig_lck_f_Tot")
Totalize (1,n,IEEE4,NOT (amp_h_f) OR NOT (disable_flag_on(2)))
FieldNames ("amp_h_f_Tot")
Totalize (1,n,IEEE4,NOT (amp_l_f) OR NOT (disable_flag_on(2)))
FieldNames ("amp_l_f_Tot")
Average (1,panel_temp,IEEE4,FALSE)
Average (1,batt_volt,IEEE4,FALSE)
EndTable

'*** Working Data Tables ***
DataTable (vnd_vec,TRUE,1)
DataInterval (0,OUTPUT_INTERVAL,Min,1)
WindVector (1,wind_east,wind_north,IEEE4,disable_flag_on(1),0,1,2)
WindVector (1,Uy,Ux,IEEE4,disable_flag_on(1),0,1,2)
EndTable

'*** Program ***
BeginProg
n = 1
Move (Ux,5,NaN,1)
SDMSpeed (SDM_PER)
Scan (SCAN_INTERVAL,mSec,3,0)
PanelTemp (panel_temp,250)
CSAT3 (Ux,1,3,91,CSAT3_OPT)
Battery (batt_volt)
wind_east = -1*Uy
wind_north = Ux
If (diag_csat = NaN) Then (diag_csat = 61502)
diag_csat_work = diag_csat
del_T_f = diag_csat_work AND 4h8000
sig_lck_f = diag_csat_work AND 4h4000
amp_h_f = diag_csat_work AND 4h2000
amp_l_f = diag_csat_work AND 4h1000
disable_flag_on(1) = diag_csat_work AND 4hf000
disable_flag_on(2) = (disable_flag_on(1) AND NOT (Ts = NaN))
If (diag_csat_work < 4hf000) Then (diag_csat = INT (diag_csat_work/4h1000))
CallTable vnd_vec
If (vnd_vec.Output(1,1)) Then
GetRecord (vnd_out(1),vnd_vec,1)
vnd_dir_compass = (vnd_dir_compass+CSAT3_AZIMUTH) MOD 360
If (vnd_dir_csat3) > 180 Then (vnd_dir_csat3 = vnd_dir_csat3-360)
EndIf
CallTable stats
NextScan
EndProg

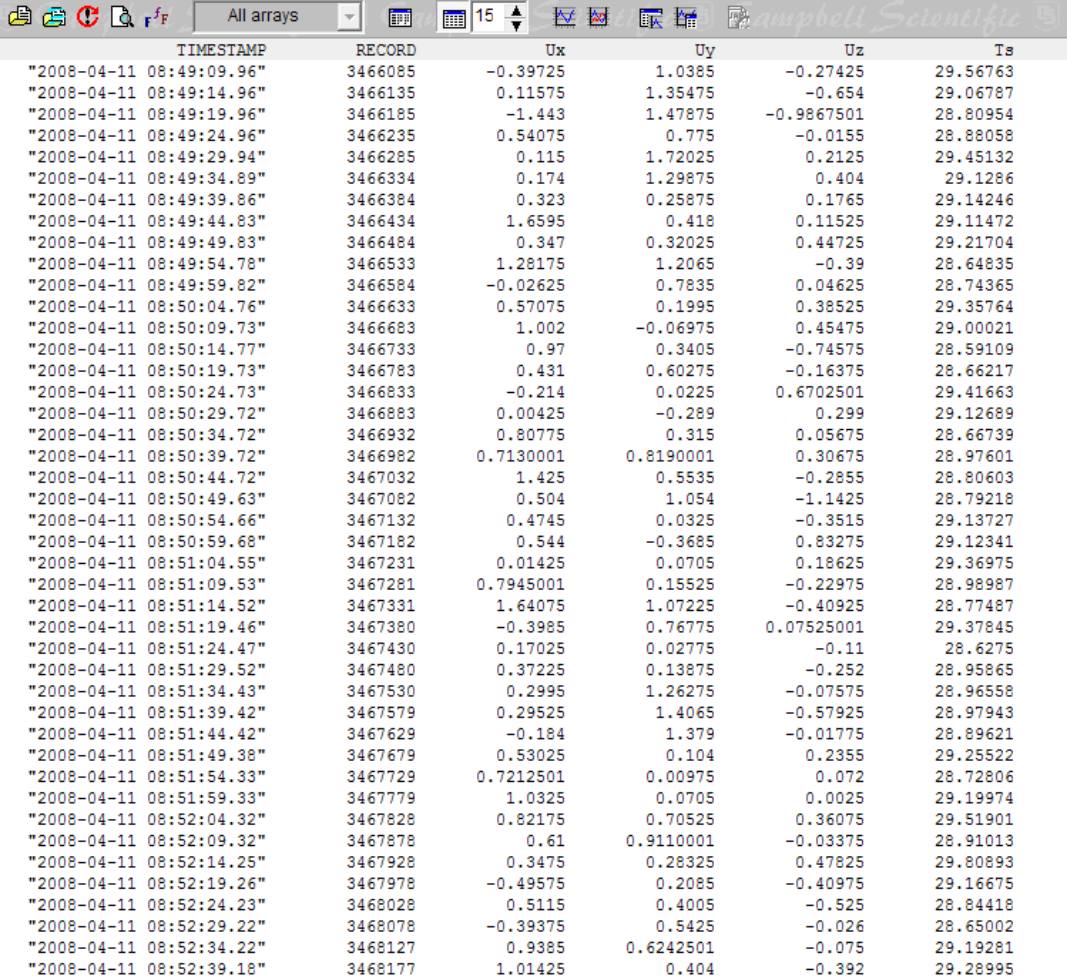
```

Figura A.28 – Programa de Captação de dados inserido no Datalogger

Como mostra a Figura A.28, o programa de captação de dados inserido no Datalogger CR1000 produzirá uma saída de dados da seguinte forma: Os dados de vento são escaneados com uma frequência de 10 Hz e enviados via Rádio para o laboratório (UNESP) a cada 5 segundos, sendo que a gravação é feita no PC (recepção) com a média de todos os dados escaneados, ou seja, 50 dados (10 a cada segundo).

Após o início da captação dos dados, o próximo passo seria aguardar algum tempo para analisar os mesmos, esse passo foi feito com o Anemômetro 3D CSAT3 estacionado dentro do laboratório por algumas horas.

A Figura A.29 ilustra como a captura de dados foi salva no PC durante os testes de bancada. Pode-se notar que as colunas estão organizadas da seguinte forma: Data/Hora, N° de gravação, Velocidade do Vento (componentes x y e z) e Temperatura Sônica, já utilizando o programa criado para gravação no intervalo de tempo de 5 segundos.



TIMESTAMP	RECORD	Ux	Uy	Uz	Ts
"2008-04-11 08:49:09.96"	3466085	-0.39725	1.0385	-0.27425	29.56763
"2008-04-11 08:49:14.96"	3466135	0.11575	1.35475	-0.654	29.06787
"2008-04-11 08:49:19.96"	3466185	-1.443	1.47875	-0.9867501	28.80954
"2008-04-11 08:49:24.96"	3466235	0.54075	0.775	-0.0155	28.88058
"2008-04-11 08:49:29.94"	3466285	0.115	1.72025	0.2125	29.45132
"2008-04-11 08:49:34.89"	3466334	0.174	1.29875	0.404	29.1286
"2008-04-11 08:49:39.86"	3466384	0.323	0.25875	0.1765	29.14246
"2008-04-11 08:49:44.83"	3466434	1.6595	0.418	0.11525	29.11472
"2008-04-11 08:49:49.83"	3466484	0.347	0.32025	0.44725	29.21704
"2008-04-11 08:49:54.78"	3466533	1.28175	1.2065	-0.39	28.64835
"2008-04-11 08:49:59.82"	3466584	-0.02625	0.7835	0.04625	28.74365
"2008-04-11 08:50:04.76"	3466633	0.57075	0.1995	0.38525	29.35764
"2008-04-11 08:50:09.73"	3466683	1.002	-0.06975	0.45475	29.00021
"2008-04-11 08:50:14.77"	3466733	0.97	0.3405	-0.74575	28.59109
"2008-04-11 08:50:19.73"	3466783	0.431	0.60275	-0.16375	28.66217
"2008-04-11 08:50:24.73"	3466833	-0.214	0.0225	0.6702501	29.41663
"2008-04-11 08:50:29.72"	3466883	0.00425	-0.289	0.299	29.12689
"2008-04-11 08:50:34.72"	3466932	0.80775	0.315	0.05675	28.66739
"2008-04-11 08:50:39.72"	3466982	0.7130001	0.8190001	0.30675	28.97601
"2008-04-11 08:50:44.72"	3467032	1.425	0.5535	-0.2855	28.80603
"2008-04-11 08:50:49.63"	3467082	0.504	1.054	-1.1425	28.79218
"2008-04-11 08:50:54.66"	3467132	0.4745	0.0325	-0.3515	29.13727
"2008-04-11 08:50:59.68"	3467182	0.544	-0.3685	0.83275	29.12341
"2008-04-11 08:51:04.55"	3467231	0.01425	0.0705	0.18625	29.36975
"2008-04-11 08:51:09.53"	3467281	0.7945001	0.15525	-0.22975	28.98987
"2008-04-11 08:51:14.52"	3467331	1.64075	1.07225	-0.40925	28.77487
"2008-04-11 08:51:19.46"	3467380	-0.3985	0.76775	0.07525001	29.37845
"2008-04-11 08:51:24.47"	3467430	0.17025	0.02775	-0.11	28.6275
"2008-04-11 08:51:29.52"	3467480	0.37225	0.13875	-0.252	28.95865
"2008-04-11 08:51:34.43"	3467530	0.2995	1.26275	-0.07575	28.96558
"2008-04-11 08:51:39.42"	3467579	0.29525	1.4065	-0.57925	28.97943
"2008-04-11 08:51:44.42"	3467629	-0.184	1.379	-0.01775	28.89621
"2008-04-11 08:51:49.38"	3467679	0.53025	0.104	0.2355	29.25522
"2008-04-11 08:51:54.33"	3467729	0.7212501	0.00975	0.072	28.72806
"2008-04-11 08:51:59.33"	3467779	1.0325	0.0705	0.0025	29.19974
"2008-04-11 08:52:04.32"	3467828	0.82175	0.70525	0.36075	29.51901
"2008-04-11 08:52:09.32"	3467878	0.61	0.9110001	-0.03375	28.91013
"2008-04-11 08:52:14.25"	3467928	0.3475	0.28325	0.47825	29.80893
"2008-04-11 08:52:19.26"	3467978	-0.49575	0.2085	-0.40975	29.16675
"2008-04-11 08:52:24.23"	3468028	0.5115	0.4005	-0.525	28.84418
"2008-04-11 08:52:29.22"	3468078	-0.39375	0.5425	-0.026	28.65002
"2008-04-11 08:52:34.22"	3468127	0.9385	0.6242501	-0.075	29.19281
"2008-04-11 08:52:39.18"	3468177	1.01425	0.404	-0.392	29.28995

Figura A.29 – Disposição dos dados gravados pelo Anemômetro 3D CSAT3

Portanto, a transmissão e recepção de dados foram testadas com êxito dentro de uma sala, tanto por conexão direta entre o Anemômetro e o Computador, quanto por transmissão via Rádio-Modem.

O próximo passo seria o teste para longas distâncias. Este teste foi a 50 metros, distância entre o Anemômetro 3D e o Computador, já sob ação de ventos e intempéries. O equipamento permaneceu em tal situação por uma semana, dessa vez, apenas transmissão por rádio-modem foi efetuado.

Assim, o equipamento foi considerado hábil no cumprimento de seus deveres e pronto para ser instalado no campo, pois não apresentou nenhum tipo de problemas na rádio-transmissão, interrupção de dados ou carga da bateria.

A.3.2 Instalação em campo do Anemômetro 3D

A missão para instalação do Anemômetro 3D CSAT3 foi realizada no dia 21-05-2008 e teve início às 07h00min, que foi o horário em que o barco partiu para o rio. Foram envolvidas 5 pessoas, sendo 4 em campo e 1 em laboratório.

Antes de partir, o barco foi equipado com todo material necessário para a instalação do Anemômetro 3D CSAT3. Tais equipamentos eram constituídos de:

- Anemômetro e cabos em sua devida caixa de transporte;
- Caixa a prova de intempérie, onde os equipamentos de coleta, rádio-transmissor de dados e bateria estão alocados, já devidamente montada e pré-testada;
- Painel solar;
- Antena unidirecional;
- Corda de 30m;
- Rádio comunicador de longa distância;
- Sistema de braço e polia;
- Ferramentas em geral (alicates, sargento, arco de serra, etc);
- Equipamentos de proteção individual (colete salva vidas, capacete de proteção, cadeira de segurança, etc);
- Entre outros.

Chegando ao rio, rapidamente o barco estava preparado e operando em direção ao farol São Martinho, todo equipamento foi descarregado e levado até à base da torre passando por uma mata de difícil acesso.

Ao subir os 30 metros da torre, cuidado especial com os equipamentos de proteção individual como cadeira de segurança e capacete. A Figura A.30 mostra uma imagem durante a subida na torre.



Figura A.30 – Vista da subida na torre

A corrente que trancava o alçapão do topo da torre teve de ser cortada, pois a chave de seu cadeado não foi encontrada, para tanto, um alicate de cortar corrente foi utilizado sem sucesso, pois o elo da corrente é muito espesso, utilizou-se então um sargento para fixação e um arco de serra para o corte. A Figura A.31 mostra a corrente e seu corte.



Figura A.31 – Detalhe da corrente, serra, sargento e corte

Ao acessar o topo do farol, a primeira atitude foi a de desmontar completamente o antigo Anemômetro 2D, para tal, bastou apenas o uso de algumas chaves e de um alicate de cortar corrente, assim o Anemômetro 2D, que já estava inoperante, foi totalmente desmontado. A sequência de imagens da Figura A.32 ilustra o antigo equipamento que já não se encontra mais no campo (torre do farol São Martinho).

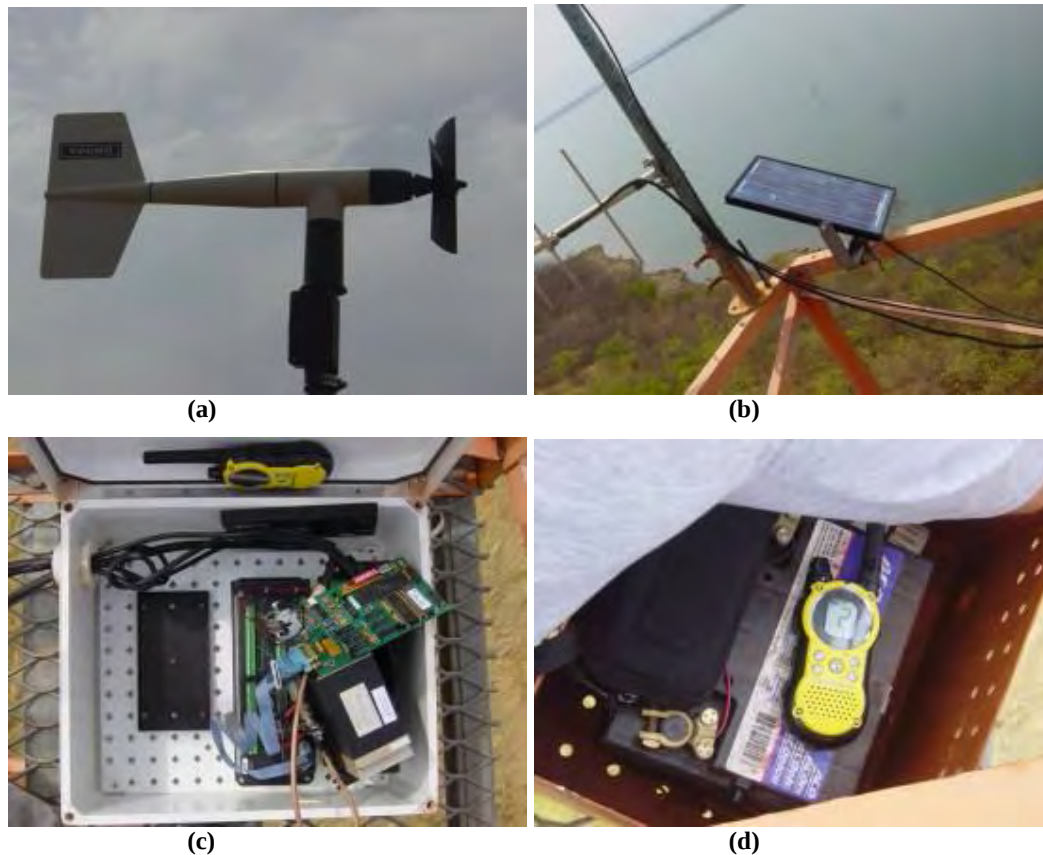


Figura A.32 – (a) Anemômetro 2D, (b) painel solar e antena unidirecional, (c) caixa eletrônica e (d) bateria

Um cuidado especial foi tomado para subir e descer os equipamentos, um esquema de braço e polia foi montada e fixada na lateral da torre (Figura A.33), além de facilitar o trabalho braçal, ainda auxilia os equipamentos contra eventuais batidas na estrutura da torre ou nos cabos que a seguram, pois todo equipamento é muito sensível à qualquer tipo de avaria.



Figura A.33 – Detalhe do braço e polia ao lado do painel solar da Marinha

Primeiramente (intercalando) foram decididos os equipamentos antigos e erguidos os novos equipamentos. O primeiro equipamento a ser instalado foi a Antena unidirecional, como mostra a Figura A.34, ainda sem os cabos.



Figura A.34 – Antena unidirecional

Em seguida constatou-se que o suporte que deveria ser fixado o Anemômetro 3D não era suficientemente rígido, pois o peso do novo Anemômetro é considerável, comparando com o Anemômetro 2D, assim, poderia influenciar na coleta dos dados, bem como não suportar o peso do mesmo, então a solução encontrada foi colocar o Anemômetro 3D fixado na base do pára-raios da Marinha, local esse firme o suficiente para os propósitos ali necessários, como ilustra a Figura A.35.



Figura A.35 – Pára-raios da marinha, local de instalação do Anemômetro 3D

Após a pré-fixação do Anemômetro 3D, a correta inclinação e orientação do mesmo demandaram tempo e equipamentos precisos para que os dados coletados fossem os verdadeiros, como sugerido no manual do Anemômetro 3D CSAT3.

Utilizou-se uma Bússola de precisão, um goniômetro, e uma placa de PVC pré-fabricada com a correta angulação necessária. Tal angulação não era o mesmo da Bússola, pois o Anemômetro 3D tem como referência o norte geométrico, e não o norte magnético como é apontada pela Bússola, então tal correção deveria ser feita. Estes equipamentos são mostrados na Figura A.36.



Figura A.36 – Bússola e goniômetro em mãos e Placa de PVC para direcionamento do ângulo de $158^{\circ}20'$ sobre a caixa do Anemômetro 3D

Constatou-se que a defasagem entre o norte magnético e o norte geométrico para a posição do farol São Martinho seria de $18^{\circ}20'$. Além da correção do norte o manual exige que o eixo do equipamento deva ser alinhado a 140° do norte geográfico. Assim o eixo do Anemômetro 3D foi alinhado a $158^{\circ}20'$ do norte magnético. As imagens das Figuras A.37 e A.38 mostram como ficou a posição do Anemômetro 3D.



Figura A.37 – Posição corrigida



Figura A.38 – Posição corrigida já fixada

Após a instalação do Anemômetro 3D e correta “setagem” da direção do equipamento, a Caixa Eletrônica do CSAT3 foi fixada na base do pára-raios, logo abaixo do Anemômetro, como mostra a Figura A.39.



Figura A.39 – Caixa Eletrônica do CSAT3

Enquanto isso o Painel Solar (Figura A.40) estava sendo fixado na lateral da torre, na mesma direção em que estava o Painel Solar do Anemômetro 2D e que se encontra o da Marinha.



Figura A.40 – Posição do Painel Solar fixada

O último equipamento a ser montado foi a Caixa de proteção onde ficam os equipamentos de coleta, rádio-transmissor de dados e bateria. Tal Caixa ficou localizada na horizontal. Como a mesma já estava previamente montada, apenas as conexões foram, a princípio, estabelecidas. A Figura A.41 ilustra tal situação.



Figura A.41 – Posição da Caixa Eletrônica e primeiras conexões

Após simples conexões, todo o aparato já estava em funcionamento. A partir desse ponto foram feitas várias comunicações com Rádio e celular a fim de obter conversação entre a Torre e o Laboratório da UNESP no intuito de estabelecer um bom envio e transmissão de dados entre o Anemômetro CSAT3 e os equipamentos que receberão os dados instalados no Laboratório de Hidrologia da FEIS-UNESP.

Foi testada a Antena Unidirecional a fim de responder uma pergunta, qual o “range” em que a transmissão de dados não é interrompida? Para tanto, a Antena que inicialmente foi posicionada na mesma direção da antiga, que já apresentava envio de dados, foi girada no sentido horário e anti-horário até perder o sinal e a recepção de dados no laboratório, por fim tal Antena foi posicionada e fixada entre estes dois extremos (Figura A.42). Foi testada também a carga na Bateria e sua recarga pelo Pannel.



Figura A.42 – Posição fixada da Antena Unidirecional

Após ter constatado de que o envio e recepção de dados estavam ininterruptamente estabelecidos durante 5 minutos, foram retiradas as conexões para serem fixadas e protegidas adequadamente. Algumas das fixações podem ser observadas na Figura A.43.



Figura A.43 – (a) Detalhe da fixação dos cabos que saem da Caixa Eletrônica e
(b) Isolamento com fita auto-fusão envolvida por fita isolante na Antena

Após todas as fiações serem devidamente fixadas protegidas e isoladas, foram reconectadas e estabelecida novamente a conexão entre os rádios-modens, mais 10 minutos de conexão e comunicação ininterruptos, o Anemômetro 3D CSAT3 estava instalado e operante.

A Caixa de proteção ainda foi isolada do exterior com uma massa fornecida pela CAMPBELL, além de sacos de sílica gel para evitar a umidade no interior da Caixa (ver Figura A.44). Ao final, nesta Caixa foram colocados os 2 cadeados da Figura A.45.



Figura A.44 – Caixa de proteção em sua configuração final

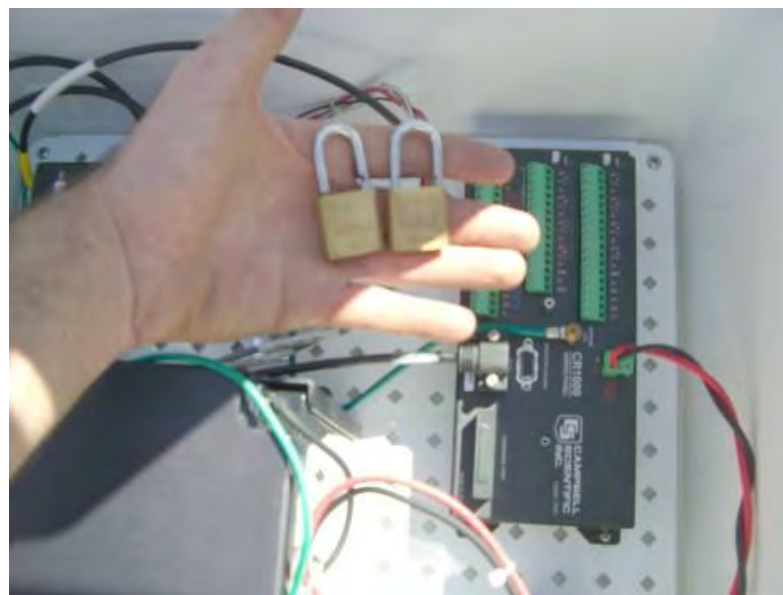


Figura A.45 – Cadeados da Caixa de proteção

Uma informação importante de se ter registrado é a da exata conexão das fiações no Datalogger, pois este é de suma importância na correta programação do equipamento, assim a Figura A.46 mostra detalhes das conexões estabelecidas no referente Datalogger CR1000.

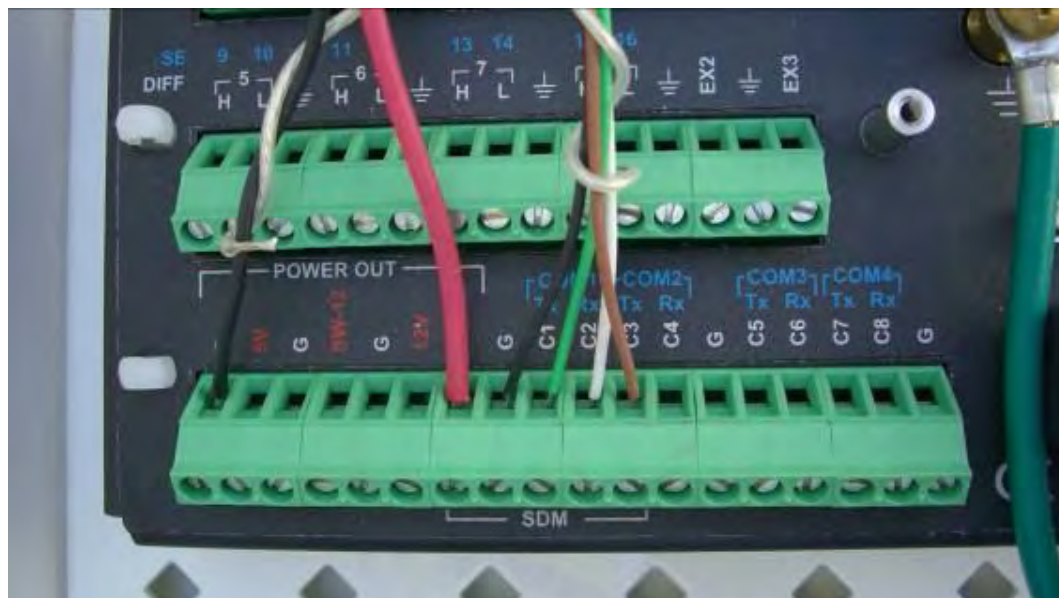


Figura A.46 – Detalhe das conexões do Datalogger CR1000

Ao descer da torre, um cadeado espesso (Figura A.47), substituindo o elo serrado, foi colocado na corrente do alçapão do farol São Martinho, ficando assim a corrente com dois cadeados, um da Marinha e outro da UNESP.



Figura A.47 – Cadeado colocado na corrente da Torre, pertencente à UNESP

A Figura A.48 mostra o momento antes de descer da Torre e o equipamento retirado do local no fundo.



Figura A.48 – Instantes antes da descida e equipamentos 2D retirados ao fundo

O retorno ao ponto de partida se deu por volta das 17h00min no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da FEIS-UNESP. Desde então, a conexão se encontra estabelecida e o sistema operante. A aquisição de dados está sendo realizada e armazenada, o programa utilizado para tal fim possui uma interface de fácil manuseio, fornecido pela própria CAMPBELL.

A.4 O ANEMÔMETRO SÔNICO 2D

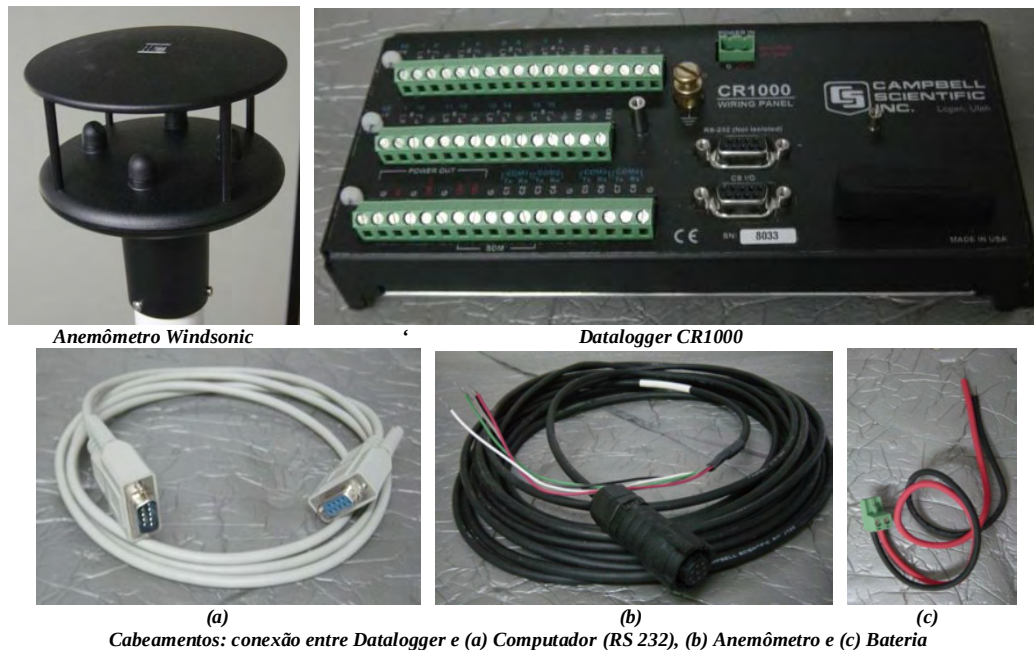
Encontra-se em fase de construção, várias torres metálicas estaiadas e localizadas ao redor do lago de Ilha Solteira a fim de caracterizar por completo os ventos que sopram por tal lago. Assim, com a finalização da construção das torres, instalação dos Anemômetros, operacionalização e tratamento dos dados, questões como: duração dos ventos, entre outras, poderão ser respondidas.

Na primeira metade do mês de outubro de 2008, um anemômetro 2D (modelo Windsonic) foi preparado para instalação na torre do farol São Martinho, junto com o Anemômetro 3D para efeitos de comparação e testes do mesmo, visando a rede de Anemômetros e estação meteorológica que serão instalados em breve.

Contudo, a efetiva instalação foi adiada, pois os objetivos de tal missão foram alterados, assim, na primeira semana de abril de 2009, os testes de bancada foram retomados e realizados em um anemômetro sônico 2D, dessa vez com o objetivo apenas de comparação com os dados expostos pelo Anemômetro Ultrassônico 3D (em campo), já que esse último apresentava algumas dúvidas relacionadas à direção dos vetos, pois quando na data dos testes de bancada, erroneamente não analisamos os dados de direção do vento.

A.4.1 Testes de bancada do Anemômetro 2D

O primeiro passo nos testes de bancada foi verificar os equipamentos que serão utilizados. A Figura A.49 ilustra os equipamentos que serão utilizados nos testes de bancada.



Cabeamentos: conexão entre Datalogger e (a) Computador (RS 232), (b) Anemômetro e (c) Bateria

Figura A.49 – Detalhes dos equipamentos individuais utilizados

Como o tempo de permanência desse equipamento em campo seria curto (cerca de 2 semanas), não houve a necessidade de montagem dos equipamentos de transmissão dos dados via rádio. Resolvemos colocá-los na própria memória do Datalogger.

Foi testada a comunicação entre Computador e Datalogger através do *software* “PC200W Datalogger Support Software” fornecido pela CAMPBELL. Após a comunicação entre esses dois equipamentos, o próximo passo foi decidir quais dados seriam captados e em que intervalo de tempo. Como o objetivo da instalação desse equipamento seria analisar os dados em uma comparativa com o equipamento já instalado, valores de velocidade e direção do vento em um intervalo de 5 segundos seriam o ideal e suficiente. Decidiu-se então criar um programa de captação de dados (ilustrado na Figura A.50) que será alocado no Datalogger. Este programa foi editado pelo programa “CRBasic datalogger editor” presente no programa “LoggerNet 3.4.1” responsável pela configuração do Datalogger, também fornecido pela CAMPBELL.

```
Public wind_direction
Public wind_speed
Public diag

Units wind_direction = degrees
Units wind_speed = m/s
Units diag = unitless

Dim in_bytes_str AS String * 18
Dim in_bytes_sub_str(4) AS String * 6
Dim nmbr_bytes_rtrnd
Dim disable_flag AS Boolean
Dim one
Units one = samples

DataTable (stats,TRUE,-1)
DataInterval (0,5,Sec,10)

WindVector (1,wind_speed,wind_direction,IEEE4,disable_flag,0,0,0)
FieldNames ("mean_wind_speed,mean_wind_direction,std_wind_dir")
Totalize (1,one,IEEE4,disable_flag)
FieldNames ("n_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>1)
FieldNames ("diag_1_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>2)
FieldNames ("diag_2_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>4)
FieldNames ("diag_4_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>8)
FieldNames ("diag_8_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>9)
FieldNames ("diag_9_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>10)
FieldNames ("diag_10_TOT")
Totalize (1,one,IEEE4,diag<>NaN)
FieldNames ("no_data_TOT")
EndTable

BeginProg
one = 1
SerialOpen (Com1,38400,3,0,90) 'SerialOpen buffer size is number of bytes * five.

Scan (100,mSec,120,0)
'Get data from WindSonic.
SerialInRecord (Com1,in_bytes_str,sh02,0,sh03,nmbr_bytes_rtrnd,01)
SplitStr (in_bytes_sub_str(1),in_bytes_str,",",4,6) 'Parse out the data using the commas as delimites:
wind_direction = in_bytes_sub_str(1)
wind_speed = in_bytes_sub_str(2)
diag = in_bytes_sub_str(4)
disable_flag = (wind_direction=NaN) OR (diag<>0)

CallTable stats
NextScan
EndProg
```

Figura A.50 – Programa de Captação de dados inserido no Datalogger

Como mostra a Figura A.50, o programa de captação de dados inserido no Datalogger CR1000 produzirá uma saída de dados semelhante àqueles produzidos pelo Anemômetro CSAT 3D, da seguinte forma: Os dados de vento são escaneados com uma frequência de 10 Hz e gravados a cada 5 segundos, sendo que a gravação é feita com a média de todos os dados escaneados, ou seja, 50 dados (10 a cada segundo).

Assim, todo o equipamento foi posicionado (Figura A.51a) e conectado, como mostra a Figura A.51b para os testes de bancada.

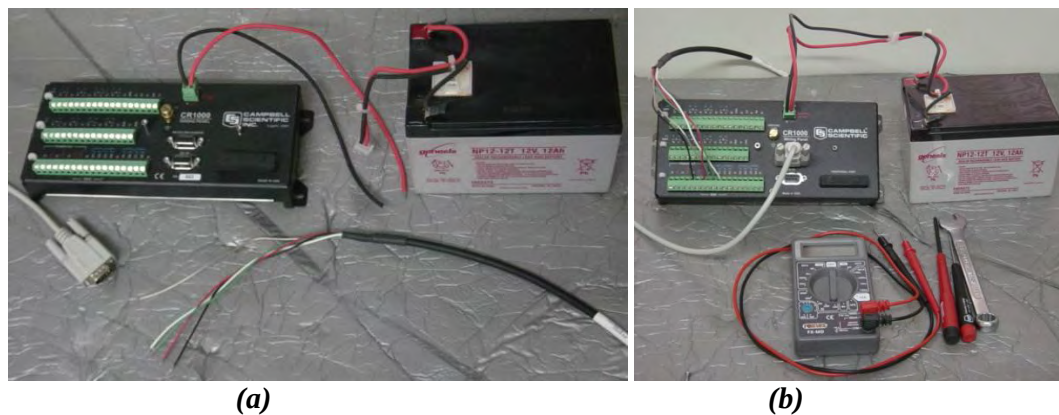


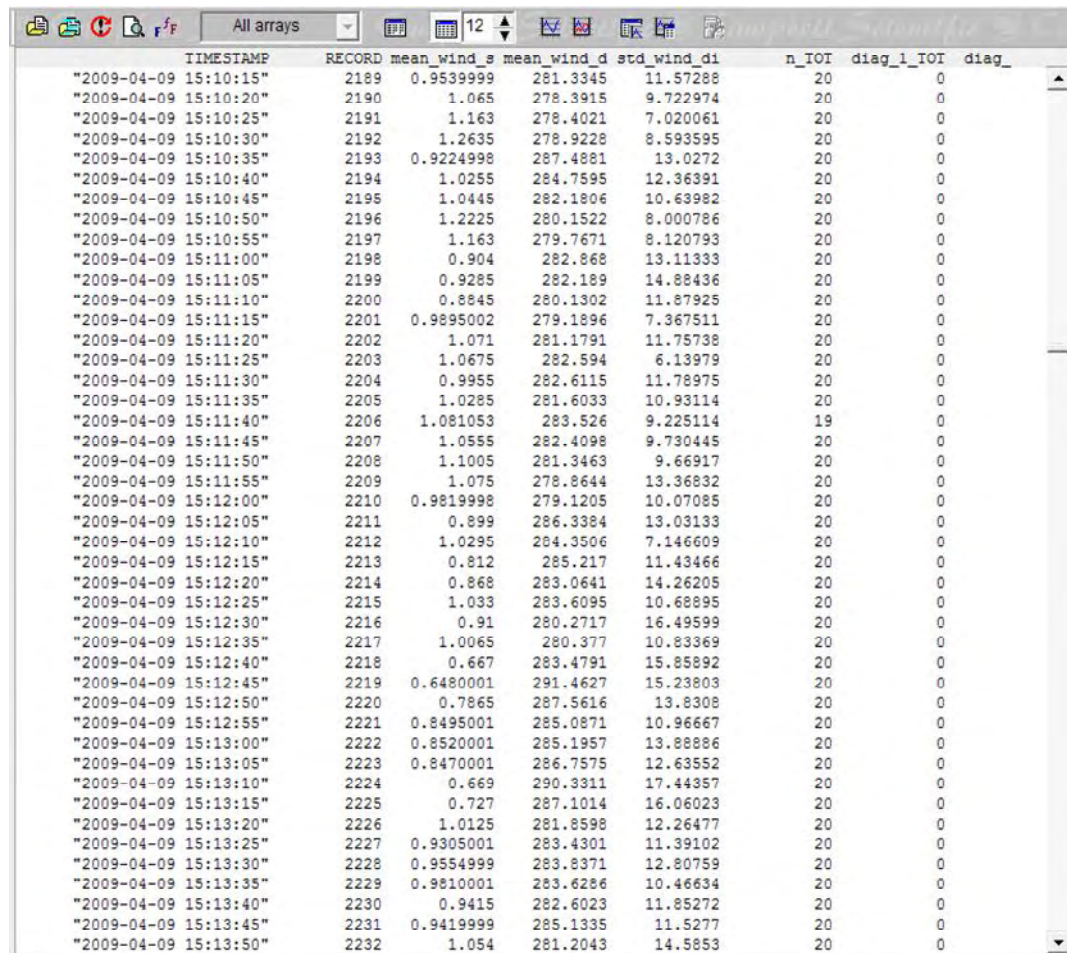
Figura A.51 – Equipamento (a) não conectado e (b) conectado

Após o início da captação dos dados, o próximo passo seria aguardar algum tempo para analisar os dados, esse passo foi feito com o Anemômetro Windsonic sujeito a um vento forçado dentro do Laboratório de hidrologia e Hidrometria da UNESP/FEIS, como mostra a Figura A.52.



