unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-Graduação em Engenharia Civil

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ESTIMATIVA DE ONDAS GERADAS POR VENTO EM RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS

1210001670

Marcelo Marques

Ilha Solteira - SP

unesp

Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ESTIMATIVA DE ONDAS GERADAS POR VENTO EM RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS

MARCELO MARQUES

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

ILHA SOLTEIRA
SÃO PAULO
AGOSTO DE 2005

co 456028
59645

unesp

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ESTIMATIVA DE ONDAS GERADAS POR VENTO EM RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS



UNESP - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
SERVIÇO TÉC. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO

DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
22.02.06	28.04.06
REGISTRADO POR	TOMBO
Ailza	Te 1670
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Doação Autor R$10,00	M357s

MARCELO MARQUES

Orientador: Prof. Dr. Geraldo de Freitas Maciel

Co-orientador: Prof. Dr. Milton Dall'Aglio Sobrinho

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

ILHA SOLTEIRA

SÃO PAULO

AGOSTO DE 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

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

Marques, Marcelo

M357s Sistema automatizado para estimativa de ondas geradas por vento em reservatórios de barragens / Marcelo Marques. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2005

x, 137 p.

Dissertação (mestrado) - *Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha* Solteira, 2005

Orientador: Geraldo de Freitas Maciel

Co-orientador: Milton Dall'Aglio Sobrinho

Bibliografia: p. 70-72

1. Lago de barragem. 2. Pista de vento. 3. Ondas gavitacionais. 4. AutoLISP (Linguagem de programação de computador). 5. Reservatórios.

30104017

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ESTIMATIVA DE ONDAS GERADAS POR VENTO EM RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS

AUTOR: MARCELO MARQUES
ORIENTADOR: Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - FE - UNESP - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA/SP

Prof. Dr. OSNI PEREIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM - MARINGÁ/PR

Prof. Dr. CLÁUDIO FREITAS NEVES
PROGRAMA DE ENGENHARIA OCEÂNICA - COPPE/UFRJ - RIO DE JANEIRO - RJ

Data da realização: 09 de agosto de 2005.

Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL

BCpIS - FEIS - UNESP

RESUMO

Esta dissertação de mestrado tem por objetivo inferir alturas de ondas máximas, geradas por ação de ventos, em espelhos d'água de recintos fechados, tais como lagos de barragens.

O processamento dos dados de vento, a determinação das pistas e a estimativa das alturas das ondas foram obtidos pelo processamento de aplicativos computacionais, desenvolvidos em linguagem AutoLISP, que permitiram a geração automatizada de resultados na forma gráfica.

A exeqüibilidade dos objetivos propostos foi testada pelo processamento dos dados de vento disponíveis e pela aplicação dos programas nos lagos de Ilha Solteira e de Porto Primavera.

Os dados de vento se referem às coletas realizadas no lago de Ilha Solteira no decorrer do ano de 2003, sendo constatado vento dominante de 6,0 m/s proveniente da direção NNO e vento reinante procedente de O. Houve igualdade entre o comprimento das maiores pistas de vento. Ambas possuem 12,6 km para ventos vindos de O ou OSO. Para um vento de 6,3 m/s e incidente de NE foi estimada uma altura de onda máxima de 36 cm.

Em Porto primavera a maior pista de vento mede 29 km e é acionada por ventos procedentes de SO. A maior onda estimada é de 53 cm e é gerada por vento de 6 m/s proveniente tanto de NE quanto de SO.

Palavras-chave: reservatório, lago de barragem, pista de vento, onda, AutoLISP.

BCpIS - FEIS - UNESP

ABSTRACT

The purpose of this Master of Science dissertation is to estimate maximum waves heights, generated by winds action, on the water surface of closed enclosures, such as reservoirs or lakes of dams.

The processing of the wind data, the determination of the fetches and the estimation of the wave heights were obtained processing computational programs which allow the automatized generation of results graphically.

The feasibility of the proposed objectives was tested by the processing of the available data on the wind and the application of the programs at the lakes of Ilha Solteira and Porto Primavera.

The wind data refer to the collection at the lake of Ilha Solteira throughout the year 2003 that pointed up the dominant wind at 6 m/s from NNW and the predominant wind from W. The greatest fetches had the same length (12.6 km for winds coming from W and WSW). For a wind at 6.3 m/s and coming from NE, a maximum wave height of 36 cm was estimated.

In Porto Primavera, the greatest fetch is 29 km long and is caused by winds from SW. The greatest estimated wave is 53cm and is caused by wind at 6 m/s from NE or SW.

Key-words: reservoir, lake, wave, fetch, wave on lake, AutoLISP.

.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

ÍNDICE

RESUMO III

ABSTRACT IV

LISTA DE FIGURAS VII

LISTA DE TABELAS X

1. INTRODUÇÃO 1

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 4

2.1. VENTO 4

2.1.1. ESTRUTURA GERAL DOS VENTOS NA ATMOSFERA *4*

2.1.2. CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO *4*

2.1.3. CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE VENTO – PROJETO ONDISA *7*

2.1.3.1. EQUIPAMENTO 8

2.1.3.2. ESTRUTURA DOS DADOS 11

2.2. PISTA DE VENTO 12

2.3. ALTURA DA ONDA 14

2.3.1. MODELOS DE PREVISÃO DE ONDAS *16*

2.3.1.1. Modelos Empíricos de Previsão de Ondas 16

2.3.1.2 Método JONSWAP 17

3. MATERIAIS E MÉTODOS 19

3.1. PROGRAMAS 19

3.1.1. VENTO *21*

3.1.1.1. PROGRAMA MEDIA103.LSP 25

3.1.1.2. PROGRAMA MEDIA106.LSP 26

3.1.1.3. PROGRAMA MAX106.LSP 27

3.1.1.4 PROGRAMA RESUMOVENTO.LSP 27

3.1.1.5. PROGRAMA GRAFVENTO.LSP 29

3.1.2. PISTA DE VENTO *29*

3.1.2.1. PROGRAMA MALHAPISTA-COR.LSP 35

3.1.2.2. PROGRAMA CRIA-LISTAMALHA.LSP 40

3.1.2.3 PROGRAMA PISTA.LSP 40

3.1.2.4. PROGRAMA GRAFPISTA.LSP 42

3.1.3. ONDA *43*

3.1.3.1. PROGRAMA MALHAONDA-COR.LSP 44

3.1.3.2 PROGRAMA ONDA.LSP 45

3.1.3.3. PROGRAMA PISTA_ONDA.LSP 47

4. APLICAÇÃO DOS PROGRAMAS, RESULTADOS E DISCUSSÃO 49

4.1. RELATIVO À MÉDIA DOS VENTOS 49

4.1.1. VENTOS EM ILHA SOLTEIRA EM 2003 ..... *52*

4.2. RELATIVO À DETERMINAÇÃO DAS PISTAS 56

4.2.1. PISTAS DE VENTO EM ILHA SOLTEIRA *56*

4.2.2. PISTA DE VENTO EM PORTO PRIMAVERA *58*

4.3. RELATIVO A ESTIMATIVA DE ONDAS PELO MÉTODO JONSWAP 60

4.3.1. ESTIMATIVA DE ONDAS EM ILHA SOLTEIRA *60*

4.3.2. ONDA EM PORTO PRIMAVERA *62*

4.3.2.1. Alturas de ondas em Porto Primavera 62

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 64

5.1. VENTO 64

5.2. PISTA 65

5.3. ONDA 67

6. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS 68

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXOS 73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fator de correção devido à localização em terra do ponto de medição 5
Figura 2 - Localização dos pontos de medição de ondas e ventos 8
Figura 3 - Anemômetro utilizado na campanha de medição.....9
Figura 4 - Farol São Martinho (posição: 20°20'.98S 51°18'.07W) 10
Figura 5 - Localização dos pontos de leitura e recepção de dados.....11
Figura 6 - Conteúdos das linhas de dados gerados 12
Figura 7 - Pista de vento esquemática para a direção norte 13
Figura 8 - Esquema para obtenção do diagrama de ventos.....21
Figura 9 - Esquema para obtenção do diagrama de ventos.....23
Figura 10 - Amplitude angular de influência 24
Figura 11 - Diagrama gerado pelo programa MEDIA103.LSP escolhido para fins ilustrativos. 26
Figura 12 - Diagrama gerado pelo programa MEDIA106.LSP.....26
Figura 13 - Diagrama gerado pelo programa MAX106.LSP baseado no mesmo arquivo das figuras 12 e 13, para fins ilustrativos.....27
Figura 14 - À esquerda o aspecto do arquivo gerado e à direita sua transposição para planilha eletrônica. 29
Figura 15 - Aspecto gráfico do processo inicial de obtenção das pistas de vento pelo usuário. 30
Figura 16 - Margens esquemáticas para a validação do programa VENTO.LSP.....32
Figura 17 - Na esquerda a margem esquemática e a direita a respectiva representação do comprimento obtido pelo programa VENTO.LSP. 33
Figura 18 - Imagem do Lago de Ilha Solteira após execução do programa VENTO.LSP em algumas direções escolhidas de maneira ilustrativa. 34
Figura 19 - Detalhe dos elementos gráficos envolvidos na execução do programa.36
Figura 20 - Ampliação de 32 vezes de parte da Figura 20 36
Figura 21 - Aplicação do programa MALHAPISTA-COR introduzindo espaçamento da malha de 200m e direção NE. 37
Figura 22 – Aspectos visuais entre diferentes espaçamentos de malha, iniciando a partir do canto superior esquerdo com os espaçamentos de 1000, 500, 400, 300, 200 e 100 metros, respectivamente. 38

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Figura 23 - Tempo de processamento do programa em função do espaçamento da malha 39
Figura 24 - Estrutura dos dados gerados 40
Figura 25 - Aplicação do programa PISTA.LSP no lago de Ilha Solteira para a direção NE, baseado em arquivo gerado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP com espaçamento da malha de 200m. 41
Figura 26 - Alerta por problemas na execução do programa PISTA.LSP.....42
Figura 27 - Caixa de diálogo informativa transmitida ao final da execução do programa PISTA.LSP.....42
Figura 28 - Aspecto visual gerado pelo programa GRAFPISTA.LSP. 43
Figura 29 - Aplicação do programa MALHAONDA-COR utilizando o método SMB, introduzindo velocidade do vento de 7 m/s, espaçamento da malha de 200m e direção NE. 45
Figura 30 - Aplicação do programa ONDA.LSP no lago de Ilha Solteira utilizando o método SMB, introduzindo velocidade do vento de 7 m/s, direção NE e baseado em arquivo gerado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP com espaçamento da malha de 200m.....46
Figura 31 - Caixas de diálogo informativas emitidas em situações de processamento com êxito ou casos processamento interrompido. 46
Figura 32 - Caixa de diálogo inicial devido ao acionamento do programa PISTA_ONDA.LSP.....47
Figura 33 - Aspecto da caixa de diálogo quando acionada a opção "Altura da Onda" 48
Figura 34 - Fotos tiradas sobre o lago e em terra.....50
Figura 35 - Situação esquemática considerada na estimativa da elevação do equipamento em relação ao nível do lago.....50
Figura 36 - Altura estimada da elevação do equipamento.....51
Figura 37 - Definição das direções que terão os dos dados de vento ajustados devido aos efeitos do tipo de local de incidência dos ventos 51
Figura 38 - Diagramas obtidos pelos programas: (a) MEDIA103.LSP, (b) MEDIA106.LSP, (c) MAX106.LSP, referentes aos dados obtidos no ano de 2003, sem correção.....53
Figura 39 - Diagrama das velocidades médias direcionais referentes a linhas de dados de vento de diferentes rótulos para o ano de 2003.. 54

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Figura 40 - Diagrama das freqüências direcionais referentes a linhas de dados de vento de rótulos 103 e 106 para o ano de 2003. 55
Figura 41 - Diagrama radial das maiores pistas de vento no lago de Ilha Solteira ... 57
Figura 42 - Pistas máximas no Lago de Porto Primavera 59
Figura 43 - Altura das maiores ondas geradas por vento de intensidade média corrigida, relativa ao ano de 2003, no lago de Ilha Solteira 61
Figura 44 - Ondas em Porto Primavera 63
Figura 45 - Posicionamento relativo dos reservatórios de Porto Primavera e de Ilha Solteira 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade média do vento corrigida para cada direção 56
Tabela 2 - Maiores comprimentos da pista de vento no lago de Ilha Solteira.....57
Tabela 3 - Maiores pistas de vento no lago de Porto Primavera.....59
Tabela 4 - Altura das maiores ondas geradas por ventos médios anuais corrigidos e obtidos no decurso do ano de 2003 no lago de Ilha Solteira.....61
Tabela 5 - Altura de ondas no lago de Porto Primavera pelo método JONSWAP....63

1. INTRODUÇÃO

A geração, propagação e transformação de ondas em corpos d'água interiores de grande superfície, como é o caso de lagos de reservatórios e lagoas, fornece condições excepcionais para estudos de engenharia costeira. De fato, os primeiros ábacos utilizados para estimativa de altura e período de ondas pelo U.S.Army Corps of Engineers, assim como fórmulas empíricas para estabilidade de enrocamento foram motivados pelo problema de ação de ondas sobre barragens. A interação das ondas com a margem de lagos, onde também se verificava movimentação de sedimentos e processos erosivos, motivou a formação de grupos de trabalho, especialmente para estudo de problemas às margens dos Grandes Lagos na América do Norte. Acidentes com embarcações de navegação interior, especialmente nos grandes Lagos, motivaram o estabelecimento de serviços de alerta e de previsão de ondas. Finalmente, o aumento de tráfego em hidrovias trouxe o problema da necessidade de proteção de margens contra a forte ação erosiva das ondas geradas por embarcações.

O desenvolvimento posterior da engenharia costeira veio a trazer importante contribuição técnica para a solução de todos os problemas mencionados acima. No Brasil, apesar de já contar com especialistas e experiência acumulada em engenharia costeira, pouco se tem utilizado desta experiência, principalmente porque os projetos da maioria das barragens foram elaborados na década de 60. As vantagens de estudar o assunto em águas interiores tornam-se evidentes pela redução das dimensões físicas do problema em relação às condições oceânicas, bem como por se tratar de condições menos agressivas e de se possuir apoio logístico mais fácil.

No cenário brasileiro, o cálculo de ondas geradas por ventos em lagos de barragens é, muitas das vezes, realizado através de fórmulas empíricas, visando quase que exclusivamente a previsão de borda livre de obras, mas carece de medições contínuas, quer seja para a previsão de níveis d´água, quer seja para a previsão de ação erosiva sobre as margens do reservatório. Não obstante, há exceções, tal como o trabalho que vem sendo desenvolvido por GUETTER (2005) no lago de Itaipu.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Em reservatórios de usos múltiplos, com grande espelho d'água e que fazem parte de segmentos de hidrovias, há necessidade de metodologia de previsão e monitoramento de ondas geradas por ventos, para fins de segurança à navegação.

Comprova-se a presença e a importância do fenômeno pelos acidentes já verificados na Hidrovia Tietê-Paraná e pelo fato de algumas barragens possuírem obras de proteção Ademais, encontram-se na WEB, relatórios de viagem de praticantes de pesca ou de navegação que reportam sobre condições de ventos e ondas severas que varrem sobre lagos de barragens. O lago de Ilha Solteira é um exemplo destes casos.

Nesta dissertação, a obtenção dos dados de vento se refere a coletas realizadas no decorrer do ano de 2003 no lago de Ilha Solteira. A geração automatizada de resultados gráficos pela aplicação de programas computacionais, diretamente sobre os dados, é um dos objetivos aqui pretendidos. A aplicabilidade é ilustrada pela geração gráfica das informações resumidas de vento para o ano de 2003.

A determinação das pistas de vento fica a cargo de um método de base geométrica que, pela excessiva quantidade de operações exigidas, está estruturado em um aplicativo computacional que fornece resultados gráficos de forma automatizada com à maior precisão e no menor tempo possível.

A estimativa da altura das ondas é executada por programas que utilizam as informações relativas aos ventos e as pistas na aplicação dos métodos que proporcionam o fornecimento de resultados automatizados dotados de saída gráfica.

Nesta dissertação dois estudos de caso são retomados e colocados em discussão, quais sejam:

- Alturas de ondas estimadas para os lagos de Porto Primavera, por KAISER (1985);
- Estudo sistemático de estimativa de comprimentos de pistas máximas para o lago de Iha Solteira, por LIMA (2003) *et al.*

A aplicabilidade dos programas destinados à determinação das pistas de vento e a estimativa da altura das ondas será verificada para os lagos de Ilha Solteira e de Porto Primavera, ambos localizados na divisa entre os Estados de São Paulo de Mato Grosso do Sul.

Outros aplicativos, de função auxiliares aos demais, são também apresentados, executados e analisados. São dotados basicamente de funções que visam agilizar o traçado de diagramas bem como padronizar os aspectos visuais da



saída gráfica.

Devido à grande quantidade de imagens geradas, elas foram convenientemente dispostas nos respectivos anexos.

A excessiva quantidade de páginas (da ordem de 200) necessárias a disponibilizar os códigos de programação na forma de anexo obrigou a substituição dos códigos pelos respectivos fluxogramas.

A abordagem de aspectos referentes ao processo de desenvolvimento dos aplicativos foi realizada sempre que se mostrou conveniente.

Na estrutura textual deste trabalho o tratamento aos temas relativos aos ventos, pistas e ondas foi separado oportunamente de acordo com a necessidades de tratá-los com mais profundidade. Esta medida visou ainda, facilitar a abordagem dos aspectos relativos ao desenvolvimento dos aplicativos destinados a cada uma destas finalidades.

A estruturação dos capítulos referentes à discussão e conclusão foi baseada não somente em observações relevantes relativas aos resultados das aplicações, mas também em particularidades e necessidades constatadas na busca constante de aprimoramentos futuros dos aplicativos apresentados.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. VENTO

A diferença de temperatura na atmosfera gera diferença na densidade do ar, que por sua vez provoca o aparecimento de gradientes horizontais de pressão. Os ventos surgem como uma compensação para equilibrar os gradientes de pressão.

2.1.1. ESTRUTURA GERAL DOS VENTOS NA ATMOSFERA

A atmosfera da Terra excede os 100 km de distância da superfície do oceano. Sua estrutura estratificada ocorre, principalmente, devido à absorção de bandas específicas de radiação solar, provocando um aumento de temperatura nestas regiões e, conseqüentemente, produzindo inversão nas camadas e inibindo a mistura entre elas.

A camada da troposfera, limitada inferiormente pela superfície terrestre, contém os ventos que são influenciados pela conformação. Muitas das informações meteorológicas utilizadas na estimativa dos ventos de superfície se encontram dentro desta camada. 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.

2.1.2. CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO

De acordo com CERC (1983), U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2001) e LIMA et al. (2003), cinco correções devem ser realizadas na velocidade do vento, a saber: elevação, efeitos de localização, estabilidade (devido à diferença de temperatura), velocidade média no tempo e coeficiente de arraste.

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 em (1).

$$U(10) = U(z)\left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \qquad (1)$$

Onde z é a elevação em que está sendo realizada a medição (em metros).

Efeitos de Localização:

Dificilmente 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 e a única diferença representativa seja a rugosidade da superfície. A relação entre estas duas velocidades a uma altura de 10 metros é dada pelo coeficiente R_L, obtido a partir da 1, onde U_W e U_L representam a velocidade do vento sobre a água e a terra, respectivamente. 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 $R_L = 1$.

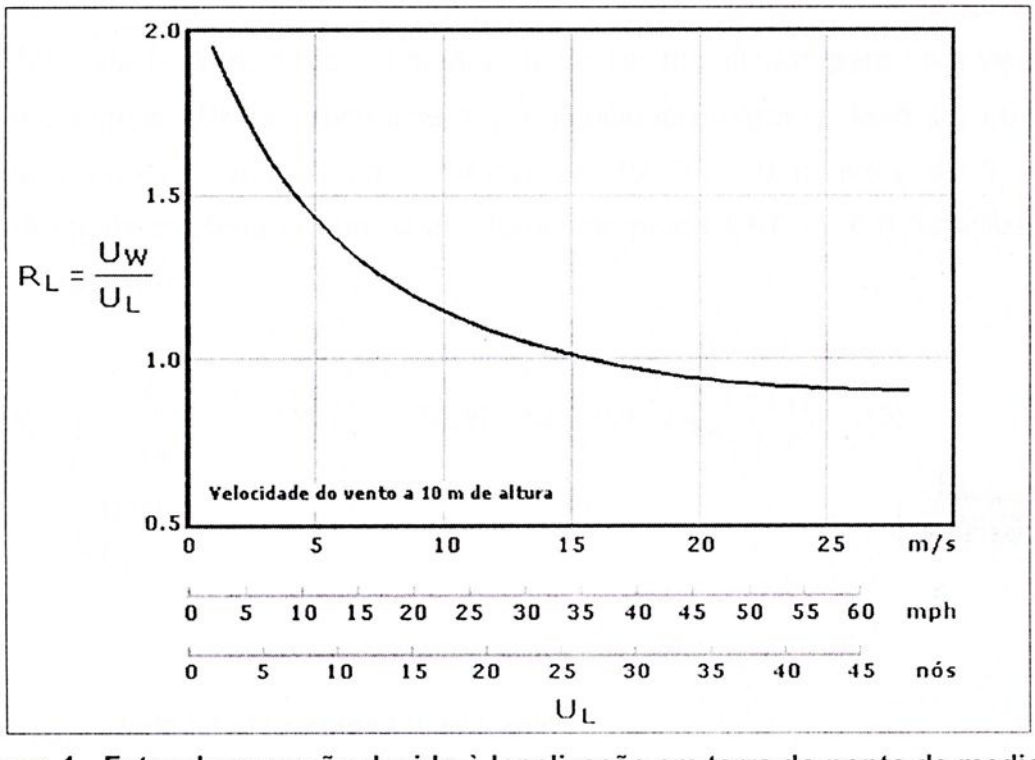


Figura 1 - Fator de correção devido à localização em terra do ponto de medição

Fonte: U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2001)

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 $\left(\Delta T = T_{ar} - T_{água}\right)$ for zero, a camada possui uma estabilidade neutra, e nenhuma correção é necessária. Se ΔT for negativo, a camada é instável e a velocidade do vento é mais efetiva no crescimento das ondas. Se ΔT for positivo, 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 (também obtido de um gráfico fornecido pelo CERC (1983)) é utilizado para a correção da velocidade da seguinte forma:

$$U = R_T \cdot U(10) \qquad (2)$$

Velocidade Média no Tempo:

A velocidade dos ventos é freqüentemente 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 à 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 (3) e (4):

$$R_{tt} = \frac{U_{\max}}{U_{3600}} = 1{,}277 + 0{,}295 \tanh\left[0{,}9 \log_{10}\left(\frac{45}{t}\right)\right] \qquad (3)$$

$$t = \frac{1609}{U_{\max}} \qquad (4)$$

onde:

$U_{\max}$: velocidade máxima diária (m/s).

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

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

unesp

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.

$$U_A = 0{,}71 \; U^{1{,}23} \qquad (5)$$

2.1.3. CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE VENTO – PROJETO ONDISA

O projeto de pesquisa ONDISA (ondas produzidas pelo vento no lago de Ilha Solteira) deu um importante passo para o início da campanha de coleta de dados de vento. Foi concebido pelos professores Luiz Roberto Trovati, Milton Dall'Aglio Sobrinho e Geraldo de Freitas Maciel, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP) em 1999, cuja primeira fase foi realizada com apoio da FAPESP entre os anos de 2000 e 2001. Durante este período foram monitorados simultaneamente os ventos e a geração de ondas no Lago de Ilha Solteira em um ponto localizado na ponte rodoferroviária, conforme Figura 2. O objetivo inicial do ONDISA era fornecer informações para apoio e segurança da navegação através de um sistema de previsão em tempo real de alerta aos comboios de barcaças sobre situações adversas à navegação.

Devido à importância do adequado conhecimento do regime de ventos no local, foi elaborada, instalada e operacionalizada, uma estrutura informatizada de aquisição de dados de vento.

A descrição dos equipamentos, códigos fonte utilizados na aquisição de dados, bem como importantes considerações pertinentes à fase de implantação do equipamento, descritos neste capítulo, foram baseados em TROVATI (2001) e nas informações cedidas por Milton Dall'Aglio Sobrinho, responsável técnico pelo aparato experimental implementado e operacionalizado durante o projeto ONDISA.



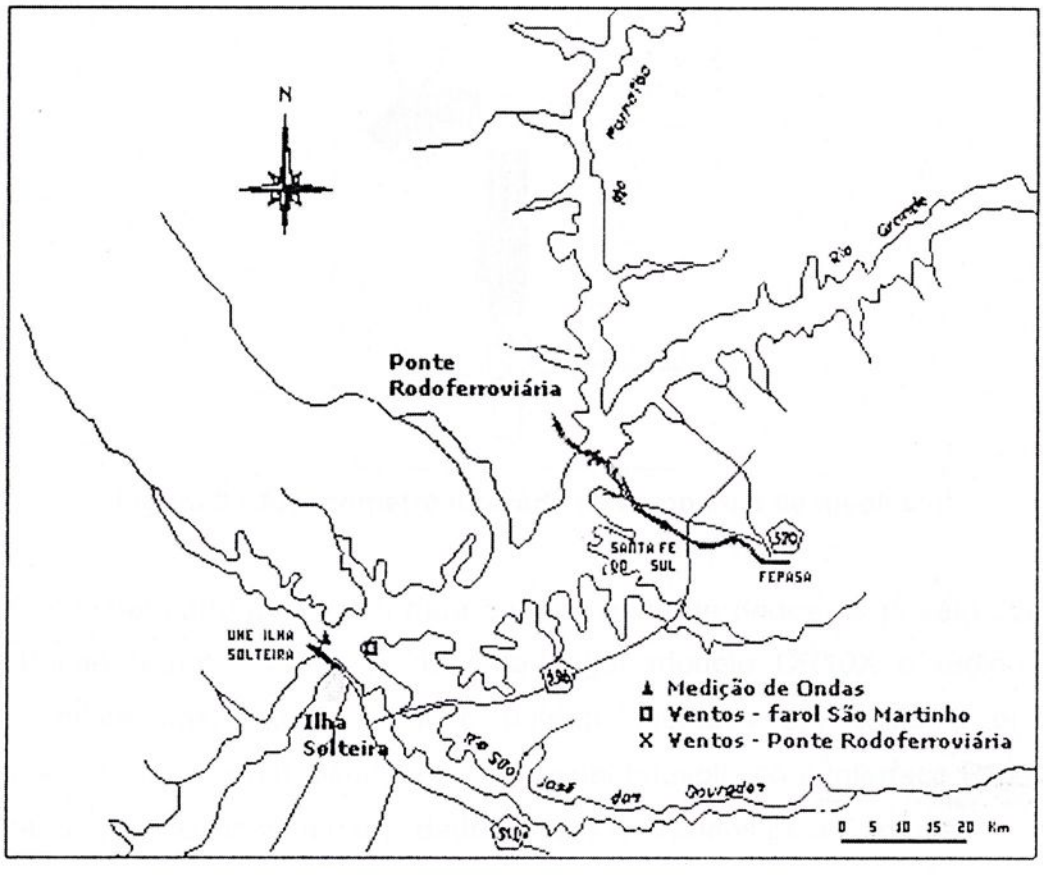


Figura 2 Localização dos pontos de medição de ondas e ventos

2.1.3.1. EQUIPAMENTO

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 mini-estações meteorológicas.

Segue abaixo a descrição dos instrumentos mais relevantes que compõem a mini-estação. O anemômetro utilizado é da marca da canadense Campbell, modelo Young R.M.05103, com hélice de eixo horizontal e sensor de direção do vento acoplados num único medidor (Figura 3).

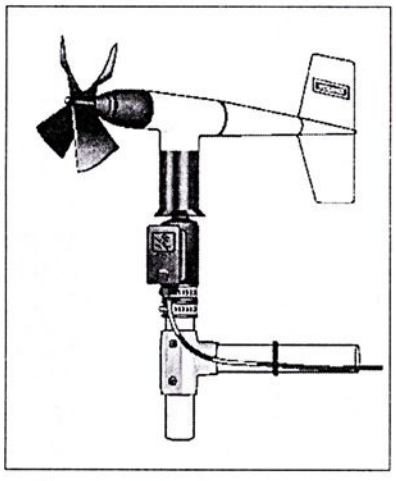


Figura 3 - Anemômetro utilizado na campanha de medição

O equipamento disponível para comunicação de dados no projeto consta de uma estação remota composta de data-logger 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.

Os equipamentos estão instalados na estrutura do farol São Martinho, composto por uma torre metálica, estaiada, com 30 metros de altura (Figura 4).

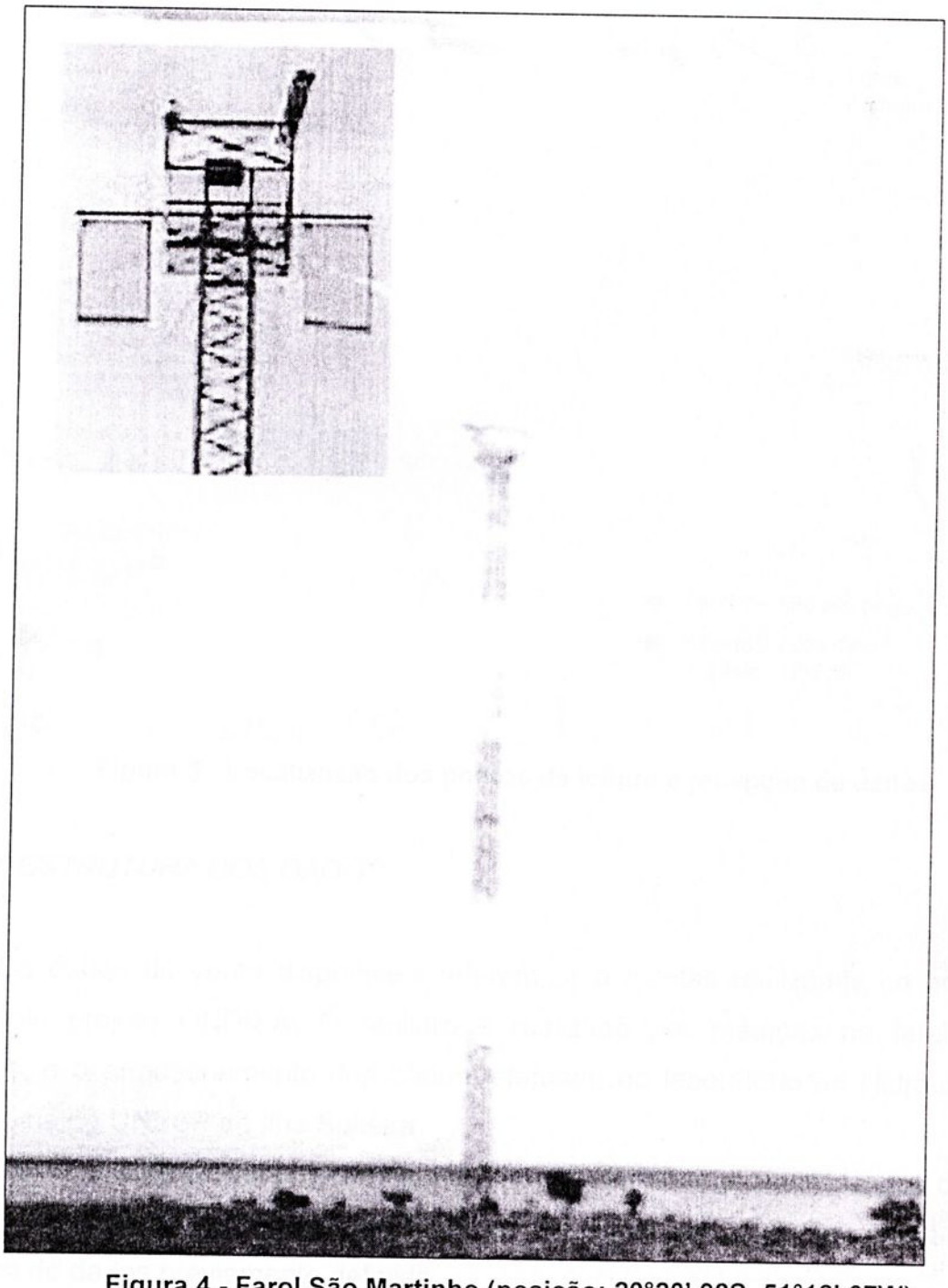


Figura 4 - Farol São Martinho (posição: 20°20'.98S 51°18'.07W)

O farol São Martinho foi escolhido devido à proximidade da localização e a praticidade de acesso, diminuindo o custo das viagens de barco para a manutenção dos equipamentos, conforme Figura 5. 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, caso a estação permanecesse na ponte rodoferroviária.

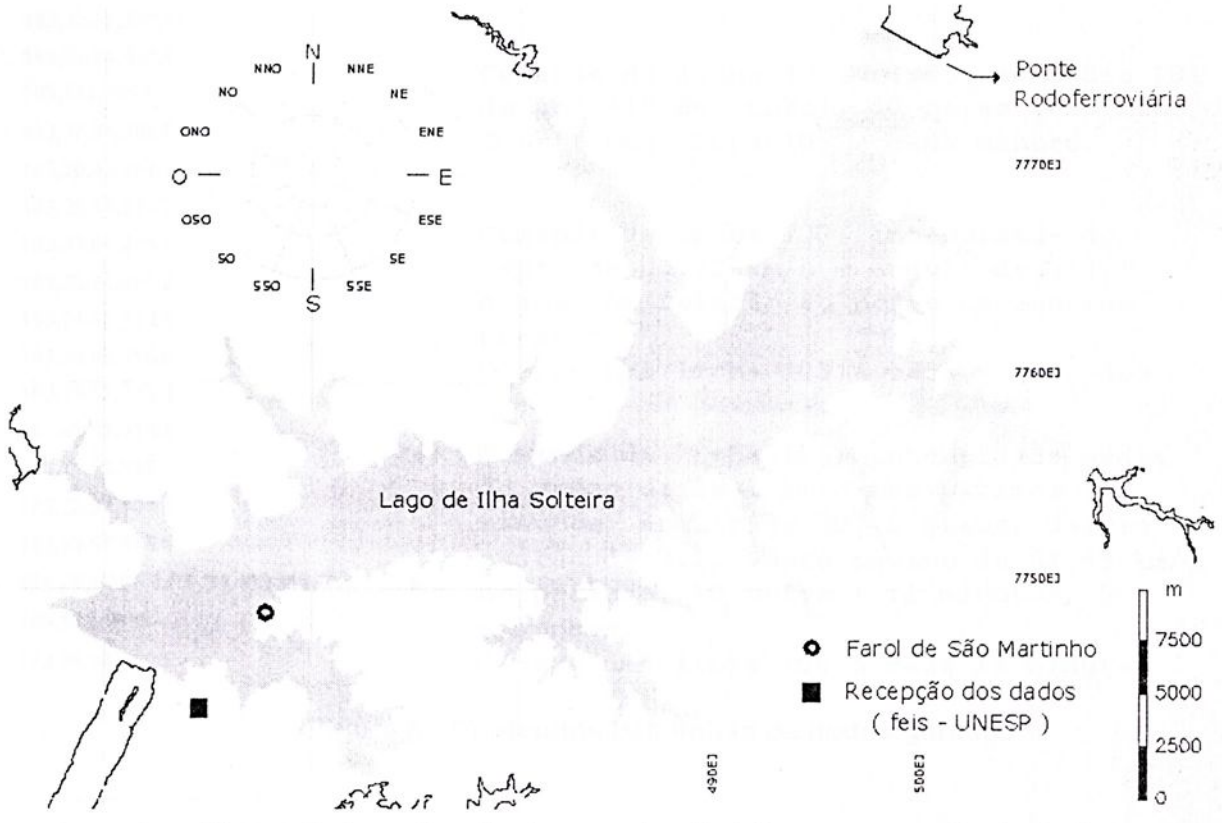


Figura 5 - Localização dos pontos de leitura e recepção de dados

2.1.3.2. ESTRUTURA DOS DADOS

Os dados de vento disponíveis referem-se a coletas realizadas no ano de 2003 pelo projeto ONDISA. O registro é realizado por medição no farol São Martinho, e o armazenamento dos dados, efetuado no laboratório de Hidráulica e Hidrometria da UNESP de Ilha Solteira.

Como o desenvolvimento deste trabalho se deu após a obtenção dos dados (leitura, transmissão e armazenamento), isto implicou em trabalhar sobre uma estrutura de dados previamente definida.

O dado de vento foi adquirido por meio de leituras realizadas a cada 5 segundos e registrado no banco de dados em uma linha iniciada pelo número 103 (rótulo da linha). A cada minuto (ou 12 linhas de rótulo 103), é gerada automaticamente uma linha de rótulo 109. O processo se repete até que, a cada 15 minutos, o sistema gera uma linha de rótulo 106. O processo de registro das linhas de dados é simultâneo. A descrição dos elementos componentes de cada linha está mostrado através da Figura 6.

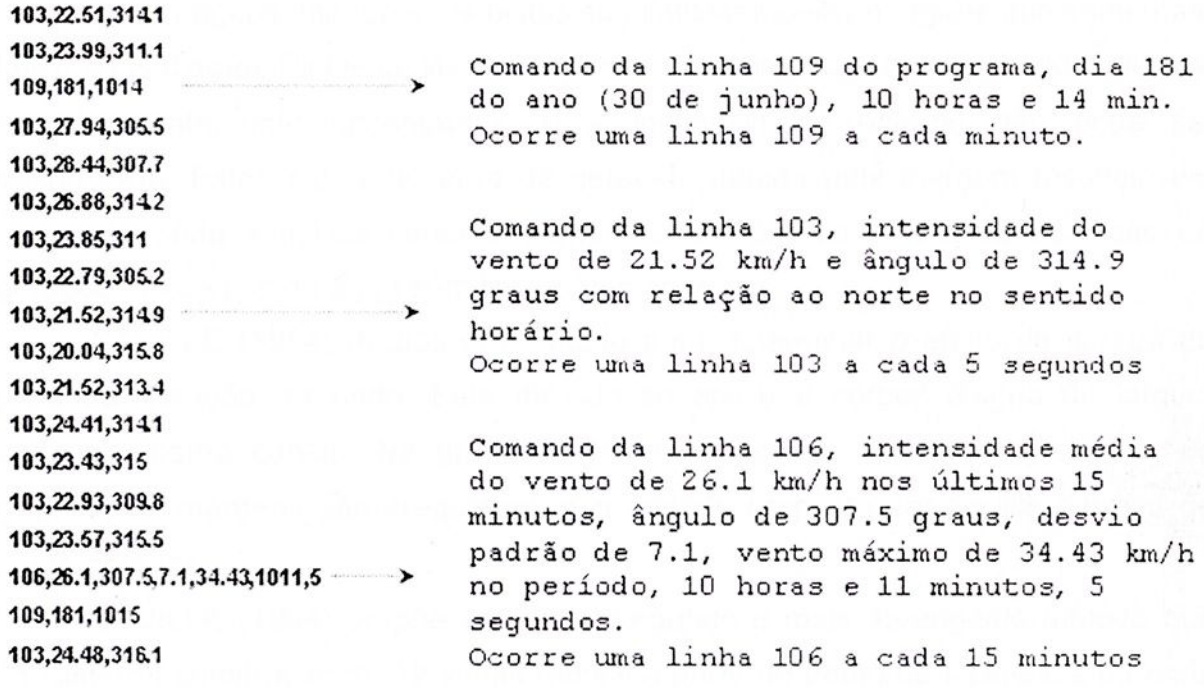


Figura 6 - Conteúdos das linhas de dados gerados

2.2. 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.

Na aplicação dos métodos de estimativa da altura destas ondas, uma importante etapa consiste na determinação do comprimento da pista de vento. 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, ou *fetch*.

A pista de vento é a área de geração de ondas, e é 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 (1983), esta velocidade é considerada constante quando as variações não excedem 2,5 m/s com relação à velocidade média.

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.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

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 freqüentemente encontradas, e a influência do entorno não pode ser desprezado. 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. Na grande maioria dos casos de águas interiores, no entanto, as margens são irregulares, e o método proposto por Saville deixava 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 deve 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. O ângulo máximo do segmento mais distante com eixo principal é de 45 graus, de acordo com a Figura 7.

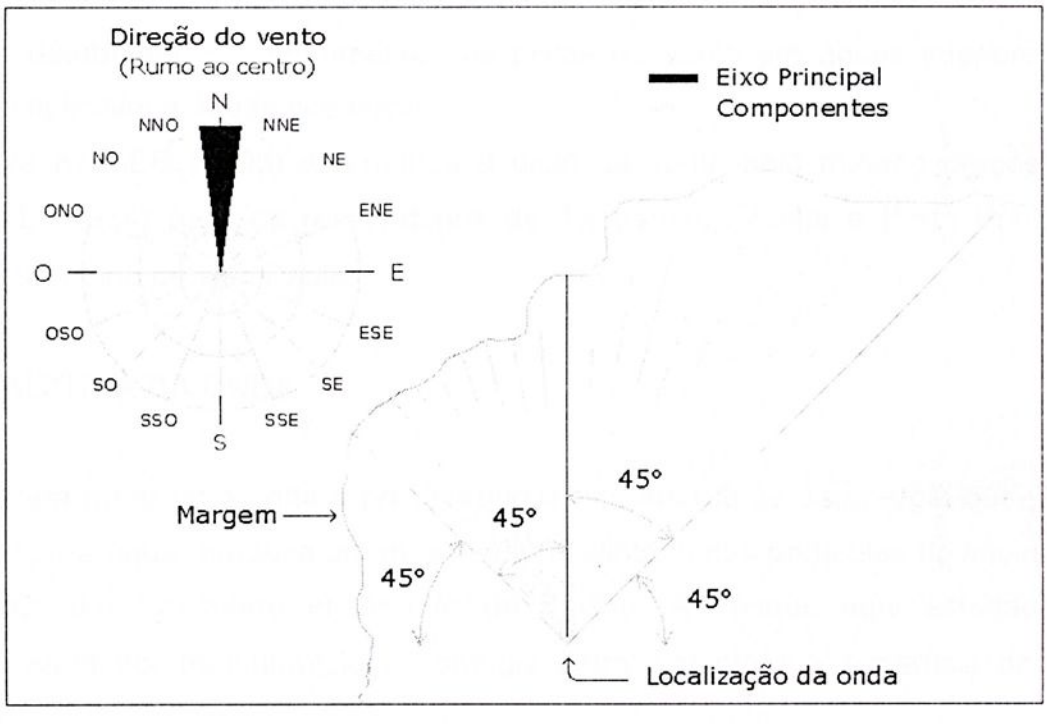


Figura 7 - Pista de vento esquemática para a direção norte

Neste método desprezam-se os fenômenos de refração e reflexão, ou seja, 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. O comprimento da pista é obtido pela seguinte relação:

$$F = \frac{\sum_i x_i \cos \alpha_i}{\sum_i \cos \alpha_i} \qquad (6)$$

α_i : ângulo entre a direção principal e a direção secundária;

x_i : comprimento na direção secundária.

Ainda de acordo com o autor, outros ângulos entre radiais podem ser utilizados no mesmo procedimento.

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.

Estudos foram realizados no lago de Ilha Solteira, destacando LIMA (2003) *et. al,* que determinou o comprimento das pistas de vento em águas interiores pelo método aplicável a águas oceânicas.

Já KAISER (1995) determinou a pista de vento pelo método proposto por SAVILLE (1954) para os reservatórios de Taquaruçu, Pontal e Porto Primavera, todos no Estado de São Paulo.

2.3. ALTURA DA 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.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Dentro desta área, as ondas apresentam uma forma desorganizada chamada vaga. Pela contínua ação do vento, as ondas vão se modificando, até que, ao sair desta área, assumem gradualmente uma forma mais regular e mais simétrica, 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. 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".

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.

Em ambos os lagos, Ilha Solteira e Porto Primavera, são geradas ondas limitadas pela pista. Por este motivo as análises de estimativa da duração do vento são prescindíveis.

As ondas geradas pela ação do vento possuem, como ação restauradora, a gravidade, por isso são também conhecidas como ondas gravitacionais.

O principal campo de desenvolvimento e aplicação dos estudos de geração e propagação das ondas gravitacionais é devido às ondas em mar. Portanto, não é possível prescindir destes estudos nas análises de ondas em águas interiores.

A direção de propagação da onda é coincidente com a do vento que a gerou.

Quanto aos estudos de estimativa das ondas anteriormente realizados, especificamente nos dois lagos de interesse deste trabalho (Lago de Ilha Solteira e de Porto Primavera), são consideradas as análises feitas por LIMA (2003) *et. al* e KAISER (1995). LIMA (2003) estimou a altura das ondas no lago de Ilha Solteira através do método JONSWAP 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.

Para efeito comparativo, os aplicativos aqui apresentados utilizarão, sempre que possível, as informações de vento conforme apresentadas originalmente por cada estudo.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

2.3.1. MODELOS DE PREVISÃO DE ONDAS

2.3.1.1. Modelos Empíricos de Previsão de Altura de Onda

A AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1948), apresentadas 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 pista efetiva superior a 32 km:

$$H_{max} = 0{,}4724 \quad (U \quad F)^{0,5} \tag{6}$$

- Para pista efetiva inferior a 32 km:

$$H_{max} = 0{,}4724 \quad (U \quad F)^{0,5} - \quad 3{,}6942 \quad F^{0,25} + 8{,}2 \tag{7}$$

A segunda formulação, de acordo com Wolf:

$$H_{max} = (0{,}0623 \quad U \quad - \quad 1{,}1653) \quad F^{0,5} \tag{8}$$

E a terceira formulação, de acordo com Creager:

$$H_{max} = 2{,}6581 \quad \frac{F^{0,37} \cdot U^{0,48}}{C} \tag{9}$$

Onde para as fórmulas citadas tem-se:

H : altura da onda (m)

C : constante de Creager (3,41)

U : velocidade do vento (m/s)

F : pista efetiva (km)

O modelo SMB (Sverdrup, Munk e Bretschneider – SHORE PROTECION 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*:



$$\frac{g \quad H_s}{U^2} = 0{,}283 \quad \tanh\left[0{,}0125 \quad \left(\frac{g \quad F}{U^2}\right)^{0{,}42}\right] \tag{10}$$

$$\frac{g \quad T_s}{2 \quad \pi \quad U} = 1{,}2 \quad \tanh\left[0{,}077 \quad \left(\frac{g \quad F}{U^2}\right)^{0{,}25}\right] \tag{11}$$

H : altura da onda (m)

T : *Período da onda* (s)

U : velocidade do vento (m/s)

F : pista efetiva (km)

2.3.1.2 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 a oeste da Dinamarca.

O modelo desenvolvido pelo projeto JONSWAP parte do modelo de Pierson e Moskowitz que, ao utilizarem registros de onda do nordeste do Atlântico, propuseram um modelo para mar plenamente desenvolvido. Com base nos estudos de CARTER (1982), e dentre entre as relações definidas, 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 relação:

$$D \geq 1{,}167 \frac{F^{0,7}}{U^{0,4}} \tag{12}$$

D : Duração do vento (h)

U : Velocidade (m/s)

F : Comprimento da pista de vento (km)

O resultado final, para previsão de altura de onda, em termos da pista e da velocidade do vento é:

$$H_s = 0{,}0163 \; F^{0.5} U \tag{13}$$

H_s : Altura significativa da onda

sendo H_S em metros, F em quilômetros e U em metros por segundo.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

O período de pico é dado pela seguinte expressão:

$$T_p = 0{,}566 F^{0.3} U^{0.4} \quad (14)$$

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, as expressões seguem a seguinte relação:

$$H_s = 0{,}0248U^2 \quad (15)$$

$$T_p = 0{,}728U \quad (16)$$

unesp

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O tratamento dos dados de vento, a determinação das pistas e a respectiva estimativa de onda sugerem, do ponto de vista da exeqüilibilidade 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.

A linguagem de programação eleita mais adequada para o tipo de objetivos aqui pretendidos é a Linguagem AutoLISP.

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 às 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.

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 à flexibilidade e eficiência desta linguagem para tratar estruturas de dados não uniformes.

Criado de modo a facilitar o desenvolvimento e depuração de rotinas em linguagem AutoLISP, o VisualLISP é a nova geração de ambiente de programação em AutoLISP.

3.1. PROGRAMAS

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 são de aplicação específica aos dados coletados em Ilha Solteira. Já os que tratam de agilizar o processo de representação gráfica através da execução de diagramas de

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

vento, de comprimento de pistas ou de altura de ondas, estes sim podem 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.

Para auxiliar os que desejem aplicar os programas, mas não dispõe de conhecimentos mínimos de funcionamento do ambiente AutoCAD, informações básicas estão descritas no Anexo 4.

Os códigos dos programas correspondentes se encontram no CD em anexo.

Todos os programas aqui apresentados possuem os respectivos fluxogramas de programação disponíveis no Anexo 3.

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

- Qualquer linha de comando escrita em linguagem AutoLISP, deverá estar escrita entre parênteses. Para cada parêntese que é aberto, deverá necessariamente existir outro fechando-o. Caso isto não aconteça, surgirão mensagens de erro.
- A aspas servem para separar o que é nome de variável do que são comandos do AutoLISP. São também utilizadas para indicar elementos alfa-numéricos, 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.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

3.1.1. VENTO

Os dados de vento disponíveis foram fornecidos pelo Projeto Ondisa (Fase 1), e portanto, com a estrutura particular pré-estabelecida. Dados contendo esta mesma estrutura são diariamente coletados.

Pela maneira convencional, o processamento dos dados de vento era realizado com o auxilio de planilha eletrônica, constituindo-se em tarefa excessivamente trabalhosa. Devido à forma da estrutura do arquivo de dado, o processamento era realizado separando cada elemento da linha de dado em uma coluna correspondente da planilha. Como a quantidade de linhas em cada arquivo não era necessariamente a mesma, era preciso fazer ajustes na planilha para que todas as linhas contendo dados fossem contempladas na planilha. Após os ajustes necessários à inserção na planilha e o processamento, o resultado era apresentado em uma tabela relacionando a freqüência de ocorrência e a velocidade média para cada direção. Os diagramas eram então traçados com o auxilio do AutoCAD ou outro programa de desenho assistido por computador. Este processo de obtenção do diagrama de ventos está ilustrado na figura 8.

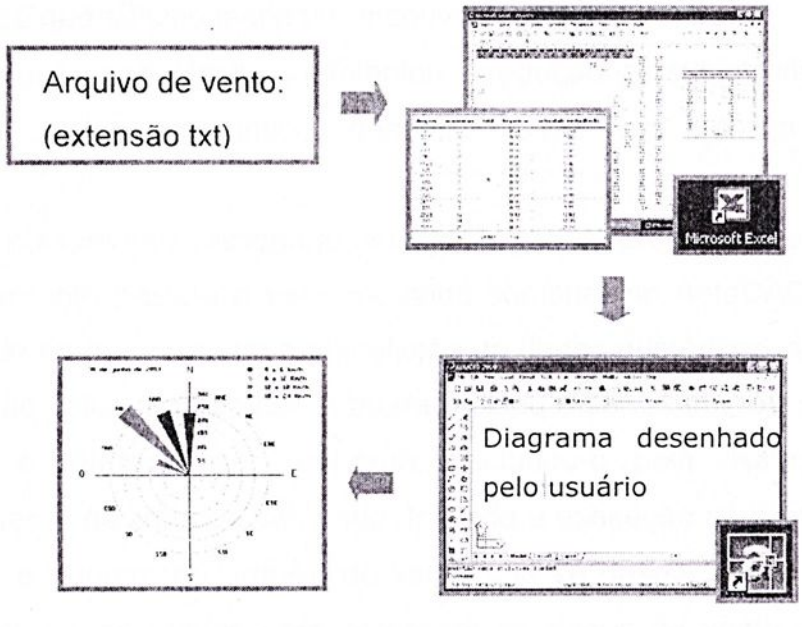


Figura 8 - Esquema para obtenção do diagrama de ventos

Este processo possui os seguintes inconvenientes:

- Aqueles relativos à presença da planilha no tratamento dos dados de vento:

- Pelo tempo excessivo demandado pelo usuário para aplicar os dados de vento na planilha;
- Por se constituir em um fator de risco potencial no comprometimento da confiabilidade nos resultados, exigindo a atenção e a familiaridade do usuário na intervenção, devido aos ajustes necessários na planilha a cada novo arquivo inserido.
- Pela grande quantidade de linhas nos dados de vento que, ou ultrapassavam a capacidade da planilha, ou a tornavam sobrecarregada.

- A dependência de um usuário conhecedor do manuseio adequado de um programa gráfico de desenho assistido por computador. Mesmo dispondo de um usuário com tal perfil, ainda restavam os incovenientes da falta de padronização entre diagramas resultantes, mesmo em se tratando de um mesmo usuário, e do tempo excessivo exigido em tal atividade.

De acordo com os fatores mencionados, a continuidade do esforço empreendido pelo projeto Ondisa na obtenção dos dados merecia uma sistematização tão automatizada quanto possível do processamento destes dados. Os aspectos até aqui mencionados foram o ponto de partida para a elaboração de um processo que solucionasse tais inconvenientes.

A solução encontrada contemplou a redução da subjetividade do usuário no processo e unificou as funções desempenhadas pela planilha e pelo programa gráfico.

O problema foi solucionado pela execução de programas em AutoLISP. Todo o processamento passou a ser executado somente no AutoCAD, demonstrando a versatilidade do programa na manipulação de dados numéricos, alfa-numéricos e de programação voltada a objetos. A tarefa passou a se resumir em eleger o programa adequado à tarefa a ser realizada, iniciando-o pela digitação do comando correspondente na linha de comando. Iniciada a execução do programa, é solicitado ao usuário o número do arquivo de vento que se deseja processar. Um esquema contendo as novas etapas para processar os dados de vento está ilustrado pela figura 9.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

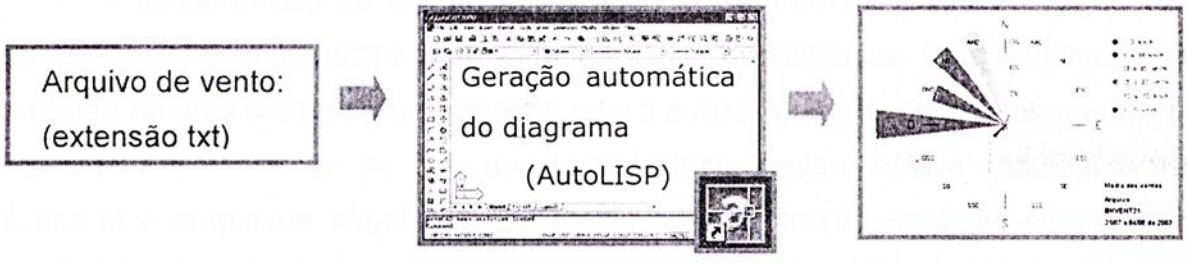


Figura 9 - Esquema para obtenção do diagrama de ventos de forma automatizada

Os programas referentes às aplicações dos dados de vento foram executados com o objetivo de eliminar as operações repetitivas, reduzindo assim o risco de erro por parte do usuário, promovendo a redução considerável no tempo de execução da tarefa e padronizando a forma da saída gráfica.

Tais programas vão desde aplicativos que dependem do fornecimento de informações pelo usuário, até programas de geração automática de diagramas. Tais diagramas representam a intensidade média do vento para cada direção, contemplando ainda a freqüência de ocorrência, conforme última parte da Figura 9. O comprimento das fatias representa a freqüência de ocorrência do vento, enquanto que a cor descreve o intervalo na qual está contida a intensidade do vento. Para isto foi preciso adotar critérios, principalmente os relacionados à determinação da velocidade média direcional para as 16 direções disponíveis, defasadas entre si de 22,5 graus.

Ao iniciar o programa é acionado um contador que, ao ler cada linha, registra uma unidade adicional, definindo a quantidade total de linhas do arquivo no término da leitura da última linha. Este contador é importante na determinação das velocidades médias direcionais, como será visto adiante.

Cada direção corresponde a uma variável no programa. Cada variável é composta de uma lista de elementos. Uma lista pode ser entendida como uma fila de elementos que pode se estender infinitamente, da qual pode ser inserido ou retirado qualquer elemento. Na estrutura do programa, para cada uma das 16 direções foi atribuída uma lista correspondente. Cada elemento do arquivo de vento que representa a intensidade do vento será classificado em uma, e apenas uma lista.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

A classificação de um elemento qualquer dentro da lista correspondente é feita com base na definição da amplitude angular de influência. Esta é definida como a região na qual o elemento ali contido passa a fazer parte da lista de elementos que representam a direção do eixo de simetria desta região. Através da Figura 10 é ilustrada a amplitude angular de influência para a direção nordeste como direção predominante. Desta forma, um vento registrado como proveniente de até 11.25° em relação a nordeste, independente se no sentido horário ou anti-horário, será classificado como se viesse de nordeste.

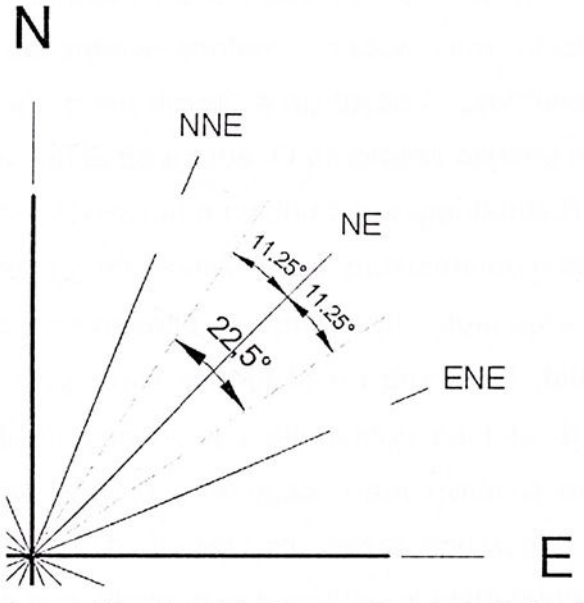


Figura 10 - Amplitude angular de influência

O programa é orientado a localizar o elemento que representa a direção do vento, contido na linha de dado. Após relacioná-lo com uma das 16 variáveis correspondentes, de acordo com a amplitude angular de influência, incorpora o valor da intensidade do vento à lista correspondente à direção determinada.

Após lidas todas as linhas do arquivo de dados, a quantidade de elementos de cada uma das 16 listas é determinada, e é extraída a média dos elementos componentes. Como os elementos são numéricos e se referem à intensidade da velocidade do vento, este processo fornece a velocidade média em cada direção para o arquivo analisado. O resultado da soma dos elementos que compõe as 16 variáveis é comparado com o valor obtido no contador do programa. Caso não coincidam, uma mensagem de alerta é gerada.

A etapa de validação dos programas foi auxiliada por processamento paralelo

em planilha eletrônica. Partindo de um mesmo arquivo de dado de vento, este era processado por aplicação em planilha e por processamento do programa. O processo era repetido sucessivas vezes com dados de vento distintos. Os resultados eram então comparados até atestar com segurança, a confiabilidade no programa. Esta etapa de validação serviu ainda para uma verificação inesperada da fragilidade do método de processamento dos dados de vento por meio de planilha. Em todas as vezes que houve divergência entre resultados para um mesmo arquivo de vento, o erro se concentrou em erros de operação pela introdução do arquivo de ventos na planilha. O erro de operação mais freqüente ocorria no momento de ajustar o tamanho da planilha ao arquivo contendo dados. Uma única vez o programa não executou a operação até o fim devido à digitação involuntária de um caractere alfa-numérico em uma das linhas de dados. O programa acusou o erro não concluindo a operação. Já a planilha processou a coluna correspondente normalmente como se a célula contendo o caractere não estivesse lá, mascarando o erro.

Após a execução da maioria dos programas aqui apresentados, são traçados gráficos. No caso de uma nova execução do programa, tais desenhos se tornam desnecessários. A eliminação destes elementos da tela do computador é tarefa obrigatória antes de uma nova execução. Para evitar a eliminação acidental de elementos ou o tempo gasto inutilmente nesta operação, foi criado o programa LIMPAMAPA.LSP. Ele age eliminando somente os elementos criados pela execução do programa, garantindo a agilidade do processo e a permanência de elementos importantes à base de referência. É acionado pelo comando *ZZ*. Sua aplicação é irrestrita a todos os aplicativos aqui apresentados.

3.1.1.1. PROGRAMA MEDIA103.LSP

A função do programa MEDIA103.LSP é percorrer as linhas de rótulo 103 do arquivo de vento e processar as médias direcionais com base nos elementos que se referem à direção do vento e à respectiva velocidade instantânea. Como a cada 5 segundos foi gerada uma linha de rótulo 103, o programa MEDIA103.LSP fornece o diagrama da velocidade direcional média contemplando a freqüência de ocorrência de um evento no qual cada leitura é feita em intervalos de 5 segundos. Um diagrama em caráter ilustrativo é mostrado na Figura 11.

O programa é carregado pela digitação de M103 na linha de comando.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

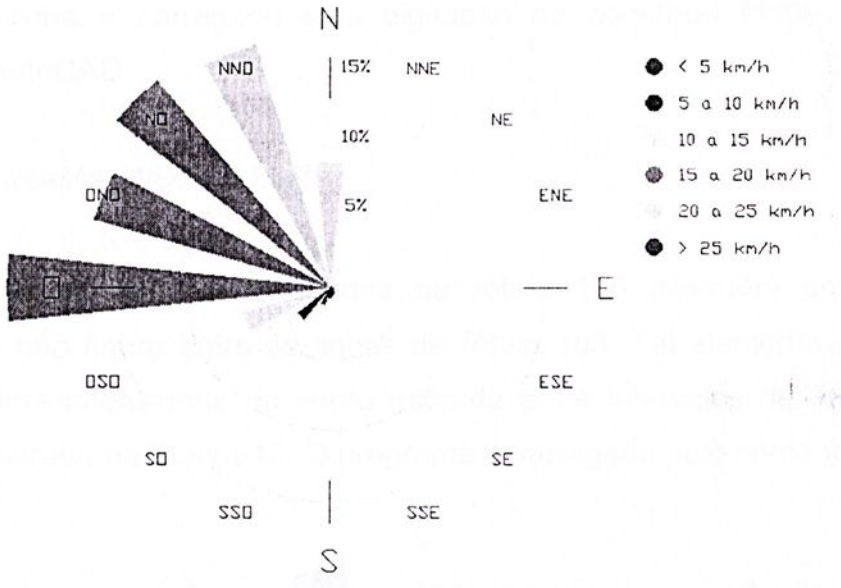


Figura 11 - Diagrama gerado pelo programa MEDIA103.LSP baseado em um arquivo aleatoriamente escolhido para fins ilustrativos.

3.1.1.2. PROGRAMA MEDIA106.LSP

De maneira análoga ao programa anterior, o programa MEDIA106.LSP traça automaticamente o diagrama contendo a velocidade média direcional e a freqüência de ocorrência para o arquivo escolhido. O aspecto visual dos dois programas é muito semelhante. O que os diferencia é a estrutura de programação utilizada para identificar a posição das linhas de rótulo 106 e as respectivas posições das variáveis de interesse em cada linha do arquivo . O diagrama é ilustrado na Figura 12.

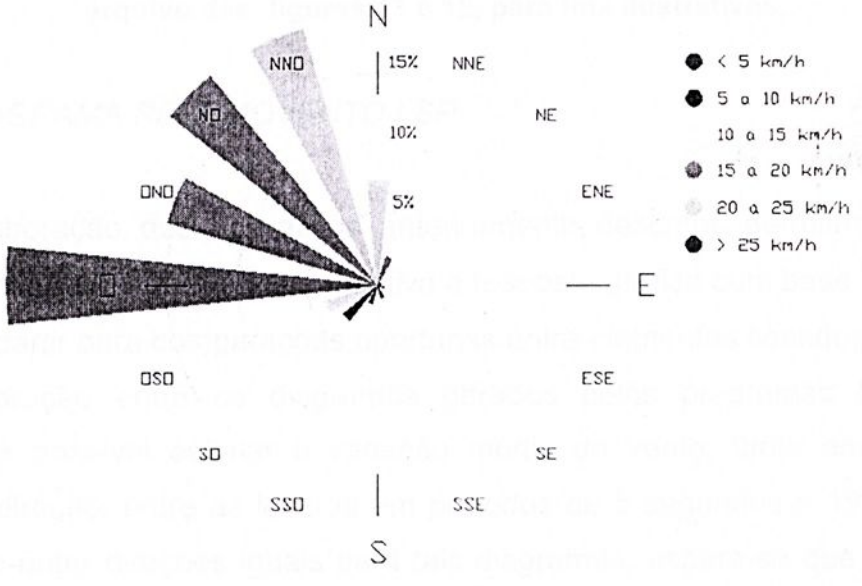


Figura 12 - Diagrama gerado pelo programa MEDIA106.LSP

O programa é carregado pela digitação do comando M106 na linha de comando do AutoCAD.

3.1.1.3. PROGRAMA MAX106.LSP

As linhas do arquivo de dados de rótulo 106 possuem um importante elemento que não figura entre as linhas de rótulo 103. Tal elemento representa o valor da máxima intensidade do vento ocorrida entre intervalos de 15 minutos. O diagrama é ilustrado na Figura 13. O programa é carregado pelo comando MAX106.

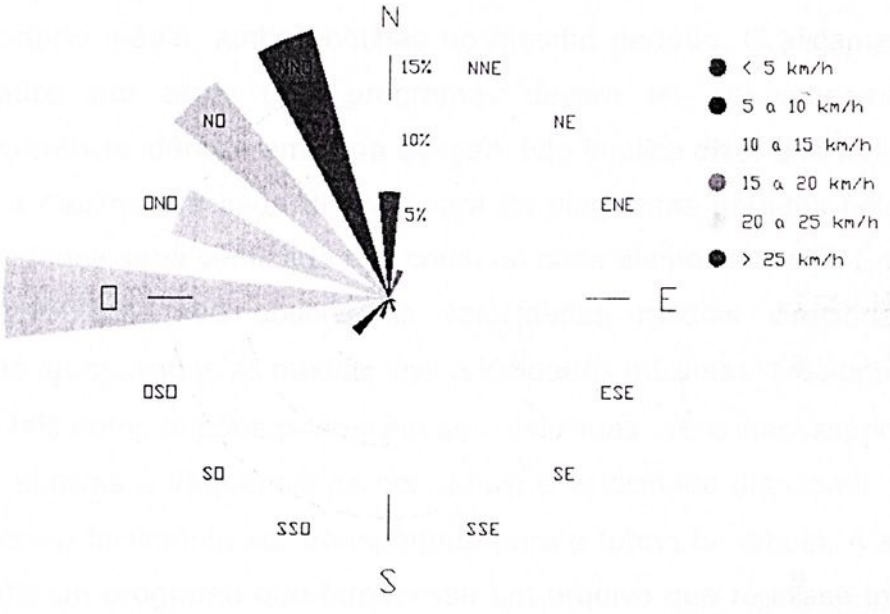


Figura 13 - Diagrama gerado pelo programa MAX106.LSP baseado no mesmo arquivo das figuras 11 e 12, para fins ilustrativos.

3.1.1.4 PROGRAMA RESUMOVENTO.LSP

A elaboração dos aplicativos anteriormente descritos permite não apenas agilizar de maneira padronizada e objetiva a resposta gráfica com base em dados de vento, mas partir para comparações oportunas entre elementos contidos nos dados. Pela comparação entre os diagramas gerados pelos programas M103.LSP e M106.LSP é possível estimar a variação média do vento, tanto em intensidade quanto em direção, entre as leituras em períodos de 5 segundos e 15 minutos. Na comparação entre direções iguais para tais diagramas, espera-se que a freqüência de ocorrência, representada pelo comprimento no sentido radial, tenham

comparativamente pouca diferença. Isto representaria um bom indicativo de que o vento mantém uma certa estabilidade direcional, implicando em uma maior segurança em se optar pela eliminação definitiva da leitura realizada a cada 5 segundos. Tal medida seria favorável à redução considerável da quantidade de elementos presentes no banco de dados. Esta redução na quantidade de dados armazenados é da ordem de 180 vezes, já que agrupamentos contendo 180 linhas de rotulo 103 seriam substituídas por uma única linha de rótulo 106.

Outra importante comparação é feita entre os diagramas gerados pelos programas M106.LSP e MAX106.LSP. Tal comparação possibilitaria estimar a relação entre amplitude das máximas ocorrências da intensidade de vento, com a respectiva velocidade média, ambas obtidas no mesmo período. Graficamente, os diagramas gerados por estes dois programas devem ter obrigatoriamente a freqüência de ocorrência idêntica em cada direção. Isto implica dizer que a distância radial deve ser a mesma em cada direção para os diagramas gerados pelos dois programas. A mudança seria verificada nas cores de cada elemento radial. Enquanto no programa M106.LSP são obtidas as velocidades médias direcionais, no MAX106.LSP são processadas as médias das velocidades máximas direcionais.

