

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

LAGOA DE ÓBIDOS – MODELAÇÃO E REALIDADE

Joana Beja de Almeida e Silva

LICENCIADA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
MODELAÇÃO DOS RECURSOS MARINHOS

DOCUMENTO PROVISÓRIO

29 DE AGOSTO DE 2005

AGRADECIMENTOS

A execução deste trabalho foi possível devido ao envolvimento de diversas entidades e pessoas, que passo a citar:

- ☞ Ao Presidente do Instituto da Água por ter autorizado a utilização dos dados, obtidos durante Outubro de 2000 e Dezembro de 2002 na Lagoa de Óbidos e faixa costeira adjacente, nesta tese;

- ☞ Ao Vice-Almirante do Instituto Hidrográfico pela permissão concedida para a frequência da parte curricular;

- ☞ Ao Comandante Ventura Soares, chefe da Divisão de Oceanografia, pela criação de condições para a elaboração do documento final de trabalho;

- ☞ Aos meus colegas da Divisão de Oceanografia e Geologia Marinha, que de uma forma mais ou menos directa e intensa colaboraram nesta tese de mestrado quer através de críticas, discussão, preocupação ou mesmo encorajamento: Anabela Oliveira, Ana Isabel Santos, Carlos Santos Fernandes, Catarina Clemente, Fernando Vasquez, Filipa Marques, João Vitorino, Jorge da Silva, José Mesquita Onofre, Leonor Martins, Luís Laranjeira, Luís Rosa, Manuel Marreiros, Mariana Benardino, Raquel Silva, Sara Almeida;

- ☞ Aos meus amigos, amigas, colegas de mestrado e afins, pela paciência, por serem bons colegas e sobretudo por estarem mesmo quando não era preciso: Ana Teresa, Lídia Ferreira, Luís Ferreira, Luís Fernandes, Joana Teixeira, João Domingues, Margarida Bento, Miguel Reis, Raquel Redol, Rute Agapito, Sandra Fernandes, Sofia Pereira, Susana Nunes;

- ☞ À minha família, porque... é mesmo assim que as coisas devem ser: Pipa, mãe, pai, tia Mijula, Lena, Tozé;

- ☞ À Luna que introduziu desde cedo o caos necessário à minha vida;

- ☞ A quem me esqueci, não foi por mal, espero que desculpem.

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

ÍNDICE

1. <u>Sumário</u>	1
2. <u>Introdução</u>	1
3. <u>O Sistema Lagunar de Óbidos</u>	3
3.1. <u>Características das Lagoas Costeiras</u>	3
3.2. <u>Enquadramento Geográfico - a Lagoa de Óbidos</u>	4
3.3. <u>Caracterização Ambiental</u>	7
3.3.1. <u>Temperatura e Radiação Solar</u>	8
3.3.2. <u>Pluviosidade e escoamento</u>	9
3.3.3. <u>Geologia e geomorfologia</u>	11
3.3.4. <u>Bacia hidrográfica</u>	13
3.3.5. <u>Fauna e Flora</u>	14
3.3.6. <u>Aspectos sócio-económicos</u>	15
4. <u>Metodologia de aquisição e processamento de dados</u>	17
4.1. <u>Parâmetros hidrológicos</u>	18
4.2. <u>Caudais</u>	19
4.3. <u>Marés</u>	21
4.4. <u>Batimetria</u>	22
5. <u>Análise de dados</u>	27
5.1. <u>Parâmetros hidrológicos</u>	27
5.2. <u>Caudais</u>	33
5.2.1. Cais da Foz do Arelho	33
5.2.2. <u>Barra</u>	36
5.2.3. <u>Topo do Canal</u>	39
5.3. <u>Marés</u>	42
5.3.1. Ano de 2000: 24/11 a 19/12	44
5.3.2. Ano de 2001: 20/09 a 17/11	45
5.3.3. Ano de 2002: 05/03 a 17/04 e 19/07 a 27/08	47
5.4. <u>Batimetria e Sedimentos</u>	50
6. <u>Aplicação de um modelo hidrodinâmico no Sistema Lagunar de Óbidos</u>	65
6.1. <u>Descrição do MOHID</u>	65
6.1.1. Módulo Model	68
6.1.2. Módulo Bathymetry	68
6.1.3. Módulo Geometry	68
a. Volumes Finitos	68
b. Coordenadas Verticais	69
6.1.4. Módulo Hidrodinâmico	69
6.1.5. Módulo Water Properties	70
6.1.6. Módulo Turbulence	71
6.1.7. Módulo Bottom.....	71
a. Erosão e Deposição	71
b. Fluxo de Erosão	72
c. Fluxo de Deposição	72
6.2. <u>Âmbito de aplicação</u>	73