Figura A.52 – Anemômetro Windsonic Direcionado a ventos forçados

A Figura A.53 ilustra como a captura de dados foram salvas no Datalogger durante os testes de bancada. Pode-se notar que as colunas estão organizadas da seguinte forma: Data/Hora, Número de Gravação, Média da Velocidade do Vento e Direção do Vento, etc, já utilizando o programa criado para gravação no intervalo de tempo de 5 segundos. Nesse caso, apenas a primeira, terceira e quarta coluna tem interesse e serão analisadas.



TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_s	mean_wind_d	std_wind_d1	n_TOI	diag_1_TOI	diag_
"2009-04-09 15:10:15"	2189	0.9539999	281.3345	11.57288	20	0	
"2009-04-09 15:10:20"	2190	1.065	278.3915	9.722974	20	0	
"2009-04-09 15:10:25"	2191	1.163	278.4021	7.020061	20	0	
"2009-04-09 15:10:30"	2192	1.2635	278.9228	8.593595	20	0	
"2009-04-09 15:10:35"	2193	0.9224998	287.4881	13.0272	20	0	
"2009-04-09 15:10:40"	2194	1.0255	284.7595	12.36391	20	0	
"2009-04-09 15:10:45"	2195	1.0445	282.1806	10.63982	20	0	
"2009-04-09 15:10:50"	2196	1.2225	280.1522	8.000786	20	0	
"2009-04-09 15:10:55"	2197	1.163	279.7671	8.120793	20	0	
"2009-04-09 15:11:00"	2198	0.904	282.868	13.11333	20	0	
"2009-04-09 15:11:05"	2199	0.9285	282.189	14.88436	20	0	
"2009-04-09 15:11:10"	2200	0.8845	280.1302	11.87925	20	0	
"2009-04-09 15:11:15"	2201	0.9895002	279.1896	7.367511	20	0	
"2009-04-09 15:11:20"	2202	1.071	281.1791	11.75738	20	0	
"2009-04-09 15:11:25"	2203	1.0675	282.594	6.13979	20	0	
"2009-04-09 15:11:30"	2204	0.9955	282.6115	11.78975	20	0	
"2009-04-09 15:11:35"	2205	1.0285	281.6033	10.93114	20	0	
"2009-04-09 15:11:40"	2206	1.081053	283.526	9.225114	19	0	
"2009-04-09 15:11:45"	2207	1.0555	282.4098	9.730445	20	0	
"2009-04-09 15:11:50"	2208	1.1005	281.3463	9.66917	20	0	
"2009-04-09 15:11:55"	2209	1.075	278.8644	13.36832	20	0	
"2009-04-09 15:12:00"	2210	0.9819998	279.1205	10.07085	20	0	
"2009-04-09 15:12:05"	2211	0.899	286.3384	13.03133	20	0	
"2009-04-09 15:12:10"	2212	1.0295	284.3506	7.146609	20	0	
"2009-04-09 15:12:15"	2213	0.812	285.217	11.43466	20	0	
"2009-04-09 15:12:20"	2214	0.868	283.0641	14.26205	20	0	
"2009-04-09 15:12:25"	2215	1.033	283.6095	10.68895	20	0	
"2009-04-09 15:12:30"	2216	0.91	280.2717	16.49599	20	0	
"2009-04-09 15:12:35"	2217	1.0065	280.377	10.83369	20	0	
"2009-04-09 15:12:40"	2218	0.667	283.4791	15.85892	20	0	
"2009-04-09 15:12:45"	2219	0.6480001	291.4627	15.23803	20	0	
"2009-04-09 15:12:50"	2220	0.7865	287.5616	13.8308	20	0	
"2009-04-09 15:12:55"	2221	0.8495001	285.0871	10.96667	20	0	
"2009-04-09 15:13:00"	2222	0.8520001	285.1957	13.88886	20	0	
"2009-04-09 15:13:05"	2223	0.8470001	286.7575	12.63552	20	0	
"2009-04-09 15:13:10"	2224	0.669	290.3311	17.44357	20	0	
"2009-04-09 15:13:15"	2225	0.727	287.1014	16.06023	20	0	
"2009-04-09 15:13:20"	2226	1.0125	281.8598	12.26477	20	0	
"2009-04-09 15:13:25"	2227	0.9305001	283.4301	11.39102	20	0	
"2009-04-09 15:13:30"	2228	0.9554999	283.8371	12.80759	20	0	
"2009-04-09 15:13:35"	2229	0.9810001	283.6286	10.46634	20	0	
"2009-04-09 15:13:40"	2230	0.9415	282.6023	11.85272	20	0	
"2009-04-09 15:13:45"	2231	0.9419999	285.1335	11.5277	20	0	
"2009-04-09 15:13:50"	2232	1.054	281.2043	14.5853	20	0	

Figura A.53 – Disposição dos dados gravados pelo Anemômetro Windsonic

Realizado tal processo, os dados (velocidade) foram observados e verificados sua variação, o próximo passo seria testar a direção. A orientação do Anemômetro Windsonic informado pelo manual do mesmo está ilustrada na Figura A.54.

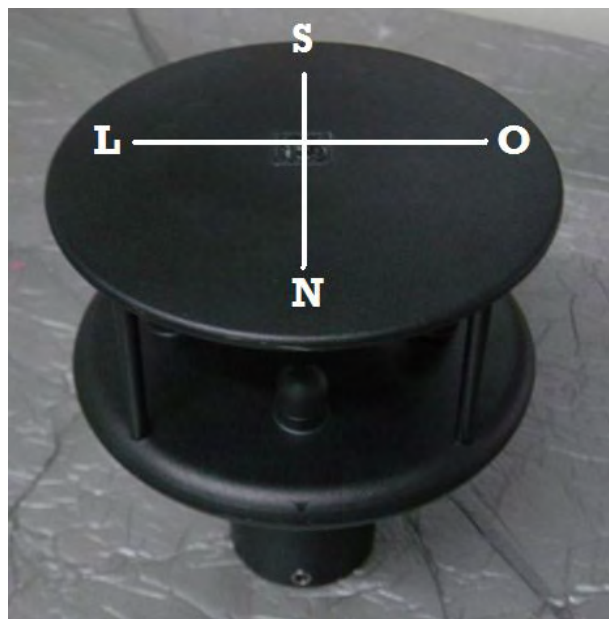


Figura A.54 – Orientação do Anemômetro Windsonic 2D

Uma dúvida que ainda perdurava com relação ao Anemômetro 3D CSAT3 era a direção dos ventos, assim, para os testes de bancada do Anemômetro Windsonic 2D, decidiu-se analisar minuciosamente o que representa cada dado de direção apresentado pelo Anemômetro.

O Anemômetro Windsonic possui uma marca (Figura A.55) que deve ser direcionada ao norte, então, direcionamos tal marca para o vento forçado dentro do Laboratório, ou seja, simulando o caso em que os ventos estariam vindos de norte, soprando supostamente na direção de norte para sul do anemômetro.



Figura A.55 – Detalhe marcação (apontamento para norte) do Anemômetro Windsonic

Decidiu-se então fazer alguns testes de direção, os testes seriam realizados da seguinte forma: direciona-se algum ponto conhecido para a origem do vento forçado e verifica-se os resultados de direção informados pelo Windsonic, assim os pontos cardeais foram escolhidos por proporcionarem testes práticos e rápidos, a saber dos resultados:

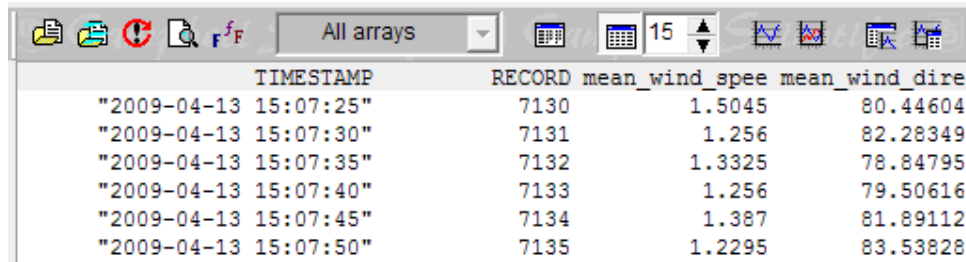
- Com a Direção norte do equipamento apontado para o ventilador, os dados de direção de vento captados pelo equipamento eram próximos de 0°. Situação de ventos soprando (vindo) de Norte (Norte para Sul).
- Com a Direção leste do equipamento apontado para o ventilador, ou seja, rotacionando o anemômetro 90° sentido anti-horário, os dados de direção de vento captados pelo equipamento eram próximos de 90°. Situação de ventos soprando (vindo) de Leste (Leste para Oeste).
- Com a Direção sul do equipamento apontado para o ventilador, ou seja, rotacionando o anemômetro 180° sentido anti-horário, os dados de direção de vento captados pelo equipamento eram próximos de 180°. Situação de ventos soprando (vindo) de Sul (Sul para Norte).
- Com a Direção oeste do equipamento apontado para o ventilador, ou seja, rotacionando o anemômetro 270° sentido anti-horário, os dados de direção de vento captados pelo equipamento eram próximos de 270°. Situação de ventos soprando (vindo) de oeste (Oeste para Leste).

A sequência de imagens da Figura A.56 ilustra os testes dos pontos cardeais e seus respectivos resultados.



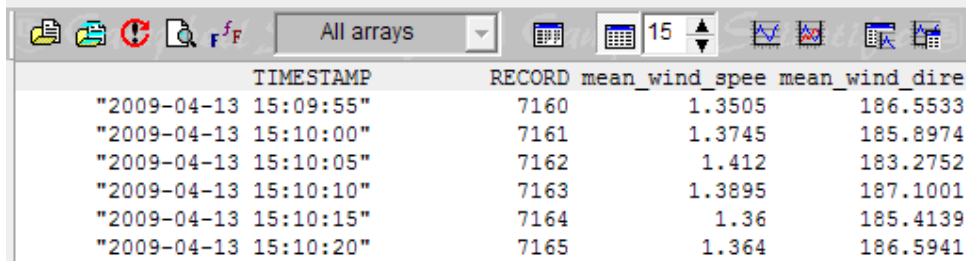
TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_spee	mean_wind_dire
"2009-04-13 15:06:40"	7121	1.264	5.210814
"2009-04-13 15:06:45"	7122	1.4745	5.246872
"2009-04-13 15:06:50"	7123	1.4765	3.319064
"2009-04-13 15:06:55"	7124	1.423	3.977035
"2009-04-13 15:07:00"	7125	1.2935	7.987859
"2009-04-13 15:07:05"	7126	1.247	5.899027

Teste: Norte do Anemômetro direcionado à origem dos ventos



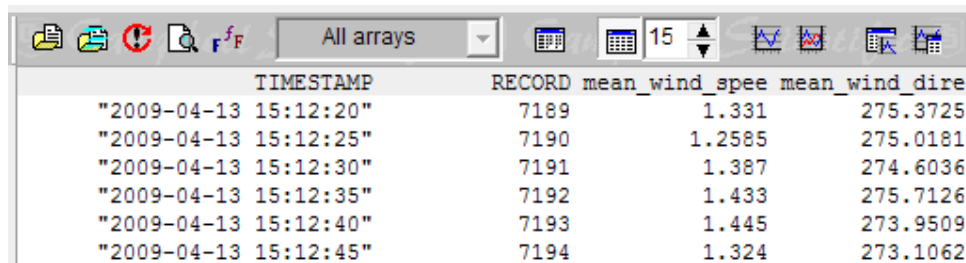
TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_spee	mean_wind_dire
"2009-04-13 15:07:25"	7130	1.5045	80.44604
"2009-04-13 15:07:30"	7131	1.256	82.28349
"2009-04-13 15:07:35"	7132	1.3325	78.84795
"2009-04-13 15:07:40"	7133	1.256	79.50616
"2009-04-13 15:07:45"	7134	1.387	81.89112
"2009-04-13 15:07:50"	7135	1.2295	83.53828

Teste: Leste do Anemômetro direcionado à origem dos ventos



TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_spee	mean_wind_dire
"2009-04-13 15:09:55"	7160	1.3505	186.5533
"2009-04-13 15:10:00"	7161	1.3745	185.8974
"2009-04-13 15:10:05"	7162	1.412	183.2752
"2009-04-13 15:10:10"	7163	1.3895	187.1001
"2009-04-13 15:10:15"	7164	1.36	185.4139
"2009-04-13 15:10:20"	7165	1.364	186.5941

Teste: Sul do Anemômetro direcionado à origem dos ventos



TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_spee	mean_wind_dire
"2009-04-13 15:12:20"	7189	1.331	275.3725
"2009-04-13 15:12:25"	7190	1.2585	275.0181
"2009-04-13 15:12:30"	7191	1.387	274.6036
"2009-04-13 15:12:35"	7192	1.433	275.7126
"2009-04-13 15:12:40"	7193	1.445	273.9509
"2009-04-13 15:12:45"	7194	1.324	273.1062

Teste: Oeste do Anemômetro direcionado à origem dos ventos

Figura A.56 – Resultados dos testes dos pontos cardeais

Conclui-se com os testes de bancada que a direção mostrada pelo Anemômetro Windsonic é de ventos “provindos de”, com a angulação iniciando em Norte (0°) e caminhando positivamente no sentido anti-horário do equipamento, por exemplo: se o Anemômetro captar dados de vento na direção 45°, significa que há ventos provindos de Nordeste e se captar na direção 315°, os ventos estarão provindos de Noroeste.

A.4.2 Instalação em campo do Anemômetro 2D

A missão de instalação em campo do Anemômetro Sônico Windsonic iniciou-se por volta de 12h:00min, logo após o preparo de todo material para a missão. Assim estava tudo pronto para partir rumo ao farol São Martinho.

No preparo de tal missão, cuidado especial relacionado à bateria, pois nos testes de bancada, contávamos com um carregador de baterias, e em campo não poderíamos contar com tal equipamento, assim, resolveu-se utilizar o painel solar do antigo Anemômetro 2D ainda presente na torre do farol (Figura A.57).



Figura A.57 – Painel Solar utilizado no Anemômetro Windsonic

Para tal função, um dispositivo chamado de estabilizador de tensão foi utilizado em campo, ele fica situado entre a bateria e o Datalogger CR1000, comportando também o Painel Solar, que por sua vez, carrega a Bateria, mantendo-a com 12V, este dispositivo está ilustrado Figura A.58.



Figura A.58 – Estabilizador de tensão utilizado no Anemômetro Windsonic

Como o tempo de permanência desse equipamento em campo seria curto (cerca de 2 semanas), não houve a necessidade de montagem dos equipamentos de transmissão dos dados via rádio. Resolvemos alocá-los na própria memória do Datalogger, porém, como a previsão

feita pelo próprio CR1000 foi de locação dos dados na memória suficiente apenas para 5 dias (dado a configuração de captura dos dados), foi organizada uma visita em campo a cada 4 dias, apenas para retirada dos dados, liberação da memória do Datalogger e verificação das condições locais.

Quando da chegada ao farol São Martinho, desta vez realizado por terra, os equipamentos foram subidos na torre dentro de mochilas. A Figura A.59 mostra as mochilas que comportavam os equipamentos e as ferramentas utilizadas em campo, instantes antes do início da missão.



Figura A.59 – Mochilas e equipamentos levados ao campo

A Figura A.60 ilustra o posicionamento do Anemômetro Windsonic em relação ao Anemômetro 3D CSAT3 na torre do farol São Martinho.



Figura A.60 – Posicionamento entre os Anemômetros

Nota-se que o Anemômetro Windsonic está localizado próximo do Anemômetro Ultrassônico 3D (logo abaixo), isso foi necessário, visto que um dos principais objetivos dessa missão é uma comparação entre os dados gerados pelos Anemômetros.

Para posicionamento do Norte do Anemômetro Windsonic foi utilizado um GPS (GARMIN) que possui uma função de bússola com apontamento para o norte Geográfico. Assim, o norte do Anemômetro Windsonic foi direcionado ao Norte Verdadeiro, como instruído pelo manual fornecido pela Campbell. Esse posicionamento é ilustrado na Figura A.61, e a Figura A.62 mostra o GPS utilizado em tal missão.

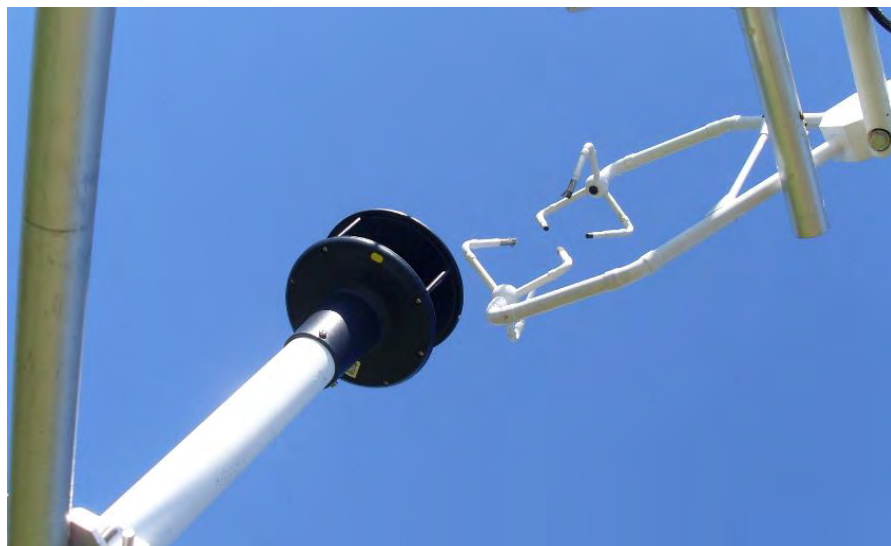


Figura A.61 – Apontamento para o Norte verdadeiro do Anemômetro Windsonic



Figura A.62 – GPS modelo GARMIN utilizado na missão

Após a fixação da aparelhagem na torre, todo cabeamento foi conectado e os equipamentos foram alocados dentro da mesma caixa a prova de intempéries do Anemômetro Ultrassônico 3D, como ilustra a Figura A.63.

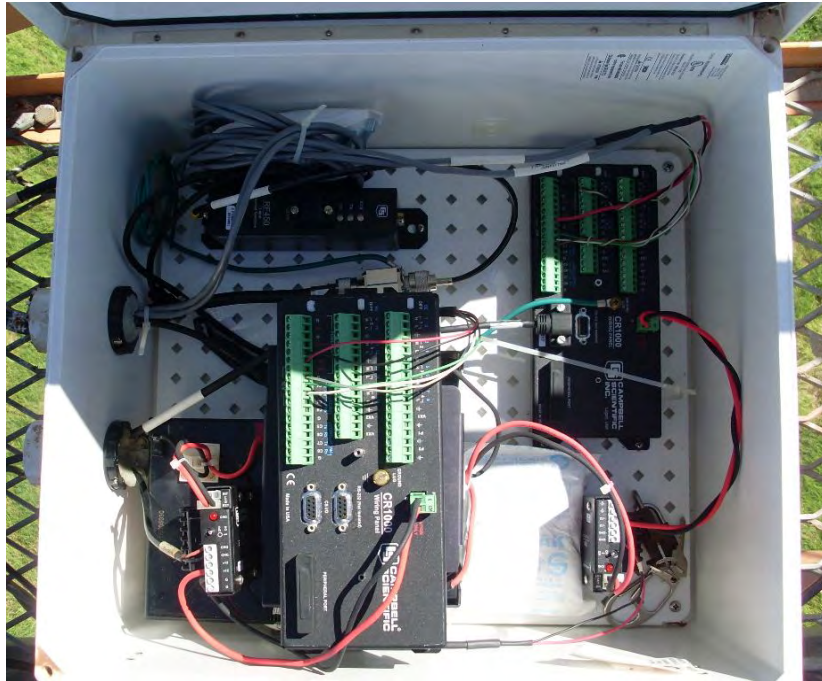


Figura A.63 – Caixa de alocação dos Equipamentos Windsonic

Realizado tal processo, o equipamento estava apto para coleta de dados de vento, assim, um *Notebook* foi utilizado para iniciar a coleta dos dados no local. Como o *Notebook* não possui a entrada serial RS 232 (cabo fornecido pela Campbell) utilizada nos testes de bancada, um cabo conversor com o respectivo programa foi adquirido. O equipamento utilizado para iniciar a captura de dados de vento no campo (Computador + Cabo) está ilustrado na Figura A.64, ainda em laboratório. Este cabo é um conversor Serial/USB.



Figura A.64 – Equipamento utilizado para iniciar a captura de dados no campo

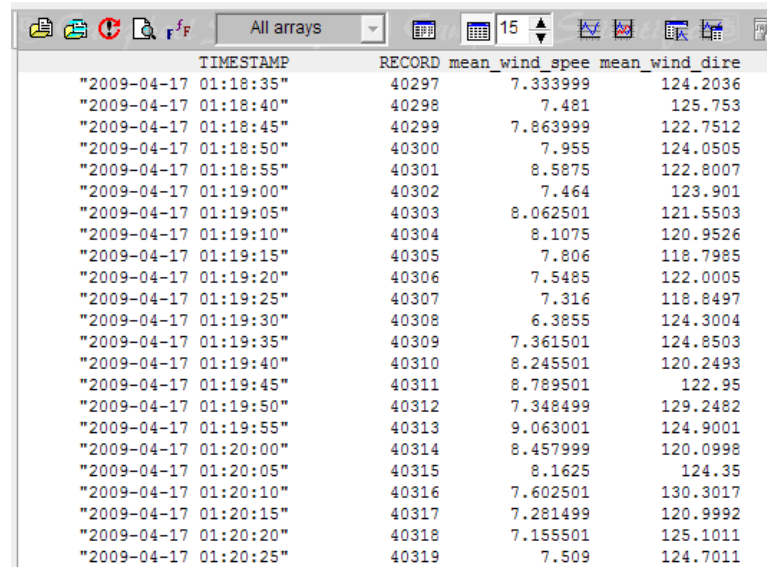
Iniciado a captura dos dados de vento pelo Anemômetro Windsonic, o mesmo foi deixado fixo em tal posição por um período de 20 dias. Como comentado anteriormente, foi organizada uma missão a cada 4 dias com o intuito de retirar os dados do Datalogger e liberar espaço na memória do mesmo. Dentre essas viagens, notou-se que uma fonte de alimentação externa seria necessária, pois o tempo de coleta dos dados era alto e a bateria interna do Notebook não estava comportando tal situação, assim uma bateria extra e um transformador foram levados ao campo para solucionar o problema. A bateria é semelhante àquela utilizada pelo Anemômetro Windsonic (12V e 7A) e o transformador/inversor possui uma entrada de 12V DC e saída de 120V AC.

Assim, ao finalizar o período, possuímos dados de ventos suficientes para análise e comparação entre os Anemômetros instalados no local. A Figura A.65 ilustra todo equipamento visto por terra em uma dessas visitas programadas durante o período.



Figura A.65 – Equipamentos em campo visto por terra

A imagem da Figura A.66 ilustra um trecho dos dados de vento captados pelo Anemômetro Windsonic em campo no período compreendido entre 01h18min do dia 17 de abril de 2009 e 01h20min do dia 17 de abril de 2009.



TIMESTAMP	RECORD	mean_wind_speed	mean_wind_direction
"2009-04-17 01:18:35"	40297	7.333999	124.2036
"2009-04-17 01:18:40"	40298	7.481	125.753
"2009-04-17 01:18:45"	40299	7.863999	122.7512
"2009-04-17 01:18:50"	40300	7.955	124.0505
"2009-04-17 01:18:55"	40301	8.5875	122.8007
"2009-04-17 01:19:00"	40302	7.464	123.901
"2009-04-17 01:19:05"	40303	8.062501	121.5503
"2009-04-17 01:19:10"	40304	8.1075	120.9526
"2009-04-17 01:19:15"	40305	7.806	118.7985
"2009-04-17 01:19:20"	40306	7.5485	122.0005
"2009-04-17 01:19:25"	40307	7.316	118.8497
"2009-04-17 01:19:30"	40308	6.3855	124.3004
"2009-04-17 01:19:35"	40309	7.361501	124.8503
"2009-04-17 01:19:40"	40310	8.245501	120.2493
"2009-04-17 01:19:45"	40311	8.789501	122.95
"2009-04-17 01:19:50"	40312	7.348499	129.2482
"2009-04-17 01:19:55"	40313	9.063001	124.9001
"2009-04-17 01:20:00"	40314	8.457999	120.0998
"2009-04-17 01:20:05"	40315	8.1625	124.35
"2009-04-17 01:20:10"	40316	7.602501	130.3017
"2009-04-17 01:20:15"	40317	7.281499	120.9992
"2009-04-17 01:20:20"	40318	7.155501	125.1011
"2009-04-17 01:20:25"	40319	7.509	124.7011

Figura A.66 – Trecho de dados de vento captados pelo Windsonic em 17/04/2009.

A análise dos dados de vento fornecidos pelo Anemômetro Windsonic está descrito no **ANEXO B**, bem como a comparação com os dados do Anemômetro Ultrassônico e eventuais correções no programa de manipulação de dados do mesmo.

ANEXO B

MONITORAMENTO CONTÍNUO E TRATAMENTO DOS NOVOS DADOS DE VENTO

B.1 MONITORAMENTO COM O ANEMÔMETRO 3D

Após a instalação do Anemômetro 3D e conexão entre estações de transmissão base-recepção os dados de vento começaram a ser transmitidos a contento. A conexão encontra-se estabelecida e os dados de vento do Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3 estão sendo atualizados e armazenados constantemente. Uma imagem da interface do programa utilizado, fornecido pela própria CAMPBELL pode ser visto na Figura B.1.

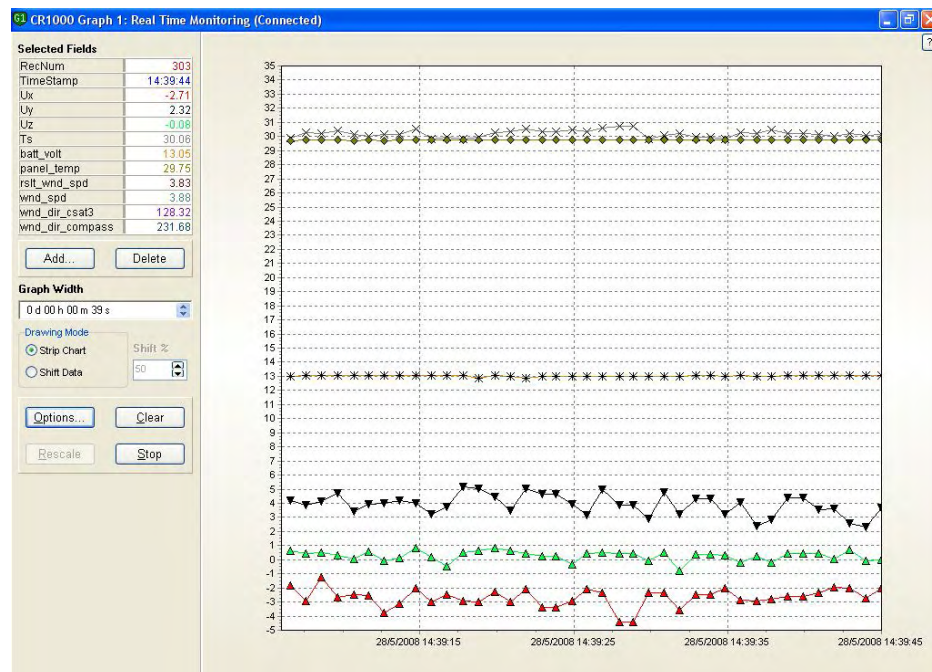


Figura B.1 – Imagem da interface com o usuário do programa de aquisição de dados

Enquanto é mostrado os dados coletados em tempo real pelo Anemômetro 3D CSAT3, um arquivo de extensão *.dat* está sendo constantemente atualizado com todos os dados coletados, ficando assim, armazenados para um posterior tratamento dos dados provindos do mesmo.

Alguns problemas enfrentados pela equipe ocorreram, por exemplo, a partir dos dados armazenados pelo programa:

- U_x , U_y e U_z são as coordenadas cartesianas?
- A resultante do vento é dada pela Equação B.1?
- Qual seria a direção do vento real?
- O eixo das coordenadas é o mesmo eixo do Anemômetro?

$$R = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (\text{B.1})$$

Algumas das dúvidas enfrentadas pela equipe foram formuladas detalhadamente e encaminhadas aos representantes da CAMPBELL no Brasil após vários contatos telefônicos. As Figuras B.2 e B.3 são detalhamentos de questões enviadas à CAPMBELL.

G1 CR1000 Graph 1: Real Time M	
Selected Fields	
RecNum	871.637
TimeStamp	09:55:21
U_x	-0.28
U_y	3.21
U_z	0.57
T_s	23.50
batt_volt	13.15
panel_temp	22.67
rslt_wnd_spd	3.57
wnd_spd	3.61
wnd_dir_cs3	93.56
wnd_dir_compass	266.44

Como calcular a velocidade com as 3 coordenadas U_x , U_y e U_z

Qual a diferença entre rslt_wnd_spd e wnd_spd

Qual a diferença entre wnd_dir_cs3 e wnd_dir_compass

Figura B.2 – Dúvida: o que representa cada valor mostrado?

O Anemômetro 3D CSAT3 foi posicionado como sugere o manual (Figura B.3) feito a correção da declinação do norte magnético e a defasagem de 140°.

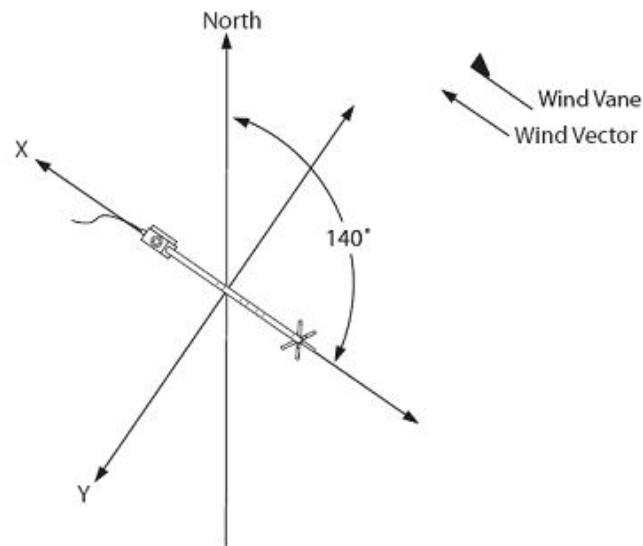


Figura B.3 – Dúvida: O posicionamento foi realizado corretamente?

Além do mapa de ondas, a Rosa dos Ventos (ver Figura B.4) mostrando dominância e reinância incidentes no lago de Ilha Solteira se faz necessário e de suma importância, por esse e outros motivos, a correta intensidade e direção dos ventos são requeridas.

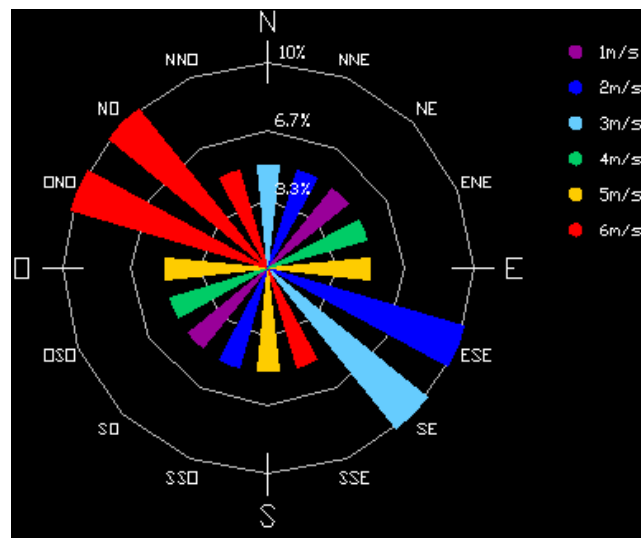


Figura B.4 – Exemplo de Rosa dos Ventos, dados aleatórios, *software OndisaCAD*

Com relação aos dados armazenados pelo programa, a Figura B.5 ilustra um pequeno trecho desse arquivo e a Figura B.6 o detalhamento de alguns dados do mesmo. Nota-se que a frequência de captura dos dados pelo Anemômetro é de 10 hertz, porém, os dados de vento estão sendo armazenados (em média) a cada 5 segundos, período de captura suficientemente curto para os propósitos aqui necessários.

```

["TOA5", "CR1000", "CR1000", "13413", "CR1000.Std.14", "CPU:CSAT3.cr1", "30143", "Public"
"TIMESTAMP", "RECORD", "Ux", "Uy", "Uz", "Ts", "diag_csat", "del_T_f", "sig_lock_f", "amp_h_f", "amp_l_f", "batt_volt", "panel_temp"
"Ts", "RN", "m/s", "m/s", "m/s", "C", "unitless", "samples", "samples", "samples", "V", "C"
"2008-06-02 07:47:27.08", 2, "NAN", "NAN", "NAN", "NAN", 61503, -1, -1, -1, -1, 12.65538, 15.11642
"2008-06-02 07:47:27.45", 2, "NAN", "NAN", "NAN", "NAN", 61503, -1, -1, -1, -1, 12.65538, 15.11642
"2008-06-02 07:47:32.28", 7, 3.23425, 2.5105, -0.46975, 16.57657, 0, 0, 0, 0, 0, 12.65538, 15.09383
"2008-06-02 07:47:37.35", 12, 3.19625, 2.28275, -0.233, 16.58676, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6499, 15.11642
"2008-06-02 07:47:42.15", 17, 3.007, 1.46575, -0.053, 16.54263, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66087, 15.09383
"2008-06-02 07:47:47.18", 22, 2.7645, 1.76375, 0.2575, 16.50357, 0, 0, 0, 0, 0, 12.59502, 15.09383
"2008-06-02 07:47:52.1", 27, 3.492, 2.3535, -0.05475, 16.56131, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6499, 15.11642
"2008-06-02 07:47:57.2", 32, 3.201, 1.73, 0.03975, 16.57657, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66087, 15.11642
"2008-06-02 07:48:02.23", 37, 3.43875, 2.65, -0.22025, 16.65298, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66636, 15.11642
"2008-06-02 07:48:07.08", 42, 3.04325, 1.87075, -0.0135, 16.61566, 0, 0, 0, 0, 0, 12.64441, 15.11642
"2008-06-02 07:48:12.05", 47, 3.30175, 1.867, -0.775, 16.66998, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66636, 15.11642
"2008-06-02 07:48:17.05", 52, 2.88075, 2.19175, -0.6350001, 16.64282, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66636, 15.11642
"2008-06-02 07:48:22.05", 57, 3.054, 1.33925, 0.159, 16.50867, 0, 0, 0, 0, 0, 12.65538, 15.11642
"2008-06-02 07:48:27.05", 62, 2.9785, 0.78575, 0.2435, 16.52902, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66087, 15.11642
"2008-06-02 07:48:32.03", 67, 2.96175, 1.4675, -0.07875001, 16.55789, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6499, 15.11642
"2008-06-02 07:48:37.02", 71, 3.0385, 1.4255, -0.33875, 16.57828, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6499, 15.11642
"2008-06-02 07:48:42.02", 76, 2.81575, 1.27525, 0.226, 16.5545, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6499, 15.11642
"2008-06-02 07:48:47.02", 81, 3.157, 1.5475, -0.18575, 16.52902, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6005, 15.11642
"2008-06-02 07:48:51.95", 86, 2.951, 2.033, -0.3635, 16.53415, 0, 0, 0, 0, 0, 12.62246, 15.11642
"2008-06-02 07:48:56.93", 91, 2.4865, 1.52325, -0.09225, 16.55789, 0, 0, 0, 0, 0, 12.63892, 15.11642
"2008-06-02 07:49:01.9", 96, 2.95875, 1.6115, -0.033, 16.56808, 0, 0, 0, 0, 0, 12.62246, 15.11642
"2008-06-02 07:49:06.9", 101, 3.33475, 2.131, -0.005, 16.56638, 0, 0, 0, 0, 0, 12.6499, 15.11642
"2008-06-02 07:49:11.88", 106, 2.97725, 1.96625, -0.00475, 16.60883, 0, 0, 0, 0, 0, 12.62246, 15.11642
"2008-06-02 07:49:16.86", 111, 3.35725, 2.01275, -0.34425, 16.60715, 0, 0, 0, 0, 0, 12.65538, 15.11642
"2008-06-02 07:49:21.85", 116, 2.8135, 2.115, -0.23275, 16.59525, 0, 0, 0, 0, 0, 12.62246, 15.11642
"2008-06-02 07:49:26.92", 121, 4.45375, 2.2285, -0.373, 16.68021, 0, 0, 0, 0, 0, 12.64441, 15.11642
"2008-06-02 07:49:31.83", 126, 3.921, 2.184, -0.2155, 16.71921, 0, 0, 0, 0, 0, 12.58953, 15.11642
"2008-06-02 07:49:36.8", 131, 3.582, 2.80025, -0.63425, 16.76852, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67734, 15.11642
"2008-06-02 07:49:41.77", 136, 3.96625, 1.439, 0.16425, 16.60544, 0, 0, 0, 0, 0, 12.62246, 15.11642
"2008-06-02 07:49:46.8", 141, 3.291, 1.78175, -0.284, 16.64792, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67734, 15.11642
"2008-06-02 07:49:51.75", 146, 3.857, 2.31, 0.0495, 16.59695, 0, 0, 0, 0, 0, 12.62246, 15.11642
"2008-06-02 07:49:56.77", 151, 3.82275, 2.732, -0.195, 16.55109, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67734, 15.11642
"2008-06-02 07:50:01.8", 156, 3.99175, 1.56275, -0.4065, 16.59525, 0, 0, 0, 0, 0, 12.63343, 15.11642
"2008-06-02 07:50:06.72", 161, 2.79525, 2.126, -0.00675, 16.52902, 0, 0, 0, 0, 0, 12.65538, 15.14128
"2008-06-02 07:50:11.67", 166, 3.20525, 1.33175, -0.0865, 16.56473, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67734, 15.14128
"2008-06-02 07:50:16.68", 171, 2.95925, 1.424, 0.24775, 16.51715, 0, 0, 0, 0, 0, 12.68282, 15.14128
"2008-06-02 07:50:21.7", 176, 3.15575, 1.222, -0.317, 16.57996, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67185, 15.14128
"2008-06-02 07:50:26.63", 181, 3.321, 2.207, -0.033, 16.62244, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67734, 15.14128
"2008-06-02 07:50:31.62", 186, 3.36725, 1.36525, 0.15975, 16.55621, 0, 0, 0, 0, 0, 12.66636, 15.14128
"2008-06-02 07:50:36.75", 191, 3.2855, 2.3445, -0.34575, 16.64282, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67734, 15.14128
"2008-06-02 07:50:41.57", 196, 3.759, 1.805, -0.129, 16.61053, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67185, 15.14128
"2008-06-02 07:50:46.55", 201, 3.1895, 1.83, -0.6077501, 16.60883, 0, 0, 0, 0, 0, 12.68282, 15.14128
"2008-06-02 07:50:51.57", 206, 3.202, 1.392, 0.2825, 16.56638, 0, 0, 0, 0, 0, 12.68831, 15.14128
"2008-06-02 07:50:56.5", 211, 2.734, 1.00375, 0.19625, 16.57315, 0, 0, 0, 0, 0, 12.67185, 15.14128

```

Figura B.5 – Imagem de alguns dados salvos pelo programa em .dat

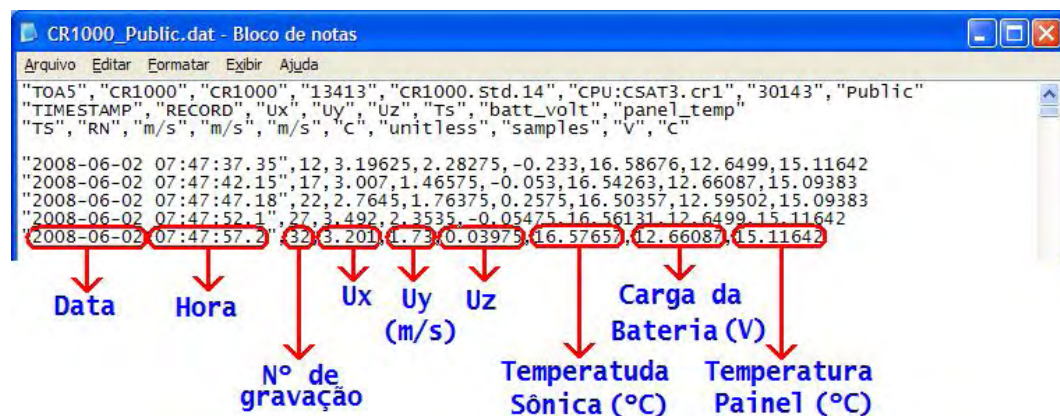


Figura B.6 – Detalhamento dos dados mais importantes salvo pelo programa do CSAT3

Para os propósitos aqui estabelecidos, fazem-se necessárias algumas informações referentes aos ventos que não são mostrados pelo CSAT3. Necessitam-se que alguns dados de vento como: *Data, Direção, Média da Intensidade do Vento, Frequência, Maiores Ventos, etc.* a cada intervalo de tempo definido. Como o programa fornecido pela CAMPBELL armazena os dados numa frequência de amostragem muito curta, faz-se necessária a criação de um programa de manipulação de dados a fim de fornecer os resultados requisitados no intervalo de tempo necessário para cada análise.