Para que tais comparações pudessem ser realizadas, seria necessário reunir as informações relativas à freqüência de ocorrência e velocidade direcional, em um arquivo que pudesse facilmente ser transportado para a forma de tabela. A solução foi a execução de um programa que fornecesse um arquivo que reunisse todos as informações relativas aos diagramas executados pelos programas M103.LSP, M106.LSP e MAX106.LSP. Este programa se denomina RESUMOVENTO.LSP e é processado independentemente dos programas de geração de diagramas. O comando a ser indicado na linha de comando do AutoCAD é *RES*. Em seguida é solicitado ao usuário que forneça o número do arquivo desejado. As informações geradas são dispostas em um arquivo de extensão "txt". Os elementos do arquivo são separados por vírgulas, sem espaçamento, de modo a facilitar a exportação para qualquer planilha eletrônica pela opção de utilizar a vírgula como delimitador de campo. O aspecto do arquivo de extensão "txt" e da planilha após importação dos dados estão ilustrados pela Figura 14.





resumo-BK21 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```
BKVENT21.txt

Direcao,vel103,f103,vel106,f106,velmax106,f103-f106

N,23,8.9,23.3,7.3,26.5,1.5
NNE,13.6,1.7,15.1,2.1,18.8,0.3
NE,14.5,0.5,6.9,0.2,10,0.3
ENE,5.6,0.1,7.6,0.2,11.4,0.1
E,6.2,0.3,0,0,0,0.3
ESE,5.4,0.3,5.6,0.5,8.8,0.2
SE,4.4,0.5,3,0.2,9,0.2
SSE,3.7,0.6,4,0.9,7.8,0.3
S,3.3,0.7,2.8,0.2,6.6,0.5
SSO,4.2,1.2,3.4,1.4,7,0.1
SO,5.3,2.8,5.6,3.2,8.8,0.4
OSO,11.9,6.2,11.3,3.9,14.6,2.3
O,16.8,22.2,16.7,26.3,20.9,4.1
ONO,16.4,16.9,16.1,15.6,20.2,1.4
NO,19.6,19,18.9,19,23.3,0
NNO,23.8,18.1,24.3,19,28.6,0.9