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

6.3. <i>Parametrização do modelo</i>	73
6.4. <i>Análise dos resultados</i>	75
7. <u>Trabalho futuro: propostas e recomendações</u>	81
8. <u>Conclusões</u>	85
9. <u>Bibliografia</u>	87

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura nº 3.1. – Ortofotomapa da Lagoa de Óbidos e região costeira adjacente	5
Figura nº 3.2. – Variação dos Caudais anuais e do Tempo de retenção na Lagoa de Óbidos	7
Figura nº 3.3.1.1. –Variação média anual da Temperatura (°C)	8
Figura nº 3.3.1.2. –Variação média anual da Radiação Solar incidente	9
Figura nº 3.3.2.1. – Variação média anual da Precipitação	10
Figura nº 3.3.2.2. – Variação média anual do Escoamento	11
Figura nº 3.3.3.1. – Tipo de solo	12
Figura nº 3.3.3.2. – Composição litológica	13
Figura nº 3.3.4.1. – Bacia hidrográfica	14
Figura nº 3.3.5.1. – Caracterização da paisagem	15
Figura nº 4.1.1. – Posicionamento adoptado para medição dos parâmetros hidrológicos na Lagoa de Óbidos	19
Figura nº 4.2.1. – Posicionamento adoptado para medição dos caudais em três secções na Lagoa de Óbidos	20
Figura nº 4.3.1. – Posicionamento adoptado para medição do nível da superfície livre em três locais na Lagoa de Óbidos	22
Figura nº 4.4.1. – Gráfico representativo das áreas sondadas na Lagoa de Óbidos	24
Figura nº 4.4.2. – Posicionamento adoptado na recolha de amostras de sedimentos na Lagoa de Óbidos	25
Figura nº 5.1.1. – Variação da Temperatura média nos três locais de amostragem no interior da Lagoa de Óbidos	29
Figura nº 5.1.2. – Variação da Temperatura (°C) e da maré (m) no Cais da Foz do Arelho	30
Figura nº 5.1.3. – Variação da Temperatura (°C) e da maré (m) no Braço da	

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

Barrosa	30
Figura nº 5.1.4. – Variação da Salinidade média nos três locais de amostragem no interior da Lagoa de Óbidos	31
Figura nº 5.1.5. – Variação da Salinidade e da maré (m) no Braço da Barrosa	32
Figura nº 5.2.1.1 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Novembro de 2000 .	33
Figura nº 5.2.1.2 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Julho de 2001	34
Figura nº 5.2.1.3 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Novembro de 2001 .	35
Figura nº 5.2.1.4 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Junho de 2002	35
Figura nº 5.2.1.5 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Dezembro de 2002 .	36
Figura nº 5.2.2.1 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) na Barra em Novembro de 2000	37
Figura nº 5.2.2.2 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) na Barra em Julho de 2001	37
Figura nº 5.2.2.3 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) na Barra em Novembro de 2001	38
Figura nº 5.2.2.4 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) na Barra em Junho de 2002	38
Figura nº 5.2.2.5 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) na Barra em Dezembro de 2002	39
Figura nº 5.2.3.1 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Novembro de 2000	40
Figura nº 5.2.3.2 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Julho de 2001	40
Figura nº 5.2.3.3 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Novembro de 2001	41