B.2 TRATAMENTO DOS NOVOS DADOS DE VENTOS

Apesar de restar algumas dúvidas com relação aos dados apresentados pelo programa, um software foi desenvolvido e está sendo aperfeiçoado para manipulação dos dados de vento, este pequeno “programa” necessita apenas do arquivo de dados bruto (.dat) salvo pelo Anemômetro 3D como entrada. Assim, determina-se, através de uma interface amigável, Figura B.7, o intervalo que se deseja ter as análises relativas aos ventos.

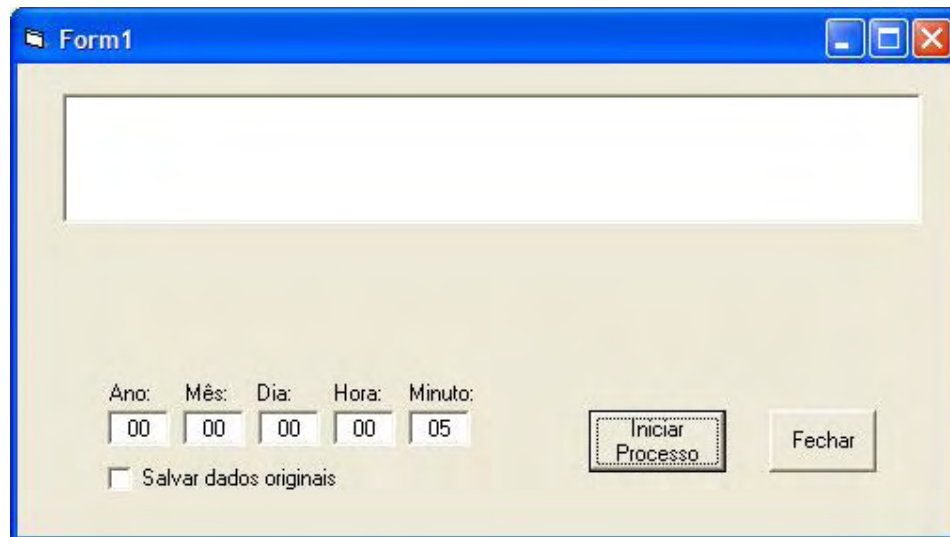


Figura B.7 – Imagem do *OndisaCsat3* e sua interface amigável

Assim, de posse desses dados o software os manipula e automaticamente expõe seus resultados do intervalo escolhido, resultados a saber:

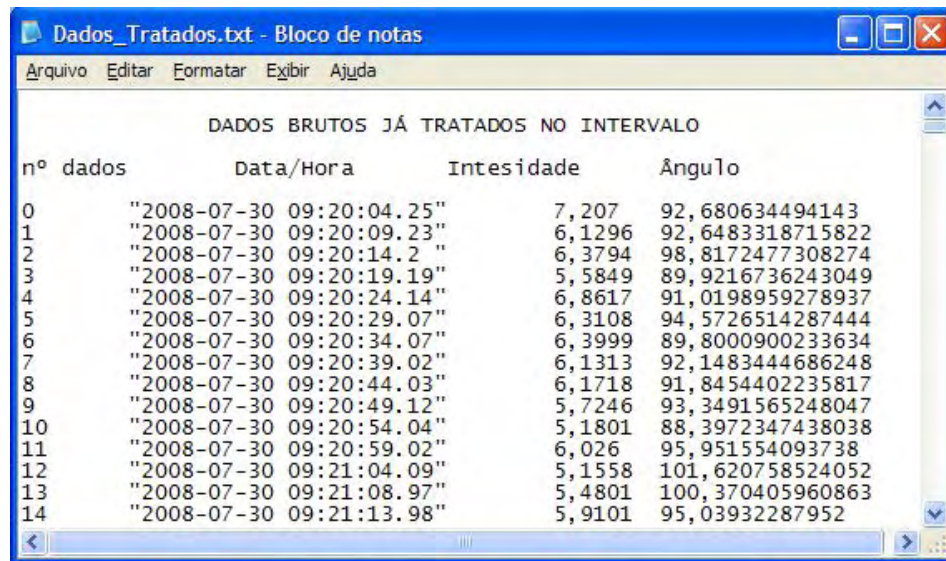
- Registra o número de amostras captadas;
- Registra a média da intensidade dos ventos;
- Registra a temperatura sônica do local;
- Registra a frequência de ocorrência dos ventos;
- Registra o ângulo da direção do vento;
- Classifica o ângulo em uma das direções na Rosa dos Ventos, Tabela B.1;
- Registra os maiores ventos; e
- Com a opção de salvar os dados originais, pode-se analisar (já com a intensidade da velocidade e o ângulo de ocorrência) os dados brutos, para conferir e comparar resultados.

Tabela B.1 – Classificação nas direções da Rosa dos Ventos

Ângulo exato da direção do vento, medido em campo	Classificação do ângulo exato na Rosa dos Ventos
De 0°00' a 11°25'	E
De 11°25' a 33°75'	ENE
De 33°75' a 56°25'	NE
De 56°25' a 78°75'	NNE
De 78°75' a 101°25'	N
De 101°25' a 123°75'	NNO
De 123°75' a 146°25'	NO
De 146°25' a 168°75'	ONO
De 168°75' a 191°25'	O
De 191°25' a 213°75'	OSO
De 213°75' a 236°25'	SO
De 236°25' a 258°75'	SSO
De 258°75' a 281°25'	S
De 281°25' a 303°75'	SSE
De 303°75' a 326°25'	SE
De 326°25' a 348°75'	ESE
De 348°75' a 360°00'	E

A seguir, algumas imagens (Figuras de B.8 a B.12) do resultado expelido pelo *Ondisacsat3* serão exibidas, todas para um intervalo de 12 horas.

A Figura B8 ilustra os dados manipulados apenas para acompanhamento das rotinas do software *OndisaCsat3*, assim, somente as intensidades e ângulos são mostrados para cada dado bruto armazenado pelo programa.



DADOS BRUTOS JÁ TRATADOS NO INTERVALO			
nº dados	Data/Hora	Intensidade	Ângulo
0	"2008-07-30 09:20:04.25"	7,207	92,680634494143
1	"2008-07-30 09:20:09.23"	6,1296	92,6483318715822
2	"2008-07-30 09:20:14.2 "	6,3794	98,8172477308274
3	"2008-07-30 09:20:19.19"	5,5849	89,9216736243049
4	"2008-07-30 09:20:24.14"	6,8617	91,0198959278937
5	"2008-07-30 09:20:29.07"	6,3108	94,5726514287444
6	"2008-07-30 09:20:34.07"	6,3999	89,8000900233634
7	"2008-07-30 09:20:39.02"	6,1313	92,1483444686248
8	"2008-07-30 09:20:44.03"	6,1718	91,8454402235817
9	"2008-07-30 09:20:49.12"	5,7246	93,3491565248047
10	"2008-07-30 09:20:54.04"	5,1801	88,3972347438038
11	"2008-07-30 09:20:59.02"	6,026	95,951554093738
12	"2008-07-30 09:21:04.09"	5,1558	101,620758524052
13	"2008-07-30 09:21:08.97"	5,4801	100,370405960863
14	"2008-07-30 09:21:13.98"	5,9101	95,03932287952

Figura B.8 – Dados brutos tratados

Cada dado bruto implica em uma intensidade e uma direção, consequentemente cada dado ocasiona um acontecimento em tal direção. A Figura B9 ilustra parte dos dados manipulados para os acontecimentos nas direções da rosa dos ventos (RV). Estes dados, assim como os dados brutos tratados servirão de base para as rotinas de maior interesse, apresentadas na sequência.

Acontec._nas_Dir.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

ACONTECIMENTOS NA DIREÇÃO DA ROSA DOS VENTOS

nº dados	Data/Hora	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO
8646	30/7/2008 09:20:00	0	0	68	3108	1071	1030	2656	698
8645	30/7/2008 21:20:00	0	0	68	3589	5881	4205	2834	699
8632	31/7/2008 09:20:00	4	17	118	4760	7811	5861	4456	2110
8646	31/7/2008 21:20:00	581	215	648	6881	9421	6157	4832	2379
8632	1/8/2008 09:20:00	601	269	824	7360	10654	8288	6061	4292
8462	1/8/2008 21:20:00	601	270	824	7427	11911	10575	7410	5051

OBS: dados incompletos para este intervalo requisitado

Figura B.9 – Acontecimentos das direções no intervalo

Para o cálculo das médias um intervalo de análise é requerido. Assim, o programa avança nos dados brutos armazenando-os até atingir o intervalo inserido, realizando os cálculos e criando linhas como é mostrado na Figura B.10, que ilustra também a média da direção, a classificação dessa direção na rosa dos ventos e o maior vento no período inserido.

Méd_dir_e_MV.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

MÉDIA DA INTENSIDADE / DIREÇÃO NA R.V. / MAIORES VENTOS

n° dados	Data/Hora	Intes.	Dir.	RV	M.V.
8646	30/7/2008 09:20:00	4,61	105,04°	NNO	8,36
8645	30/7/2008 21:20:00	5,85	97,06°	N	9,32
8632	31/7/2008 09:20:00	4,90	126,52°	NO	10,27
8646	31/7/2008 21:20:00	2,98	157,72°	ONO	7,10
8632	1/8/2008 09:20:00	3,94	132,37°	NO	9,47
8462	1/8/2008 21:20:00	3,02	132,37°	NO	9,57

OBS: dados incompletos para este intervalo requisitado

O intervalo escolhido a partir dos dados iniciais do arquivo foi:
 Minuto=00 Hora=12 Dia=00 Mes=00 Ano=00

Figura B.10 – Média classificação na RV e maior vento do intervalo

As Figuras B.11 e B.12 ilustram as médias e frequências das direções no intervalo de análise respectivamente, as rotinas são semelhantes e utilizam os dados de acontecimentos para seus cálculos. Também expõe seus resultados em função do intervalo inserido.

Media_nas_Dir.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

MÉDIAS DA INTENSIDADE NA DIREÇÃO DA ROSA DOS VENTOS

n° dados	Data/Hora	E	ENE	NE	NNE	N	NNO
8646	30/7/2008 09:20:00	,00	,00	4,17	5,22	5,12	3,46
8645	30/7/2008 21:20:00	,00	,00	4,17	5,37	5,97	4,92
8632	31/7/2008 09:20:00	,27	,39	2,72	5,12	5,76	5,03
8646	31/7/2008 21:20:00	2,27	2,36	2,13	4,65	5,44	4,90
8632	1/8/2008 09:20:00	2,22	2,03	2,04	4,53	5,28	4,72
8462	1/8/2008 21:20:00	2,22	2,02	2,04	4,51	5,08	4,52

OBS: dados incompletos para este intervalo requisitado

Figura B.11 – Média das direções no intervalo

FREQUÊNCIA NAS DIREÇÕES DA ROSA DOS VENTOS(%)								
nº dados	Data/Hora	FE	FENE	FNE	FNNE	FN	FNNO	FNO
8646	30/7/2008 09:20:00	,00	,00	,79	35,94	12,39	11,91	30,72
8645	30/7/2008 21:20:00	,00	,00	,39	20,76	34,01	24,32	16,39
8632	31/7/2008 09:20:00	,02	,07	,46	18,36	30,13	22,61	17,19
8646	31/7/2008 21:20:00	1,68	,62	1,87	19,90	27,25	17,81	13,98
8632	1/8/2008 09:20:00	1,39	,62	1,91	17,04	24,66	19,18	14,03
8462	1/8/2008 21:20:00	1,39	,62	1,91	17,04	24,66	19,18	14,03
OBS: dados incompletos para este intervalo requisitado								

Figura B.12 – Frequência das direções no intervalo

Todos esses arquivos são gerados automaticamente pelo programa *OndisaCsat3* e salvos no mesmo diretório que se encontra o programa, todos em formato *.txt*, que facilita a manipulação posterior dos dados neles contidos, como a criação rosas de ventos dominantes e reinantes, por exemplo.

O Anemômetro 3D CSAT3 é capaz de fornecer a velocidade do vento nas três direções do plano cartesiano (U_x , U_y e U_z), nos cálculos efetuados pelo *OndisaCsat3* acima, considerou-se a intensidade do vento como sendo a soma vetorial das três direções cartesianas, como mostra a Equação B.2:

$$\bar{U} = \sqrt{(U_x)^2 + (U_y)^2 + (U_z)^2} \quad \text{B.2}$$

No entanto, para os propósitos de caracterização dos ventos que sopram por lagos de barragens, a parcela U_z deve ser desprezada pois esta direção não contribui na formação de altura de ondas e comprimento de pistas, porém influencia nos resultados da intensidade média dos ventos por se tratar de uma parcela da soma vetorial.

Assim, um estudo a fim de quantificar qual a percentagem que a parcela da direção z influencia na intensidade média dos ventos foi realizado. Na Tabela B.2 encontram-se tanto a média da intensidade dos ventos que sopram semanalmente no farol São Martinho nos meses de junho e julho, quanto os maiores ventos acontecidos no mesmo período, num primeiro momento utilizando a Equação B.2 e num segundo momento, desprezando sua última componente.

Tabela B.2 – Análise da influência do eixo z nos dados de vento (intervalo de 1 semana)

Data Hora	$\bar{U}$ (m/s) 3 comp.	$\bar{U}$ (m/s) 2 comp.	$\Delta \bar{U}$ (%)	MV (m/s) ¹	MV (m/s) ²	Δ MV (%)	Ângulo
2/6/2008 07:47	3,06	3,04	0,657895	11,68	11,68	0	113,48°
9/6/2008 07:47	3,64	3,62	0,552486	14,99	14,99	0	169,84°
16/6/2008 07:47	4,02	4	0,5	11,32	11,32	0	187,75°
23/6/2008 07:47	4,46	4,44	0,45045	12,31	12,31	0	137,04°
30/6/2008 07:47	3,95	3,93	0,508906	9,29	9,29	0	91,25°
7/7/2008 07:47	5,37	5,35	0,373832	13,54	13,53	0,07391	67,55°
14/7/2008 07:47	4,32	4,29	0,699301	11,41	11,39	0,175593	84,42°
21/7/2008 07:47	4,44	4,41	0,680272	12,91	12,91	0	115,19°
28/7/2008 07:47	3,73	3,71	0,539084	10,27	10,26	0,097466	111,96°

$$1 \rightarrow 3 \text{ componentes} = \sqrt{(U_x)^2 + (U_y)^2 + (U_z)^2}$$

$$2 \rightarrow 2 \text{ componentes} = \sqrt{(U_x)^2 + (U_y)^2}$$

MV = Maior Vento

Nota-se que, utilizando o componente z da velocidade nos cálculos, o ganho na intensidade média dos ventos é muito pequeno, menos que 1% em todos os casos analisados, o mesmo ocorrendo na análise dos maiores ventos, neste caso, a utilização do terceiro termo expressa um ganho ainda mais insignificativo. Nota-se também que o ângulo em que ocorrem os ventos não se altera com a inserção ou retirada do componente da velocidade do eixo z, como era de se esperar, pois tal ângulo refere-se ao eixo xy, não sendo influenciado pelo eixo z.

No período compreendido entre 20 a 24 de outubro de 2008, pelo projeto *Ondisa*, houve um reconhecimento dos prováveis locais de instalação de anemômetros no entorno do lago de Ilha Solteira bem como testes de recepção de dados transmitidos por rádios e alcance de antenas, oportunamente, aproveitando a presença da equipe e do especialista em anemômetros, Flávio de Carvalho Magina, as questões relativas a instalação do Anemômetro 3D CSAT3 foram discutidas, assim algumas das dúvidas foram sanadas como: eixo do equipamento e posicionamento do mesmo.

Portanto a partir da Figura B.3, o eixo x dos dados está posicionado ao longo da haste do equipamento (ver Figura B.13) e os outros eixos seguem o padrão dos eixos cartesianos, ou seja, 90° entre si, assim as Equações B.1 e B.2 estão corretas.



Figura B.13 – Eixo x do equipamento

A partir desse ponto, a única dúvida que ainda perdurava era a direção dos ventos captados pelo equipamento CSAT3, o solucionamento dessa dúvida está descrito nos itens que segue. (B.3 e B.4).

B.3 MONITORAMENTO COM WINDSONIC

Como dito no **ANEXO A**, houve uma falha nos testes de bancada quando da instalação do Anemômetro Ultrassônico 3D CSAT3, no que diz respeito aos testes de direção de vento, assim, decidiu-se utilizar outro Anemômetro para sanar as dúvidas que ainda perduravam e eventualmente corrigir os dados de vento coletados pelo 3D através do programa *OndisaCsat3*.

Após a coleta dos dados de vento durante 20 dias, uma análise pode ser realizada no intuito de descobrir qual a defasagem entre os Anemômetros.

Constatou-se que, em média, 60 graus seriam a defasagem entre o Anemômetro Windsonic e o CSAT3, ou seja, para correção dos dados de vento captados pelo Anemômetro

Ultrassônico 3D CSAT3, uma rotação de 60 graus no sentido anti-horário de uma Rosa dos Ventos seria necessário. Nesse ponto, caberia uma decisão: ou ajustaria o *software*, ou deslocaria o Anemômetro 3D para uma nova posição. Optou-se pela ajustagem no *software*, pois não alteraria o banco de dados da campanha, não necessitaria de novas visitas a campo e a facilidade seria maior.

B.4 CORREÇÃO DOS NOVOS DADOS DE VENTOS

Mesmo constatado que o Anemômetro CSAT3 estivera direcionado de forma errônea, decidiu-se não alterar a estrutura física do equipamento instalado em campo durante essa campanha de medição, pois se fosse feito, dois programas distintos teriam de ser criados e utilizados, um para os dados até meados de abril de 2009 e outro para os dados posteriores a esse período. Isso não seria interessante.

Assim, 60 graus deveriam ser retirados dos dados coletados pelo CSAT3, e isso foi feito apenas no programa *OndisaCsat3*, que não sofreu alteração em sua estrutura devido a constatação do item B.3 deste mesmo **ANEXO**, exceto uma defasagem na direção dos dados de vento realizado da seguinte forma: dados de vento menores ou iguais a 60° seriam acrescentados 300°; dados de vento maiores que 60° seriam retirados 60°. Em linguagem de programação:

Se ângulo <= 60

ângulo = ângulo + 300

Senão

ângulo = ângulo - 60

B.5 DADOS INCONSISTENTES DA CAMPANHA

Alguns problemas foram enfrentados pela equipe deste projeto, o fato encontra-se na inconsistência de alguns dados enviados pela estação coletora (Anemômetro 3D CSAT3). A Figura B.14 ilustra como alguns trechos estão sendo salvos pelo sistema de aquisição de dados.

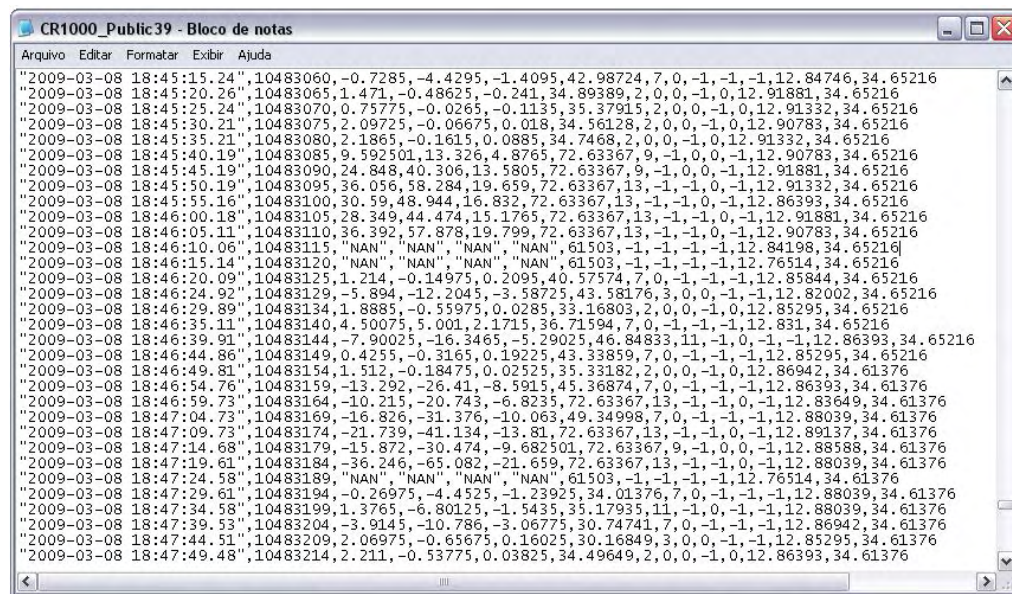


Figura B.14 – Trecho de alguns dados inconsistentes enviados pelo CSAT3

A primeira vista, tem-se a impressão que os dados estranhos que estão chegando são defeitos do software, talvez por não conseguir captar e enviar em tempo hábil (a cada 5 segundos), porém, ao analisar a sequência de dados temporais, nota-se que “NAN” ocorre sempre que os valores de velocidade de vento aumentam muito.

O fato dos valores de velocidade de vento aumentar rapidamente implica que no local onde está instalado o Anemômetro 3D, ventos fortes estão ocorrendo.

No período compreendido entre o mês de junho e outubro de 2008, nenhum fato como esse ocorreu, lembrando que nesses meses temos ventos brandos soprando por Ilha Solteira e ausência de tempestades tropicais. A partir de novembro de 2008 até março de 2009 esses dados “NAN” estão muitas vezes presentes, sempre quando ventos fortes vêm acompanhados de chuva.

Alguns pontos foram levantados, relacionados ao fato dos dados estarem chegando dessa forma, a saber:

- A partir de certo valor de velocidade de vento, atingir-se-ia o fundo de escala do equipamento, tornando os dados não confiáveis nesses dias de rajadas de ventos fortes acompanhados de chuva.
- Há de levar em consideração a intensidade de sinal formado pelo link entre o Sistema de aquisição de dados em campo (farol São Martinho) e o Sistema de recepção desses mesmos dados no Laboratório de Hidrologia (UNESP Ilha Solteira). O ANEXO A,

referente à intensidade de sinal fornecido pelo link, já alerta também sobre esse possível problema, cuja 1ª tentativa de solução seria a mudança das antenas, tanto na emissão quanto na recepção.

Decidiu-se desprezar os dados que não estavam a contento, assim, os dados de vento nas análises do presente projeto não levam em consideração trechos suspeitos de má interpretação do Anemômetro 3D CSAT3. Há de se enfatizar que são pequenos trechos durante um espaço de tempo da ordem de minutos cada, e que não prejudicaria nas médias e frequências analisadas.

ANEXO C MANUAL DO SOFTWARE <i>OndisaCAD</i> E <i>OndisaCsat3</i>

C.1 MANUAL *OndisaCAD*

O software que vem sendo desenvolvido pela equipe de trabalho teve início na dissertação de Marques (2005) e vem, paulatinamente, sendo aperfeiçoado e a cada vez testado. No decorrer do tempo, muitas versões foram produzidas.

Decidiu-se denominar versão 1, para sua 1ª arquitetura, durante o trabalho de dissertação de Marques (2005) e versão 2, aquela apresentada, sob forma de “Manual”, desenvolvida, melhorada e testada nos 4 lagos tratados neste Trabalho, e que já apresenta um aspecto bem conversacional entre usuário-máquina.

O Manual que será apresentado a seguir foi feito em duas colunas para facilitar a leitura e posterior consulta de alguma etapa no decorrer da programação. Considera-se bastante completa esta versão do Manual, pois nele são tratadas, passo a passo, todas as etapas necessárias para utilização correta do *software* na produção de bons resultados, desde a instalação dos aplicativos, passando pela digitalização e geo-referenciamento do contorno do lago, pela inserção correta dos dados e finalizando nas interpretações dos resultados do *software OndisaCAD*.

“Manual” OndisaCAD Versão 2

C.1-Sobre o OndisaCAD

O software *OndisaCAD* foi desenvolvido pelo Grupo de Ondas Gravitacionais da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP. Trata-se de um sistema de modelos computacionais para o estudo de ondas geradas em corpos de água interiores.

O sistema é composto de diversas rotinas escritas nas linguagens AutoLisp e DCL, rotinas estas que trabalham em ambiente CAD (software CADs). O software foi desenvolvido para utilização específica no AutoCAD, entretanto, tem-se notícias de seu perfeito funcionamento em outros software CADs que possibilitem que o usuário carregue rotinas criadas na linguagem AutoLisp, logo, todas instruções de funcionamento e instalação serão descritas para a utilização do *OndisaCAD* no AutoCAD, mais especificamente na versão 2000 do AutoCAD.

A sua segunda versão, **versão 2**, é composta de diversos aplicativos que podem ser utilizados no estudo da climatologia de

ventos, de pistas de vento (*fetch*) e de estimativas de alturas e períodos de ondas para corpos d'água interiores, tais como: rios, lagos, lagoas, reservatórios, etc...

C.2-Interface Gráfica

A interface do *OndisaCAD* apresenta caixas de diálogos amigáveis e intuitivas, de modo que usuários que apresentem conhecimentos básicos em hidrodinâmica possam operar o software sem grandes problemas.

O *OndisaCAD*, por trabalhar dentro de ambientes CADs consegue fornecer resultados gráficos já com legendas auto explicativas, tornando assim os projetos facilmente inteligíveis.

C.3-Instalação

Os requisitos mínimos para o perfeito funcionamento do *OndisaCAD* é ter instalado o AutoCAD 2000 ou superior e que o computador em questão atenda as configurações exigidas pelo software AutoCAD 2000.

Para a Instalação do *OndisaCAD* também deve ter instalado no micro o software *winzip*, disponível em www.winzip.com.

Como Instalar:

- 1-Clique no arquivo OndisaCAD.exe
- 2-Clique no botão Unzip e o arquivo será instalado em C:
- Obs: Para o funcionamento do software é preciso que ele seja descompactado em C:
- 3-Clique no botão Close;
- 4-Inicie o AutoCad;
- 5-Selezione a opção Tools no menu pull-down do AutoCad. Selezione o comando Load Application;
- 5-Em Startup Suite, clique em Contents. Clique em Add. Adicione os arquivos contidos da pasta

"C:\OndisaCAD\Software\LISP" (r1.lsp, r2.lsp, r3.lsp, r4.lsp, r5.lsp, r6.lsp e r7.lsp.;
6-Fechar o menu Load Application;
7-Fechar o AutoCad e abra-o novamente.

C.4-Novidades da Nova Versão

A **versão 2** apresenta algumas novidades em relação à antiga **versão 1**, além da implementação de novos recursos.

A nova versão apresenta todas as rotinas trabalhando com caixas de diálogo, na **versão 1** o diálogo com o usuário era feito somente via linha de comandos.

Também é utilizado nesta nova versão a idéia de “projeto”, o usuário cria um novo projeto cada vez que desejar fazer um novo estudo hidrodinâmico (em um lago diferente). Esse recurso auxilia o usuário na organização dos dados gerados, tornando mais fácil de se trabalhar com estudos de vários lagos em um só micro computador.

Uma outra novidade é a incorporação do projeto do lago da UHE de Ilha Solteira - SP dentro da versão, ou seja, no momento em que se instalar o software o usuário já terá um banco de dados completo do lago de Ilha Solteira, podendo utilizar este para realizar estudos, ou mesmo para trabalhar durante o processo de aprendizado do software.

As rotinas que confeccionam mapas temáticos (de pistas de vento e de alturas de ondas) agora foram todas agrupadas, e obedecem a uma única função. Também foi adicionado o recurso de confecção de mapas de períodos de ondas.

Na antiga versão o usuário, no momento em que fosse trabalhar com mapas de alturas de ondas, era obrigado a trabalhar com ventos com duração constante, a nova versão possibilita que o usuário trabalhe com dados de vento que apresente duração registrada.

A **versão 2** possibilita que usuários menos experientes trabalhem com o software sem muitos problemas, usuário este que

somente precisa ter alguns conhecimentos básicos no software CAD em que o *OndisaCAD* for instalado, conhecimentos em hidrodinâmica e hidráulica fluvial, não sendo necessário que o usuário tenha conhecimentos em lógica de programação.

C.5-Acessando o OndisaCAD

Como foi dito anteriormente o *OndisaCAD* trabalha dentro de ambientes CADs, logo, para acessá-lo primeiramente precisamos acessar o AutoCAD.

Já com o AutoCAD aberto e com o *OndisaCAD* devidamente instalado podemos chamar suas rotinas digitando na linha de comando do AutoCAD. Como foi dito, o *OndisaCAD* é composto por um pacote de diversas rotinas. Mais adiante será exposto o funcionamento de cada uma dessas rotinas.

C.6-Imagem para a Definição dos Mapas de Contornos

A definição do contorno do corpo d'água a ser modelado pode ser obtida através de diversas bases, como por exemplo: Imagem de satélite, Cartas náuticas, Cartas topográficas e Fotos aéreas.

O detalhamento dos contornos deve estar de acordo com os objetivos do projeto e a precisão desejada nos resultados da modelagem.

Para qualquer que seja a fonte para obtenção dos contornos do domínio de modelagem, deve-se observar a data em que foi gerada a informação e se houve mudanças nos contornos do corpo d'água desde então.

Caso a base a ser utilizada para a definição dos contornos do corpo d'água a ser estudado estiver impressa em papel (cartas, fotos etc), esta deverá ser digitalizada através de um scanner e salva com formato de figura, como por exemplo:

*.gif, *.jpg, *.bmp. As imagens de satélite apresentam a vantagem de já estarem disponíveis em meio digital, além da maior possibilidade de se obter informações mais atualizadas.

C.7-Digitalização dos Mapas de Contorno

A digitalização do contorno deve ser feita no AutoCAD mesmo, para posteriormente salvar este arquivo em formato *.dwg.

De posse da figura a ser digitalizada devemos colá-la na área de trabalho do AutoCAD.

O mapa digitalizado é constituído por uma polilinha que margeia o lago, ou seja, uma polilinha que divide a água da terra. Esta polilinha deverá ser construída manualmente (o usuário vai descrevendo-a com cliques) através do comando *pline* do AutoCAD. É importante salientar que a polilinha do contorno do lago deve ser uma figura geométrica fechada, ou seja, o ponto final da digitalização deve coincidir com o ponto inicial, e que o usuário deve de fato utilizar *pline* e não *spline*, por exemplo.

Feita a digitalização do mapa, o usuário poderá deletar a foto (clicando com o botão direito sobre a foto e selecionando *clear*), e então deverá iniciar o processo reescalagem da figura (se esta estiver fora de escala) e em seguida fazer o geo-referenciamento da figura. É preciso salientar que o sistema em si não exige que os mapas possuam um geo-referenciamento, entretanto, é aconselhável tal procedimento para o momento em que porventura decida-se testar algum dado *in-loco*, por exemplo.

Para escalar a imagem devemos ter o conhecimento exato da distância entre dois pontos, salienta-se que quanto mais distante for estes dois pontos menor o erro embutido (já que o erro é uma relação com esta “distância de escalagem”) e portanto melhores serão os resultados gerados pelo

software. De posse, então, da distância exata destes dois pontos e da localização visual desses pontos no domínio da foto, digita-se na linha de comando do AutoCAD o comando *scale* e em seguida *enter*, então, o usuário deverá selecionar a margem que acabou de contornar e em seguida *enter*. Então o usuário deverá clicar em um ponto da área de trabalho (qualquer ponto), em seguida digitar “R” (de Reference), então, o usuário deverá clicar em cada um dos pontos conhecidos e em seguida digitar na linha de comando a distância correspondente. O comando *zoom* e em seguida *extents* fará com que a margem fique centralizada na tela do AutoCAD.

O usuário poderá conferir se o processo teve êxito verificando a distância entre estes dois pontos através do comando *dist* do AutoCAD (*dist* em seguida *enter* e em seguida clicando no dois pontos, a distância será mostrada na linha de comando do AutoCAD). Se a distância não coincidir com a desejada o processo deverá ser feito novamente. A prática mostra que no momento da seleção dos dois pontos o erro é minimizado se o usuário, através do comando *zoom* e em seguida *window*, “aproximar-se” o quanto possível do ponto em questão. Uma outra sugestão é trabalhar com imagens que tenham grande resolução, com isso o usuário poderá utilizar um *zoom* “bem próximo” sem que a imagem sofra grande desfiguração e a precisão na seleção dos pontos que fazem a fronteira água-terra irá aumentar. Entretanto, salienta-se que este processo irá sempre acarretar um erro, e que este erro torna-se difícil de ser avaliado no momento em que um projeto esteja sendo trabalhado, aconselha-se então, utilizar este processo de reescalagem somente quando não for possível trabalhar com figuras já escaladas, e o ideal é trabalhar com imagens de satélite, ou ainda, imagens já digitalizadas e escaladas no formato *.dwg.

O processo de geo-referenciamento deverá ser feito a partir do conhecimento das

coordenadas de dois pontos que se encontram dentro do subdomínio da foto e que deverão também ser transpostos (através de um ponto, com o comando *point* do AutoCAD) para a margem no momento da sua digitalização. Através do comando *move* devemos mover a margem e posicionar os pontos conhecidos nas coordenadas x e y do AutoCAD. Inicialmente digita-se *move*, selecionar a margem e digitar *enter* em seguida, então, o usuário deverá clicar em um dos pontos conhecidos e logo em seguida fornecer na linha de comando do AutoCAD as coordenadas x e y deste ponto. O ajuste aproximado deve ser feito pelo usuário, sempre utilizando o bom senso, já que o erro sempre estará embutido. Salienta-se que este processo também só deve ser utilizado quando não se dispuser de imagem já digitalizadas e geo-referenciadas.

É de extrema importância o processo de digitalização para que o mapa do contorno apresente uma boa precisão e, portanto o banco de dados gerado a partir deste mapa, também contenha informações confiáveis.

C.8-Pacote de Rotinas

O software, no geral, compreende cerca de três grandes estruturas programacionais destinadas ao estudo da climatologia de ventos, estudo do regime de ondas (pistas de vento, ou *fetch*), estudo das alturas de ondas propriamente ditas e o estudo dos períodos das ondas.

As rotinas destinadas ao tratamento de dados de vento somente atuam como um auxílio em projetos de estudo de geração de ondas. A partir do fornecimento das frequências e das velocidades médias em todas as direções, o software é capaz de confeccionar rosas de ventos. Essas rosas são muito úteis no estudo de ondas geradas por vento, através delas o usuário, por exemplo, pode identificar os ventos reinantes e dominantes, os ventos máximos e

mínimos, além de possibilitar um maior entendimento do regime de ventos local. Na rosa de ventos da Figura C.1 é possível perceber que o vento reinante sopra da direção NNE.