linhas103,78487

linhas106,437

total,85465
```

BKVENT21.txt

Direção	vel103	freq103	vel106	f106	velmax106	f103-f106
N	23	8,9	23,3	7,3	26,5	1,5
NNE	13,6	1,7	15,1	2,1	18,8	0,3
NE	14,5	0,5	6,9	0,2	10	0,3
ENE	5,6	0,1	7,6	0,2	11,4	0,1
E	6,2	0,3	0	0	0	0,3
ESE	5,4	0,3	5,6	0,5	8,8	0,2
SE	4,4	0,5	3	0,2	9	0,2
SSE	3,7	0,6	4	0,9	7,8	0,3
S	3,3	0,7	2,8	0,2	6,6	0,5
SSO	4,2	1,2	3,4	1,4	7	0,1
SO	5,3	2,8	5,6	3,2	8,8	0,4
OSO	11,9	6,2	11,3	3,9	14,6	2,3
O	16,8	22,2	16,7	26,3	20,9	4,1
ONO	16,4	16,9	16,1	15,6	20,2	1,4
NO	19,6	19	18,9	19	23,3	0
NNO	23,8	18,1	24,3	19	28,6	0,9

linhas103	78487
linhas106	437
total	85465

Figura 14 - À esquerda o aspecto do arquivo gerado e à direita sua transposição para planilha eletrônica.

3.1.1.5. PROGRAMA GRAFVENTO.LSP

Para as ocasiões em que haja a necessidade de traçar o diagrama de ventos com o fornecimento dos dados pelo usuário, foi criado o programa GRAFVENTO.LSP. O programa traça o diagrama de ventos, sendo necessário o fornecimento, pelo usuário, tanto da freqüência de ocorrência quanto da velocidade média para cada direção. O comando a ser indicado na linha de comando do AutoCAD é GV. A diferença estrutural essencial entre este programa e os apresentados anteriormente diz respeito à obtenção do valor da velocidade e da freqüência por direção. Enquanto nos programas anteriores as variáveis eram obtidas mediante processamento dos dados de vento, neste, tais variáveis são fornecidas diretamente pelo usuário. Pode ser utilizado em casos nos quais se dispõe da freqüência de ocorrência e velocidade média em cada direção, e deseja-se obter um diagrama de maneira rápida e de estrutura padronizada com os outros aplicativos anteriormente mencionados.

3.1.2. PISTA DE VENTO

A localização aproximada dos pontos de maior pista de vento, no lago de Ilha Solteira, foi um dos objetivos principais e iniciais do presente trabalho. O método inicial consistiu em, a partir de uma imagem em escala conveniente que forneceu 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 auxilio 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 ambiente AutoCAD e o conjunto foi georeferenciado, conforme descrito no Anexo 1.

As pistas eram traçadas, linha a linha, pelo usuário e em quantidade de duas pistas para cada direção, sendo descartada a menor dentre as duas, após processamento dos comprimentos através de planilha eletrônica, conforme Figura 15. O processo era realizado para as 16 direções, implicando no traçado de 32 pistas pelo usuário (duas para cada direção), ou ainda, 608 linhas para cada lago que fosse estudado.

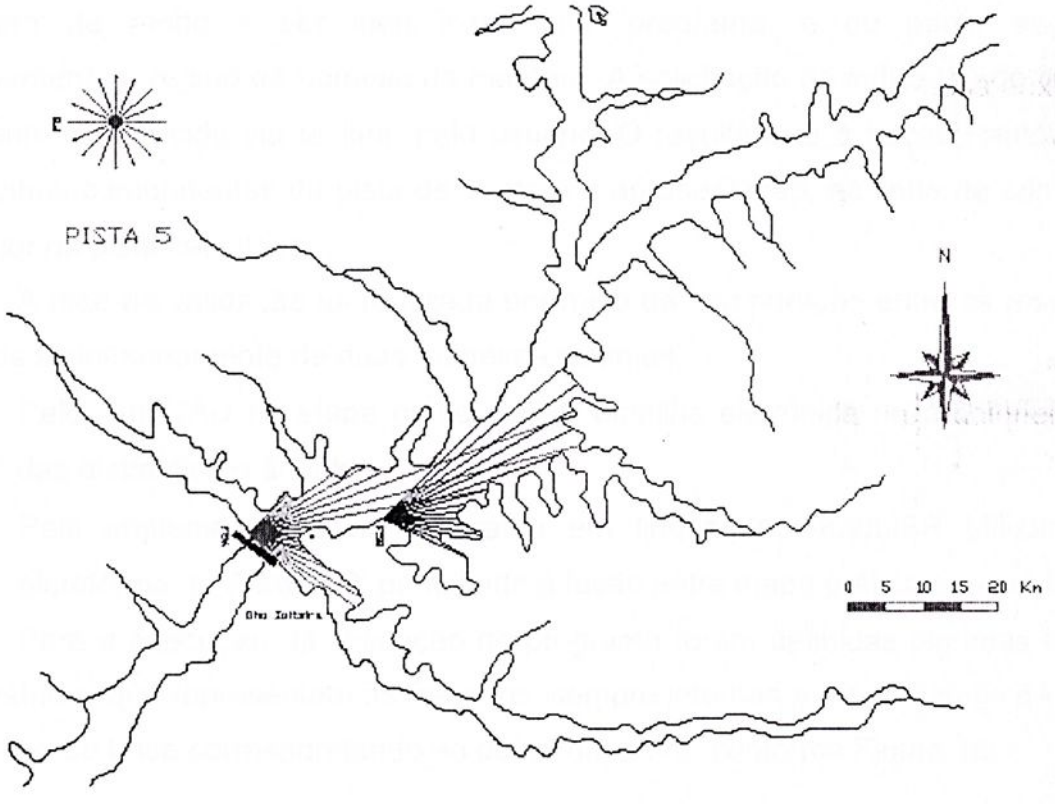


Figura 15 - Aspecto gráfico do processo inicial de obtenção das pistas de vento pelo usuário.

Na seqüência era feita a leitura do comprimento de cada linha e a conseqüente transcrição em uma planilha adequadamente preparada para processar as informações.

Tal processo provocava os seguintes inconvenientes:

- Quantidade excessiva de intervenções, pelo usuário, na determinação do comprimento da pista;

- Forte influência da subjetividade do usuário e, conseqüentemente, aumento da imprecisão na localização do ponto de pista máxima.

Esta imprecisão era amenizada com o aumento da quantidade de pontos próximos, na determinação da pista de vento. Porém, o aumento da quantidade de pontos a examinar inviabilizava a análise pelo tempo excessivo despendido nesta tarefa.

Fazia-se necessária uma solução que buscasse a redução da quantidade de tarefas executadas pelo usuário, tanto no traçado das linhas auxiliares da pista de vento, quanto na transcrição das informações para a planilha eletrônica. Foi então elaborado um programa em AutoLISP denominado VENTO.LSP. Através dele é solicitado ao usuário a indicação, pelo *mouse,* de um ponto qualquer sobre a margem de modo a ser identificada pelo programa, e do ponto desejado internamente à região de domínio da margem. A solicitação da indicação da direção do vento é fornecida via teclado pelo usuário. O resultado é o traçado automático das linhas componentes da pista de vento e a apresentação, na linha de comando, do valor da pista calculada.

A fase de validação foi realizada por meio da comparação entre os resultados obtidos simultaneamente de duas maneiras distintas:

- Pelo AutoCAD na etapa gráfica e por planilha eletrônica no processamento das distâncias e ângulos;
- Pela implementação do programa em linguagem AutoLISP utilizando a plataforma do AutoCAD, permitindo a fusão entre etapa gráfica e numérica.

Para a execução da validação do programa foram definidas algumas formas geométricas que representam as margens, sempre internas a um retângulo de altura unitária e de base correspondendo ao dobro da altura, conforme Figura 16.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

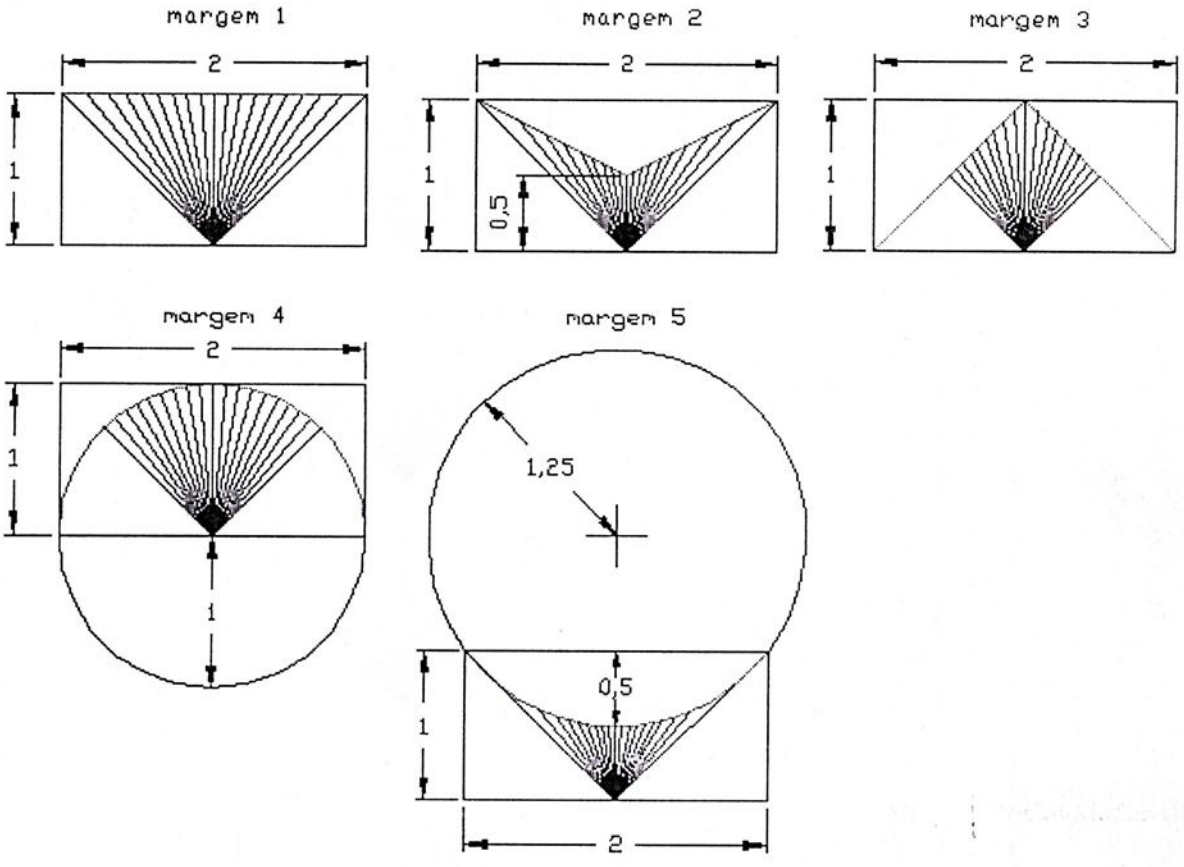


Figura 16 Margens esquemáticas para a validação do programa VENTO.LSP.

Em cada margem ilustrada pela Figura 17 foi obtido o comprimento da pista de vento pelos dois modos. Através da comparação dos resultados, verificou-se a perfeita igualdade entre os comprimentos obtidos, concluindo-se, portanto, que o programa VENTO.LSP foi aprovado na etapa de validação, podendo ser utilizado com segurança como substituto do método até então empregado.

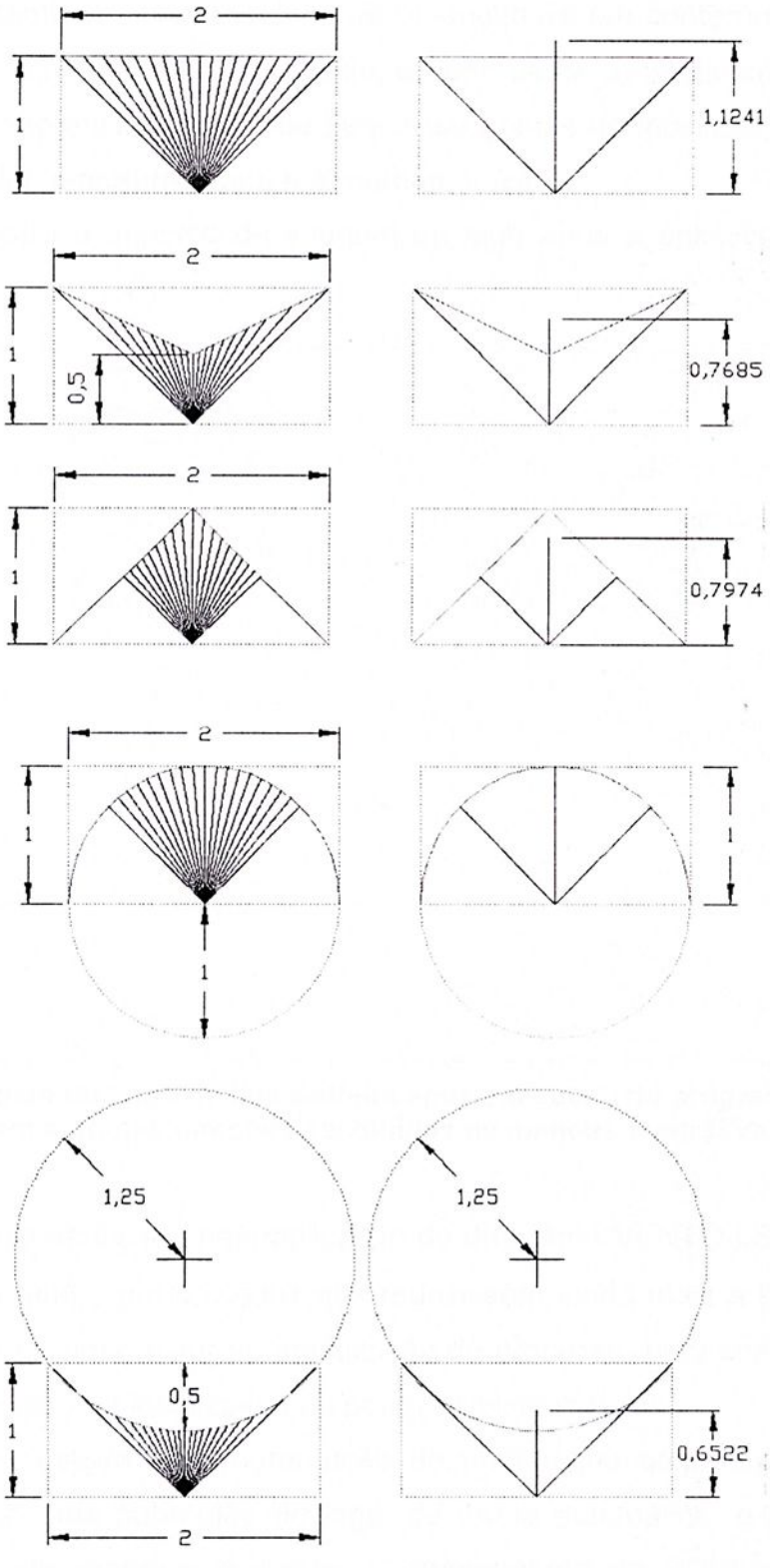


Figura 17 Na esquerda a margem esquemática e a direita a respectiva representação do comprimento obtido pelo programa VENTO.LSP.

Neste procedimento de reestruturação do processo de traçado das pistas, foi constatado também a necessidade de obtenção de um contorno de margem de fonte suficientemente precisa. Passou-se, a partir desta constatação, a utilizar fotos de satélite e, preferencialmente, que possuísse pontos de localização conhecida. A foto de satélite foi georeferenciada e a margem traçada.

A Figura 18 ilustra o aspecto da imagem do lago após a aplicação do programa VENTO.LSP.

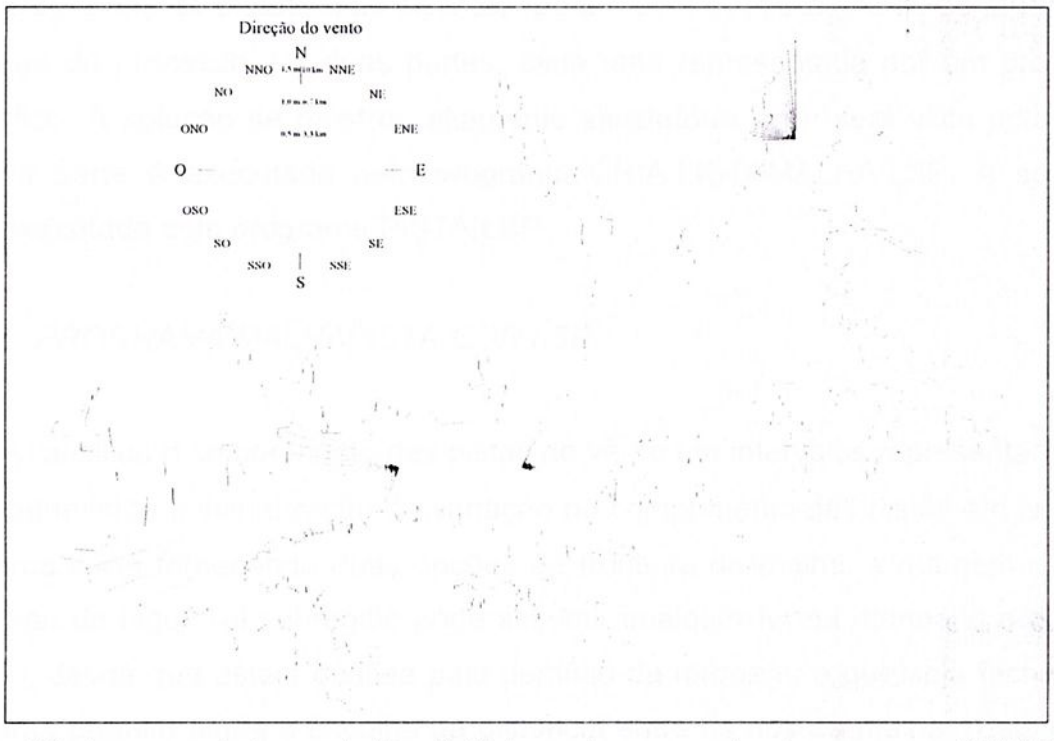


Figura 18 - Imagem do Lago de Ilha Solteira após execução do programa VENTO.LSP em algumas direções escolhidas de maneira ilustrativa.

A eficiência verificada pela aplicação do programa VENTO.LSP possibilitou o investimento de tempo em soluções que reduzissem ainda mais a subjetividade do usuário, através de uma maior automatização do processo, bem como a busca pelo aumento da precisão na localização do ponto de pista máxima.

A solução estava na programação de uma rotina que percorresse pontos eqüidistantes em uma subregião do lago, de forma automática, e que registrasse graficamente e de maneira evidente, o comprimento da pista em cada ponto analisado. Para cada direção o programa percorreria todos os pontos da subregião. No caso de se desejar determinar as pistas de vento em todo o lago, o programa deveria ser capaz de tomar toda a região limitada pela margem como fronteira.

Optou-se pela geração de uma malha interna à região de interesse. Os

pontos de obtenção do comprimento das pistas são os nós da malha. Criou-se o programa MALHAPISTA-COR.LSP. Sua nova abordagem permite fazer a análise visual da variação do comprimento das pistas no plano contido pela superfície do lago, não se restringindo somente a análises puntuais. O inconveniente encontrado é a relação crescente entre o tempo de processamento com o número de nós analisados. Foram tentadas alterações no sistema de gerenciamento de memória, nas formas de manipulação de objetos e até pesquisas sobre o trabalho integrado entre programas de plataformas distintas, porém sem sucesso. Partiu-se então para a divisão do processo em duas partes, cada uma representada por um programa específico. A solução se mostrou altamente satisfatória, com será visto adiante. A primeira parte é executada pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP. A segunda parte executada pelo programa PISTA.LSP.

3.1.2.1. PROGRAMA MALHAPISTA-COR.LSP

Classifica o comprimento das pistas de vento em intervalos representados por cores permitindo a visualização da variação do comprimento das pistas em lagos. O programa inicia fornecendo duas opções de fronteira da malha: a margem ou uma subregião do lago. Tal subregião pode assumir qualquer forma, tamanho e posição no lago, desde que esteja contida pelo domínio da margem, e que seja fechada. O programa permite ainda a escolha da distância entre os nós da malha. Esta opção permite refinar o traçado além de possibilitar reduções sucessivas de subregiões de modo a atingir o grau de precisão exigido pelo usuário.

A distância entre os nós e a direção do vento são fornecidos, via teclado, diretamente na linha de comando do AutoCAD, e sua escolha fica a critério do usuário. Transpostas estas etapas, o programa percorre cada nó da malha aplicando o método proposto por SAVILLE (1954) em cada um deles.

As Figuras 19 e 20 ilustram uma situação em que o processamento foi interrompido propositalmente de modo a demonstrar os elementos anteriormente descritos. Trata-se da execução do programa para a direção norte. O objetivo da Figura 20 é o de mostrar o exato posicionamento da origem das linhas auxiliares sobre cada nó da malha gerada.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

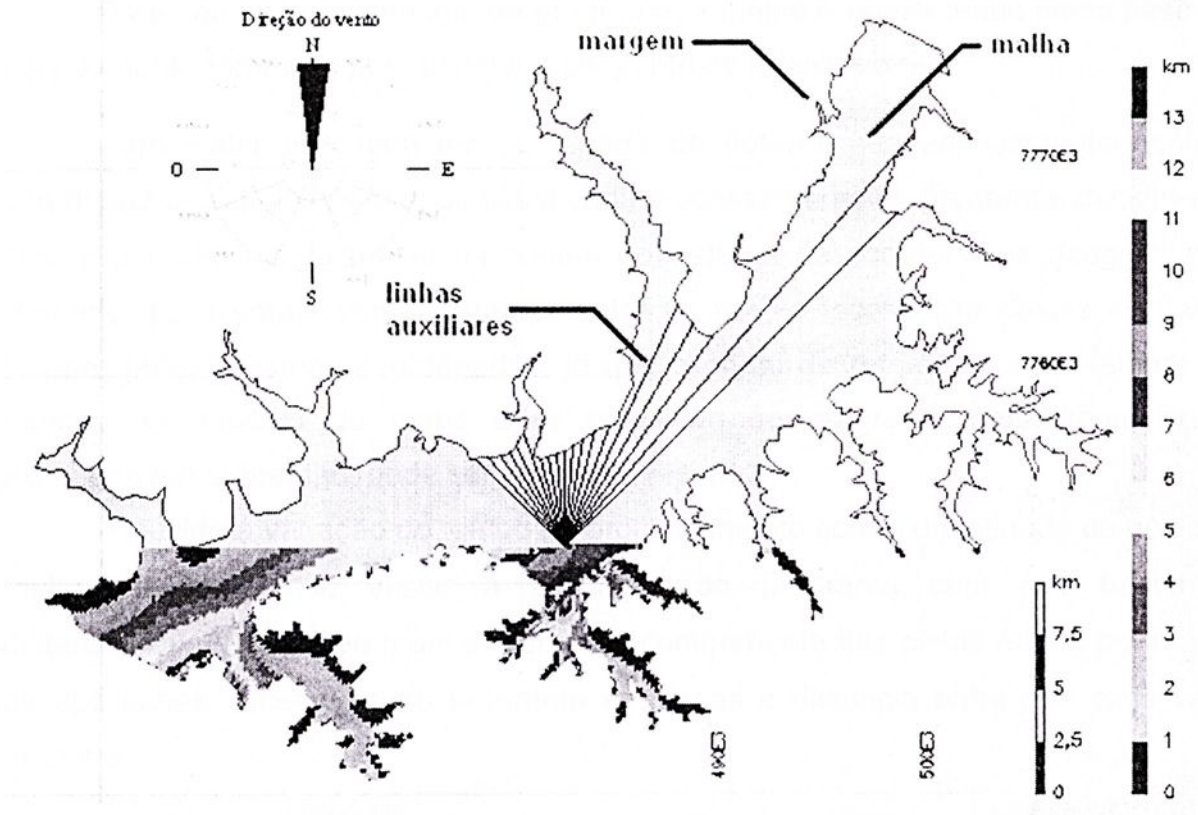


Figura 19 - Detalhe dos elementos gráficos envolvidos na execução do programa

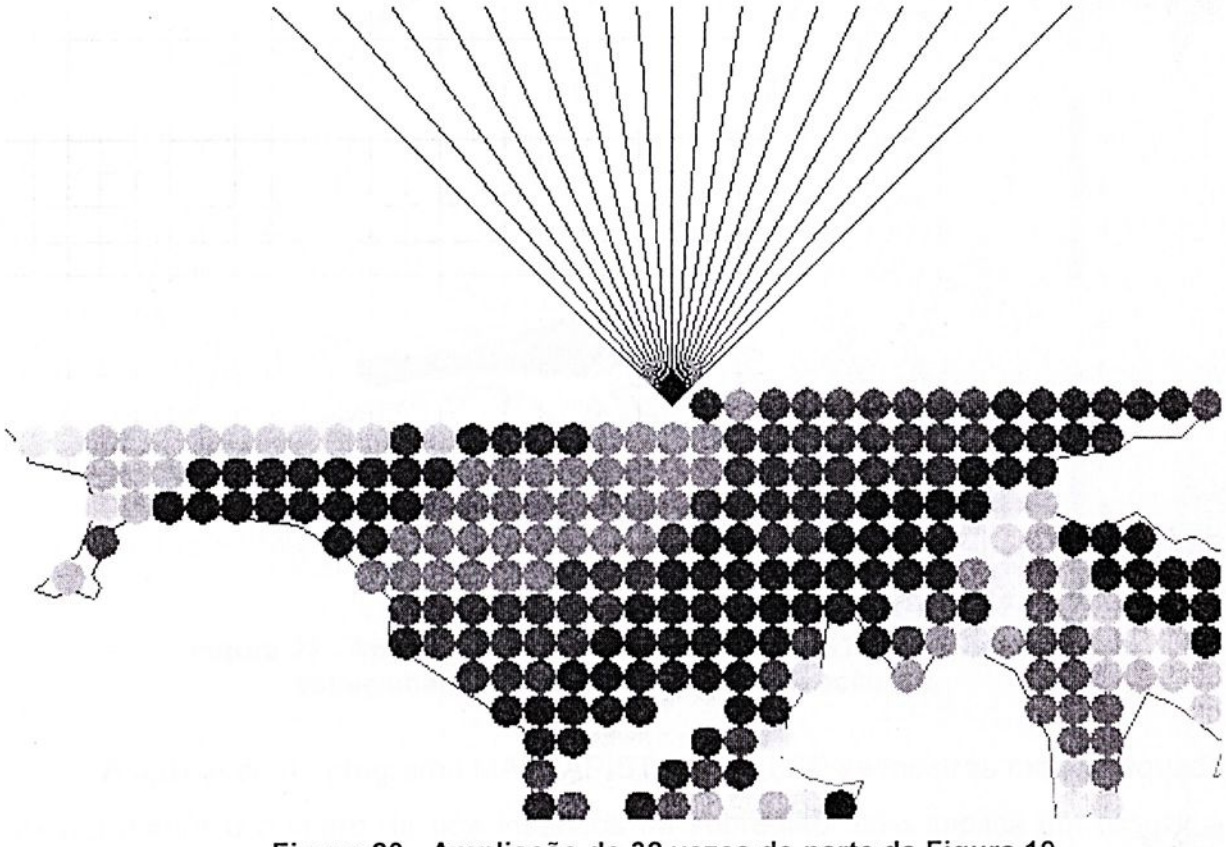


Figura 20 - Ampliação de 32 vezes de parte da Figura 19

Para cada processamento do programa, a malha é refeita tendo como base o espaçamento fornecido pelo usuário e um ponto de referência.

Para evitar que uma malha, dotada de determinado espaçamento, tenha coordenadas distintas para seus nós a cada processamento do programa, decidiu-se fixar o primeiro nó da malha na origem do sistema de coordenadas geográficas. Portanto, para uma mesma distância entre os nós, a localização destes se dará sempre pelas mesmas coordenadas, já que o ponto de referência será sempre o mesmo. O aspecto do mapa após execução do programa, optando-se pela execução em subregião, pode ser visto pela Figura 21.

Devido à variação do tempo de processamento com a quantidade de nós da malha, recomenda-se iniciar a aplicação do programa com nós bastante distanciados. A obtenção mais eficiente do comprimento das pistas é feita por meio de aplicações sucessivas do programa em áreas e distância entre nós cada vez menores.

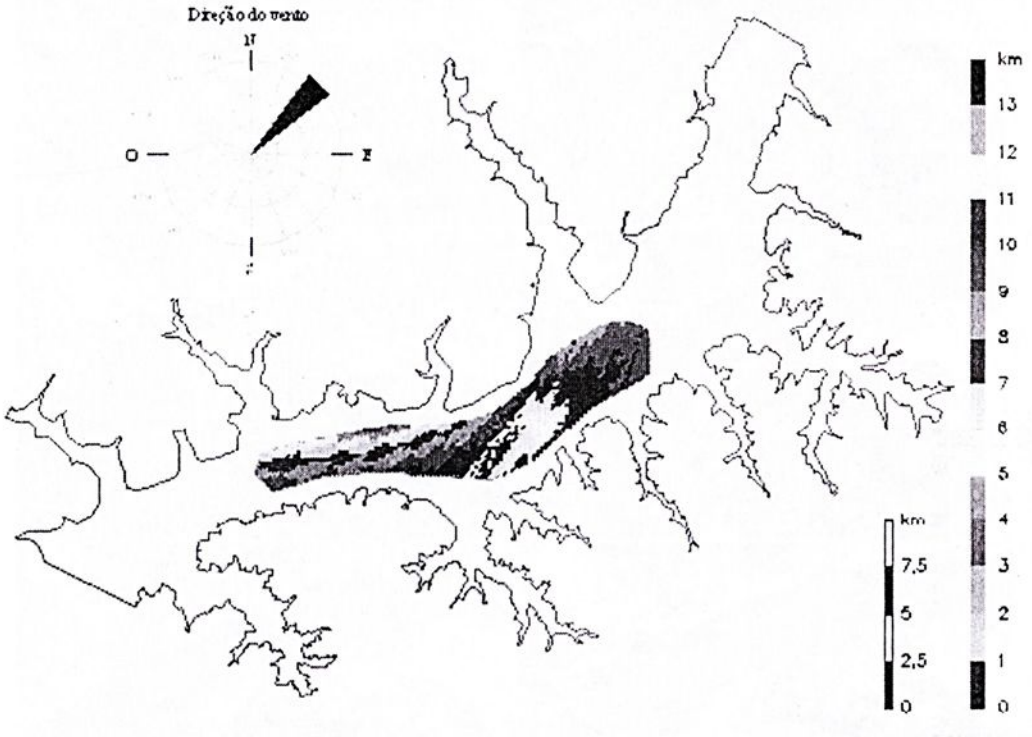


Figura 21 - Aplicação do programa MALHAPISTA-COR introduzindo espaçamento da malha de 200m e direção NE.

A aplicação do programa MALHAPISTA-COR.LSP se mostrou mais adequado quanto menor o número de nós inseridos na subregião. Isso implica em reduzir a subregião do lago ou aumentar a distância entre os nós. Independente da opção, ambas são indesejáveis. O que se busca é um programa que tenha a maior precisão

possível percorrendo todo o lago. Desta forma, optou-se por elaborar um novo programa que eliminasse, ou ao menos minimizasse, o inconveniente de sacrificar a precisão da localização do ponto em função do tempo de processamento. Na elaboração deste novo aplicativo, foi utilizado como base o programa MALHAPISTA-COR.LSP para a limitação de fatores como distância aceitável dos nós da malha e tempo de processamento admissível para tal estimativa. A situação ideal constitui-se em um programa que percorra os nós de uma malha limitada somente pelas margens como fronteira, com a distância entre nós sendo a menor possível, e com tempo de processamento que não ultrapasse um período estimado em cinco minutos. A solução deve encontrar um ponto de equilíbrio entre a precisão do programa e o tempo de processamento. Como o apelo visual é fator entre os mais relevantes em um programa de saída gráfica, inicia-se definindo a distância máxima aceitável entre os nós da malha, com o auxílio da Figura 22.

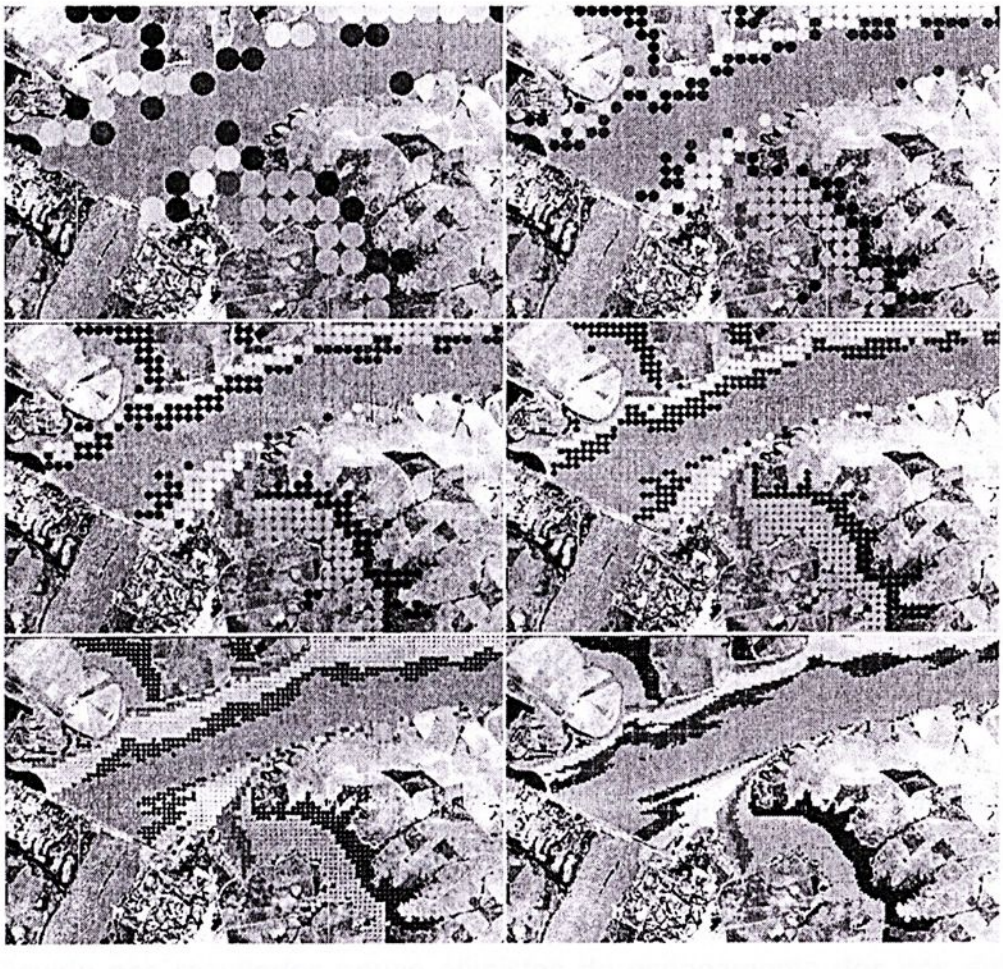


Figura 22 – Aspectos visuais entre diferentes espaçamentos de malha, iniciando a partir do canto superior esquerdo com os espaçamentos de 1000, 500, 400, 300, 200 e 100 metros, respectivamente.

Foram obtidas pela aplicação do programa MALHAPISTA-COR.LSP utilizando como base a foto de satélite do Lago de Ilha Solteira, em uma mesma direção, variando apenas o espaçamento da malha.

Constatou-se que uma estimativa suficientemente precisa deveria contar com um espaçamento da malha inferior a 400 metros. Parte-se então para a relação entre espaçamento da malha e tempo de processamento.

A distância entre os nós da malha condicionou a quantidade de pontos do lago e conseqüentemente o tempo de processamento do programa, como pode ser visto através da Figura 23.

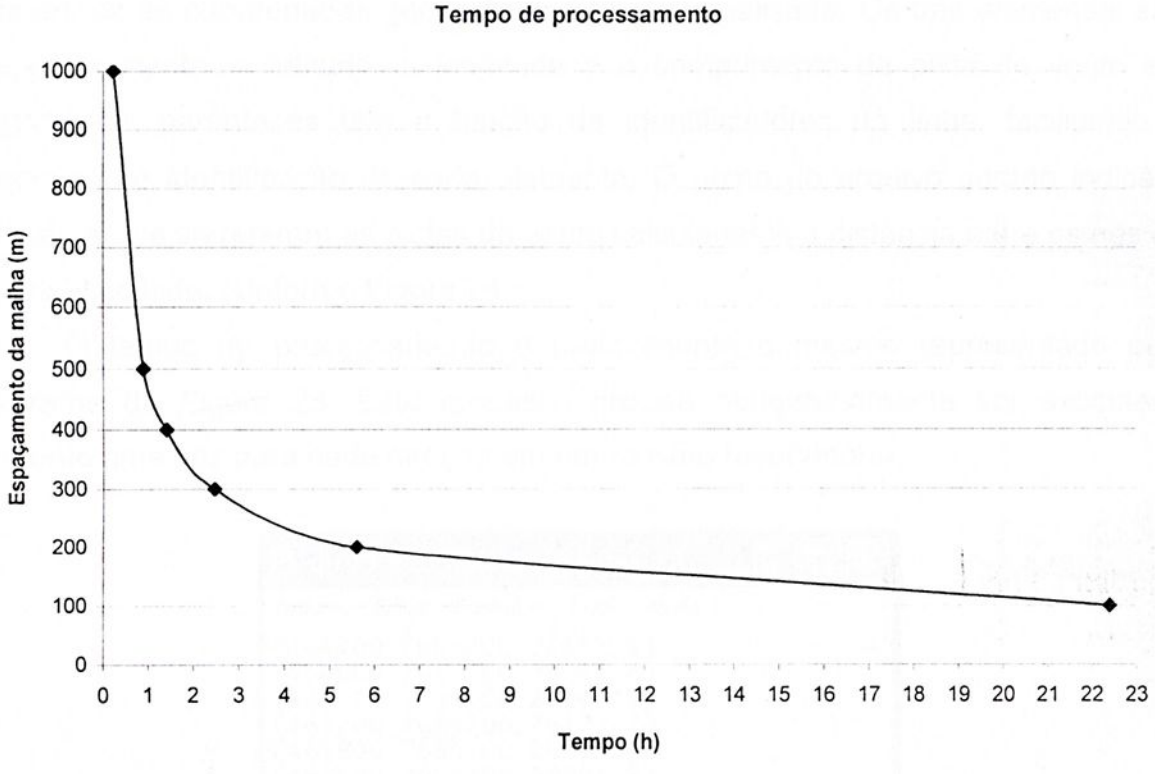


Figura 23 - Tempo de processamento do programa em função do espaçamento da malha

A Figura acima leva em consideração o processamento por um computador com processador da classe Athlon XP 1700, ambiente Windows XP e 512 MB de memória.

Devido aos resultados pouco otimistas do espaçamento dos nós em função do tempo de processamento do programa, optou-se pela reestruturação do programa em dois: o CRIA-LISTAMALHA.LSP e o PISTA.LSP.

3.1.2.2. PROGRAMA CRIA-LISTAMALHA.LSP

Este programa tem a função de percorrer os nós da malha, calculando o comprimento da pista em cada ponto, em uma direção determinada pelo usuário. Simultaneamente, um arquivo de extensão "txt" é gerado, no qual é adicionado uma linha contendo informação sobre posição do nó e comprimento de pista calculado, para cada nó tomado como base. Para fins de exemplificação, considere a malha de 200 metros disposta no lago de Ilha Solteira. Esta possui 10382 nós e, portanto, ao ser percorrida pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP gera um arquivo com 10382 linhas. Cada linha é composta de três elementos, sendo que os dois primeiros referem-se às coordenadas geográficas do ponto analisado. Os três elementos são respectivamente, a latitude, a longitude e o comprimento da pista de vento em metros. Os parênteses têm a função de identificadores da linha, facilitando o processo de identificação de cada elemento. O nome do arquivo gerado indica a direção a que se referem as pistas de vento calculadas e a distância entre os nós da malha escolhido, conforme Figura 24.

O tempo de processamento é praticamente o mesmo representado pelo diagrama da Figura 23. Este processo precisa obrigatoriamente ser executado somente uma vez para cada direção em um mesmo reservatório.