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

Figura nº 5.2.3.4 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Junho de 2002	41
Figura nº 5.2.3.5 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Dezembro de 2002	42
Figura nº 5.3.1.1. – Variação do nível da superfície registada pelos marégrafos instalados no interior da lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo	45
Figura nº 5.3.2.1. – Variação do nível da superfície registada da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo	46
Figura nº 5.3.3.1. – Variação do nível da superfície registada da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo	47
Figura nº 5.3.3.2. – Variação do nível da superfície registada da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo	48
Figura nº 5.4.1. – Implantação da diferença de superfícies entre Novembro e Junho de 2000, com sobreposição das batimetrias de Novembro (a tracejado) e Junho (a cheio)	52
Figura nº 5.4.2. – Implantação da diferença de superfícies entre Novembro de 2000 e Julho de 2001, com sobreposição das batimetrias de Novembro (a cheio) e Julho (a tracejado)	53
Figura nº 5.4.3. – Implantação da diferença de superfícies entre Novembro e Julho de 2001, com sobreposição das batimetrias de Novembro (a cheio) e Julho (a tracejado)	54
Figura nº 5.4.4. – Implantação da diferença de superfícies entre Novembro de 2001 e Abril de 2002, com sobreposição das batimetrias de Novembro (a cheio) e Abril (a tracejado)	55
Figura nº 5.4.5. – Implantação da diferença de superfícies entre Outubro e Abril de 2002, com sobreposição das batimetrias de Outubro (a tracejado) e Abril (a cheio)	56
Figura nº 5.4.6. – Volumes positivos (vermelho escuro) e negativos (azul escuro) calculados na Lagoa de Óbidos	57
Figura nº 5.4.7 – Distribuição do teor de Areia, no 1º cm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002	59
Figura nº 5.4.8 – Distribuição do teor de Argila, no 1º cm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002	60

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

Figura nº 5.4.9 – Distribuição do teor de Cascalho, no 1º cm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002	61
Figura nº 5.4.10 – Distribuição do teor de Silte, no 1º cm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002	62
Figura nº 6.3.1. – Definição da malha batimétrica para inclusão no módulo Bathymetry do MOHID (malha gerada com o Digital Terrain Tool do MOHID)	74
Figura nº 6.4.1- Comparação entre a elevação da superfície registada no ADCP (cyan) e a modelada (azul escuro) no Cais da Foz do Arelho	76
Figura nº 6.4.1- Comparação entre a elevação da superfície registada no ADCP (cyan) e a modelada (azul escuro) no Bico dos Corvos	77
Figura nº 6.4.1- Comparação entre a elevação da superfície registada no ADCP (cyan) e a modelada (azul escuro) no Braço da Barrosa	77
Figura nº 6.4.4- Comparação das intensidades de corrente registada e modelada em Águas Vivas	78
Figura nº 6.4.5- Comparação das intensidades de corrente registada e modelada em Águas Médias.....	79

Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela nº 4.1.1. – Posicionamento adoptado para medição dos parâmetros hidrológicos na Lagoa de Óbidos	18
Tabela nº 4.2.1. – Posicionamento adoptado para medição de caudais em três secções na Lagoa de Óbidos	20
Tabela nº 4.3.1. – Posicionamento adoptado para medição do nível da superfície livre em três locais na Lagoa de Óbidos	21
Tabela nº 4.3.2. – Posicionamento adoptado para medição dos níveis da superfície livre ao largo da Lagoa de Óbidos	22
Tabela nº 4.4.1. – Delimitação das áreas sondadas na Lagoa de Óbidos	23
Tabela nº 4.4.2. – Posicionamento dos locais de colheita de sedimentos	24
Tabela nº 5.3.1.1. – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos	45
Tabela nº 5.3.2.1. – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos	46
Tabela nº 5.3.3.1. – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos	47
Tabela nº 5.3.3.2. – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos	48
Tabela nº 6.1. – Descrição sucinta dos principais módulos no sistema de modelação hidrodinâmico MOHID	68
Tabela nº 6.3.1. – Parametizações do modelo para simulação das características hidrodinâmicas da Lagoa de Óbidos	75