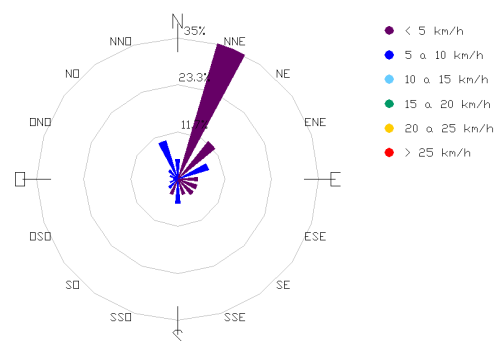


Figura C.1- Rosa de ventos

Uma boa dica é confeccionar diversas rosas de ventos durante o período de um ano, se possível rosas mensais, para o melhor entendimento dos ventos soprados em uma dada região, possibilitando que o usuário perceba visualmente quando (em que período do ano) o regime de ventos se altera.

Já a rotina destinada ao estudo do regime de ondas, ou o estudo da configuração das pistas de vento no domínio do lago, é capaz de produzir mapas de pistas de vento, ver Figura C.2. É preciso salientar que o *fetch* é uma das variáveis envolvidas no cálculo das alturas de ondas (assim como a direção e intensidade do vento), logo, as maiores ondas, para um vento constante, existirão na região onde existirem os maiores *fetchs*.

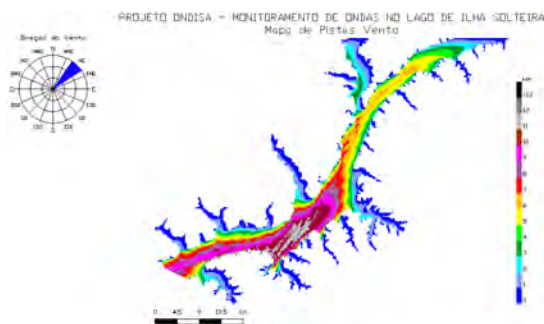


Figura C.2 - Mapa de pistas de vento para o lago de Ilha Solteira-SP

Já as rotinas destinadas ao estudo das alturas e períodos de ondas nada mais são do que uma extensão da rotina anterior, por utilizar os *fetchs* em seu cálculo.

O software realiza os cálculos das pistas pelo clássico método de Saville (1954), cujas variáveis de entrada são o contorno do lago, a direção e o local em que se quer calcular a referida pista. Para o cálculo das alturas de ondas a partir de um vento constante o *OndisaCAD* tem disponível para o usuário os métodos JONSWAP, SMB, Wolf, Creager e SGM cujas variáveis de entrada são a direção e a intensidade do vento, e o *fetch*. Para o cálculo de alturas de ondas a partir de um vento com duração estipulada, o *OndisaCAD* disponibiliza para o usuário somente o método JONSWAP (Figura C.3) e para o cálculo dos períodos de ondas o *OndisaCAD* disponibiliza somente o método SMB.

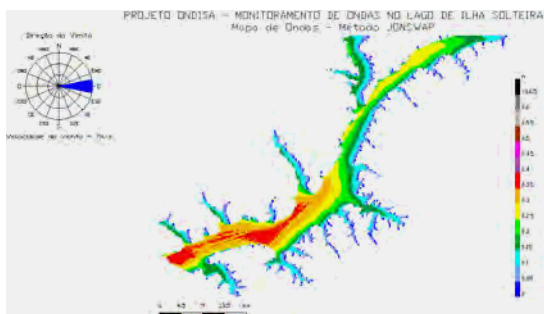


Figura C.3 - Mapa de alturas de ondas para o lago de Ilha Solteira-SP

C.9-Funcionamento do software

Após a instalação do software já podemos começar a trabalhar, mas antes temos de fazer o cadastro do novo projeto. Para melhor ilustrar este item faremos um exemplo, o lago de Ilha Solteira-SP.

C.9.1-Criando um novo projeto

Podemos criar um novo projeto através do comando *NP* (Novo Projeto), digitando na linha de comando do AutoCAD. Abrirá uma caixa de diálogo pedindo ao usuário que digite o nome do novo projeto, como mostra a Figura C.4.

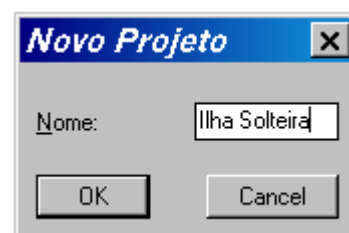


Figura C.4 - Caixa de diálogo para a criação do novo projeto

O usuário deve fornecer um nome de projeto que ainda não exista. Se porventura já existir uma mensagem de erro aparecerá. No momento da criação do software optou-se por não criar nem um comando que delete projetos existentes, tanto por esse tipo de operação ser muito perigosa ao se tratar de usuário menos familiarizado com o *OndisaCAD*, como pelo fato de que um projeto depois de criado não venha ocupar tanto espaço, a ponto do usuário querer excluí-lo.

C.9.2-Compondo o banco de dados

Como já foi dito anteriormente algumas rotinas necessitam da pista de vento como dado de entrada, para ganhar agilidade esse dado fica armazenado em um arquivo, e sempre que o software necessitar, automaticamente o arquivo é buscado.

Antes de iniciar a utilização do software devemos criar este arquivo, ou seja, compor o bando de dados do projeto. Antes disto é preciso salientar que para tanto, anteriormente o usuário deve criar o mapa de contorno do lago 5 e 6) e armazenar o arquivo *.dwg na pasta “C:/OndisaCAD/Mapas/nome_do_projeto”.

Já com o arquivo do mapa de contorno criado e armazenado dentro da sua devida pasta, o usuário pode digitar na linha de comando do AutoCAD o comando *PD* (Processamento de Direções), aparecerá uma caixa de diálogo como mostra a Figura C.5 pedindo para que o usuário forneça o nome do projeto (no nosso caso Ilha Solteira), escolher em que direção se deseja criar o arquivo de pistas de vento, se o usuário escolher a opção “Todas as Direções”, serão gerados arquivos para 16 direções (uma direção a cada incremento de 22,5°), se for escolhida a opção “Somente uma Direção” o usuário poderá escolher uma das 16 direções ou ainda escolher uma direção diferente escolhendo a opção “Fazer o Processamento em uma Outra Direção”, e digitar a direção no campo que fica logo à frente. É preciso salientar que o ângulo das direções é fornecido em graus e no sentido anti-horário com o zero partindo da direção “E”.

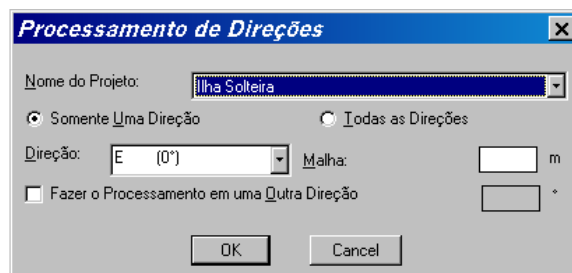


Figura C.5 - Caixa de diálogo para a composição do banco de dados

Todos os arquivos gerados serão guardados automaticamente dentro da pasta do respectivo projeto que fica dentro de “Arquivos de Pistas de Vento”, dentro de *OndisaCAD*.

O campo “Malha” pede para que o usuário forneça um espaçamento em metros. O espaçamento desta malha também pode ser entendido como a precisão que se quer utilizar, pois, é a partir dessas coordenadas que o software tomará como ponto para realização dos cálculos das pistas, logo, quanto mais refinada a malha (menor o espaçamento desta) melhores serão os resultados fornecidos e maior será o tempo de processamento.

De posse das coordenadas de cada ponto e dos respectivos comprimentos de pistas, o software faz a classificação desses comprimentos dentro de uma palheta de cores, onde cada cor obedece a um intervalo de comprimento de pista, ou de altura de onda. Em cada ponto, então, é desenhado um *pixel* com a cor correspondente ao intervalo em que o seu comprimento de pista se enquadre (esse intervalo é variável e ajustável pelo usuário no momento em que o software for solicitado para gerar dados).

O princípio das rotinas que trabalham com mapas temáticos é que um grupo de *pixels* quando visualizado com um zoom coerente com o espaçamento da malha que o gerou forneça ao usuário que os visualize um sólido. Será possível perceber, quando se trabalhar com o *OndisaCAD*, que quando mais refinada a malha melhor o aspecto de sólido. No entanto o tempo de

processamento aumentará, recomenda-se que antes do início de qualquer projeto o usuário faça testes com diversas malhas para decidir-se por uma que atenda os requisitos visuais e de confiabilidade dos dados gerados. Recomenda-se também que se for de interesse uma maior precisão em dada região, o usuário trabalhe com subregiões, esta opção será abordada mais adiante.

C.9.3-Gerando Mapas de Pistas de Vento, Mapas de Altura de Ondas e Mapas de Períodos de Ondas

Já com os arquivos de pistas de vento gerados, podemos iniciar a geração de mapas. Digitando na linha de comando ANR (Análise de Regiões) aparecerá uma caixa de diálogo como a imagem da Figura C.6. Inicialmente deve ser selecionado o nome do projeto, em seguida selecionar a opção “Altura da Onda”, ou “Comprimento de Pista” ou ainda “Período da Onda, logo a frente existe a opção “Subregião”. Esta opção deve ser acionada quando se deseja fazer uma análise somente em uma dada região contida dentro da margem do lago. Como foi dito anteriormente, essa opção é muito útil quando se desejar grande precisão somente em algumas regiões do lago.

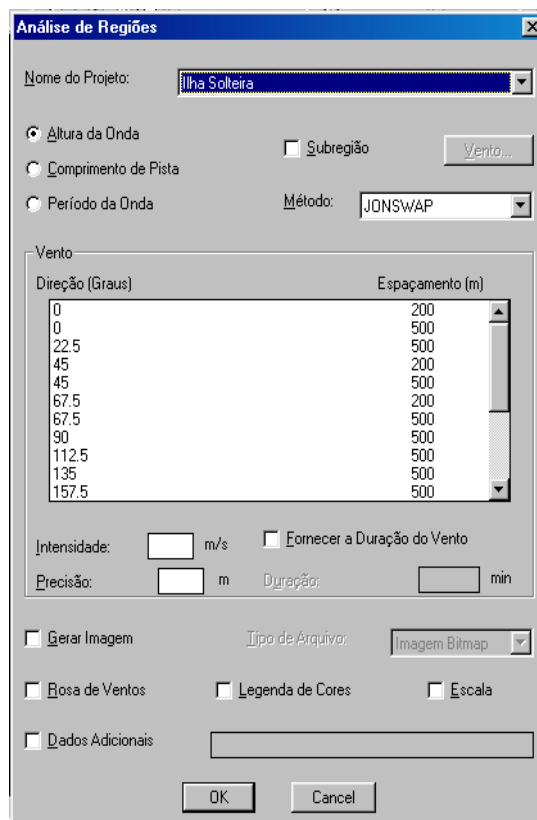


Figura C.6 - Caixa de diálogo da rotina análise de regiões

C.9.3.1- Altura da Onda

Acionada a opção “Altura da Onda” o usuário em seguida deverá selecionar o método a ser utilizado, fornecer a direção e o espaçamento da malha, na figura 6 é possível observar uma janela que lista todos os arquivos de pistas de vento criados anteriormente. Um desses arquivos deverá ser selecionado, e logo em seguida o usuário deverá fornecer a intensidade do vento, e a precisão a ser utilizada na classificação das cores, ou seja, o intervalo que separa uma cor da outra na palheta de classificação, palheta esta que será desenhada na direita do mapa, se for de desejo do usuário.

Quando o usuário possuir a Duração do Vento poderá fornecê-la clicando em “Fornecer a Duração do Vento”, se não a fornecer (a opção “Fornecer a Duração do

Vento” deverá estar desativada) o software entenderá que se trata de um vento constante (sopra ininterruptamente com mesma direção e sentido). Para o cálculo das alturas de ondas com ventos constantes o software disponibiliza os métodos JONSWAP, SMB, SGM, Wolf e Creager; já para ventos que possuam uma determinada duração o software somente disponibiliza o método JONSWAP.

Em seguida deve-se escolher a opção “Gerar Imagem” se o usuário desejar salvar em formato *.bmp ou *.wmf o mapa, a imagem será salva dentro da pasta mapas no referido projeto.

Deverá também ser informado se é de desejo que o software desenhe a rosa de ventos, a legenda de cores e a escala. O campo “Dados Adicionais” deverá ser selecionado se o usuário desejar inserir uma linha de dados logo abaixo do mapa. Essa linha de dados poderá por exemplo ser a data da coleta dos dados ou um título para a simulação. Ao clicar OK o mapa será desenhado (Figura C.7). Se a opção “Subregião” estiver acionada, tanto a direção como o espaçamento da malha deverão ser fornecidos clicando no botão “Vento”, a ao clicar OK o usuário deverá selecionar a margem do lago e a subregião, logo sempre quando esta opção estiver ativada o processamento deverá ser feito sobre o arquivo da margem digitalizada. Um outro detalhe é que a subregião deverá estar contida dentro do subdomínio do lago e na forma de polilinha fechada, ou seja, seu ponto final deve coincidir com o ponto inicial, da mesma maneira que a margem do lago.

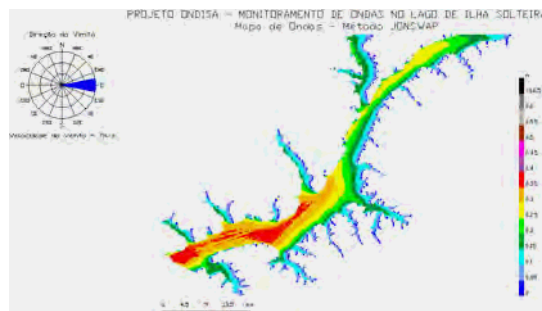


Figura C.7 - Mapa de ondas do lago de Ilha Solteira

C.9.3.2- Comprimento de Pista de Vento

Acionada a opção “Comprimento de Pista” o usuário deverá escolher se deseja ou não trabalhar com subregião, em seguida selecionar o arquivo da pista de vento e fornecer a precisão desejada. As opções “Gerar Imagem”, “Rosa de Ventos”, “Legenda de Cores”, “Escala” e “Dados Adicionais” funcionam de maneira similar ao explicado anteriormente. Ao clicar OK o mapa de Pistas de Vento será desenhado (Figura C.8).

Deve-se salientar que para a confecção dos mapas, tanto de pistas de vento quanto de alturas de ondas só é necessário estar com o mapa de contorno aberto no momento em que a opção subregião estiver acionada, quando esta opção estiver desabilitada o mapa pode ser confeccionado sobre um arquivo em branco (recém criado).

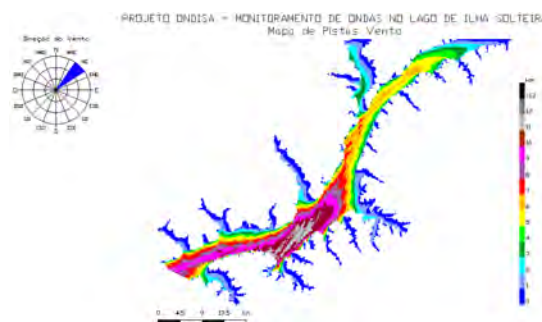


Figura C.8 - Mapa de pistas de vento do lago de Ilha Solteira

C.9.3.3- Período da Onda

Para a opção “Período de Ondas” o processo é similar aos anteriormente descritos. O software somente disponibiliza para o cálculo dos períodos o método SMB, logo o usuário não deverá selecionar o método, as demais operações são similares, A Figura C.9 ilustra essa operação.

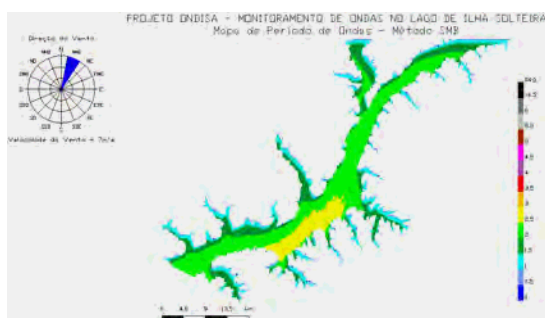


Figura C.9 - Mapa de Períodos de ondas do lago de Ilha Solteira

C.9.4-Cálculo da Pista de Vento

Pode existir um momento em que o usuário deseje verificar o comprimento da pista de vento em um ponto e em uma dada direção, existe uma rotina que faz esse cálculo. Digitando na linha de comando *PV* (Pista de Vento) abrirá uma caixa de comando (Figura C.10) pedindo que o usuário selecione o projeto, e em seguida forneça a direção do vento.

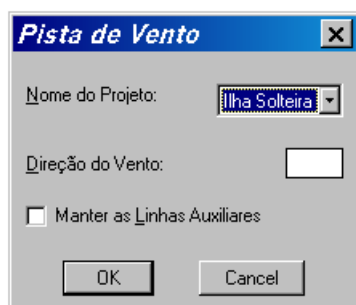


Figura C.10 - Caixa de diálogo da rotina pista de vento

Como foi dito o software faz o cálculo da pista de vento pelo método de Saville (1954). Este método conforme pode ser observado na literatura, faz o cálculo traçando linhas auxiliares que vão do ponto em que se quer calcular até a margem do lago, logo esta rotina exige para o seu funcionamento que o usuário trabalhe sobre o arquivo de contorno da margem do lago.

A opção manter as linhas auxiliares faz com que o software depois de terminar o cálculo deixe as já mencionadas linhas auxiliares ativas (não as apague). Ao digitar OK, o usuário deverá clicar no ponto em que se quer calcular e selecionar a margem do lago.

O comprimento das maiores pistas de vento no lago de Ilha Solteira, para todas as direções, pôde ser obtido de duas maneiras diferentes: a primeira é o usuário visualizar, nos mapas de comprimentos de pistas de vento e, a segunda, é fazer uma análise dos arquivos de banco de dados que contêm as coordenadas e os comprimentos das pistas dos pontos contidos no interior do lago, essa análise pode ser feita colando-se este arquivo de vento em uma planilha do Excel (por exemplo) e trabalhando com a opção de filtragem. Como já foi dito anteriormente estes arquivos encontram-se dentro das pastas de seus respectivos projetos, localizadas dentro de Arquivos de Pistas de Ventos e dentro da pasta do *OndisaCAD*.

C.9.5-Gerando Diagramas de Alturas de Ondas e Comprimentos de Pistas

Esta rotina é capaz de gerar diagramas de comprimentos de pista e alturas de ondas. Digitando *DIA* (Diagramas) na linha de comando surgirá uma caixa de diálogo como mostra a Figura C.11.

Seu funcionamento é similar ao que já foi visto, deve-se selecionar o projeto, se for de desejo calcular “Altura de Onda” ou

“Pista de Vento”, para o caso de “Altura de Onda” a opção “Método” e “Intensidade do Vento” estarão ativas. Existe uma opção que possibilita que o usuário forneça manualmente todos os comprimentos de pista de vento para as 16 direções mencionadas anteriormente, para tanto, deve-se ativar a opção “Fornecer Manualmente as Pistas de Vento” e em seguida clicar sobre o botão “Dados”.

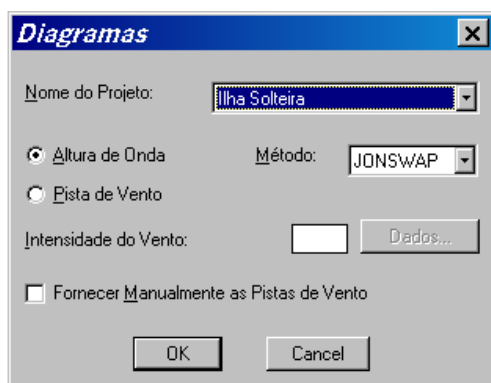


Figura C.11 - Caixa de diálogo da rotina diagramas

Esta rotina, exceto quando o usuário fornecer o valor de todas as pistas manualmente, exige que o usuário esteja com o mapa do contorno do lago aberto. Ao clicar OK a rotina pede para que o usuário clique no ponto desejado (este ponto pode ser fornecido entrando com as coordenadas x e y na linha de comando ou clicando em um ponto da área de trabalho do AutoCAD. Assim, um Diagrama como o da Figura C.12 deverá ser criado.

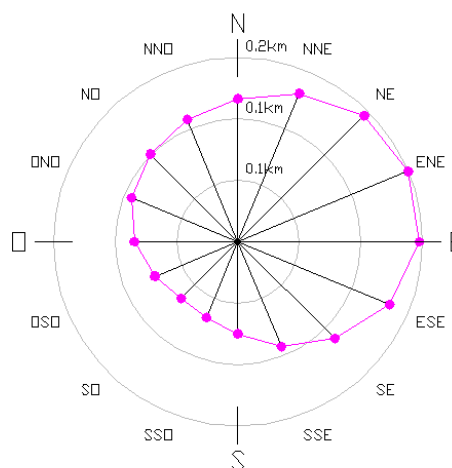


Figura C.12 - Diagrama de pistas de vento para uma margem hipotética

C.9.6-Rosa de Ventos

Esta rotina confecciona rosa de ventos a partir da frequência e da velocidade média dos ventos. Trata-se de uma rotina que auxilia no estudo da climatologia de ventos. A rotina disponibiliza rosa de ventos de Reinância de Dominância (fv^2).

Digitando RV (Rosa de Ventos) na linha de comandos do AutoCAD abrirá uma caixa de diálogos como o da Figura C.13 solicitando que o usuário inicialmente escolha se deseja Rosa de Ventos de Dominância ou Reinância, escolher a precisão (incremento) na escala de ventos, escolher a unidade da velocidade do vento que será fornecida, e então fornecer as frequências e as velocidades médias dos ventos.



Figura C.13 - Caixa de diálogos da rotina rosa de ventos

Esta rotina não necessita que o mapa de contorno esteja aberto, pois todos os dados são fornecidos pelo usuário. Ao entrar com todos os dados e clicar OK será pedido para selecionar um ponto para que a rosa de ventos seja desenhada, criando uma imagem como a da Figura C.14.

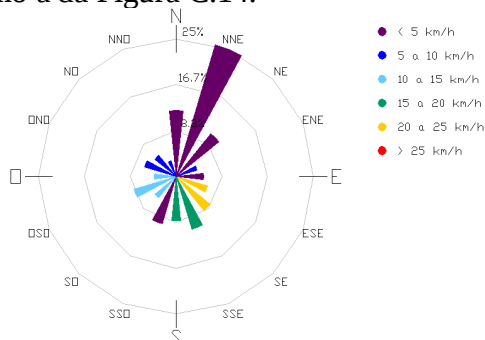


Figura C.14 - Rosa de ventos

C.10-Critérios de avaliação dos resultados

É preciso alertar que alguns dados gerados pelo software *OndisaCAD* devem ser analisados com cautela. Existem três regiões nos mapas temáticos em que o software se depara com problemas de fronteira.

A primeira delas está ilustrada na Figura C.15, trata-se de uma região de fronteira que limita a região de interesse e a

região exterior ao lago mas também contida no lago, chamaremos esta fronteira de lago x lago. Verifica-se que a medida em que aproxima-se da região de fronteira as cores vão se tornando frias, ou seja, as alturas de ondas ou os comprimentos de pistas vão se tornando menores, isso acontece por que o software entende esta região como sendo uma fronteira entre o lago e a margem.

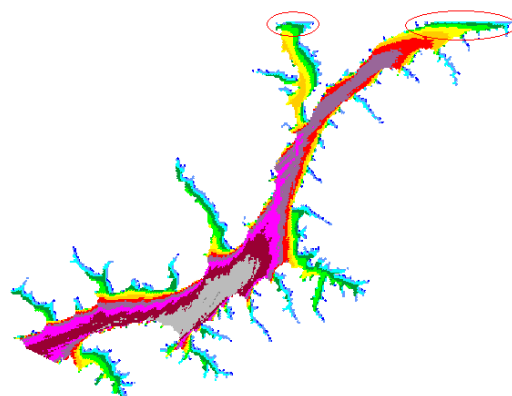


Figura C.15 - Região de fronteira lago x lago

Essas regiões devem ser desprezadas quando a direção utilizada na análise estiver cortando esta fronteira e no sentido de “fora-para-dentro” da região de interesse. O mesmo cuidado já é desprezado (entenda-se cuidados reduzidos) quando o sentido for contrário, pois o software não se deparará em sua análise com a referida fronteira. O ideal é que os dados próximos a esta região sejam desprezados.

A segunda região trata-se da fronteira entre algum anteparo (como por exemplo, uma ponte, uma barragem ou mesmo uma ilha, haja vista que o software em sua versão atual não permite que o usuário trabalhe com ambientes que possua(m) ilha(s) em seu interior) e a região de interesse, chamaremos para efeito ilustrativo essa fronteira de lago x anteparo. Essa região pode ser visualizada na Figura C.16.

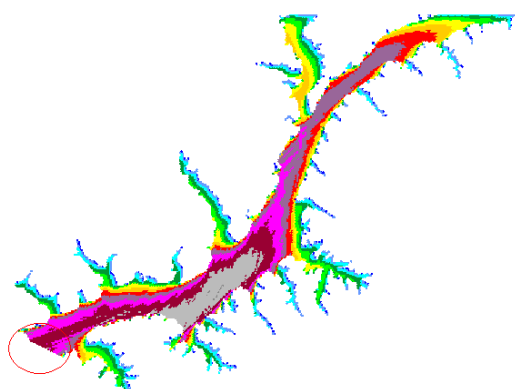


Figura C.16 - Região de fronteira lago x anteparo

Esta região deve ser analisada com a mesma cautela que a região anterior quanto à direção e sentido dos ventos soprados, contudo um fator deve ser levado em conta: Até que ponto o referido anteparo irá influenciar no campo de ventos, e portanto, na geração de ondas?

Ainda não existem estudos que nos forneçam dados para responder a esta pergunta, o que vale é bom senso do usuário na hora de analisar esta região, e, se possível, despreze os dados fornecidos pelo software nesta região, principalmente se o software estiver trabalhando com ventos que cortem estas fronteiras, no sentido de “fora-para-dentro”.

A terceira e última região é a fronteira entre o lago e a terra, lago x terra ilustrada no mapa de ondas da Figura C.17. Neste tipo de região temos um outro problema que diz respeito somente aos mapas de altura de ondas.

Todos os métodos utilizados são métodos que foram criados especialmente para regiões de grande profundidade, mais especificamente mar aberto. O fato é que na medida em que aproximamos das margens as profundidades vão diminuindo e as equações destes métodos vão deixando de serem válidas. Um outro fator a ser preponderado nesta região é que os efeitos de atrito de fundo nas proximidades das margens passam a ser maiores, tanto pelo

efeito da baixa profundidade quanto pelo fato de que nesta região, uma vez que o fundo recebe mais insolação, quase sempre costuma existir uma comunidade de vegetais aquáticos, vegetais estes que com o seu corpo tendem a aumentar ainda mais o efeito da rugosidade e o efeito de atenuação das ondas.

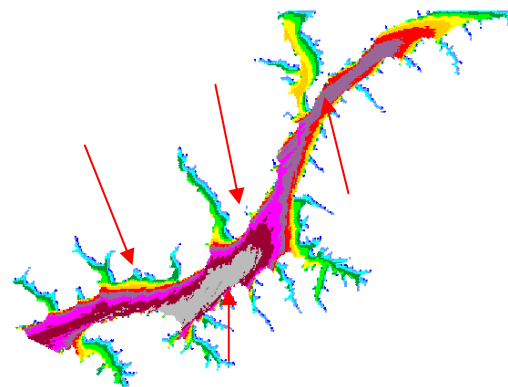


Figura C.17 - Região de fronteira lago x terra

Um terceiro fator que ainda deve ser considerado é o efeito das ondas que refletem na margem, o software também não considera este efeito.

Recomenda-se que os dados mais próximos destas margens também sejam desprezados, independentemente do critério já descrito que leva em conta a direção do vento.

C.11-Comparativo entre os modelos de previsão de ondas

Neste item foram feitos alguns comparativos entre os diversos modelos de previsão. Decidiu-se adotar um *fetch* constante de 10km para então variar a intensidade do vento.

Num comparativo entre os cinco métodos verificou-se que os resultados pode ser bastante discrepantes (ver Figura C.18).

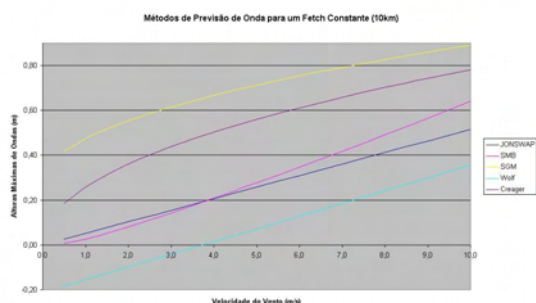


Figura C.18 - Comparativo entre os modelos SMB, JONSWAP, SGM, Creager e Wolf

O modelo SGM apresenta as maiores alturas de ondas, seguido pelo modelo de Creager.

Os modelos SMB e JONSWAP apresentam resultados muito próximos principalmente para ventos até 6m/s. Para ventos até aproximadamente 4m/s o modelo JONSWAP apresenta resultados ligeiramente maiores, e para ventos entre 4 e 6m/s (aproximadamente) o modelo SMB começa a apresentar alturas de ondas mais expressivas.

O modelo de Wolf, para ventos com intensidade inferior a aproximadamente 3,7m/s, apresentou resultados negativos, e também observou-se neste método as menores alturas de ondas.

BISHOP (1983) realizou um estudo comparativo do desempenho de modelos com dados obtidos no lago de Ontário em 1983. O autor afirma que os modelos SMB e JONSWAP têm precisão comparável (o desvio-padrão para ambos é de aproximadamente 0,25m). A exemplo de estudos realizados por outros autores, Bishop também conclui sobre a superestimativa das alturas de ondas pelo método SMB.

Decidiu-se então fazer um comparativo entre os modelos SMB e JONSWAP, ilustrado na Figura C.19.

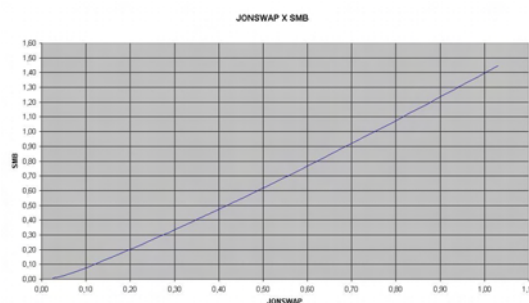


Figura C.19 - Comparativo entre os modelos SMB e JONSWAP

Percebe-se que o gráfico inicia-se com leve tendência de exponencialidade, contudo, para ventos de maiores intensidades (maiores ondas) a linearidade é observada, com uma inclinação aproximada de 45°.

C.12-Extras

O software *OndisaCAD* foi desenvolvido para ser “rodado” no AutoCAD 2002, no entanto tem-se notícias da sua compatibilidade em versões a partir da 2000, também tem-se notícias de seu perfeito funcionamento em outros softwares CADs que possibilitam o carregamento de rotinas *.lsp, o Intelicad é um desses exemplos.

O *OndisaCAD* foi desenvolvido para trabalhar no ambiente CAD natural de sua instalação, ou seja, com o template original de instalação, logo, outros templates já modificados podem levar a um erro durante a execução do programa. Também é aconselhável que toda vez que o usuário for trabalhar com o software inicie um arquivo novo. Quando o usuário terminar de rodar qualquer rotina e desejar rodar uma segunda deverá digitar na linha de comando *LP* (Limpa Mapa), este

comando faz com que todas as entidades desenhadas pelo software *OndisaCAD* contidas no desenho ativo sejam deletadas.

É aconselhável também que durante a execução de qualquer das rotinas o usuário não digite nem uma tecla (especialmente *Esc* ou *Ctrl+C*) pois poderá acarretar em um erro na execução do software. A experiência na utilização do software mostra também que durante a execução da rotina *PD* (Processamento de Direções), responsável por compor o banco de dados relativo a pistas de vento, se usuário estiver trabalhando com outros softwares (principalmente softwares que necessitam de grande memória) pode acarretar erros na execução da rotina e também tornar sua execução mais lenta, alerta-se que estes erros são de difícil detecção, logo aconselha-se que no momento da composição do banco de dados o micro esteja somente com o AutoCAD ativo.

Um ponto fraco do software é justamente a composição do banco de dados, dependendo do tamanho do lago e da malha escolhida o processamento de uma única direção pode levar horas, no entanto essa é uma tarefa que somente deve ser feita uma vez. A Figura C.20 mostra um gráfico do espaçamento da malha pelo tempo de processamento, é obvio que o tempo de processamento tem influência direta com a configuração do micro em que se quer utilizar o software, no entanto, este gráfico serve para nos mostrar que à medida que refinamos a malha, o tempo de processamento tende a aumentar exponencialmente. Este é um ponto que se deve aperfeiçoar.

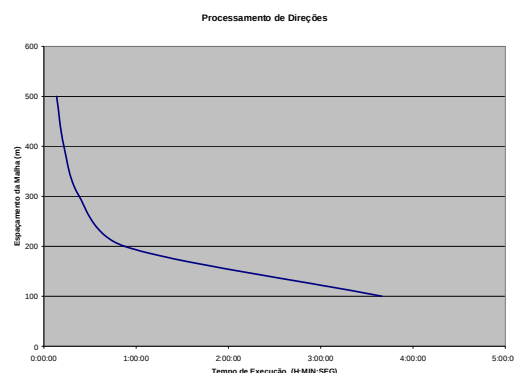


Figura C.20 - Tempo de execução da rotina “Processamento de Direções” para uma dada margem hipotética

Os teste que geraram tal gráfico referem-se a uma margem hipotética com área aproximada de 414km², com o software instalado em um micro com processador Pentium 4 de 2,8 GHz e 512Mb de memória RAM.

O software *OndisaCAD* começou a ser idealizado com o início do projeto ONDISA (Produção de ondas induzidas pelo vento no lago de Ilha Solteira) desenvolvido por professores da FEIS/UNESP (Trovati et al. (2001)), cuja programação de sua primeira versão (**versão 1**) é apresentada em Marques (2005). Este manual ilustra sobre sua segunda versão, versão que foi desenvolvida em 2006/2007 (**versão 2**).

É preciso salientar que este software não se trata de um software comercial, tanto que ainda não existem estudos concluídos que comprovem a sua validade, no entanto, um processo de validação foi iniciado em Marques (2005) e prosseguem de forma mais completa no contexto deste Projeto. Os resultados obtidos até o momento são muito satisfatórios.

C.12.1-Digitalização de mapas utilizando o Google Earth

Este anexo tem a motivação de auxiliar o usuário na tarefa de digitalizar mapas a partir de fotos de satélite obtidas através do software Google Earth.

O primeiro passo é obter a imagem do lago, isso pode ser feito pelo usuário apontando, com o google earth, para o lago que se deseja digitalizar. Após deixar o lago visível na tela o usuário digita *Ctrl+Alt+S*, para salvar a imagem no formato .jpg. É preciso salientar que antes de salvar a imagem o usuário deve enquadrar a foto na tela de uma certa maneira que o lago ocupe toda a extensão da tela, propiciando que a foto salva esteja com o maior *zoom* possível.

Um procedimento que pode ser muito útil é desativar a exibição das ferramentas do google earth e também a barra de ferramentas do Windows, com o intuito de tornar maior a “área útil” do monitor. Isso pode ser feito digitando F11 (*full screen*) e também clicando no menu *view* e desativando todas as barras de ferramentas (*Toolbar*, *Sidebar*, etc.), tudo isso deve ser feito antes de salvar a imagem, podendo ser ativadas as barras todas novamente após a imagem ser arquivada.

O próximo passo é abrir a imagem salva em um editor de imagens, o paint do Windows pode ser utilizado, selecionar toda a imagem, copiá-la e colá-la no AutoCad (*Ctrl+C* e *Ctrl+V*).

Com a foto no AutoCad o usuário deve começar o processo de digitalização, conforme descrito no item 7 deste manual. É preciso salientar que para tal tarefa é aconselhável um micro que tenha uma boa potencia e tenha memória disponível, geralmente esse processo torna-se muito demorado quando decide-se utilizar micros com *hardware* já desatualizado.

Após transcrever toda a margem do lago o usuário deve tomar as coordenadas de dois pontos de fácil visualização (quanto mais distantes os dois pontos mais precisão a imagem digitalizada apresentará). Na inexistência deste dois pontos notáveis, de fácil identificação visual, o usuário deve adicionar dois marcadores com o google earth antes de salvar a imagem, utilizando o comando *Add Placemark (Ctrl+Shift+P)*.

Após coletadas as coordenadas destes dois pontos (coordenadas geodésicas), o usuário deverá transformá-las para coordenadas UTM. Em seguida o usuário deverá lançar esses dois pontos no AutoCAD, e traçar uma linha ligando um ponto ao outro, esta linha servirá de *linha-base*, auxiliando na reescalagem e geo-referenciamento.

O próximo passo é localizar na foto (que após ter sido digitalizada ainda permanece na área de trabalho do AutoCAD) os dois pontos que foram tiradas as coordenadas, e também traçar uma linha ligando esses dois pontos da foto, *linha-auxiliar* no processo que deve ser feita sobre a foto mesmo.

Feito isso já podemos excluir a foto da área de trabalho do AutoCAD, clicando com o botão direito sobre a imagem e selecionando *clear*. O próximo passo é reescalar e geo-referenciar a margem recém criada.

Para reescalar devemos primeiro medir o comprimento da *linha-base*. Em seguida o usuário deve digitar na linha de comando do AutoCAD *scale* e selecionar a margem recém criada e a *linha-auxiliar*, após selecionar as duas entidades o usuário digita um *enter*, para finalizar a seleção, e então clica em um ponto de referência (qualquer ponto), digita “R”, para escalar com referência, clica no início e no fim da *linha-auxiliar* (utilizando a ferramenta de precisão *endpoint*) que foi selecionada junto com a margem do lago e em seguida o usuário deve digitar o comprimento da *linha-base*, coletado anteriormente.