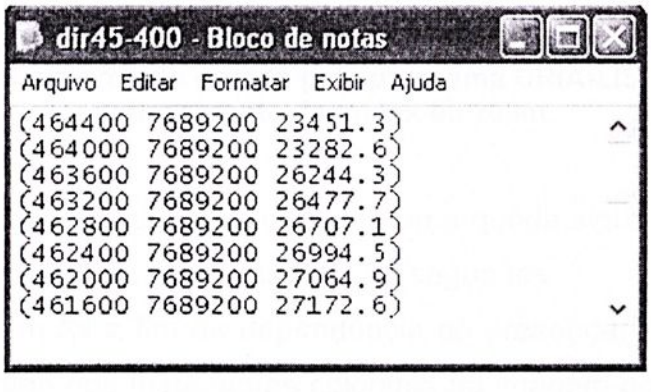


Figura 24 - Estrutura dos dados gerados

3.1.2.3 PROGRAMA PISTA.LSP

Com base no arquivo gerado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP, o processamento gráfico fica a cargo do programa PISTA.LSP. Os dois primeiros elementos da linha fornecem a posição do ponto, enquanto que o terceiro elemento

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. Após percorrer todas as linhas do arquivo, um modelo de ilustração é mostrado pela Figura 25.

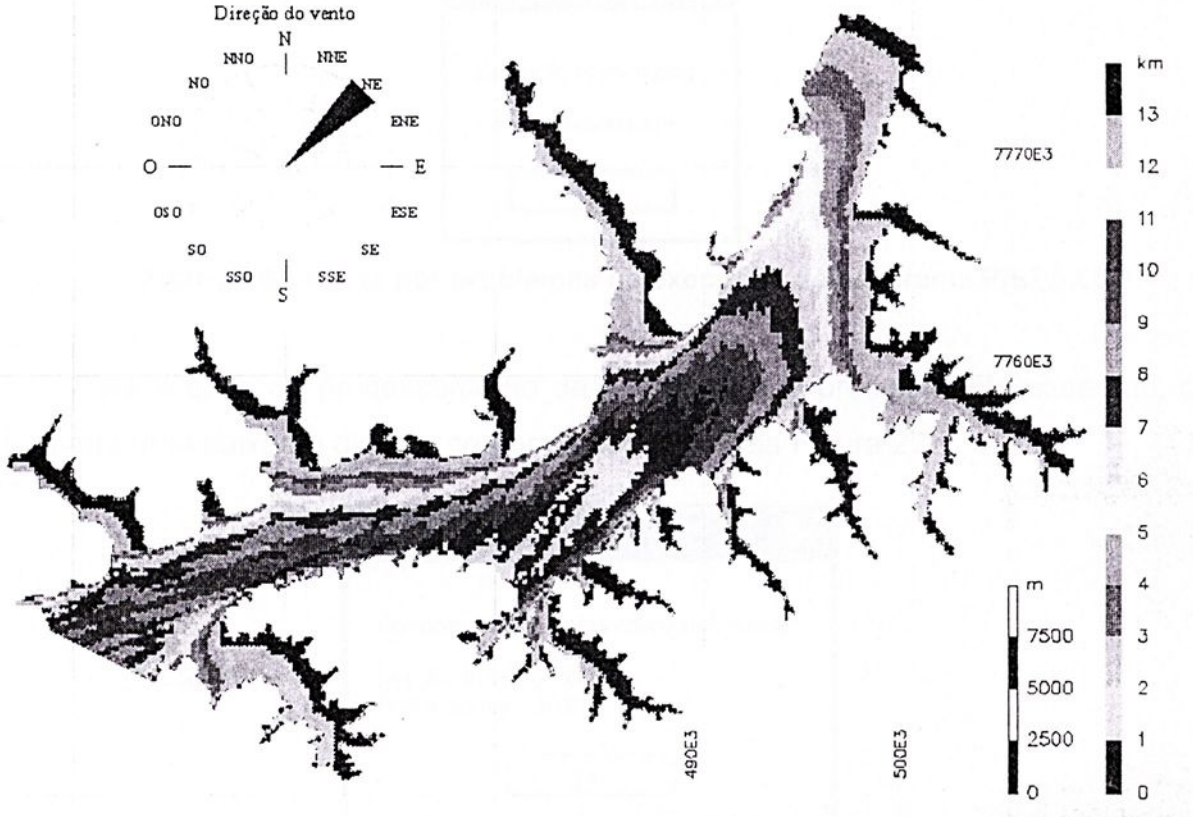


Figura 25 - Aplicação do programa PISTA.LSP no lago de Ilha Solteira para a direção NE, baseado em arquivo gerado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP com espaçamento da malha de 200m.

Tal modificação estrutural proporcionou uma queda significativa do tempo de processamento, passando de 5,5 horas para 50 segundos.

Outra vantagem foi o fim da dependência da presença física da malha e da margem para o traçado dos marcadores coloridos na imagem do lago. Desta forma, o programa ganhou versatilidade, podendo ser executado sobre a foto de satélite ou até mesmo em arquivos em branco. Isto porque a localização dos nós passou a ser feita através das coordenadas registradas no arquivo gerado, e não mais como intersecção entre as linhas da malha.

Verifica-se ainda que a distância entre os nós da malha passou a ser fixada pelo usuário no momento de processar o programa CRIA-LISTAMALHA.LSP, 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 26.



Figura 26 - Alerta por problemas na execução do programa PISTA.LSP

Para o caso de processamento de acordo com o procedimento esperado, é informada uma caixa de diálogo conforme ilustrado pela Figura 27.

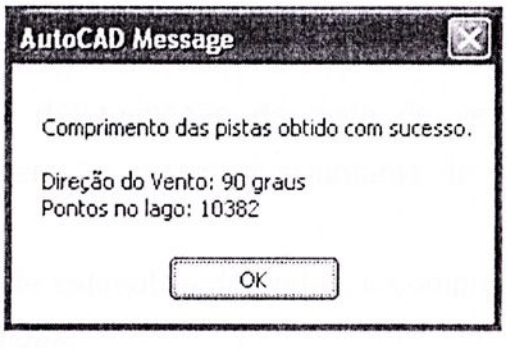


Figura 27 - Caixa de diálogo informativa transmitida ao final da execução do programa PISTA.LSP

3.1.2.4. PROGRAMA GRAFPISTA.LSP

A determinação das pistas de vento em qualquer lago gera 16 ilustrações, uma para cada direção. O resumo das máximas pistas de vento em cada direção por meio de um diagrama é feito pelo programa GRAFPISTA.LSP. Após a execução do comando GP, o programa solicita ao usuário, o fornecimento do comprimento da pista de vento em cada direção. Uma saída gráfica ilustrativa é mostrada pela Figura 28.

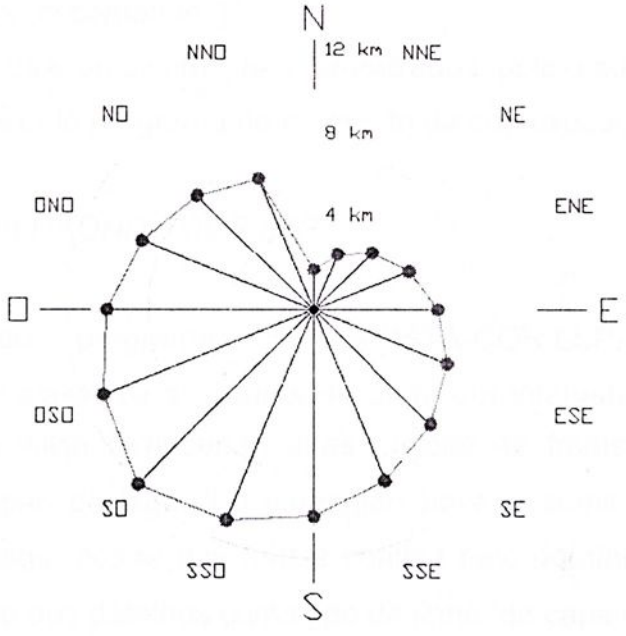


Figura 28 - Aspecto visual gerado pelo programa GRAFPISTA.LSP.

3.1.3. 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 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 a 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:

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

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

- JONSWAP através do comando "j".

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

3.1.3.1. PROGRAMA MALHAONDA-COR.LSP

Analogamente ao programa MALHAPISTA-COR.LSP, o programa MALHAONDA-COR.LSP classifica as alturas de onda em intervalos representados por cores. O programa inicia fornecendo duas opções de fronteira da malha: a margem ou uma subregião do lago. Tal subregião pode assumir qualquer forma, tamanho e posição no lago, desde que esteja contida pelo domínio da margem, e que seja fechada. Quanto aos detalhes como tipo de linha, de capa e de cor utilizada no traçado da subregião, estes não têm nenhuma importância porque o programa executa automaticamente as modificações necessárias, baseado na indicação da fronteira da malha pelo usuário. O programa permite ainda a escolha da distância entre os nós da malha. Esta opção permite refinar o traçado além de possibilitar reduções sucessivas de subregiões de modo a atingir o grau de precisão exigido pelo usuário.

Portanto, estruturalmente o MALHAPISTA-COR.LSP e o MALHAONDA-COR.LSP são muito semelhantes. A alteração estrutural que evidencia a diferença entre eles está na introdução de uma variável imprescindível para a estimativa da altura da onda: a intensidade do vento. Esta variável em conjunto com o comprimento da pista se constitui nas variáveis independentes dos modelos semi-empíricos de estimativa de altura de ondas aqui utilizados.

O aspecto do mapa após execução do programa pode ser visto pela figura 29.



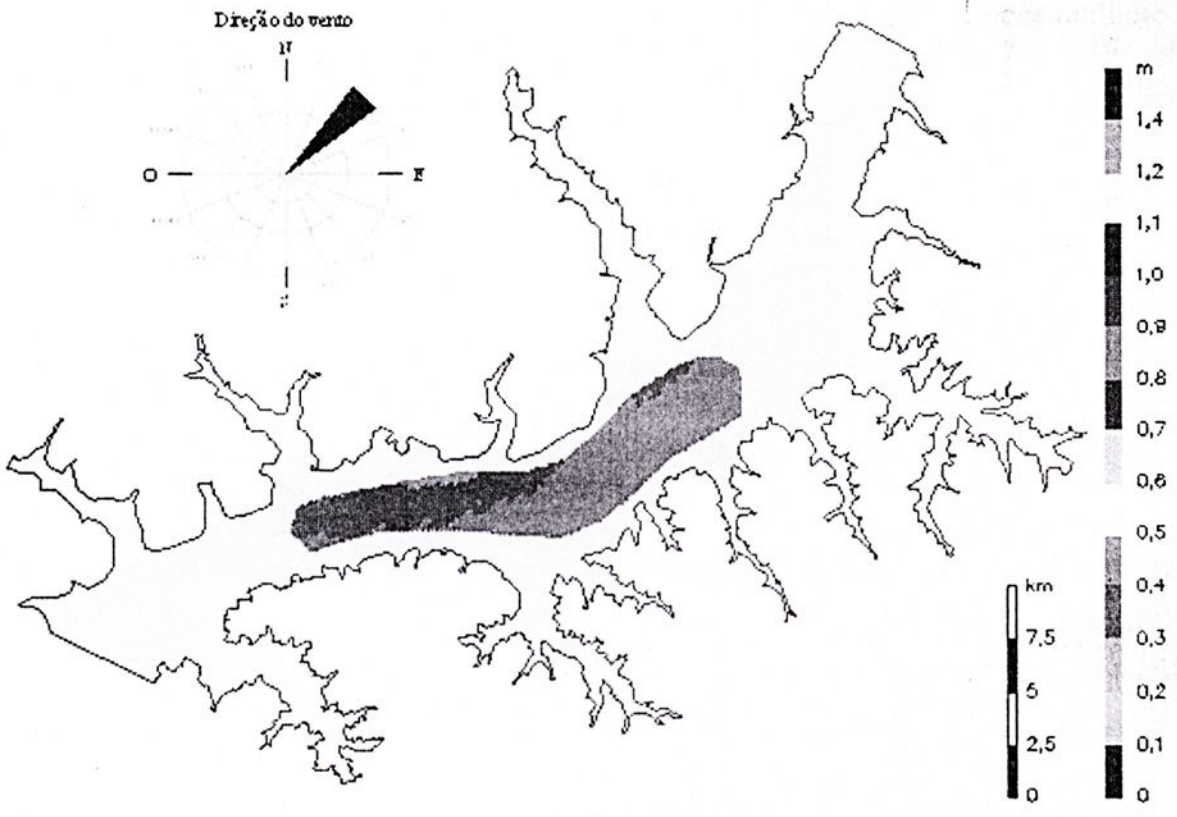


Figura 29 - Aplicação do programa MALHAONDA-COR utilizando o método SMB, introduzindo velocidade do vento de 7 m/s, espaçamento da malha de 200m e direção NE.

3.1.3.2 PROGRAMA ONDA.LSP

Analogamente ao programa PISTA.LSP, o programa ONDA.LSP se baseia nas informações fornecidas pelo arquivo gerado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP. A informação adicional a respeito da intensidade da velocidade do vento, necessária para estimar a altura na onda, é informada pelo usuário.

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 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. Após percorrer todas as linhas do arquivo, um modelo de ilustração é mostrado pela Figura 30.

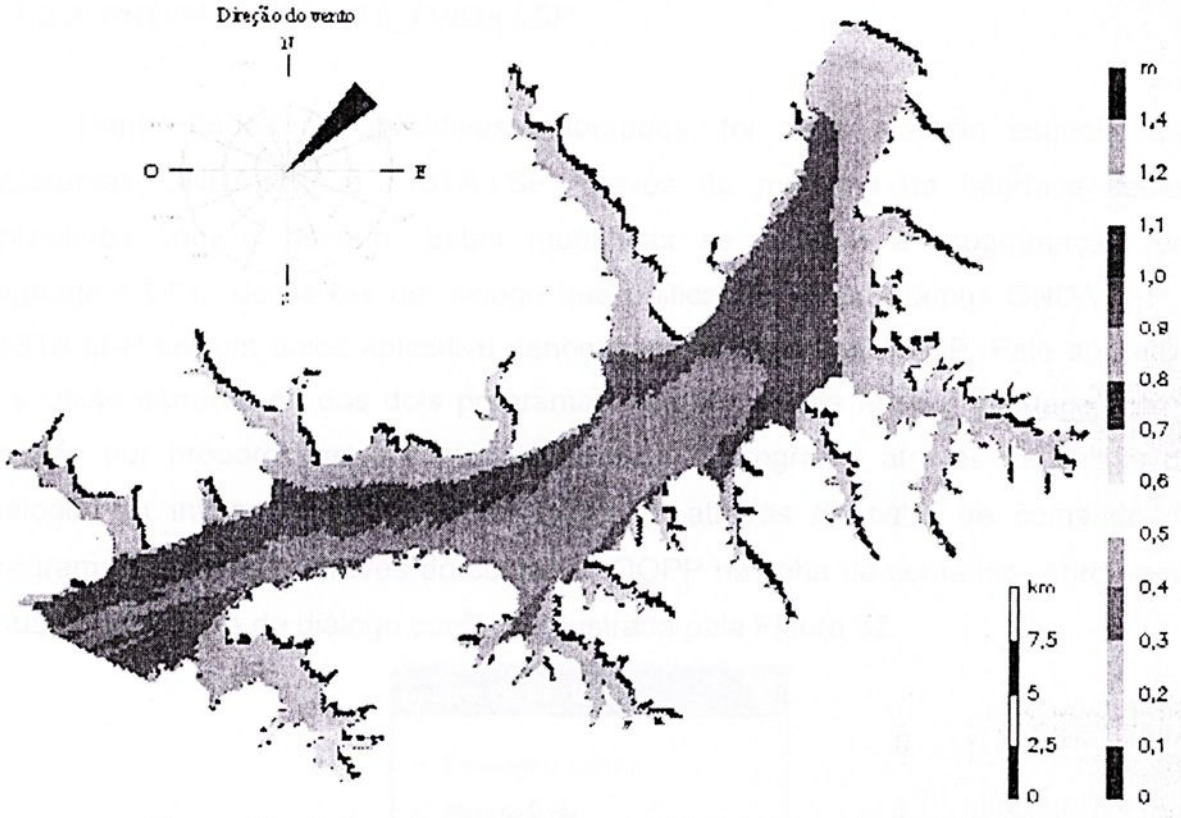


Figura 30 - Aplicação do programa ONDA.LSP no lago de Ilha Solteira utilizando o método SMB, introduzindo velocidade do vento de 7 m/s, direção NE e baseado em arquivo gerado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP com espaçamento da malha de 200m.

Ao final do processamento do programa ONDA.LSP, a exemplo do programa PISTA.LSP são mostradas caixas de diálogo informativas. Pela Figura 31 são apresentados exemplos destas caixas para as duas situações possíveis: o processamento ocorrido conforme o planejado ou o caso de interrupção por motivos a investigar.

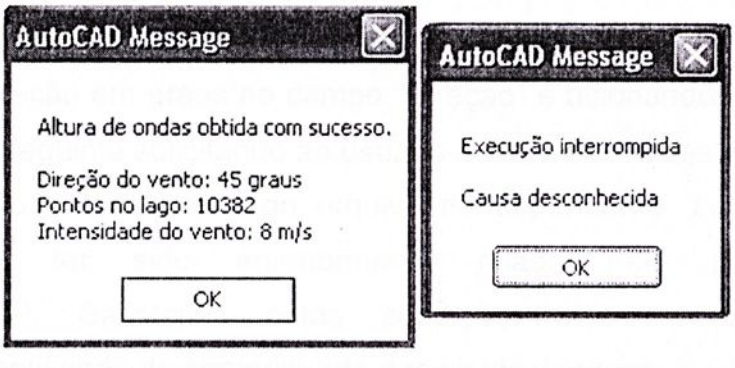


Figura 31 - Caixas de diálogo informativas emitidas em situações de processamento com êxito ou casos processamento interrompido.

3.1.3.3. PROGRAMA PISTA_ONDA.LSP

Dentre todos os aplicativos elaborados, foi dada atenção especial aos programas ONDA.LSP e PISTA.LSP através da melhoria da interface destes aplicativos com o usuário. Estas mudanças se referem a programação, em linguagem DCL, de caixas de diálogo que unificaram os programas ONDA.LSP e PISTA.LSP em um único aplicativo denominado PISTA_ONDA.LSP. Este aplicativo é a união estruturada dos dois programas visando a uma melhor interface com o usuário por proporcionar a comunicação com o programa através de caixas de diálogo, ao invés da comunicação exclusiva através da linha de comando. O programa é acionado através do comando OOPP na linha de comando. Abre-se ao usuário uma caixa de diálogo conforme ilustrada pela Figura 32.

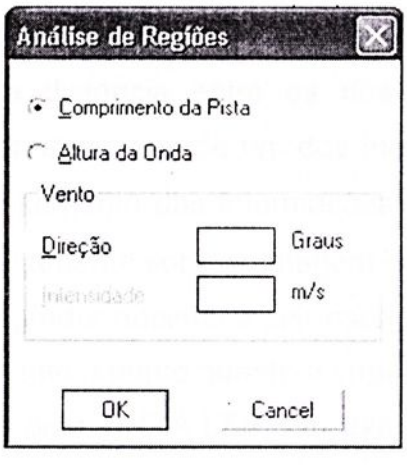


Figura 32 - Caixa de diálogo inicial devido ao acionamento do programa PISTA_ONDA.LSP

A caixa de diálogo surge com a opção "Comprimento da Pista" já selecionado, conforme indicado pela Figura 32, e o campo "intensidade" inicialmente desabilitado. Fornecendo a direção em graus no campo "Direção" e acionando "OK", o programa passará à etapa seguinte solicitando ao usuário a distância desejada entre os nós da malha, permitindo a localização do arquivo correspondente. Lembrando que tal arquivo deverá ter sido anteriormente criado pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP. Satisfeitas estas condições inicia-se o processo de determinação identificada do comprimento das pistas de vento.

No caso de desejar-se estimar a altura de ondas, basta selecionar a opção "Altura de Onda". Automaticamente o campo "Intensidade" passa a ficar habilitado, conforme ilustrado pela Figura 33.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

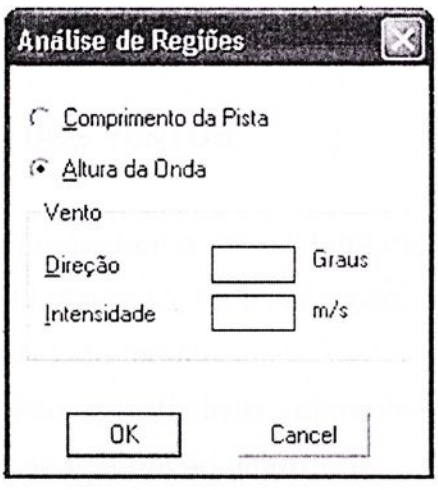


Figura 33 - Aspecto da caixa de diálogo quando acionada a opção "Altura da Onda"

O fornecimento pelo usuário da direção e da intensidade diretamente na caixa de diálogo e a confirmação pelo botão "OK" permite ao programa passar para a próxima etapa solicitando a distância entre os nós da malha. Fornecida esta distância é exigida ao usuário a escolha de um dos métodos de estimativa, à partir da qual tem início ao processamento das informações e a conversão do resultado em marcadores coloridos diretamente sobre a imagem do lago.

Quanto ao tipo de separador decimal a ser inserido na caixa de diálogo, pode ser utilizado indistintamente tanto o ponto quanto a vírgula.

Os resultados obtidos pelo ONDA.LSP são exatamente os mesmos obtidos pelo PISTA_ONDA.LSP utilizando obviamente a opção relativa a onda. Da mesma forma os resultados obtidos pelo PISTA.LSP são idênticos aos obtidos pelo programa PISTA_ONDA.LSP utilizando a opção relativa a pista. Fica a critério do usuário e da sua segurança no manuseio de programas com interface pela linha de comando ou por caixas de diálogo.

As informações de alerta são aqui emitidas analogamente aos programas ONDA.LSP e PISTA.LSP.

4. APLICAÇÃO DOS PROGRAMAS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RELATIVO À MÉDIA DOS VENTOS

Os programas que representam a intensidade média do vento necessitam de correções devido a efeitos da elevação, da localização, da estabilidade térmica e do método de obtenção da velocidade média.

Adicionando as parcelas quantitativas referentes a estes fatores, conforme apresentados em 3.1.2, tem-se a equação abaixo:

$$U_c = U(z) \cdot \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \cdot R_L \cdot R_T \cdot R_U \qquad (23)$$

Onde:

U_c : Velocidade corrigida;

$U(z)$: Velocidade do vento obtido pelo equipamento na torre;

z : elevação dos sensores;

R_L : Correção pela localização;

R_T : Correção devido a estabilidade térmica;

R_U : Correção devido ao método de obtenção da velocidade média;

- **Elevação**

Na correção dos dados de vento devido à elevação, a informação principal diz respeito à altura em que se localizam os sensores. O equipamento de medição se encontra instalado no farol São Martinho. A elevação é composta de dois elementos: A altura da torre e a contribuição do relevo. A elevação total foi obtida graficamente pela comparação de fotografias tiradas do local, ilustradas pela Figura 34.

unesp

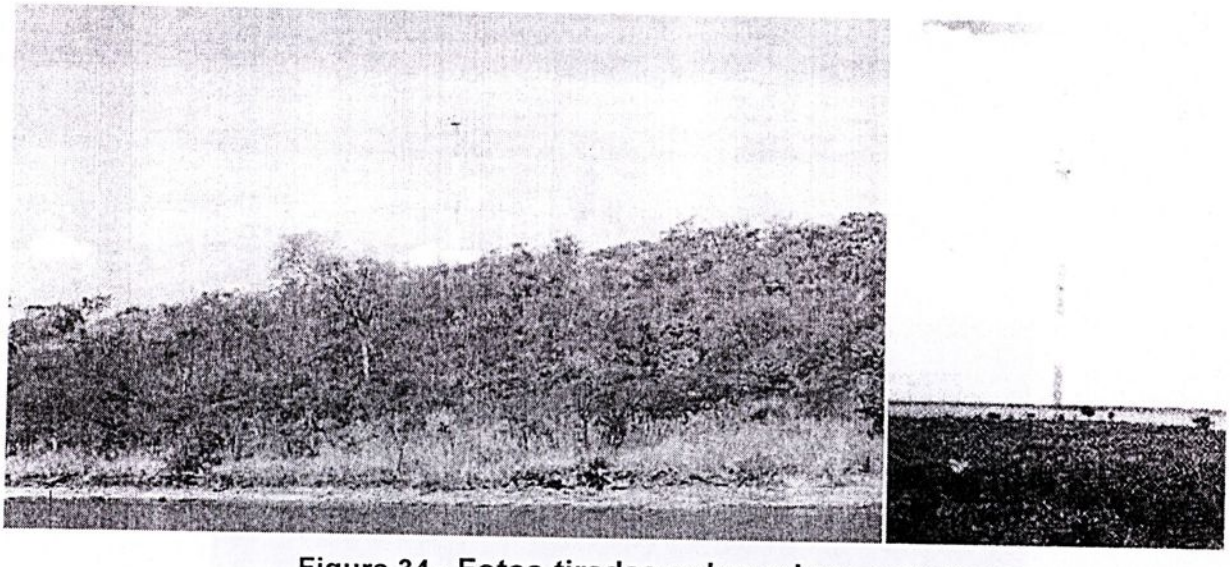


Figura 34 - Fotos tiradas sobre o lago e em terra.

O elemento conhecido é o comprimento de 6 metros de cada uma das faixas de cores alternadamente pintadas na extensão da torre. A interpretação dos elementos fotográficos levou em conta a situação esquemática ilustrada pela Figura 35.

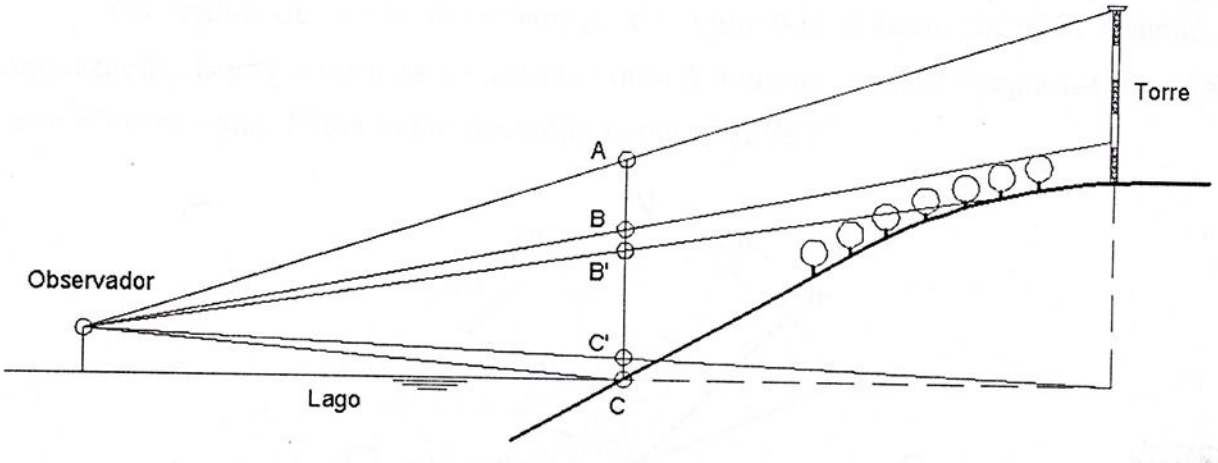


Figura 35 - Situação esquemática considerada na estimativa da elevação do equipamento em relação ao nível do lago.

Os comprimentos dos elementos que compõe a fotografia são representados pela projeção no segmento AC.

A aplicação das fotografias ao esquema da Figura 35, resultou na Figura 36 e na conseqüente determinação da elevação estimada dos sensores. A elevação é estimada em 60 metros.

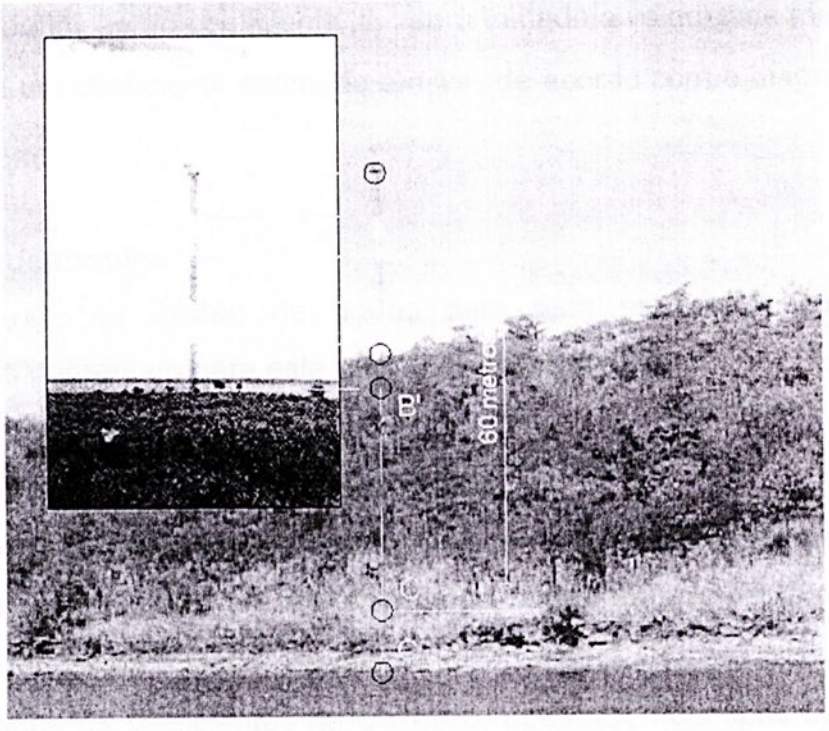


Figura 36 - Altura estimada da elevação do equipamento

- **Localização**

Os dados de vento provenientes da água não sofrem correção quanto à localização. Como a torre se localiza próxima à margem, somente algumas direções sofrerão correção. Estas estão destacadas pela Figura 37.

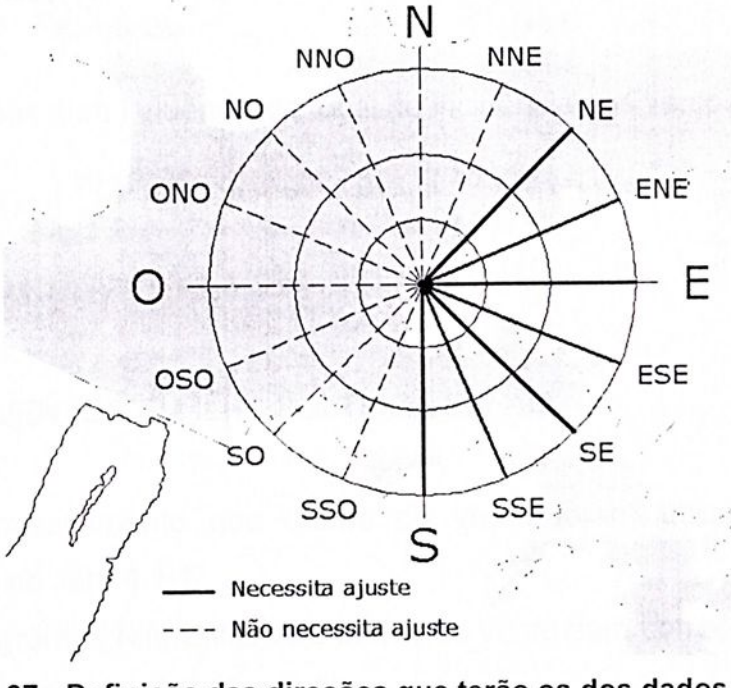


Figura 37 - Definição das direções que terão os dos dados de vento ajustados devido aos efeitos do tipo de local de incidência dos ventos

Para a definição do coeficiente R_L, será tomada a velocidade média de 5 m/s, resultando em um coeficiente estimado em 1,4, de acordo com o diagrama da figura 37.

- **Estabilidade térmica**

Como não se dispõe de dados para esta estimativa, considera-se a recomendação do método para este caso e se adota $R_T = 1{,}1$.

- **Método de obtenção da velocidade média**

Não existe a necessidade deste tipo de correção já que o processamento dos dados aqui realizado contempla diretamente as velocidades de vento reais, e não os máximos. Portanto o coeficiente R_U possui valor unitário.

Analisados os coeficientes de correção, obtêm-se dois tipos de coeficientes: os influenciados por efeitos de localização e os que não sofrem influência.

Determinando os coeficientes, tem-se:

- Direções influenciadas pelo local de incidência dos ventos, a saber:

$$U_C = U(z) \cdot \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \cdot R_L \cdot R_T \cdot R_U = U(z) \cdot \left(\frac{10}{60}\right)^{1/7} \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}1 \cdot 1$$

$$U_C = 1{,}19 \cdot U(z)$$

- Direções sem influência do local de incidência dos ventos, a saber:

$$U_C = U(z) \cdot \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \cdot R_L \cdot R_T \cdot R_U = U(z) \cdot \left(\frac{10}{60}\right)^{1/7} \cdot 1 \cdot 1{,}1 \cdot 1$$

$$U_C = 0{,}85 \cdot U(z)$$

4.1.1. VENTOS EM ILHA SOLTEIRA EM 2003

No processamento dos dados de vento foram utilizados os aplicativos mencionados no item 4.1.1.

Os diagramas referentes aos dados de vento sem correção coletados no ano de 2003 são ilustrados pela Figura 38.

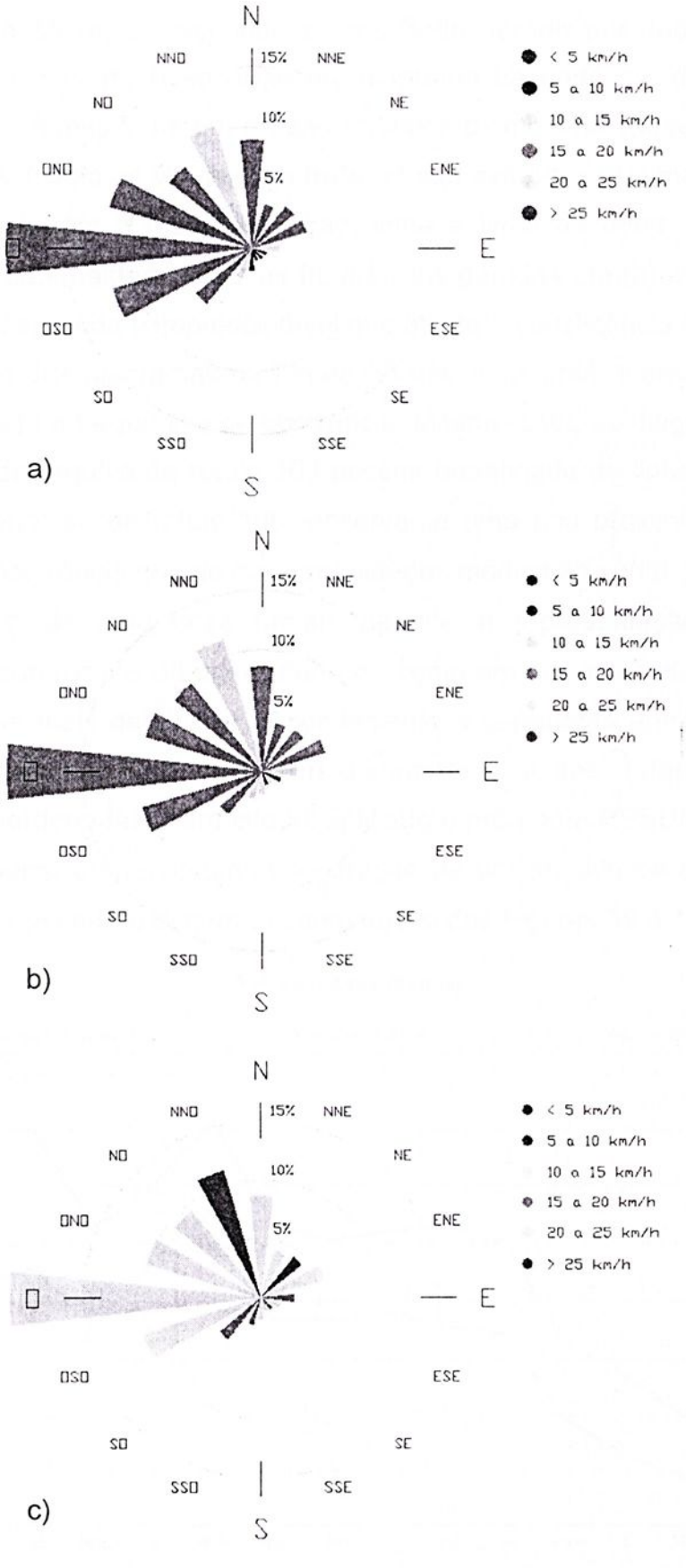


Figura 38 - Diagramas obtidos pelos programas: (a) MEDIA103.LSP, (b) MEDIA106.LSP, (c) MAX106.LSP, referentes aos dados obtidos no ano de 2003, sem correção.

A Figura 38 (a) corresponde ao resultado gerado por dados coletados a cada 5 segundos; em (b) observa-se um diagrama baseado em dados médios a cada período de 15 minutos e em (c) são referidos os maiores valores registrados a cada 15 minutos. Como os valores em (b) e (c) são extraídos de uma única linha de dado, ambos possuem a mesma direção, linha a linha de dado. Isto implica na obrigatoriedade da igualdade entre as freqüências geradas em (b) e (c). Este fato é uma ocorrência esperada e imprescindível que atesta a consistência do programa.

O aspecto dos diagramas da Figura 38 não apresenta diferenças relevantes no que diz respeito à freqüência de ocorrência. Mesmo entre os diagramas (a) e (b), apesar do fato do arquivo de rotulo 103 possuir quantidade de linhas da ordem de 180 vezes superior ao de rotulo 106, observa-se uma boa proximidade tanto das freqüências de ocorrência quanto das intensidades médias do vento.

A geração de diagramas radiais permite a representação unificada da freqüência de ocorrência e da intensidade do vento em um único diagrama. Porém, para uma análise mais detalhada, é conveniente a separação entre freqüência de ocorrência e intensidade do vento em diagramas distintos, referidos a sistema cartesiano de coordenadas. Para isto foi aplicado o programa RESUMOVENTO.LSP nos mesmos dados, proporcionando a geração de um arquivo de extensão "txt" à partir do qual foi baseado o diagrama comparativo das Figuras 39 e 40.

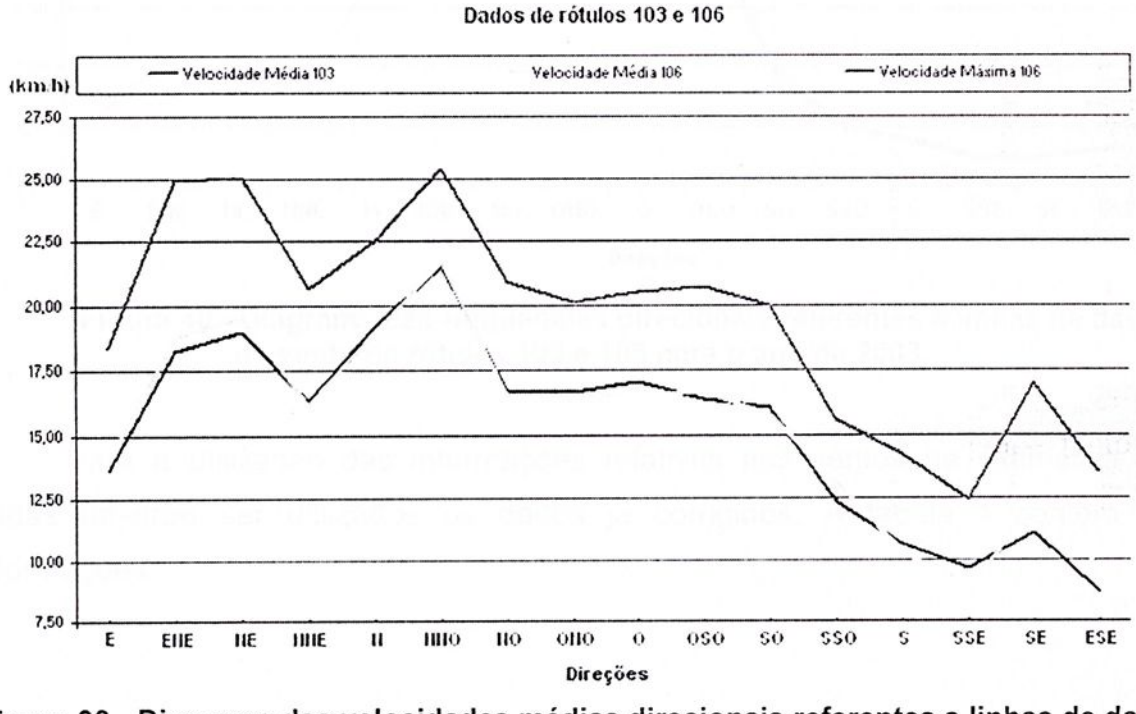


Figura 39 - Diagrama das velocidades médias direcionais referentes a linhas de dados de vento de diferentes rótulos para o ano de 2003. Ventos não corrigidos.

Pelo diagrama da Figura 39 é possível identificar a direção de maior intensidade do vento, ou seja, os ventos dominantes, como proveniente da direção NNO, apesar de ter-se as direções ENE e NE muito próximas da máxima. O vento atuando em NNO combinado ao comprimento da pista sobre a qual ele sopra, pode fornecer a maior altura de onda no lago. Esta afirmação só pode ser verificada após a estimativa da onda em todas as direções, como será visto oportunamente.

Através das informações na Figura 40, fica identificada a direção O como a que possui maior freqüência de ocorrência de ventos, ou seja, a direção pela qual chegam os ventos predominantes.

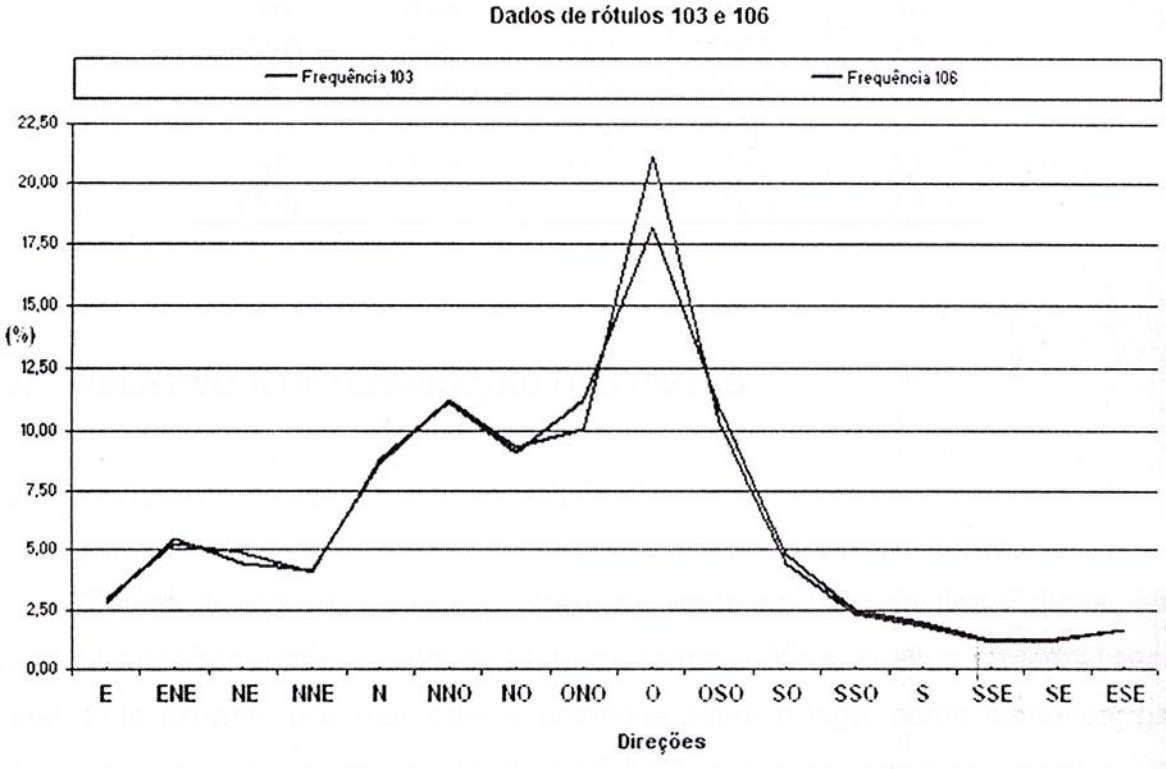


Figura 40 - Diagrama das freqüências direcionais referentes a linhas de dados de vento de rótulos 103 e 106 para o ano de 2003.

Para a utilização das informações relativas aos ventos na estimativa das ondas deverão ser utilizados os dados já corrigidos. A tabela 1 contém tais informações.

Tabela 1 - Velocidade média do vento corrigida para cada direção

Direção	Coef. Correção	Vel. Registrada (km/h))	Vel. Corrigida (km/h)	Vel. 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	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	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
ESSE	1,19	8,7	10,3	2,9

4.2. RELATIVO À DETERMINAÇÃO DAS PISTAS

4.2.1. PISTAS DE VENTO EM ILHA SOLTEIRA

O comprimento das maiores pistas de vento no lago de Ilha Solteira, para todas as direções, pode ser obtido tanto de forma gráfica, através da identificação visual, pelo usuário, dos marcadores coloridos sobre o lago, como numérica, pela aplicação direta do programa MAXLISTA.LSP sobre os arquivos gerados pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP. Um outro modo é pela manipulação dos arquivos gerados pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP, por planilha eletrônica, de modo a determinar o maior elemento na coluna referente ao comprimento de pista.

A maneira aqui utilizada considerou a utilização do programa MAXLISTA.LSP. Os valores máximos obtidos em cada direção para o lago de Ilha Solteira estão dispostos na Tabela 1 e o respectivo diagrama ilustrado pela Figura 41. O diagrama foi obtido pela aplicação do programa GRAFPISTA.LSP com base nos dados da Tabela 2.



Tabela 2 - Maiores comprimentos da pista de vento no lago de Ilha Solteira

Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Pista máxima (Km)	11,3	11,9	12	12	11,7	10,2	9,9	11,6	12,6	12,6	12	12	11,3	9,6	9,3	10,4

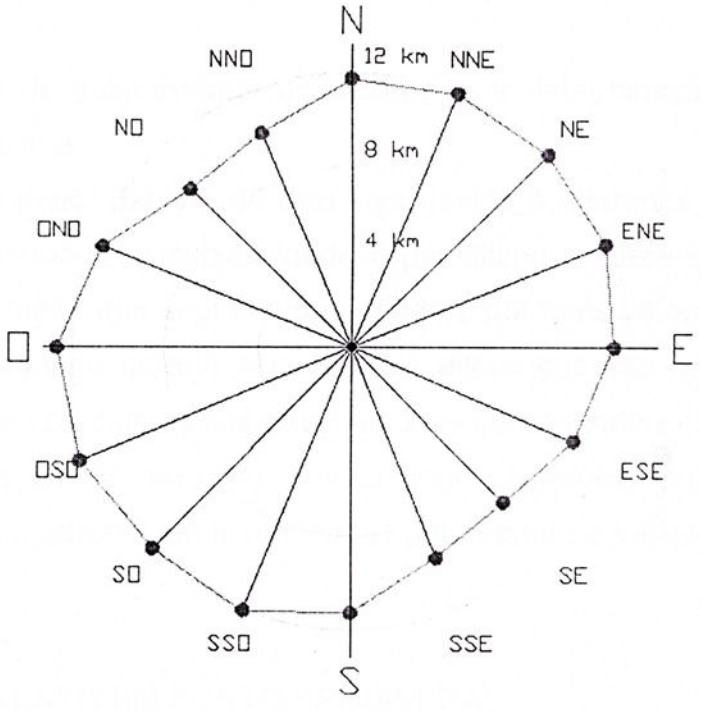


Figura 41 - Diagrama radial das maiores pistas de vento no lago de Ilha Solteira

As imagens geradas da superfície do lago de Ilha Solteira para cada direção constam no Anexo 6. Estas possibilitam localizar a posição dos pontos de maior pista de vento no mapa do lago.

Nota-se pela Figura 41 que as maiores pistas de vento no lago em estudo ocorrem na direção dos quadrantes NE e SO.

Nos estudos realizados por LIMA (2003) *et. al* no lago de Ilha Solteira, foi determinado o comprimento das pistas de vento em águas interiores pelo método aplicável a águas oceânicas. As pistas analisadas pelos autores consistiram na de direção NE e E, por considerarem ser as direções de maior freqüência de ocorrência de ventos. Mesmo tendo realizado o estudo para direções de 45°, os autores detectaram uma pista superior a quaisquer outras na direção OSO. Os pontos eram determinados com base na experiência do projetista e, portanto, com alto grau de subjetividade. Os comprimentos da pista obtidos por LIMA (2003) *et.al* foram de 40

km para a direção Nordeste, 25 km para a direção Leste e 48 km para a direção Oeste-Sudoeste, em contraposição com os 12,5 km, 11,5 km e 12,6 km respectivamente, determinados pelo presente estudo.

As discrepâncias entre os resultados podem ser atribuídas a um dos seguintes fatores ou a uma combinação deles:

- A diferença entre as bases sobre as quais foi extraído o contorno da margem.

- A parcela de subjetividade do projetista na determinação do ponto como sendo de pista máxima.

Acredita-se que a maior parcela de erro seja devida à diferença entre os métodos empregados, seguindo-se a subjetividade e por último a diferença entre as bases cartográficas. Por maior que seja a subjetividade e por mais deformado que esteja o mapa utilizado, supondo correta a escala, as diferenças são muito grandes para serem atribuídas em parcela considerável às duas últimas fontes comentadas.

A possibilidade de erro no procedimento numérico ou na estrutura do programa foi descartada devido à verificação pela etapa de validação anteriormente discutida.

4.2.2. PISTA DE VENTO EM PORTO PRIMAVERA

Analogamente ao lago de Ilha Solteira, o lago de Porto de Primavera foi preparado em escala conveniente, teve as margens adequadamente definidas, bem como a indicação visual da escala e da convenção de cores oportunamente executada. Na definição do espaçamento da malha para o lago de Porto Primavera, buscou-se uma quantidade de *pixels* aproximadamente igual em relação a aplicação para o lago de Ilha Solteira (ordem de 10.000). Esta medida manteve ainda o tempo de processamento semelhante entre as aplicações para os dois lagos. Em vista deste critério, foi adotado um espaçamento de 400 metros, resultando em pouco mais de 11 mil nós para o lago de Porto Primavera. O tempo de processamento e o aspecto visual com respeito ao tamanho dos marcadores coloridos em relação ao tamanho do lago, tornaram-se semelhantes à aplicação ao lago de Ilha Solteira.

O processamento do programa PISTA.LSP nas 16 direções, para o lago de Porto Primavera, permitiu a preparação do diagrama ilustrado pela Figura 42.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

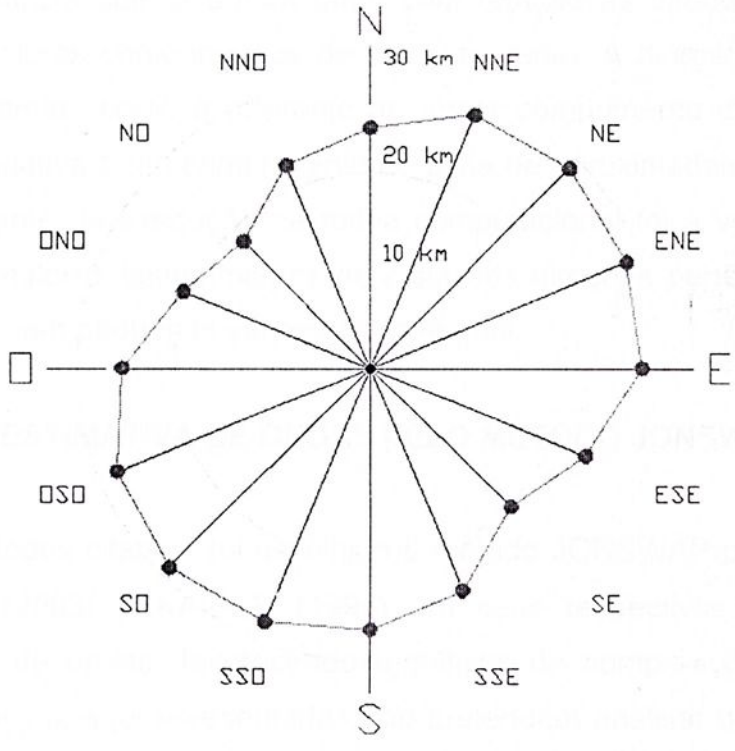


Figura 42 - Pistas máximas no Lago de Porto Primavera

Tabela 3 - Maiores pistas de vento no lago de Porto Primavera

Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Pista máxima (Km)	27,7	28,4	28,8	28	24,6	22,4	18,3	20,67	25,4	28,1	29	28,1	26,8	24,7	20,3	23,8

De acordo com os estudos feitos por KAISER (1995), as maiores pistas de vento foram obtidas nas direções Nordeste (24,22 km) e Norte (22,04 km).

As imagens relativas aos comprimentos de pistas para o lago de Porto Primavera, para cada direção, constam no Anexo 7.

Nos estudos realizados por KAISER (1995) no lago de Porto Primavera, foram determinados os comprimentos das pistas de vento pelo método proposto por SAVILLE (1954). O inconveniente do excessivo número de operações impostas ao projetista na aplicação de tal método foi contornado pela autora pela aplicação do método em um número reduzido de pontos para cada direção. Os pontos eram determinados com base na experiência do projetista e, portanto, se fazia implícito um alto grau de subjetividade no processo. Após análise pela autora, as maiores pistas foram definidas como sendo as referentes à direção N e NE com os respectivos comprimentos da pista de 22,04 e 24,22 km. Com base na Tabela 3,

verifica-se a discordância com a autora tanto com relação às direções de maior pista, quanto aos maiores comprimentos de pista de vento. A direção obtida pela aplicação dos programas, como a referente ao maior comprimento da pista foi a direção SO, sendo relativa a um comprimento de pista de aproximadamente 29 km. Outro aspecto relevante da execução da rotina computacional foi a verificação da predominância dos maiores comprimentos de pista nas direções pertencentes aos quadrantes ímpares, com pequenas variações entre elas.

4.3. RELATIVO A ESTIMATIVA DE ONDAS PELO MÉTODO JONSWAP

Dentre os métodos citados, foi escolhido o método JONSWAP por ter sido o utilizado por LIMA (2003) e KAISER (1995) em seus respectivos estudos de estimativa de altura de ondas, favorecendo tentativas de comparações entre os resultados. As aplicações aqui apresentadas não pretendem analisar qual o melhor método a ser escolhido, mas permitir ao projetista a utilização de qualquer um destes segundo critérios próprios de escolha. A determinação da altura da onda depende de duas variáveis imprescindíveis aos métodos aqui adotados: A velocidade do vento e o comprimento da pista percorrida por ele. Os critérios adotados, tanto para a aplicação do aplicativo no lago de Ilha Solteira, quanto no de Porto Primavera, serão abordados separadamente.

4.3.1. ESTIMATIVA DE ONDAS EM ILHA SOLTEIRA

Conforme o método JONSWAP em 2.3.1.2, uma estimativa da altura da onda pela aplicação do programa PISTA_ONDA.LSP só é possível pela adoção da velocidade do vento a ser utilizada. As velocidades médias anuais corrigidas são as adotadas para estimar as ondas. As imagens geradas podem ser encontradas no Anexo 8.

As maiores alturas de ondas para os ventos considerados estão apresentados na tabela 4 e o respectivo diagrama ilustrado pela Figura 43.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Tabela 4 - Altura das maiores ondas geradas por ventos médios anuais corrigidos e obtidos no decurso do ano de 2003 no lago de Ilha Solteira

Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Pista (km)	11,3	11,9	12	12	11,7	10,2	9,9	11,6	12,6	12,6	12	12	11,3	9,6	9,3	10,4
Vento (m/s)	4,5	6	6,3	3,8	4,5	5,1	3,9	3,9	4	3,9	3,8	3	3,5	3,2	3,7	2,9
Altura onda (cm)	25	34	36	21	25	27	20	22	23	23	21	17	19	16	18	15

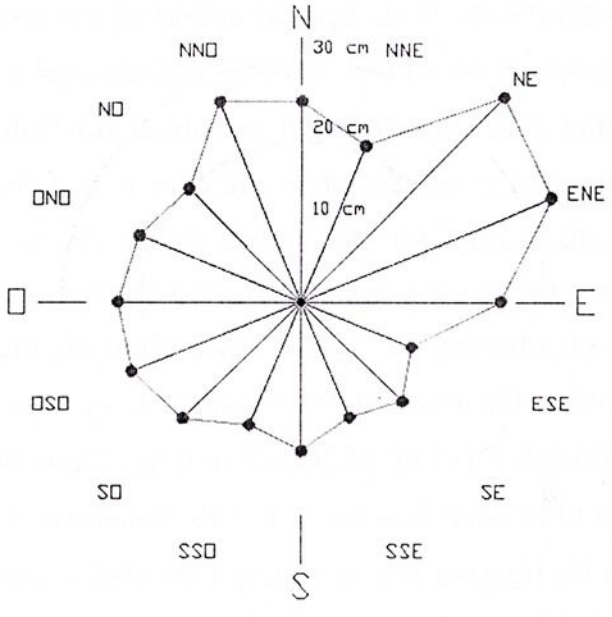


Figura 43 - Altura das maiores ondas geradas por vento de intensidade média corrigida, relativa ao ano de 2003, no lago de Ilha Solteira

Após o processamento dos dados de vento e a conseqüente correção necessária, foi possível identificar a direção NE como a correspondente à maior velocidade média do vento. Uma afirmação precipitada atribuindo à direção NE a direção correspondente à maior altura de onda, sem levar em conta a máxima pista obtida nesta direção, poderia gerar uma afirmação falsa. Da mesma forma, basear-se no maior comprimento de pista sem observar a intensidade do vento na mesma direção pode levar ao erro. Nota-se pela comparação entre os resultados obtidos, relativos aos ventos e às pistas de vento, que a direção de ocorrência das maiores ondas (NE e ENE) não coincidiu, nem com a direção de ventos médios mais intensos (NE), nem com as direções detentoras do maior comprimento de pista (O e OSO). Isto implica que o ato do projetista em determinar a altura da maior onda tomando como base a maior pista encontrada, pode afastá-lo do valor mais apropriado para a estimativa. Uma postura mais adequada deve definir a direção da

maior altura de onda somente depois de relacionar os valores das pistas com as correspondentes velocidades do vento.

4.3.2. ONDA EM PORTO PRIMAVERA

4.3.2.1. Alturas de ondas em Porto Primavera

O processo de estimativa de ondas no lago de Porto Primavera não pôde ser conduzido como foi para o lago de Ilha Solteira. Em Porto Primavera não se dispõe dos dados de vento estruturados como em Ilha Solteira. Os estudos realizados por KAISER (1995) foram dirigidos à estatística de ventos e estimativa de altura de ondas, porém realizado de um modo distinto do aqui proposto. De acordo com KAISER (1985): "O procedimento de cálculo adotado pela projetista parte da escolha de uma determinada altura de onda para chegar ao período de retorno do vento gerador desta onda. Com a altura da onda determina-se a velocidade do vento sobre a água e a duração necessária para a mobilização do *fetch* disponível. Corrige-se a velocidade para se obter a velocidade do vento sobre a terra; com este valor e com a duração determina-se a velocidade de rajada e o seu período do retorno". Além do mais, a adoção pela autora do comprimento da maior pista de vento como suficiente para representar as pistas de vento em todas as direções pode gerar majorações capazes de comprometer seriamente a fidelidade dos resultados. Portanto, não se dispõe de informações de comprimentos de pistas nem de intensidade do vento para serem utilizadas de modo a proporcionar comparações com os resultados obtidos pela autora. Para contornar esta situação inconveniente devem ser adotadas informações acerca do estado de ventos em Porto Primavera. Uma hipótese seria admitir ventos de mesma ordem de intensidade nos dois lagos o que leva à idéia de adotar os dados coletados em Ilha para a utilização em Porto Primavera. No entanto, este transporte de informações no espaço implica em uma descaracterização dos dados por comprometer fatores peculiares ao entorno do local de coleta, principalmente depois de executadas as correções. Condições adotadas em Ilha Solteira para a provavelmente não são as mesmas se transportadas a Porto Primavera. Por este motivo a hipótese de adoção desta condição foi descartada.

Como solução a este impasse optou-se por adotar uma intensidade de vento constante de 6 m/s em todas as direções, de modo a favorecer a comparação entre

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

os comprimentos máximos de pistas e as respectivas alturas de ondas estimadas. O resultado está disposto na Tabela 5 e no diagrama ilustrado pela Figura 44.

Tabela 4 - Altura das maiores ondas geradas por ventos médios anuais corrigidos e obtidos no decurso do ano de 2003 no lago de Ilha Solteira

Tabela 5 - Altura de ondas no lago de Porto Primavera pelo método JONSWAP

Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Pista (km)	11,3	11,9	12,	12	11,7	18,2	9,9	11,6	12,6	12,6	12	12	11,3	8,6	9,3	10,4
Vento (m/s)	4,5	6	6,3	3,8	4,5	5,1	3,9	3,9	4	3,9	3,8	3	3,5	3,2	3,7	2,9
Altura onda (cm)	25	34	36	21	25	27	20	22	23	23	21	17	19	16	18	15

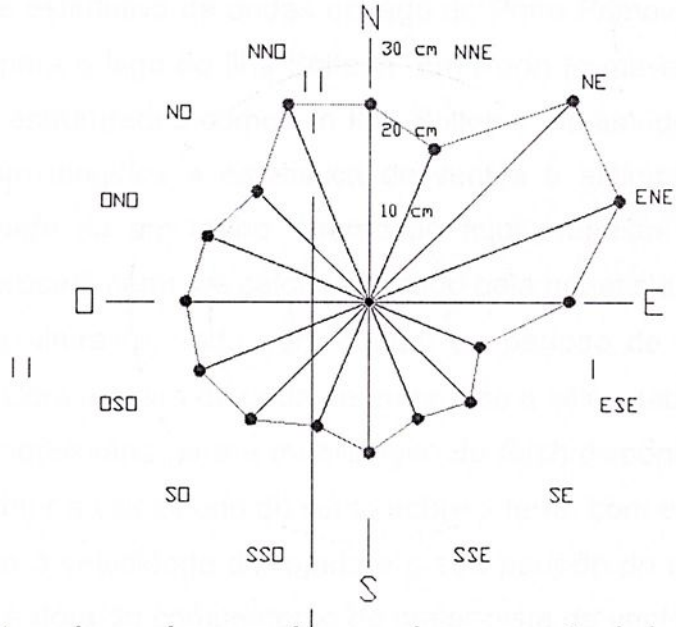


Figura 43 - Altura das maiores ondas geradas por vento de intensidade média corrigida, relativa ao ano de 2003, no lago de Ilha Solteira
Figura 44 - Ondas em Porto Primavera