O próximo passo é o geo-referenciamento. Inicialmente, o usuário deve deixar a *linha-auxiliar* com a margem na mesma inclinação que a *linha-base*, isso pode ser feito através do comando *rotate*, do AutoCAD.

Para finalizar, o usuário deve mover a *linha-auxiliar* com a margem até a *linha-base*, de modo que coincidam os pontos inicial e final das duas linhas. Uma maneira de checar o processo é verificar se as duas linha têm a sobreposição perfeita, se isto não ocorrer o processo deve ser refeito.

Esse processo é bem simples e pode ser feito por qualquer usuário que tenha conhecimentos básicos no AutoCAD e no Google Earth. É preciso salientar que até o momento não foram feitos testes que mostrassem a precisão envolvida no processo, o bom senso recomenda que tal processo seja utilizado para lagos com grande espelho d’água, e que permitam o trabalho com uma malha superior a 100m. Outro fator a ser considerado é o fato de que o Google Earth trabalha com uma base que pode ser desatualizada para o objetivo que se deseja utilizar.

C.2 MANUAL *OndisaCsat3*

A seguir, um pequeno manual do *software OndisaCsat3* será mostrado no intuito de ajudar qualquer usuário que for utilizar o mesmo, vale lembrar que este *software* foi elaborado especificamente para análise dos dados brutos armazenados pelo Anemômetro CSAT3 da CAMPBELL com a configuração adotada durante esse trabalho e segue as estruturas presentes no arquivo de extensão *.dat* salvo pelo mesmo. Assim, o *software OndisaCsat3* pode não funcionar a contento sobre outras formas de estruturação de dados.

A plataforma a desenvolver o *software* foi alvo de uma cuidadosa seleção, dentre os requisitos primordiais estava a criação de um executável que não necessitasse de instalação e de nenhum pré-requisito de programas, ou seja, que carregue consigo toda a programação e o código fonte necessário para execução do *software* com sucesso aliado à versatilidade em se tratando de tamanho. O *Visual Basic 6.0 Professional* oferece a oportunidade de criar uma interface com o usuário, além de poder construir as rotinas e sub-rotinas necessárias, atendendo assim os propósitos requeridos nesta programação e foi escolhido como plataforma base na criação do programa *OndisaCsat3.exe*.

Escolhido a plataforma base para a confecção do *software* manipulador de dados de vento, o próximo passo foi um estudo minucioso acerca dos dados desejáveis para a caracterização de ventos de um determinado local.

Como o Visual Basic não é muito empregado para manipulação de dados e criação de *software* (na engenharia utiliza-se muito o C++, Fortran, MatLab, etc.), num primeiro momento não se tinha todas as informações acerca deste programa, no intuito de precisar se ele poderia atender todas as expectativas da linguagem e rotinas empregadas. No entanto, o Visual Basic se mostrou eficaz e atendeu plenamente as expectativas nele depositada.

O *OndisaCsat3* já vem pronto para se executado em PCs, pen drives ou qualquer dispositivo de armazenamento, não há necessidade de se ter instalado nenhum programa para lê-lo nem para executá-lo. Trata-se de um programa compacto (perto de 30 Mb) que não é instalável, apenas executável. O ícone representativo do *software* chamado *OndisaCsat3.exe* pode ser visto na Figura C.21.

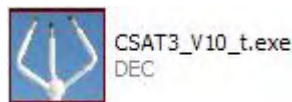


Figura C.21 – Ícone representativo do software *OndisaCsat3.exe*

De posse do programa, ao executá-lo, abrir-se-á uma janela como mostra a Figura C.22.



Figura C.22 – Janela do *OndisaCsat3*