Após o processamento dos dados de vento e a conseqüente correção necessária, foi possível identificar a direção NE como a correspondente à maior velocidade média do vento. Uma afirmação precipitada atribuindo à direção NE a direção correspondente à maior altura de onda, sem levar em conta a máxima pista obtida nesta direção, poderia gerar uma afirmação falsa. Da mesma forma, basear-se no maior comprimento de pista sem observar a intensidade do vento na mesma direção pode levar ao erro. Nota-se pela comparação entre os resultados obtidos, relativos aos ventos e às pistas de vento, que a direção de ocorrência das maiores ondas (NE e ENE) não coincidiu, nem com a direção de ventos médios mais intensos (NE), nem com as direções detentoras do maior comprimento de pista (O e OSO). Isto implica que o ato do projetista em determinar a altura da maior onda tomando como base a maior pista encontrada, pode afastá-lo do valor mais apropriado para a estimativa. Uma postura mais adequada deve definir a direção da

maior altura de onda somente depois de relacionar os valores das pistas com as correspondentes velocidades do vento.

4.3.2. ONDA EM PORTO PRIMAVERA

4.3.2.1. Alturas de ondas em Porto Primavera

O processo de estimativa de ondas no lago de Porto Primavera não pôde ser conduzido como foi para o lago de Ilha Solteira. Em Porto Primavera não se dispõe dos dados de vento estruturados como em Ilha Solteira. Os estudos realizados por KAISER (1995) foram dirigidos à estatística de ventos e estimativa de altura de ondas, porém realizado de um modo distinto do aqui proposto. De acordo com KAISER (1985): "O procedimento de cálculo adotado pela projetista parte da escolha de uma determinada altura de onda para chegar ao período de retorno do vento gerador desta onda. Com a altura da onda determina-se a velocidade do vento sobre a água e a duração necessária para a mobilização do *fetch* disponível. Corrige-se a velocidade para se obter a velocidade do vento sobre a terra; com este valor e com a duração determina-se a velocidade de rajada e o seu período do retorno". Além do mais, a adoção pela autora do comprimento da maior pista de vento como suficiente para representar as pistas de vento em todas as direções pode gerar majorações capazes de comprometer seriamente a fidelidade dos resultados. Portanto, não se dispõe de informações de comprimentos de pistas nem de intensidade do vento para serem utilizadas de modo a proporcionar comparações com os resultados obtidos pela autora. Para contornar esta situação inconveniente devem ser adotadas informações acerca do estado de ventos em Porto Primavera. Uma hipótese seria admitir ventos de mesma ordem de intensidade nos dois lagos o que leva à idéia de adotar os dados coletados em Ilha para a utilização em Porto Primavera. No entanto, este transporte de informações no espaço implica em uma descaracterização dos dados por comprometer fatores peculiares ao entorno do local de coleta, principalmente depois de executadas as correções. Condições adotadas em Ilha Solteira para a provavelmente não são as mesmas se transportadas a Porto Primavera. Por este motivo a hipótese de adoção desta condição foi descartada.

Como solução a este impasse optou-se por adotar uma intensidade de vento constante de 6 m/s em todas as direções, de modo a favorecer a comparação entre

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

os comprimentos máximos de pistas e as respectivas alturas de ondas estimadas. O resultado está disposto na Tabela 5 e no diagrama ilustrado pela Figura 44.

Tabela 5 - Altura de ondas no lago de Porto Primavera pelo método JONSWAP

Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Pista (km)	27,7	28,4	28,8	28	24,6	22,4	18,3	20,7	25,4	28	29	28,1	26,8	24,7	20,2	23,8
Vento (m/s)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Altura onda (cm)	52	52	53	52	49	46	42	44	49	52	53	52	51	49	44	48

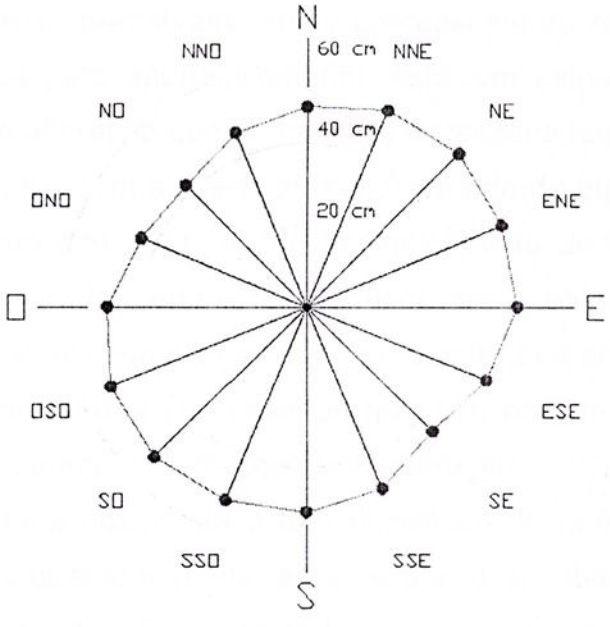


Figura 44 - Ondas em Porto Primavera

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Devido às várias funções desempenhadas pelos programas e às observações específicas, relativas a cada um, este capítulo foi subdividido.

5.1. VENTO

As alterações estruturais proporcionadas pela ampla utilização dos programas no período de validação permitiram que o processamento ocorresse conforme o esperado. Já a busca pelo aperfeiçoamento, esta sim exige algumas mudanças estruturais. A primeira alteração que se mostrou necessária tem relação mais com a preocupação de melhoria com a interface com o usuário do que com a estrutura do programa propriamente dito. Trata-se da implementação de caixas de diálogo e, dentro destas, a inclusão de campos relacionados aos coeficientes de correção do vento. Esta medida traz as seguintes vantagens: possibilita a ampliação da utilização do programa de forma correta por usuários que não possuem os conhecimentos básicos de AutoLISP e aumenta a eficiência da operação.

Outra necessidade observada é a flexibilização do formato do diagrama de ventos, permitindo ao operador modificar a escala, a quantidade de intervalos na legenda e as cores utilizadas. Para isto se fazem necessárias alterações estruturais diretamente sobre o programa, mas todas perfeitamente possíveis.

Quanto as informações de vento geradas, os diagramas relativos aos rótulos 106 tiveram a mesma freqüência de ocorrência, conforme o esperado. As pequenas variações apresentadas entre os dados de rótulo 103 e 106, tanto com respeito à intensidade quanto a freqüência, através de seus respectivos diagramas, permitiram uma perspectiva otimista com relação a redução do tamanho dos arquivos. Para que tal afirmação seja feita com segurança se faz necessária uma análise estatística mais aprofundada relacionando a quantidade de dados com o erro envolvido. A quase correspondência entre as freqüências de ocorrência permite afirmar que uma fração anual muito pequena da duração do vento era inferior a 15 minutos em 2003.

Em Ilha Solteira em 2003 o vento de maior freqüência chegou pela direção O, e o de maior intensidade pela direção NNO, para dados não corrigidos. Para velocidades corrigidas a maior intensidade do vento atingiu o lago pela direção NE.



5.2. PISTA

A variedade de recursos de manipulação de estruturas de dados genéricos aliada a interface gráfica disponível na linguagem AutoLISP, proporcionou aplicativos capazes de gerar as imagens com êxito. A boa execução das etapas de validação é confirmada pela geração de mapeamentos coerentes e sem interrupções na execução do programa.

A transição do aplicativo MALHA-PISTACOR.LSP para os programas CRIA-LISTAMALHA.LSP e VENTO.LSP se mostrou bem sucedida, a julgar pela redução expressiva do tempo de processamento que passou a ter em torno 0,2 % do tempo em comparação com o programa MALHA-PISTACOR.LSP. Além do mais as informações mantidas nos arquivos de extensão "txt" gerados podem servir como base para outros aplicativos, seja no aperfeiçoamento de programas existentes, seja na criação de novos aplicativos. Como exemplo cita-se o programa PISTAMEDIA.LSP e a necessidade verificada de redução do seu excessivo tempo de processamento (da ordem de 6 horas para cada mil pontos, para o equipamento disponível). Uma alternativa que se mostra possível é a obtenção de informações diretamente sobre os 16 arquivos gerados pelo programa CRIA-LISTAMALHA.LSP, substituindo desta forma a obtenção gráfica de informações pela manipulação de elementos de várias listas. Ainda tratando do programa PISTAMEDIA.LSP, nota-se a necessidade criar caixas de diálogo com a finalidade de disponibilizar um espaço para os coeficientes de ponderação, eliminando a necessidade de intervenção do usuário diretamente sobre a estrutura do programa.

Quanto aos resultados obtidos pela determinação das pistas de vento máximas nos dois reservatórios, constata-se em ambos os lagos uma superioridade das pistas nas direções dos quadrantes NE e SO. O motivo para tal resultado existe. Apesar de parecer somente coincidência à primeira vista, considerando que a distância entre os reservatórios é da ordem de 150 km, ambos têm em comum o eixo do rio que os gerou. Conforme ilustrado pela Figura 45, o eixo dos dois reservatórios mantém a tendência do eixo do rio Paraná e por isso ambos possuem o eixo longitudinal aproximadamente na mesma direção. Este por sua vez está dirigido aproximadamente na direção correspondente ao eixo de simetria dos quadrantes ímpares. Este motivo justifica o fato das maiores pistas de vento estarem dirigidas nas direções destes quadrantes para os dois reservatórios.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

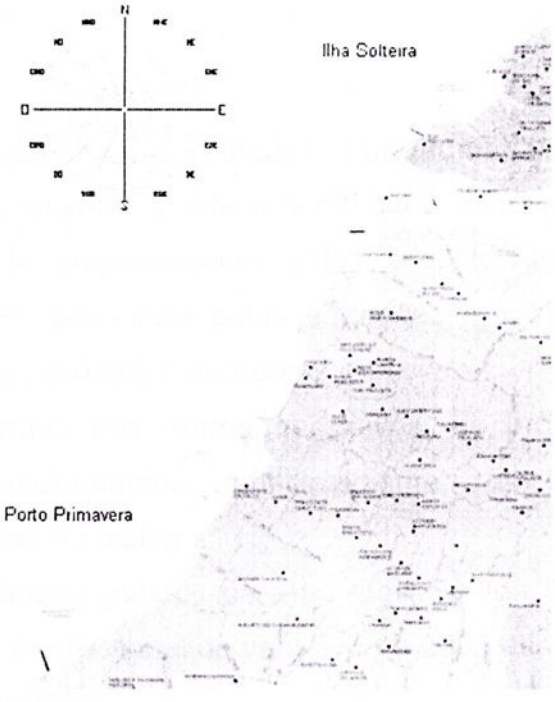


Figura 45 Posicionamento relativo dos reservatórios de Porto Primavera e de Ilha Solteira

Pela análise individual no lago de Ilha Solteira, observa-se uma dominância nas direções dos quadrantes NE e SO, com pistas da ordem de 12 km, contra pistas da ordem de 10 km na direção dos quadrantes NO e SE. Já Porto Primavera apresenta pistas da ordem de 52 km para a direção dos quadrantes NE e SO e 45 km para as direções dos quadrantes NO e SE.

Para os dois lagos a direção correspondente as maiores pistas de vento correspondem exatamente a direção relativa ao eixo de simetria dos quadrantes ímpares, as regiões NE e SO.

Comparativamente aos resultados obtidos por LIMA (2003) *et. al,* os motivos que influenciaram a divergência entre os valores podem ser atribuídos à diferença da base sobre a qual foi obtido o contorno da margem e ao elevado grau de subjetividade do processo devido a pequena quantidade de pontos analisados.

Quanto aos resultados obtidos por KAISER (1995), houve discordâncias quanto aos resultados relativos tanto com relação à direção de maior pista, quanto aos maiores comprimentos de pista obtidos. Uma comparação entre as mesmas direções nos dois estudos revelou comprimentos de pista de mesma ordem de magnitude, porém tendo os resultados da autora minorados em cerca 11% para a direção N e 16% na direção NE, em relação ao presente estudo.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

5.3. ONDA

Dentre todos os aplicativos executados, o programa ONDA.LSP se mostrou o mais abrangente porque envolve desde a completa e minuciosa varredura do lago pelo método de Saville (representado pelos arquivo gerado pelo programa CRIALISTA-MALHA.LSP), passando pelas equações empíricas de estimativa de altura de onda até a execução dos marcadores gráficos.

Conforme constatado nos outros aplicativos, os programas aplicáveis as ondas requerem aprimoramentos, principalmente relativos a execução e aperfeiçoamento de caixas de diálogo.

Quanto aos resultados obtidos para ao lago de Ilha Solteira, a maior onda gerada pela intensidade média anual de ventos para 2003 atingiu altura da ordem de 35 cm pelo método JONSWAP.

A divergência entre a direção nos resultados da maior pista de vento, da maior intensidade média do vento e da maior altura de onda determinados em Ilha Solteira, revelou o risco que incorre o projetista no comprometimento dos resultados quando, baseando-se na maior pista, define a direção e conseqüentemente a respectiva intensidade do vento, estimando de modo precipitado a maior altura de onda.

A comparação com os resultados obtidos por LIMA (2003) *et. al* foi inviabilizada pela excessiva diferença encontrada entre a magnitude dos comprimentos das pistas.

Da forma semelhante, a comparação com o resultado a que chegou KAISER (2003) não pôde ser realizada por incompatibilidade dos métodos aplicados na estimativa.

A aplicação do programa ONDA.LSP no lago de Porto Primavera foi possível pela adoção da velocidade de 6 m/s com período de ocorrência supostamente uniformemente distribuído em cada direção. A onda gerada pelo vento proveniente da direção NE foi identificada como a detentora da maior altura, 53 cm.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

6. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

O método proposto por SAVILLE (1954), de aplicação excessivamente trabalhosa ao projetista, por exigir uma excessiva quantidade de operações gráficas, pôde ser adaptado com sucesso pela utilização de processamento computacional.

O programa, executado em linguagem AutoLISP, ao ser processado em cada nó da malha, eliminou a subjetividade do usuário no processo, conforme o pretendido, gerando regiões identificadas através de cores.

O emprego sucessivo dos programas nos lagos de Ilha Solteira e Porto Primavera permitiu comprovar a aplicabilidade, de forma análoga aos aqui executados, a quaisquer outros lagos.

O comportamento esperado dos aplicativos nas ocasiões em que foram solicitados demonstra que estão prontos para seguir novas etapas de aperfeiçoamento. Estas novas etapas envolvem principalmente alterações com objetivo de melhoria na interface com o usuário e flexibilização de características até então rígidas. Entre estas alterações está a opção de gerar imagens coloridas ou em tons de cinza, a alternativa em definir a escala de valores do diagrama gerado, ou ainda a escolha da quantidade de classes de cores a demarcar a superfície do lago. Quanto aos aspectos relativos à interface com o usuário, a principal é realizar a interação do programa com o usuário por meio de caixas de diálogo, impedindo acessos diretos a estrutura do programa, evitando erros acidentais como digitação involuntária de caracteres.

Outra necessidade observada é a flexibilização do formato do diagrama de ventos, permitindo ao usuário modificar a escala, a quantidade de intervalos na legenda e as cores utilizadas. Para isto se fazem necessárias alterações estruturais diretamente sobre o programa, mas todas perfeitamente possíveis.

No decorrer do processo de aplicação dos programas de saída gráfica em lagos, surgiu a necessidade da elaboração de um aplicativo que salvasse a imagem gerada segundo um formato retangular com as coordenadas conhecidas de, no mínimo, dois vértices diagonalmente opostos. É importante também que o arquivo gerado ocupe pouco espaço de armazenamento. Um programa está em fase de conclusão, mas só consegue salvar o arquivo no formato wmf, propício para grandes

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

ampliações, mas exige grande espaço para armazenamento. Um investimento nesta solução pode ser útil em tentativas futuras de automatização completa da estimativa de ondas e disposição dos dados na rede mundial.

O presente trabalho contribuiu de forma significativa para uma definição segura do comprimento das pistas de vento, sua localização geográfica e a definição segura dos pontos de ocorrências máximas em quaisquer lagos. Colaborou com o processo de estimativa de ondas em águas interiores, permitindo ao projetista a flexibilidade na escolha da formulação empírica a utilizar, e ainda proporcionando resultados de saída gráfica que permitem a constatação da tendência de crescimento das ondas. Forneceu ferramentas que agilizam o processo de geração de resultados gráficos para ventos, pistas e ondas. Permitiu ainda o processamento de dados de vento de forma objetiva e eficiente.

A continuidade deste trabalho pode enfocar a geração de informações de estimativa de altura de ondas em tempo real. Estas informações tomariam a forma de imagens geradas pela execução dos aplicativos aqui descritos através do fornecimento de informações contínuas de vento. Estas seriam dispostas na rede mundial em intervalos constantes de tempo. Porém, para que os resultados assim gerados representem de modo fiel os fenômenos físicos observados, devem ser realizadas correlações entre as informações simultâneas fornecidas pelo anemômetro e as leituras de alturas de ondas realizadas diretamente sobre o lago. O conhecimento das pistas de vento pela informação da posição do equipamento no lago e pela direção do vento possibilitaria a geração de um método específico para aplicação em águas interiores.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Ronaldo (2000). **Lisp para AutoCAD**. *2000*. Florianópolis: VisualBooks.

CANDELLA, Rogério Neder. (1997). **Estudo de Casos de Ondas no Atlântico Sul Através de Modelagem Numérica.** Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

ATAKRÜRK, S. S; KATSAROS K. B (1997). **Wind Stress and Surface Waves Observed on Lake Washington.** American Meteorological Society, v. 29, pp. 663-650.

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

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

DEAN, R. G. & DALRYMPLE, R. A. (1991). **Water wave mechanics for engineers and scientists**. 2nd edition, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: Word Scientific Publishing Company, 353p.

FÉDIAEVSKI, C.; Voïtkounski, I.; Faddéev, Y. (1979). **Mecânica dos fluidos**. Ed. Lopes da Silva, Porto, Portugal. 595 p.

FERREIRA, A. Nunes (2000). **Estudo de Acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná: Aspectos Preventivos.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

GAÁL, J. A. **Curso de AutoLISP** (1997). 1.ª Ed. Campinas: DeseCAD Computação Gráfica.

GUETTER, A. K. et al (2005). **Efeito do vento sobre o Reservatório de Itaipu : Cenários**

de vento e impacto no balanço hídrico . XVI Simpósio de Recursos Hídricos – João Pessoa – PB – novembro 2005.

KAISER, Ilda Machado (1985). **Ondas geradas por ventos em reservatórios artificiais: um panorama**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos.

KISMAN (1965). **Wind Waves**. Prentice-Hall, Englewood Cliff – New Jersey, EUA.

LIMA, S. F. ; NASCIMENTO, M. F. ; UAISSONE, A. J. R. ; NEVES, C. F. (2003). **Estimativa das maiores ondas geradas pelo vento no reservatório de Ilha Solteira**. In: *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.* Curitiba: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

MATSUMOTO, E. Yathie (2001). **AutoLISP 2002**. São Paulo: Érica.

MUHAMMAD, I (2001). Simulation of the Wind effect on the Itaipu Reservoir in Brazil. Master Thesis. Coastal Research Laboratory.Coastal. Research Laboratory, Christian Albrechts University, Kiel, Germany, 112p.

PADOVEZI, Carlos Daher. (2003). **Conceito de Embarcações Adaptadas à Via Aplicado à Navegação Fluvial no Brasil.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ROSAURO, N. M. L (1990). **Simulação da Circulação Induzida Por Vento Na Lagoa dos Patos**. In: *XIV Congresso Latino-americano de Hidráulica*. Montevideo, Uruguay. p. 0-0.

SAVILLE, T. *et al* (1954). **The effect of fetch width on wave generation**. *Journal Technical Memorandum*, n. 70.

SORENSEN, Robert M. (1978). **Basic Coastal Engineering**. John Wiley & Sons.

TAJADURA, J. A., LÓPEZ, J. (1988). **AutoCAD Avanzado**. Madrid: McGRAW-HILL, 1988.

TROVATI, L. R., Dall'Aglio Sobrinho, M. e Maciel, G.F. (2001). **Produção de ondas**

induzidas pelo vento no lago de Ilha Solteira. Relatório Final de Pesquisa FAPESP. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. **Shore Protection Manual**. (1973), Third Edition, Volumes 1. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers.

_____. **Shore Protection Manual** (1973). Third Edition, Volumes 2. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers.

U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC) (1983). **Shore Protection Manual.** Volumes 1. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers.

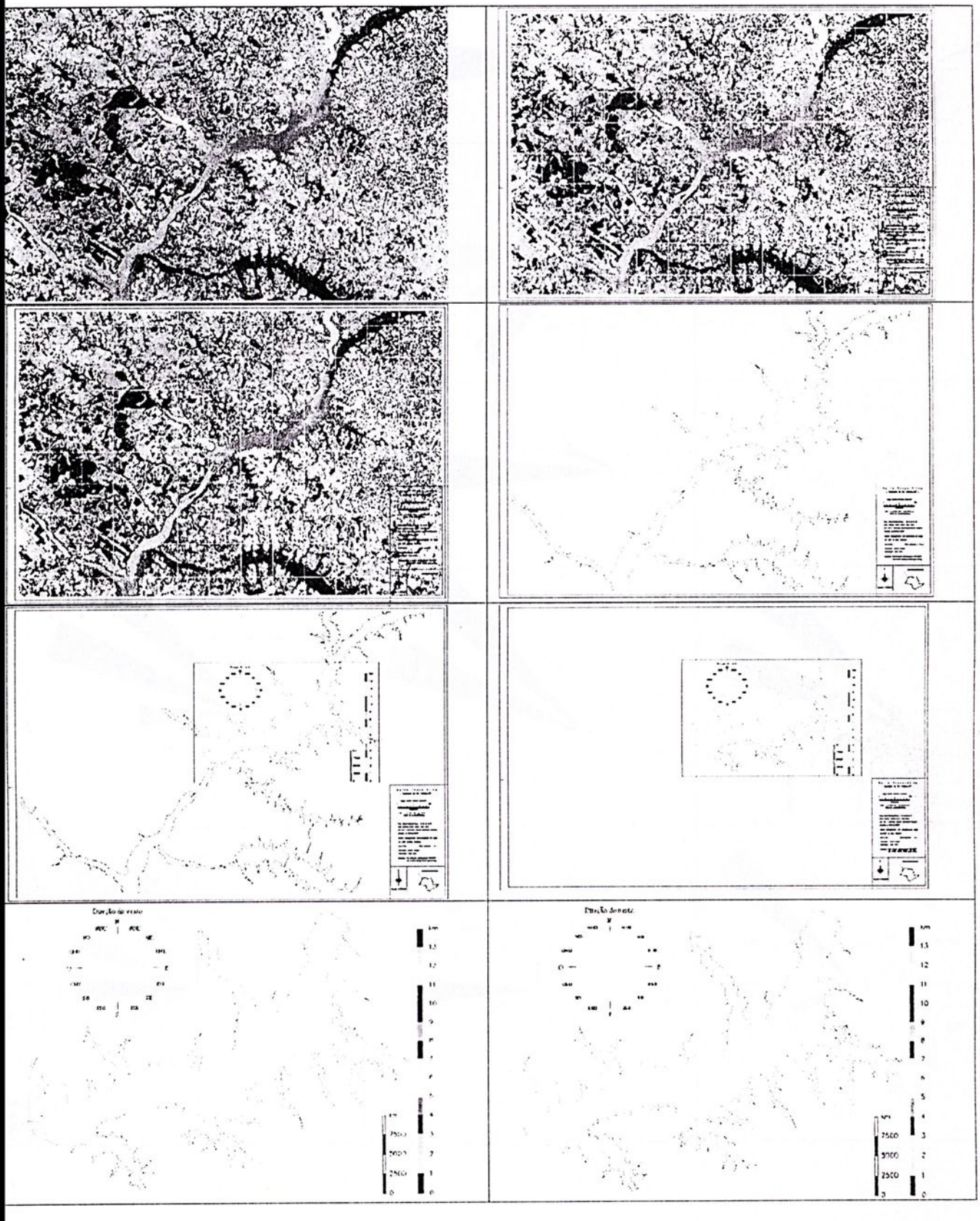
U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Coastal Engineering Manual** (2001,2004). Third Edition. Washington, D.C.: Department of Army Corps of Engineers. Versão em CD-ROM.

WIEGEL, Robert L. **Oceanographical Engineering** (1964). First Edition. Washington, D.C.: Prentice-Hall International series in Theoretical and Applied Mechanics: University of Illinois.

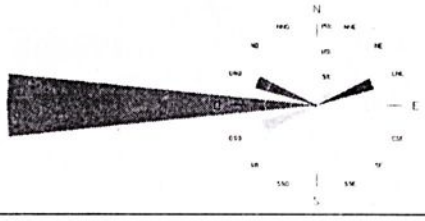
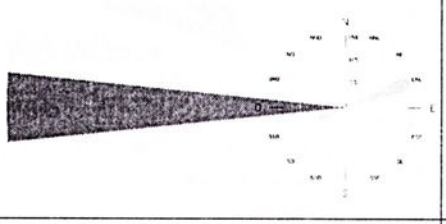
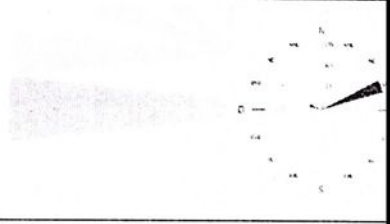
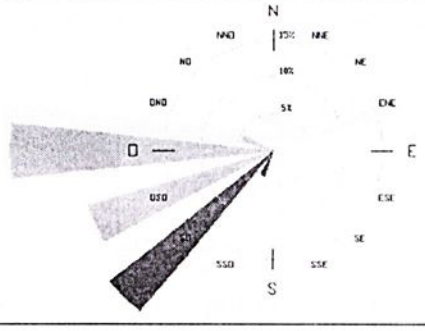
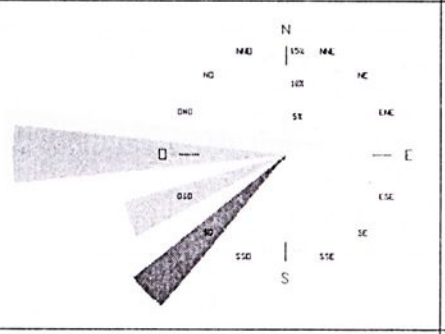
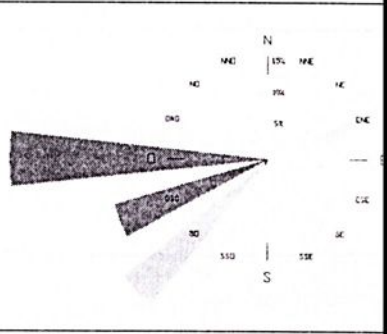
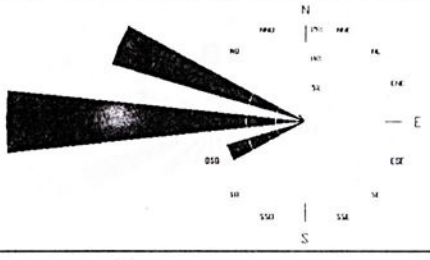
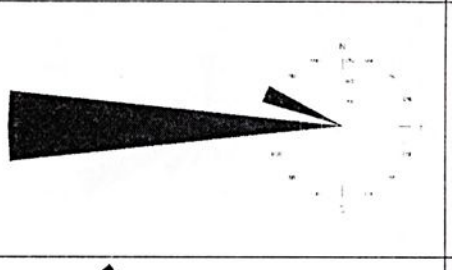
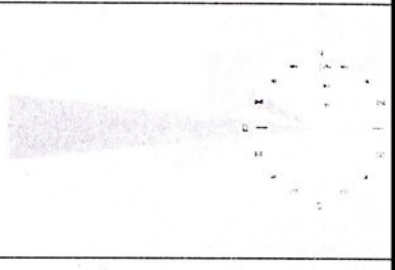
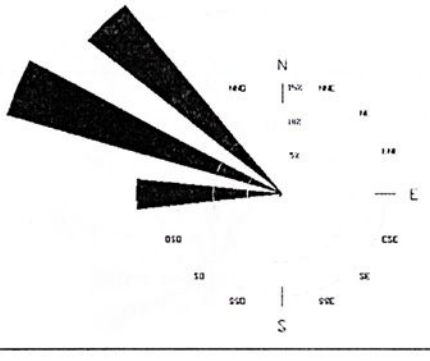
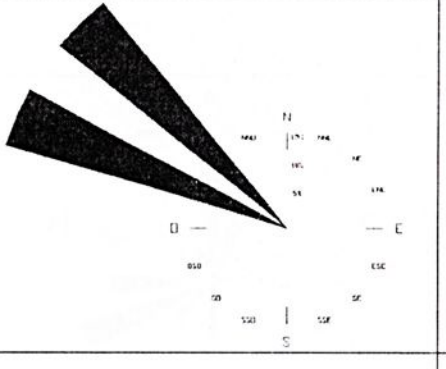
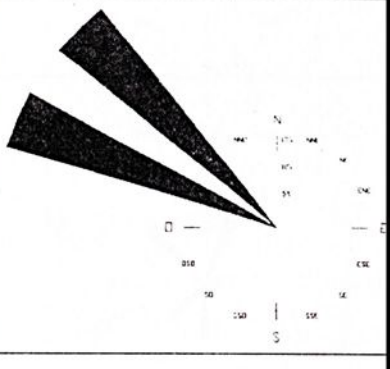
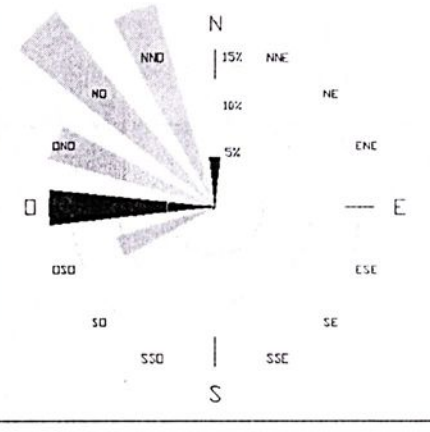
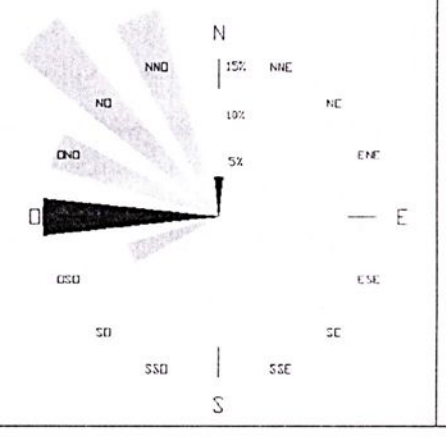
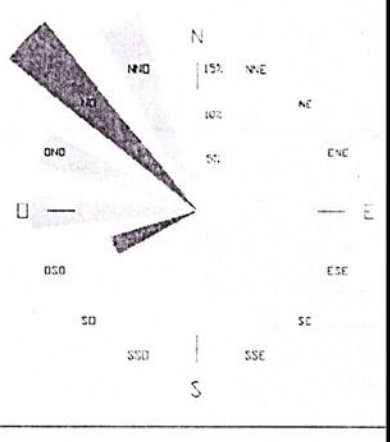
U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Coastal Engineering Manual** (2001). Third Edition. Washington, D.C.: Department of Army Corps of Engineers. Versão em CD-ROM.

ANEXOS

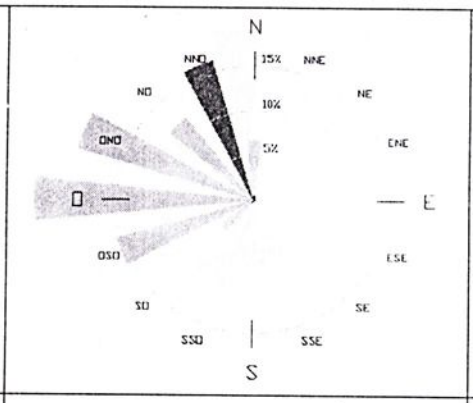
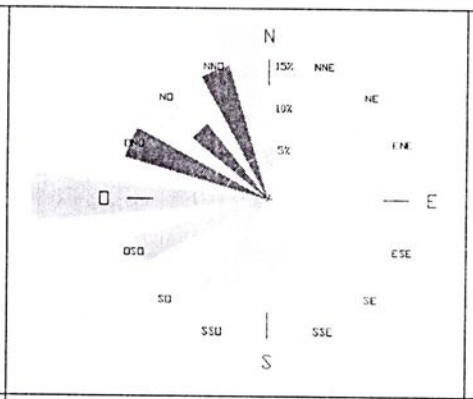
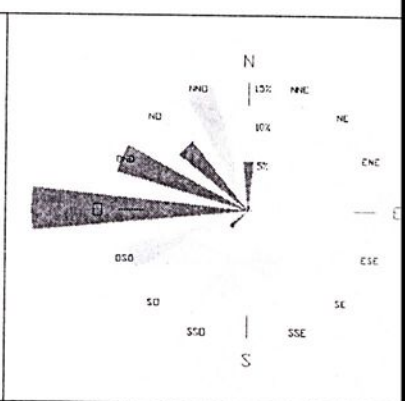
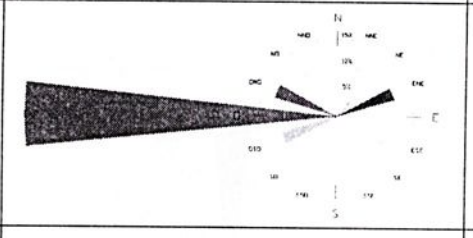
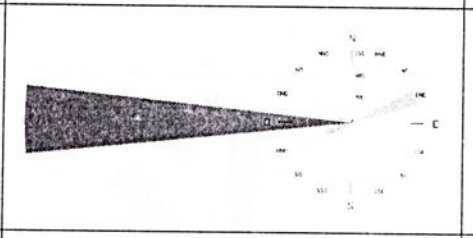
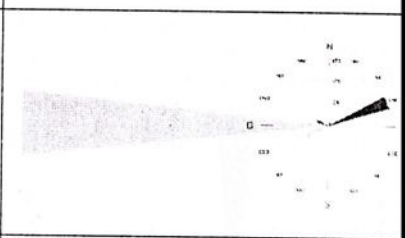
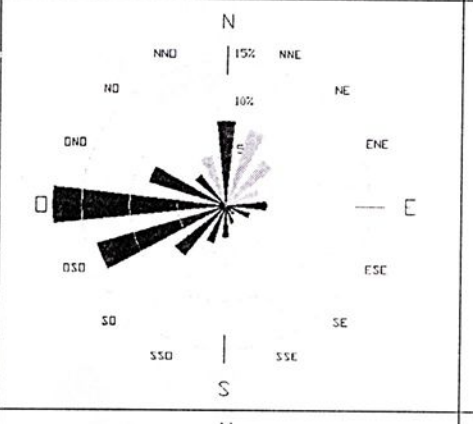
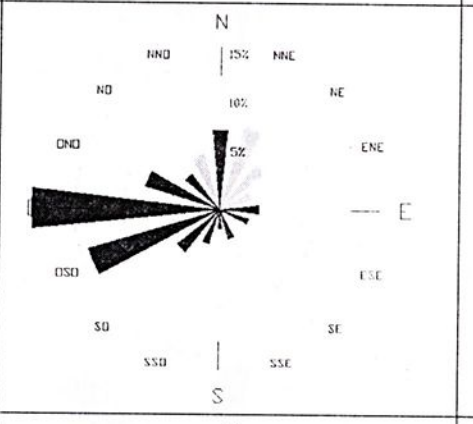
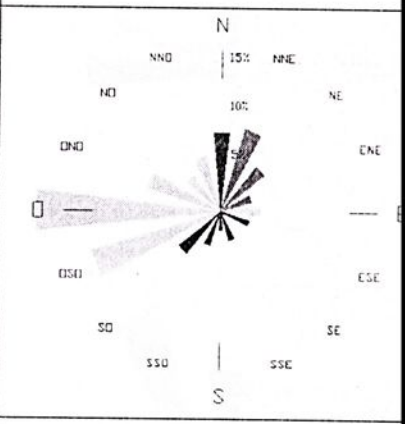
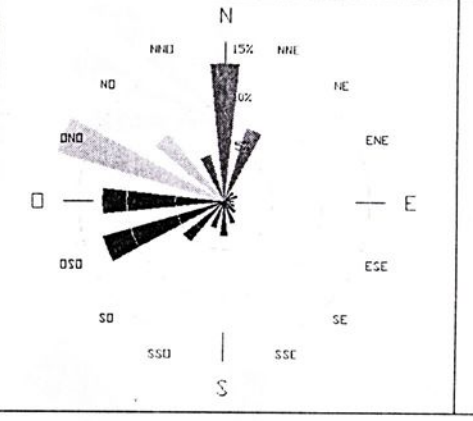
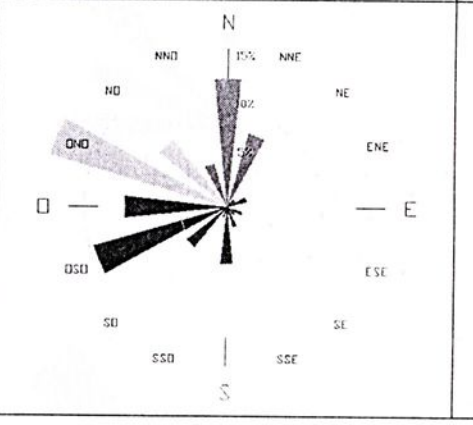
ANEXO 1 – Aspectos da determinação do contorno do lago e georeferenciamento à partir de foto de satélite.



ANEXO 2 - Tabela com a Rosa de Ventos de cada arquivo

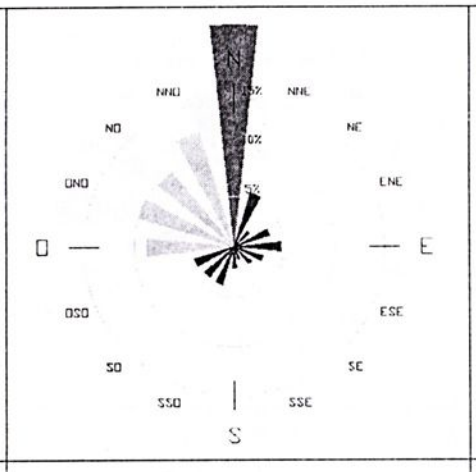
ARQ.	MEDIA103	MEDIA106	MAX106
BKVENT01			
BKVENT02			
BKVENT03			
BKVENT04			
BKVENT05			

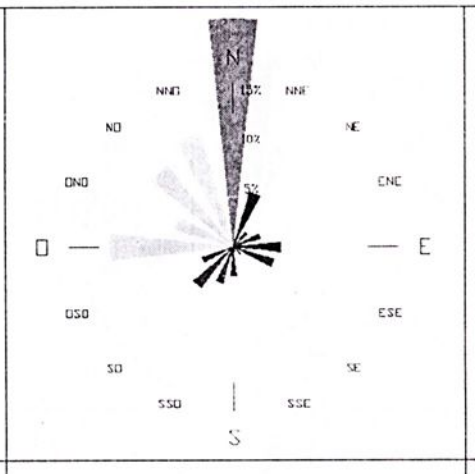
cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

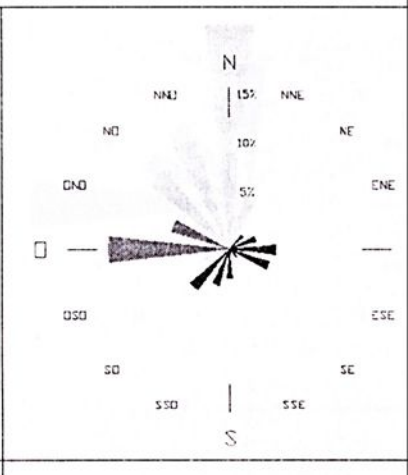
BKVENT06			
BKVENT07			
BKVENT08			
BKVENT09			

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

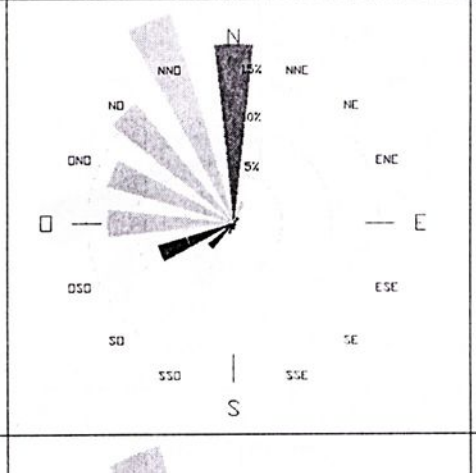
BKVENT10

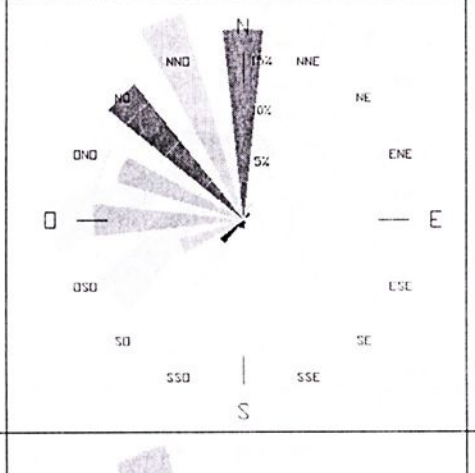


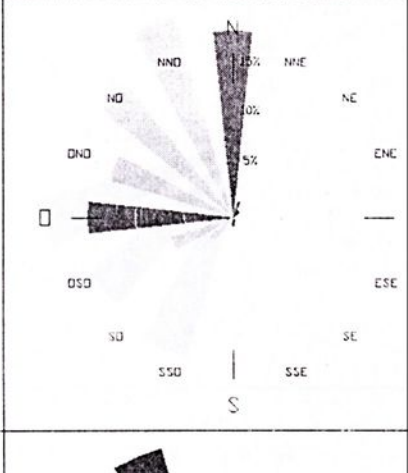




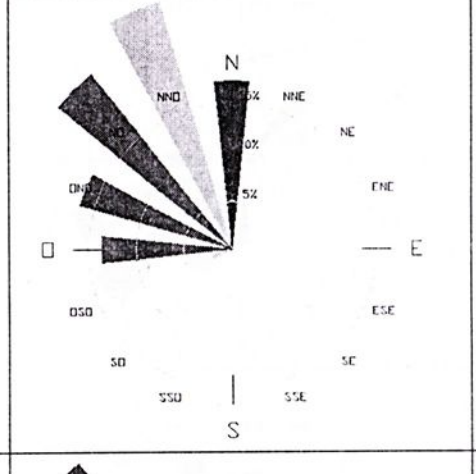
BKVENT11

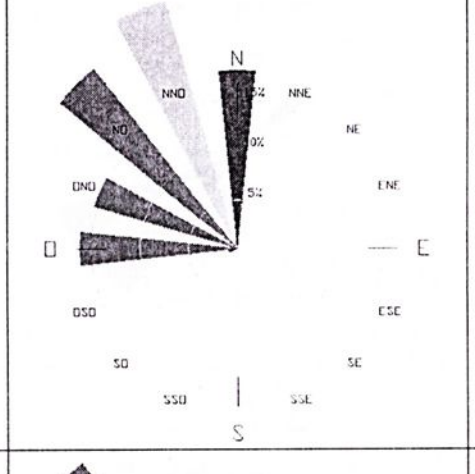


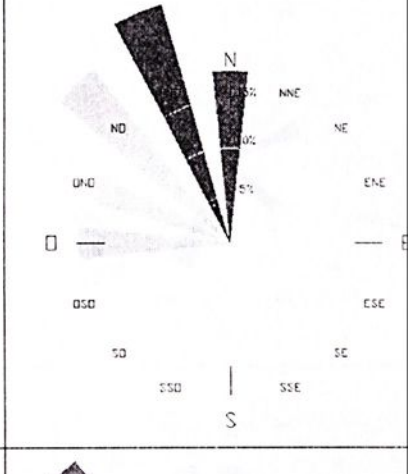




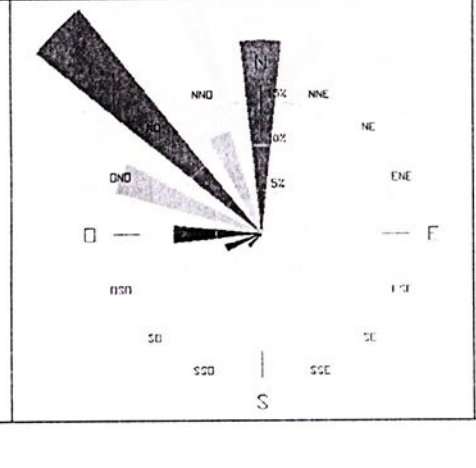
BKVENT12

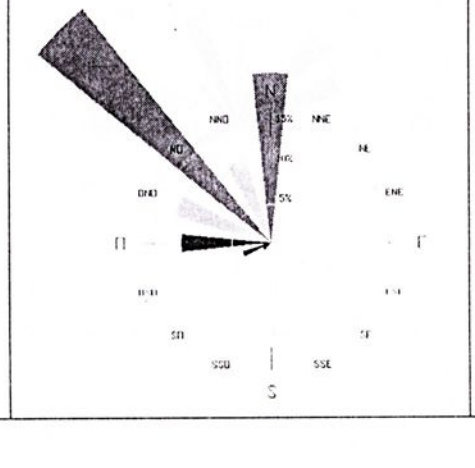


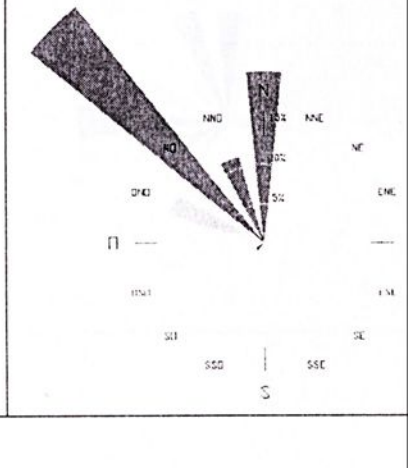




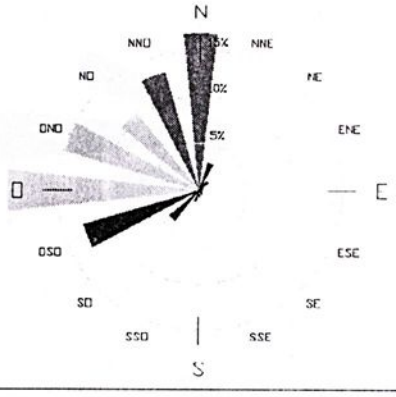
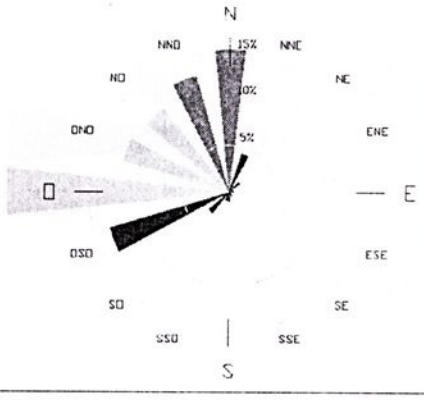
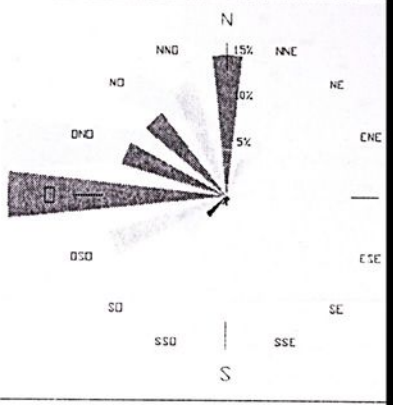
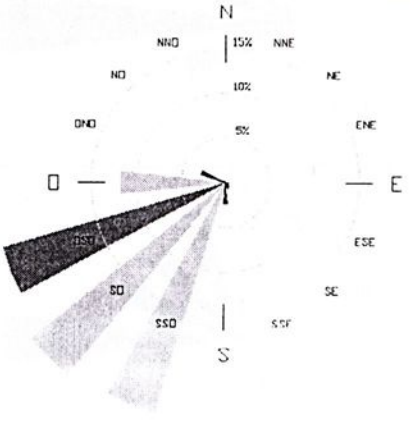
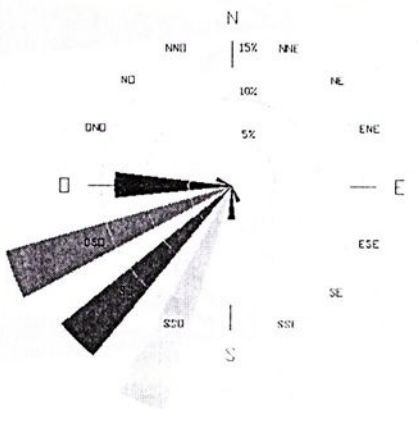
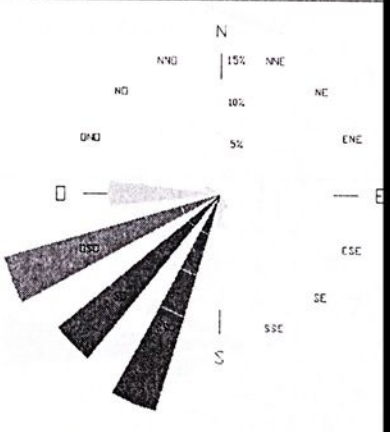
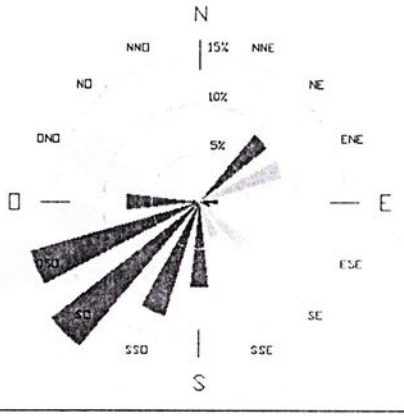
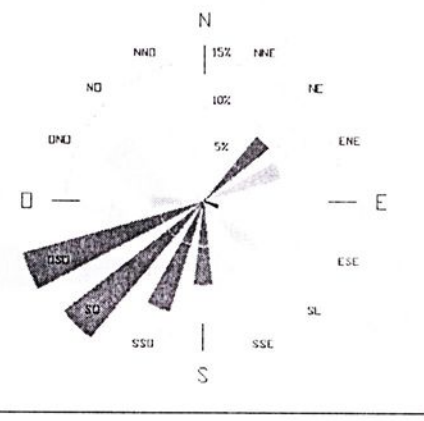
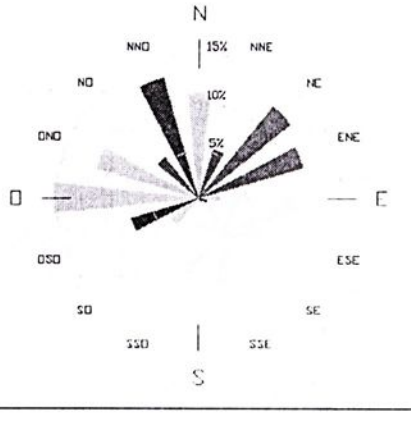
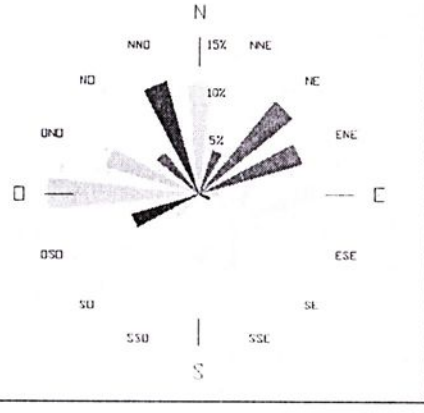
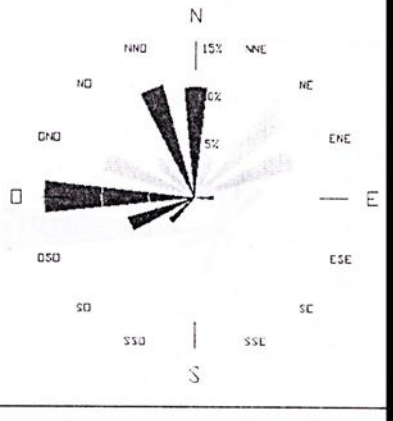
BKVENT13





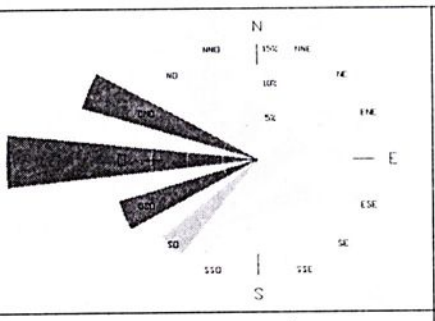


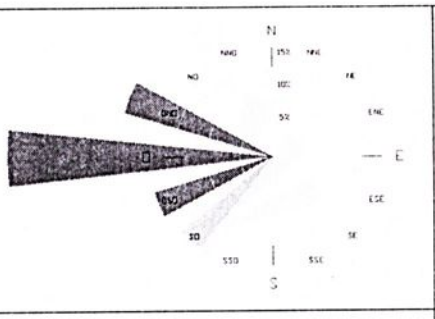
cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

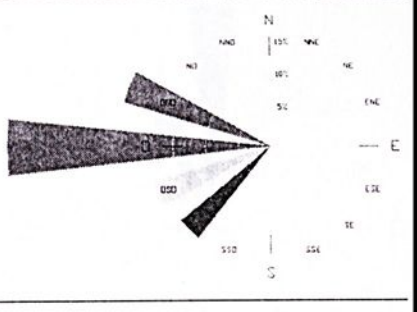
BKVENT14			
BKVENT15			
BKVENT16			
BKVENT17			

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

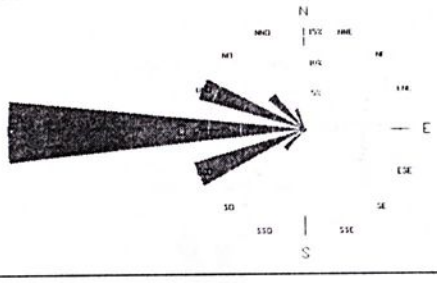
BKVENT18

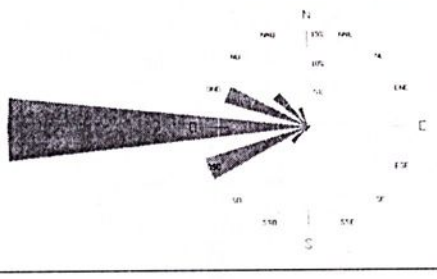


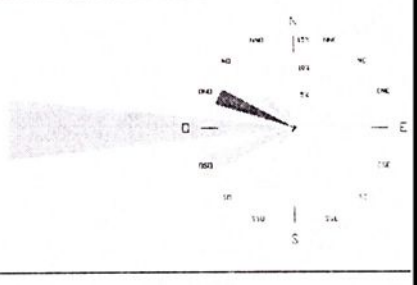




BKVENT19

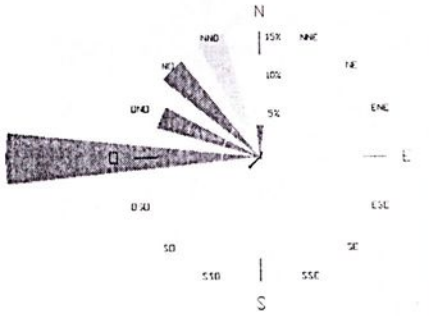


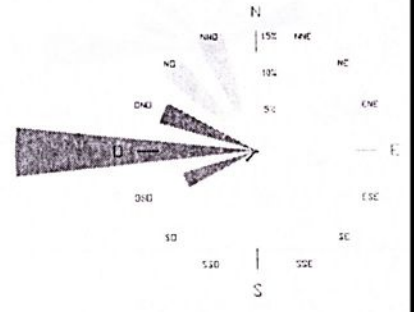




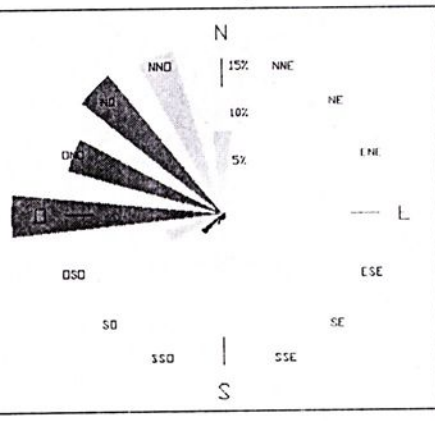
BKVENT20

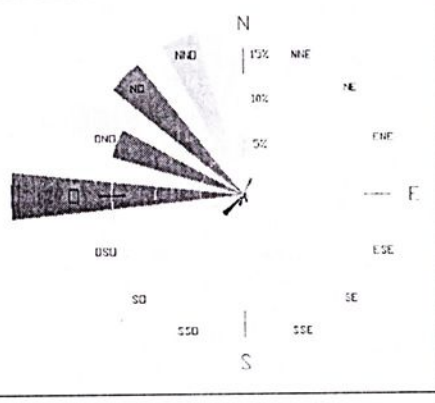


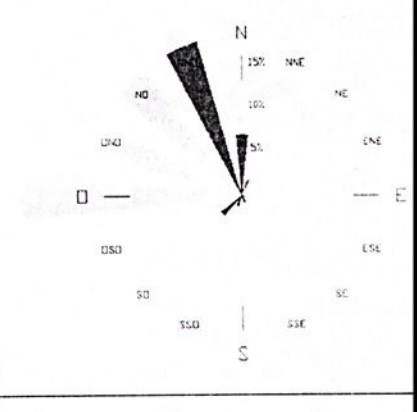




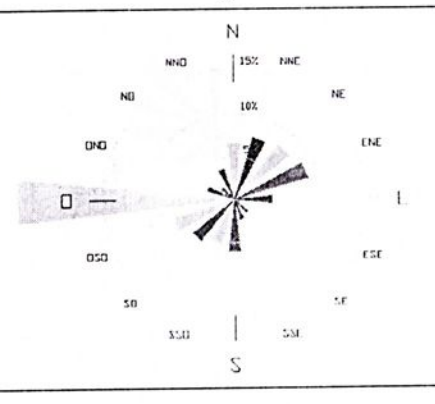
BKVENT21

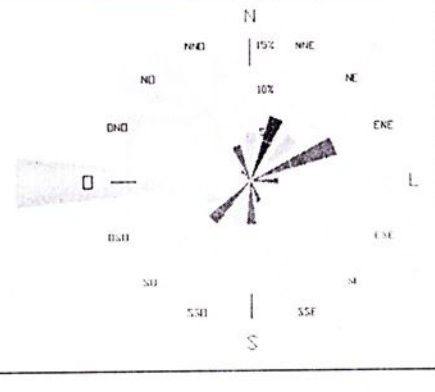


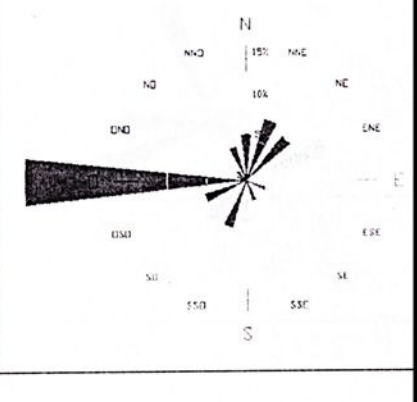




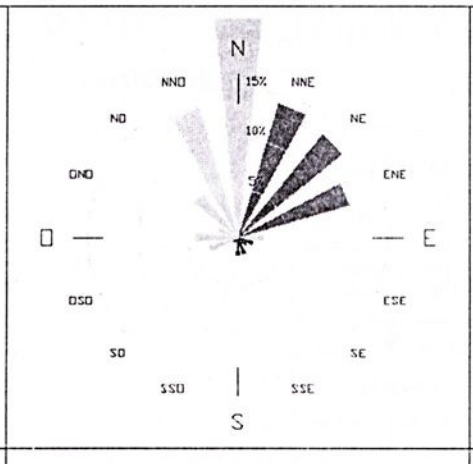
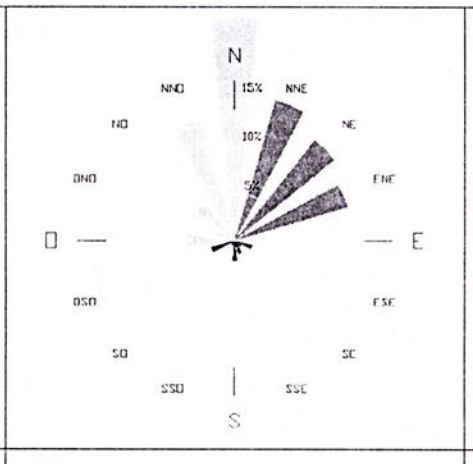
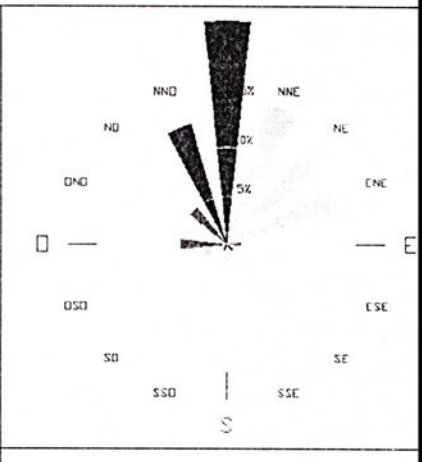
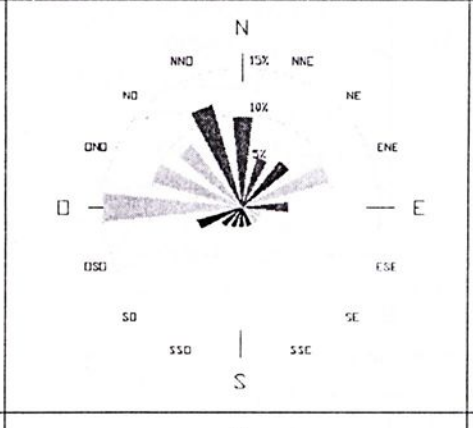
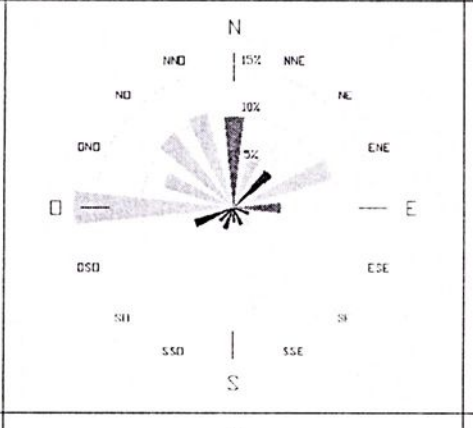
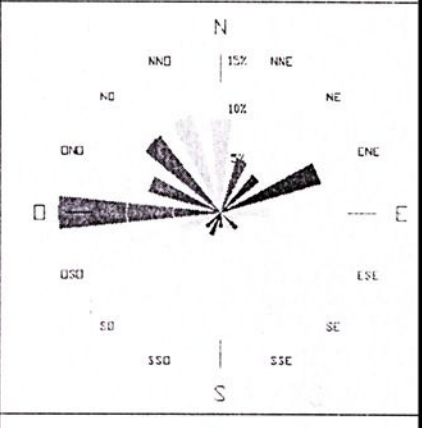
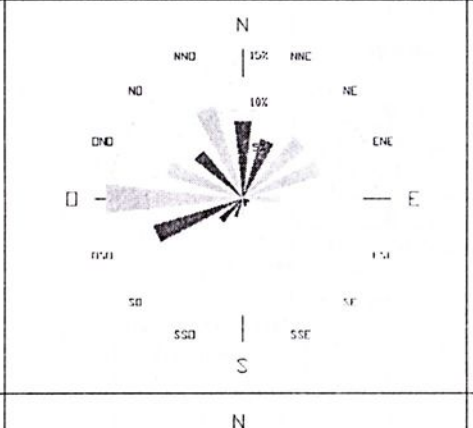
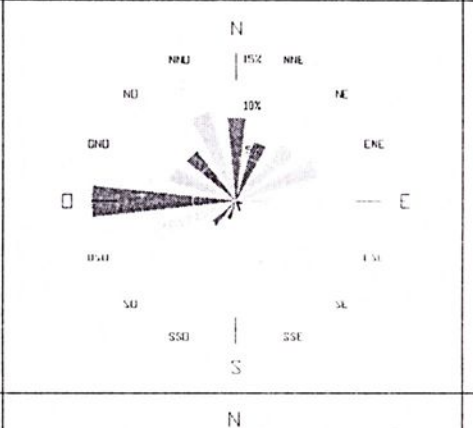
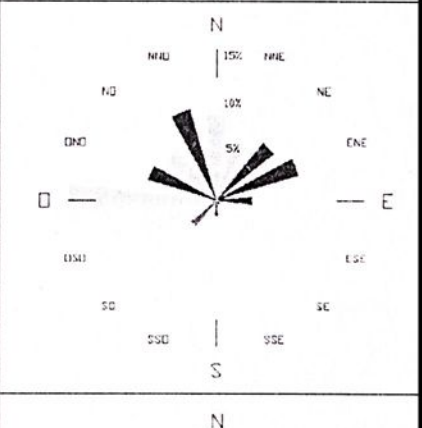
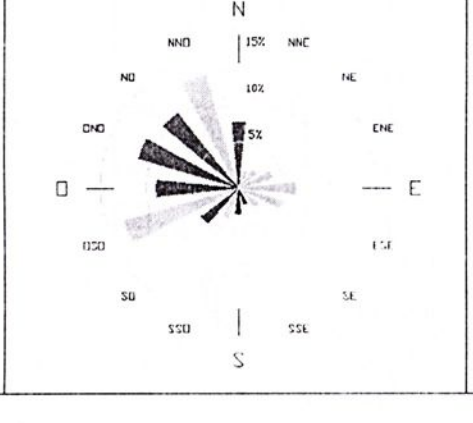
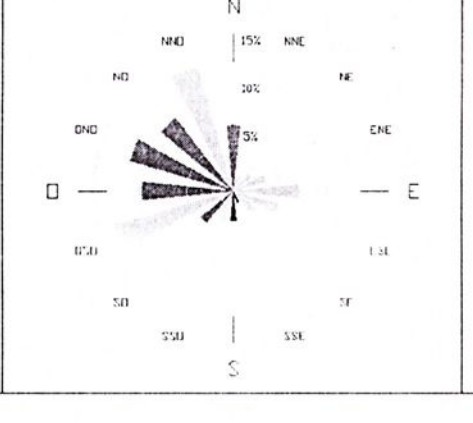
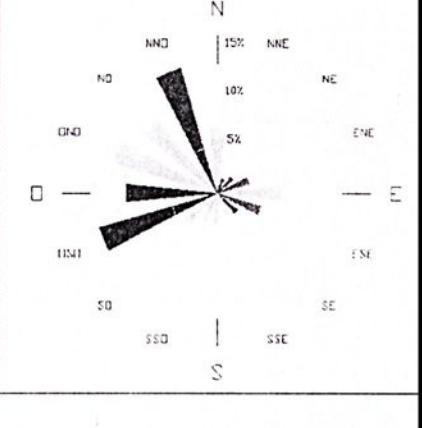
BKVENT22







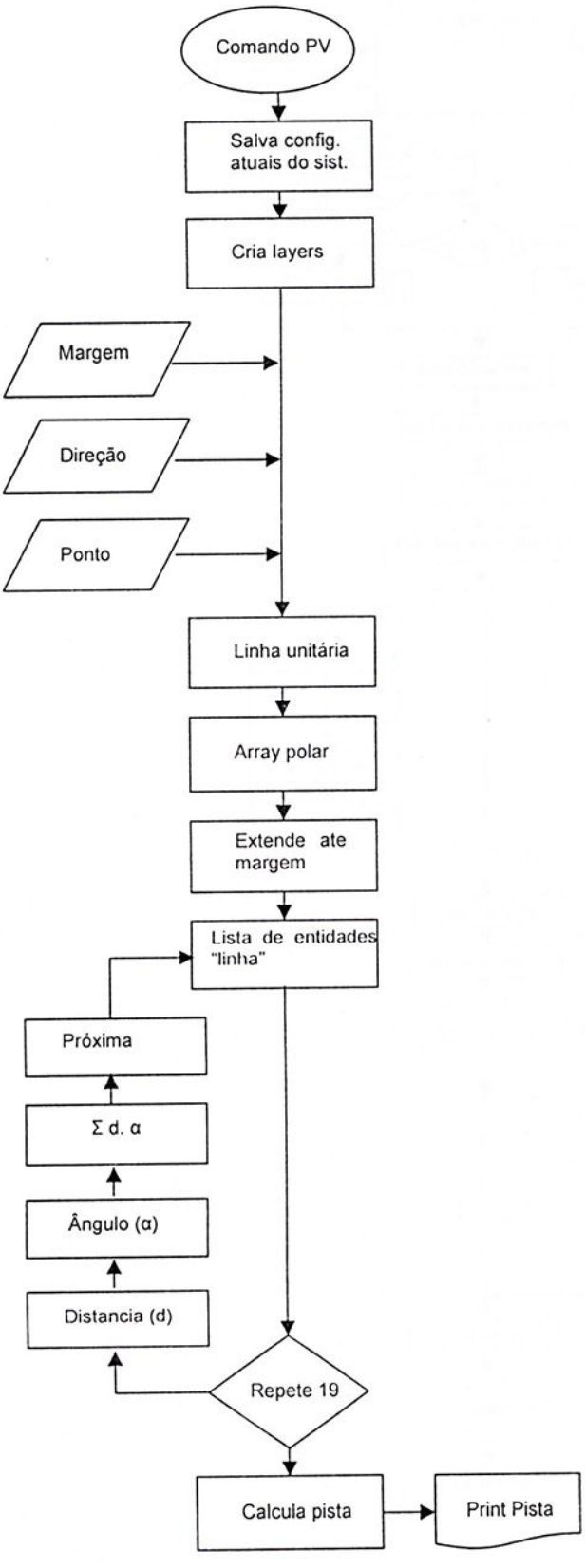
cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 1 12 13 14 15 16 17 18

BKVENT23			
BKVENT24			
BKVENT26			
BKVENT40			

unesp

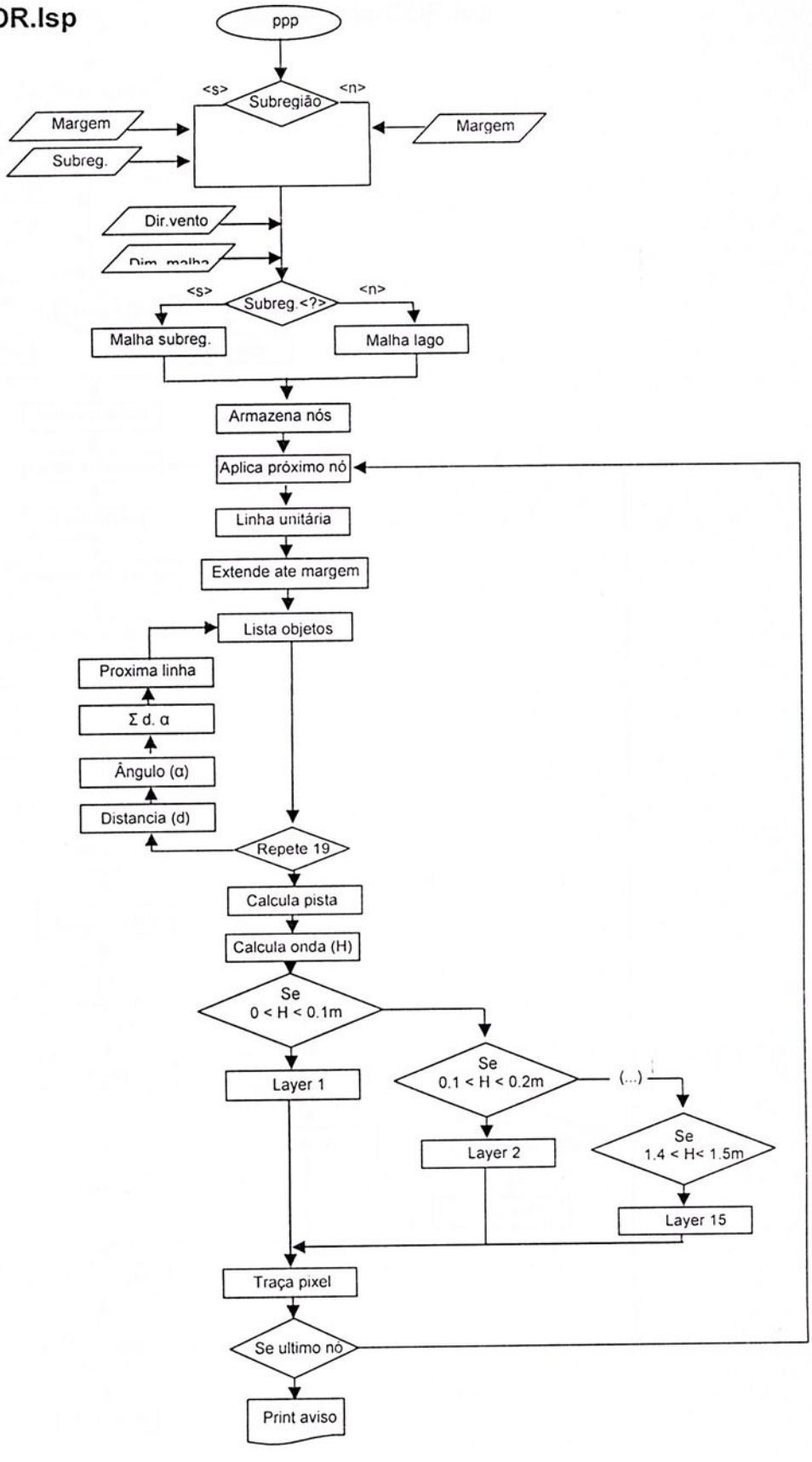
ANEXO 3 – Fluxogramas dos programas.

vento.lsp

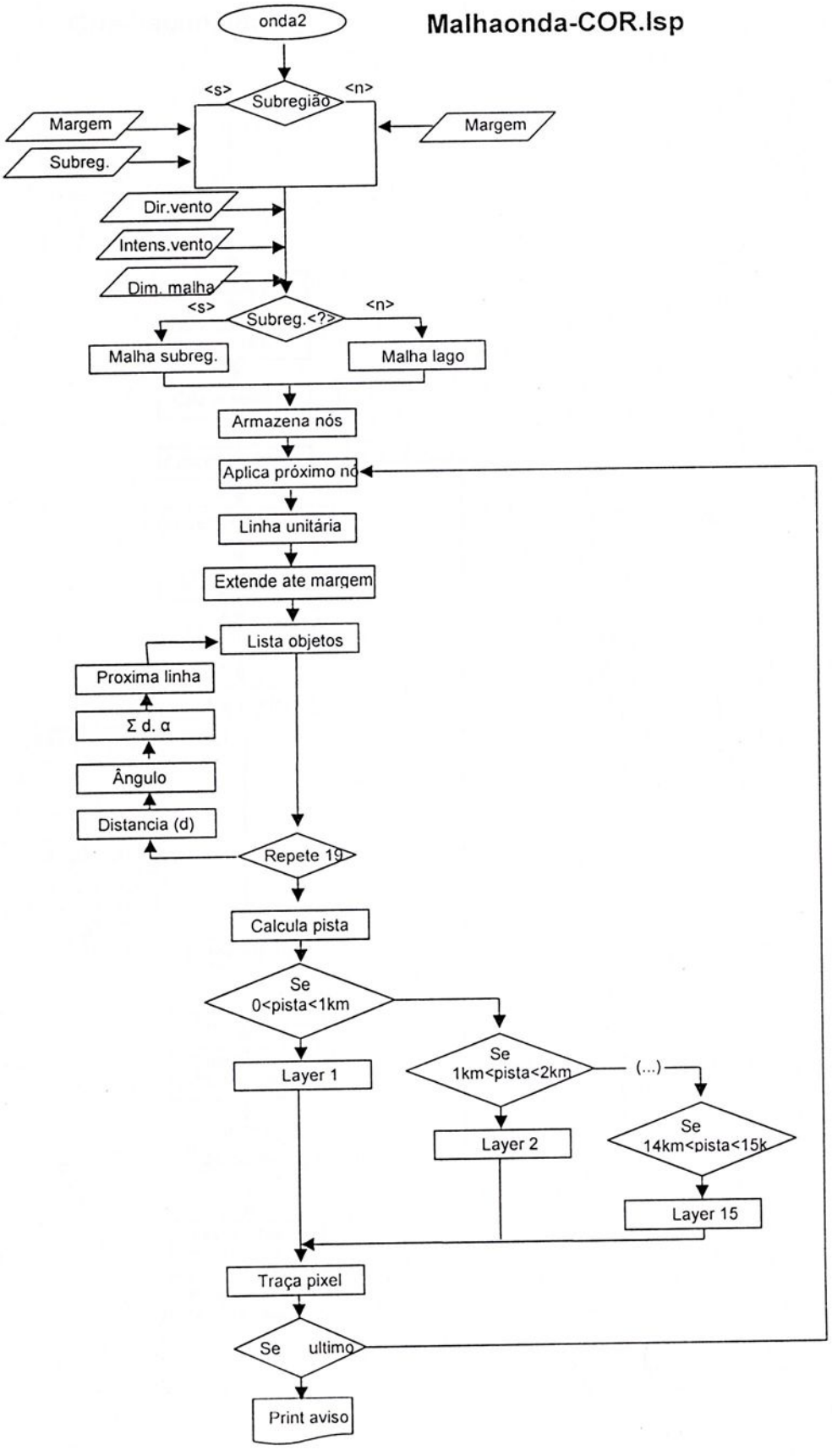


- Fluxograma dos programas

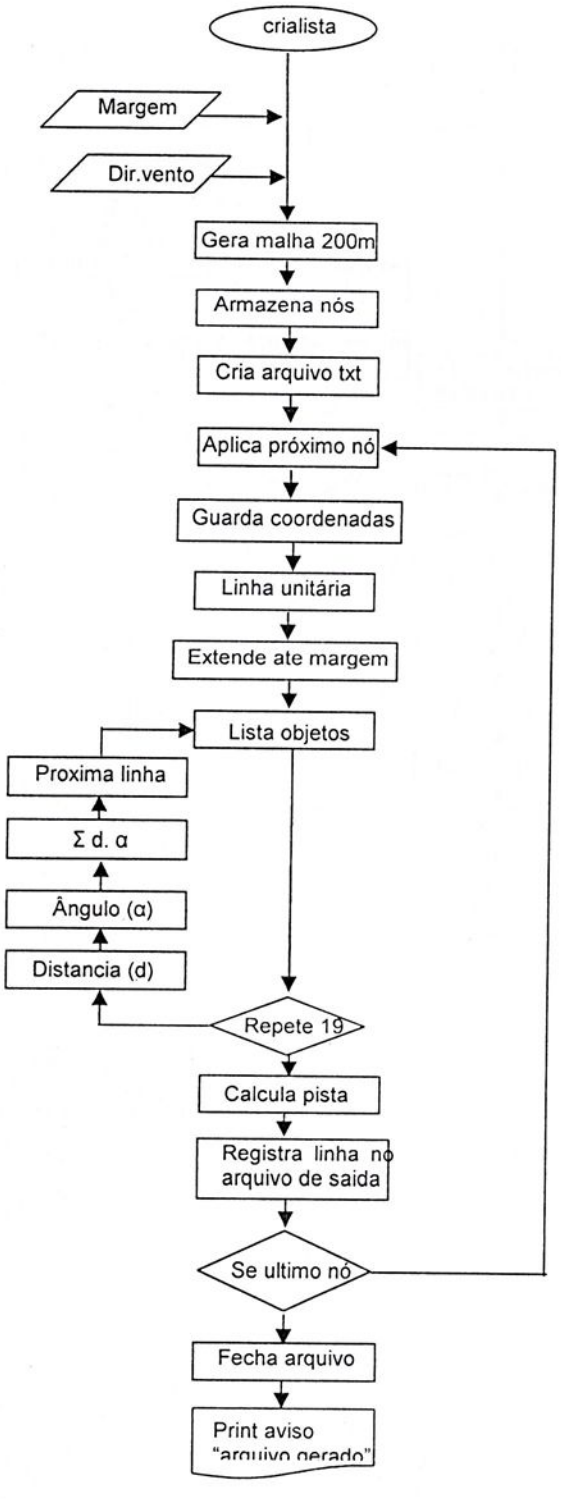
Malhapista-COR.lsp



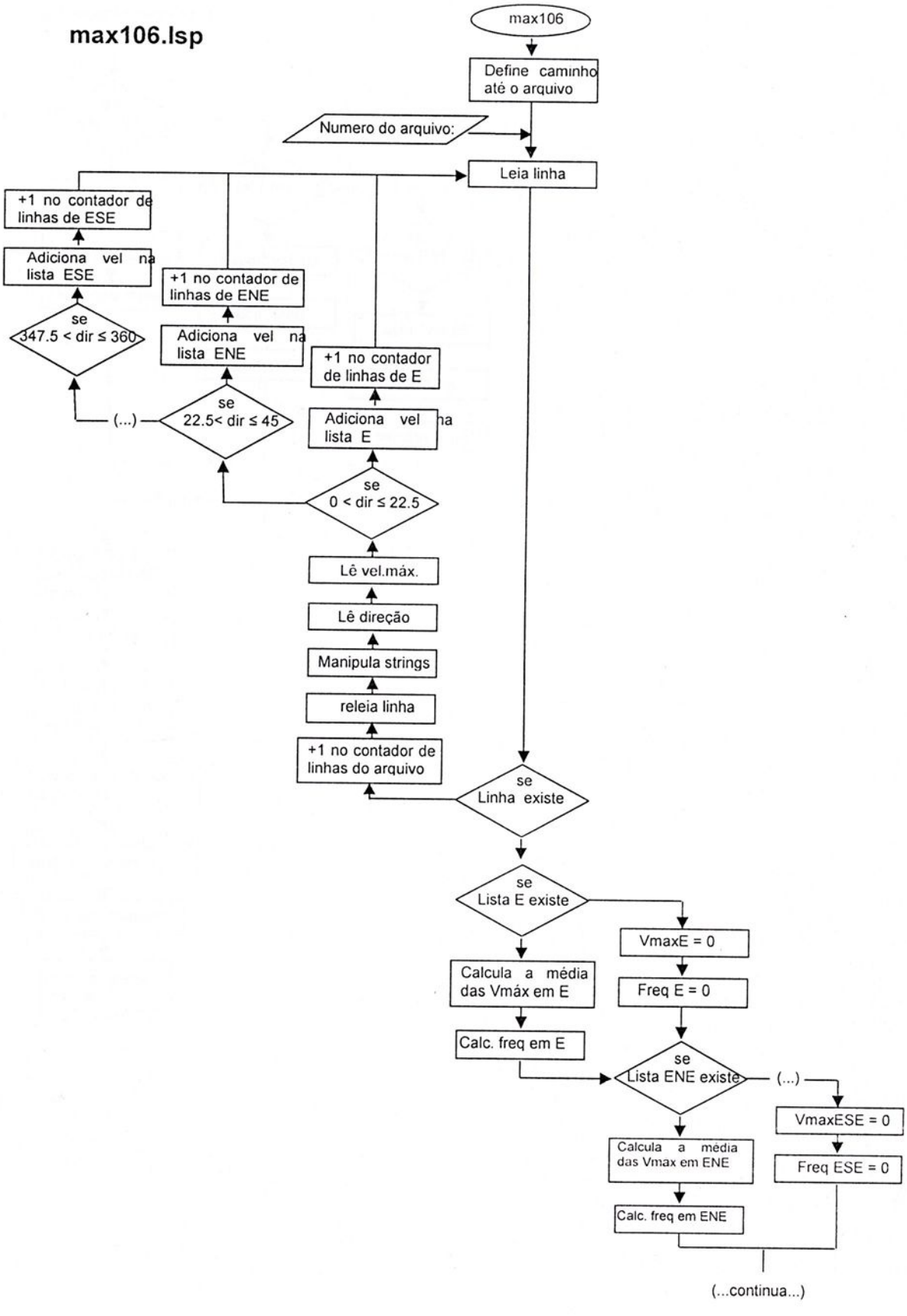
Malhaonda-COR.lsp



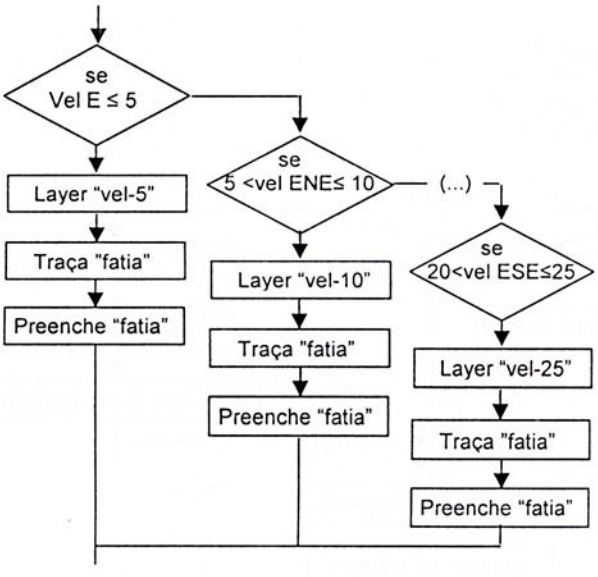
Cria-listamalha.lsp



max106.lsp


max106
Define caminho até o arquivo
Numero do arquivo:
Leia linha
+1 no contador de linhas de ESE
Adiciona vel na lista ESE
se 347.5 < dir ≤ 360
+1 no contador de linhas de ENE
Adiciona vel na lista ENE
se 22.5< dir ≤ 45
+1 no contador de linhas de E
Adiciona vel na lista E
se 0 < dir ≤ 22.5
(...)
Lê vel.máx.
Lê direção
Manipula strings
releia linha
+1 no contador de linhas do arquivo
se Linha existe
se Lista E existe
Calcula a média das Vmáx em E
Calc. freq em E
VmaxE = 0
Freq E = 0
se Lista ENE existe
(...)
Calcula a média das Vmax em ENE
Calc. freq em ENE
VmaxESE = 0
Freq ESE = 0
(...continua...)

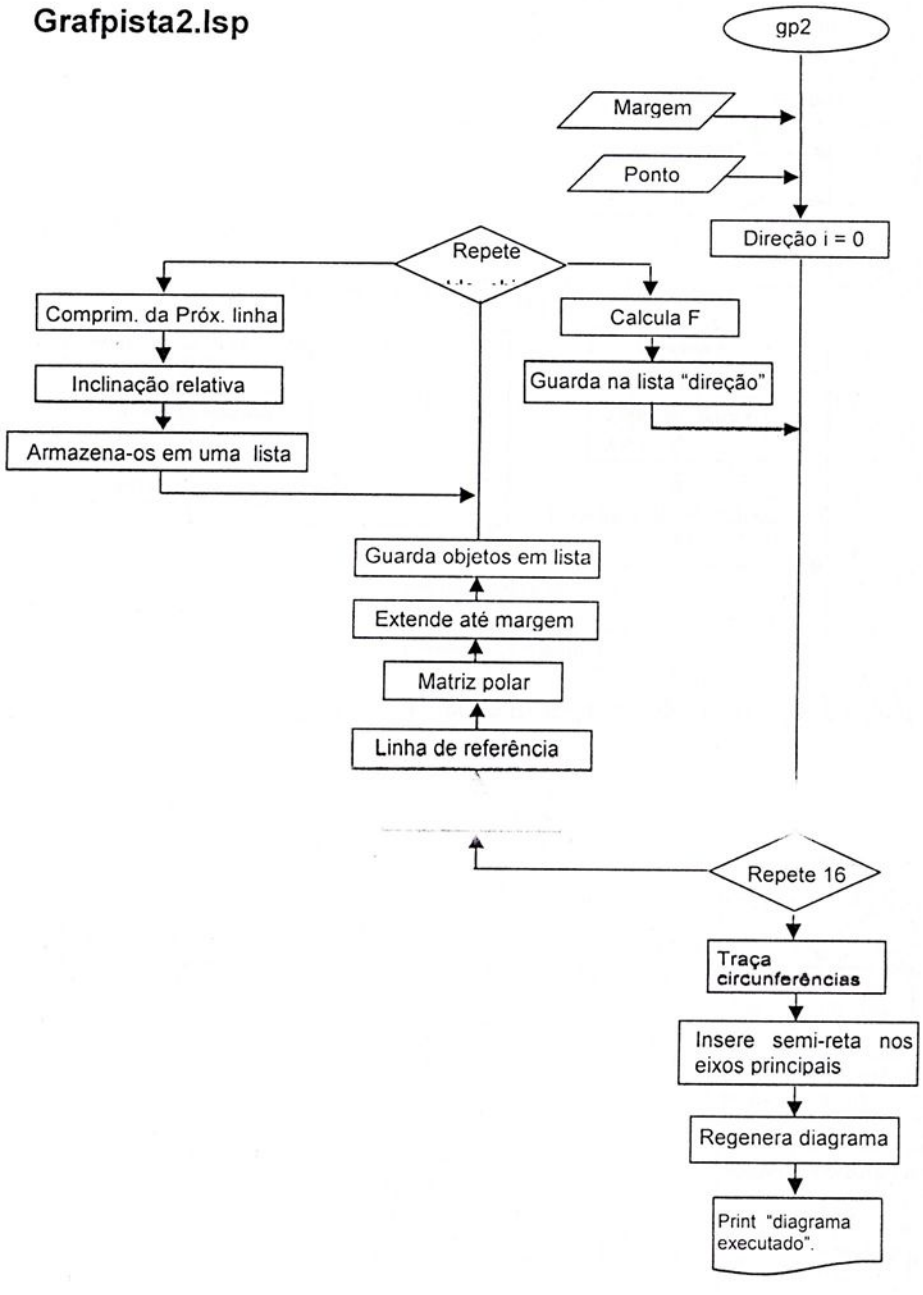
(...continuação max106...)



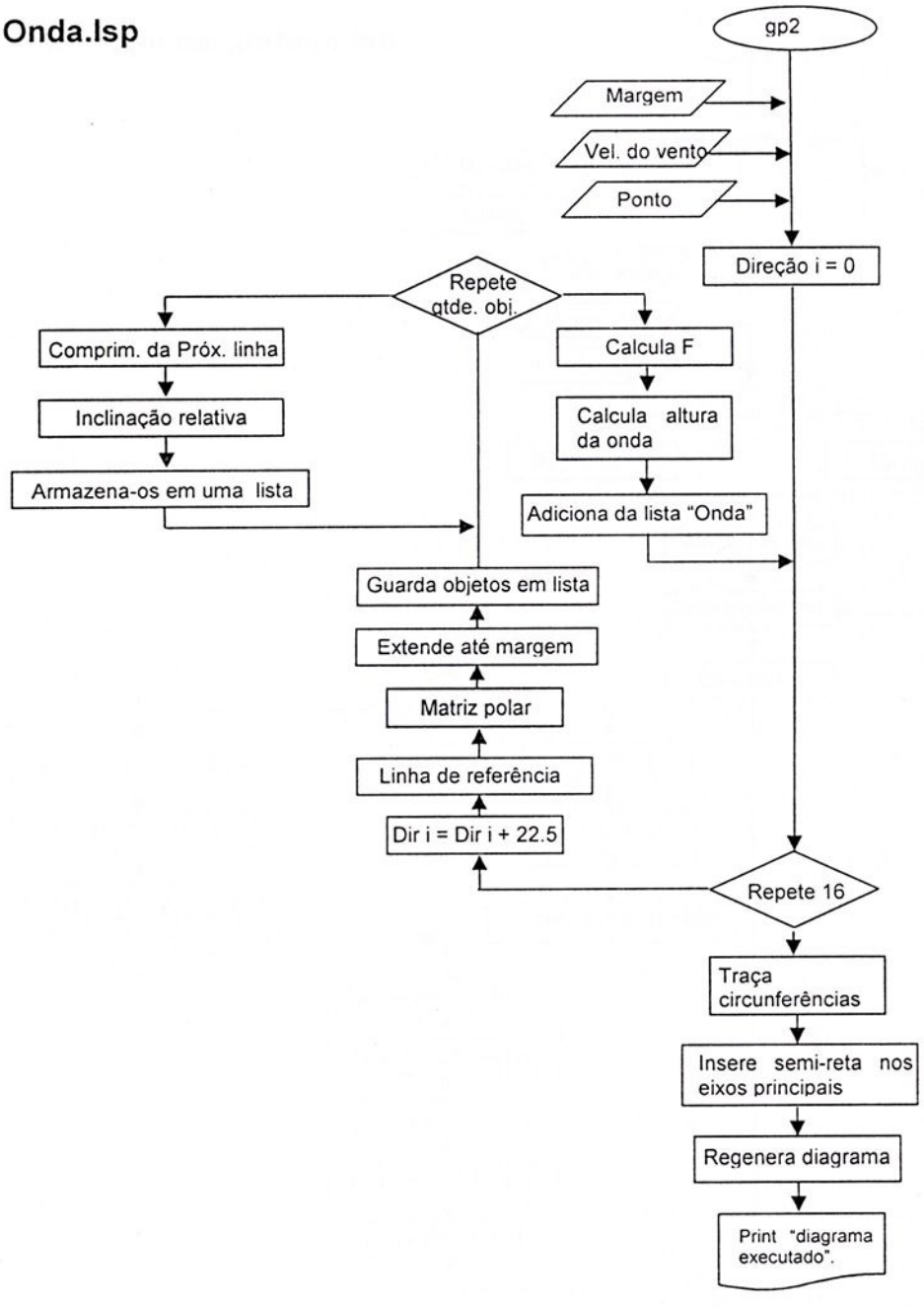
(...repete para as 15 direções restantes...)



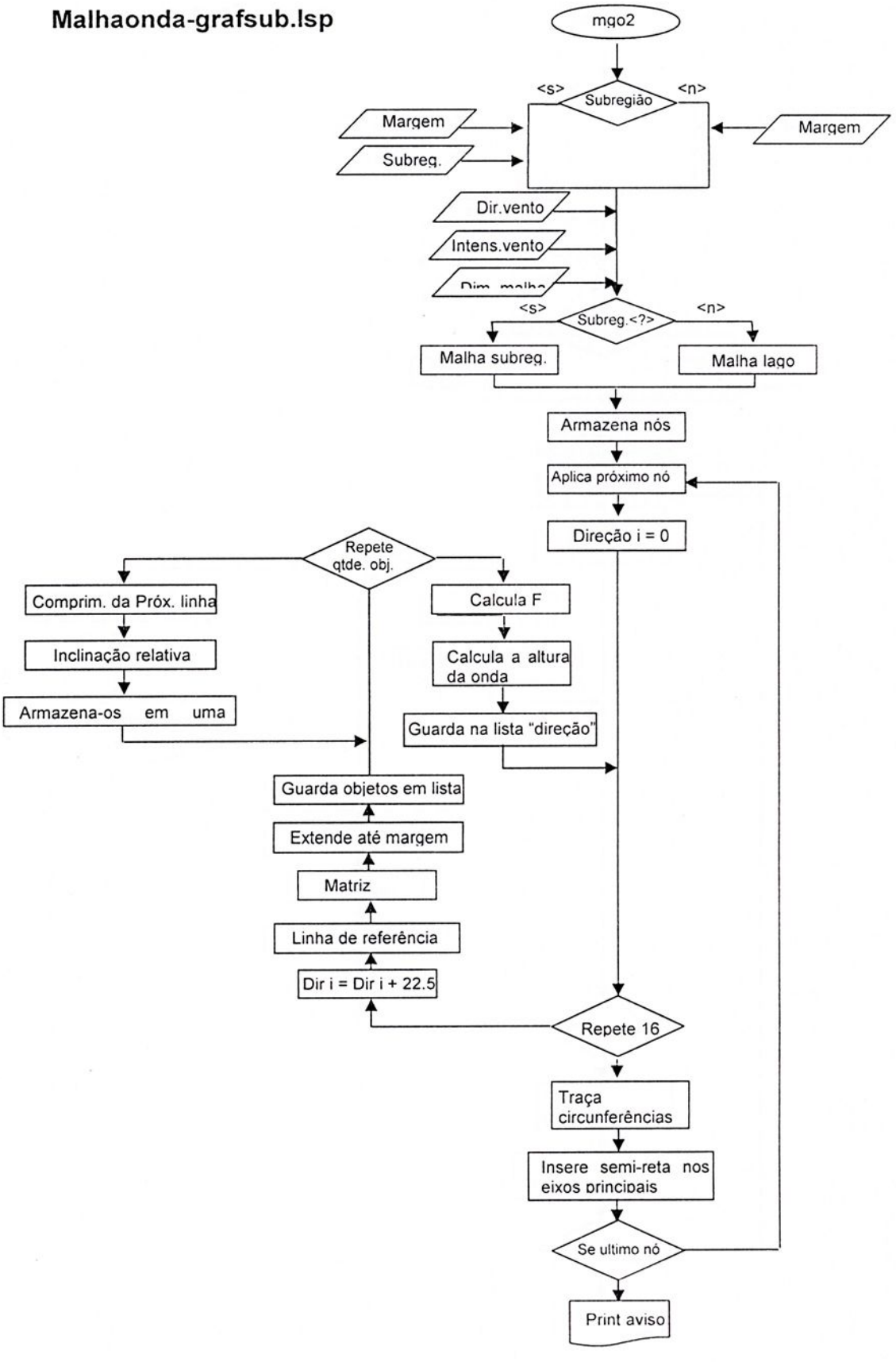
Grafpista2.lsp



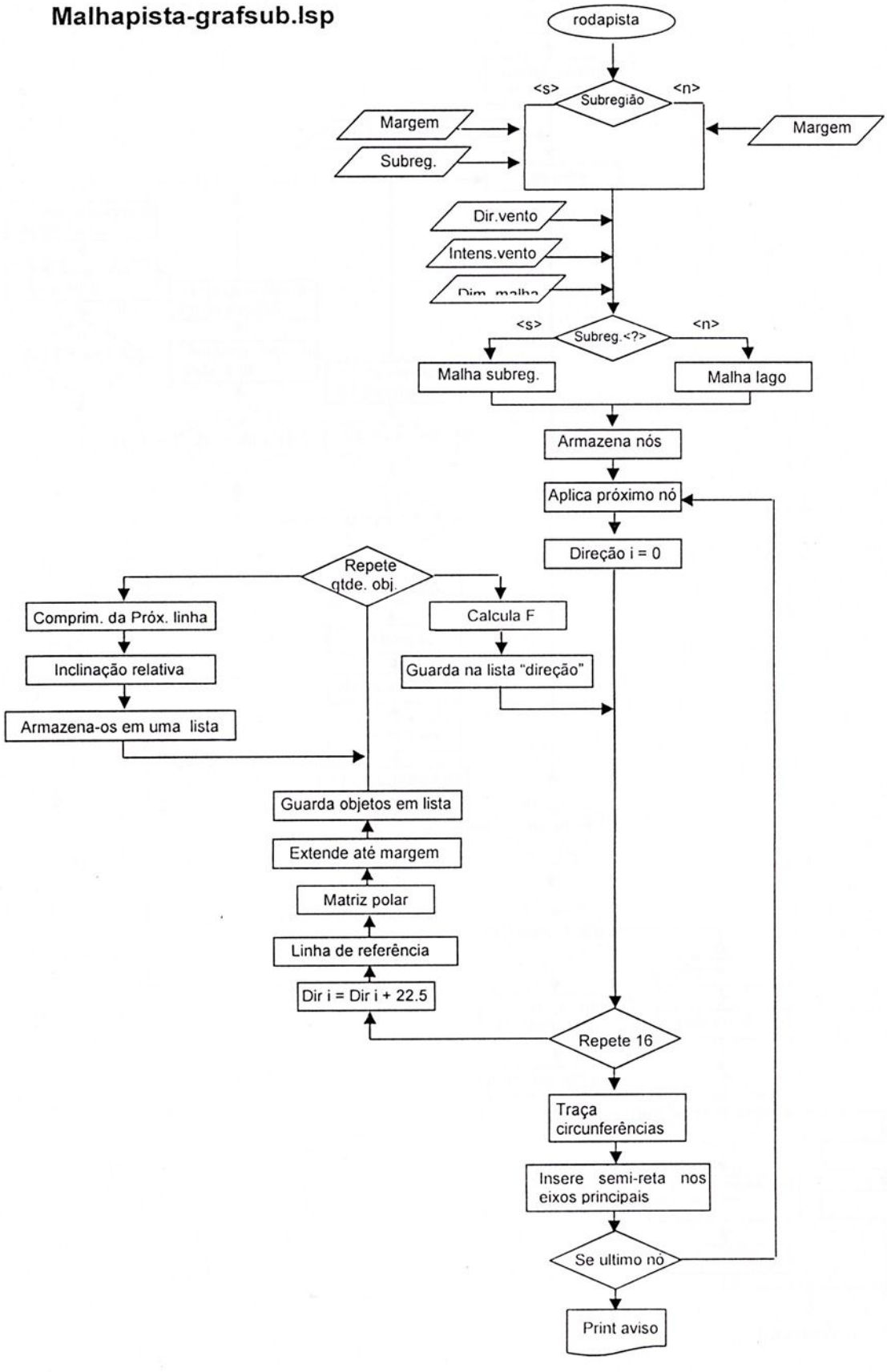
Onda.lsp


gp2
Margem
Vel. do vento
Ponto
Direção i = 0
Repete qtde. obj.
Comprim. da Próx. linha
Inclinação relativa
Armazena-os em uma lista
Calcula F
Calcula altura da onda
Adiciona da lista "Onda"
Guarda objetos em lista
Extende até margem
Matriz polar
Linha de referência
Dir i = Dir i + 22.5
Repete 16
Traça circunferências
Insere semi-reta nos eixos principais
Regenera diagrama
Print "diagrama executado".

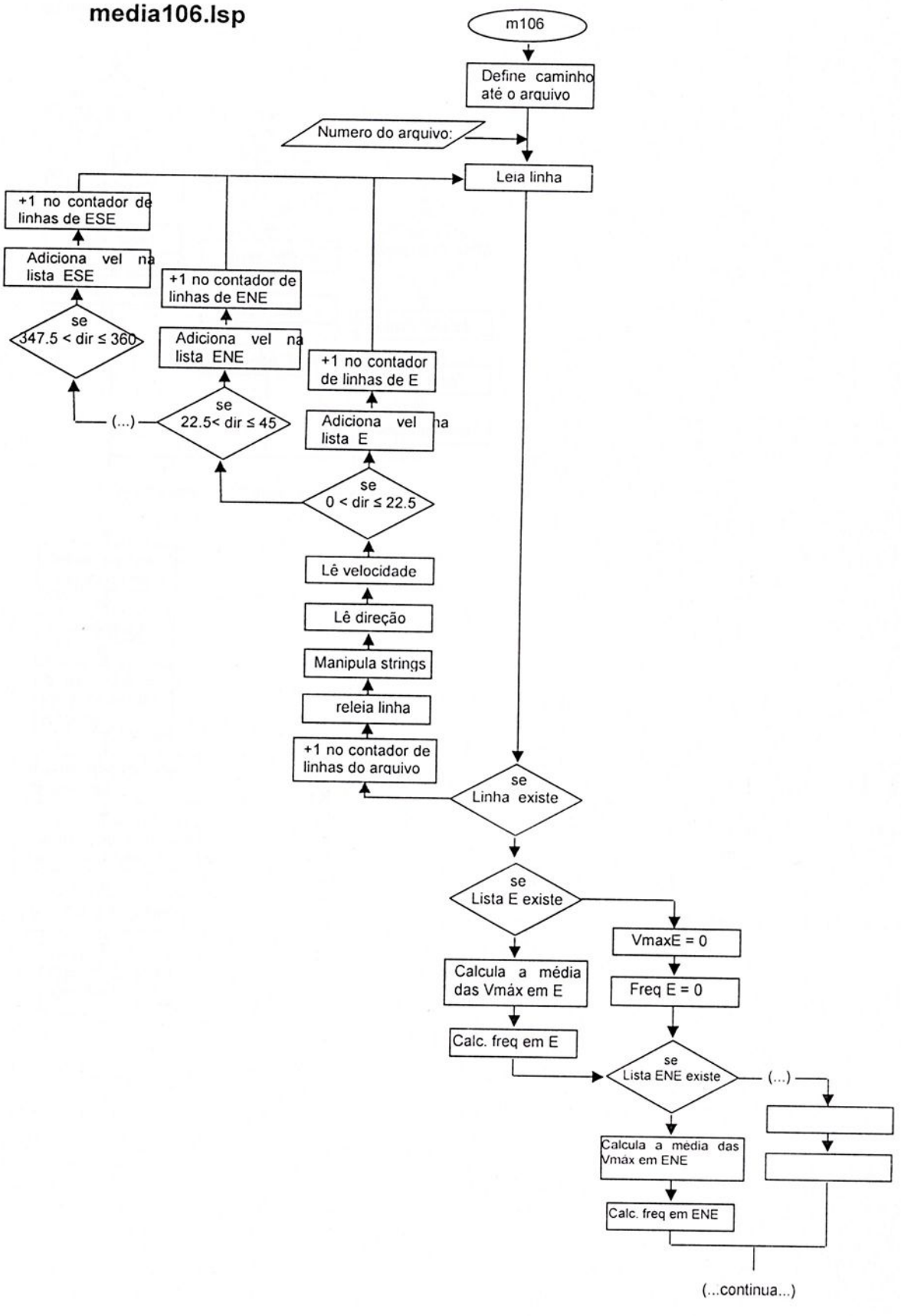
Malhaonda-grafsub.lsp



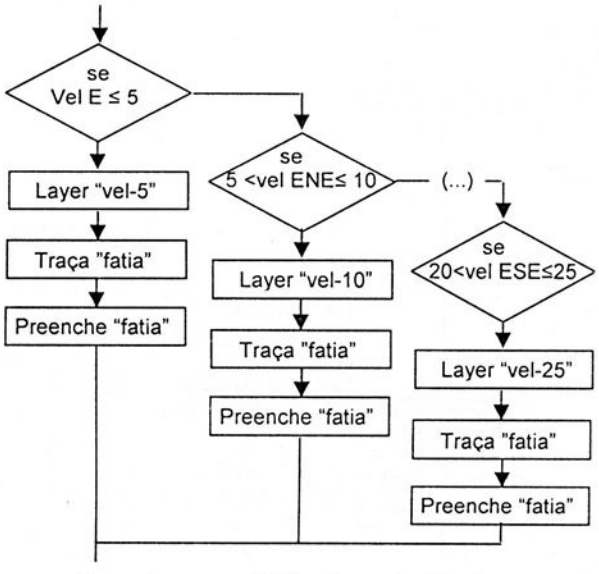
Malhapista-grafsub.lsp



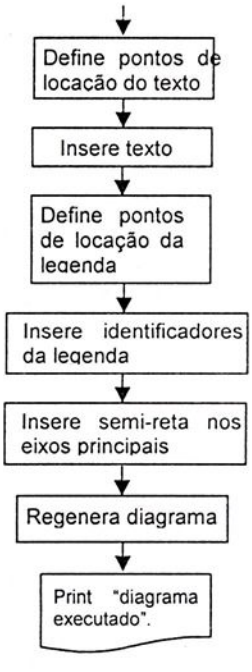
media106.lsp



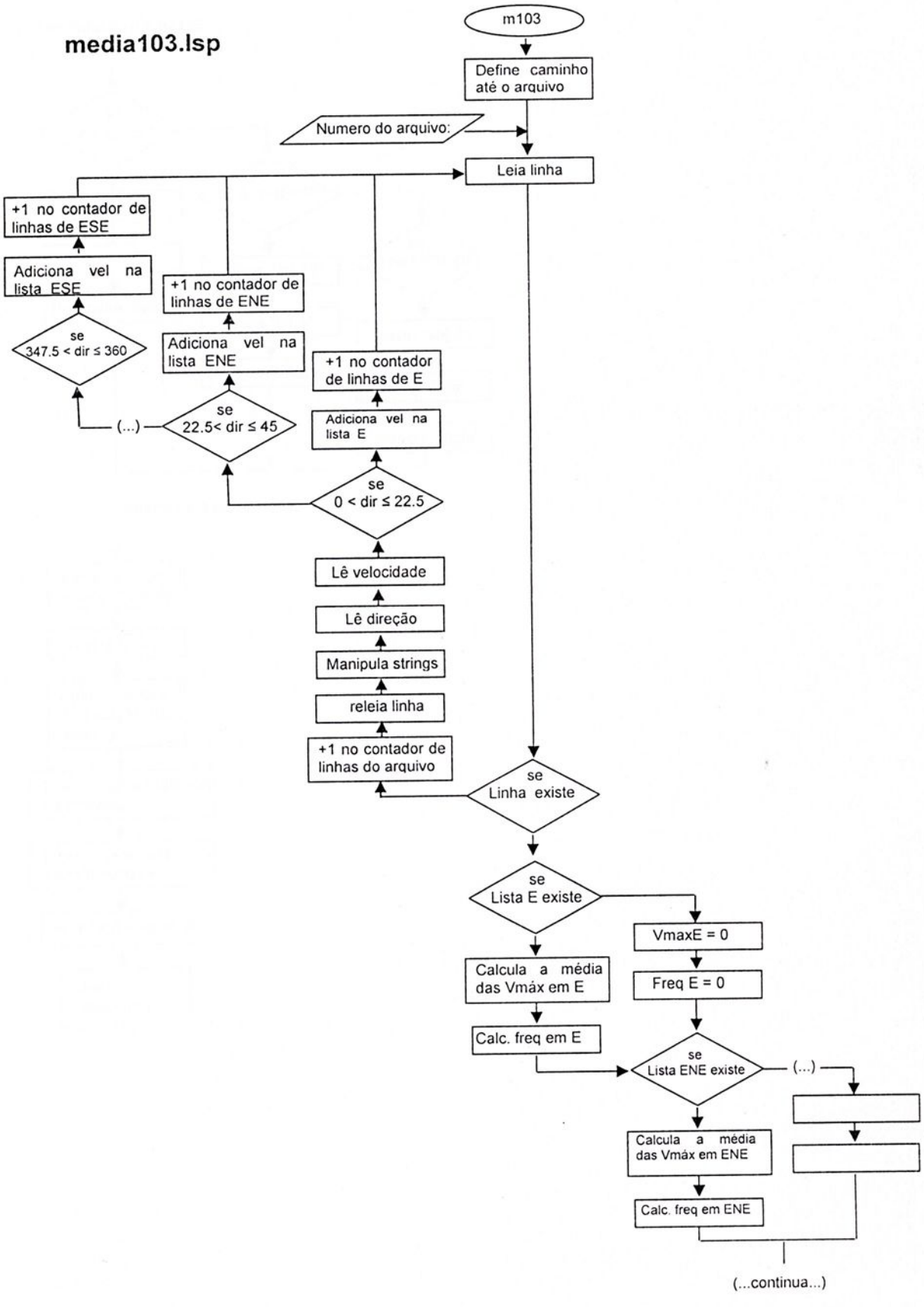
(...continuação media106...)



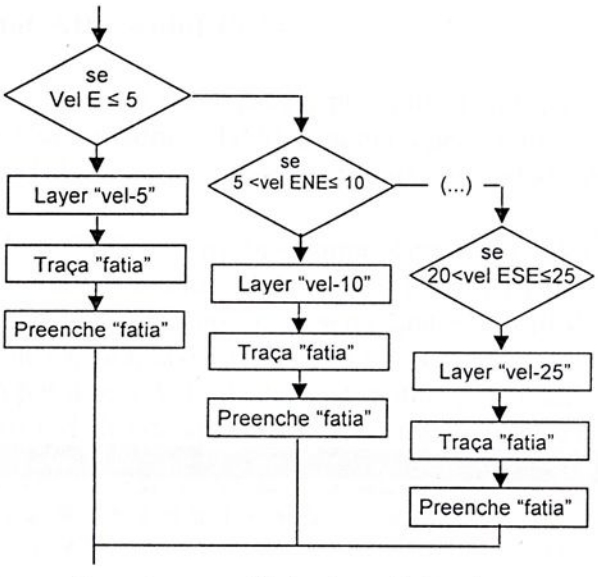
(...repete para as 15 direções restantes...)



media103.lsp



(...continuação media106...)



(...repete para as 15 direções restantes...)



ANEXO 4 - Carregar programa passo-a-passo

AutoCAD e AutoLISP

O AutoCAD é considerado por muitos um sistema operacional de CAD (Desenho Assistido por Computador). Todo sistema operacional, tal como o Windows, tem seus aplicativos (Word, Excel, etc.) e um programa executado em AutoLISP é um de tantos aplicativos do AutoCAD.
O AutoCAD é um programa estruturado em programação direcionada a objetos mais difundido do mundo. Pela Figura 1 é mostrado o seu ambiente. De acordo com TAJADURA (2004) a explicação para seus quase 6 milhões de usuários é sua concepção versátil e evolutiva, adaptável a qualquer contexto gráfico e sua arquitetura aberta.
Esta permite aos usuários criar menus personalizados e programas de aplicação, ampliando as possibilidades de aplicação de acordo com necessidades particulares.

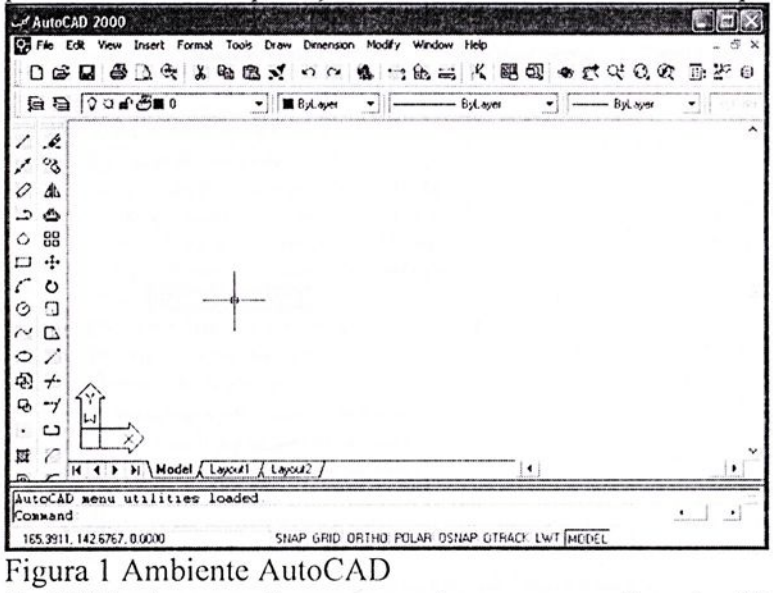


Figura 1 Ambiente AutoCAD

O LISP é uma linguagem de programação científica, possuindo características de programação recursiva e manipulação de estruturas de dados genéricas.
O AutoLISP é uma implementação da linguagem LISP desenvolvida dentro do ambiente do AutoCAD.
Um programa em AutoLISP pode gerar ferramentas que, complementando o AutoCAD, o tornam mais produtivo para o desenvolvimento de soluções que envolvam a combinação de programação voltada a objetos e capacidade de processamento numérico. Mesmo assim, em muitas ocasiões e de diferentes formas, o usuário poderá fazer uso dos recursos do AutoCAD, já que este é o sistema que gerencia os aplicativos em AutoLISP.
Criado de modo a facilitar o desenvolvimento e depuração de rotinas em linguagem AutoLISP, o VisualLISP é a nova geração de ambiente de programação do AutoCAD.

O QUE VOCÊ PRECISA CONHECER DO AUTOCAD PARA APRENDER A TRABALHAR SATISFATORIAMENTE COM OS APLICATIVOS EM AUTOLISP

Comandos de carregamento de arquivos em AutoLISP – Menu [Tools]:
Destacando VisualLISP e LOAD...

Comandos de gerenciamento com o Sistema – Menu [File]:
Destacando os comandos: New, Open, Save, Save AS e Print.

Comandos de Desenho – Menu [Draw]:
Destacando os comandos Line e Polyline.

Comandos de Visualização – Menu [View]:

Destacando o comando Zoom (Window, Extends, Dynamic, Scale e Previús).
Comandos de averiguação:
Dist e ID
Propriedade dos objetos:
Destacando o comando Layer

CARREGANDO ARQUIVOS

O controle de acesso aos arquivos AutoLISP (*.LSP) segue as mesmas regras de acesso aos arquivos de desenho (*.DWG). Portanto antes de iniciar suas atividades, crie um diretório de trabalho no qual os arquivos AutoLISP devem ser armazenados. Insira esse diretório na lista de arquivos de suporte do AutoCAD por meio da pasta [Files], disponível no comando [*Options*], última opção do menu *pop-up* [*Tools*], conforme figura 2. O caminho a ser percorrido até a pasta fica a critério do usuário.