Pode-se observar em tal janela que há um campo onde se insere o intervalo de análise (minutos, horas, dias, meses e/ou anos), este campo pode ser preenchido para qualquer intervalo como: 1 mês 3 dias 0 horas e 55 minutos por exemplo, assim o *software* realizará os cálculos e irá expor os resultados com esse intervalo entre os dados.

Ainda nessa mesma janela encontra-se a opção de salvar os dados originais e cálculos com o eixo z, a primeira opção irá criar um arquivo com os dados brutos tratados (intensidade e direção), ao deixar selecionado a segunda opção, todos os cálculos serão realizados levando em consideração a coordenada do eixo z.

O *software* foi estruturado de tal forma que sua janela não pode ser redimensionada. Todos seus componentes são fixos e existem dois botões, um verde e um vermelho. O primeiro inicia os cálculos levando em conta os dados inseridos e/ou selecionados e o segundo (o vermelho) finaliza o programa.

Como o *software OndisaCsat3* analisa e manipula os dados do arquivo bruto salvo pelo Anemômetro CSAT3, alguns cuidados devem ser tomados como:

- o arquivo de dados deve estar na mesma pasta do *software*;
- o arquivo de dados deve ter a extensão *.dat*;
- deve-se ter espaço suficiente, pois o *software* cria arquivos de dados tratados.

Seguindo esses passos o *software OndisaCsat3* criará, no mesmo diretório que se encontra o programa e o arquivo de dados brutos, outros 5 arquivos com extensão *.txt* com os dados processados e manipulados de acordo com o escolhido e inserido na janela principal do programa, tais arquivos terão os seguintes nomes:

- Dados tratados;
- Acontecimentos nas direções;
- Média geral;
- Média nas direções; e
- Freqüências nas direções.



ANEXO D

MAPAS DE ALTURA DE ONDAS PARA OS LAGOS DE ESTUDO

Como dito anteriormente, este anexo contempla os mapas de altura de ondas para os 4 lagos de estudo desta dissertação. Assim a sequência de Figuras D.1 até D.64 mostra sequencialmente os mapas de ondas em todas as direções na rosa dos ventos para os lagos de Ilha Solteira, Jupia, Três Irmãos e Porto Primavera, respectivamente, seguindo sempre, para cada lago, uma mesma escala na altura de ondas para um eventual efeito de comparações.

D.1 MAPAS DE ONDAS PARA ILHA SOLTEIRA

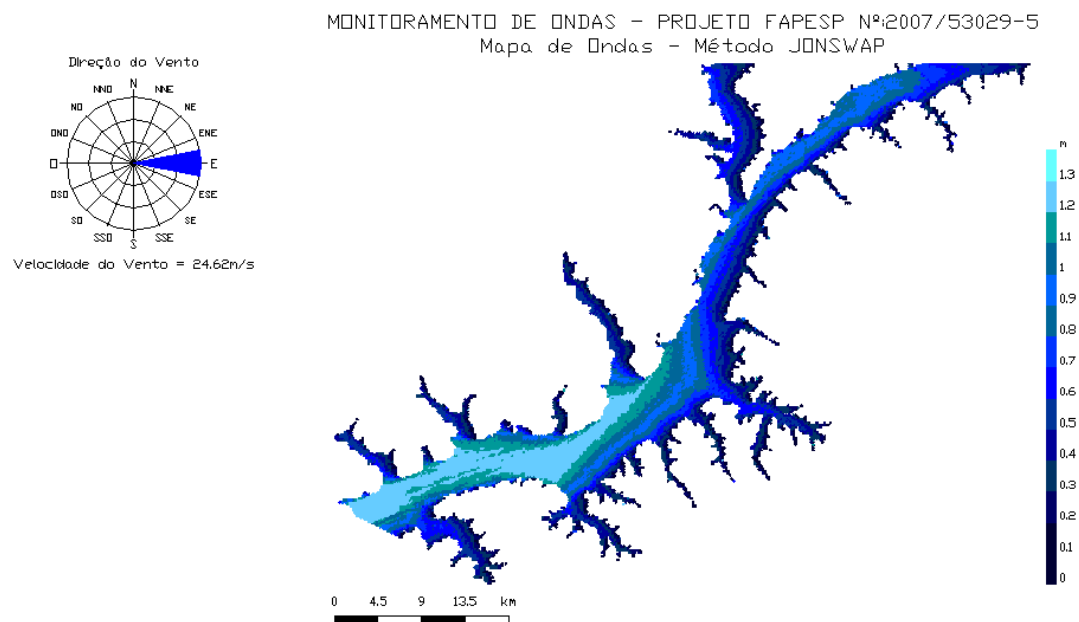


Figura D.1 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção E, Vento de 24,62 m/s

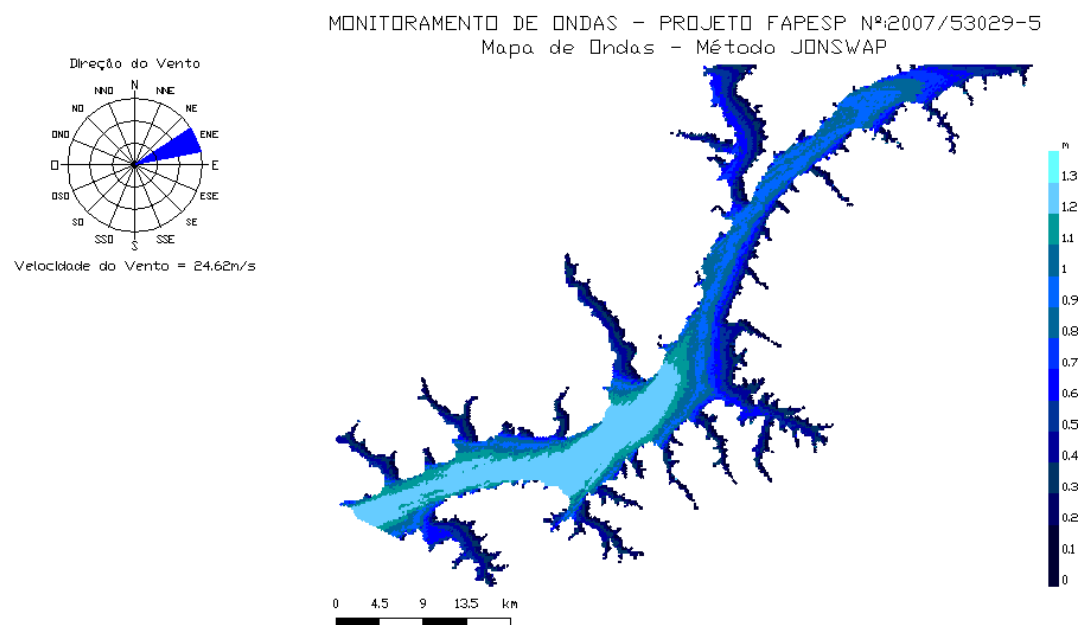


Figura D.2 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção ENE, Vento de 24,62 m/s

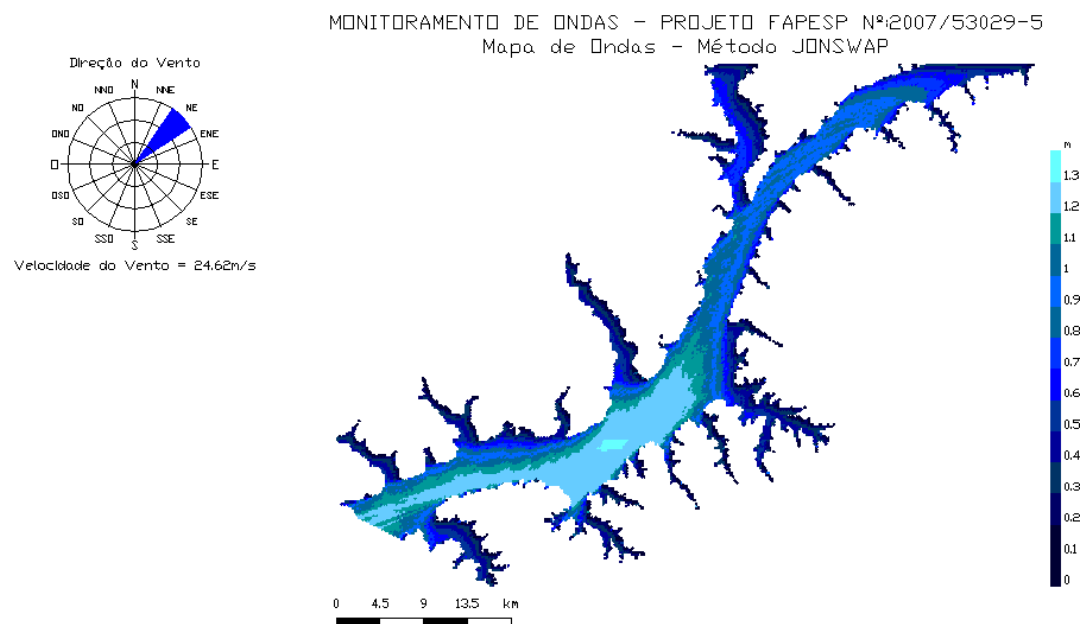


Figura D.3 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NE, Vento de 24,62 m/s

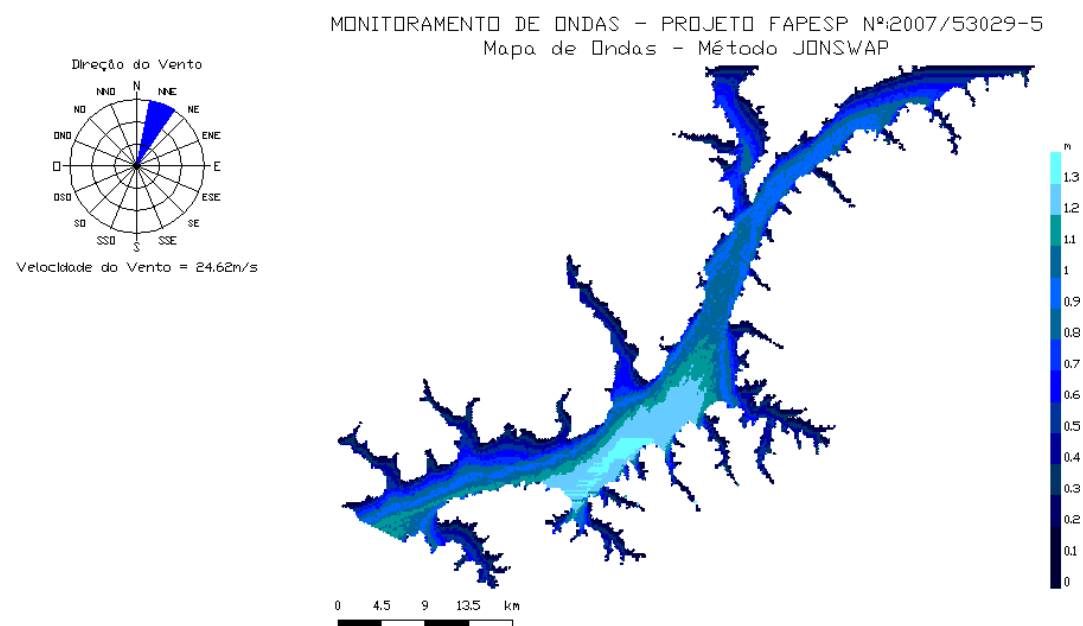


Figura D.4 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NNE, Vento de 24,62 m/s

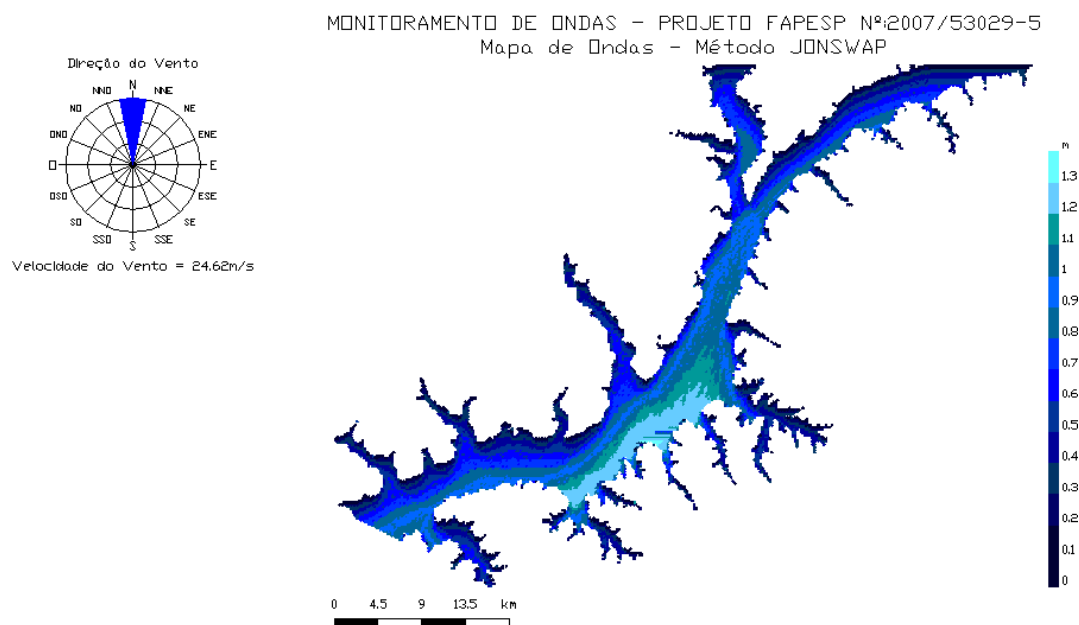


Figura D.5 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção N, Vento de 24,62 m/s

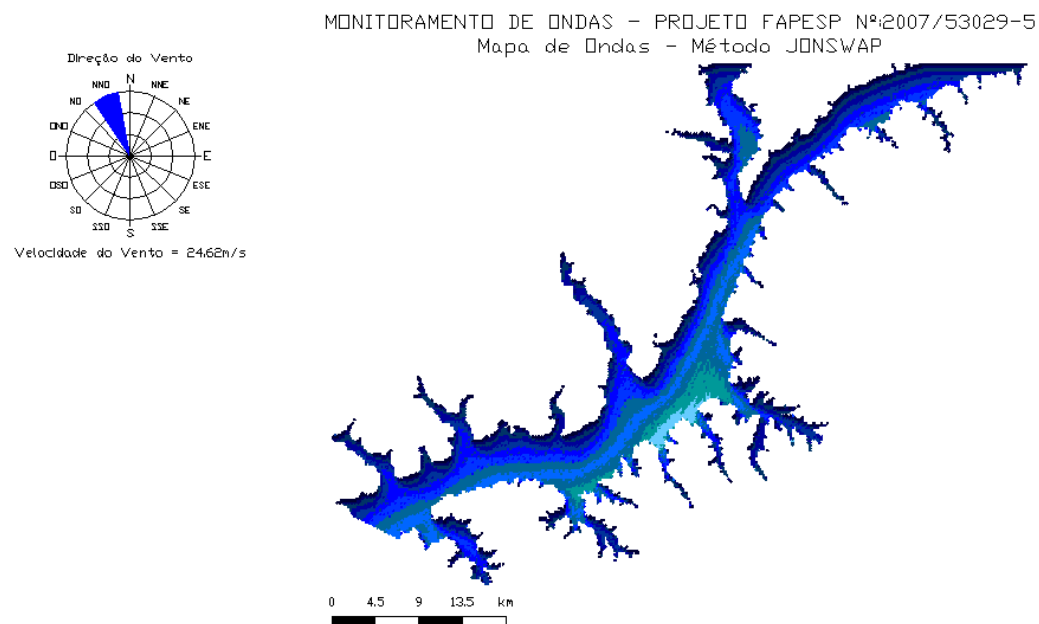


Figura D.6 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NNO, Vento de 24,62 m/s

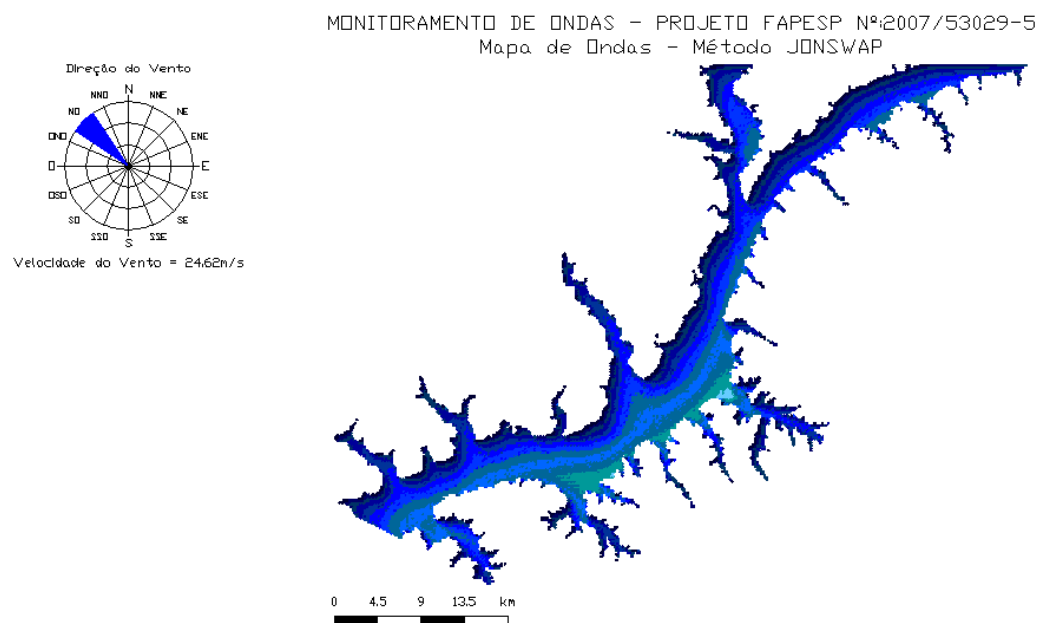


Figura D.7 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção NO, Vento de 24,62 m/s

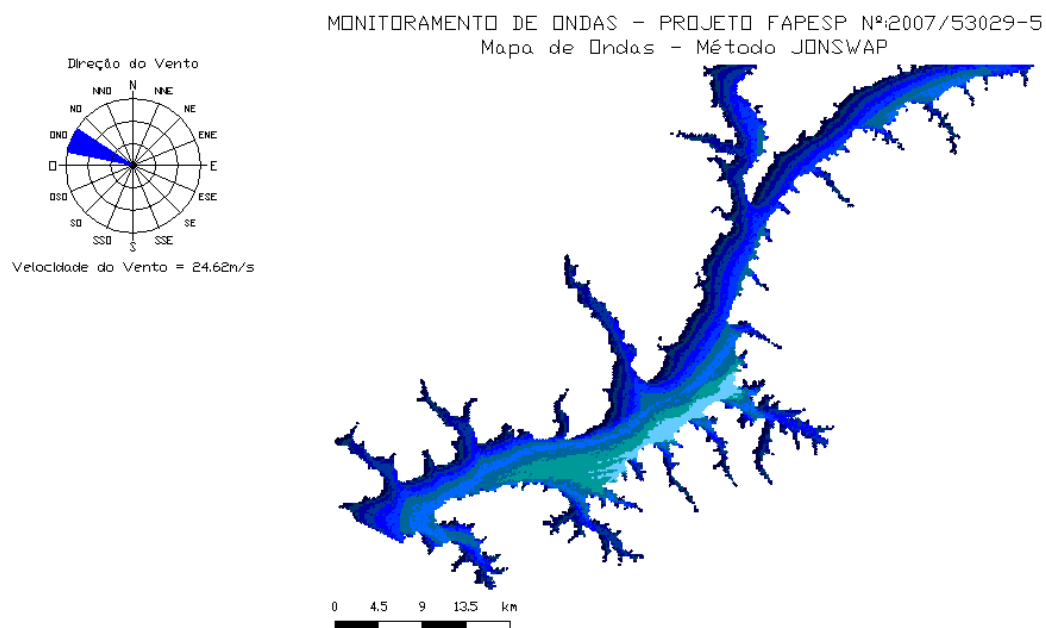


Figura D.8 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção ONO, Vento de 24,62 m/s

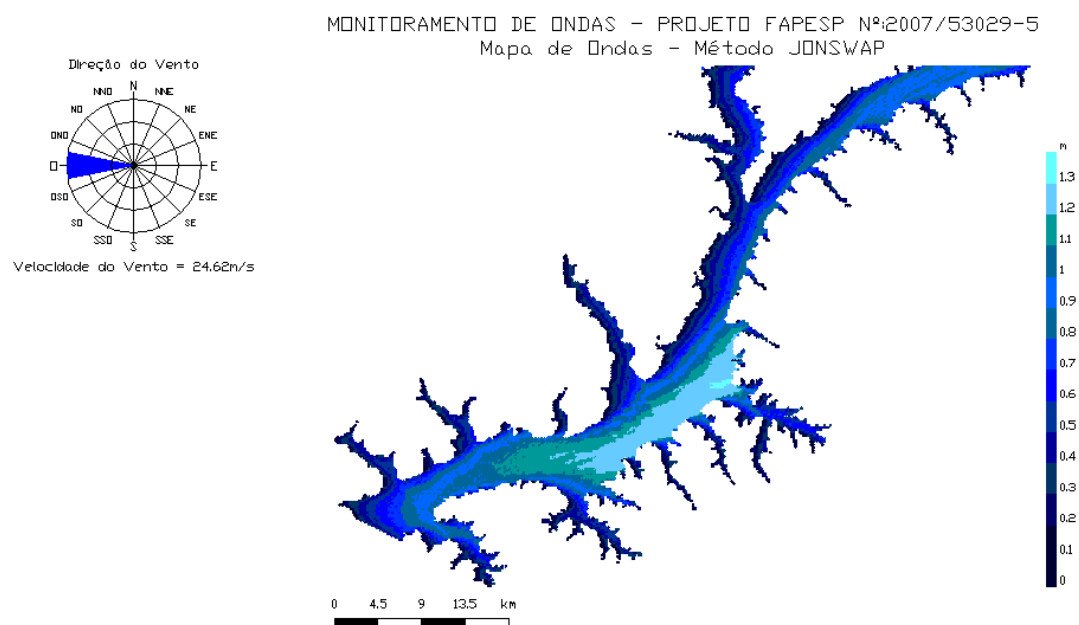


Figura D.9 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção O, Vento de 24,62 m/s

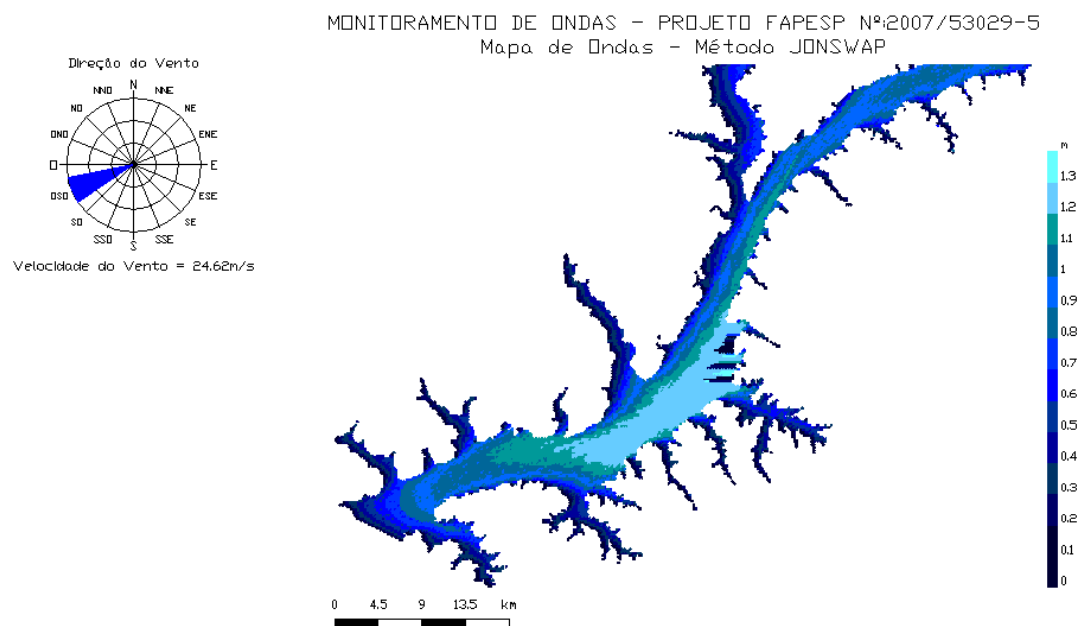


Figura D.10 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção OSO, Vento de 24,62 m/s

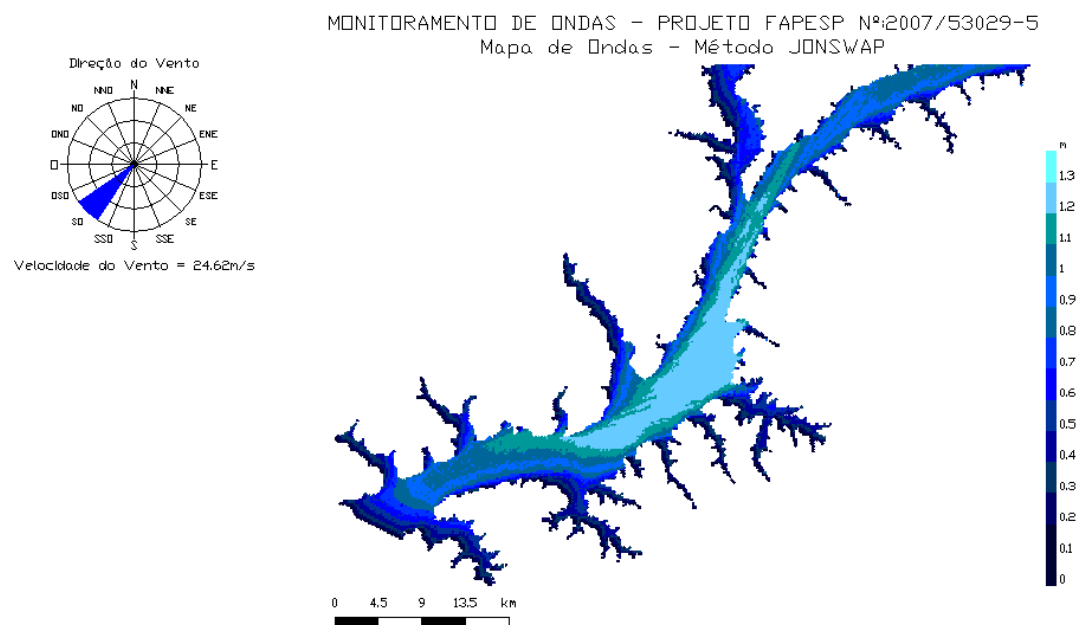


Figura D.11 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção SO, Vento de 24,62 m/s

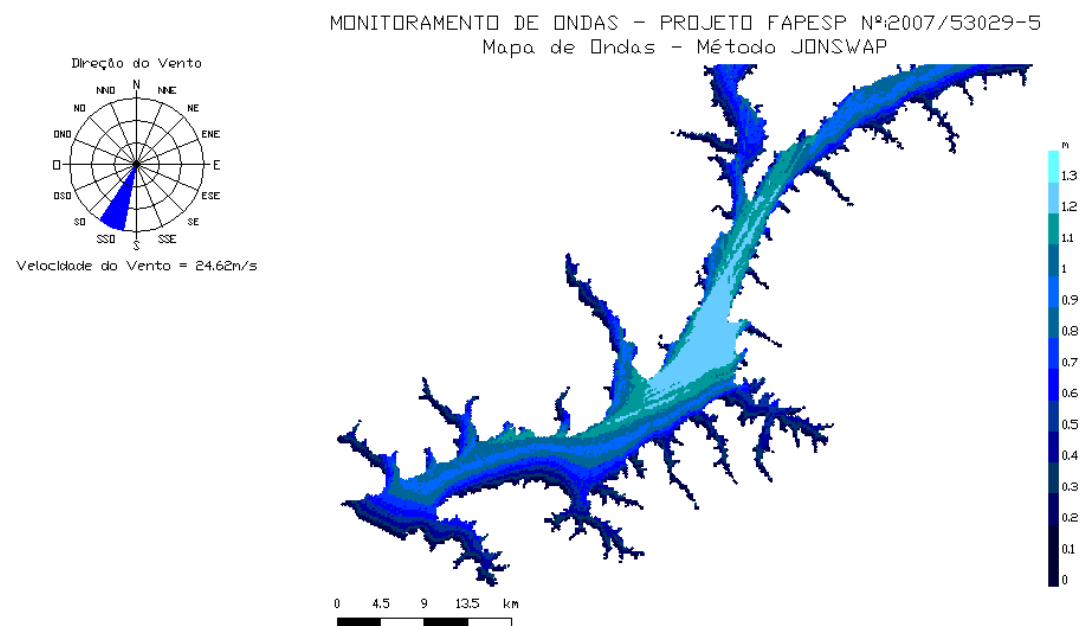


Figura D.12 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção SSO, Vento de 24,62 m/s