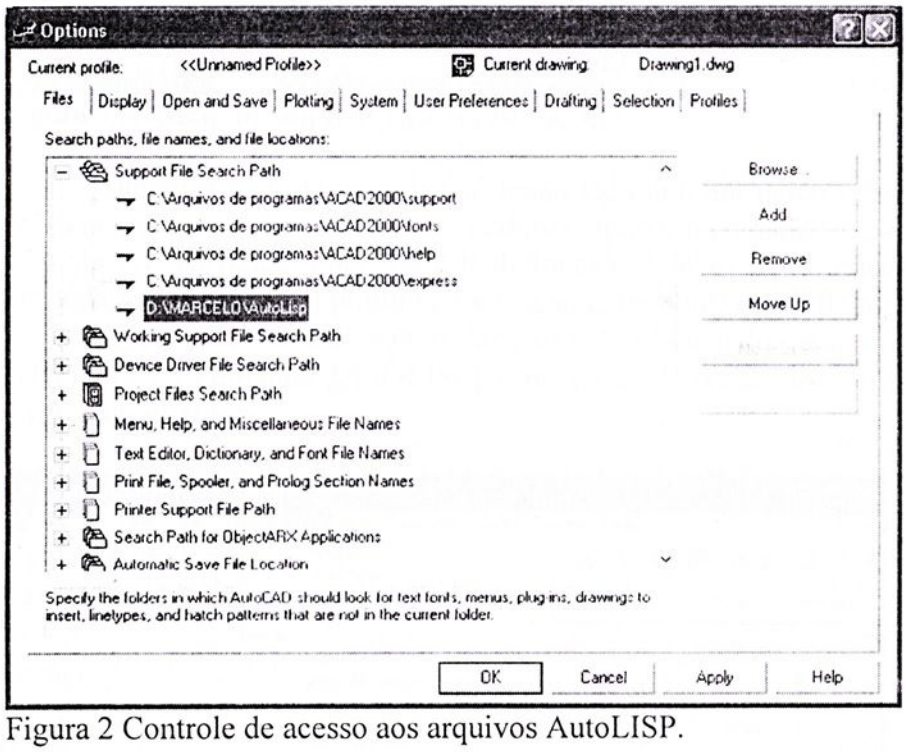


Figura 2 Controle de acesso aos arquivos AutoLISP.

Em caso de execução de algum aplicativo que dependa da imagem do lago (Figura 3), o primeiro passo é abrir o arquivo correspondente pela opção: [FILE]<open>.

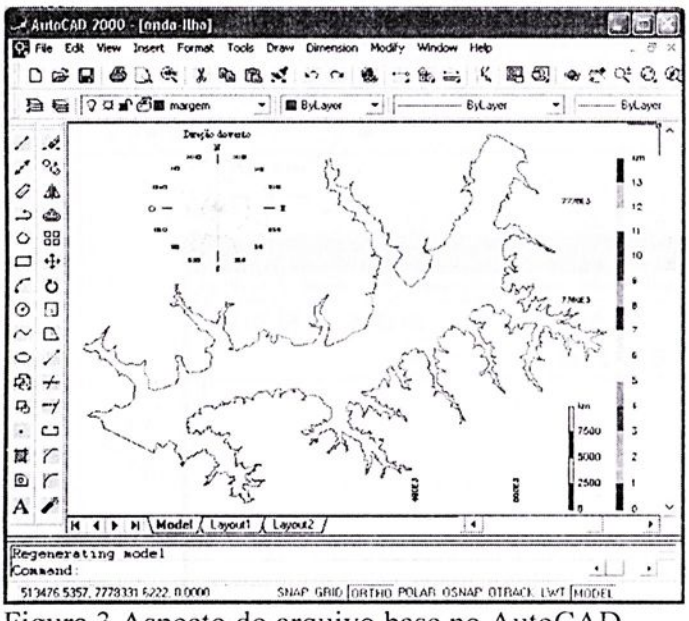


Figura 3 Aspecto do arquivo base no AutoCAD.

Supõe-se que este arquivo já tenha sido anteriormente criado. No caso de se dispor unicamente de uma foto em escala qualquer, aplicar o comando "ESCALE", de modo a tornar a escala 1:1. Havendo a necessidade de traçado da margem, a única condição é que esta seja formada por apenas uma polilinha. A junção entre polilinhas é feita pelo comando "PEDIT".

À partir do AutoCAD o VisualLISP é iniciado pela opção no pop-up [Tools], disponível no comando [AutoLISP] e na opção [Visual LISP Editor], conforme Figura 4, resultando na figura 5.

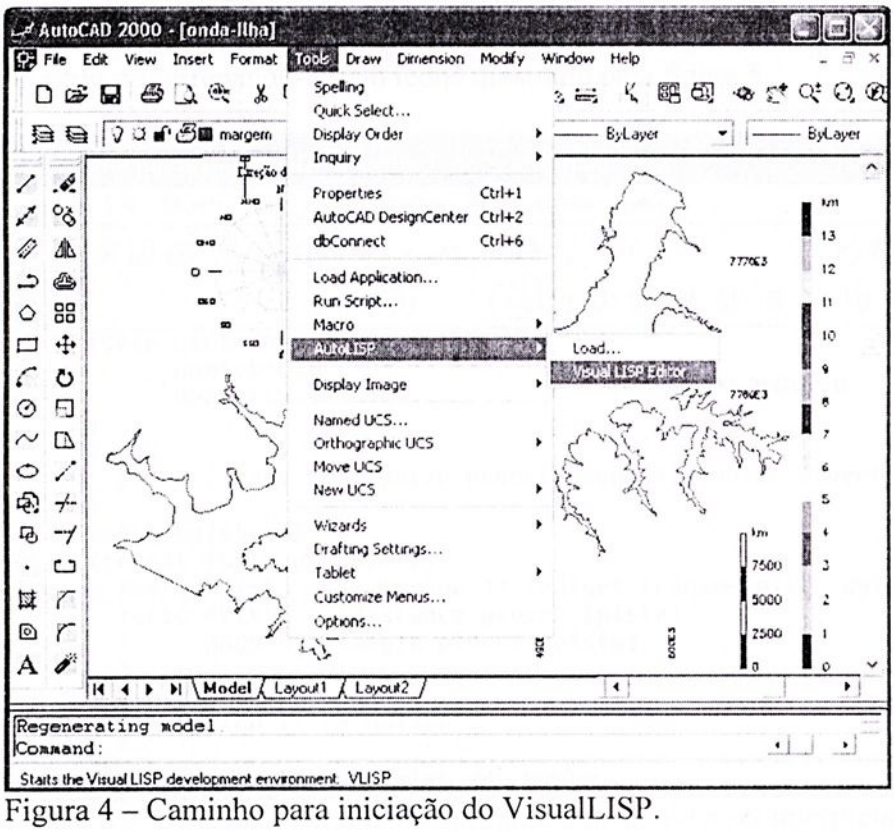


Figura 4 – Caminho para iniciação do VisualLISP.

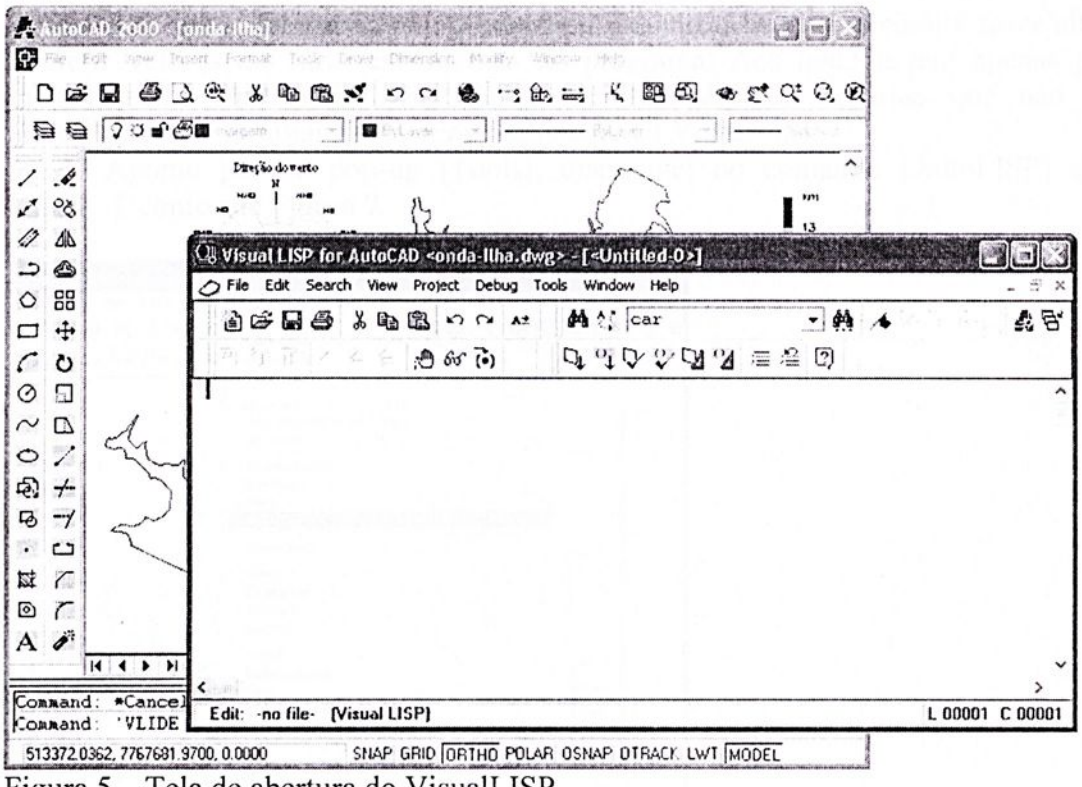


Figura 5 – Tela de abertura do VisualLISP

Procede-se agora abrindo os programas no VisualLISP. Mantendo ativa a janela do VisualLISP, o arquivo pode ser aberto de duas maneiras: pelo pop-up [File] ou pelo ícone correspondente.

Após aberto o programa este necessita ser carrregado. É a tradução do código de modo a ser compreendido pelo AutoCAD após a digitação do comando. Após abrir o arquivo, procede-se carregando-o pelo ícone mostrado pela figura 5.

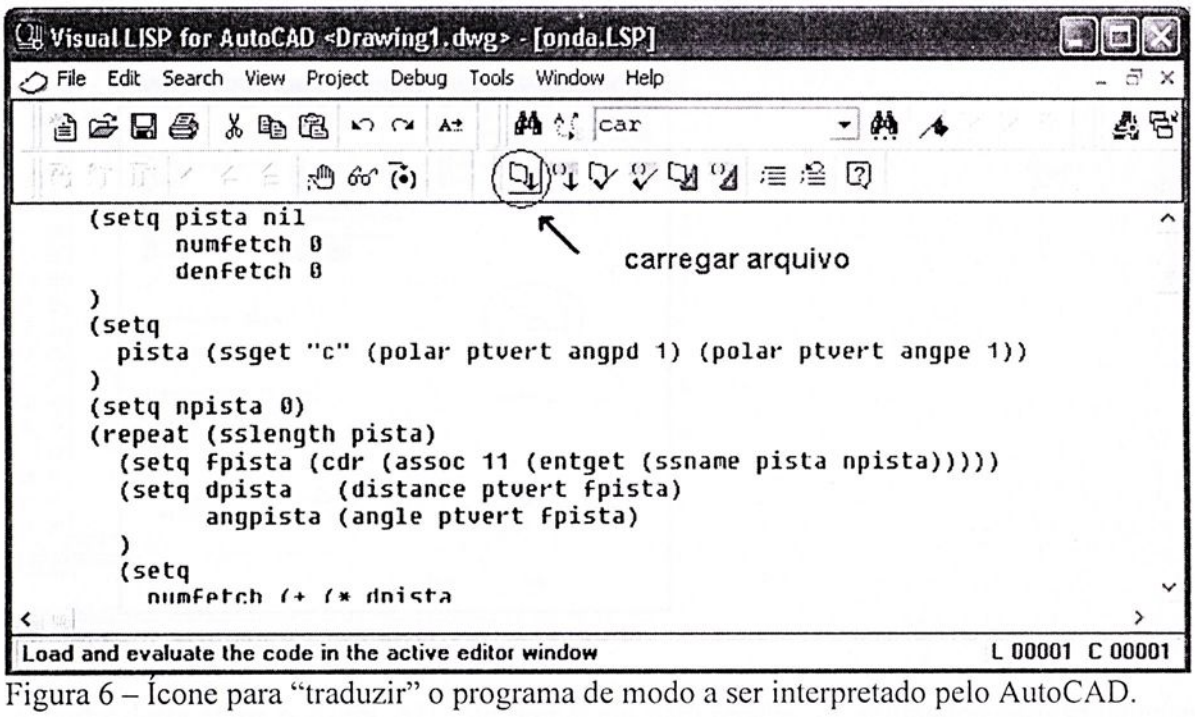


Figura 6 – Ícone para "traduzir" o programa de modo a ser interpretado pelo AutoCAD.

Este modo é especialmente utilizado quando o usuário necessita fazer alterações ou conferir valores de variáveis internas do programa. Aos que querem apenas processar o programa, há um modo mais rápido. É indicado aos usuários que não se sentem suficientemente familiarizados com o ambiente do VisualLISP.

Aponte para o pop-up [Tools], disponível no comando [AutoLISP] e na opção [Load...], conforme Figura 7.

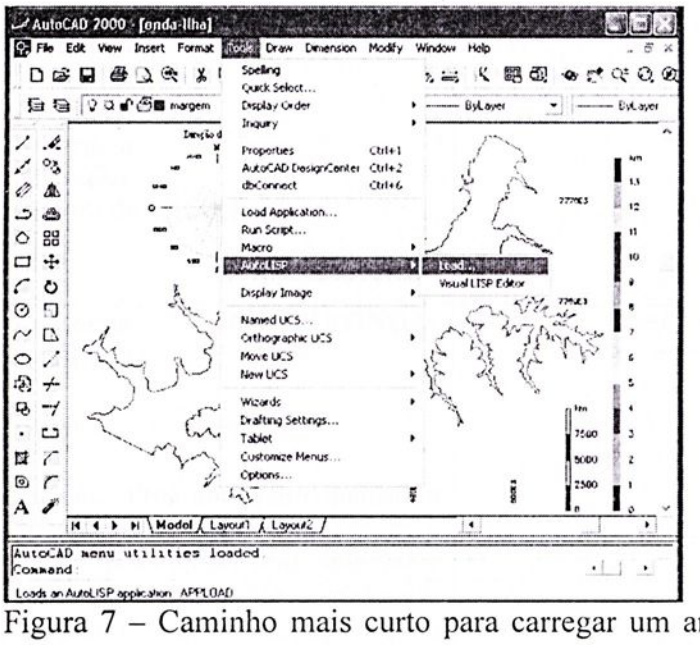


Figura 7 – Caminho mais curto para carregar um arquivo de modo a ser interpretado pelo AutoCAD.

Basta agora encontrar o arquivo a ser interpretado pelo AutoCAD e clicar no botão "load". Detalhes estão na Figura 8.

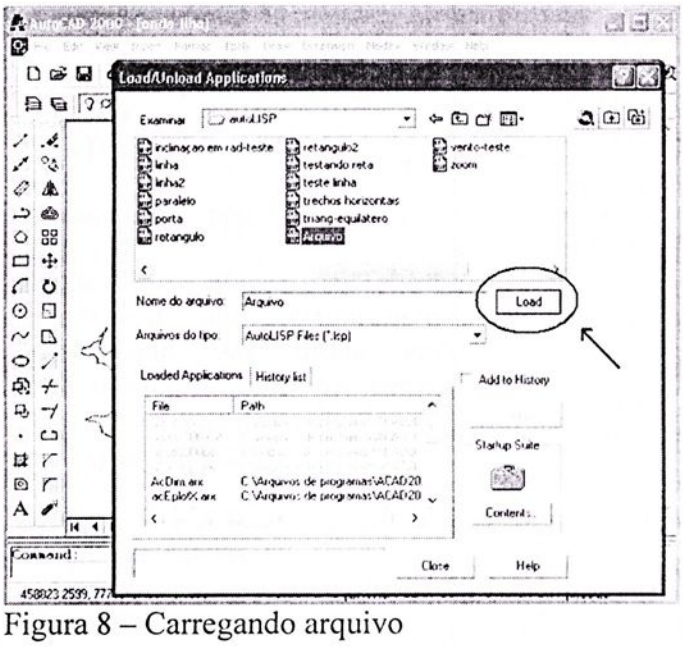
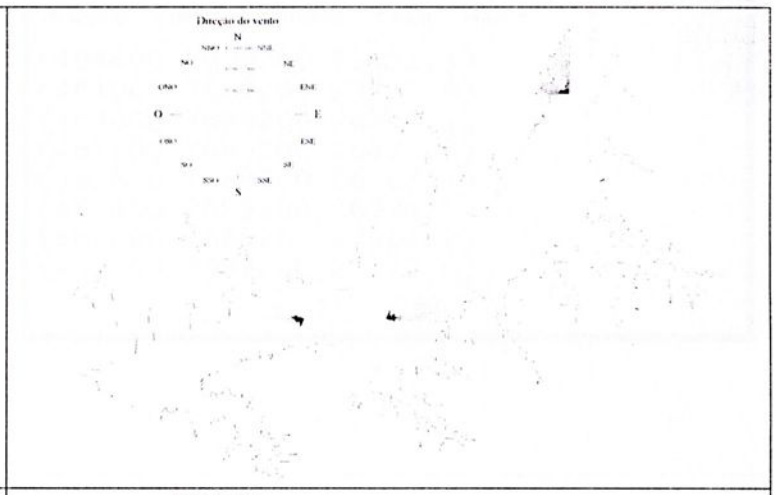
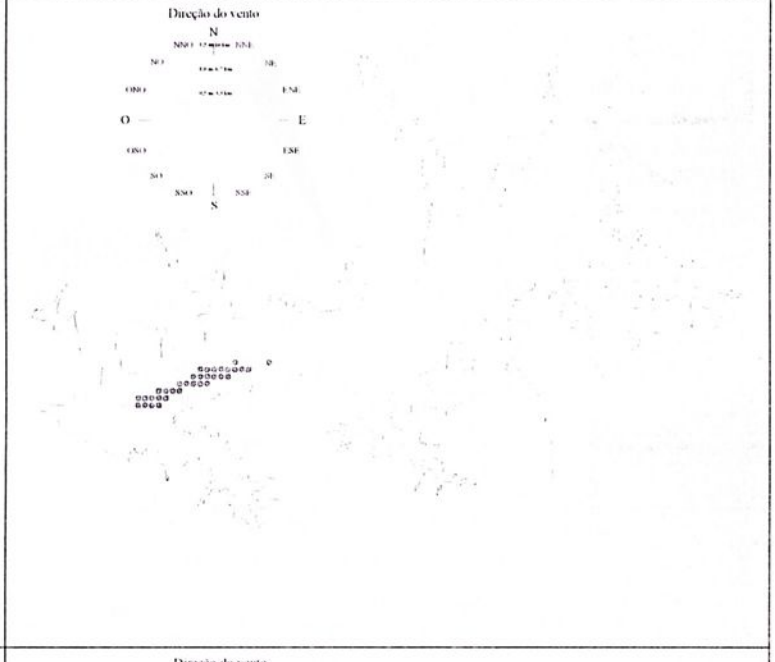
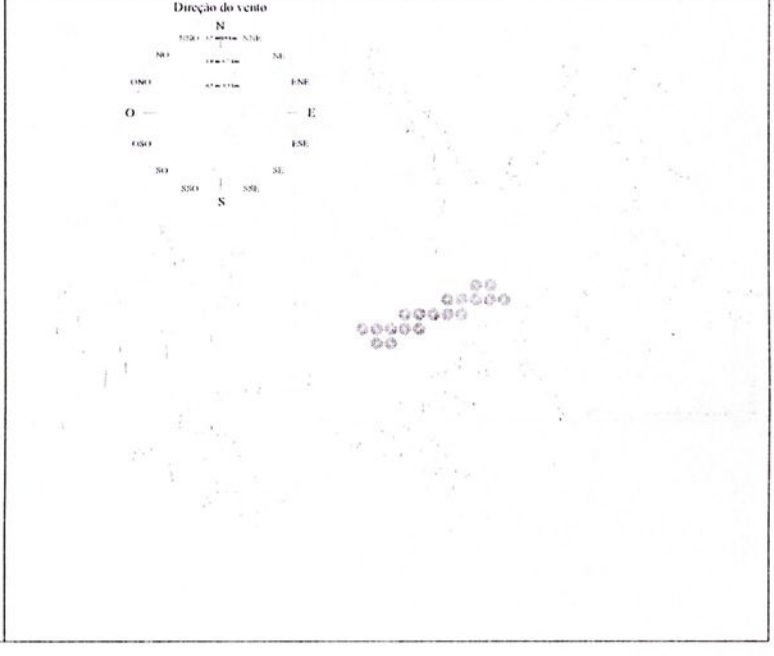


Figura 8 – Carregando arquivo

A partir desta etapa o AutoCAD esta preparado para receber os comandos correspondentes a cada aplicativo carregado.

ANEXO 5 - LISTAGEM RESUMIDA DOS PROGRAMAS E CODIGOS DE COMANDO.

Programa: **VENTO.LSP** Comando: pv Função: Traça a pista de vento e calcula o comprimento da pista efetiva. Entrada: - Margem - Direção - Ponto de aplicação	
Programa: **MALHAONDA-COR.LSP** Comando: onda2 Função: Programa para mapear a superfície do lago e classificar a altura das ondas em intervalos representados por cores, podendo-se escolher uma sub-região para análise. Entrada: - Subregião <s> <n>: ? - Margem - Subregião - Intensidade do vento - Direção - Dimensão da malha	
Programa: **MALHAPISTA-COR.LSP** Comando: ppp Função: Mapear a superfície do lago e classificar o comprimento das pistas em intervalos representados por cores, podendo-se escolher uma sub-região para análise. Entrada: - Subregião <s> <n>: ? - Margem - Subregião - Direção - Dimensão da malha	

Programa:
CRIA-LISTAMALHA.LSP

Comando: crialista

Função: Programa para obter o arquivo do tipo texto contendo as coordenadas dos pontos da malha e o respectivo comprimento da pista efetiva de acordo com a direção escolhida.

Entrada: - Margem
- Direção

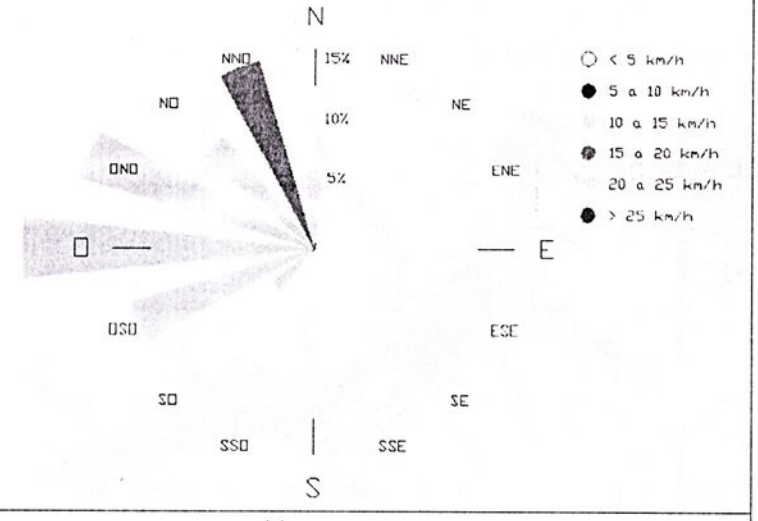


Programa: **MEDIA103.LSP**

Comando: m103

Função: traçar a rosa de ventos à partir dos arquivos do tipo BK??-103.txt,
onde ?? são dois algarismos que fazem parte do nome do arquivo.

Entrada:
- Número do arquivo

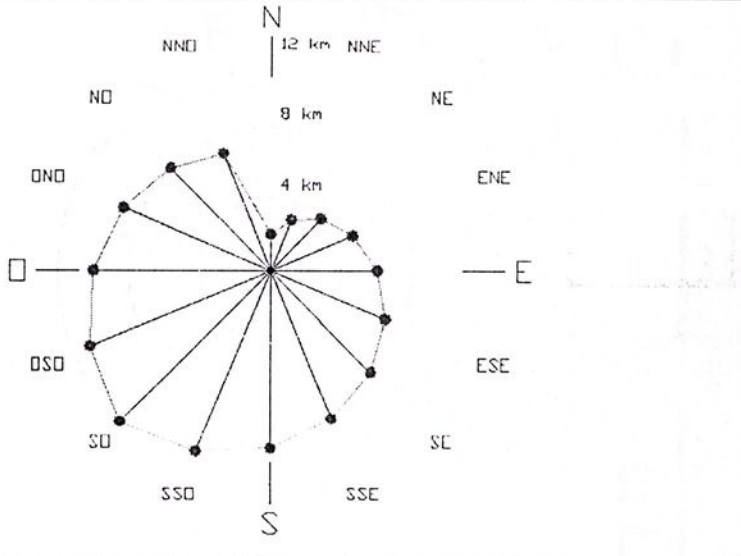


Programa:
GRAFPISTA.LSP

Comando: gp

Função: Traça o diagrama de pistas para cada direção sendo necessário o fornecimento, pelo usuário, do comprimento da pista para cada direção.

Entrada:
- Comprimento da pista para cada direção



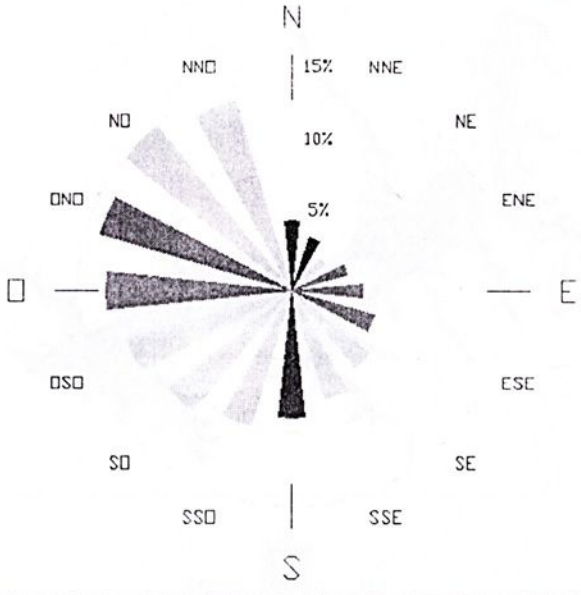
BCpIS - FEIS - UNESP

Programa:
GRAFVENTO.LSP

Comando: gv

Função: Programa para traçar a rosa de ventos em frequência de ocorrência direcional e velocidade média, sendo necessário o fornecimento tanto da frequência de ocorrência quanto da velocidade média para cada direção.

Entrada:
- Freqüência de ocorrência
- Velocidade média

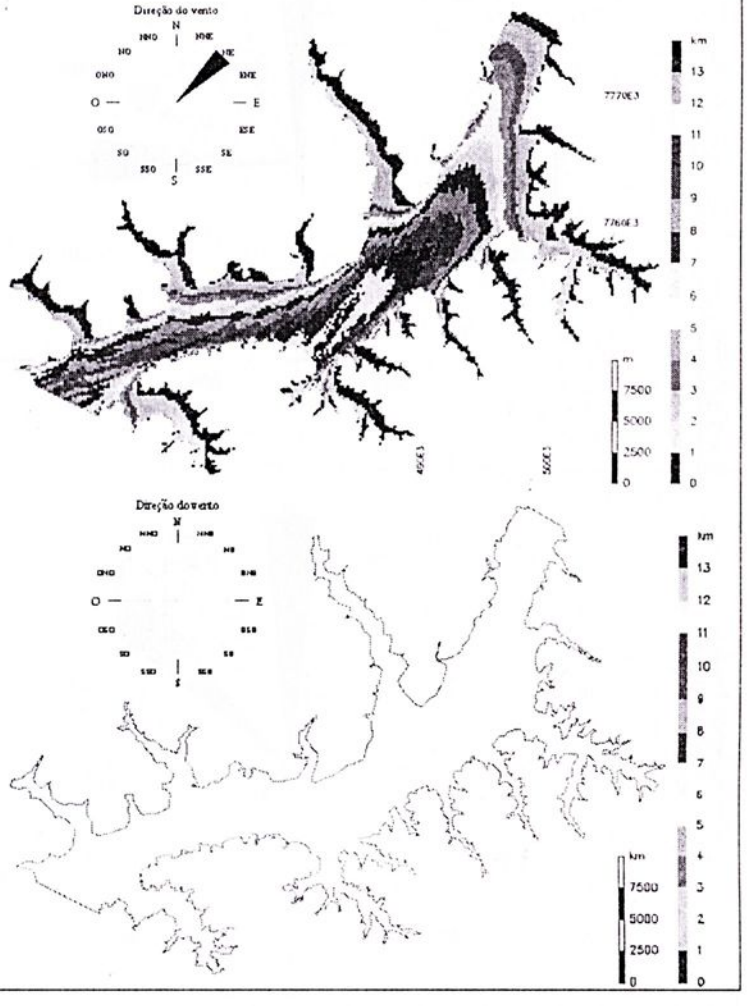


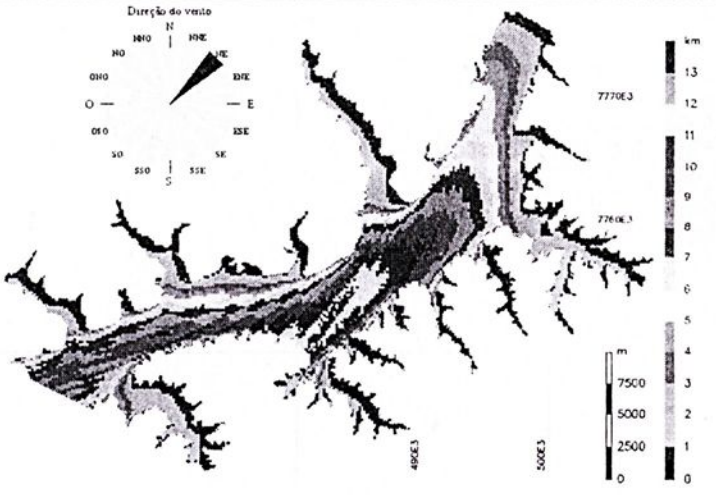
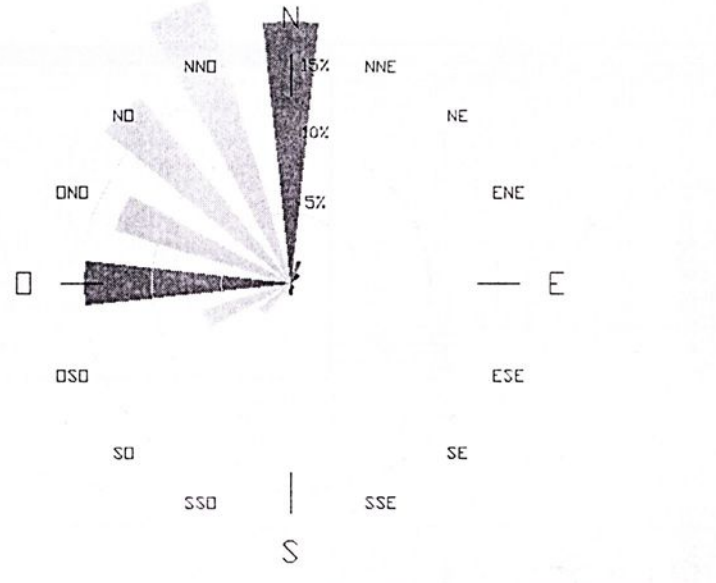
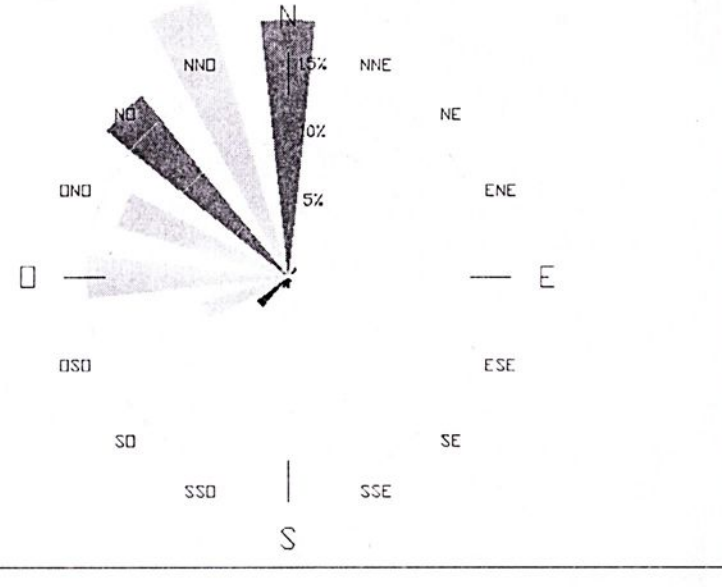
Programa:
LIMPAMAPA.LSP

Comando: zz

Função: Programa para limpar da tela o resultado de todos os aplicativos gerados, excetuando-se os objetos que não devem ser apagados.

Obs: Após a entrada do comando a limpeza é automática.



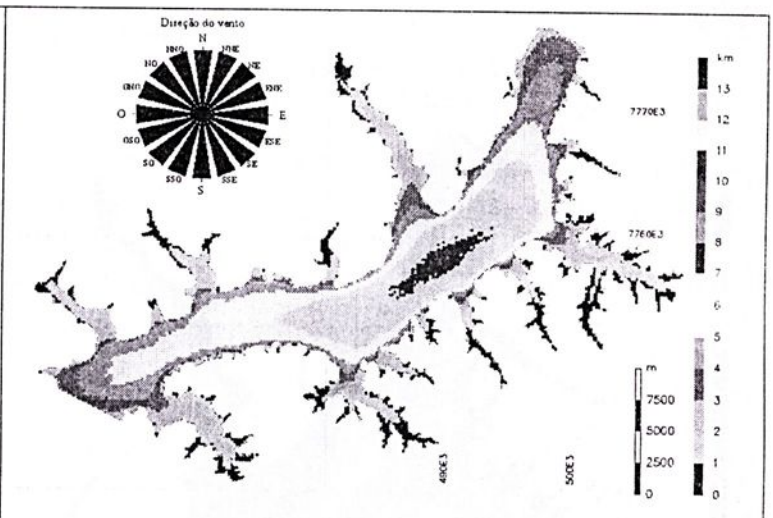
Programa: **IMAGEM.LSP** Comando: imagem Função: Programa para salvar uma imagem na extensão "*.wmf". Entrada: - Nome do arquivo Obs: O arquivo é gerado na pasta D:\Documents and Settings\	
Programa: **MAX106.LSP** Comando: max106 Função: Traçar o diagrama de ventos da média das velocidades máximas à partir de dados de vento. Entrada: - Número do arquivo Obs: O diagrama é gerado no ponto de coordenadas (50, 50, 0), podendo-se alterá-lo diretamente no programa.	
Programa: **MEDIA106.LSP** Comando: m106 Função: Traçar o diagrama de ventos das velocidades médias à partir dos arquivos de ventos. Entrada: - Número do arquivo Obs: O diagrama é gerado no ponto de coordenadas (50, 50, 0), podendo-se alterá-lo diretamente no programa.	

Programa:
pistamedia.lsp

Comando: pistam

Função: Determinar as pistas médias, de todas as direções, do lago e identificá-las por cores.

Entrada:
- Subregião <s> <n>: ?
- Margem
- Subregião
- Intensidade do vento
- Direção
- Dimensão da malha



Programa:
resumovento.lsp

Comando: res

Função: Gerar arquivos com conteúdo comparativo entre linhas de rótulos 103 e 106. Os arquivos gerados possuem extensão "txt".

Entrada:
- número do arquivo


resumo-BK21 - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

BKVENT21.txt

direcao,vel103,f103,vel106,f106,velmax106,f103-f106

N,23.8,9,23.3,7.3,26.5,1.5
NNE,13.6,1.7,15.1,2.1,16.8,0.3
NE,14.5,0.5,6.9,0.2,10,0.3
ENE,5.6,0.1,7.6,0.2,11.4,0.1
E,6.2,0.3,0,0,0,0.3
ESE,5.4,0.3,5.6,0.5,8.8,0.2
SE,4.4,0.5,3,0.2,9,0.2
SSE,3.7,0.6,4,0.9,7.8,0.3
S,3.3,0.7,2.8,0.2,6.6,0.5
SSO,4.2,1.2,3.4,1.4,7,0.1
SO,5.3,2.8,5.6,3.2,6.8,0.4
OSO,11.9,6.2,11.3,6.9,14.6,2.3
O,16.8,22.2,16.7,26.3,20.3,4.1
ONO,16.4,16.9,16.1,15.6,20.2,1.4
NO,19.6,19,18.9,19,23.3,0
NNO,23.8,18.1,24.3,19,28.6,0.9

linhas103,78467

linhas106,437

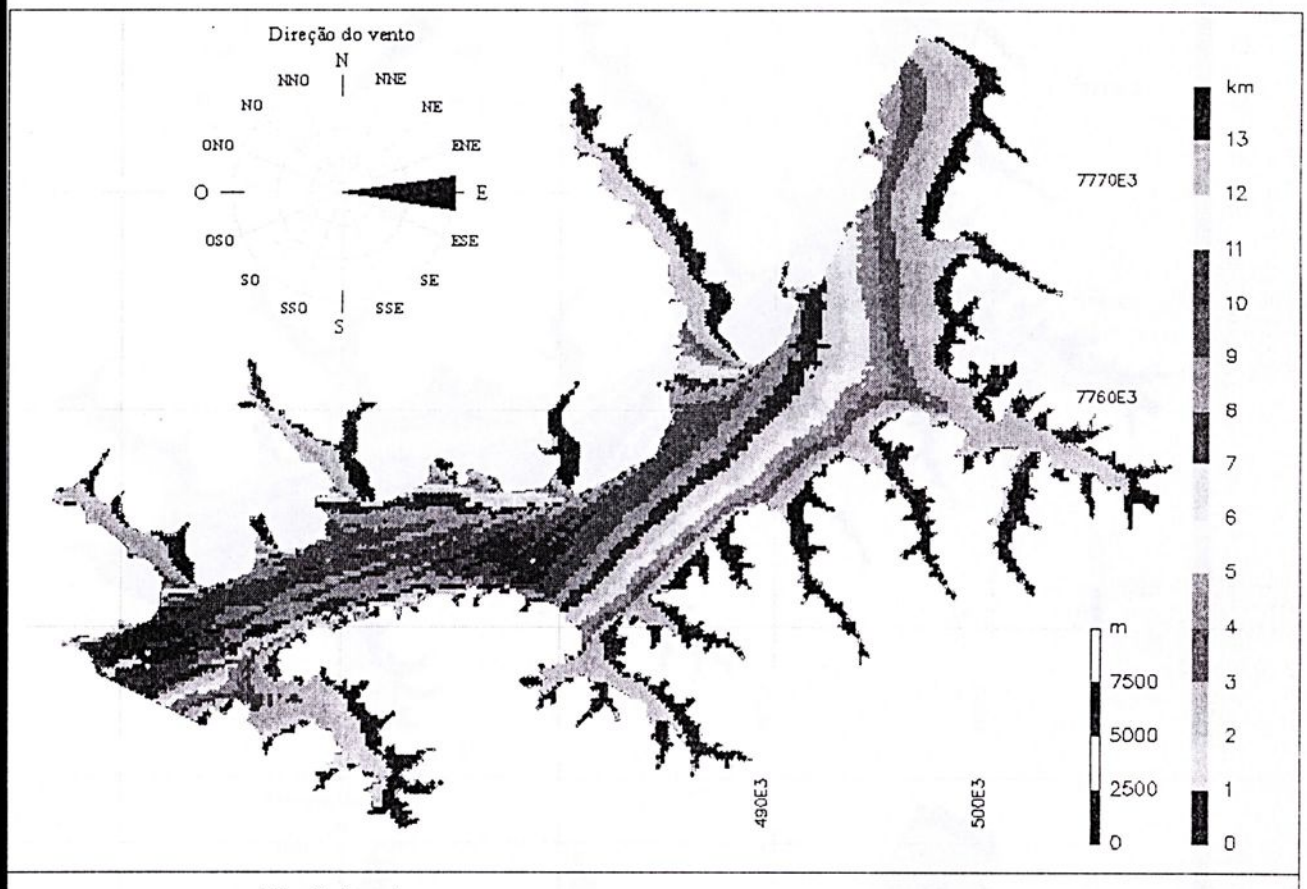
total,85465

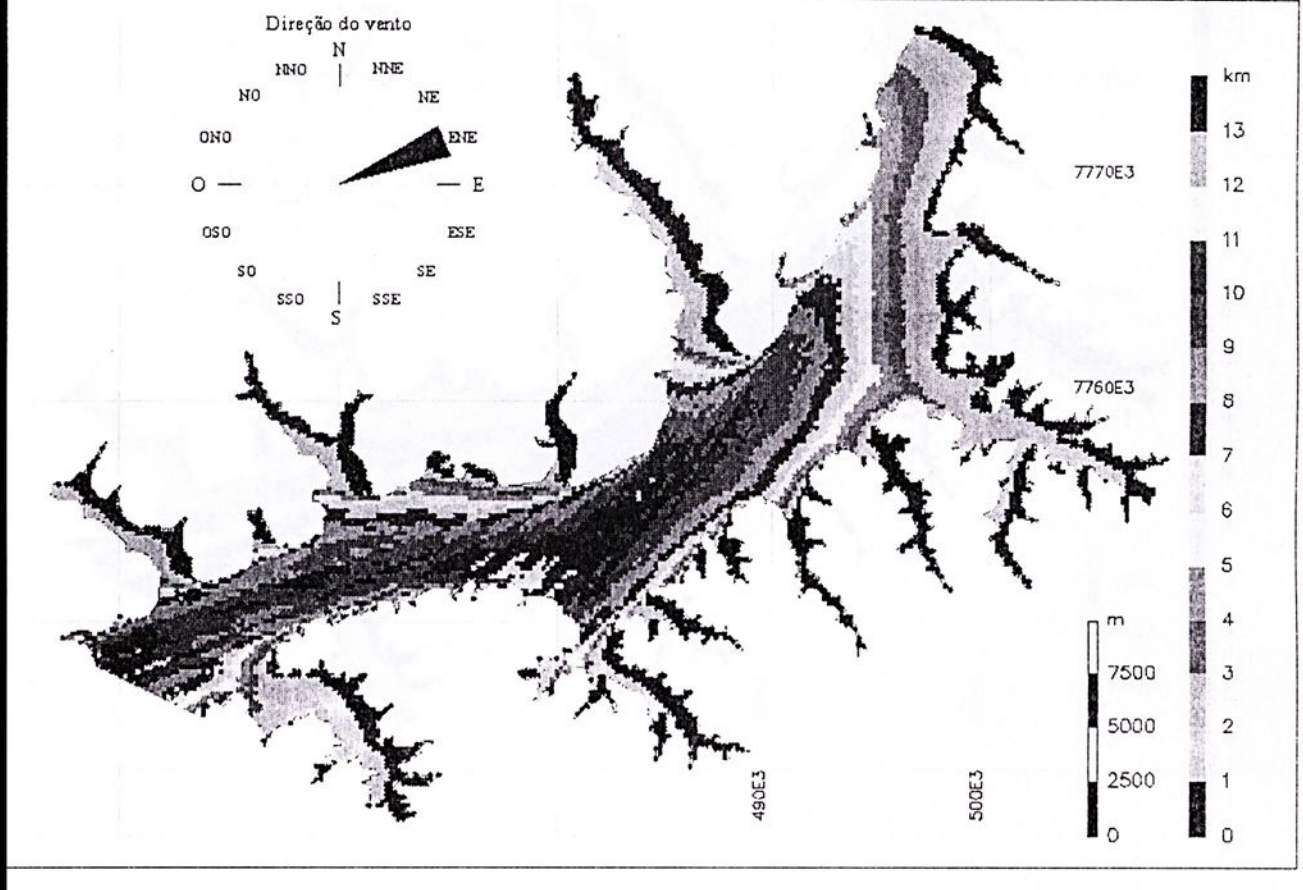
BKVENT21.txt

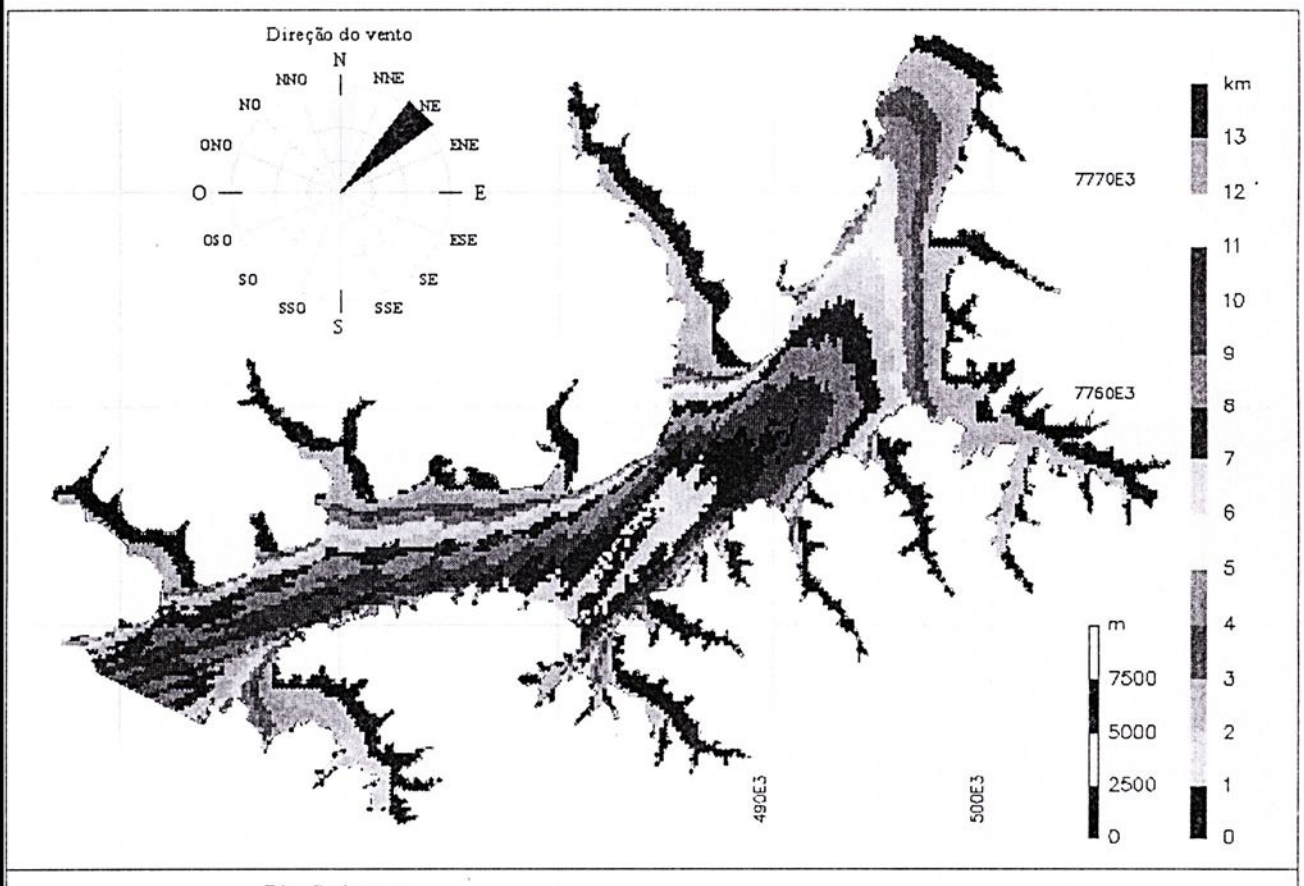
Direção	vel103	freq103	vel106	f106	velmax106	f103-f106
N	23	8,9	23,3	7,3	26,5	1,5
NNE	13,6	1,7	15,1	2,1	16,8	0,3
NE	14,5	0,5	6,9	0,2	10	0,3
ENE	5,6	0,1	7,6	0,2	11,4	0,1
E	6,2	0,3	0	0	0	0,3
ESE	5,4	0,3	5,6	0,5	8,8	0,2
SE	4,4	0,5	3	0,2	9	0,2
SSE	3,7	0,6	4	0,9	7,8	0,3
S	3,3	0,7	2,8	0,2	6,6	0,5
SSO	4,2	1,2	3,4	1,4	7	0,1
SO	5,3	2,8	5,6	3,2	6,8	0,4
OSO	11,9	6,2	11,3	6,9	14,6	2,3
O	16,8	22,2	16,7	26,3	20,3	4,1
ONO	16,4	16,9	16,1	15,6	20,2	1,4
NO	19,6	19	18,9	19	23,3	0
NNO	23,8	18,1	24,3	19	28,6	0,9

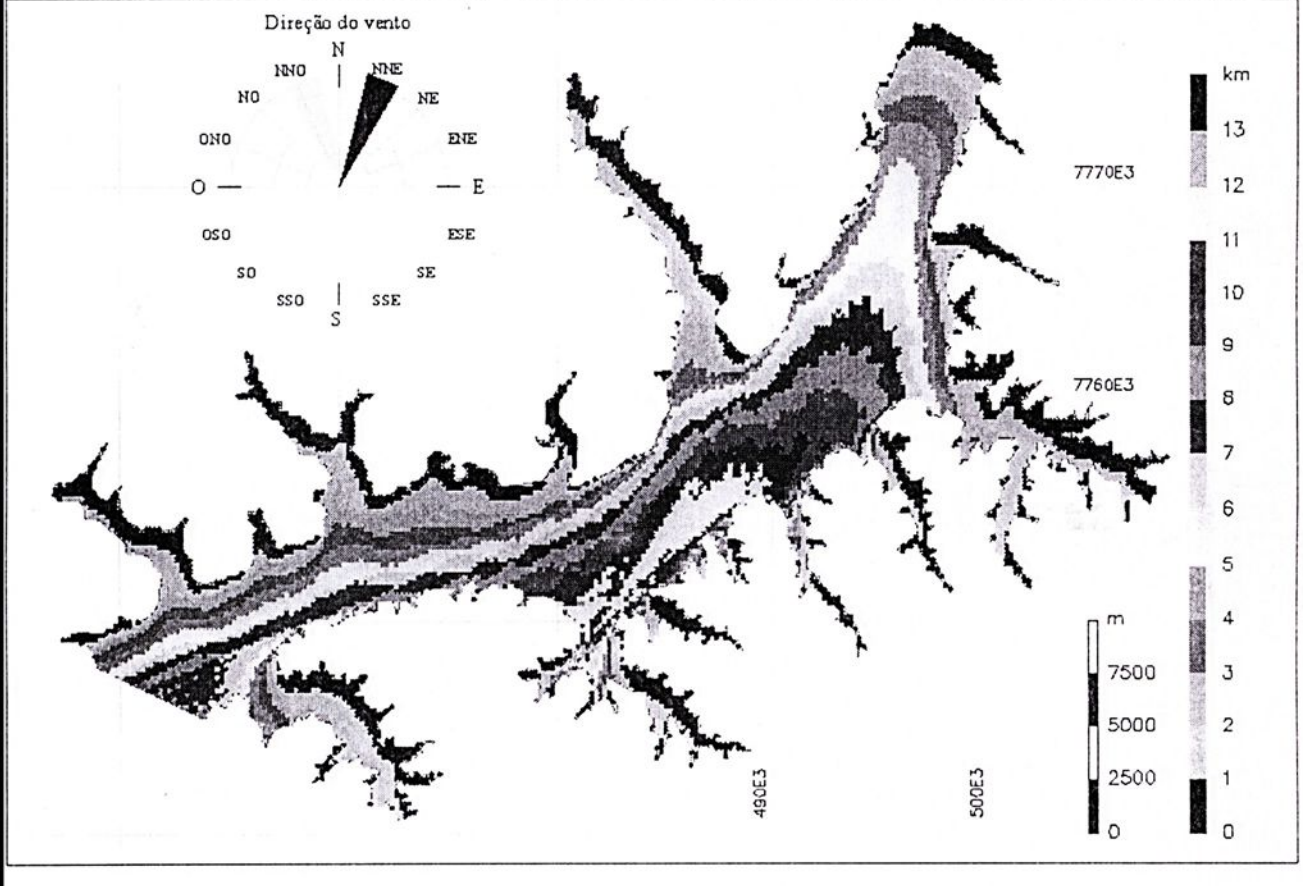
linhas103	78467
linhas106	437
total	85466

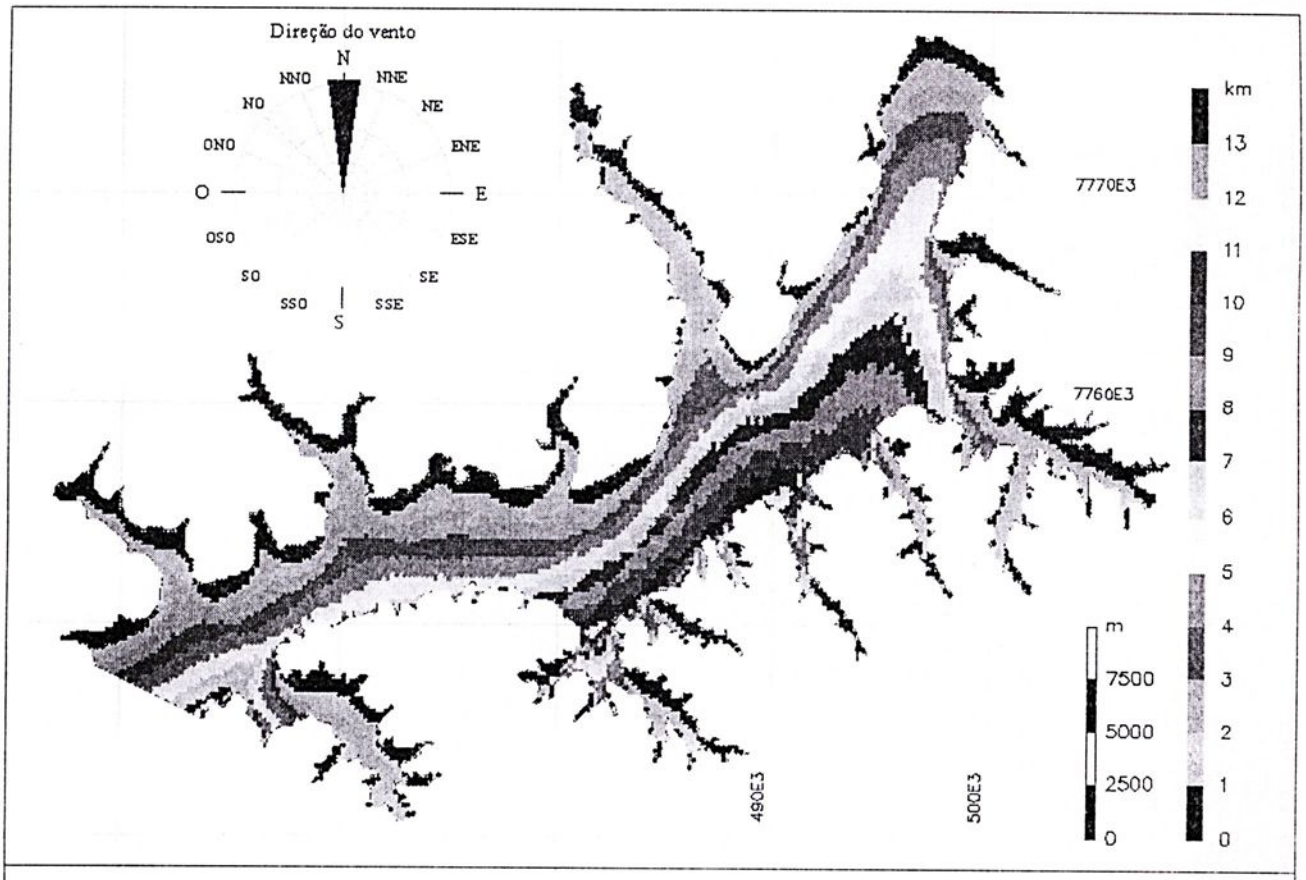
ANEXO 6 – Pistas de vento no lago de Ilha Solteira

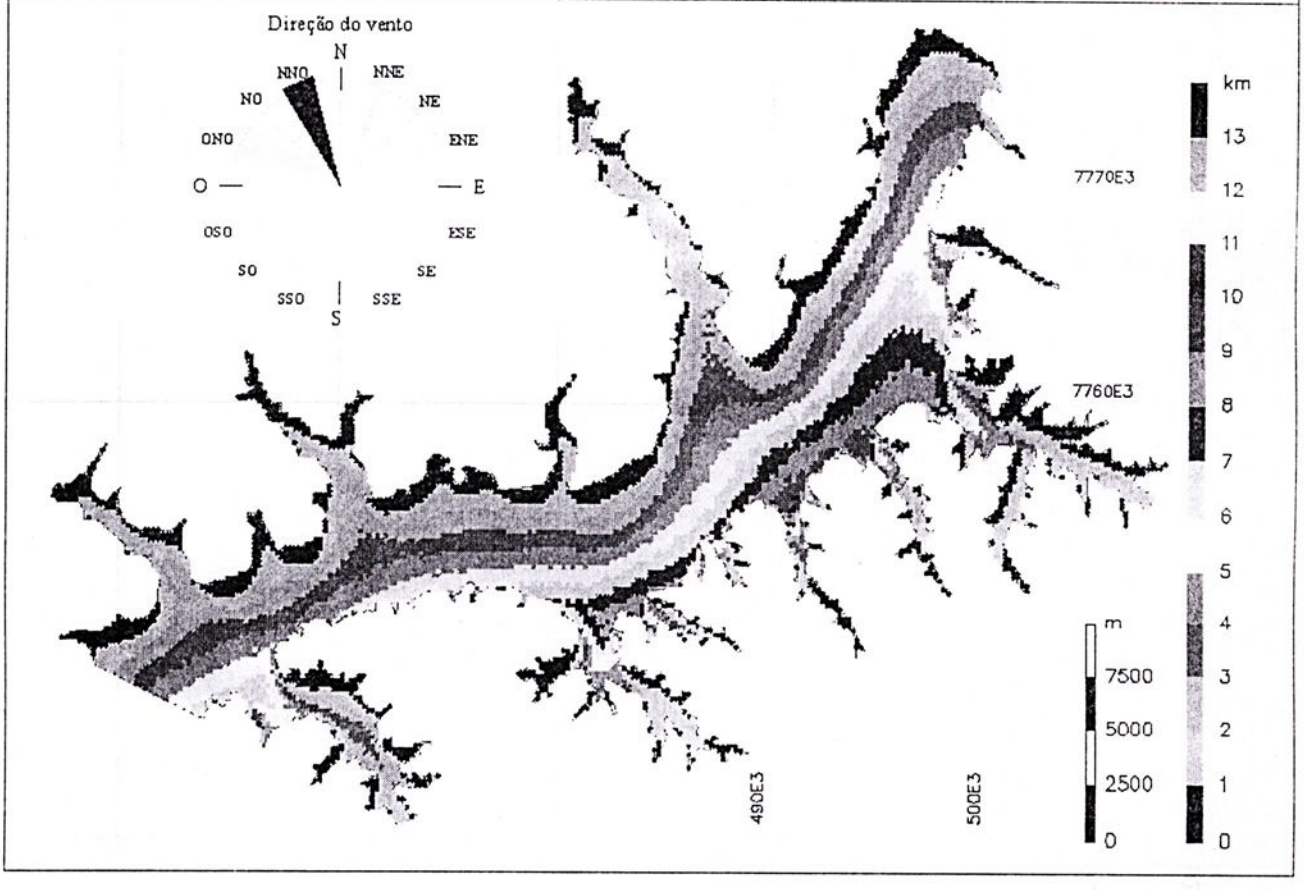


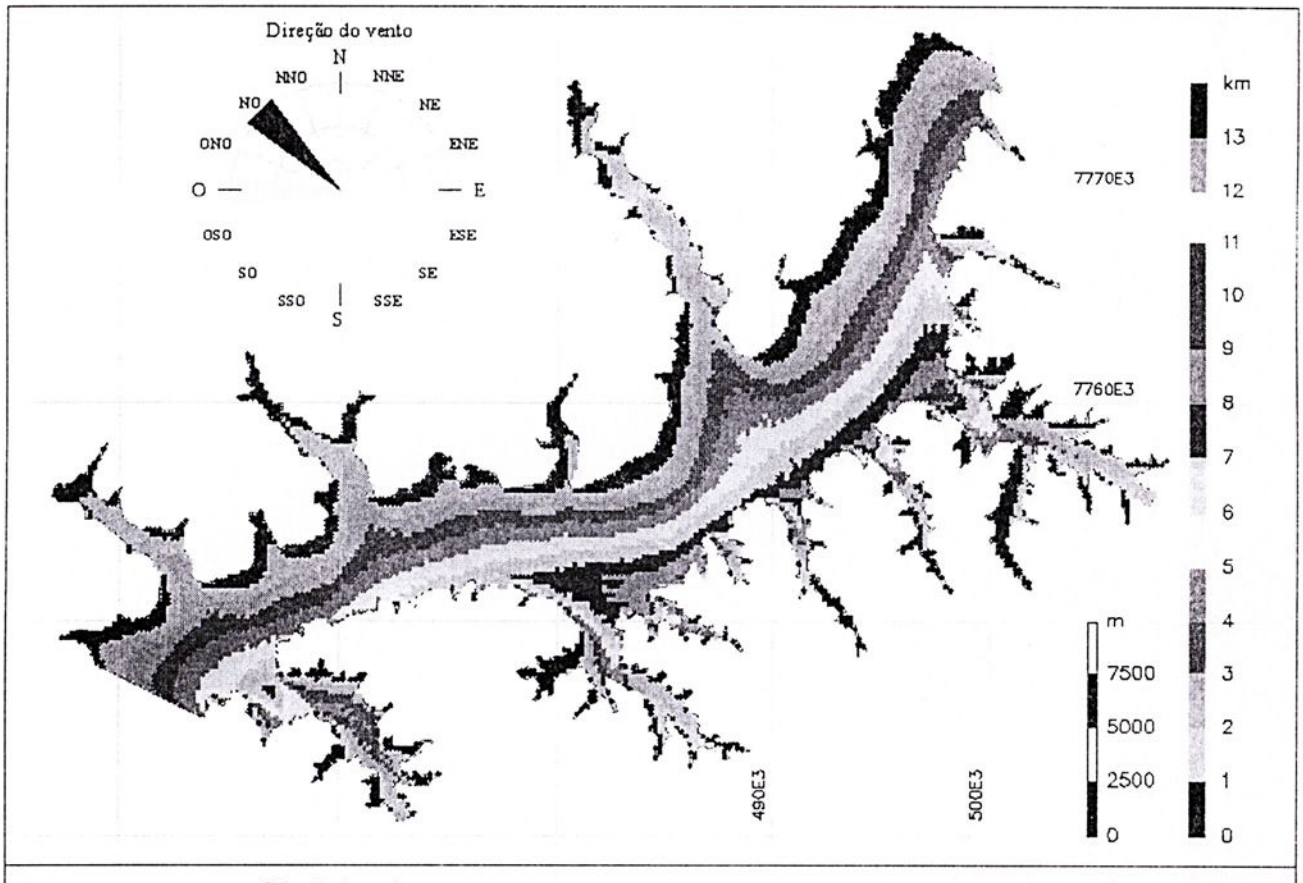


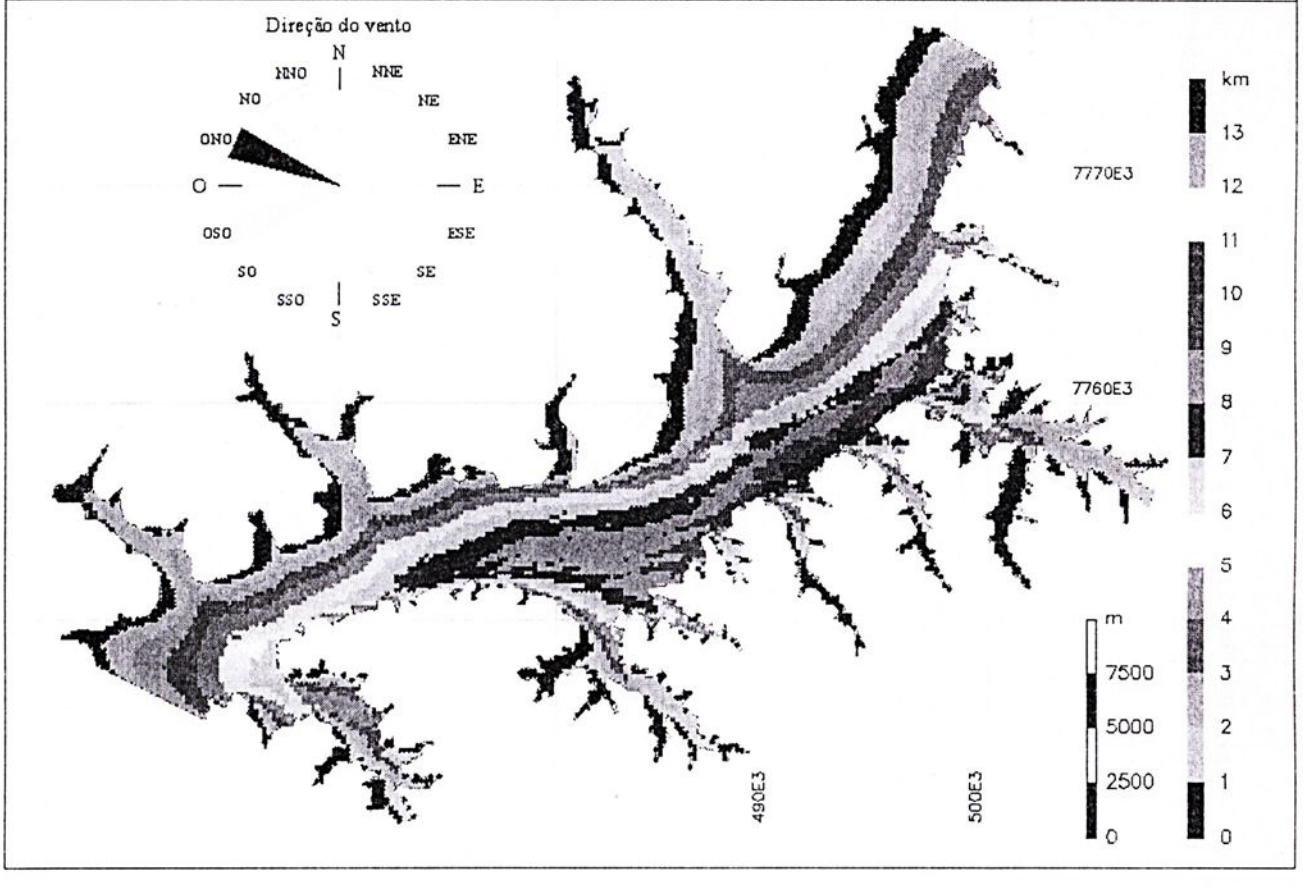

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

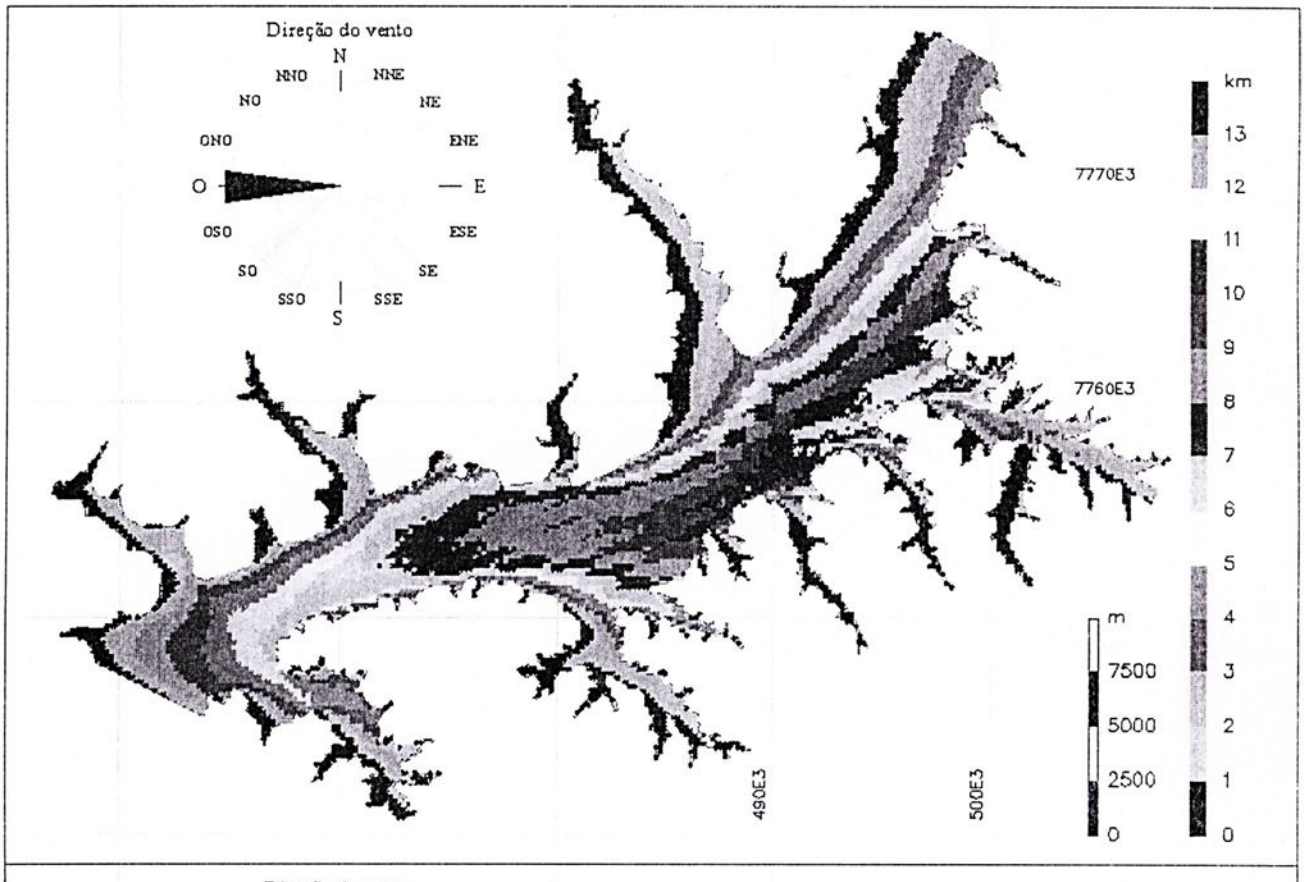

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

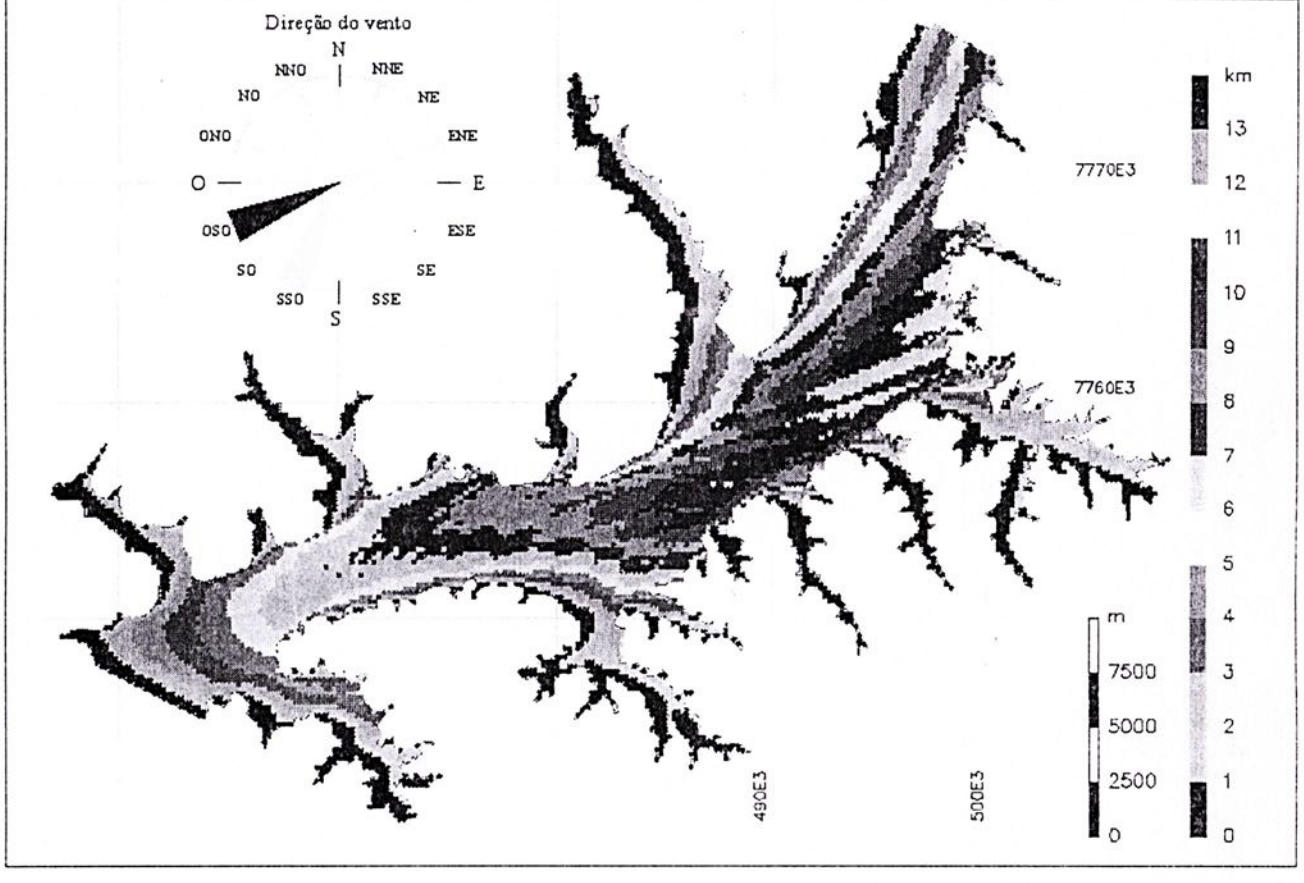

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

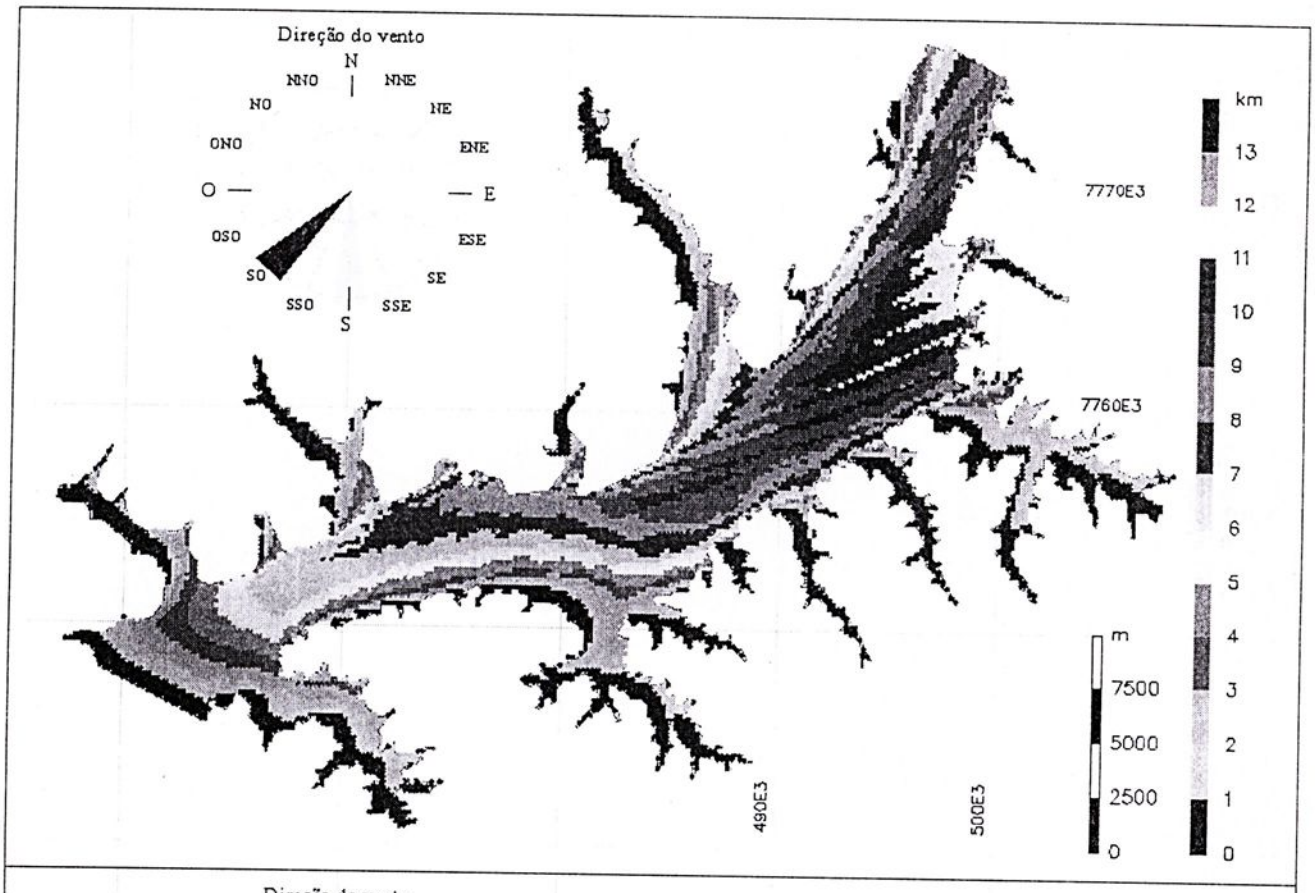

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

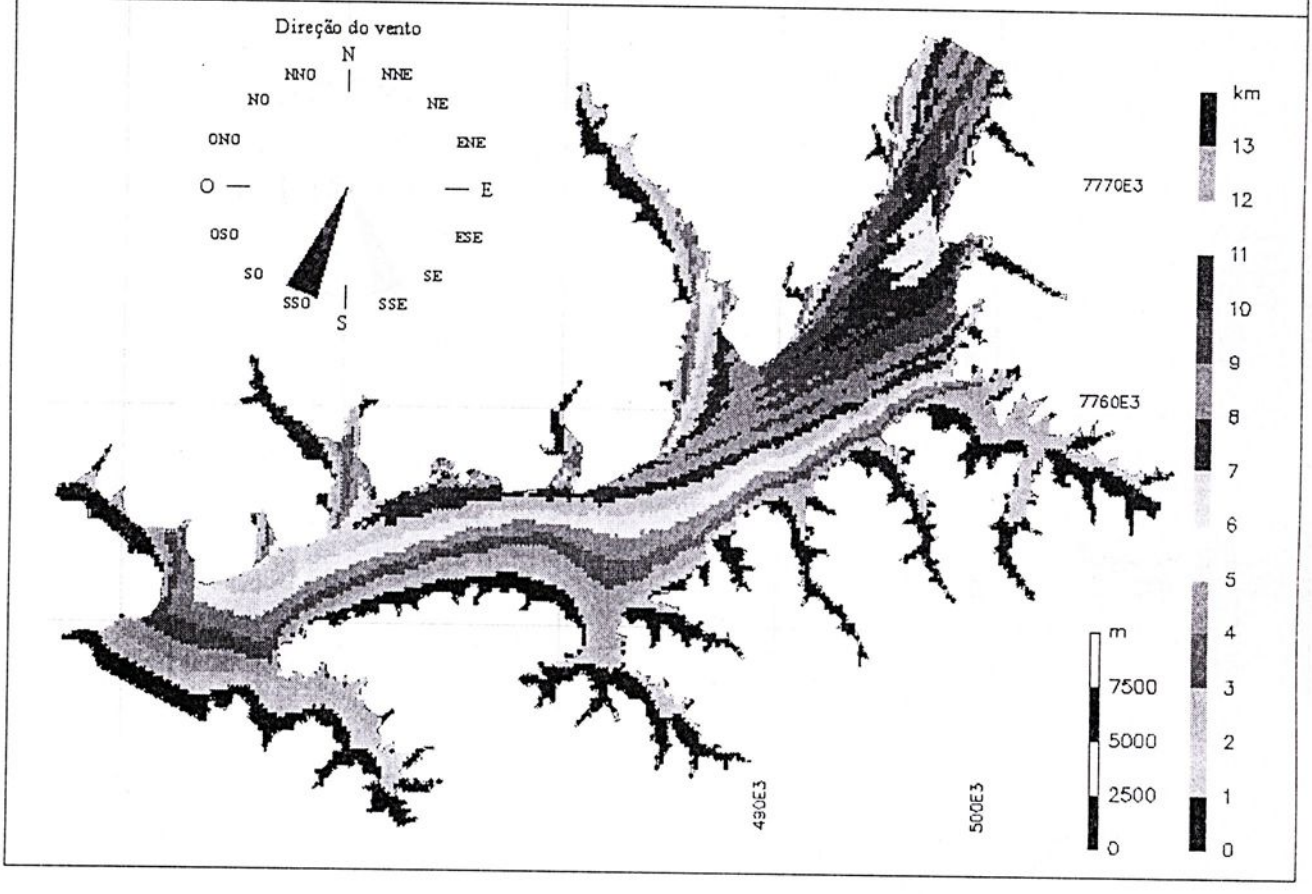

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

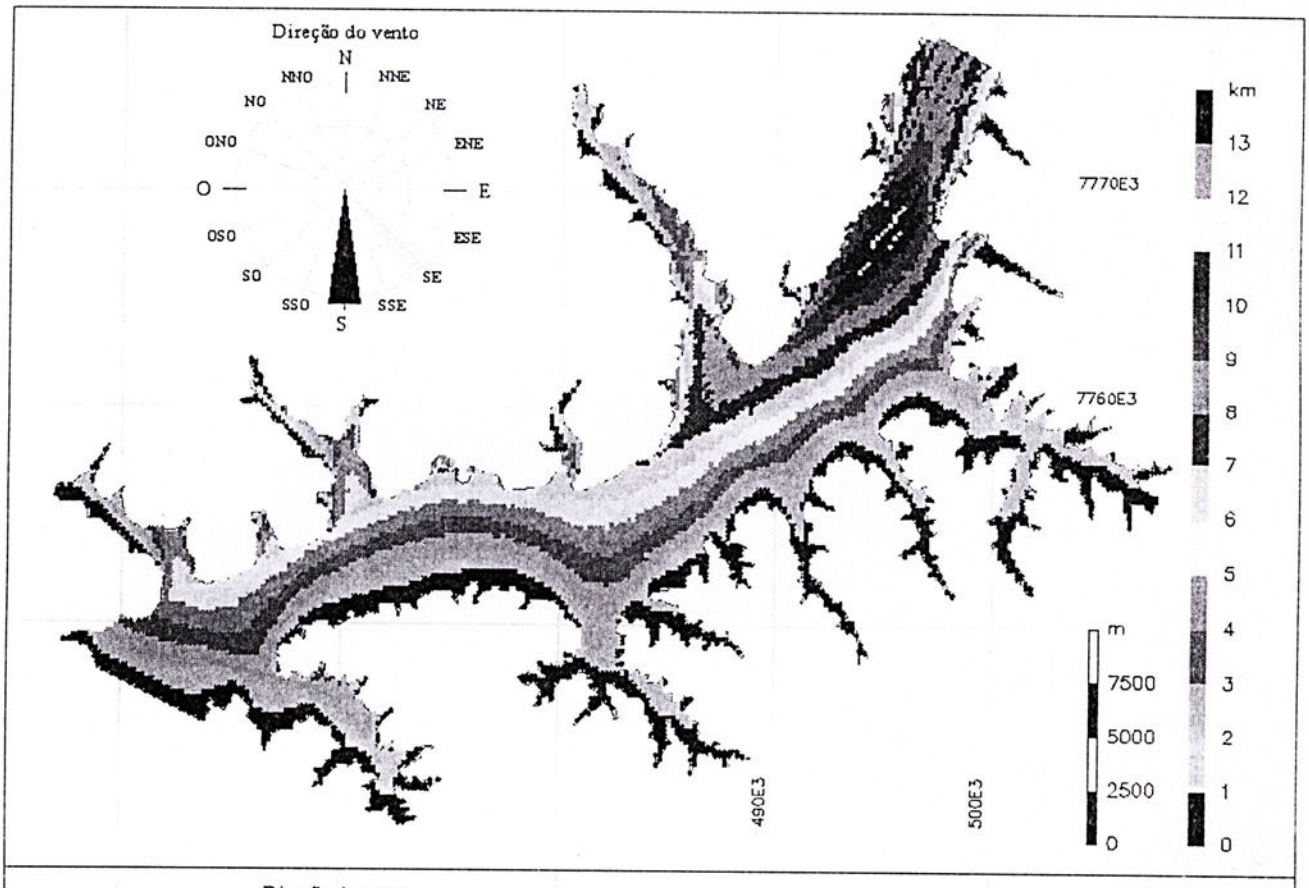

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

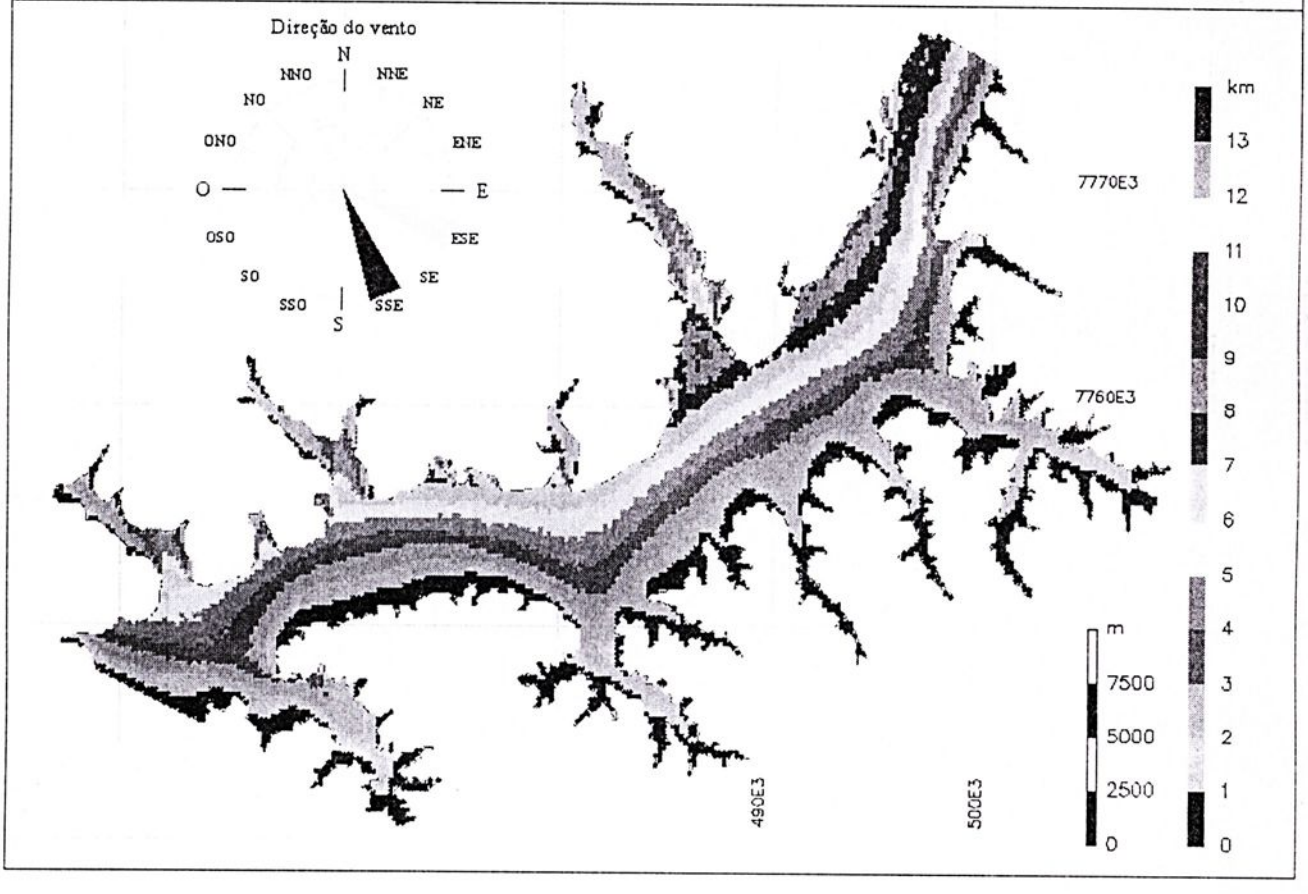

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
m
7500
5000
2500
0
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

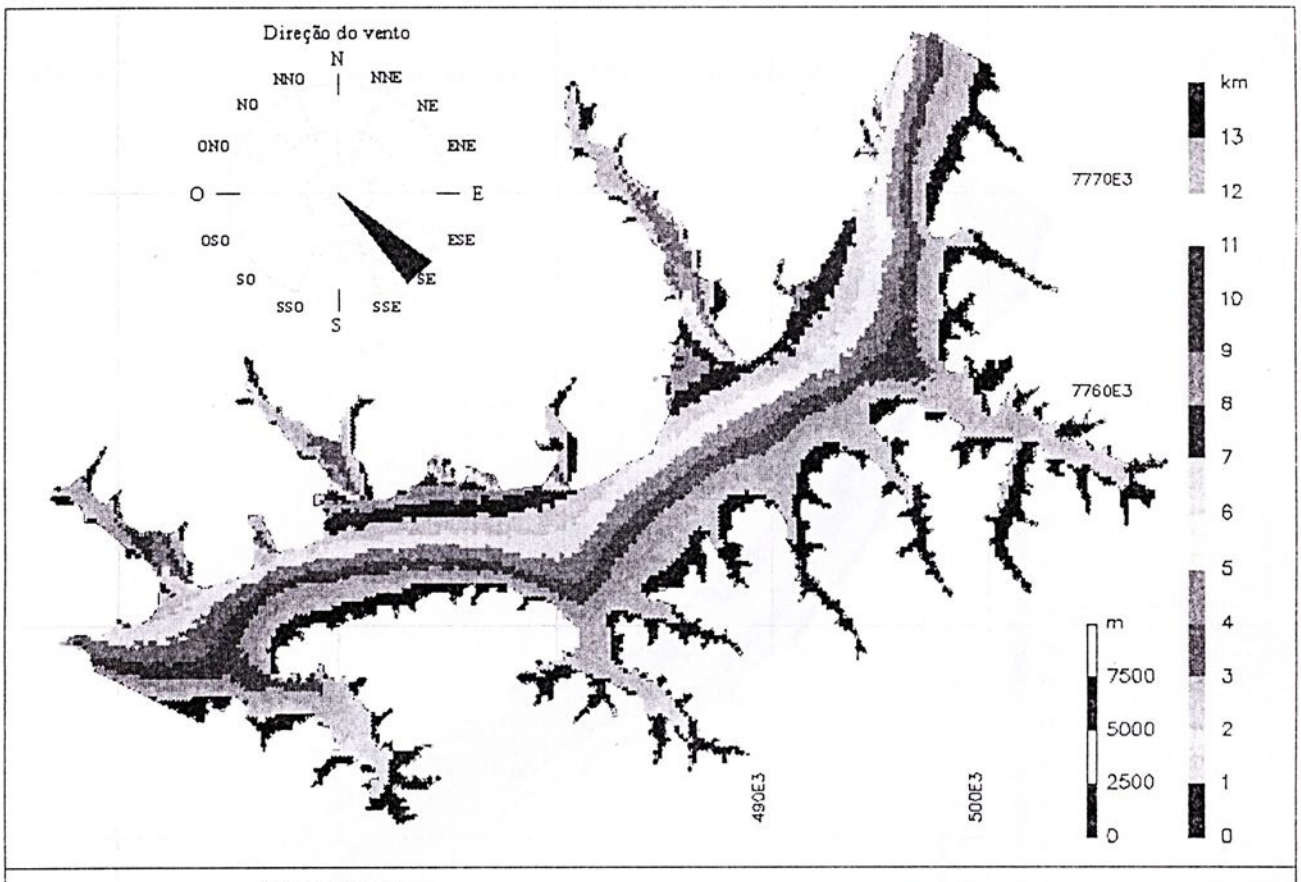

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
m
7500
5000
2500
0
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

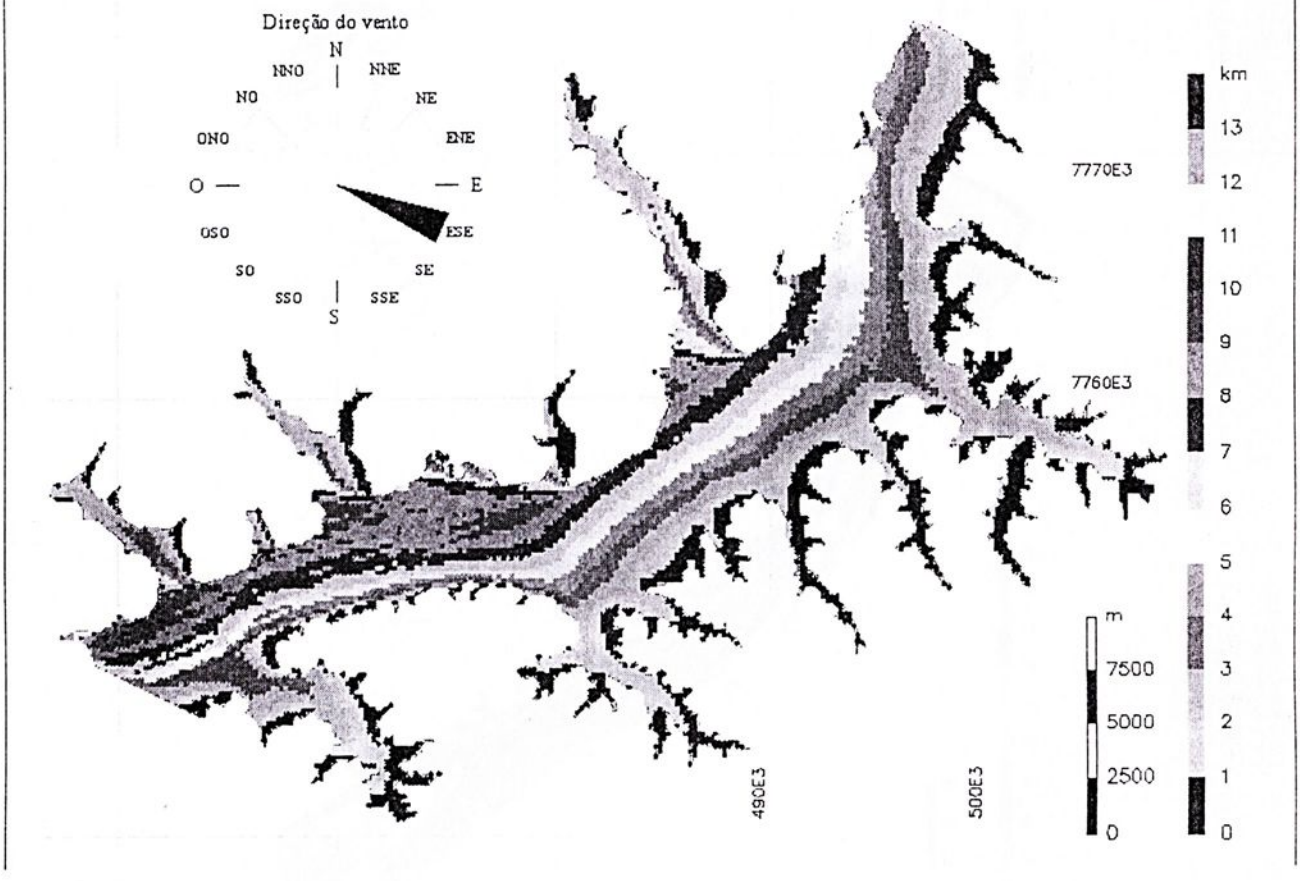

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0


Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

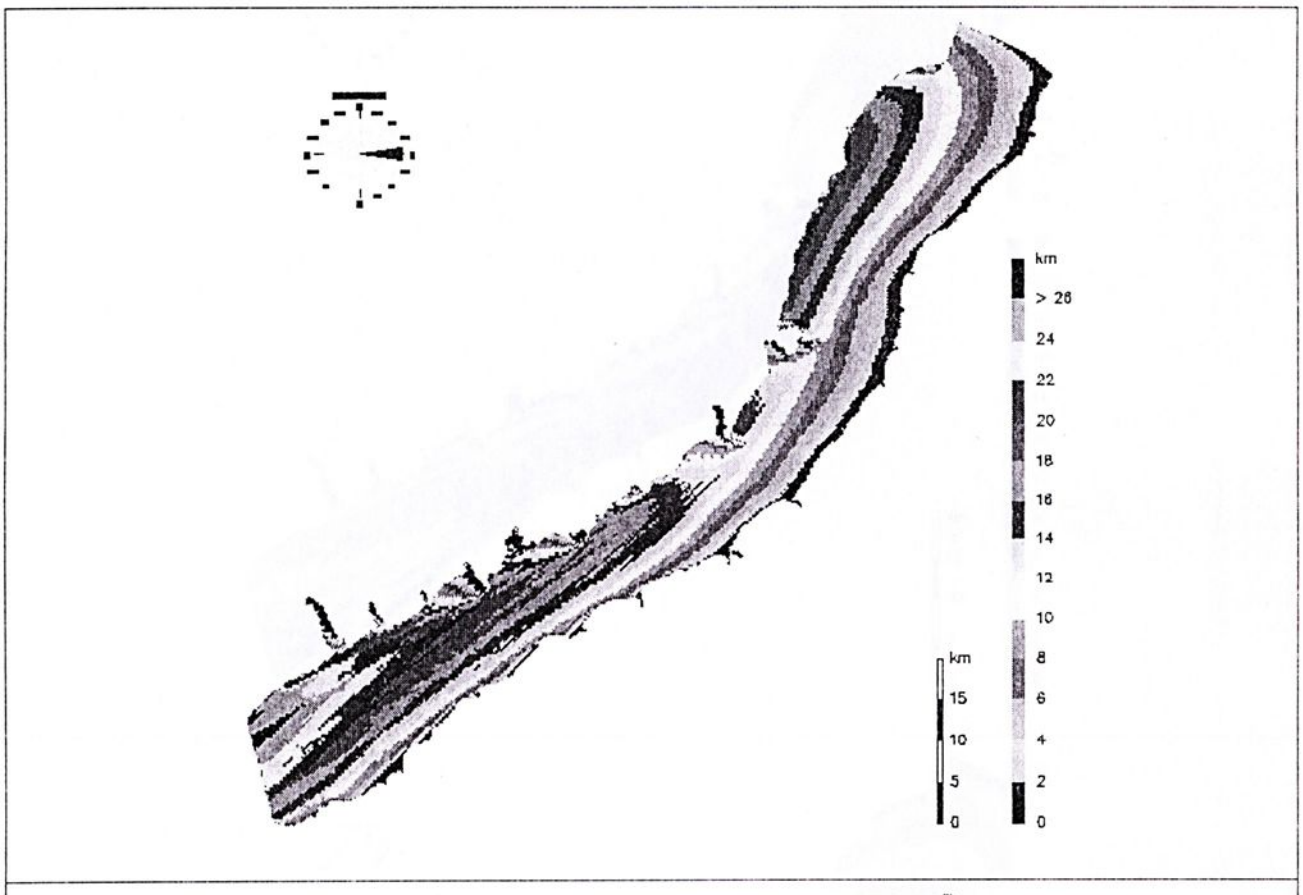

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0


Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

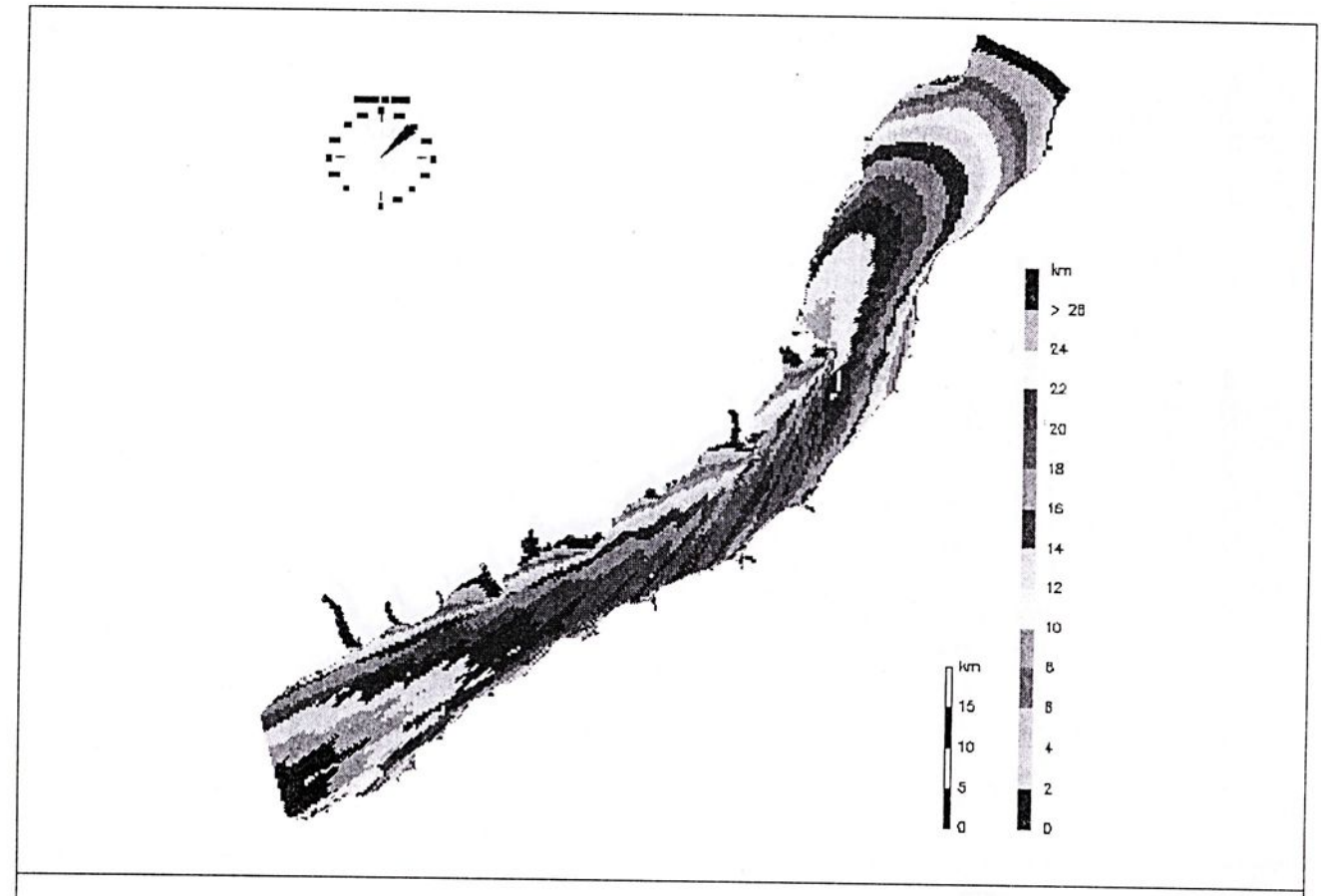

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

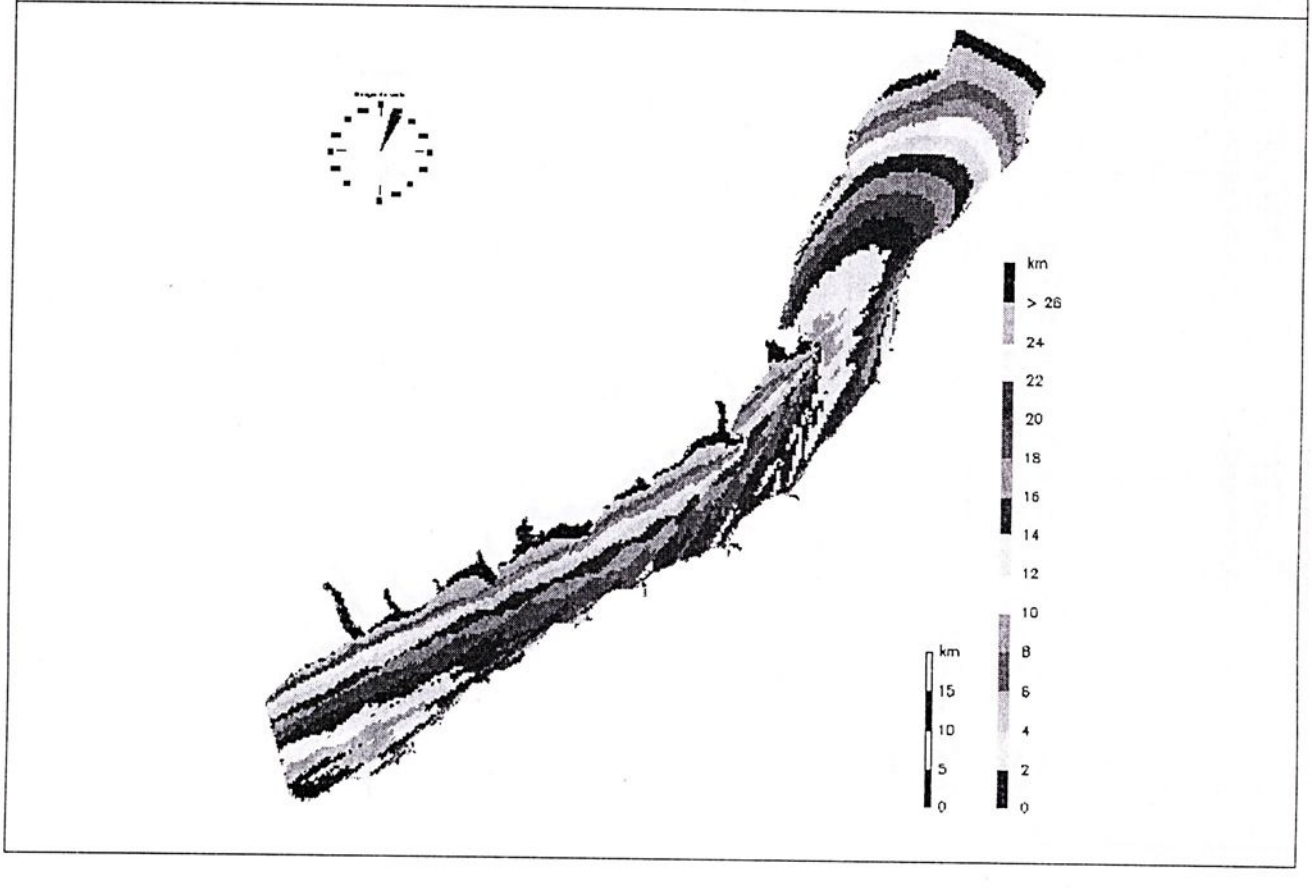

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
m
7500
5000
2500
0

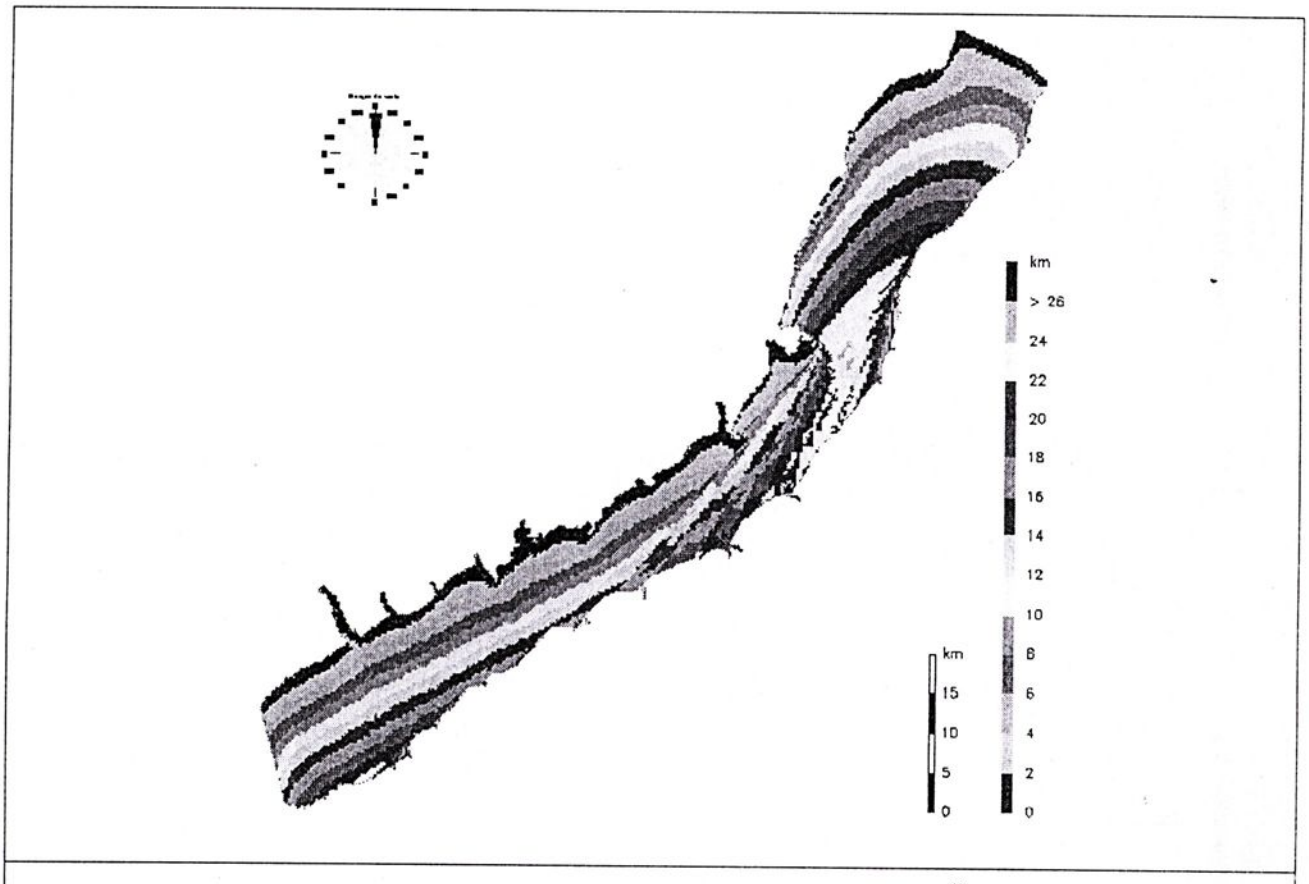
ANEXO 7 – Pistas de vento no lago de Porto Primavera

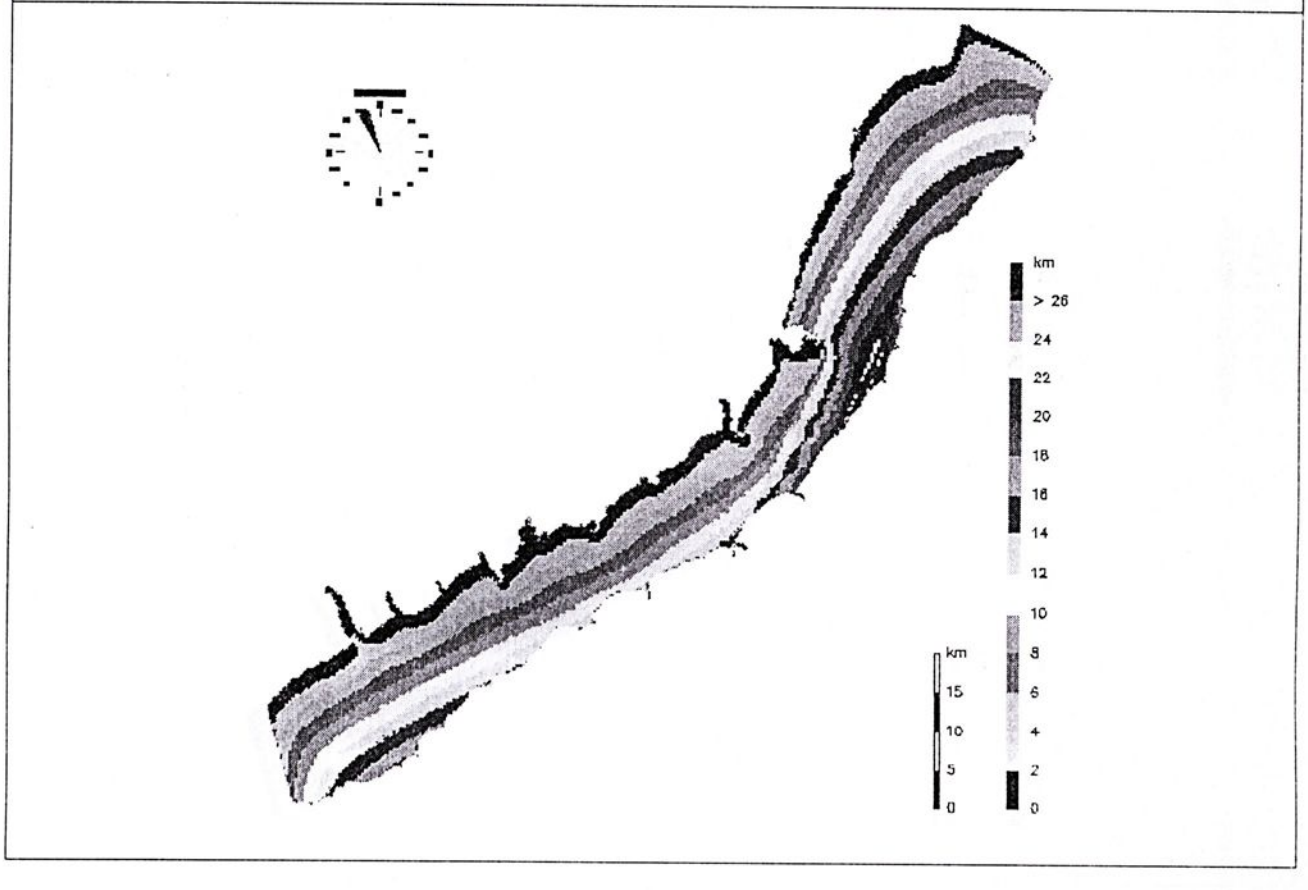


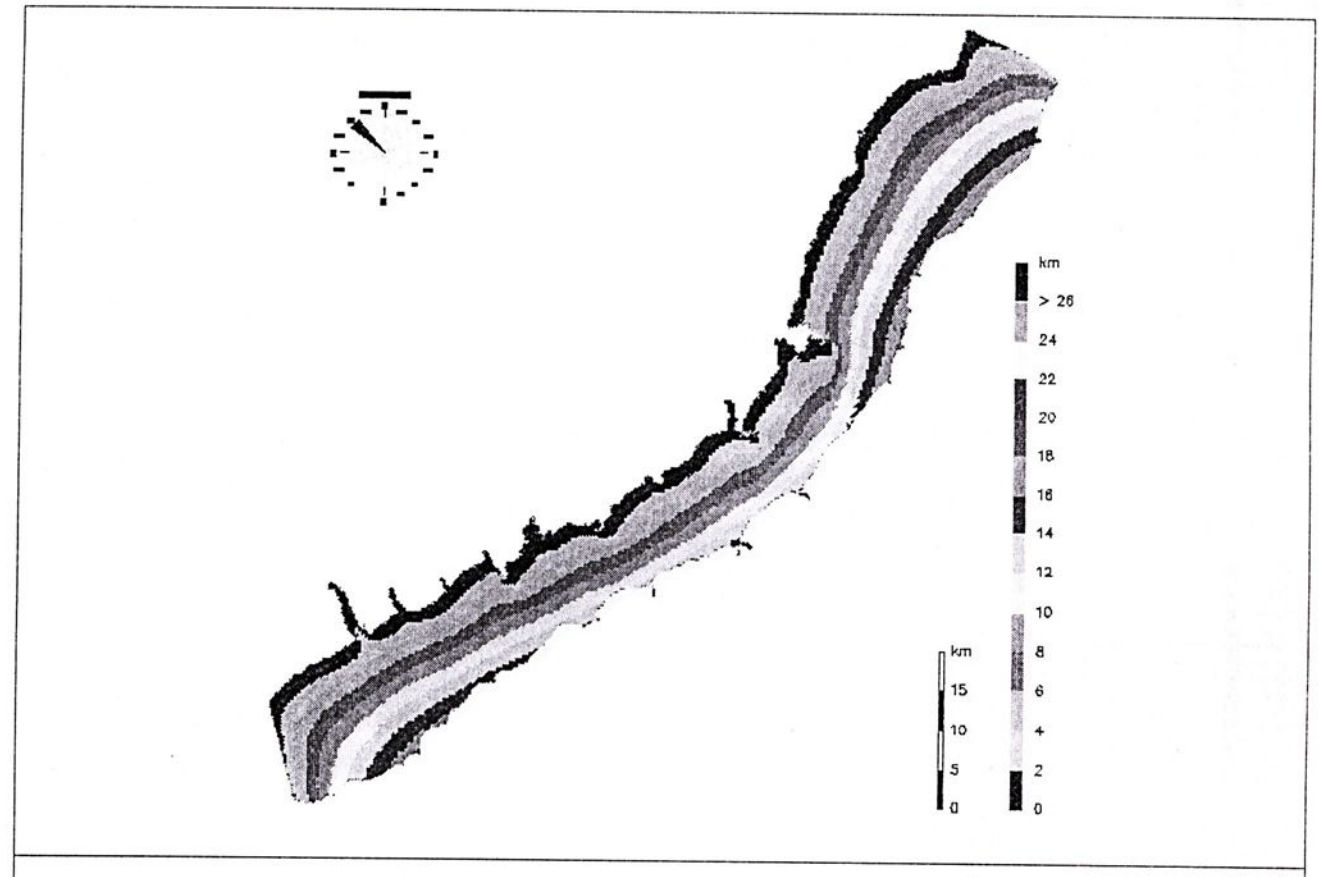


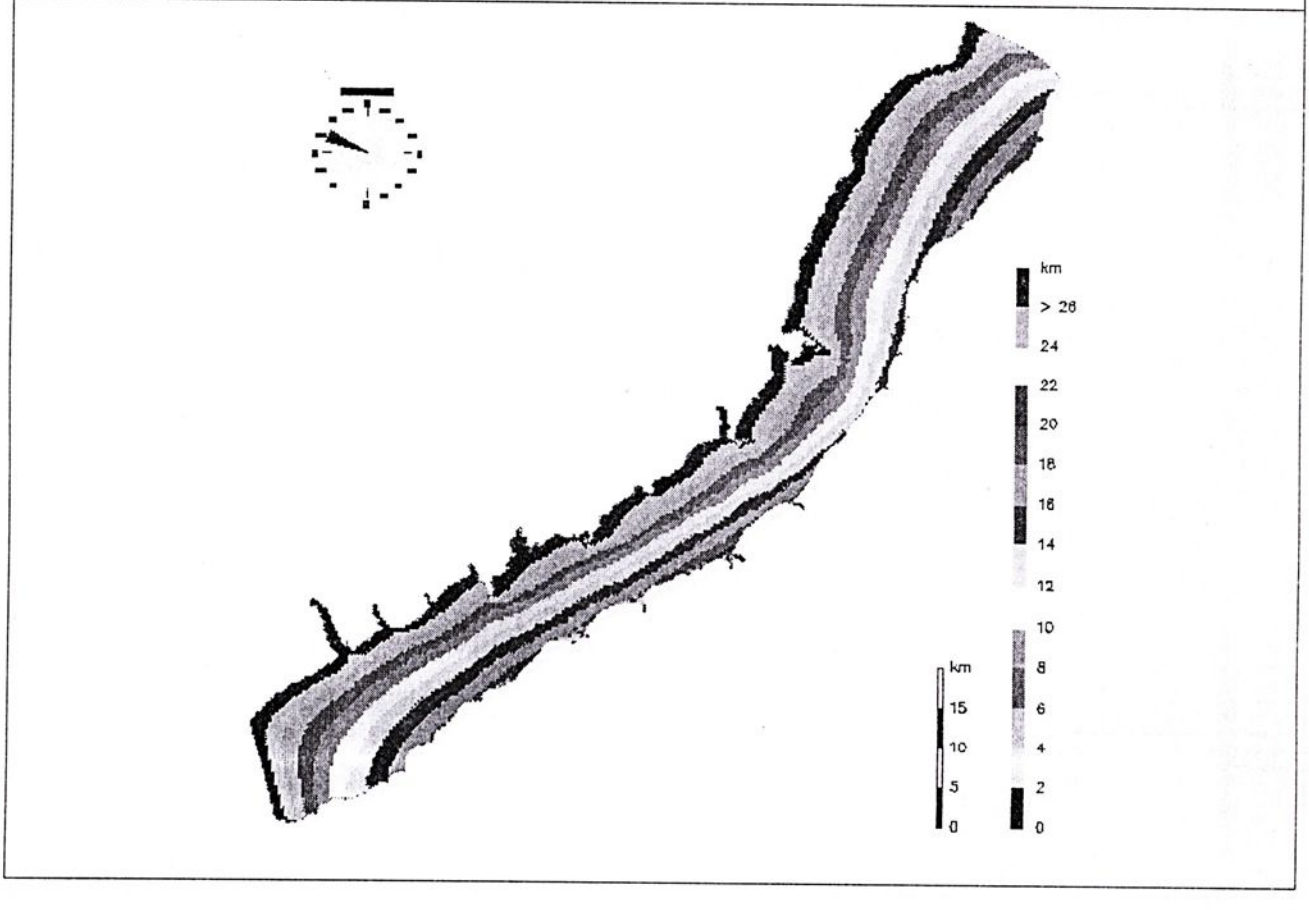

km
> 28
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

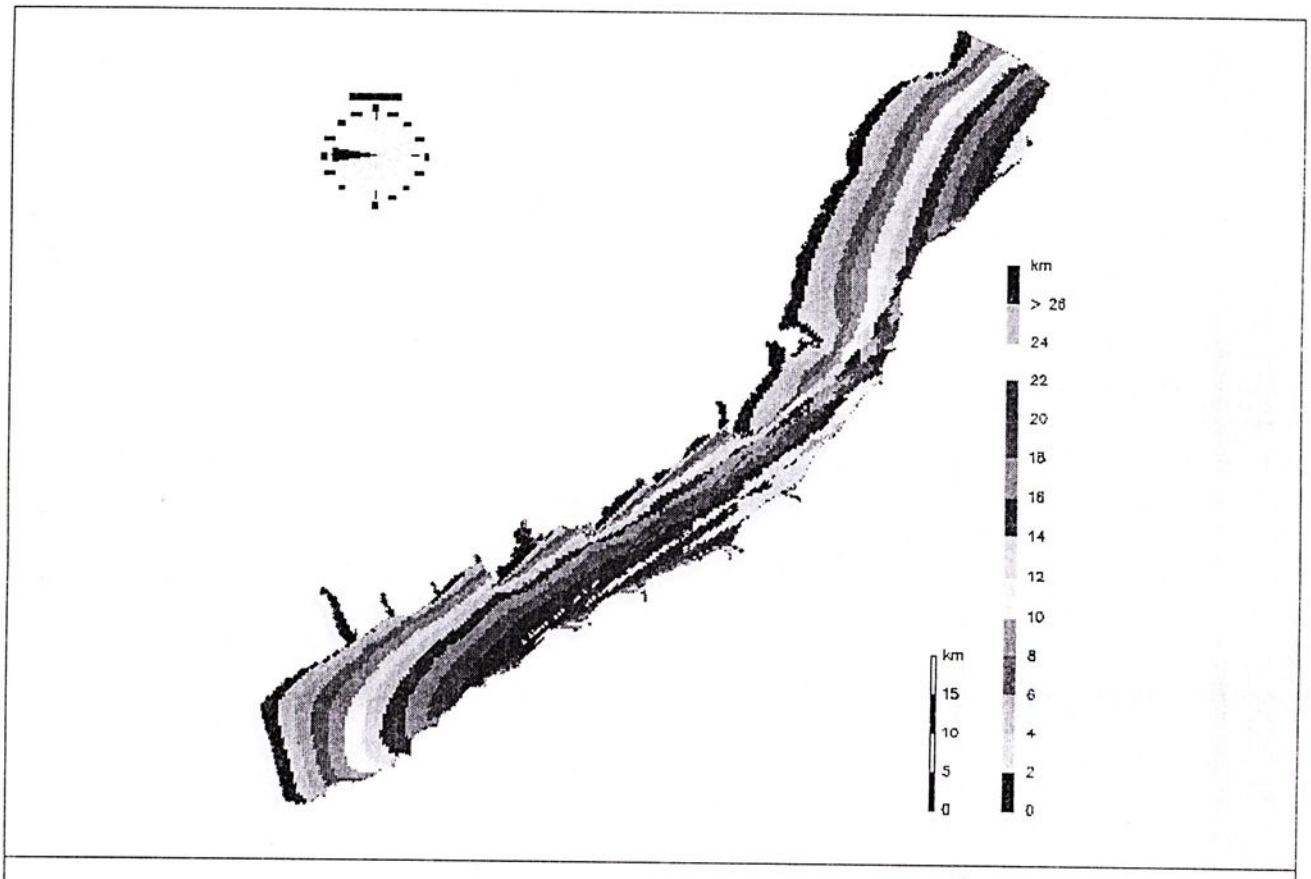

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

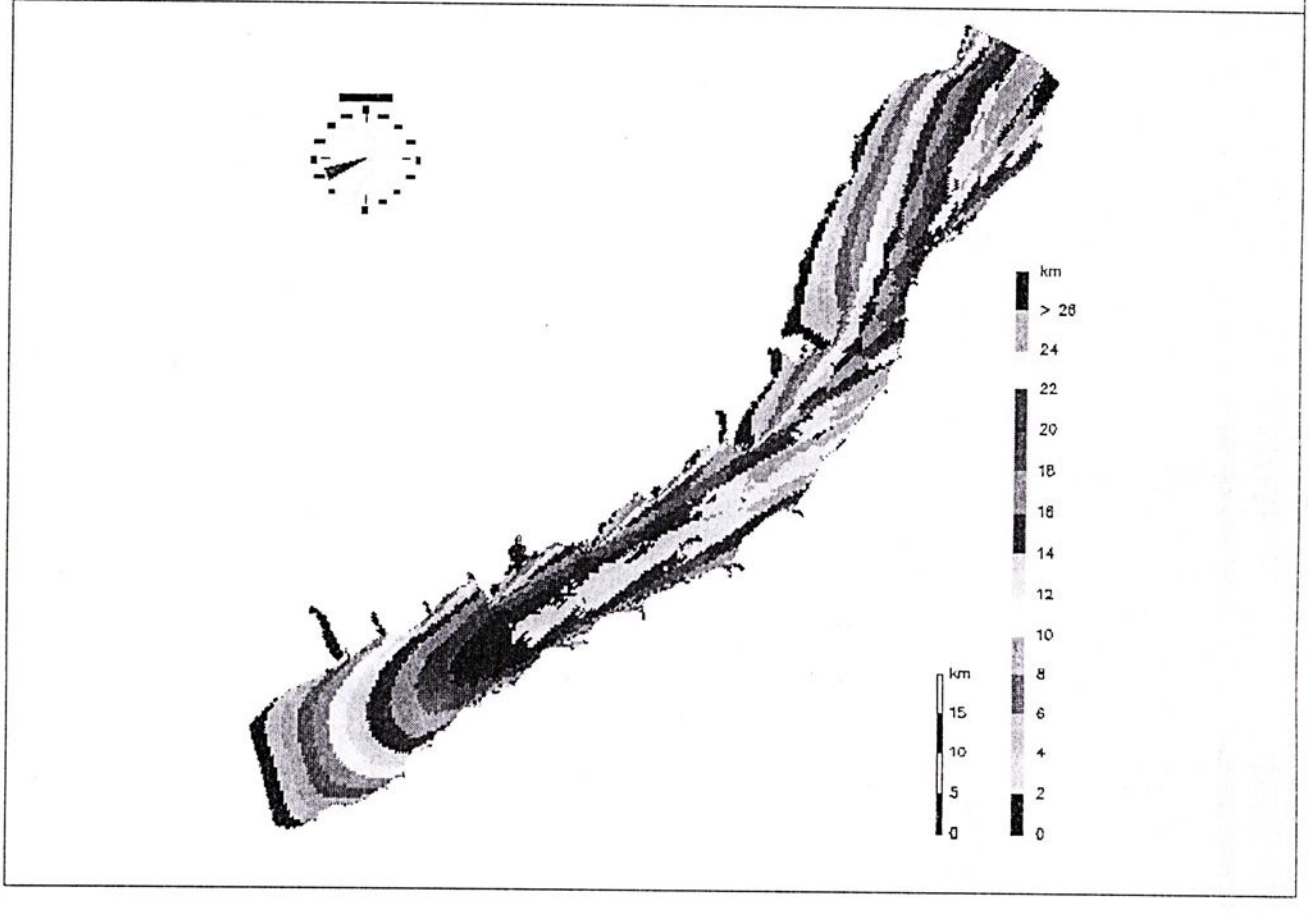

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

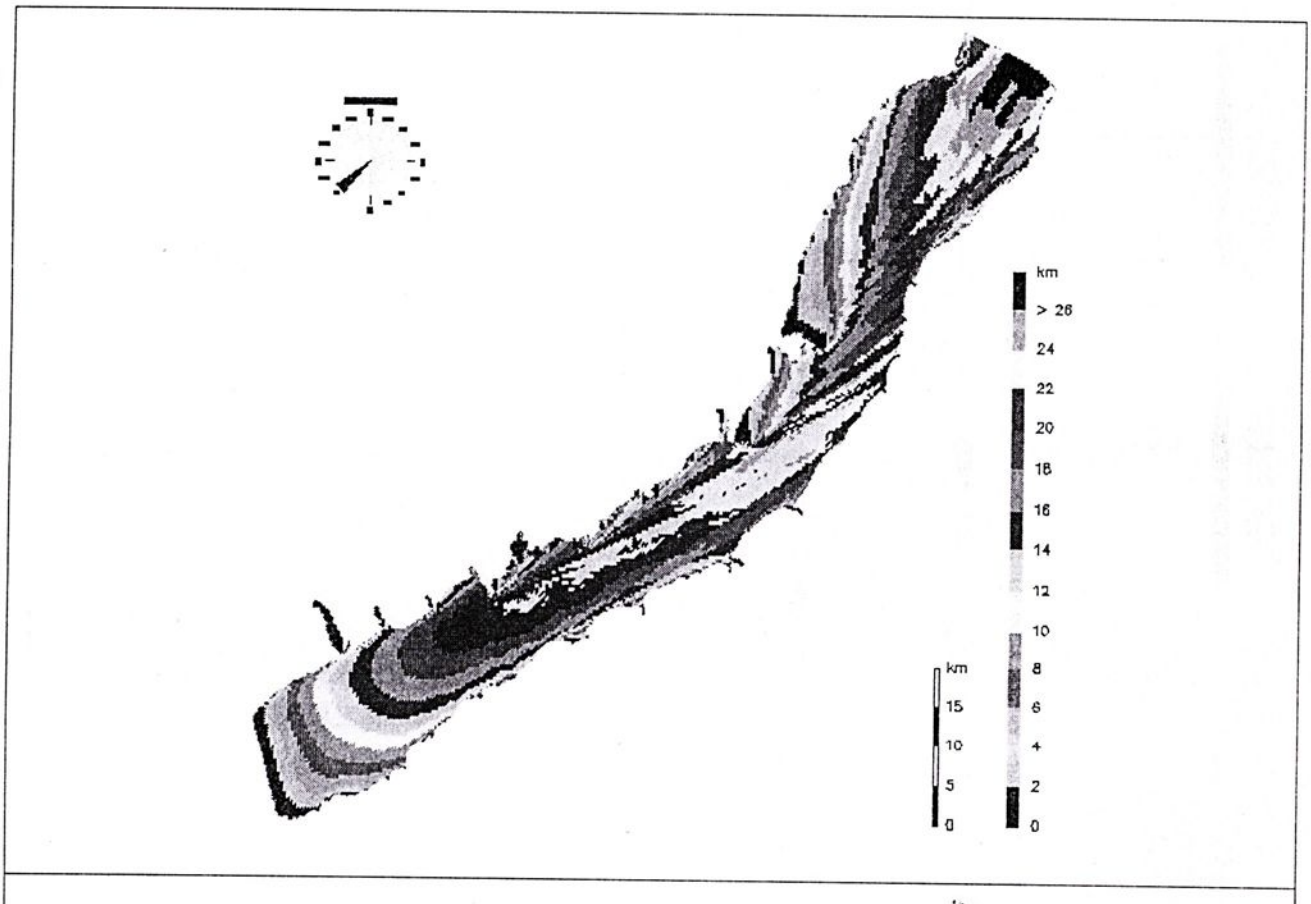

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

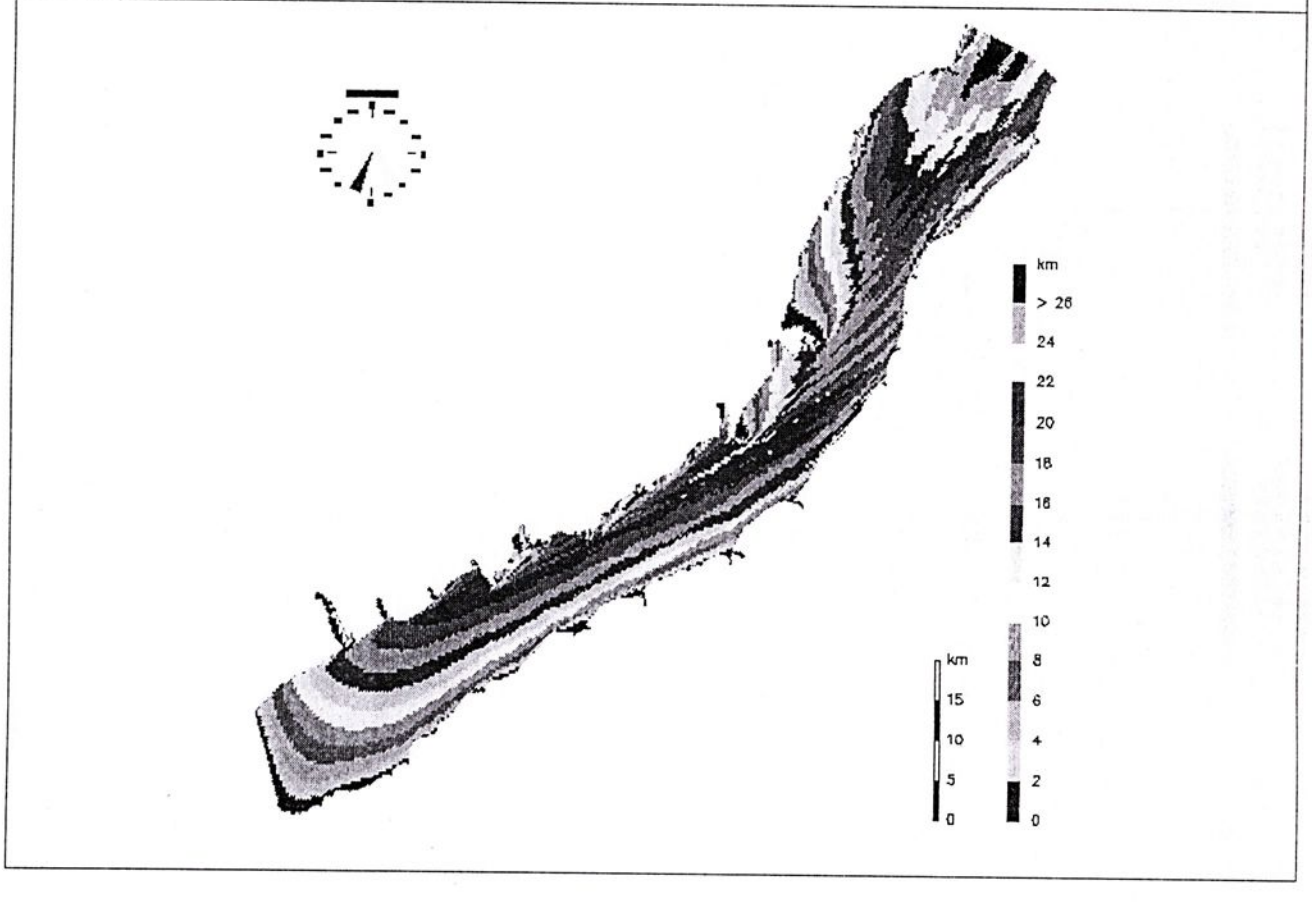

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

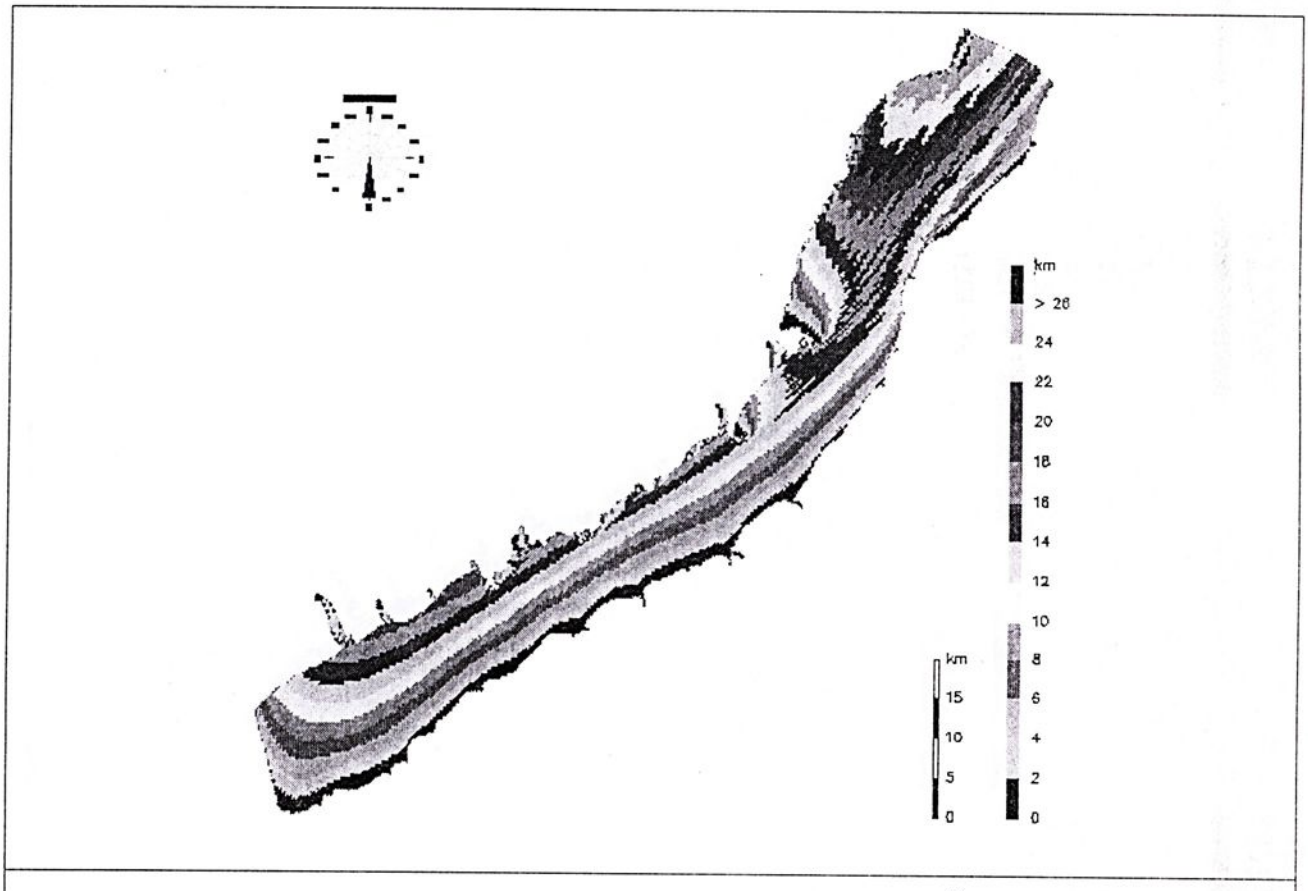

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

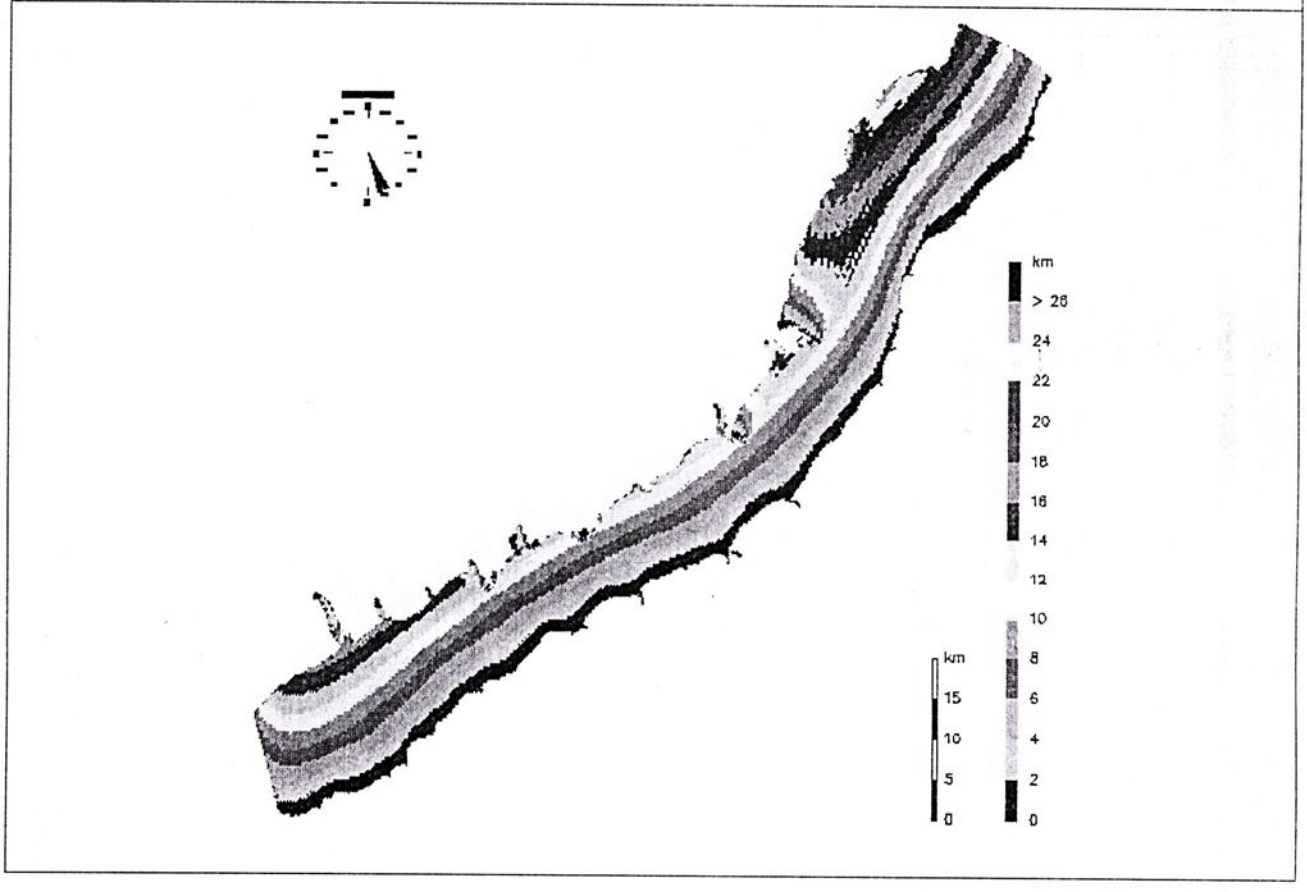

km
> 28
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

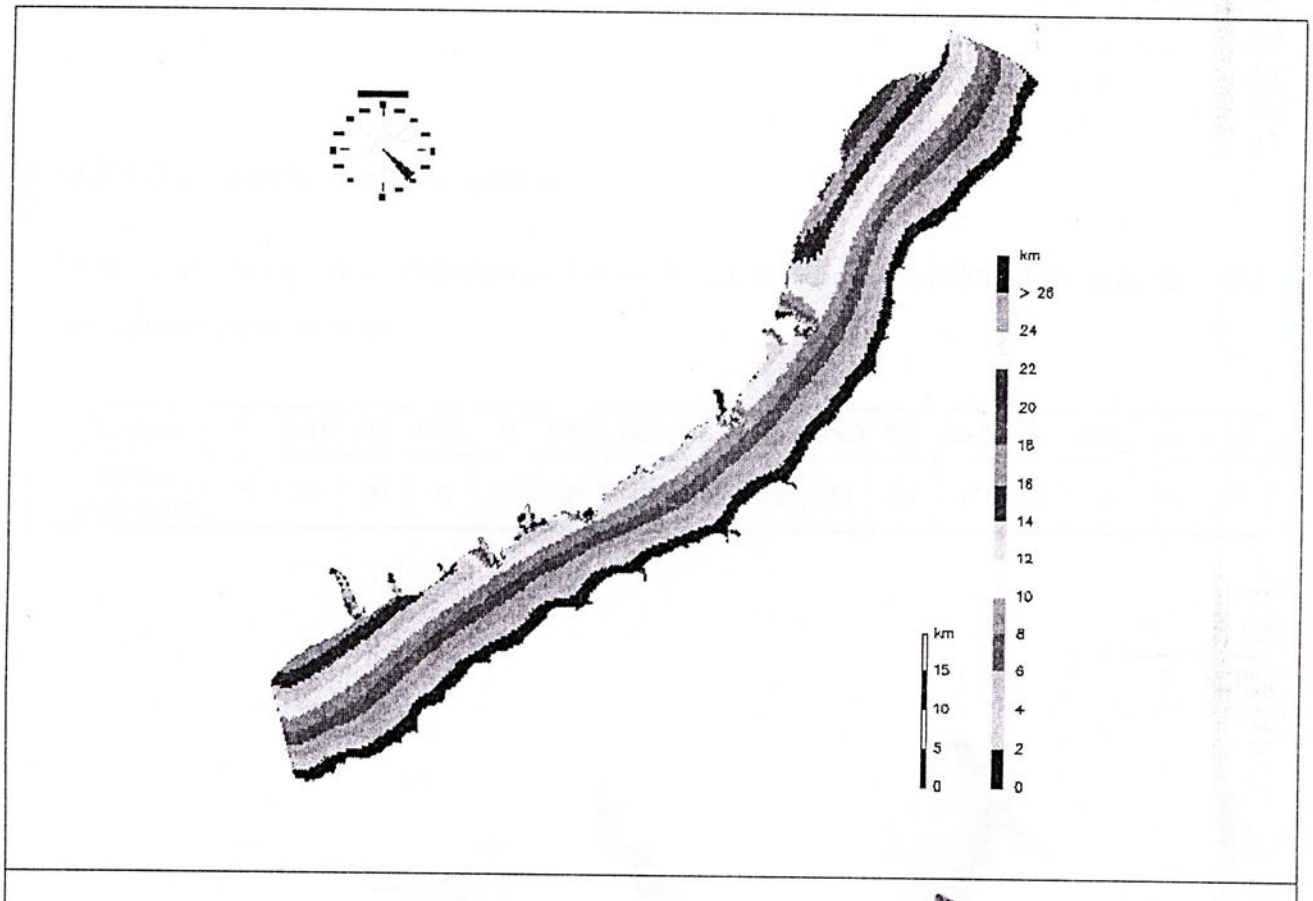

km
> 28
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

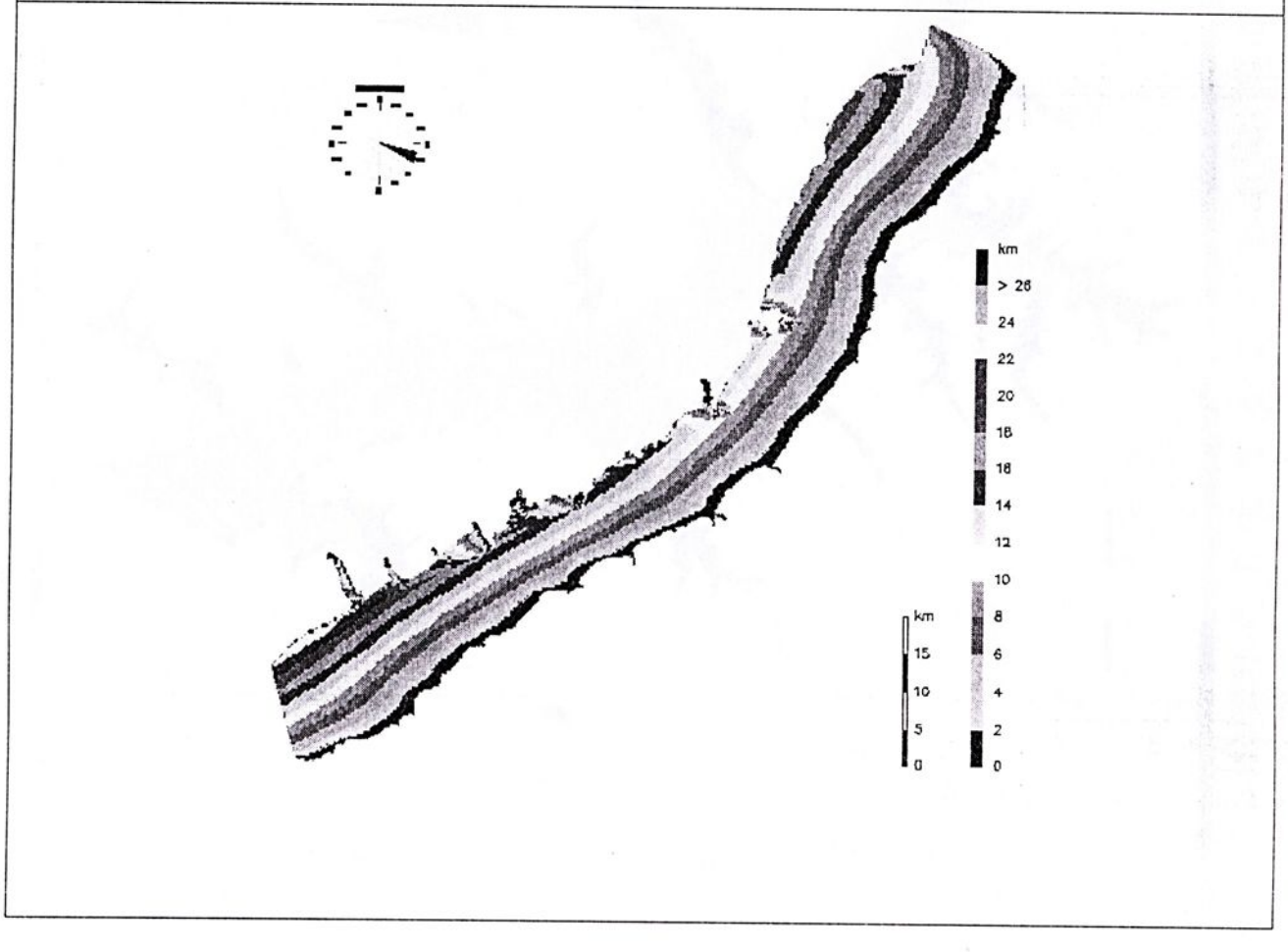

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0


km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0


km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0


km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

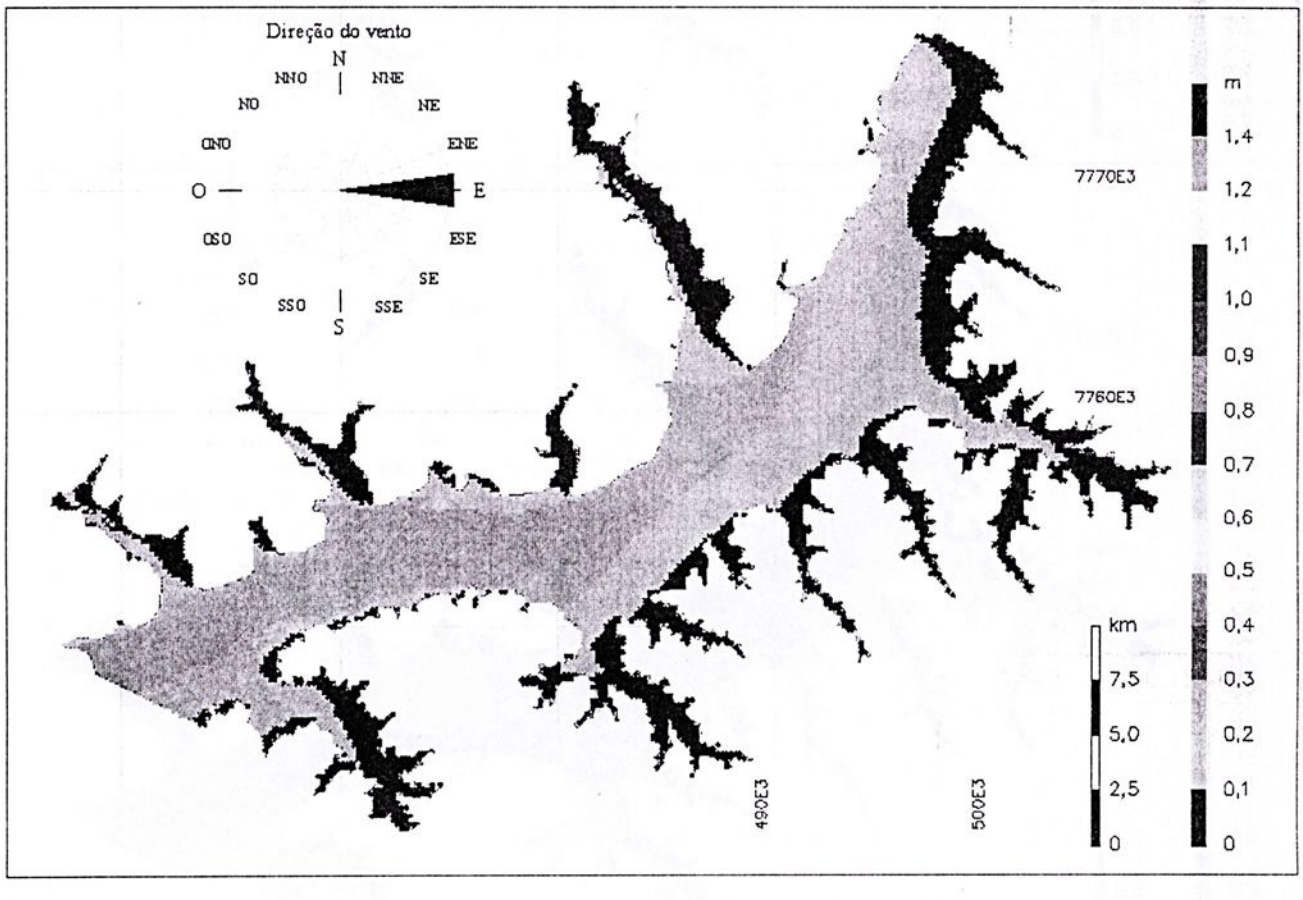

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

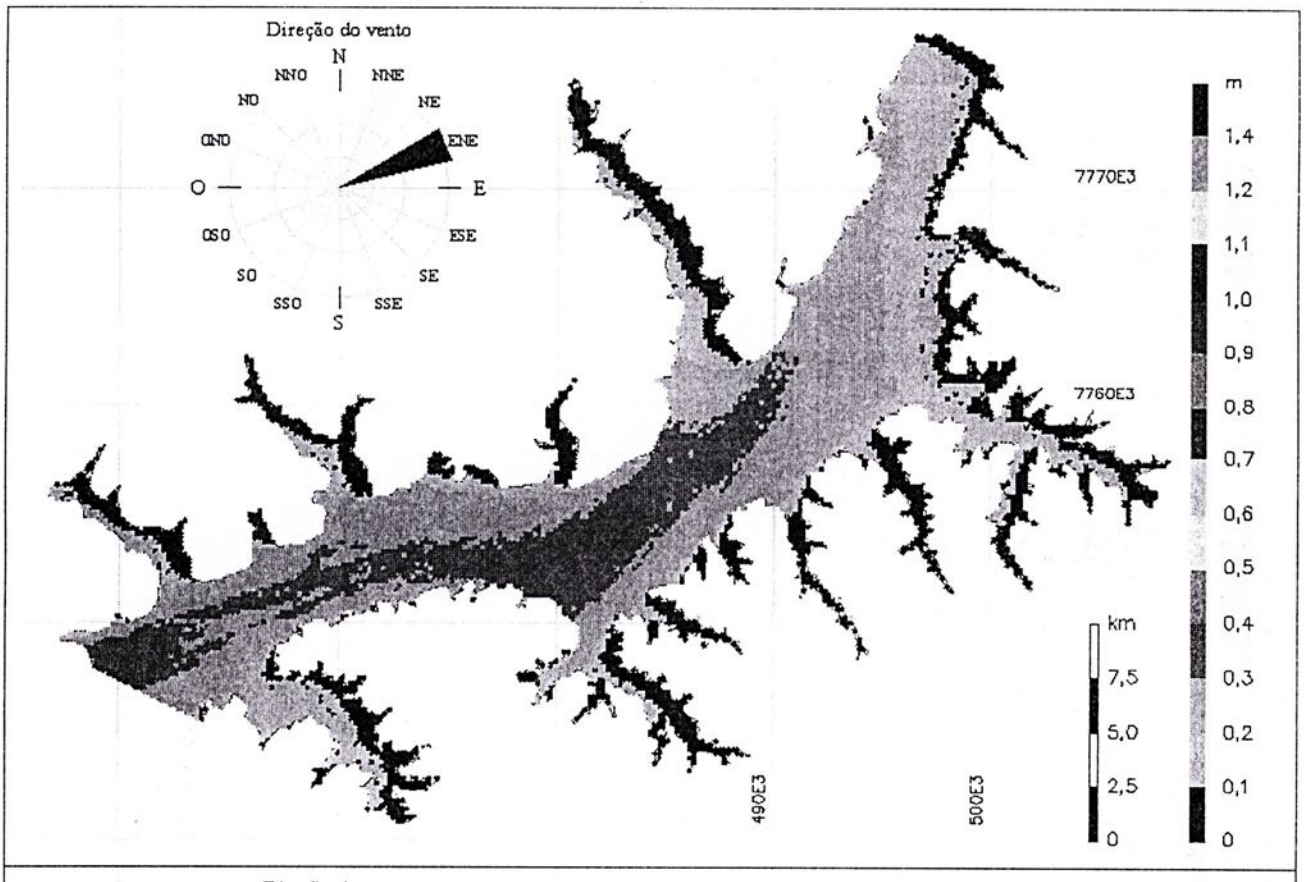

km
> 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
km
15
10
5
0

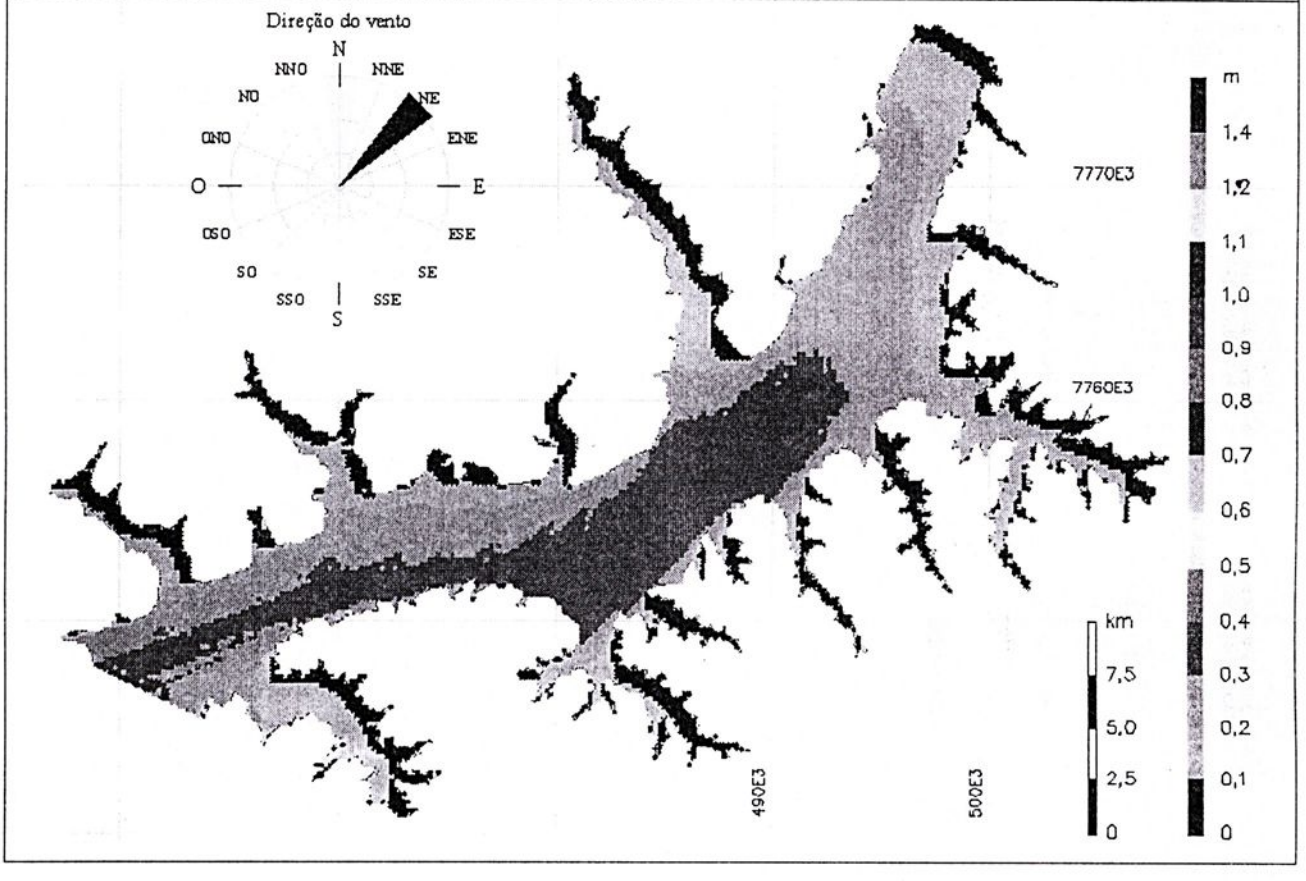
ANEXO 8 – Ondas em Ilha Solteira

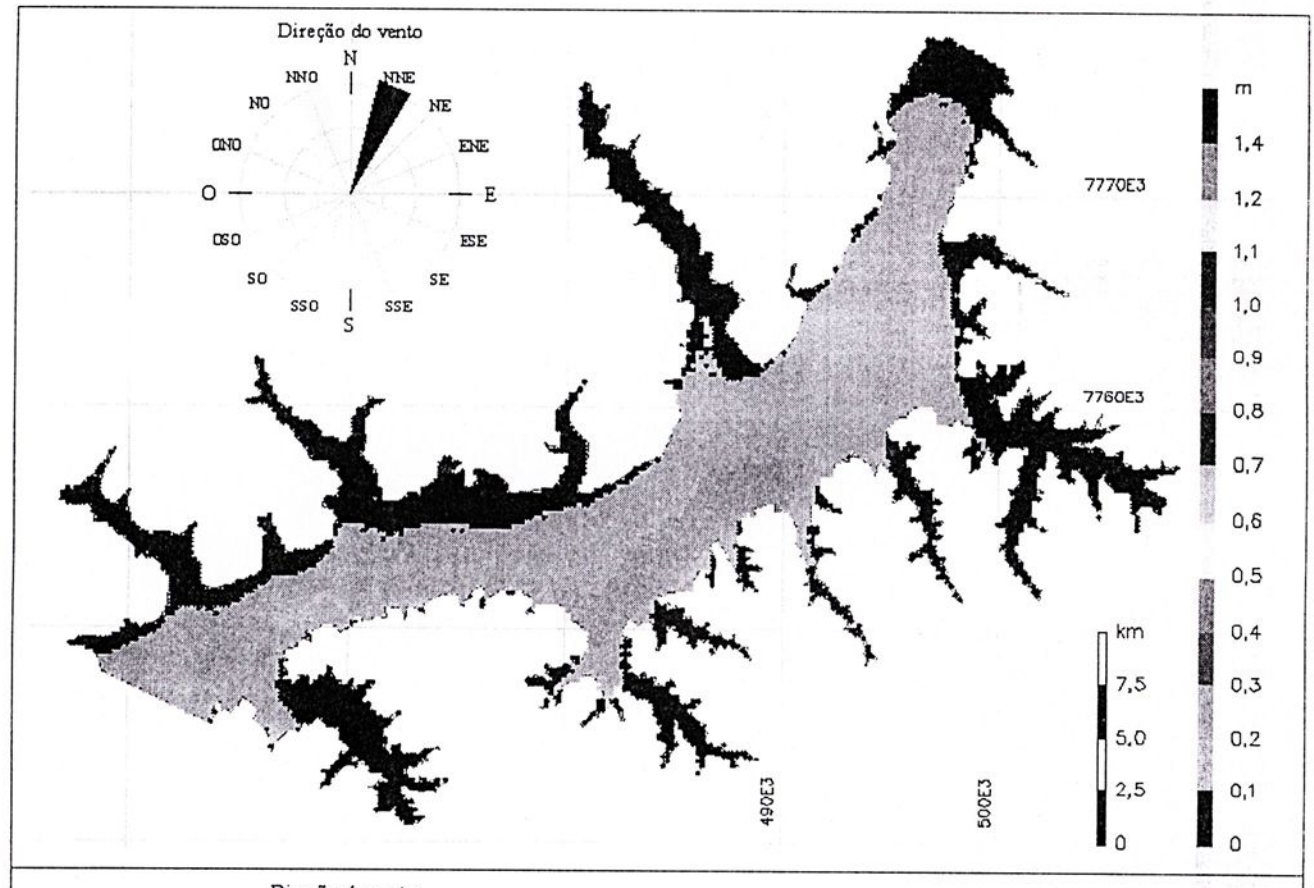
As velocidade do vento utilizadas referem-se as velocidades médias do ano de 2003, conforme tabela abaixo:

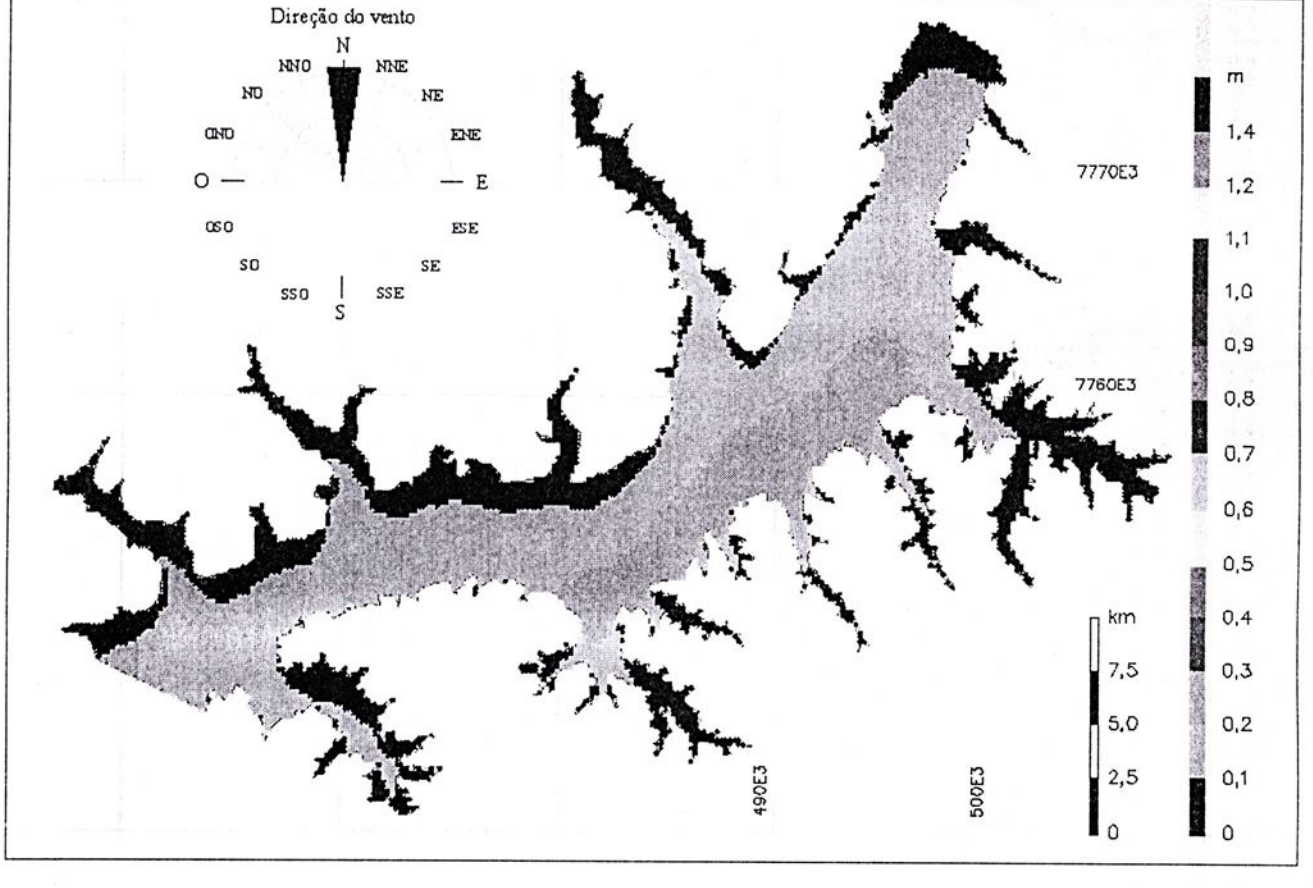
Direção	E	ENE	NE	NNE	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSE	SE	ESE
Altura onda (cm)	25	34	36	21	25	27	20	22	23	23	21	17	19	16	18	15

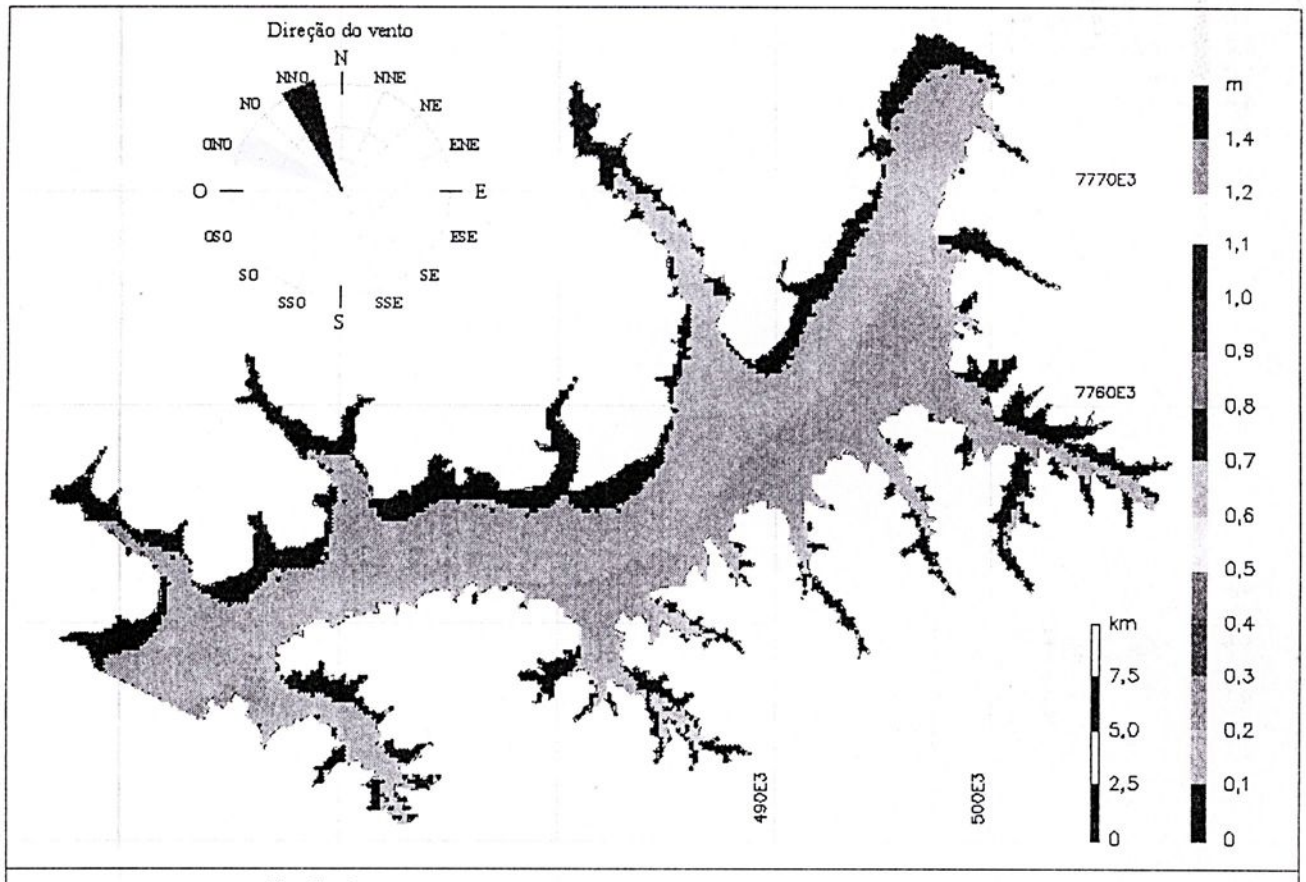


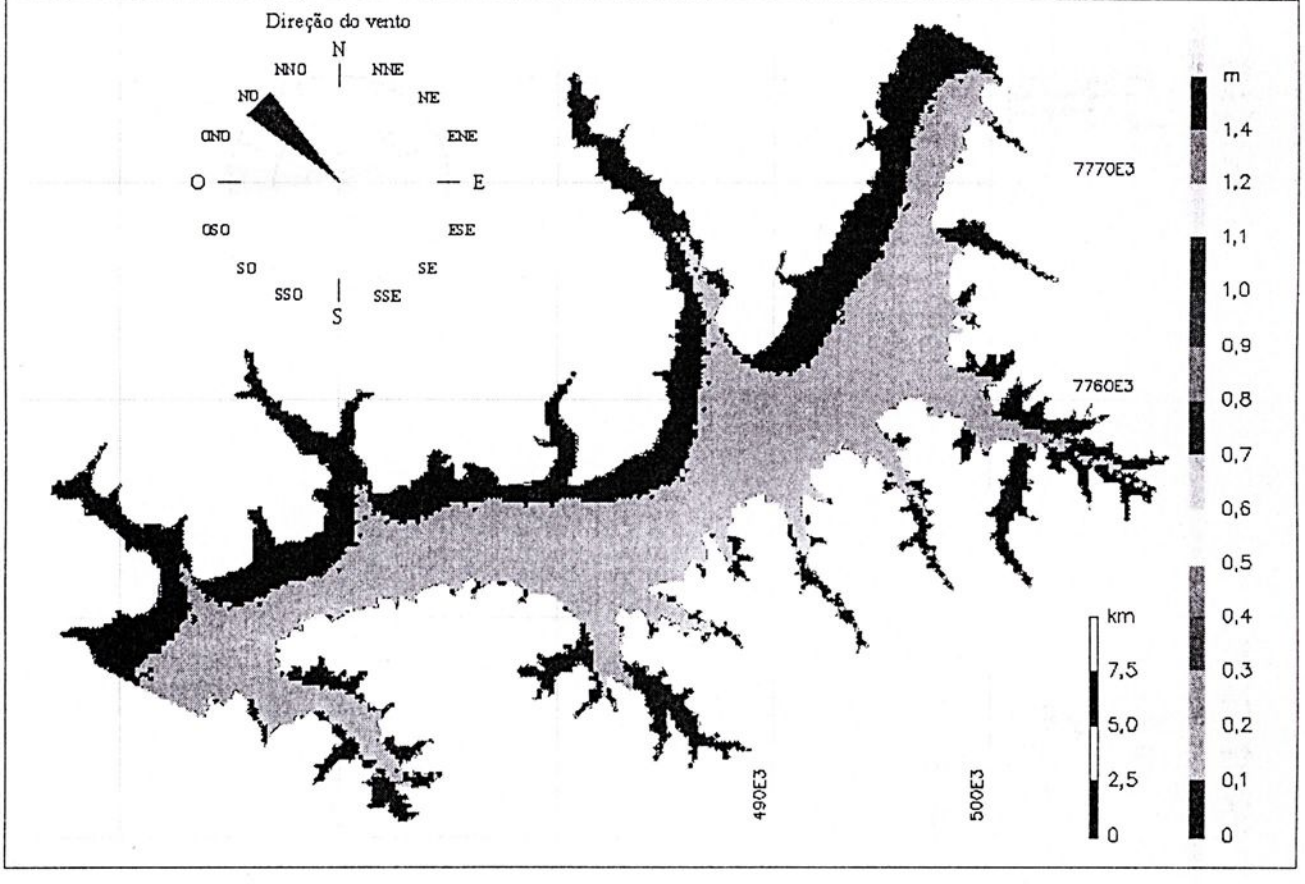

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

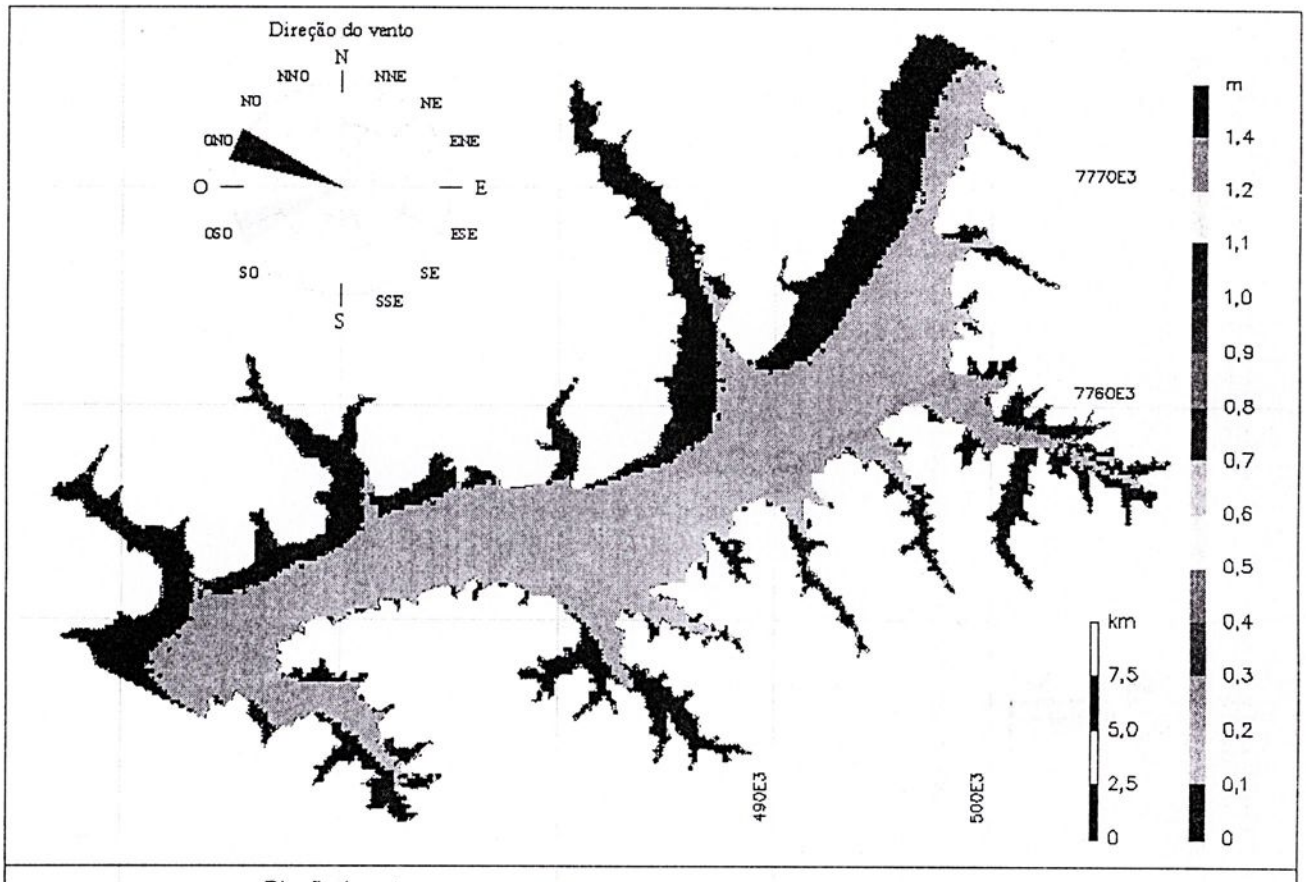

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

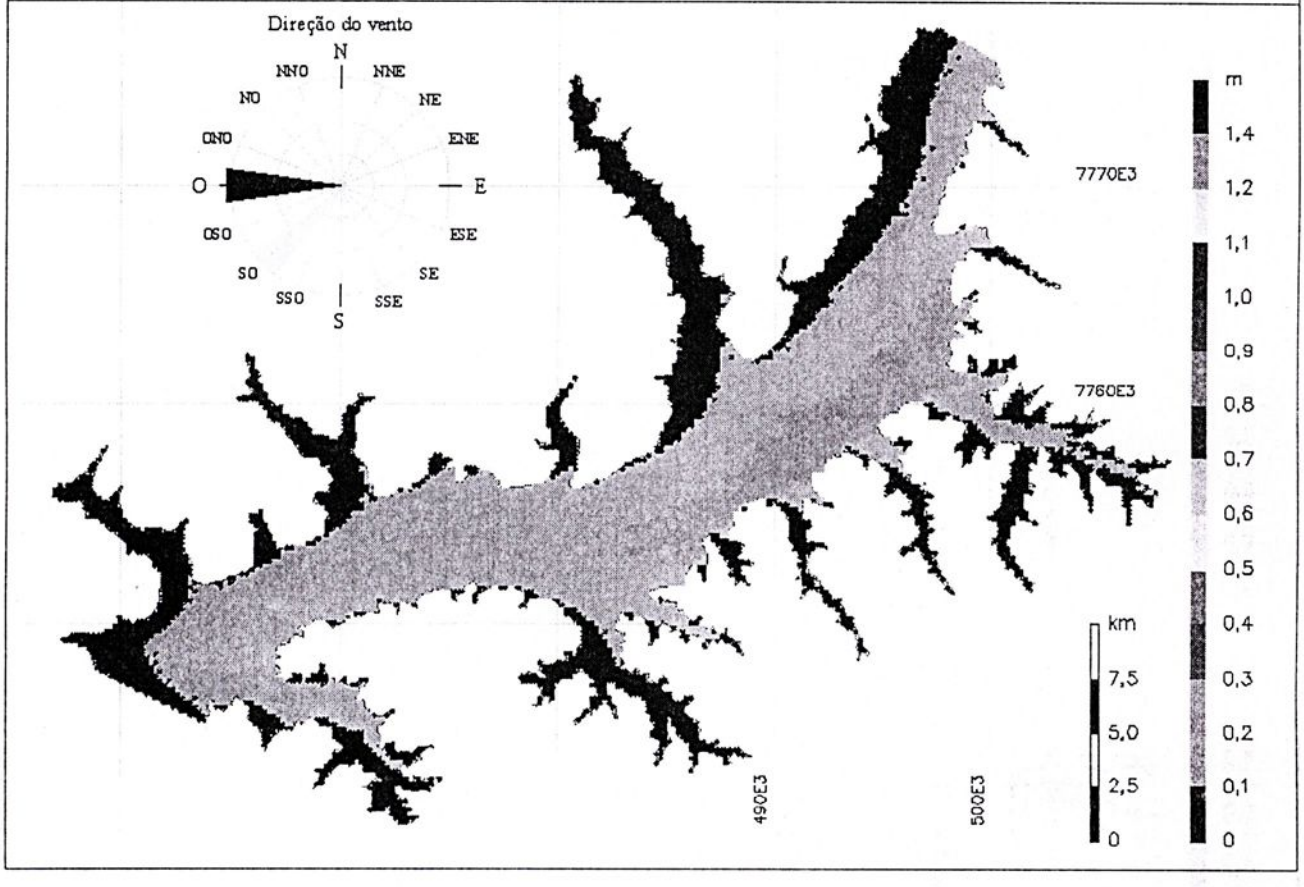

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

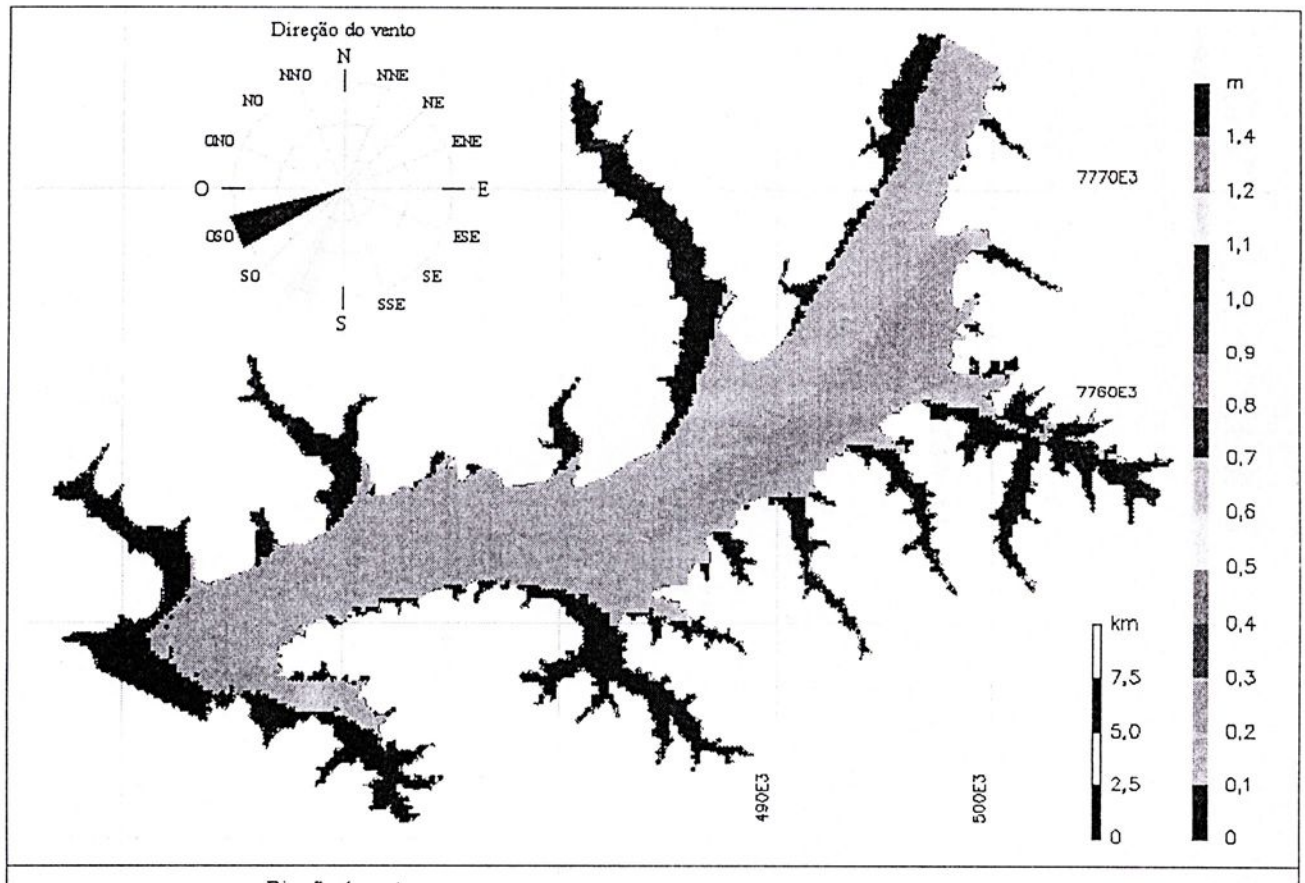

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

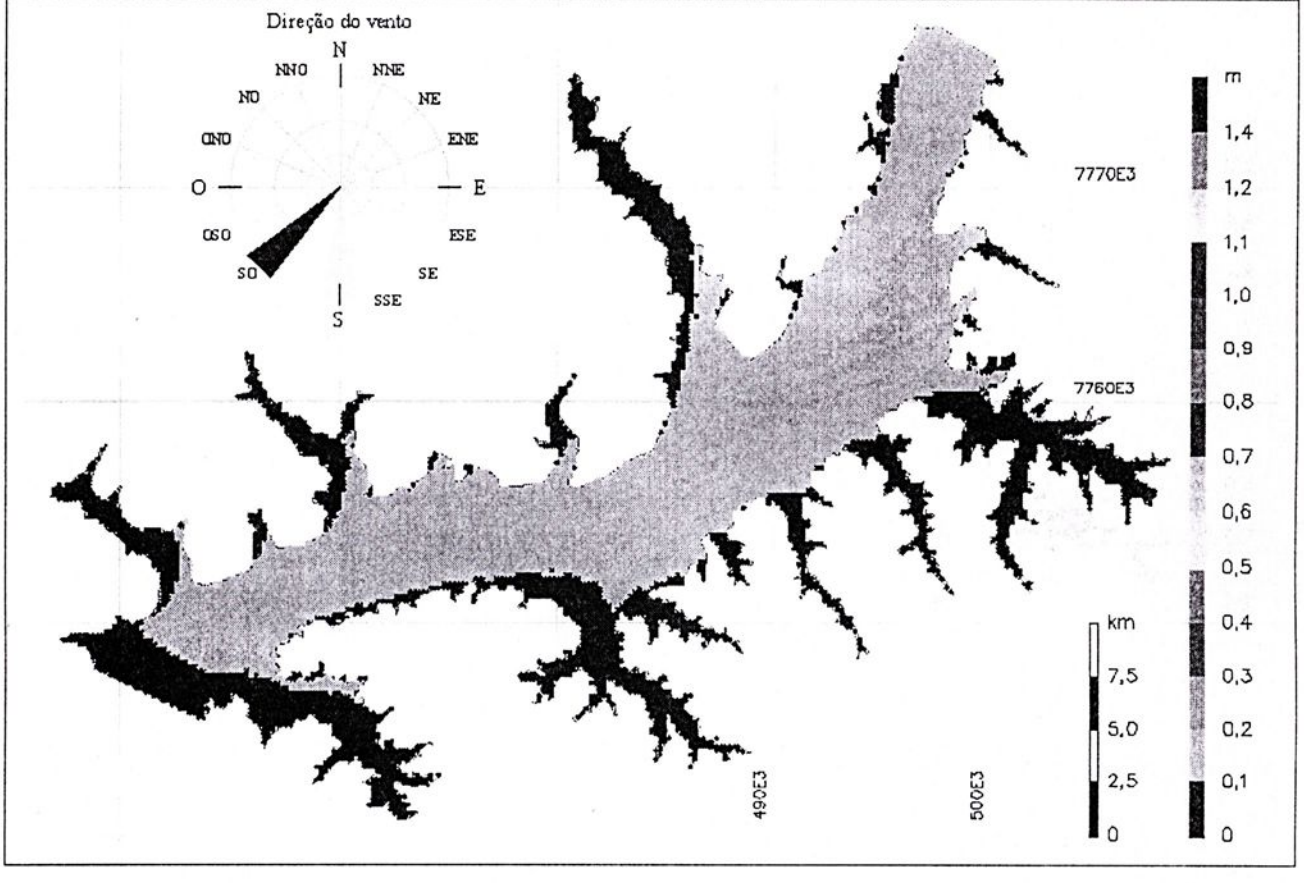

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

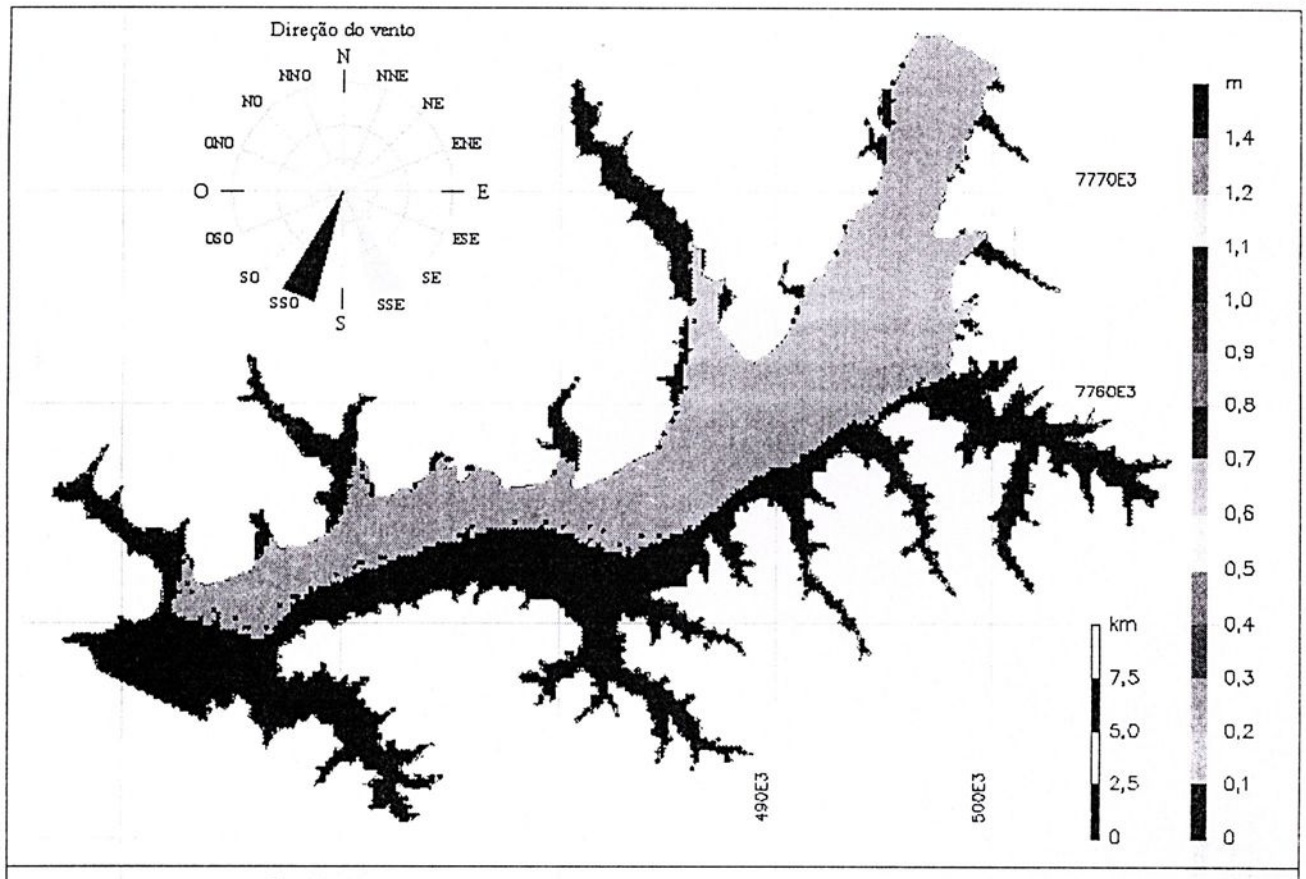

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

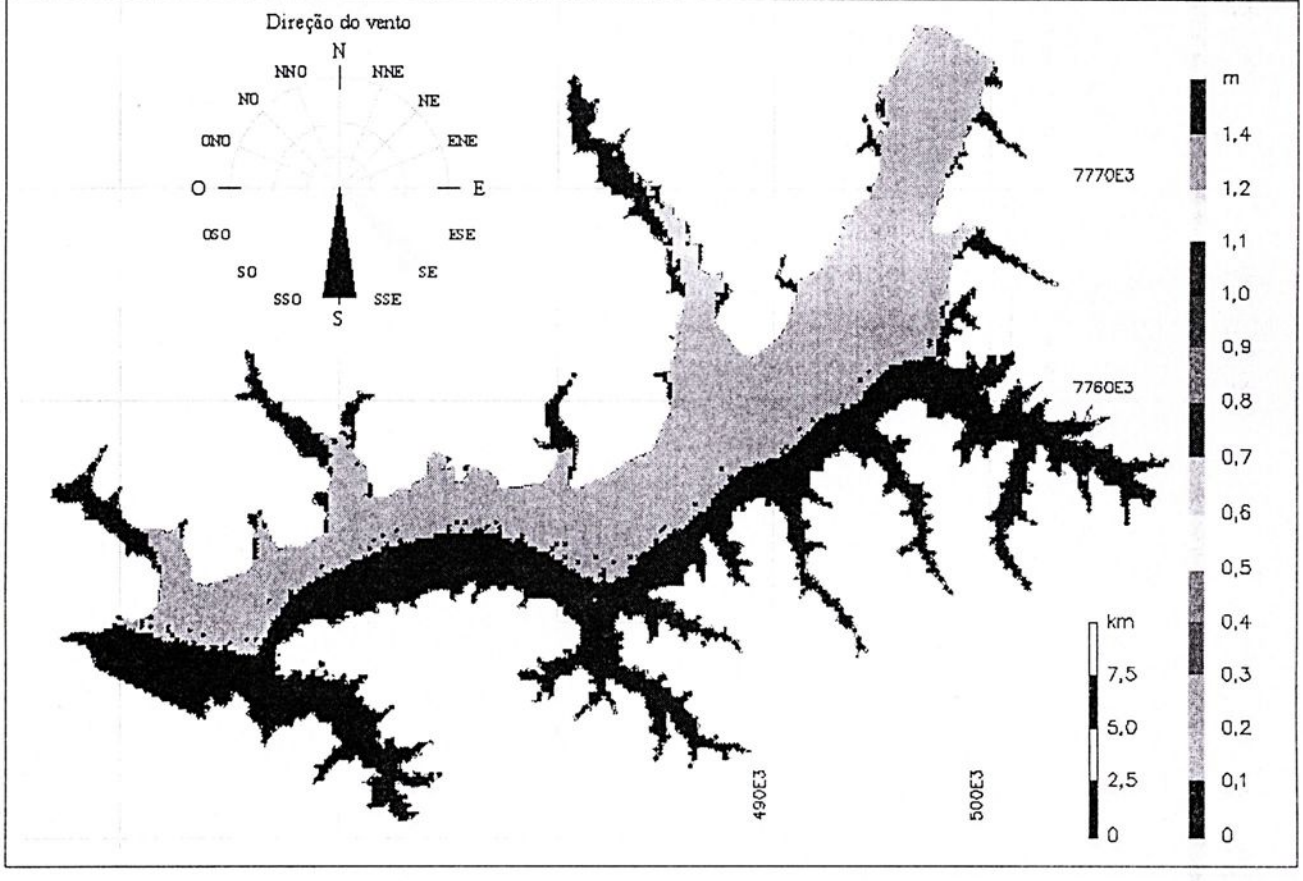

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

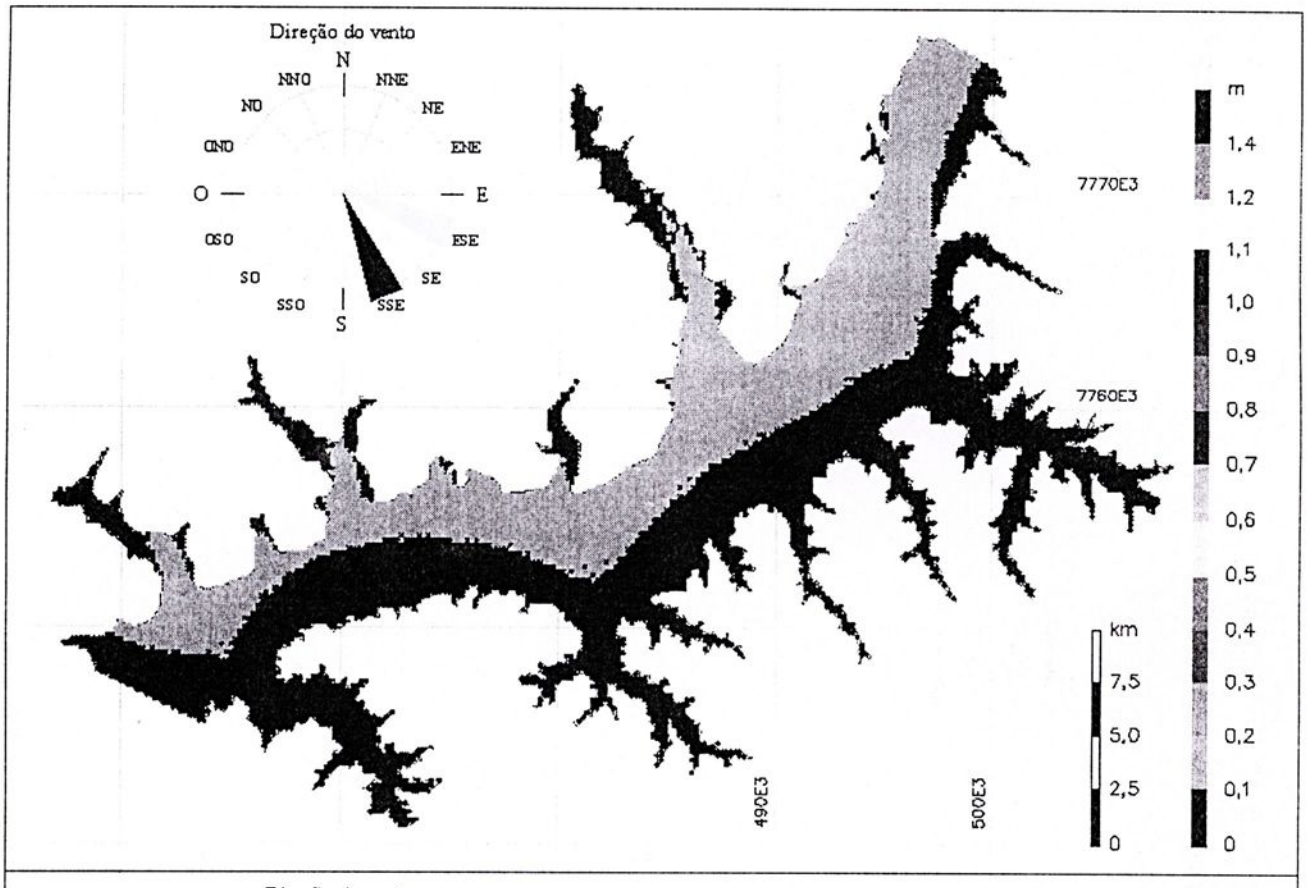

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

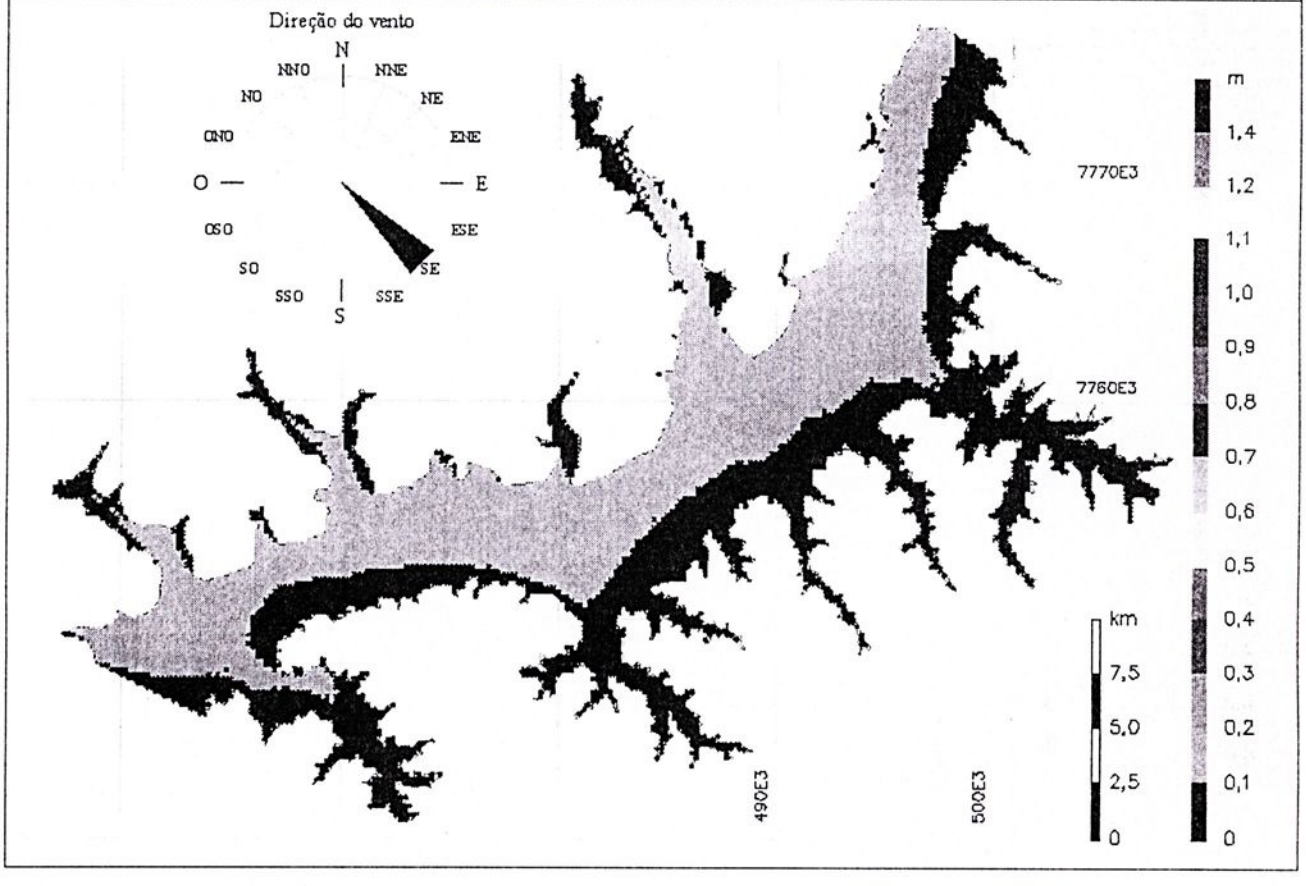

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

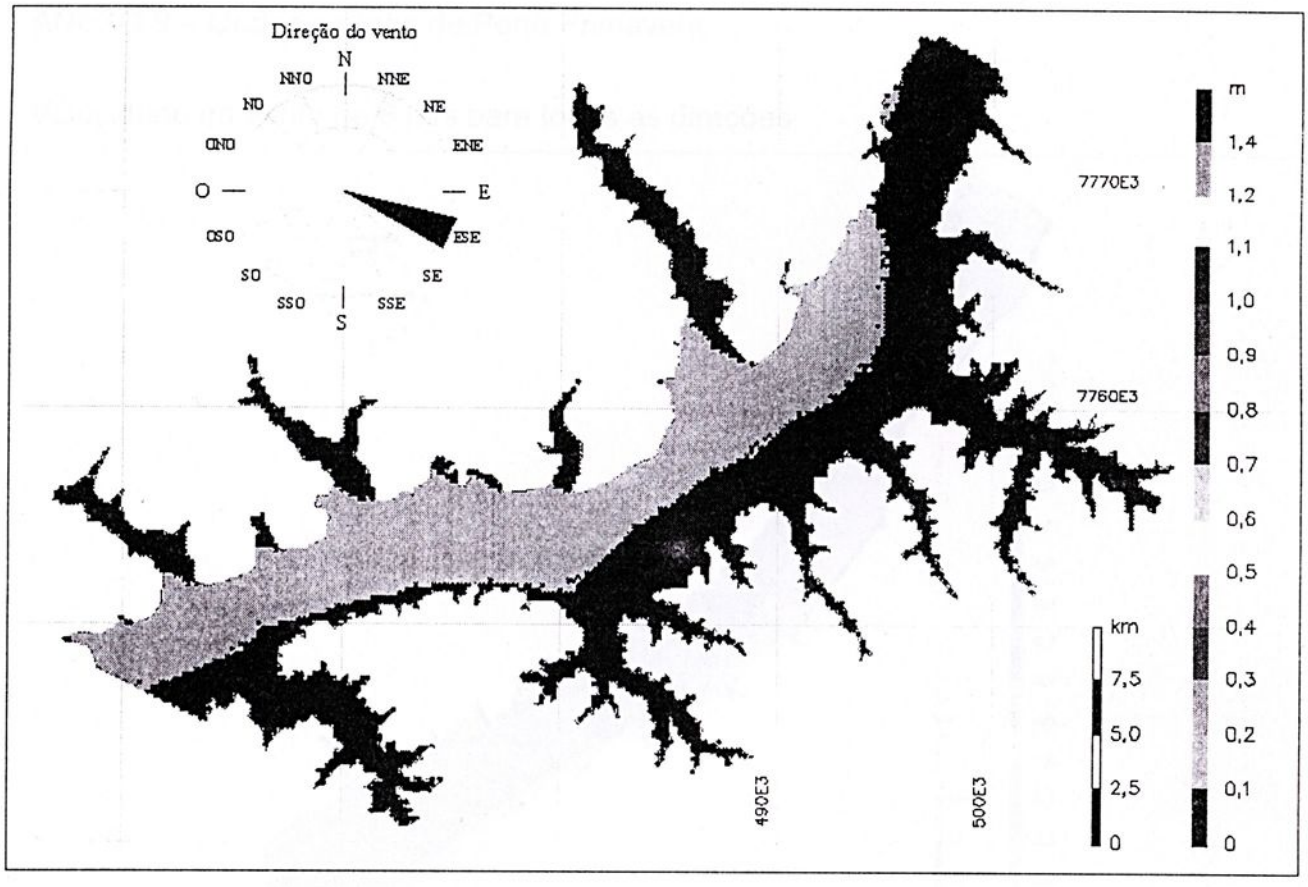

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0


Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0


Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

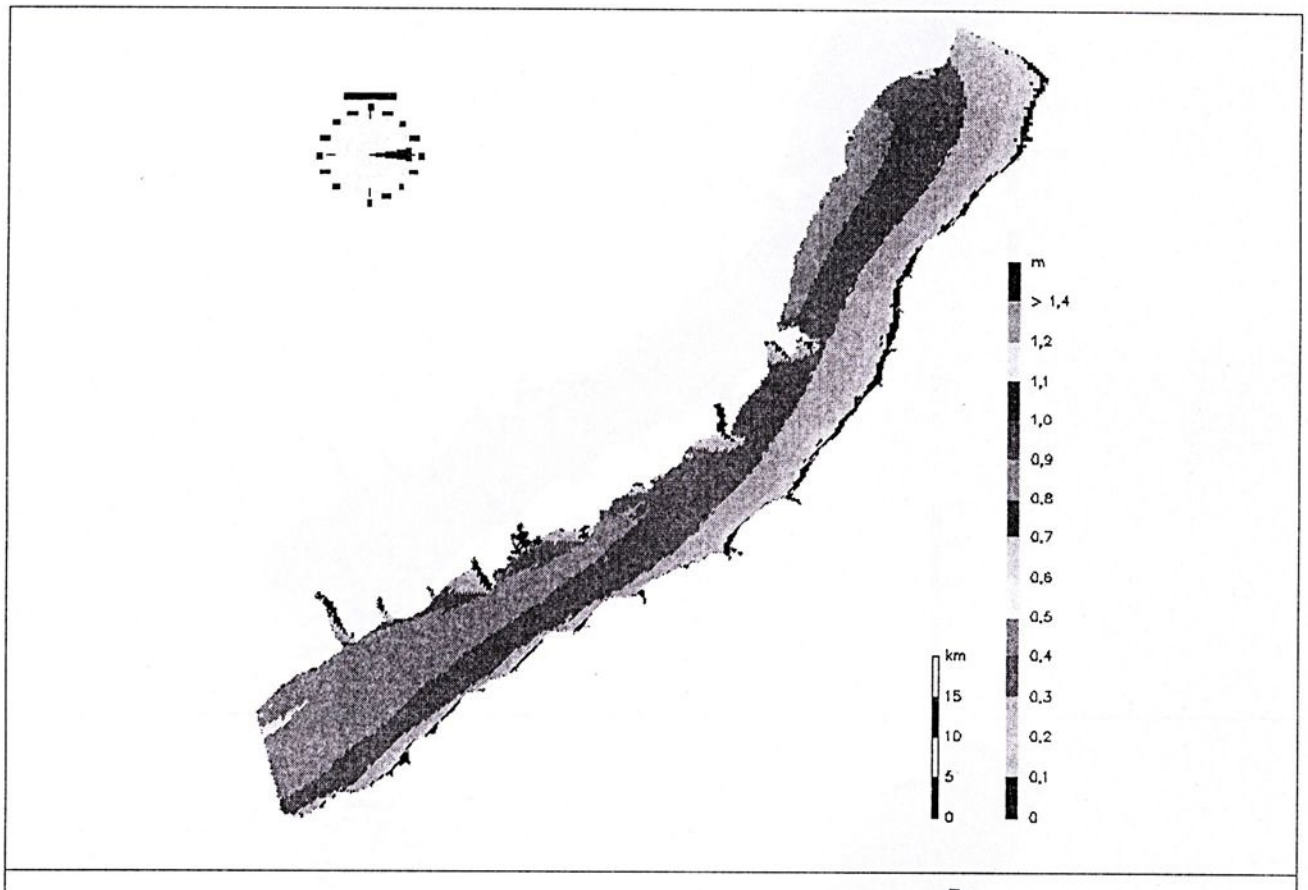

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

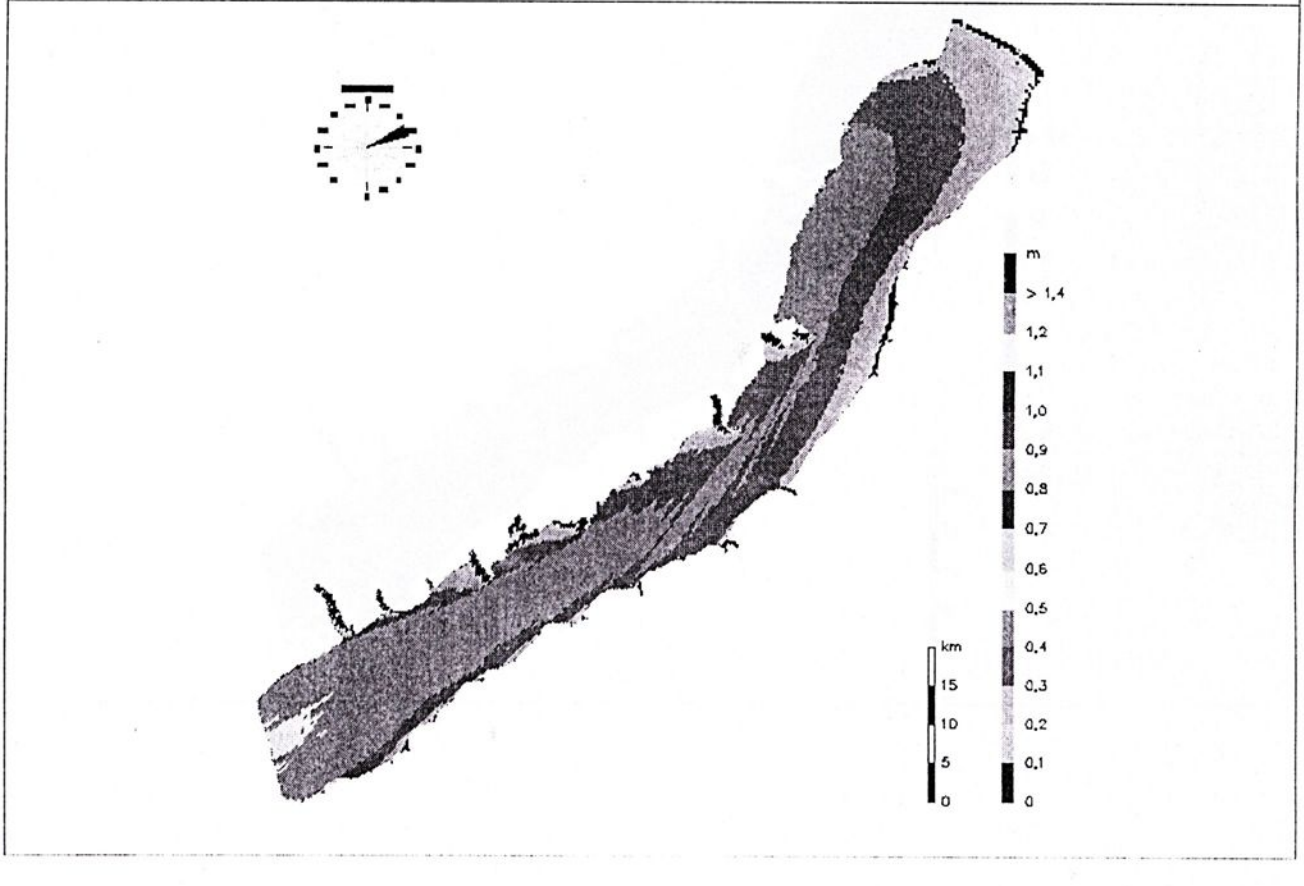

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

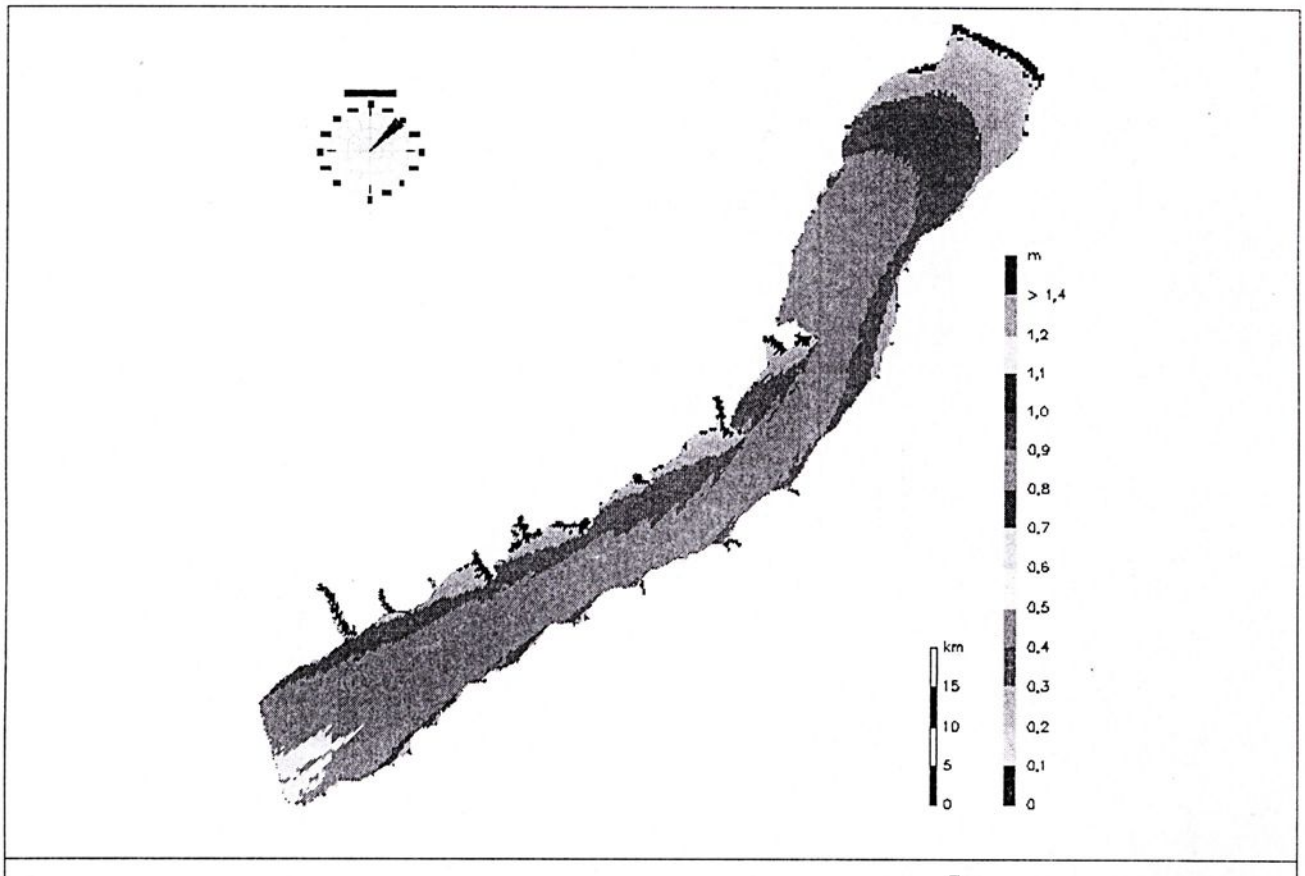

Direção do vento
N
NNO
NNE
NO
NE
ONO
ENE
O
E
OSO
ESE
SO
SE
SSO
SSE
S
7770E3
7760E3
490E3
500E3
km
7,5
5,0
2,5
0
m
1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

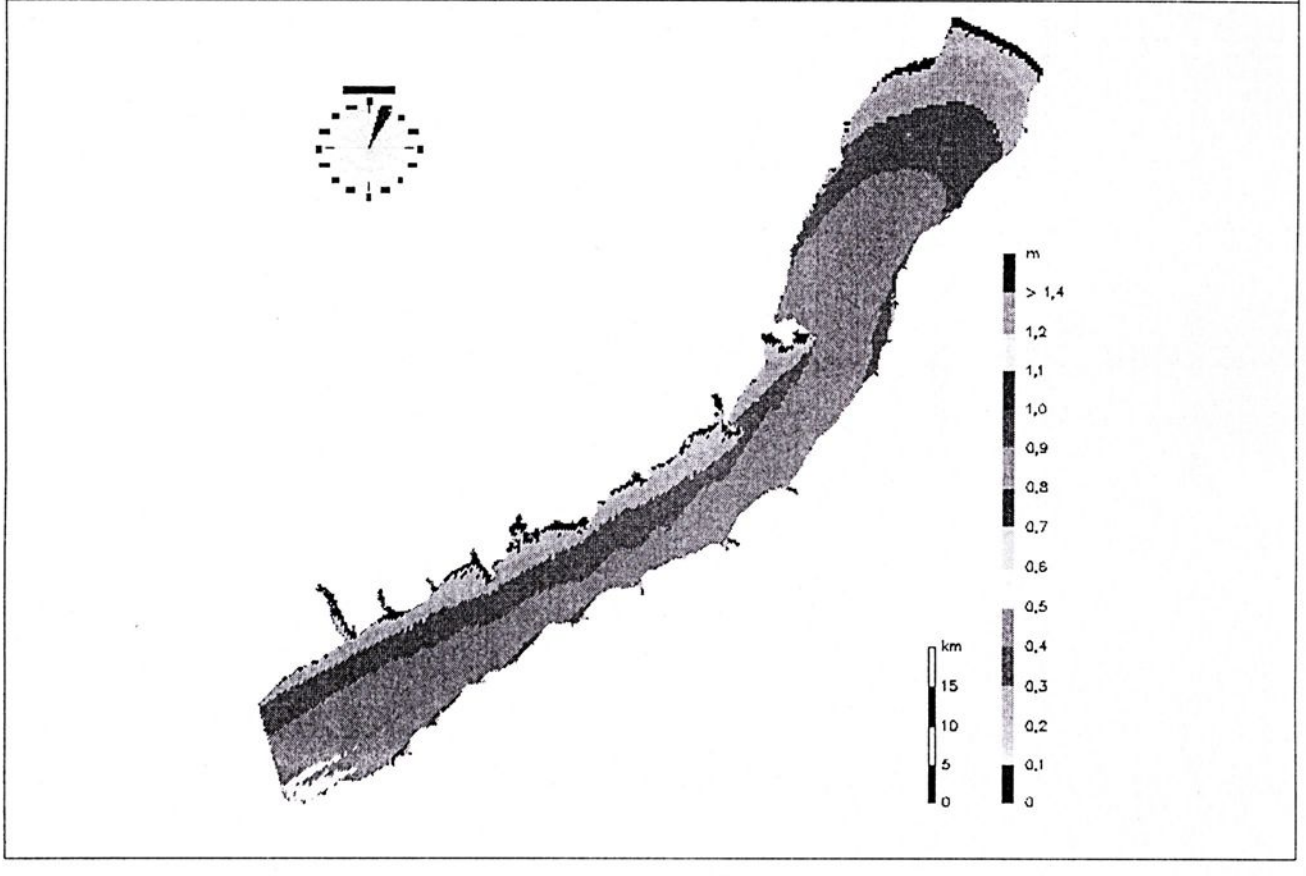
ANEXO 9 – Ondas no lago de Porto Primavera

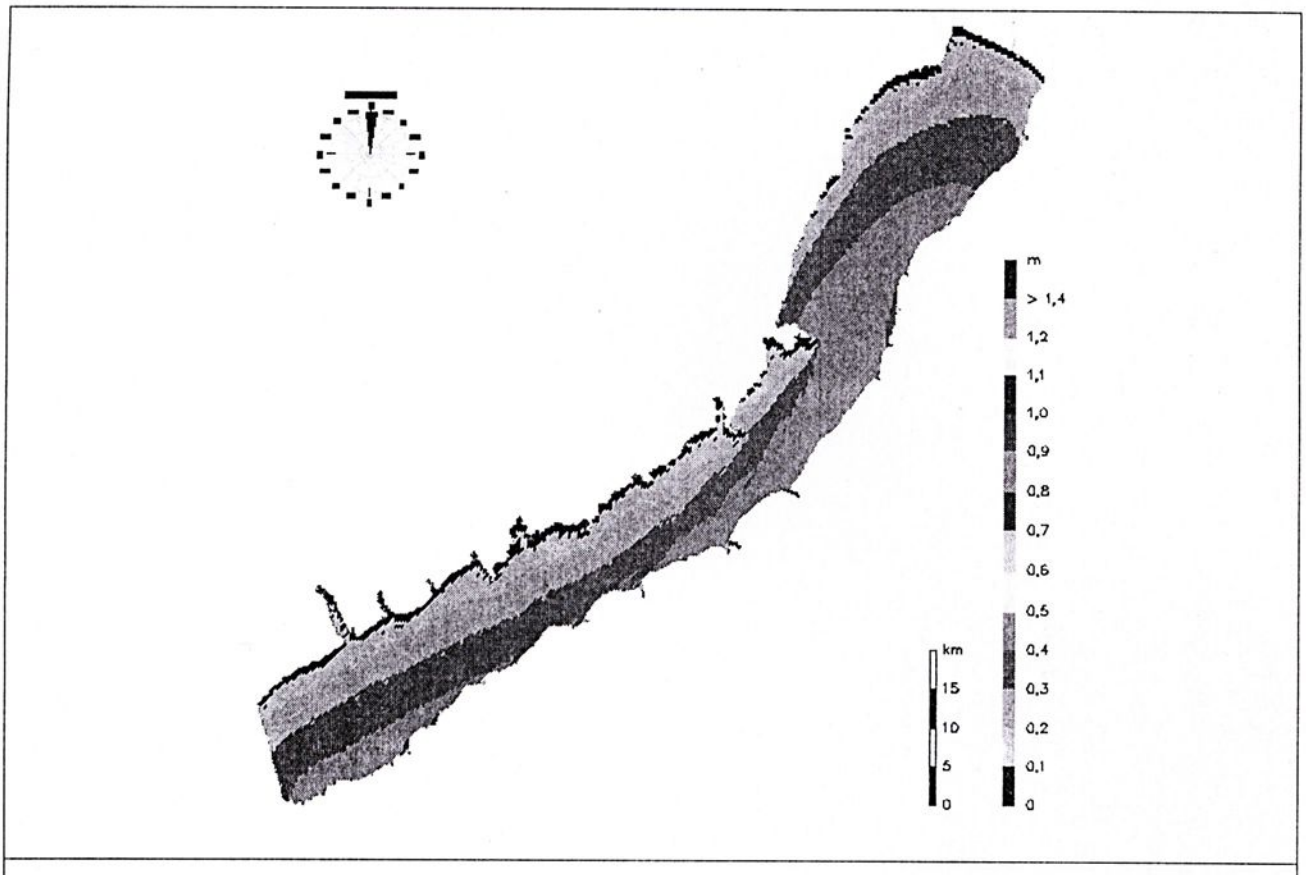
Velocidade do vento de 6 m/s para todas as direções.

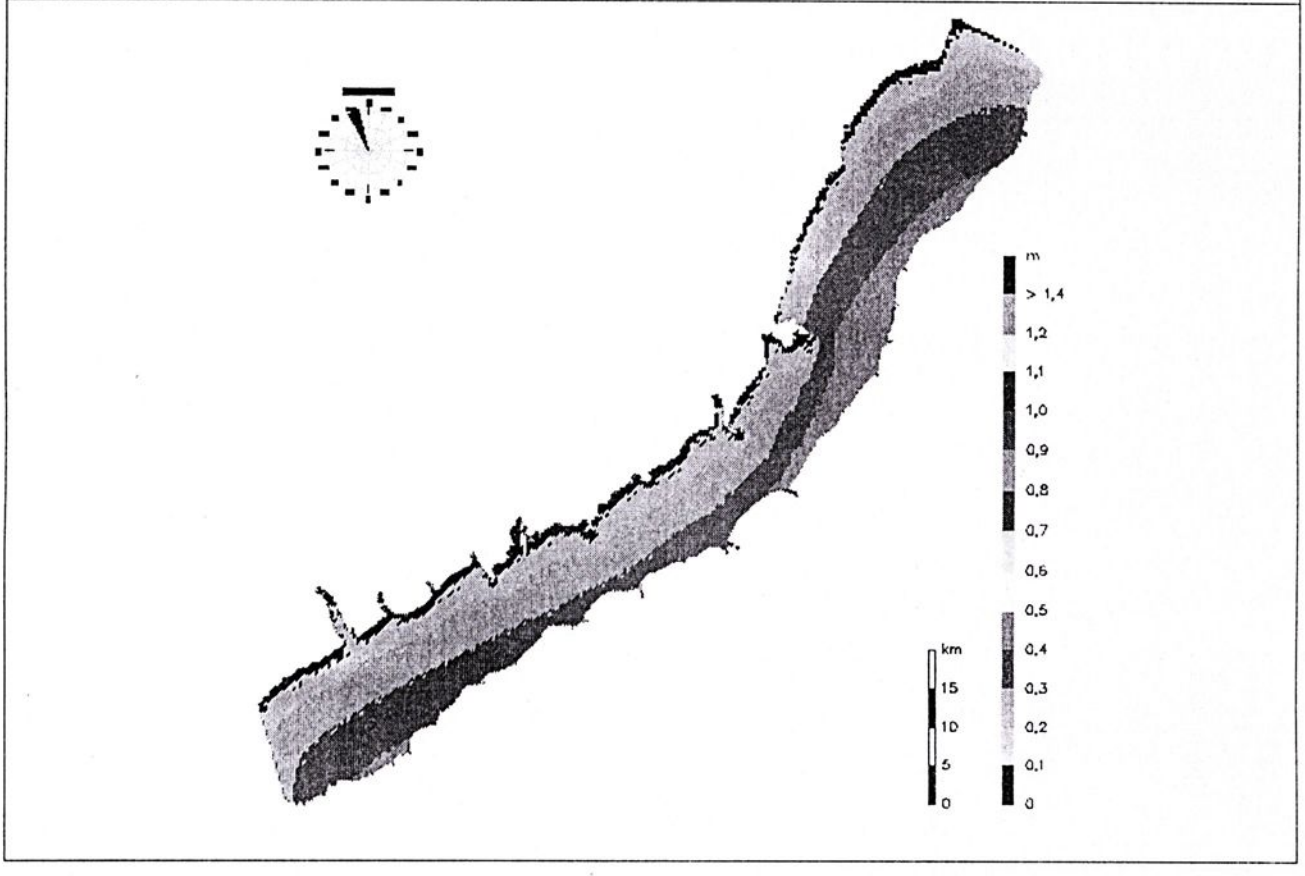




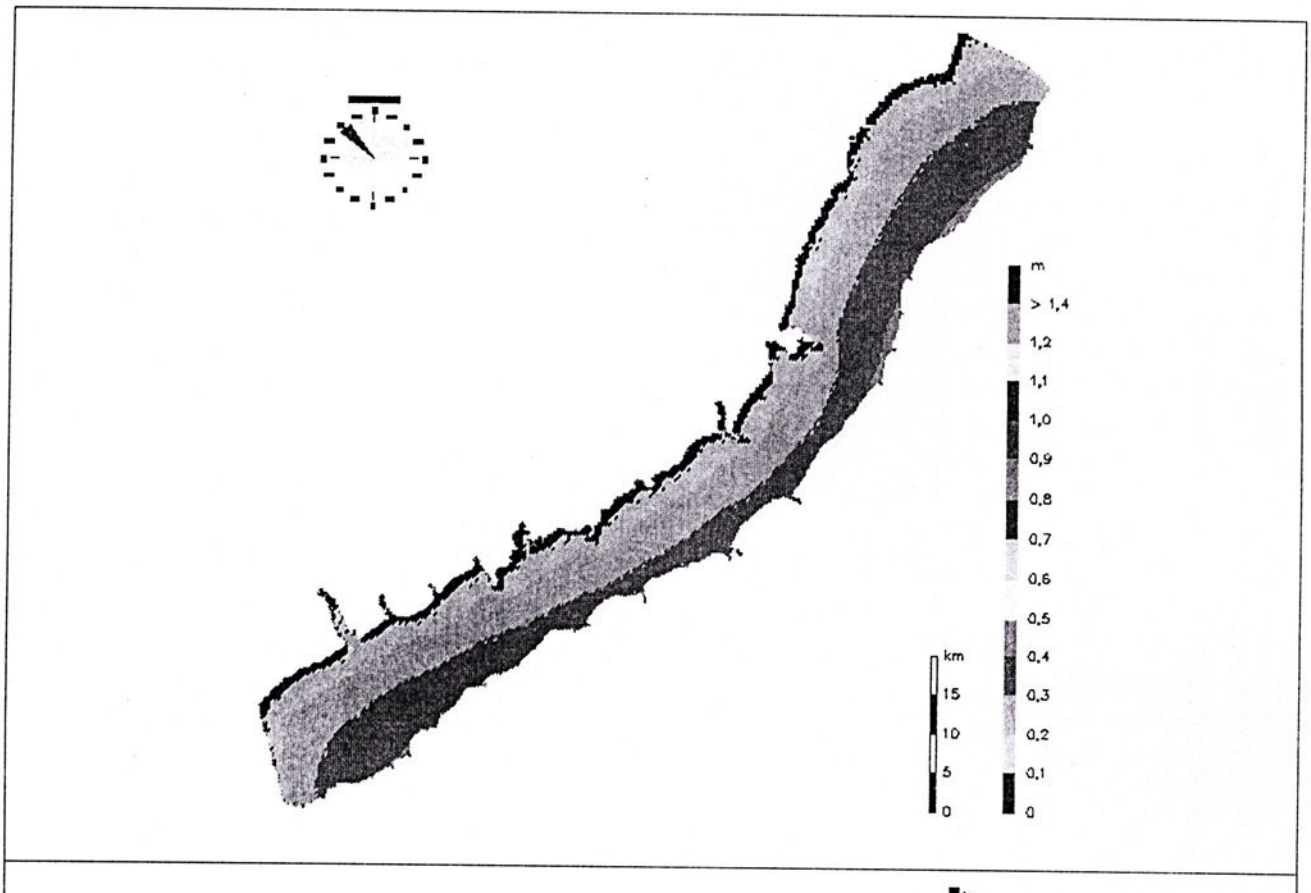

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

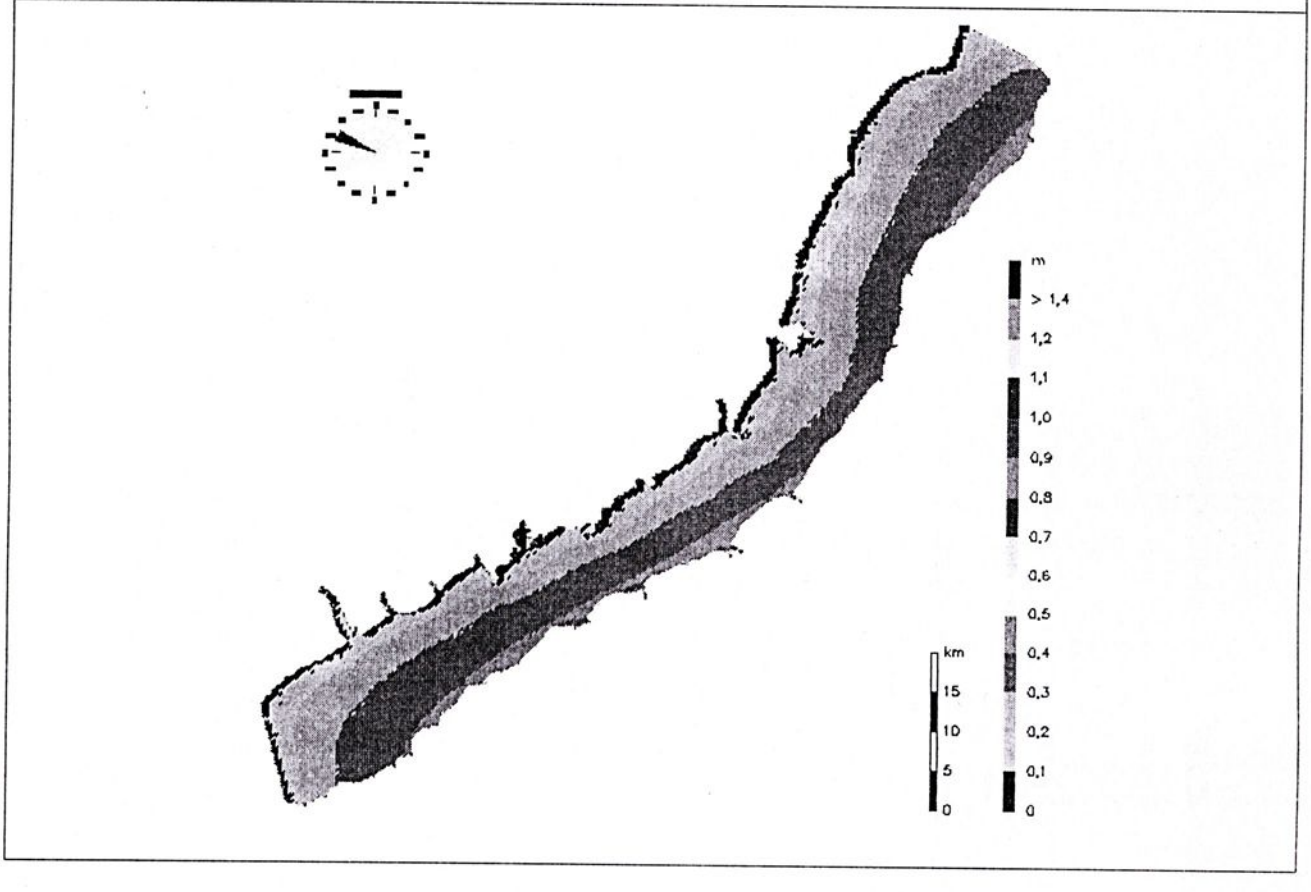

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

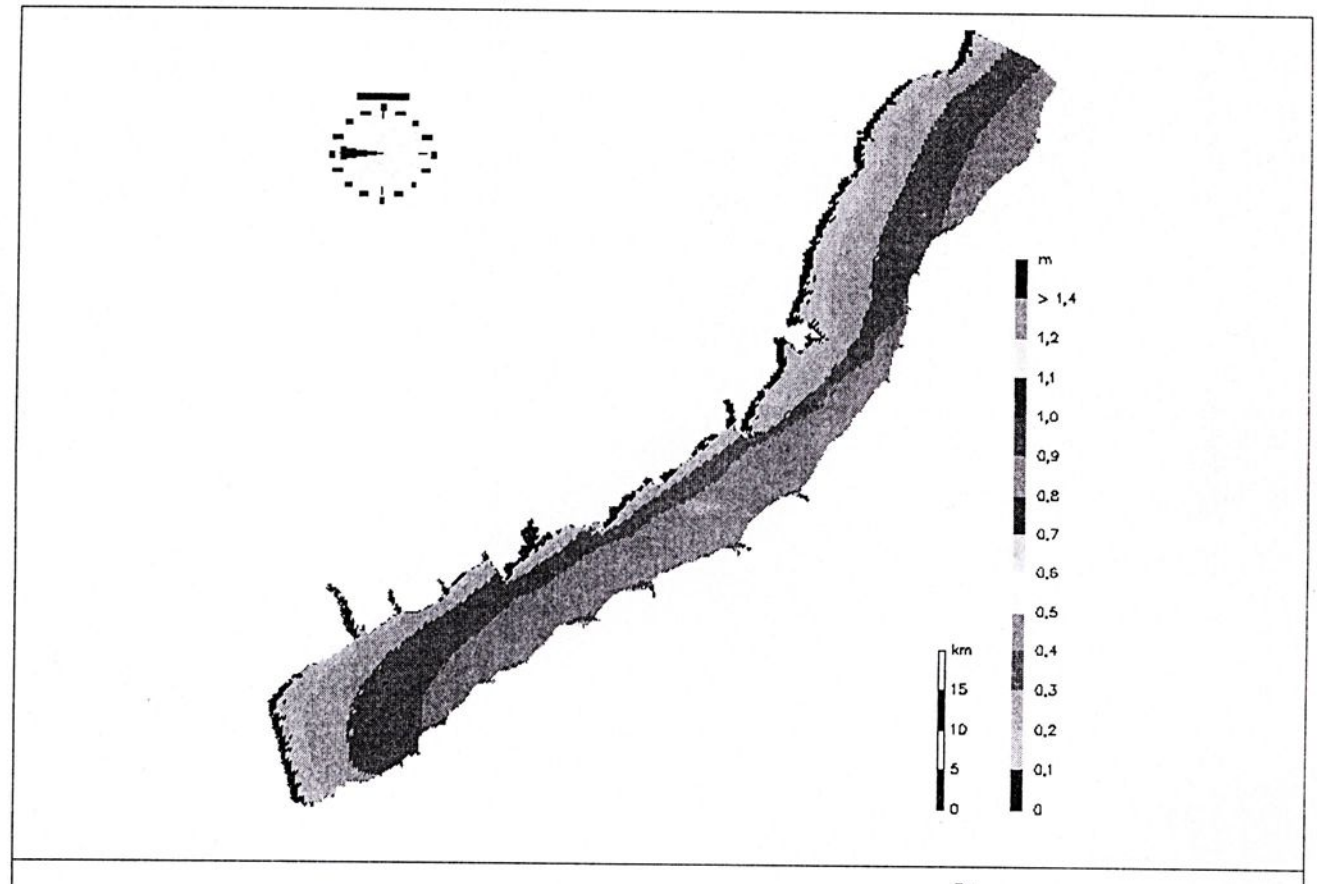

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

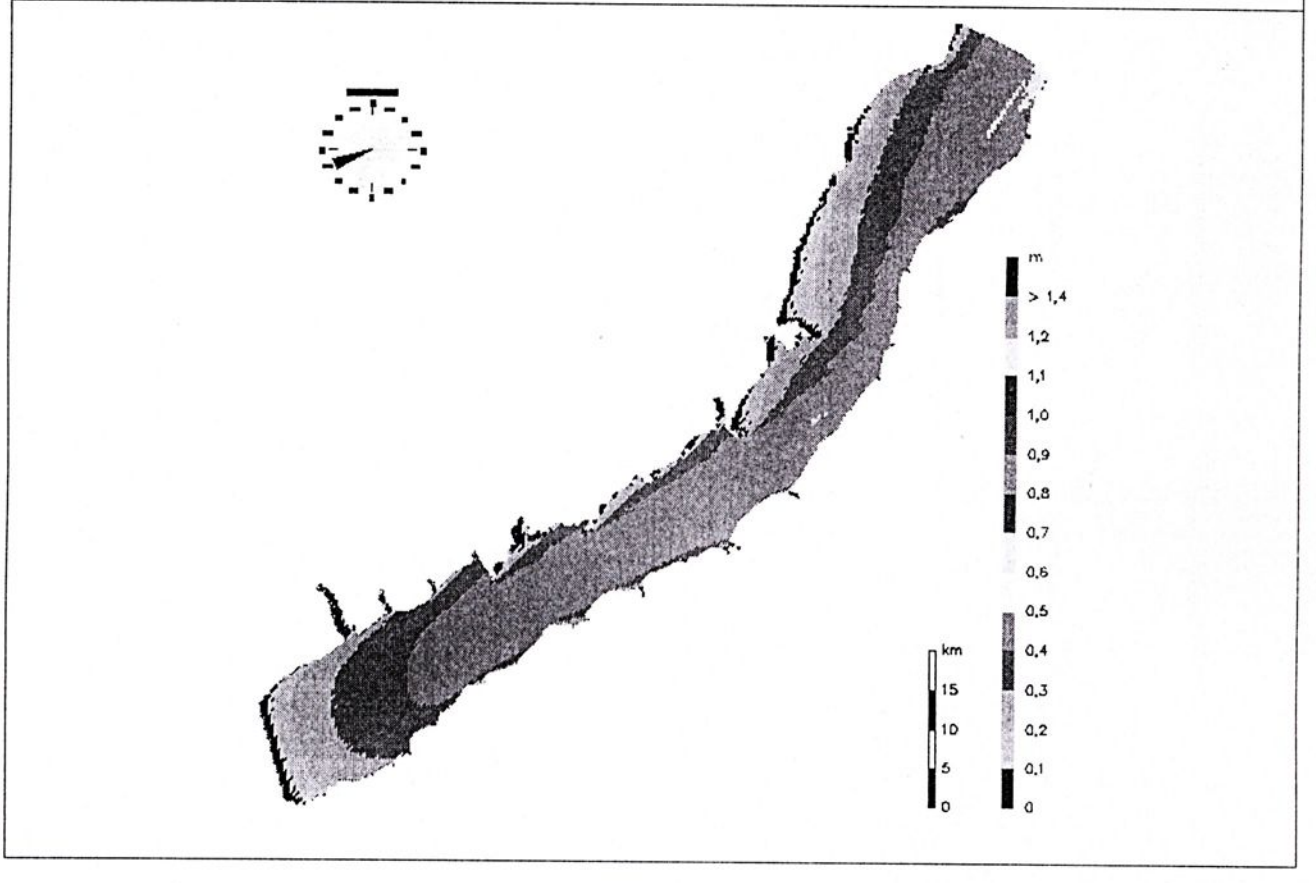

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

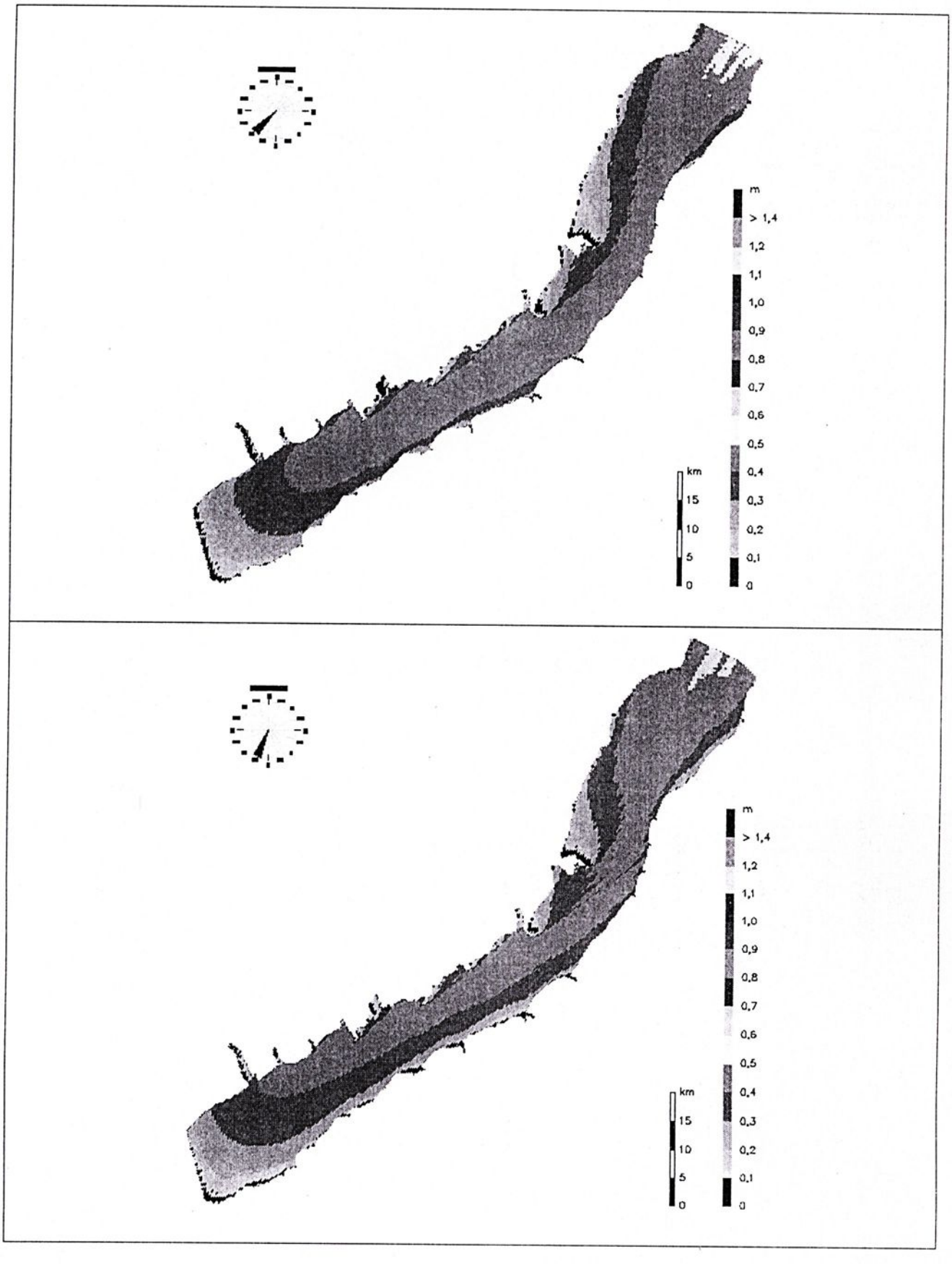
unesp

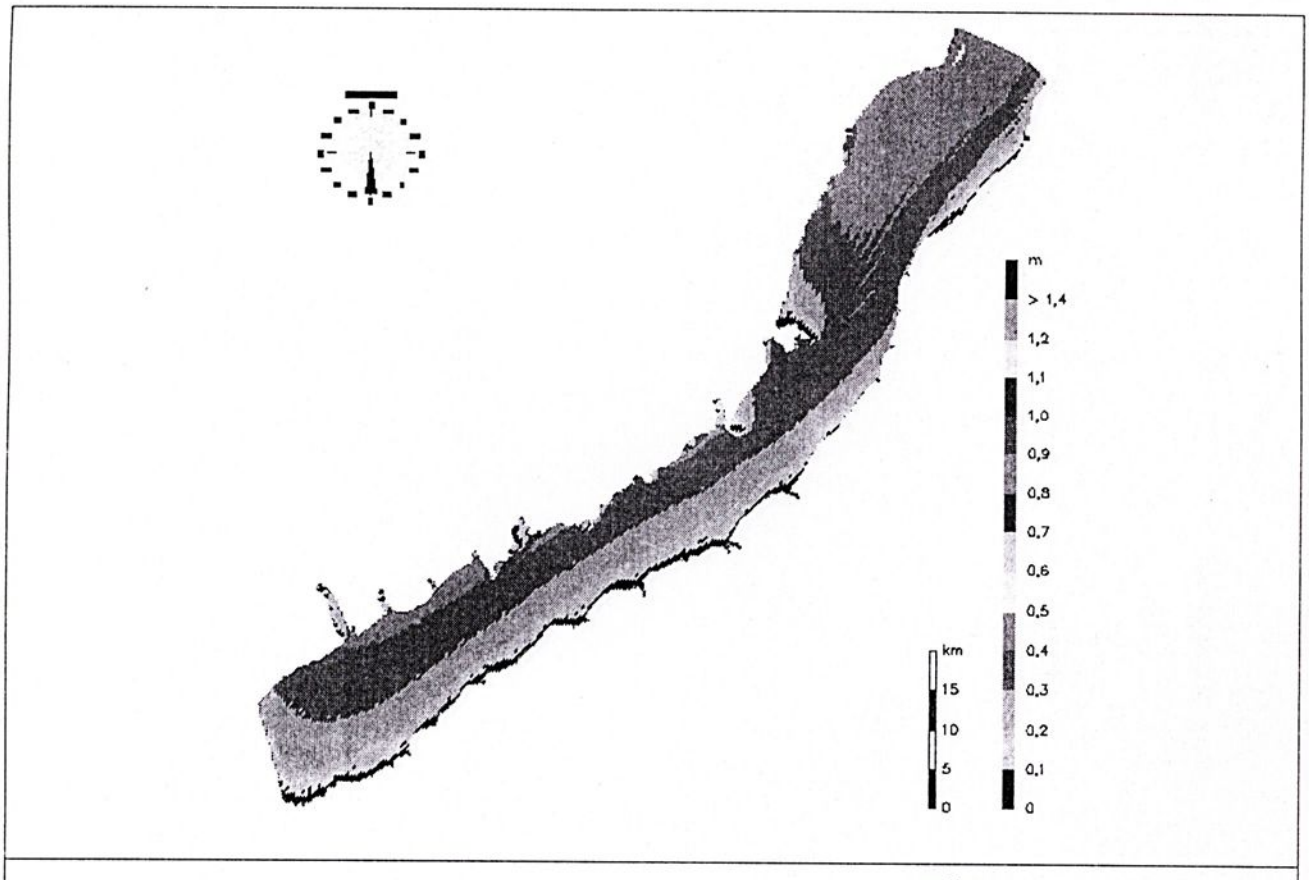

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

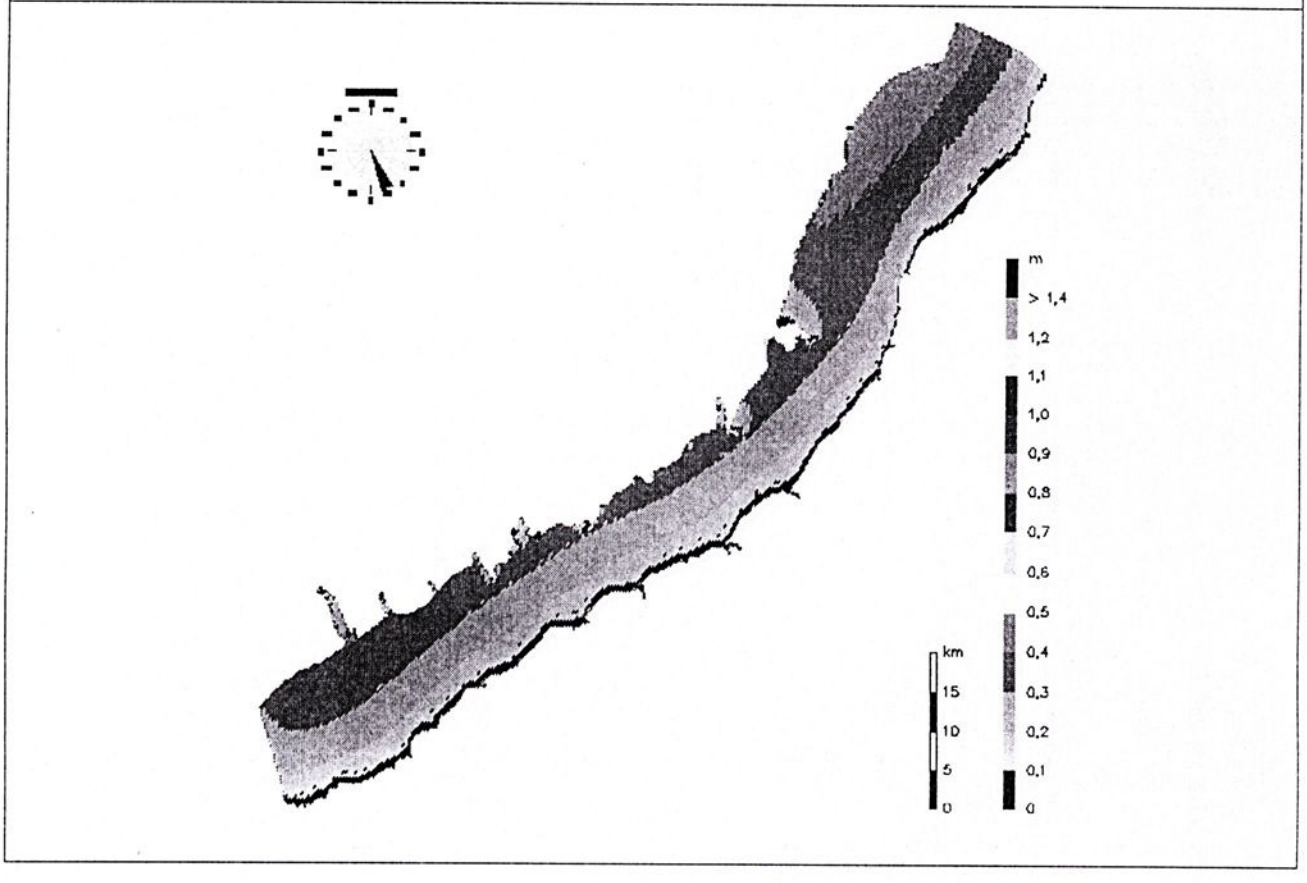

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

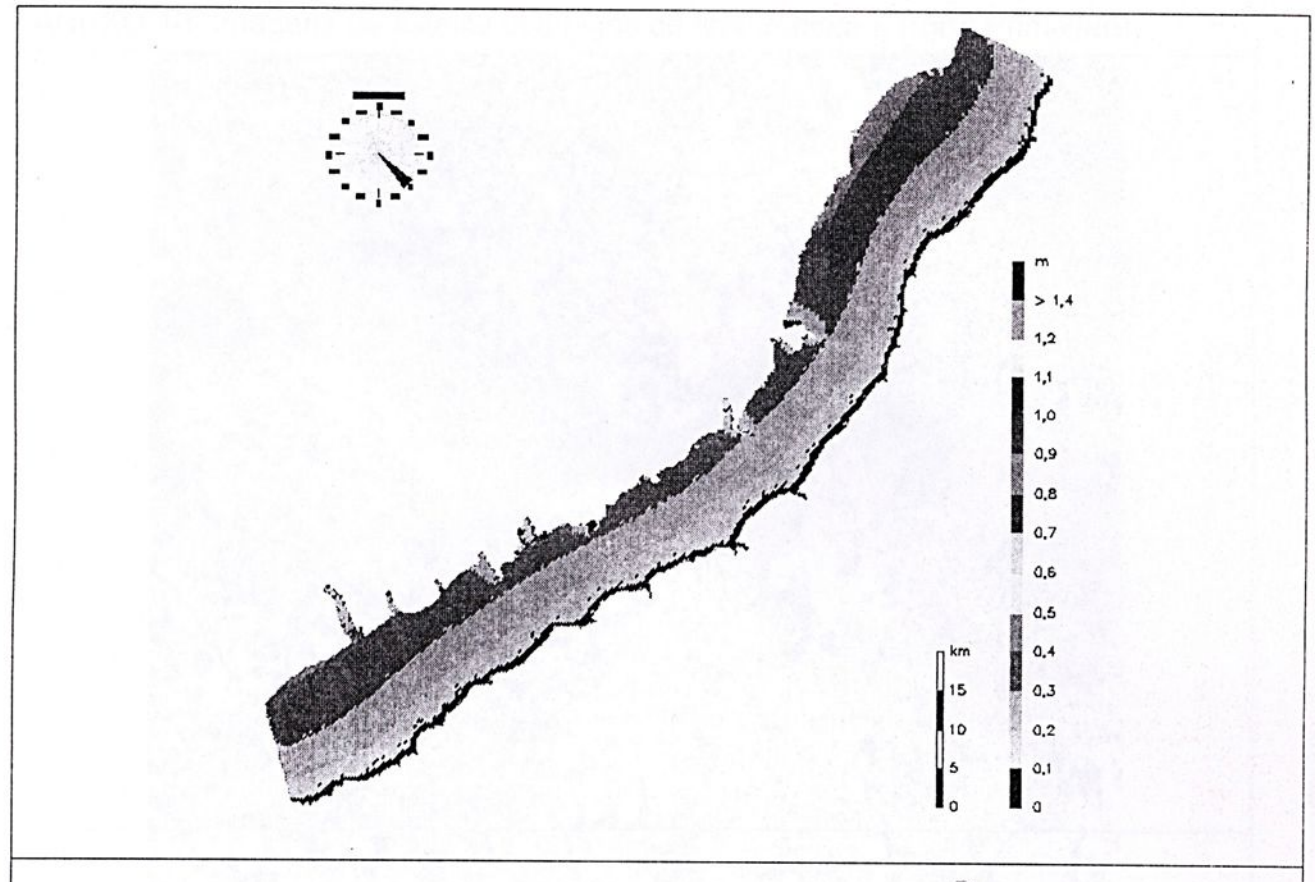

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

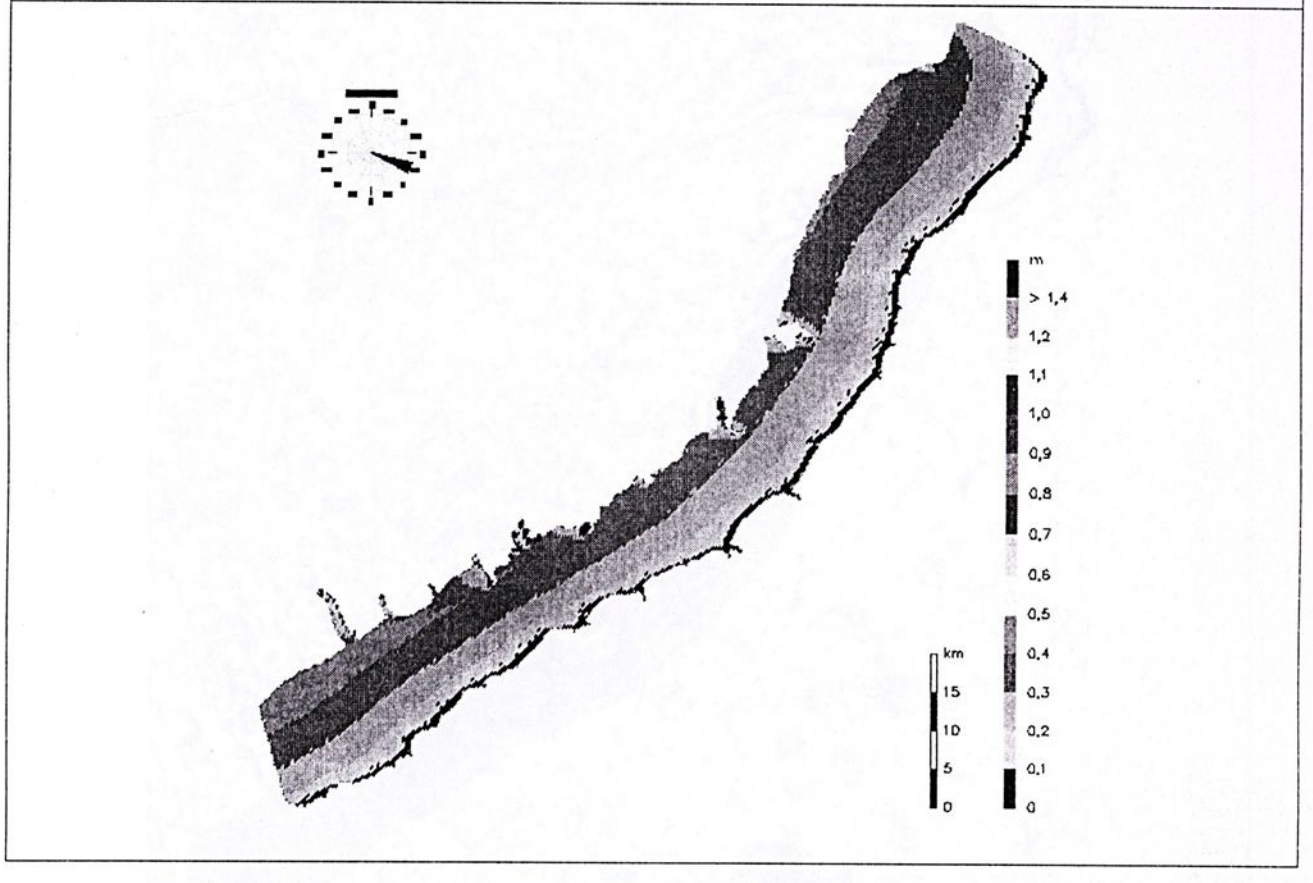

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0


m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0
m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

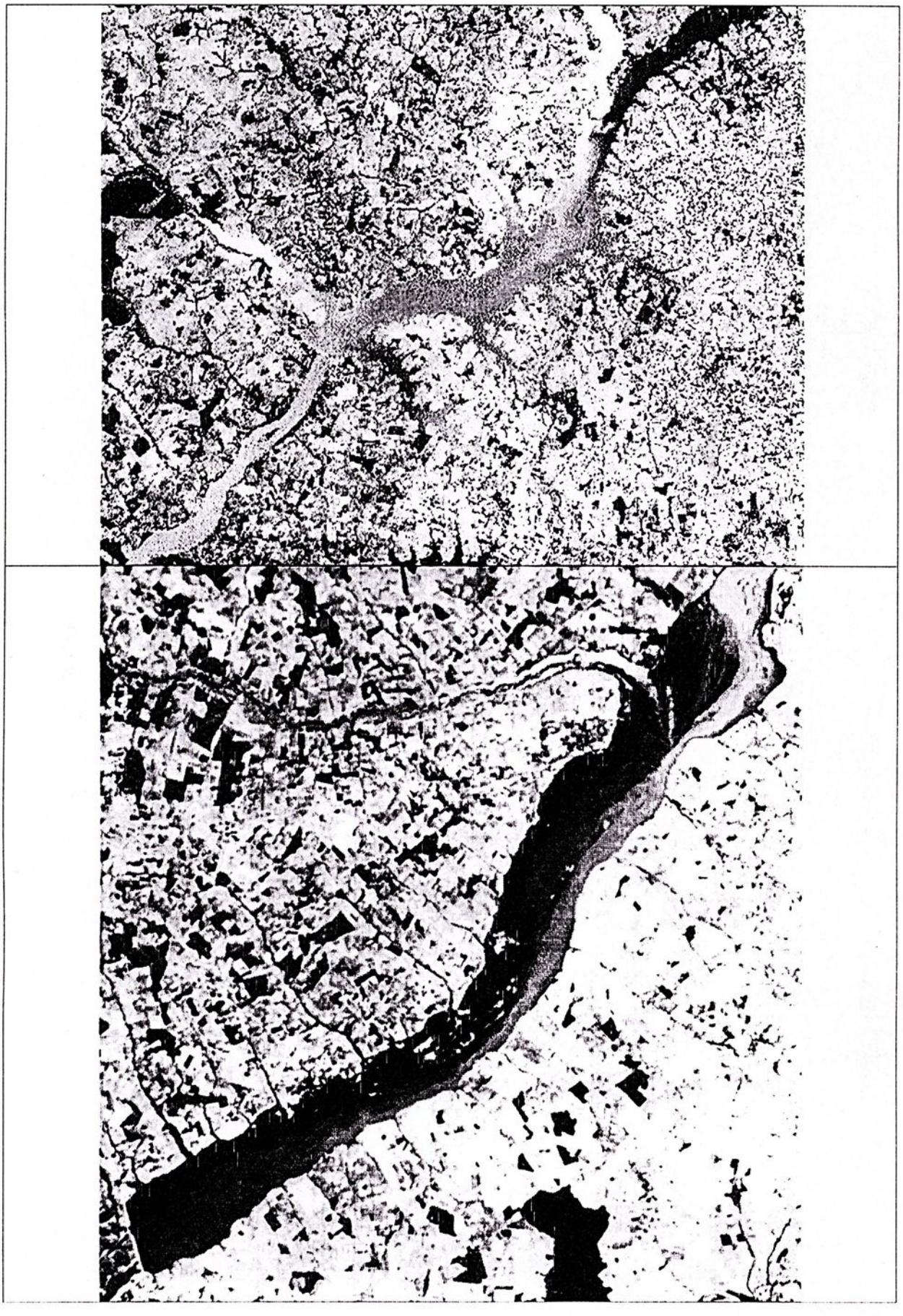

m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0


m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0


m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0


m
> 1,4
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
km
15
10
5
0

ANEXO 10- Imagens de satélite dos lagos de Ilha Solteira e Porto Primavera



unesp
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dec.feis.unesp.br