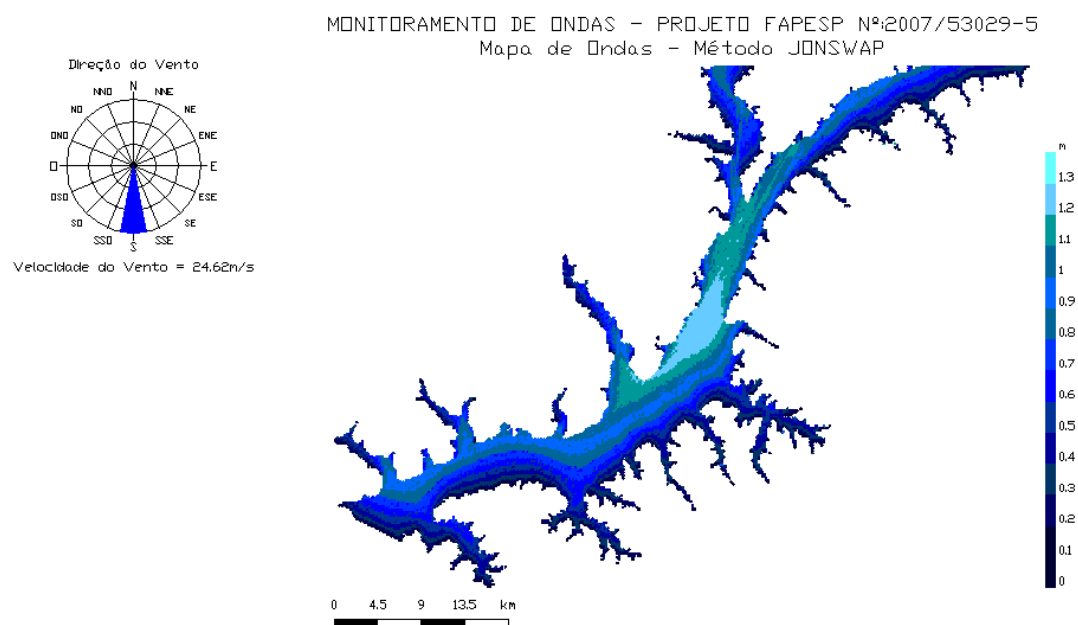


Figura D.13 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção S, Vento de 24,62 m/s

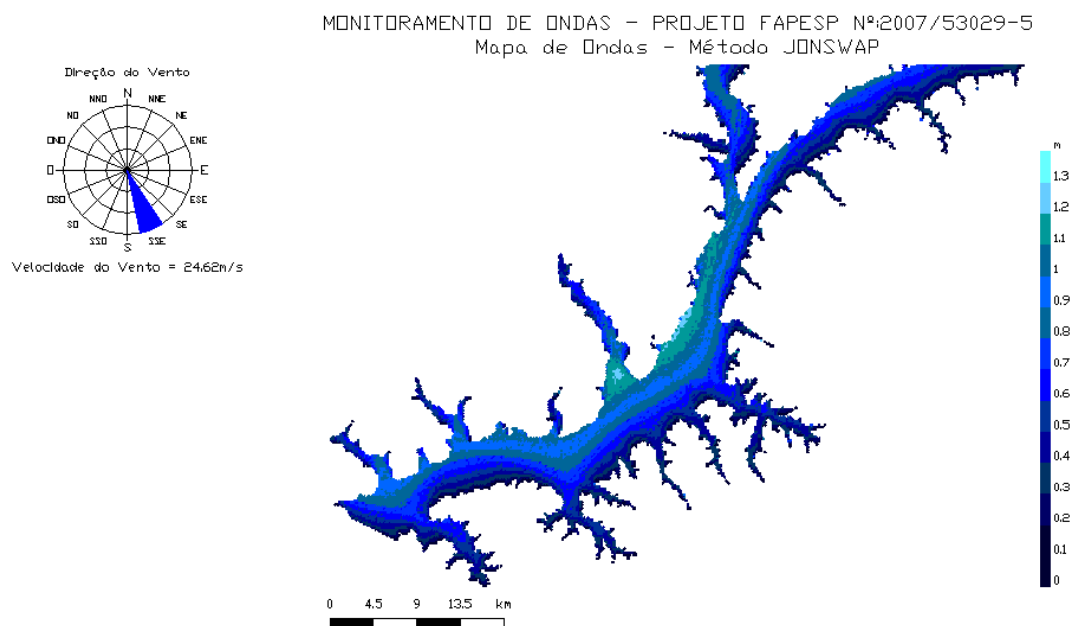


Figura D.14 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção SSE, Vento de 24,62 m/s

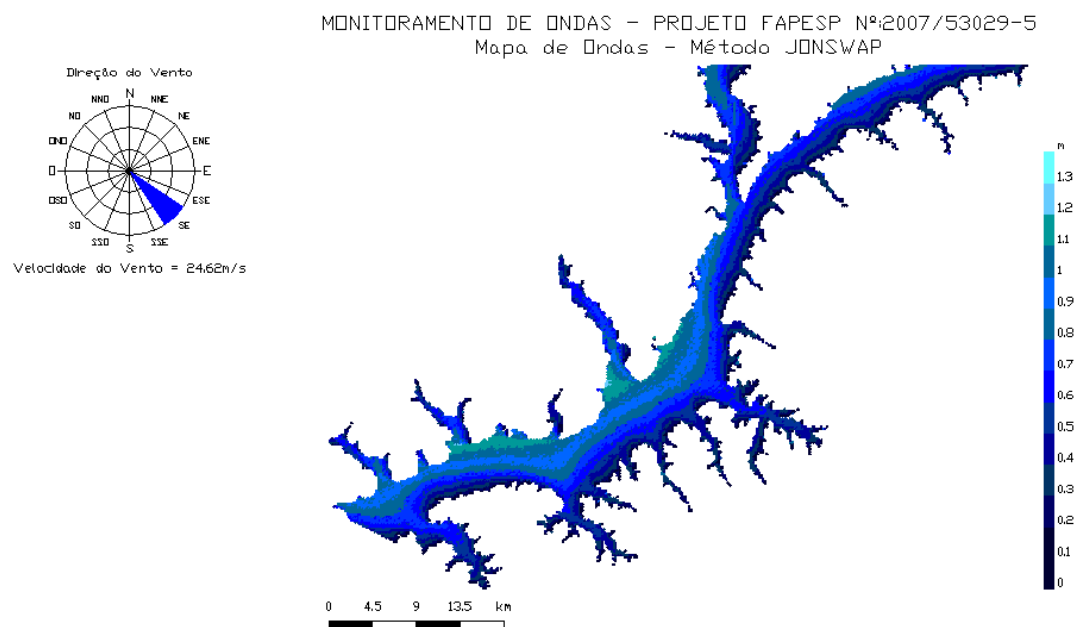


Figura D.15 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção SE, Vento de 24,62 m/s

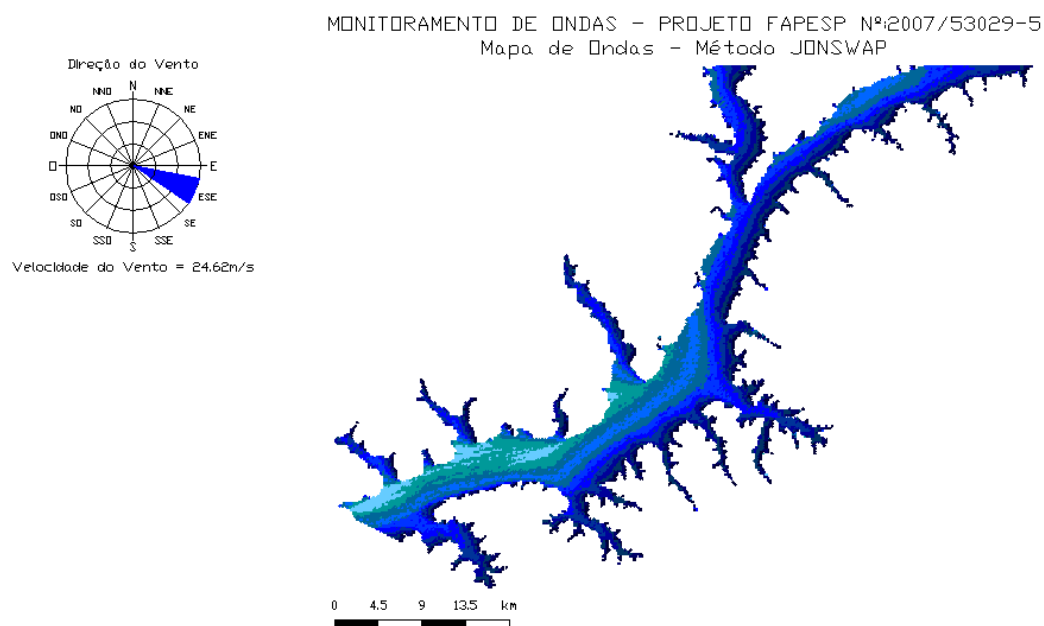


Figura D.16 – Mapa de altura de onda para o lago de Ilha Solteira, direção ESE, Vento de 24,62 m/s

D.2 MAPAS DE ONDAS PARA JUPIÁ

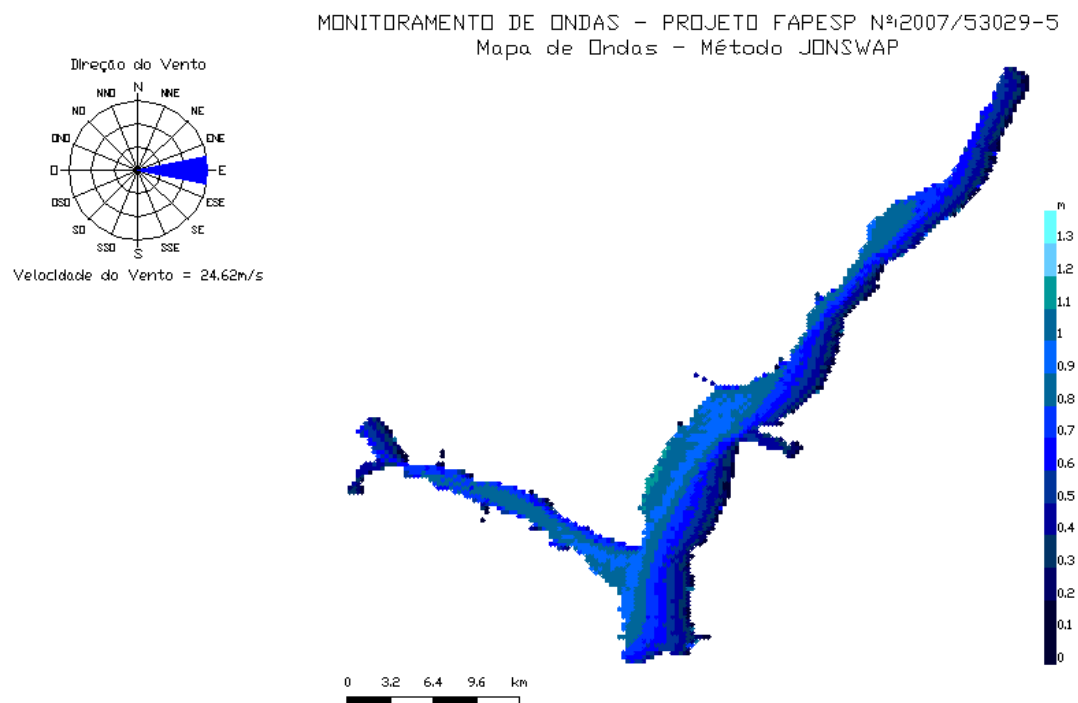


Figura D.17 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção E, Vento de 24,62 m/s

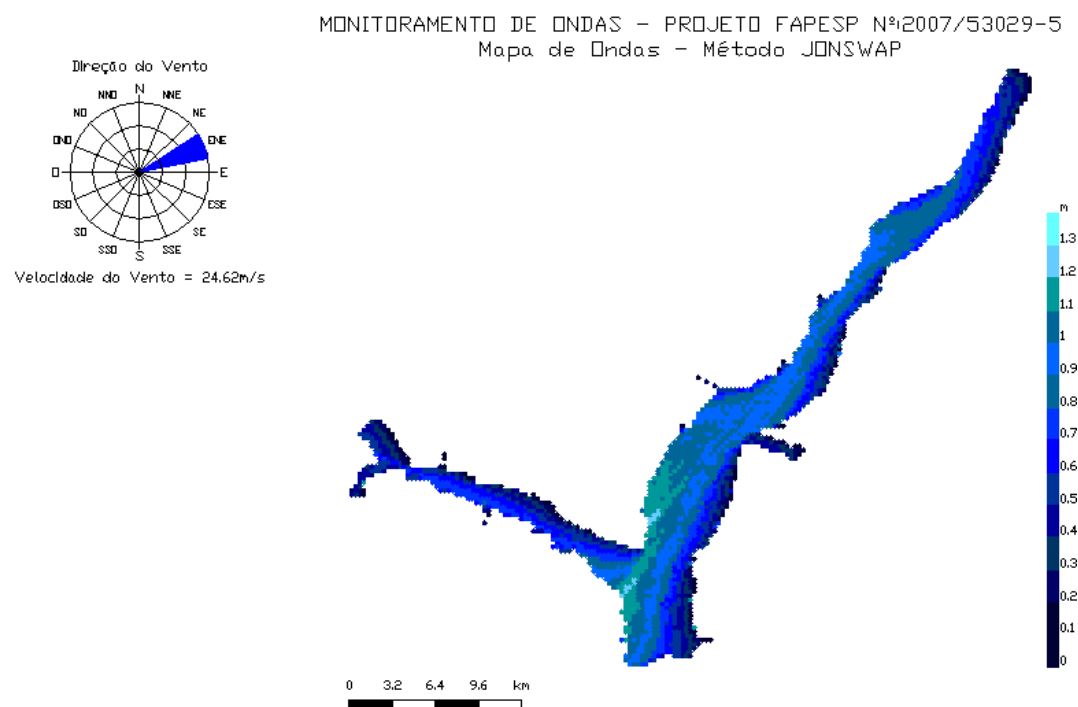


Figura D.18 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção ENE, Vento de 24,62 m/s

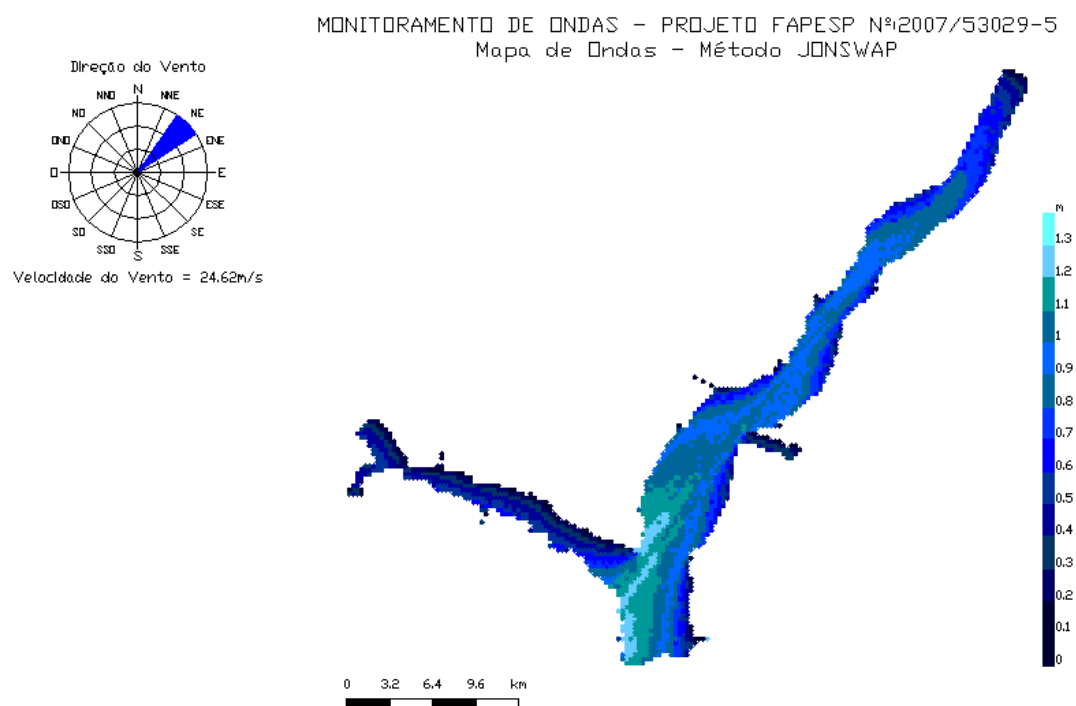


Figura D.19 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NE,
Vento de 24,62 m/s

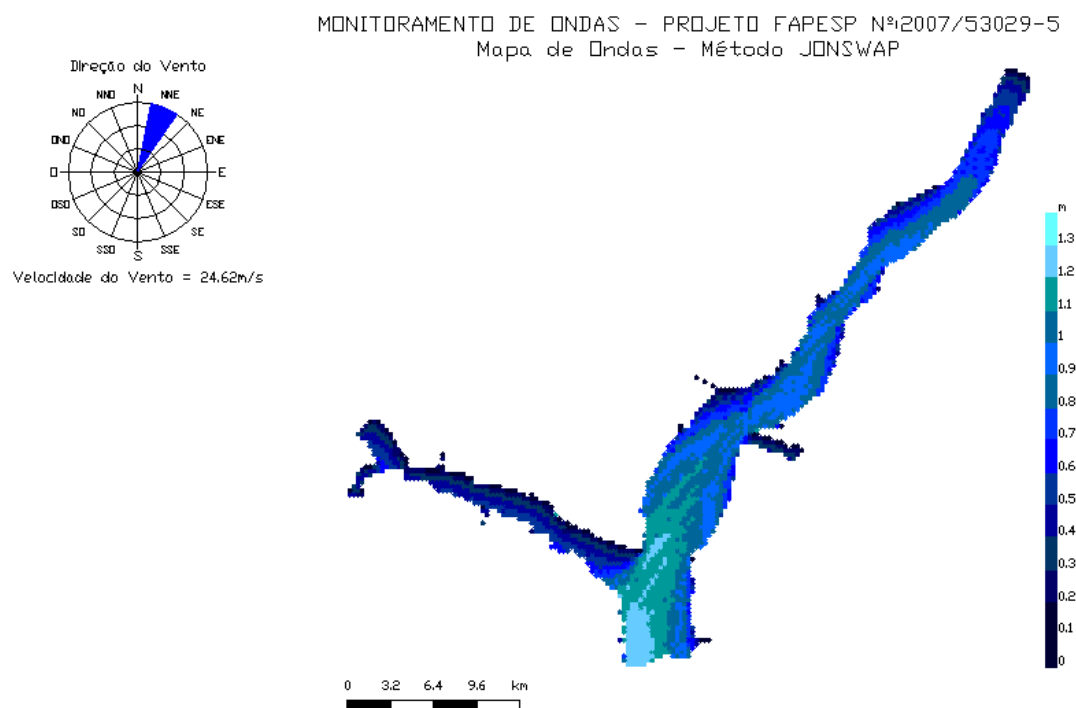


Figura D.20 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NNE,
Vento de 24,62 m/s

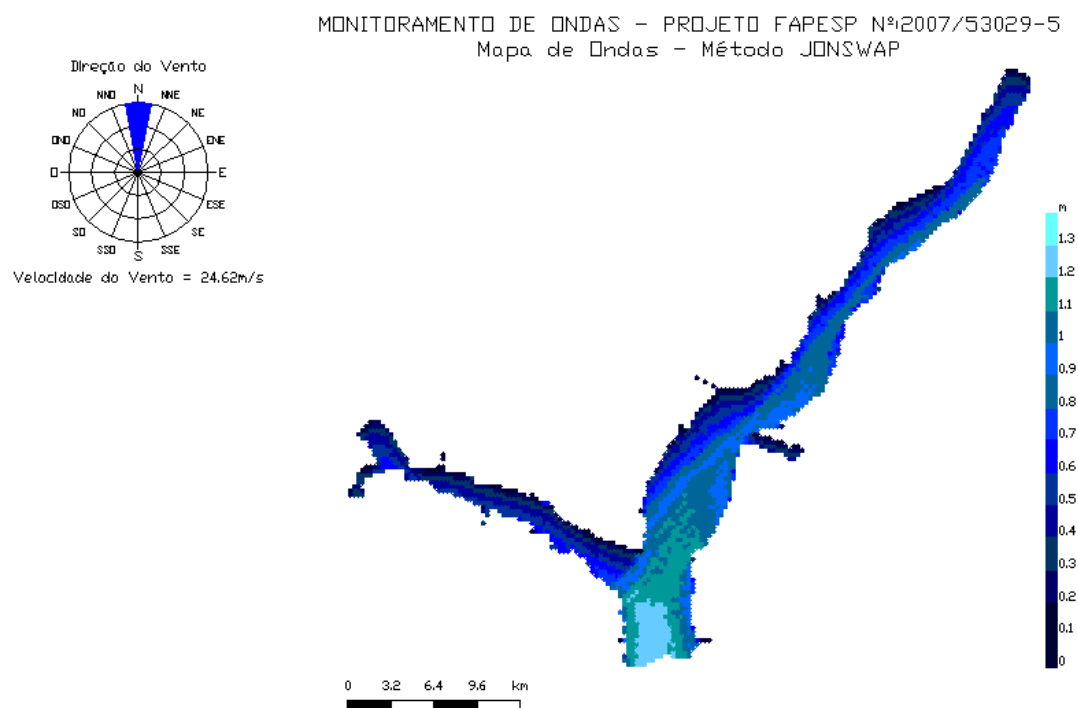


Figura D.21 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção N,
Vento de 24,62 m/s

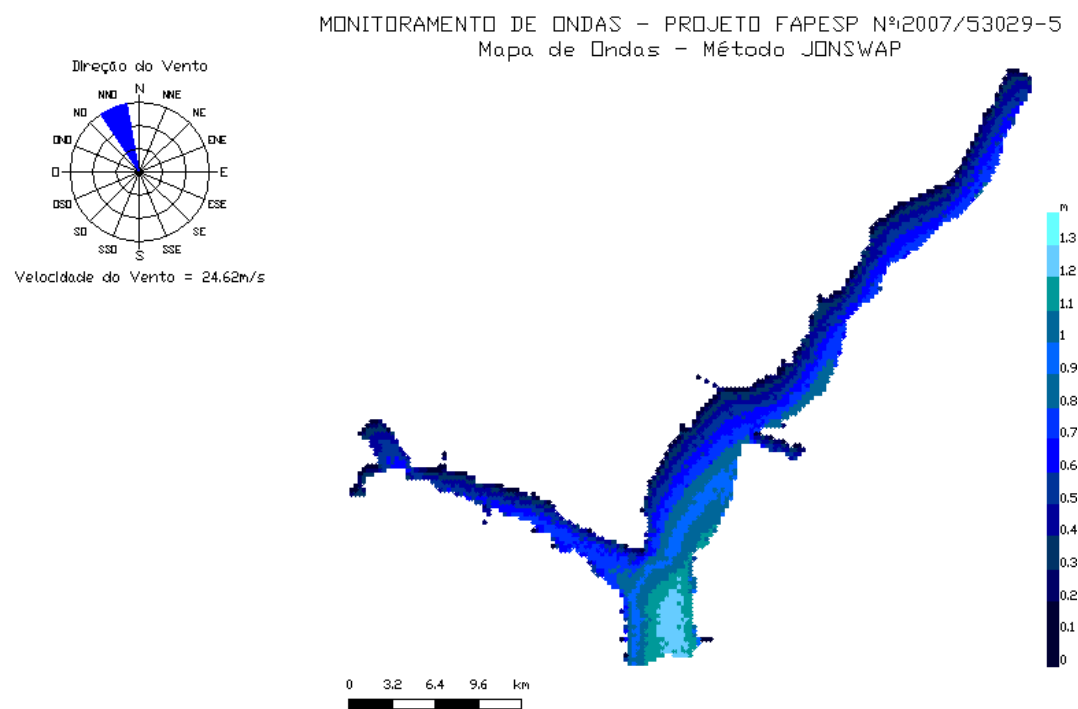


Figura D.22 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NNO,
Vento de 24,62 m/s

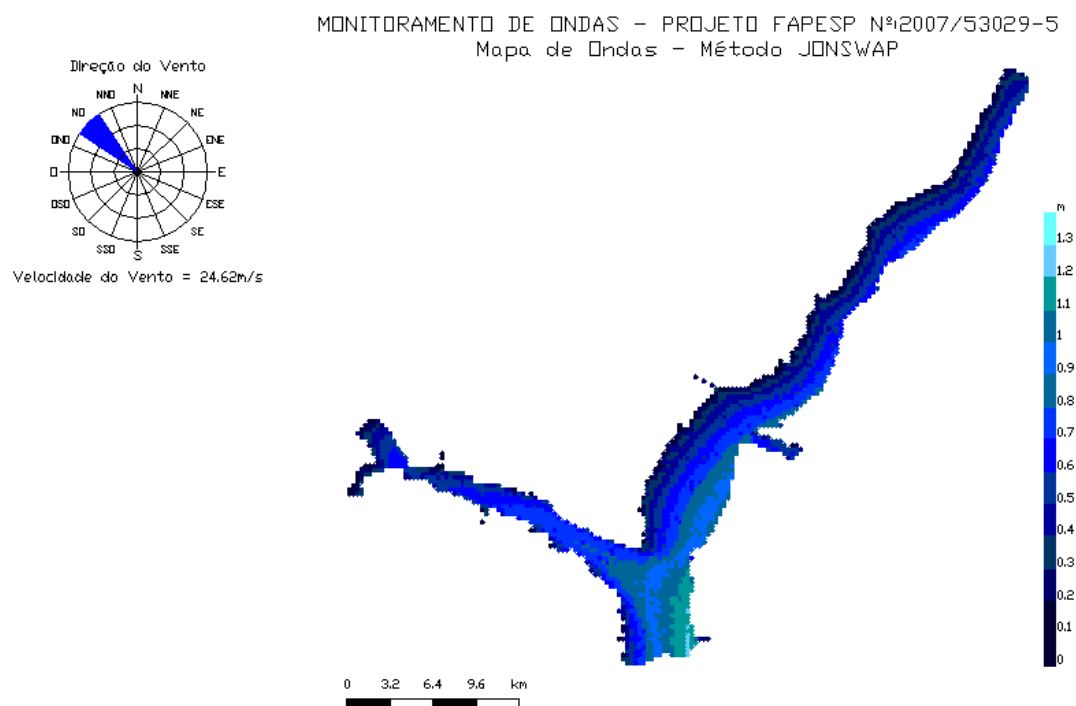


Figura D.23 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção NO, Vento de 24,62 m/s

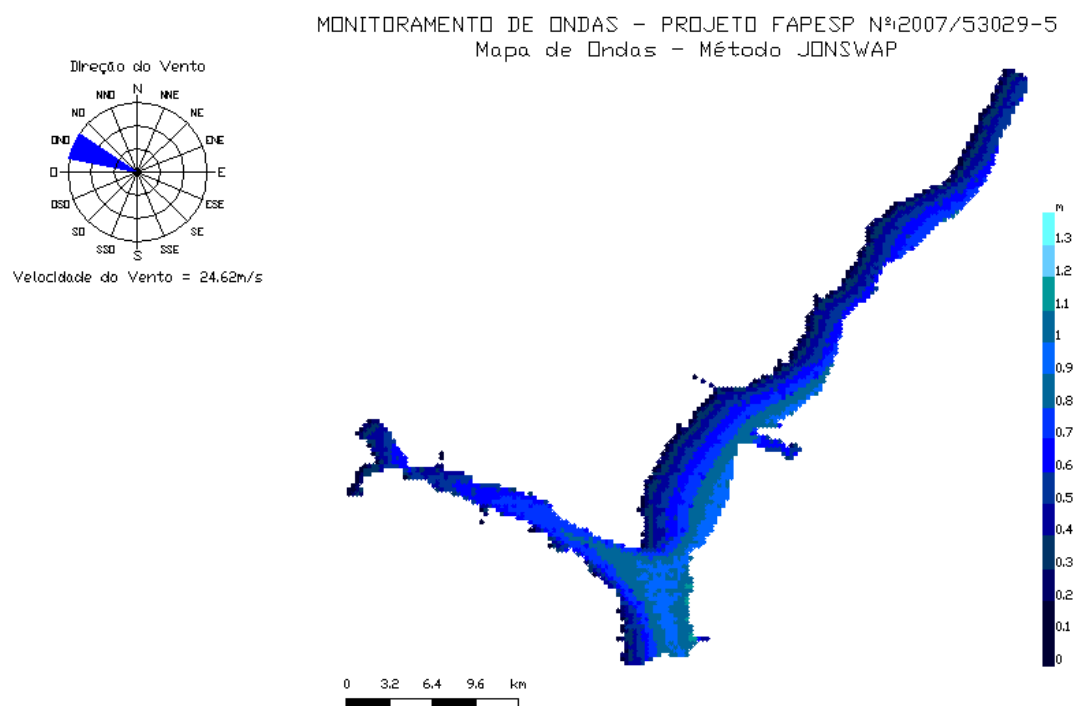


Figura D.24 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção ONO, Vento de 24,62 m/s

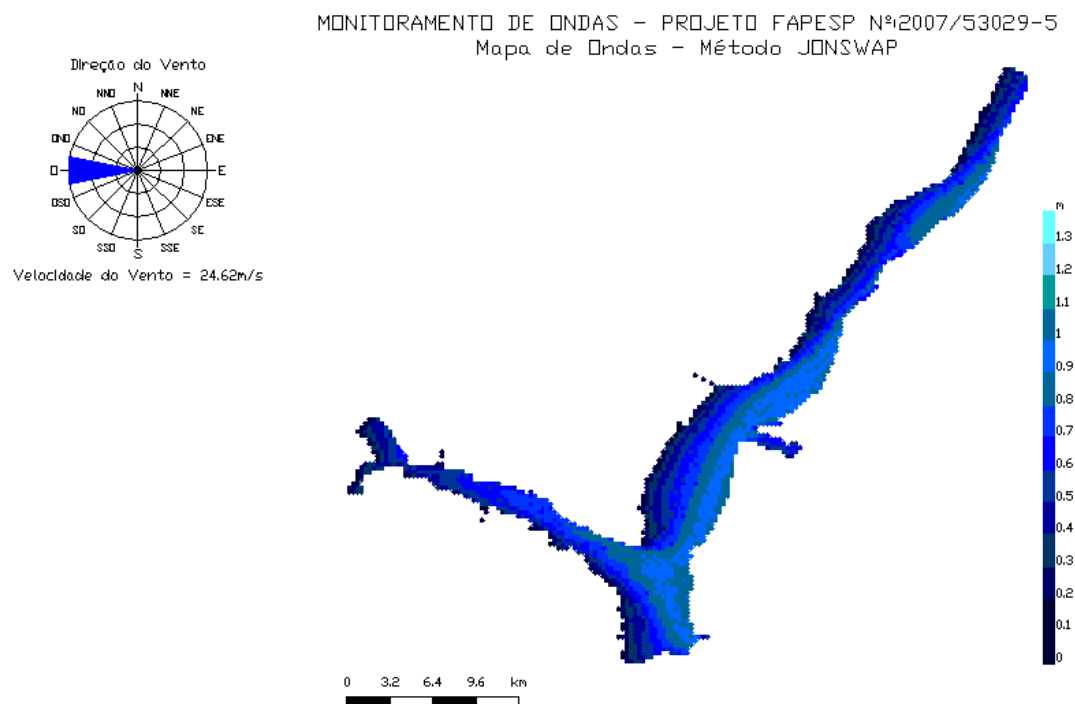


Figura D.25 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção O,
Vento de 24,62 m/s

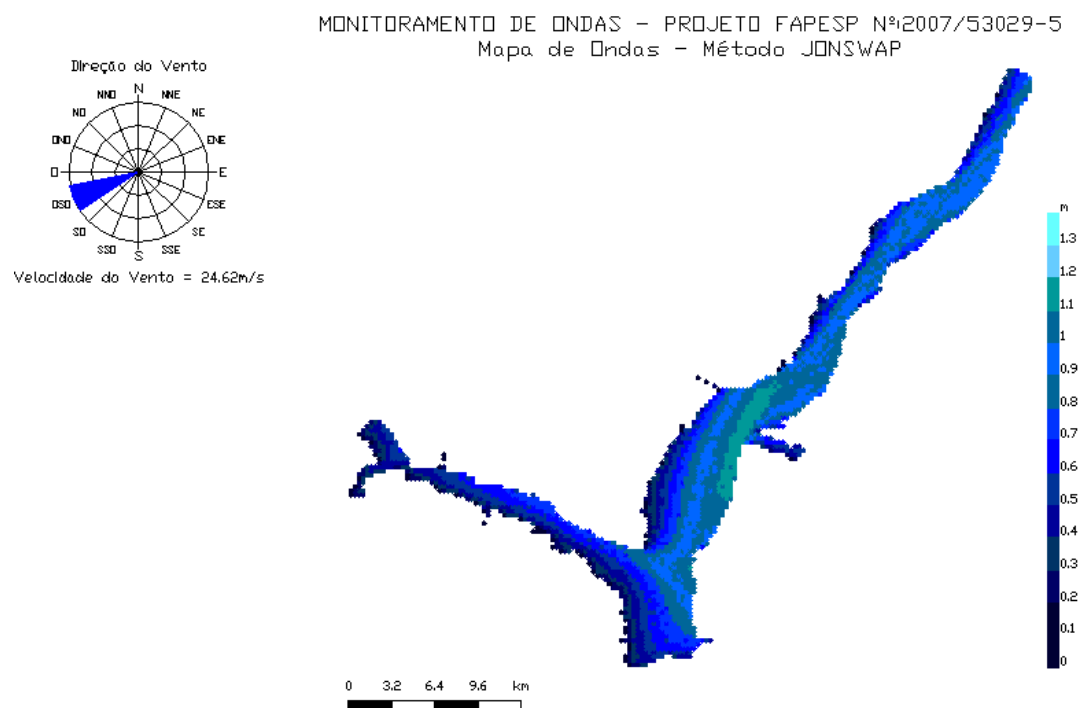


Figura D.26 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção OSO,
Vento de 24,62 m/s

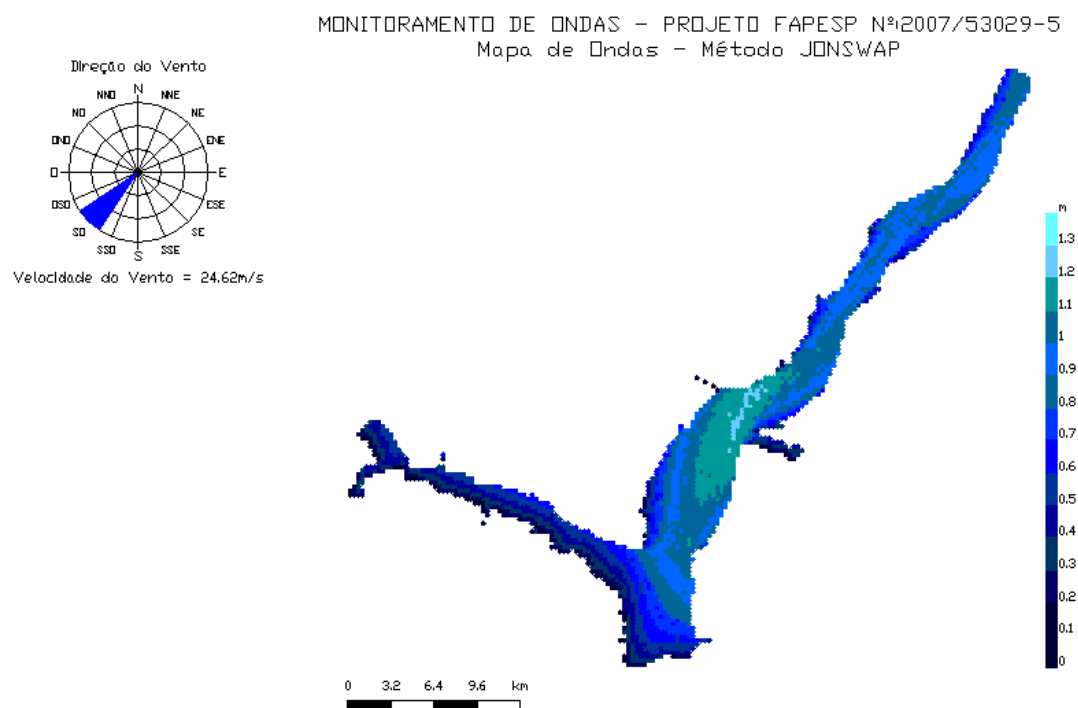


Figura D.27 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção SO, Vento de 24,62 m/s

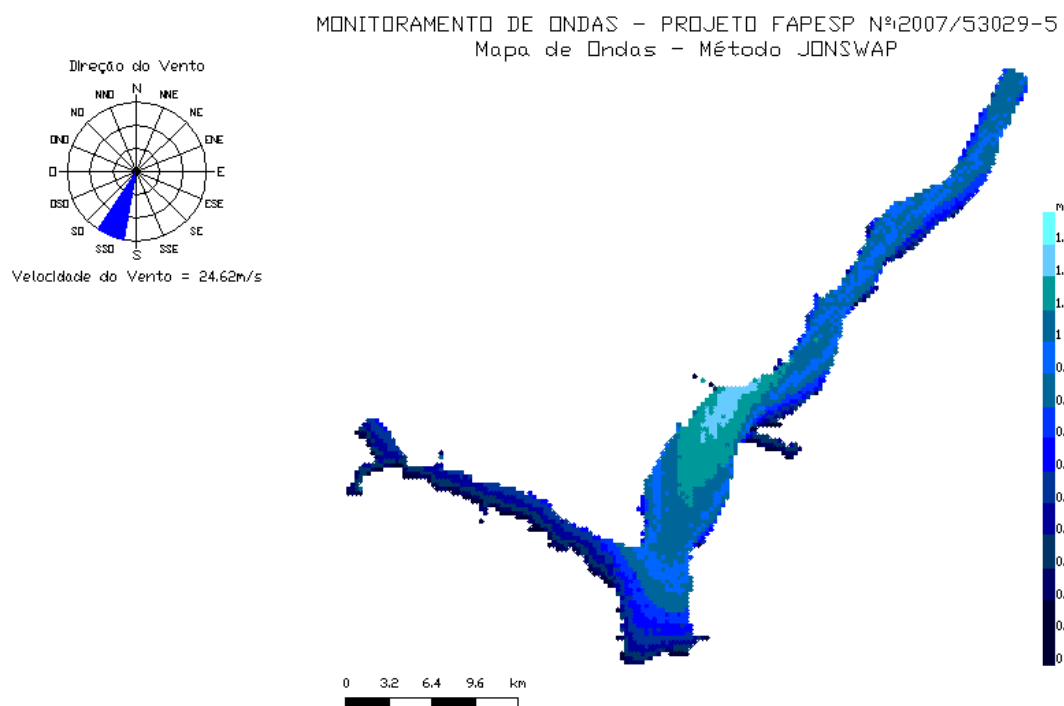


Figura D.28 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção SSO, Vento de 24,62 m/s

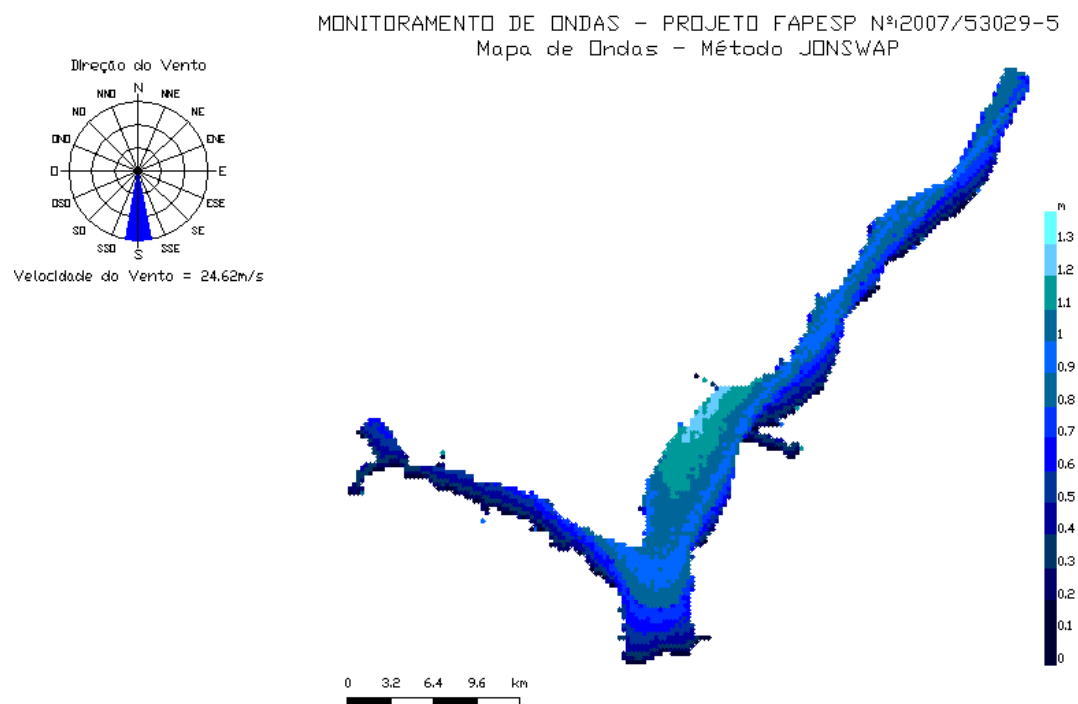


Figura D.29 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção S, Vento de 24,62 m/s

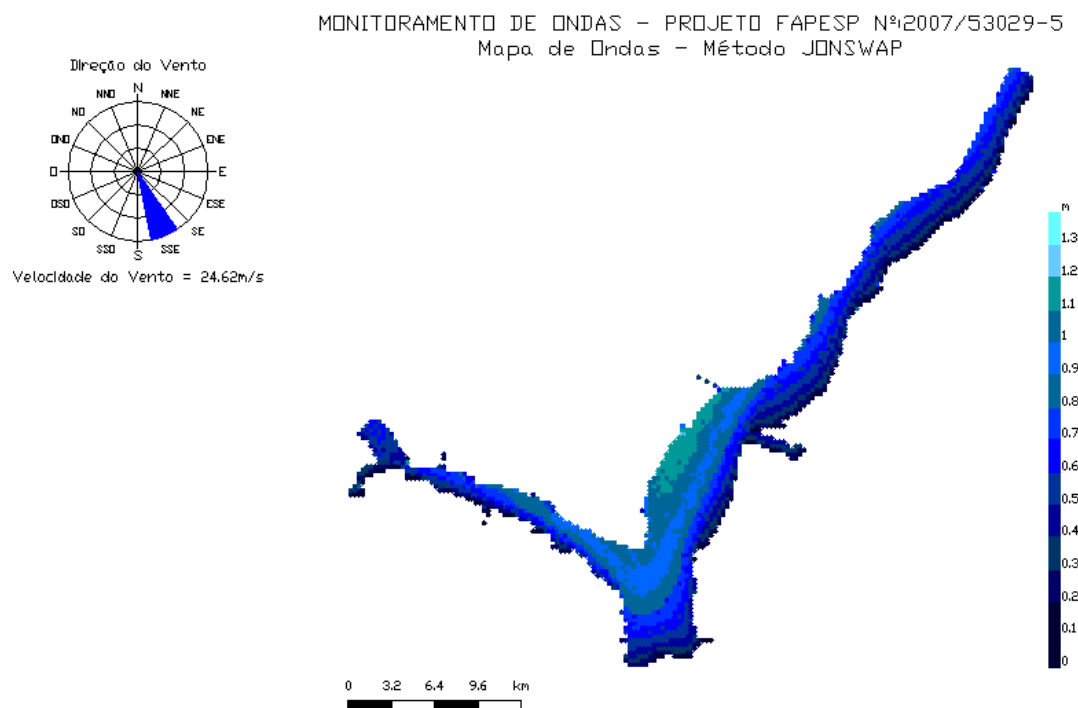


Figura D.30 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção SSE, Vento de 24,62 m/s

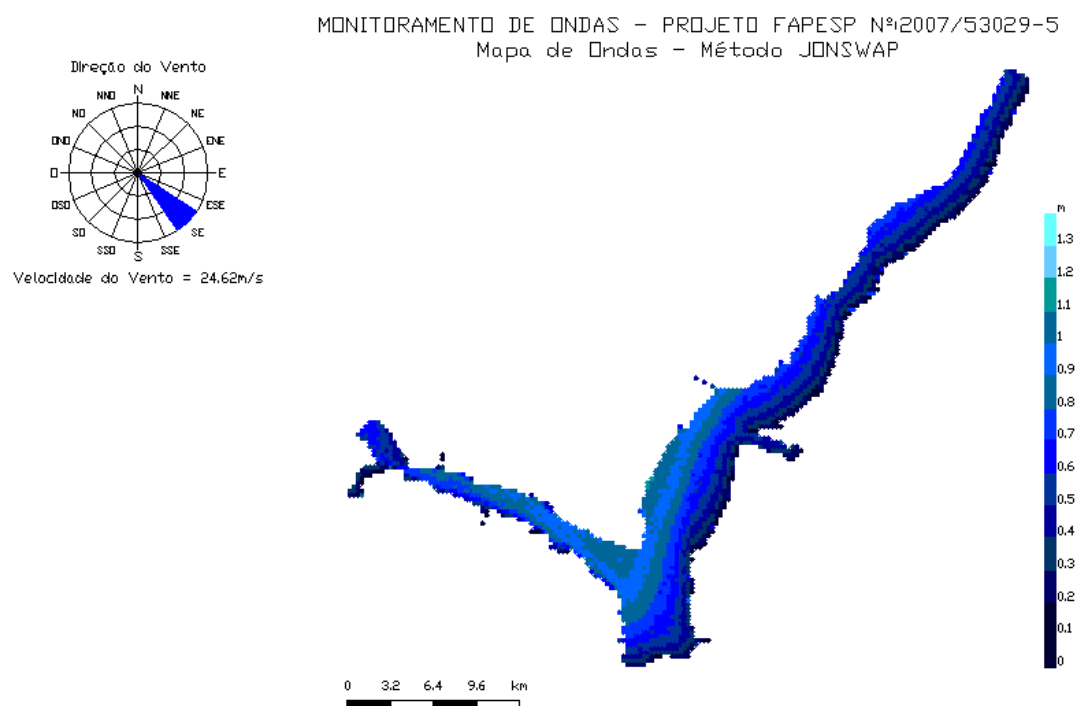


Figura D.31 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção SE,
Vento de 24,62 m/s

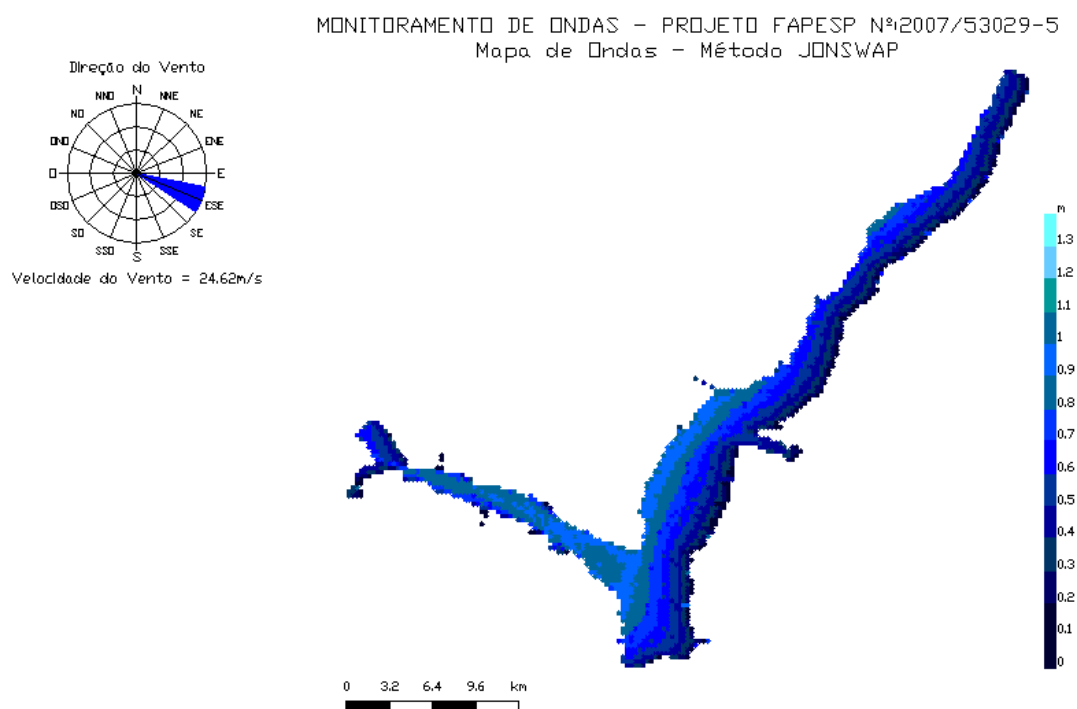


Figura D.32 – Mapa de altura de onda para o lago de Jupia, direção ESE,
Vento de 24,62 m/s

D.3 MAPAS DE ONDAS PARA TRÊS IRMÃOS

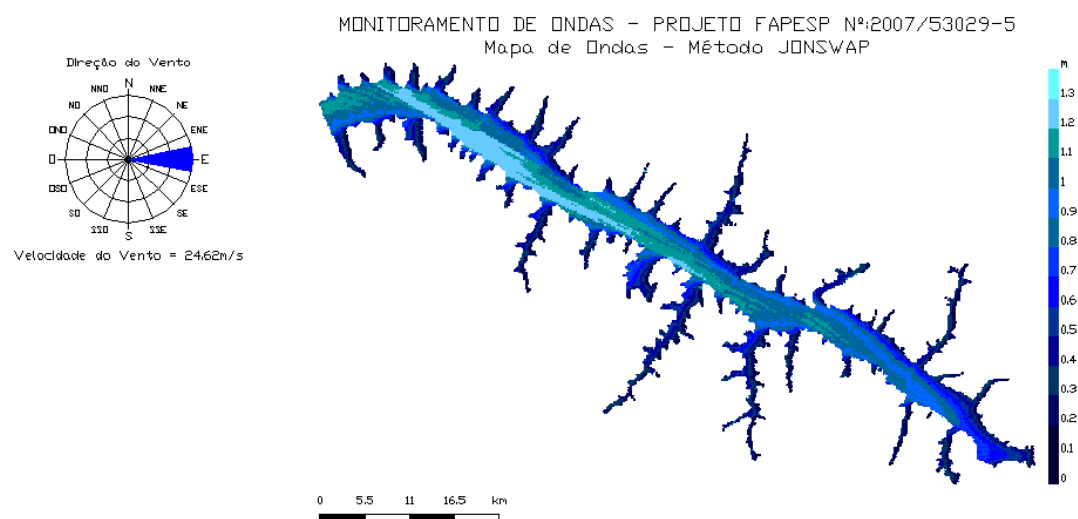


Figura D.33 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção E, Vento de 24,62 m/s

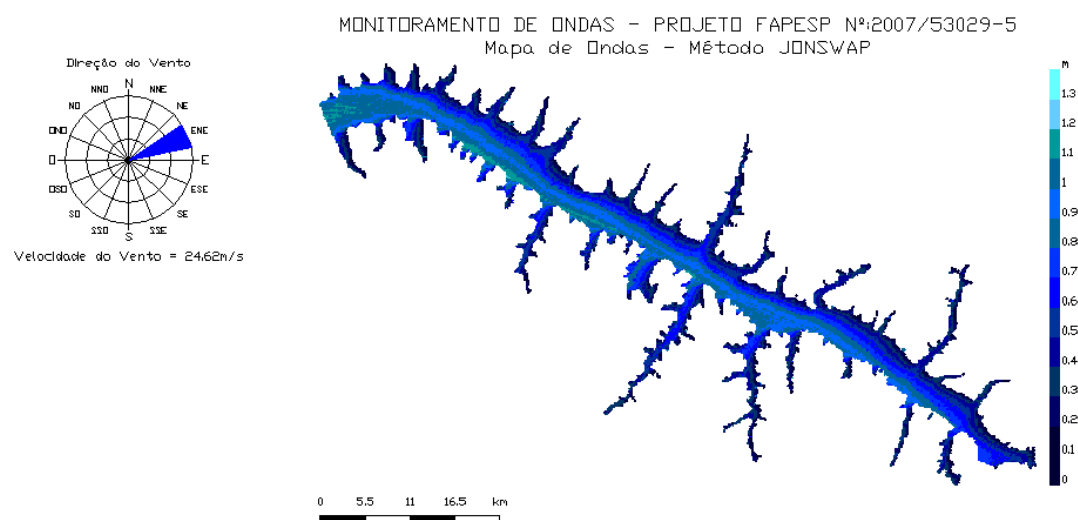


Figura D.34 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção ENE, Vento de 24,62 m/s

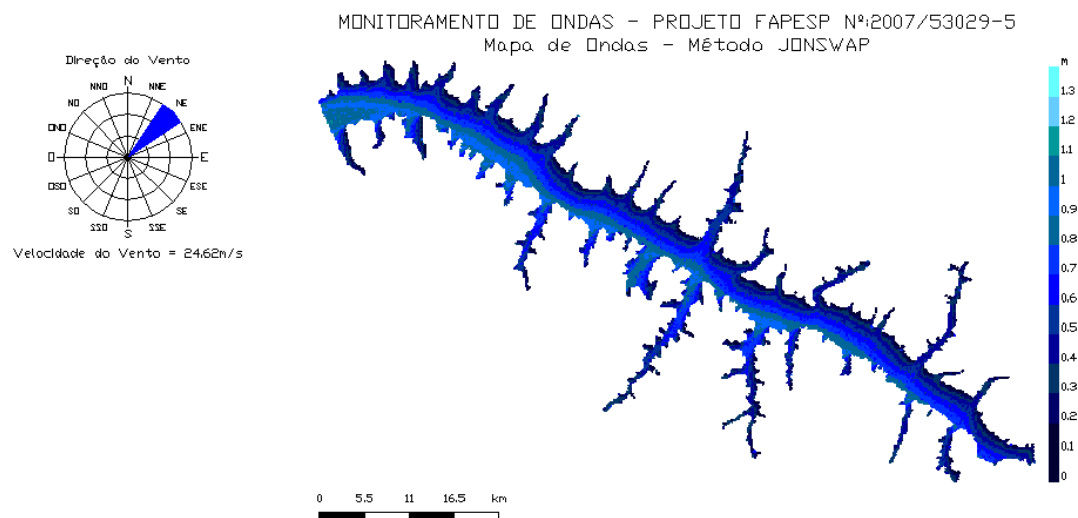


Figura D.35 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NE, Vento de 24,62 m/s

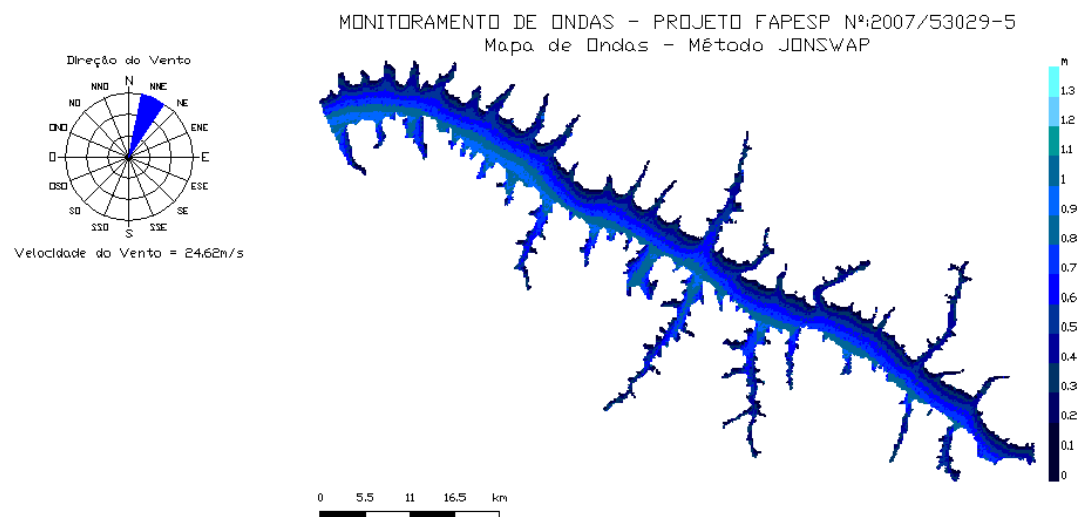


Figura D.36 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NNE, Vento de 24,62 m/s

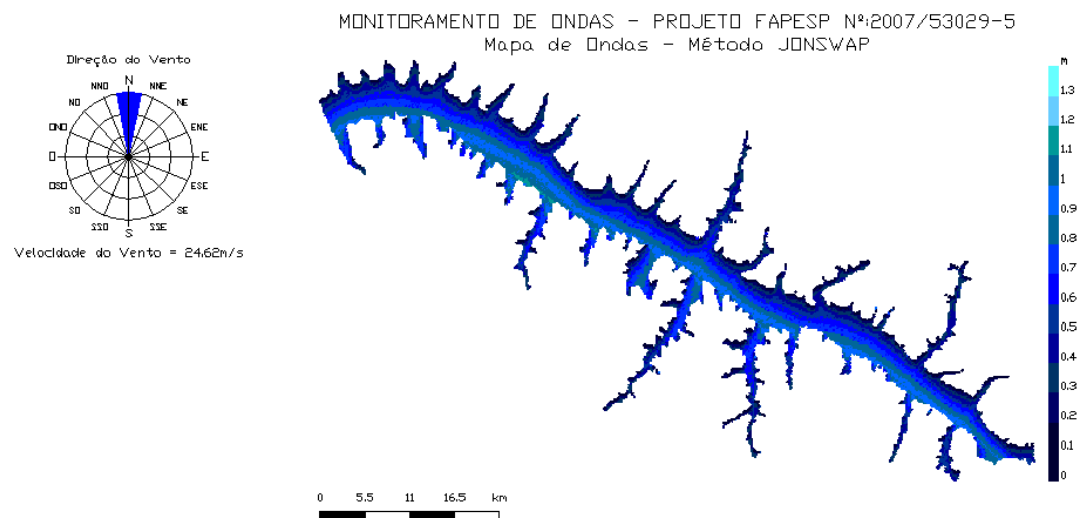


Figura D.37 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção N, Vento de 24,62 m/s

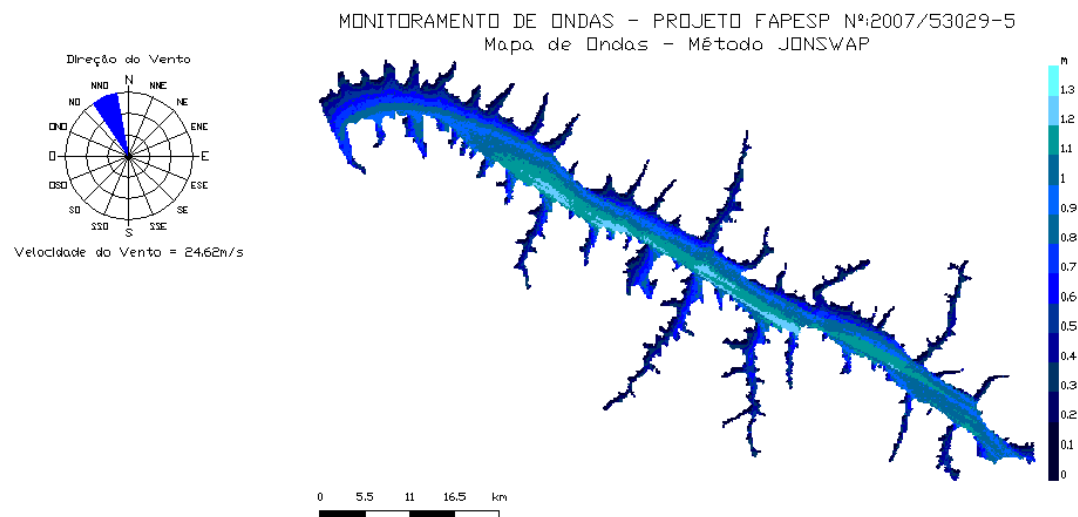


Figura D.38 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NNO, Vento de 24,62 m/s

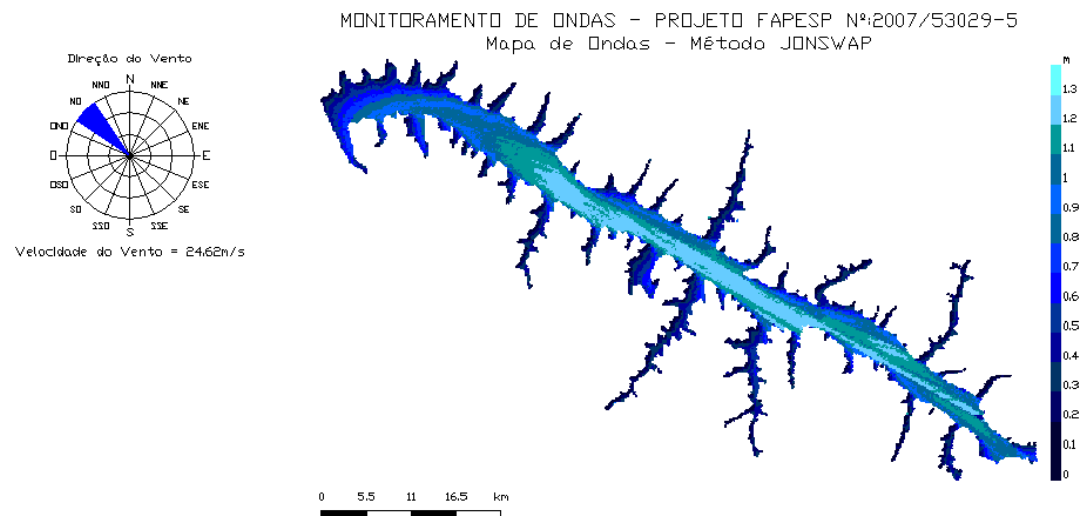


Figura D.39 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção NO, Vento de 24,62 m/s

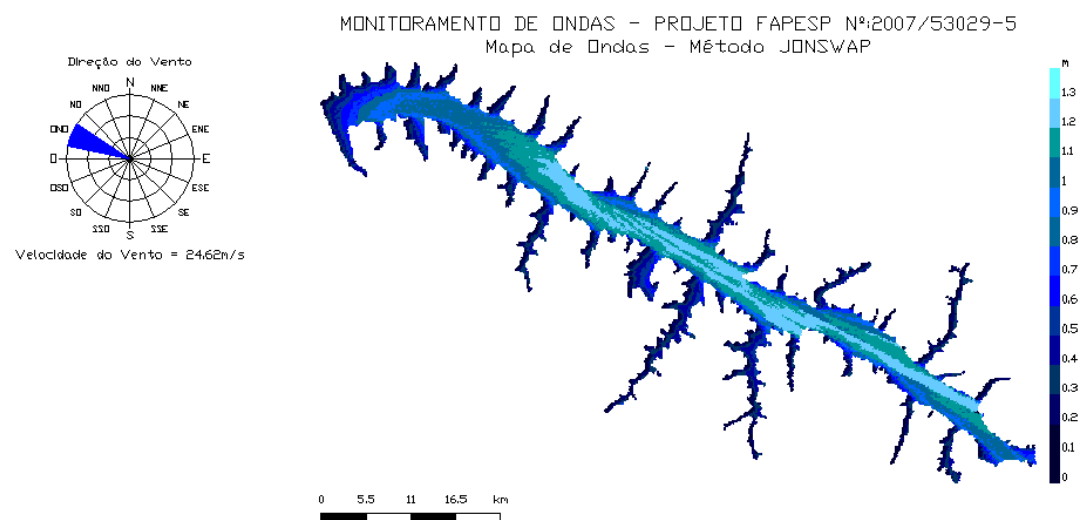


Figura D.40 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção ONO, Vento de 24,62 m/s

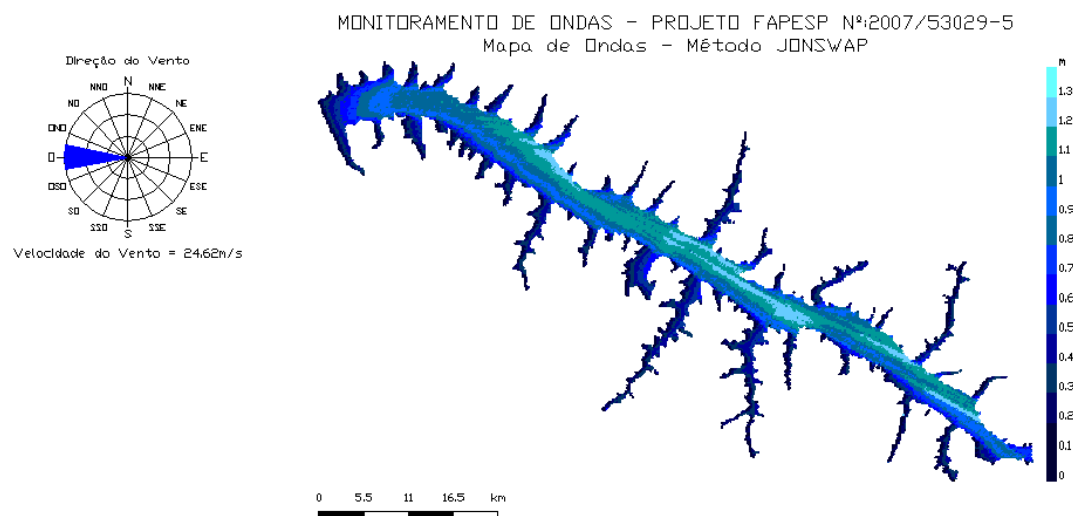


Figura D.41 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção O, Vento de 24,62 m/s

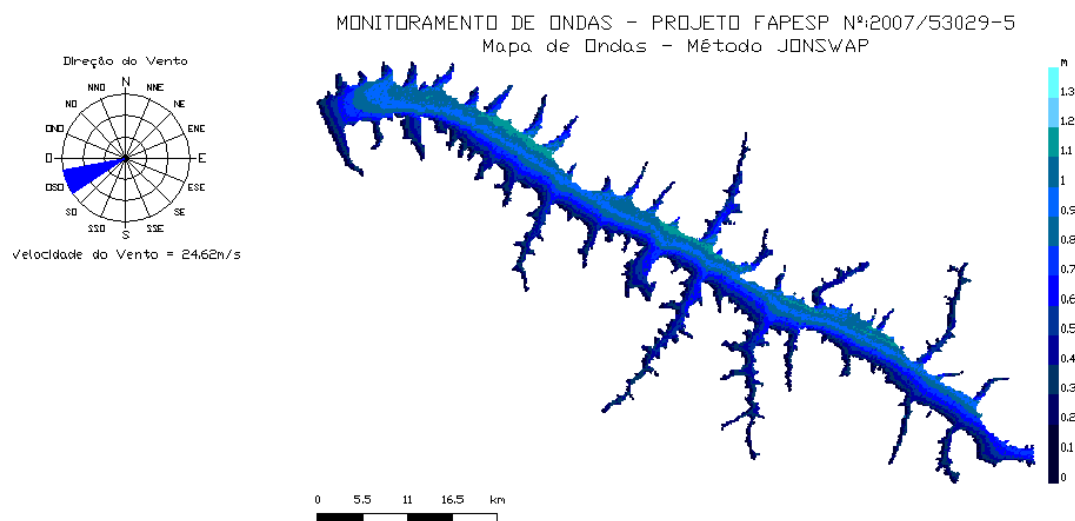


Figura D.42 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção OSO, Vento de 24,62 m/s

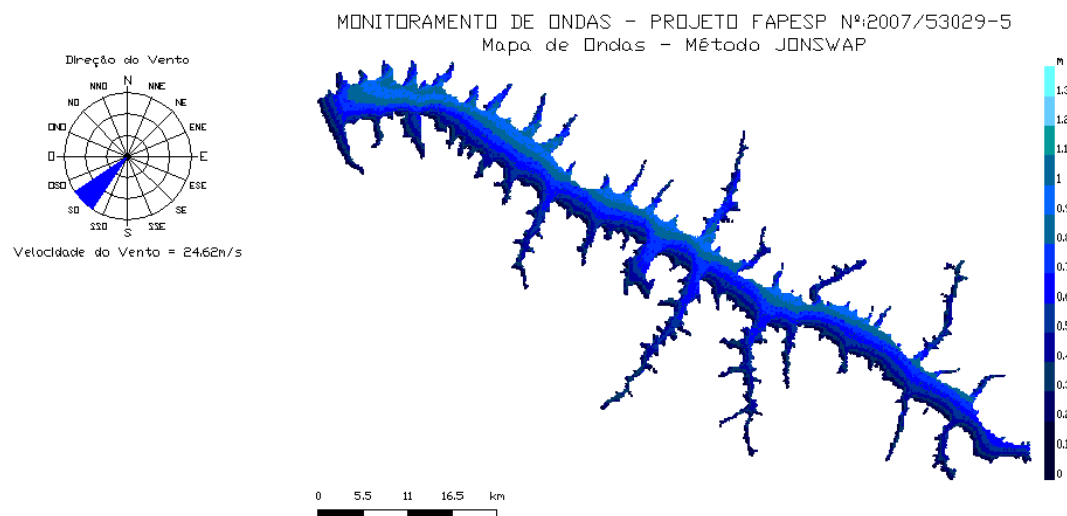


Figura D.43 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção SO, Vento de 24,62 m/s

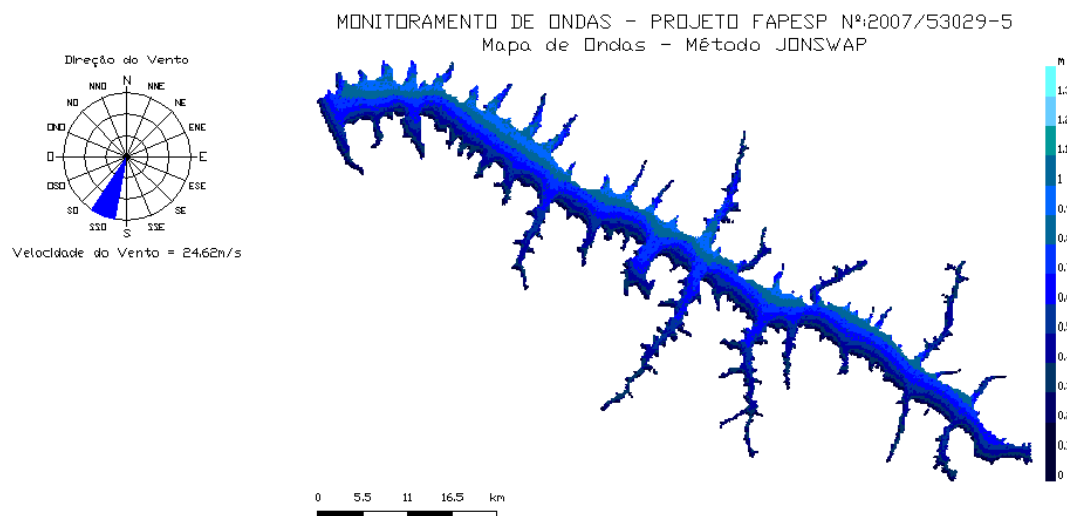


Figura D.44 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção SSO, Vento de 24,62 m/s

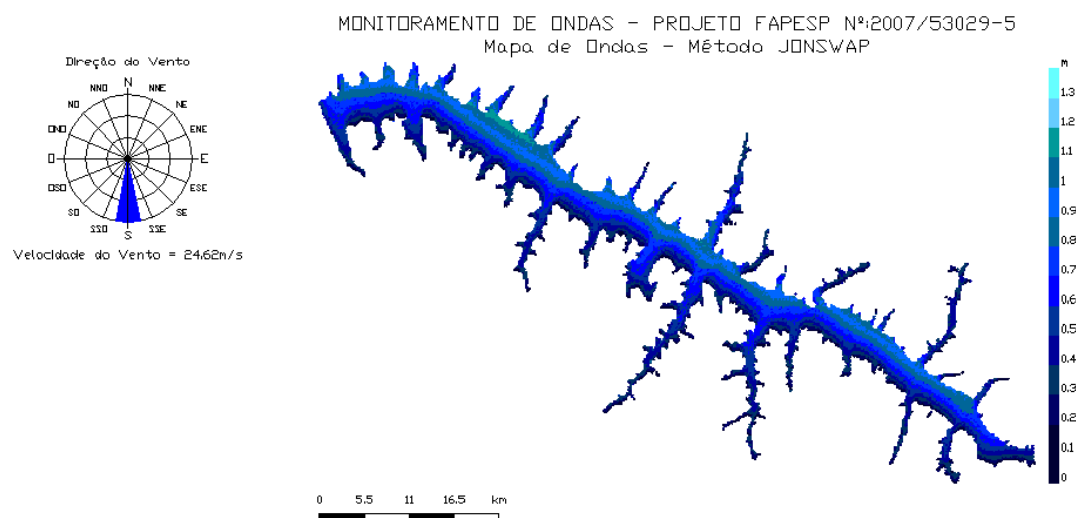


Figura D.45 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção S, Vento de 24,62 m/s

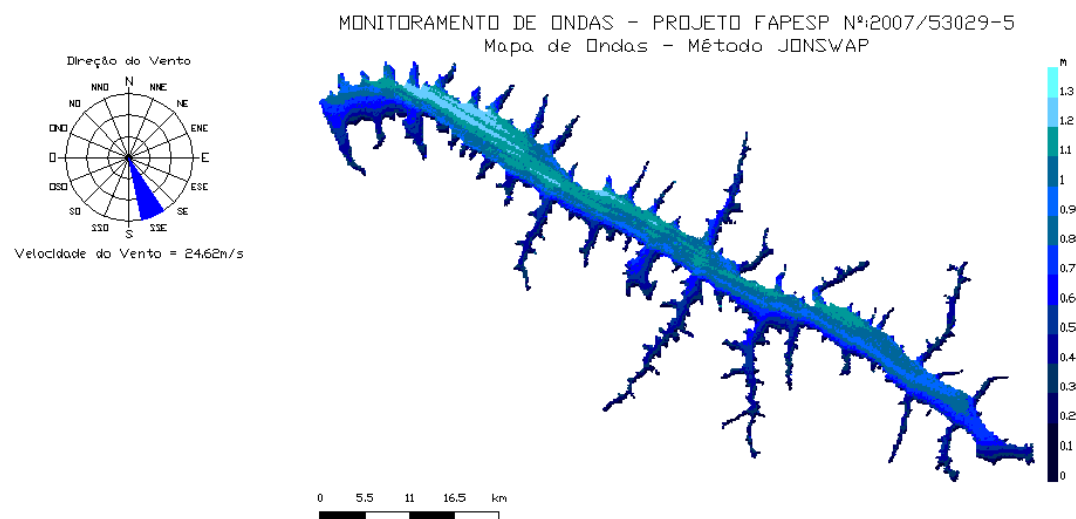


Figura D.46 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção SSE, Vento de 24,62 m/s

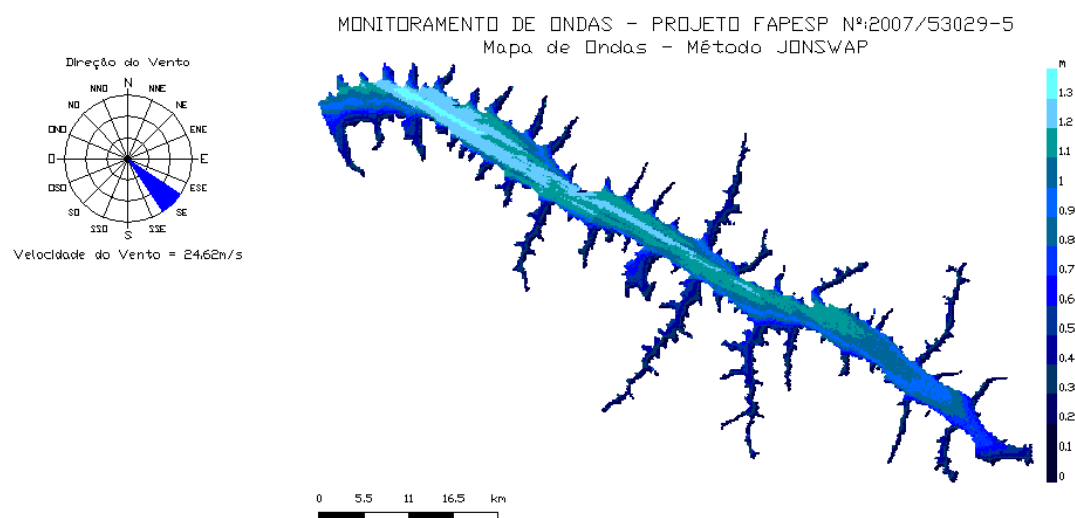


Figura D.47 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção SE, Vento de 24,62 m/s

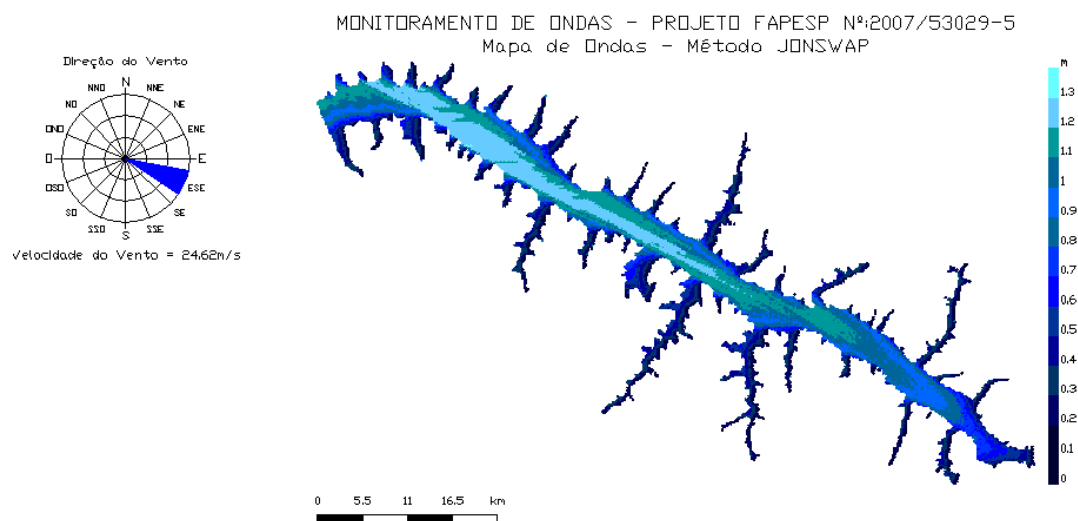


Figura D.48 – Mapa de altura de onda para o lago de Três Irmãos, direção ESE, Vento de 24,62 m/s

D.4 MAPAS DE ONDAS PARA PORTO PRIMAVERA

MONITORAMENTO DE ONDAS - PROJETO FAPESP Nº:2007/53029-5
Mapa de Ondas - Método JONSWAP

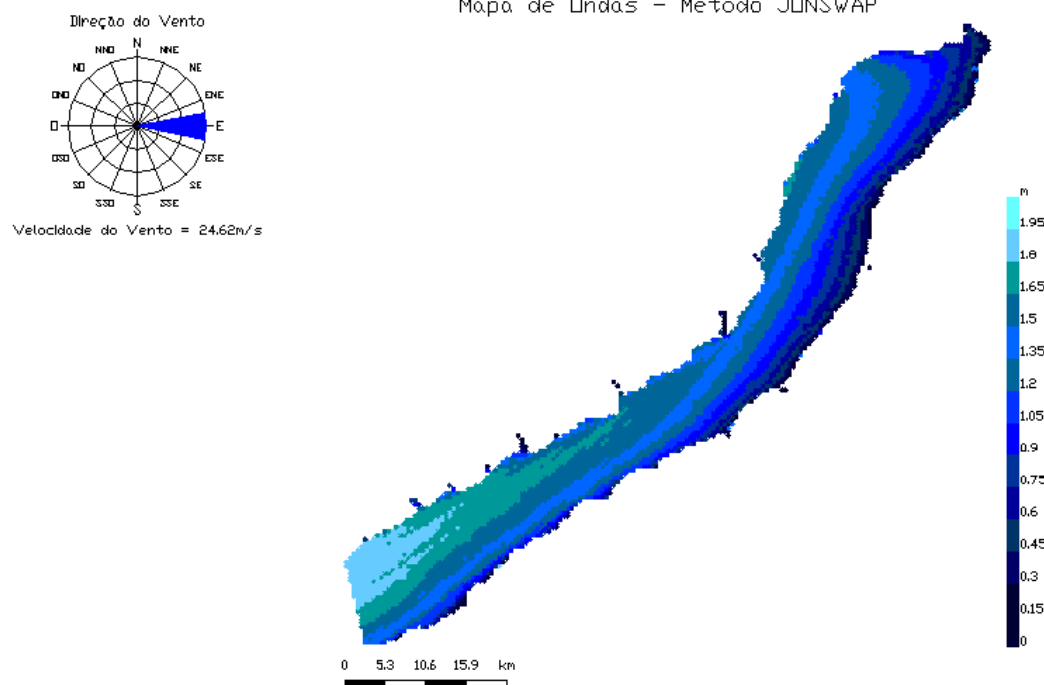


Figura D.49 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção E, Vento de 24,62 m/s

MONITORAMENTO DE ONDAS - PROJETO FAPESP Nº:2007/53029-5
Mapa de Ondas - Método JONSWAP

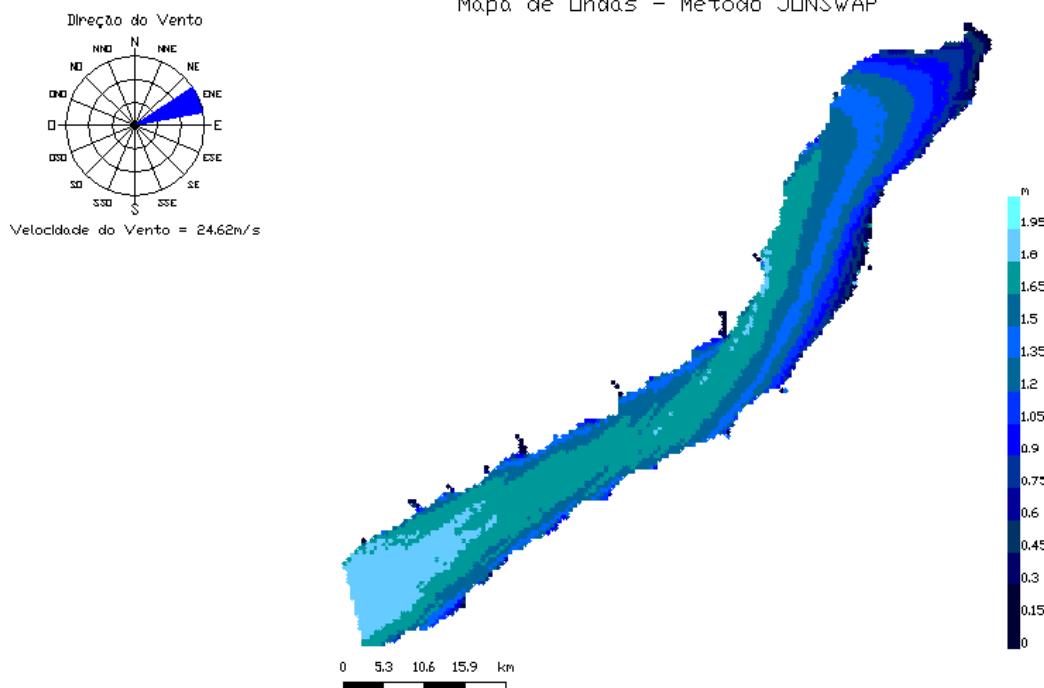


Figura D.50 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção ENE, Vento de 24,62 m/s

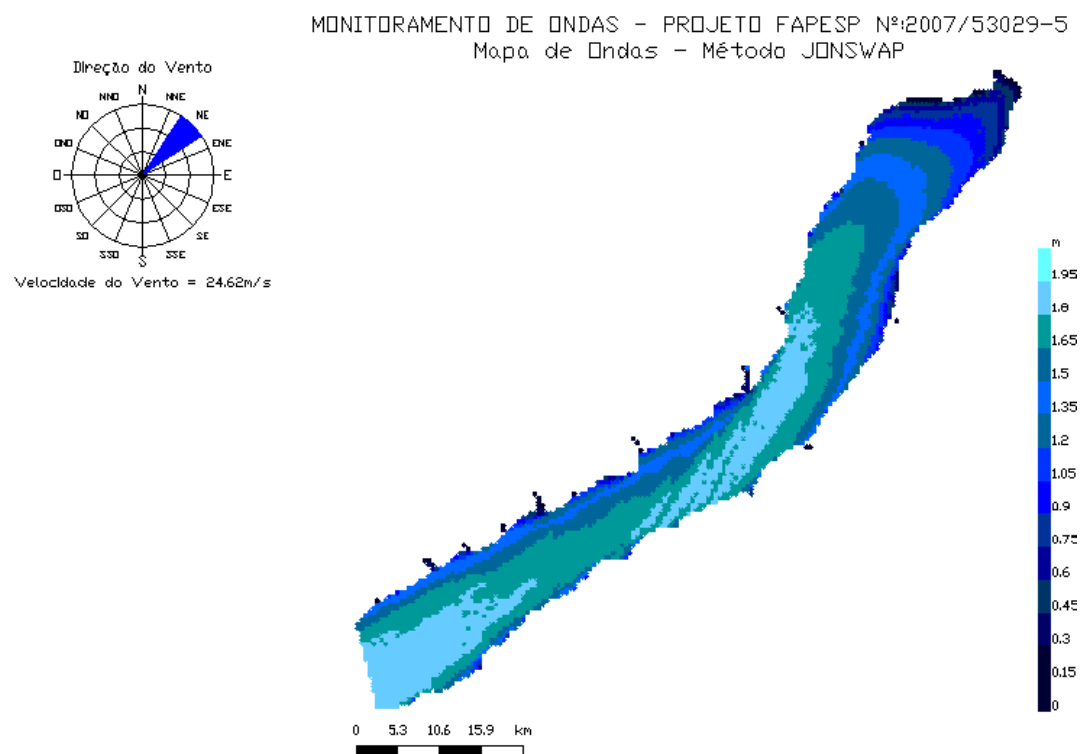


Figura D.51 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NE, Vento de 24,62 m/s

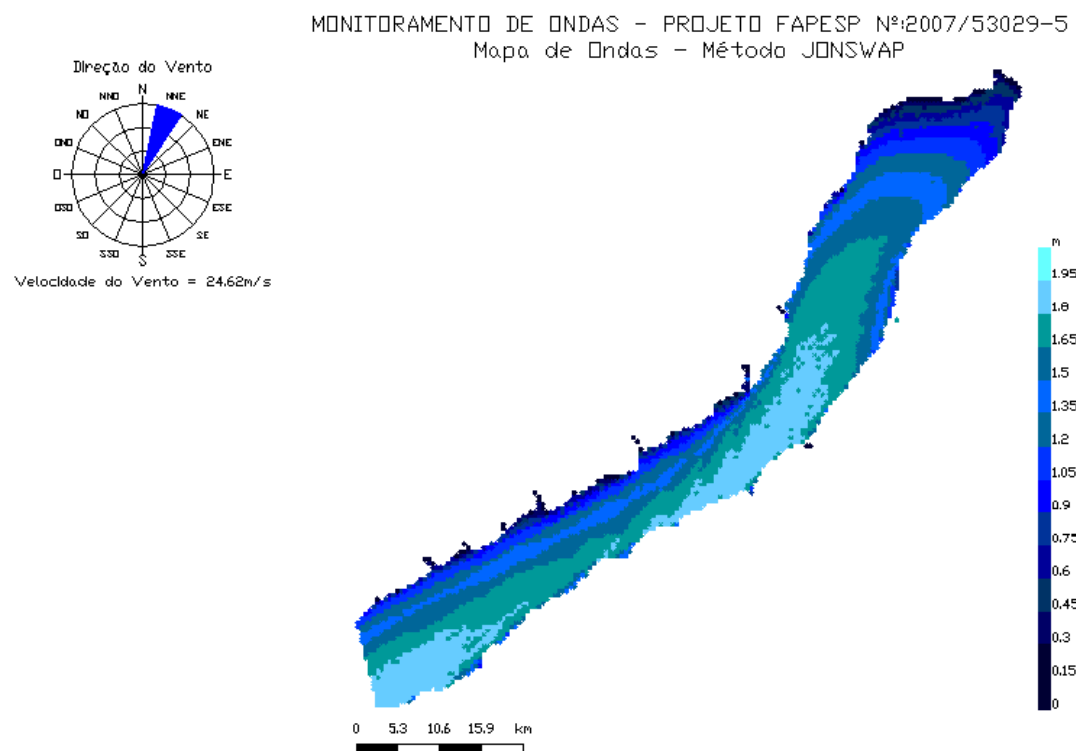


Figura D.52 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NNE, Vento de 24,62 m/s

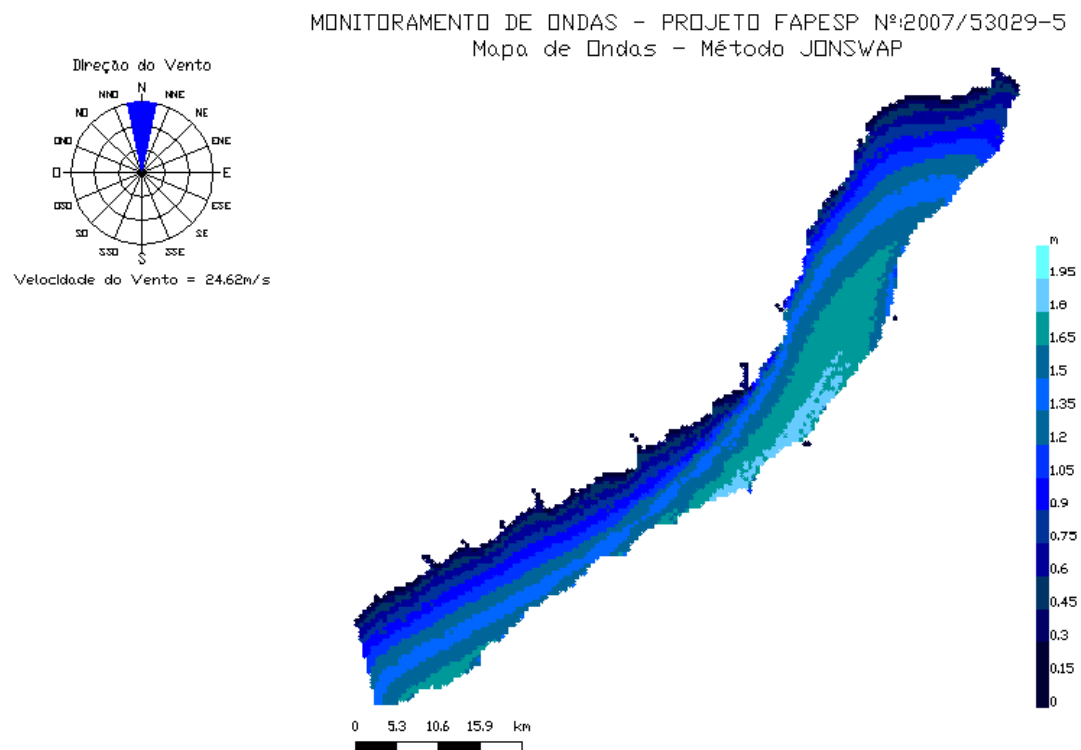


Figura D.53 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção E, Vento de 24,62 m/s

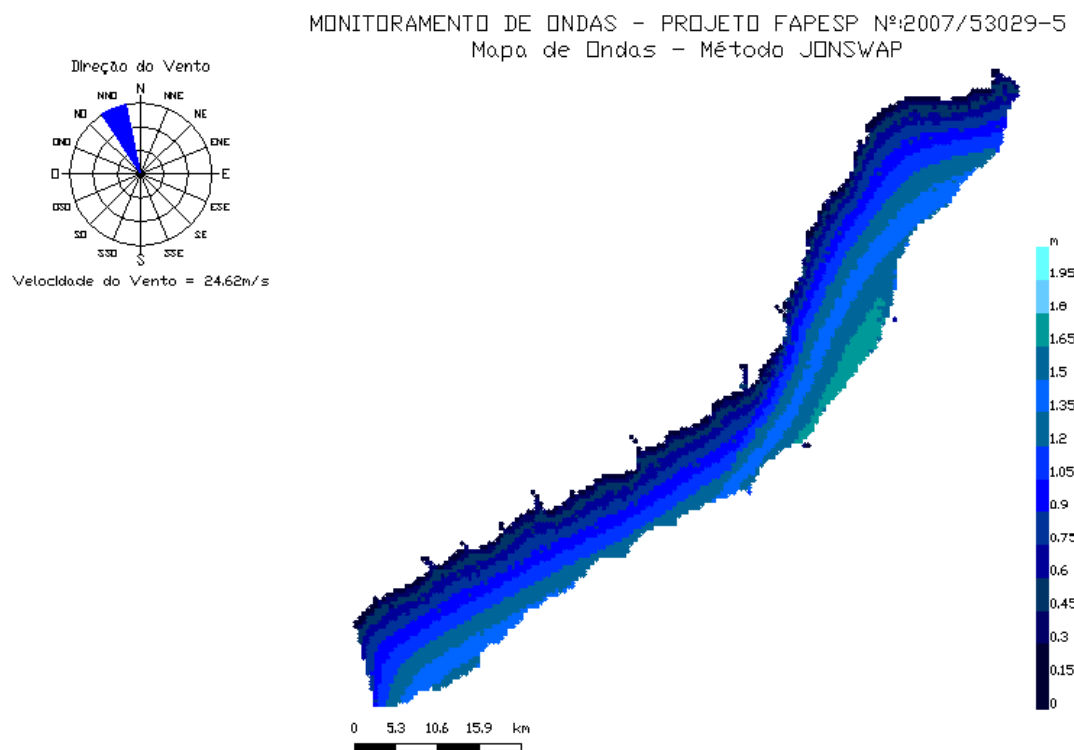


Figura D.54 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NNO, Vento de 24,62 m/s

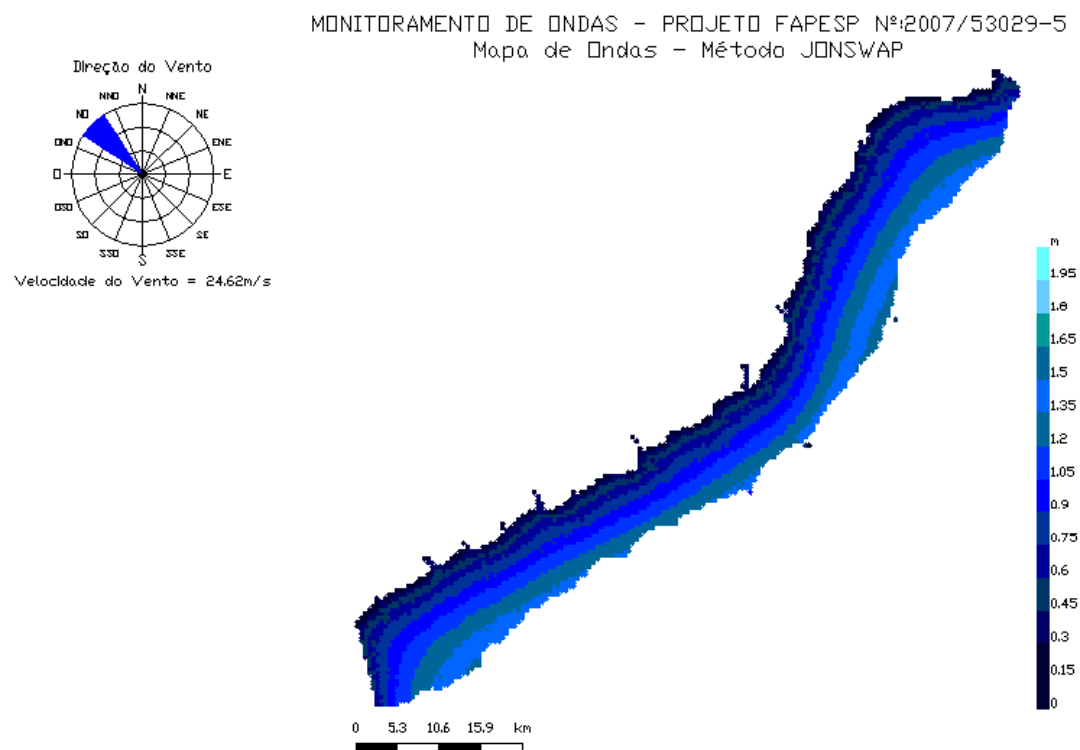


Figura D.55 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção NO, Vento de 24,62 m/s

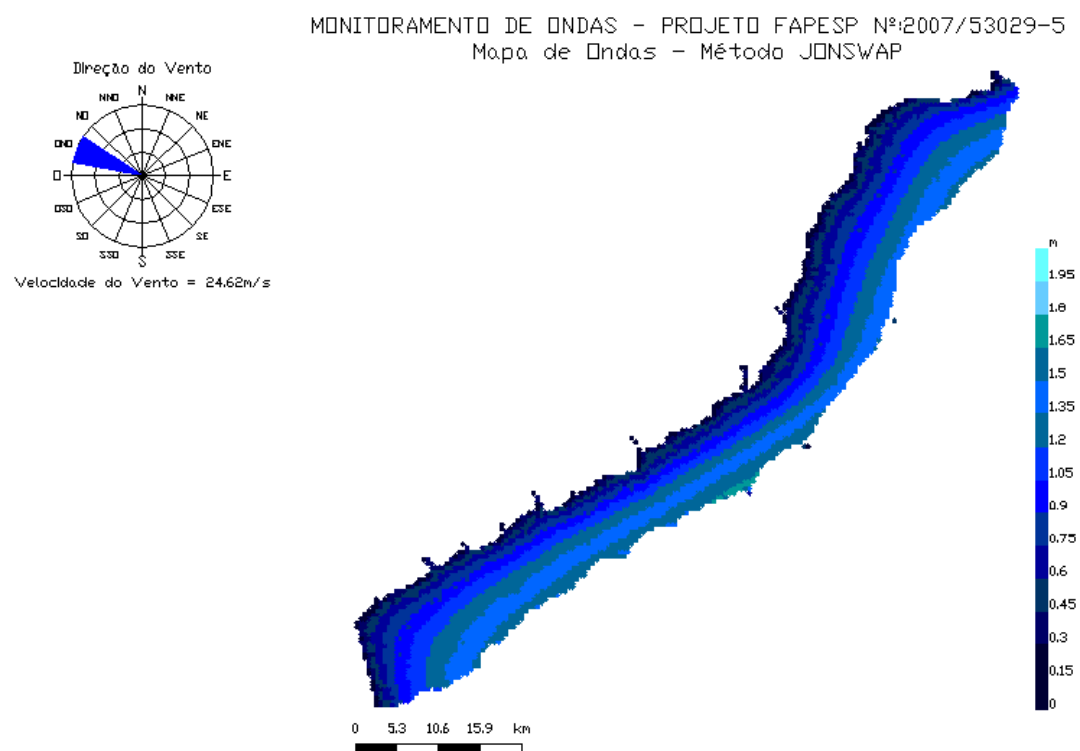


Figura D.56 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção ONO, Vento de 24,62 m/s

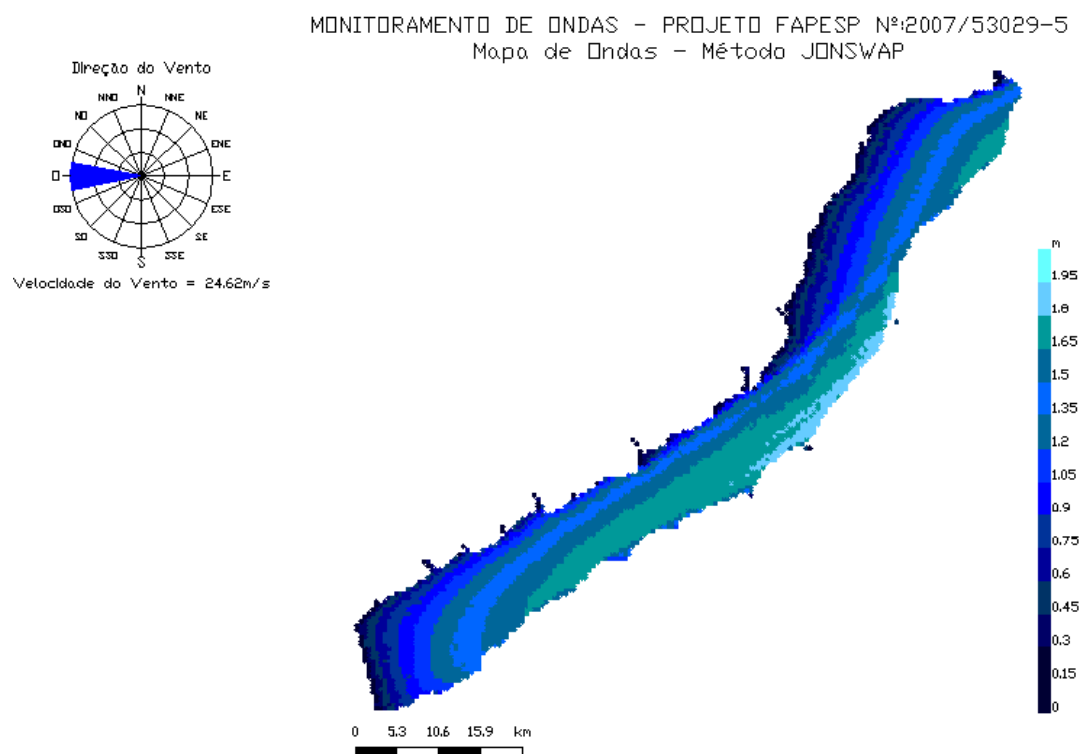


Figura D.57 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção O, Vento de 24,62 m/s

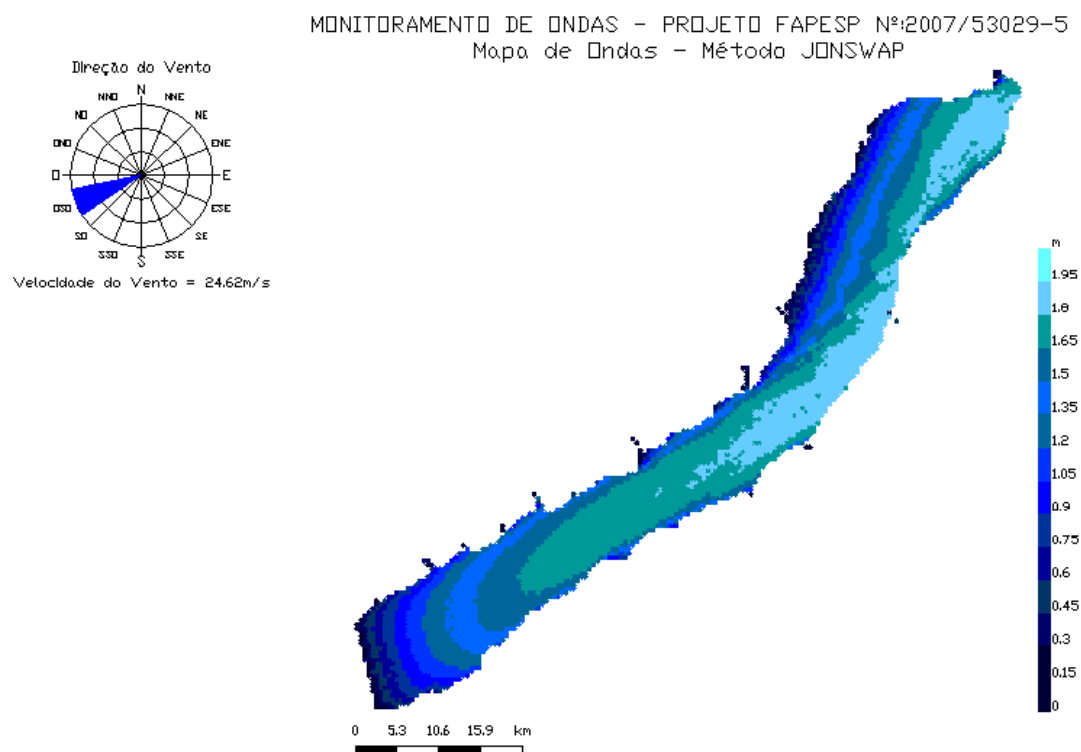


Figura D.58 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção OSO, Vento de 24,62 m/s

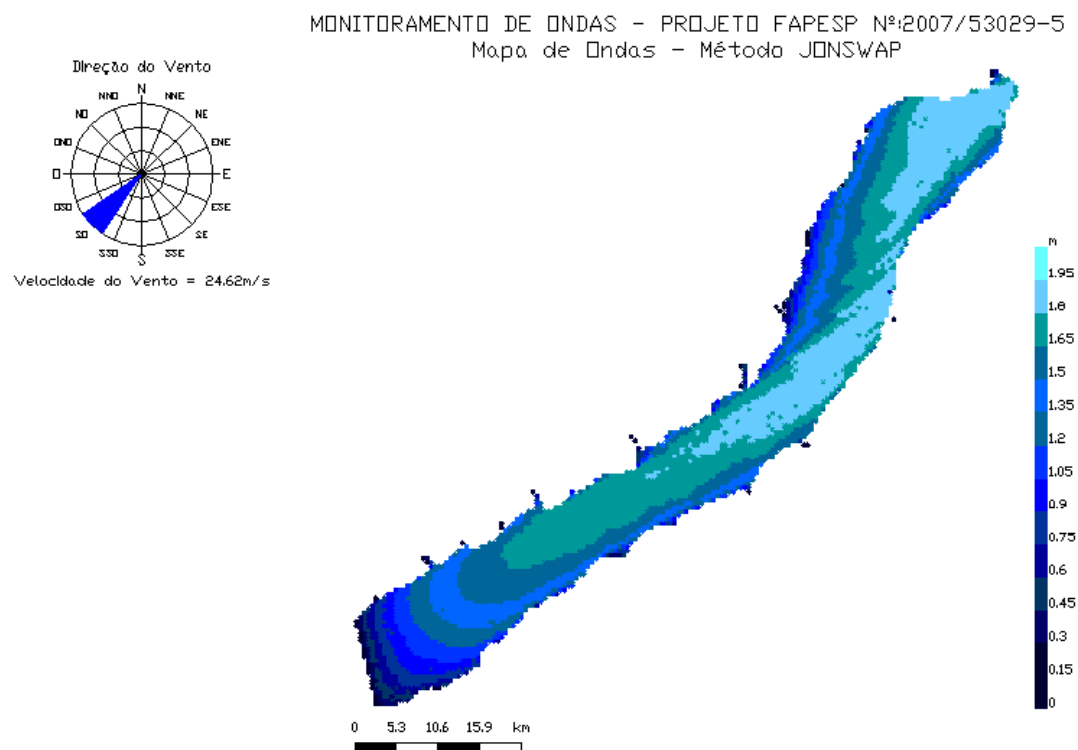


Figura D.59 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção SO, Vento de 24,62 m/s

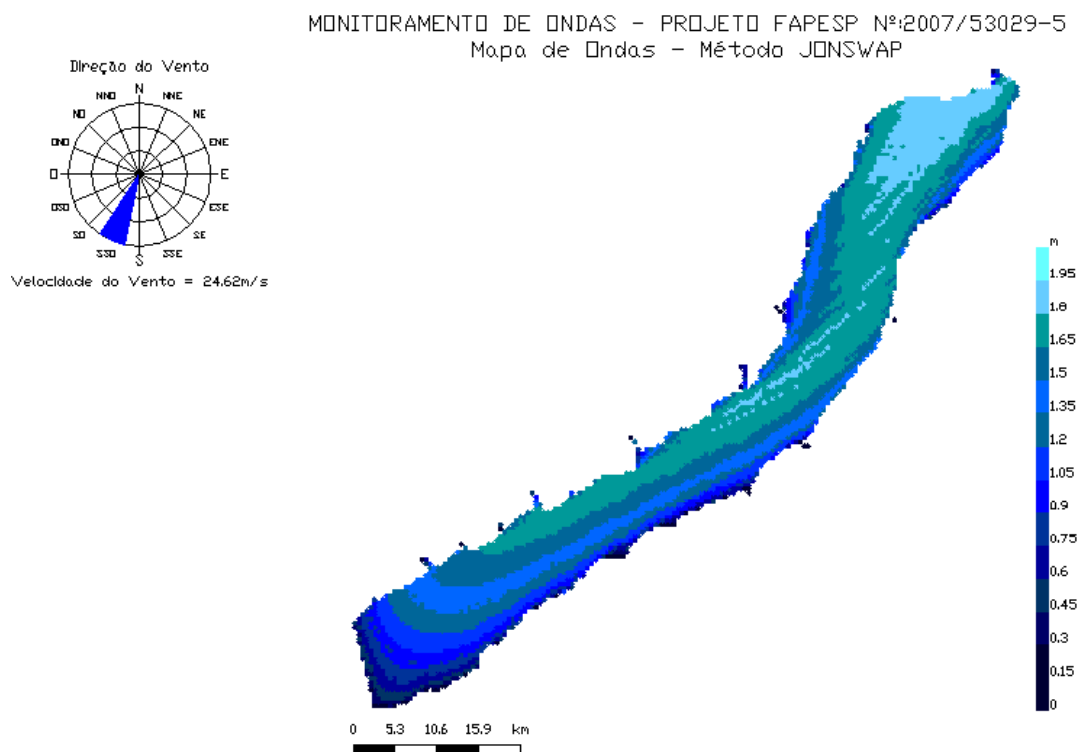


Figura D.60 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção SSO, Vento de 24,62 m/s

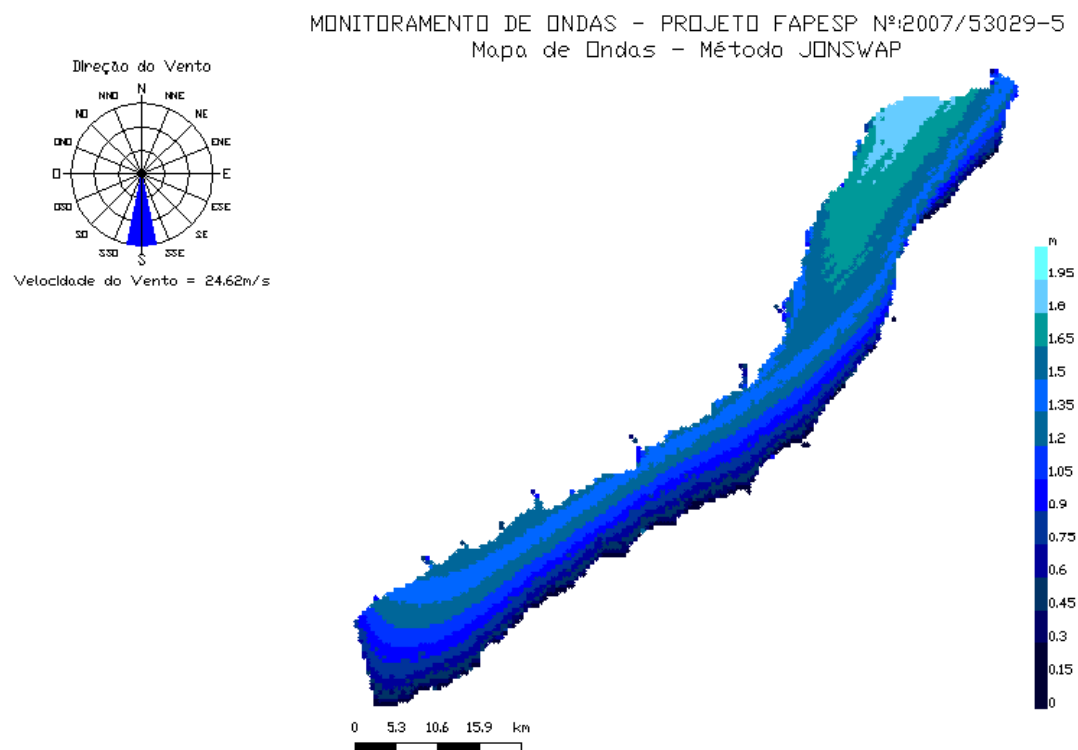


Figura D.61 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção S, Vento de 24,62 m/s

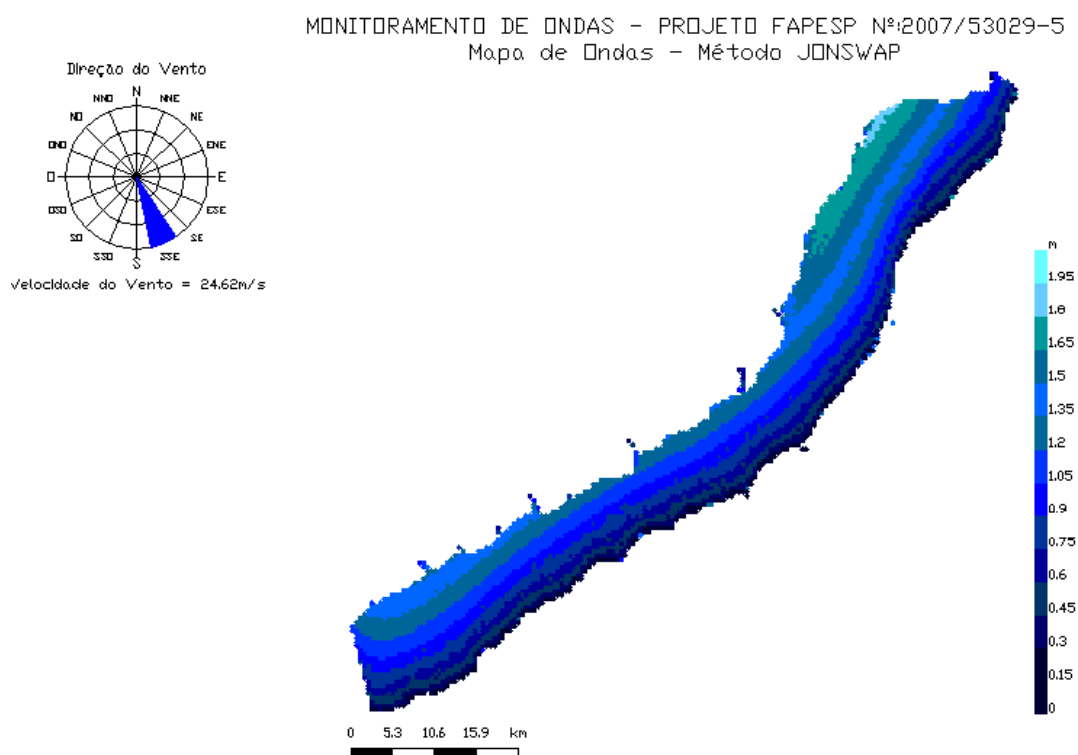


Figura D.62 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção SSE, Vento de 24,62 m/s

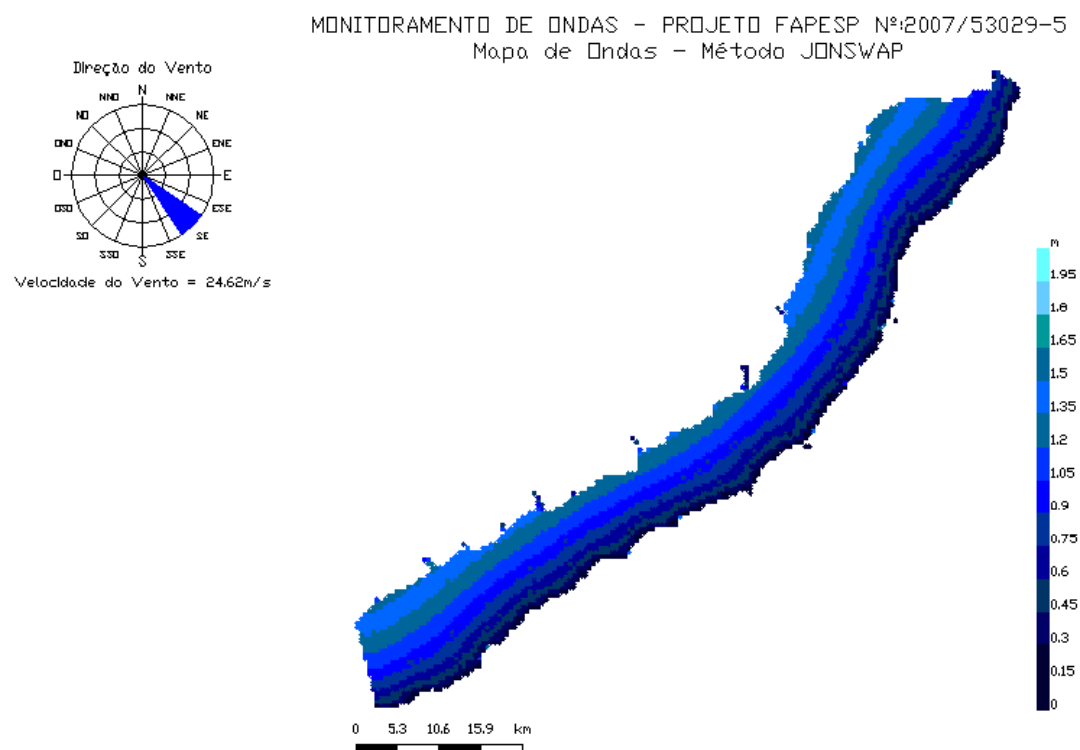


Figura D.63 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção SE, Vento de 24,62 m/s

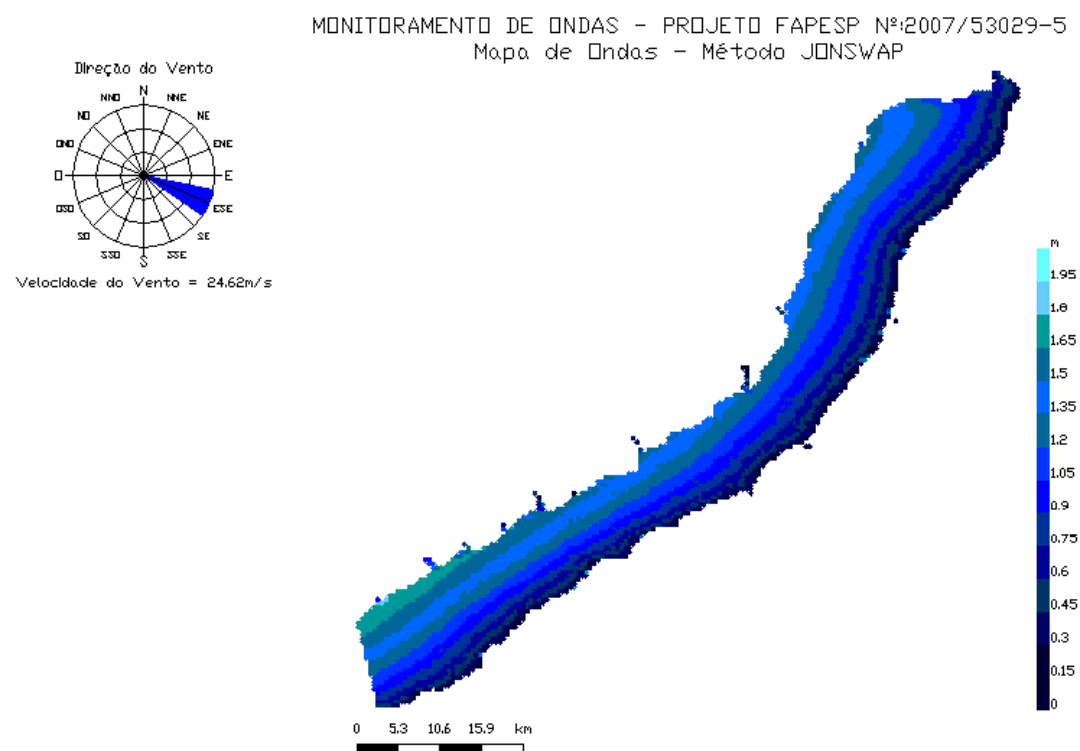


Figura D.64 – Mapa de altura de onda para o lago de Porto Primavera, direção ESE, Vento de 24,62 m/s