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação nº 1 – Volume de água no interior da Lagoa	6
Equação nº 2 – Lei da conservação geral	68
Equação nº 3 – Lei da conservação geral discretizada para um volume de controlo	68
Equação nº 4 – Equação de evolução de massa e momento	69
Equação nº 5 – Equação de evolução de massa e momento	69
Equação nº 6 – Equação de evolução de massa e momento	69
Equação nº 7 – Equação de evolução de massa e momento	69
Equação nº 8 – Equação de Advecção – Difusão	70
Equação nº 9 – Equação de estado	70
Equação nº 10 – Transporte da propriedade A devido aos fluxos advectivos e difusivos	70
Equação nº 11 – Fluxo das propriedades particuladas no fundo	71
Equação nº 12 – Fluxo de matéria erodida junto ao fundo	72
Equação nº 13 – Fluxo de matéria erodida junto ao fundo	72
Equação nº 14 – Fluxo de deposição dos sedimentos	72
Equação nº 15 – Probabilidade de deposição de sedimentos	72
Equação nº 16 – Cálculo da deposição	72
Equação nº 17 – Cálculo da deposição	72

Título: Lagoa de Óbidos – Modelação e Realidade

Nome: Joana Beja de Almeida e Silva

Mestrado: Ecologia, Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos, ramo de Modelação

Orientador: Prof. Ramiro Neves

Provas concluídas em:

RESUMO

A presente dissertação é o resultado de um estudo desenvolvido no Sistema Lagunar de Óbidos, de forma a servir de documento para prestação de provas de Mestre no Mestrado de Ecologia, Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos, Ramo de Modelação, do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

Este estudo foi desenvolvido em colaboração com a Maretec (na fase de modelação), os dados foram gentilmente cedidos pelo Instituto da Água, e toda a metodologia de processamento foi desenvolvida no Instituto Hidrográfico.

Como principais objectivos para o presente trabalho, destacam-se:

- Caracterização dos mecanismos hidrodinâmicos na Lagoa de Óbidos;
- Análise da variação de alguns parâmetros hidrológicos na Lagoa de Óbidos, quer em termos espaciais, quer temporais;
- Análise dos processos sedimentares baseada quer nas amostras recolhidas em campo, quer nos levantamentos hidrográficos efectuados;
- Implementação do MOHID na Lagoa de Óbidos;
- Análise dos resultados obtidos com o MOHID.

Palavras-chave:

Hidrodinâmica, Análise, Hidrologia, Modelação, Lagoa de Óbidos.

Title: Óbidos Lagoon – Reality and Modelation

Name: Joana Beja de Almeida e Silva

Master: Ecology, Management and Modelation of Marine Resources,

Responsible: Prof. Ramiro Neves

Thesis completed in:

ABSTRACT

The current work is the result of a study developed in the Obidos Lagoon System, and it is presented in order to obtain the Master degree Marine Resources Modulation, by Instituto Superior Técnico of the Lisbon Technical University.

This study had the collaboration of Maretec (during the model implementation) and Instituto da Água gave the data analysed. The processing methodology was developed in Instituto Hidrográfico.

It is possible to say that the prime objectives are:

- To understand the hydrodynamic mechanisms in the Obidos Lagoon;
- To analyse spatially and temporally the evolution of some hydrological parameters inside the Obidos Lagoon;
- To understand the sedimentary processes based upon field samples collected during a campaign and on hydrographic surveys;
- To implement the model MOHID on the Obidos Lagoon;
- To analyse the results given by the model MOHID.

Key-words:

Hidrodynamics, Analysis, Hidrology, Modelation, Óbidos Lagoon.

2. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas costeiros são extremamente vulneráveis às actividades humanas, quer directamente, devido à exploração dos seus recursos, quer indirectamente, devido à alteração provocada pelas descargas fluviais, ou devido ao armazenamento de água em albufeiras, p.e.

As alterações permanentes verificadas neste tipo de ecossistemas resultam, na maior parte dos casos, da perturbação entre o frágil balanço existente entre os organismos costeiros, os sedimentos e as marés (Pugh, 1987).

Nos estuários e zonas alagadiças (e.g. mangais e pântanos), o desenvolvimento e evolução dos ecossistemas marinhos é extremamente influenciado pelas mudanças associadas à maré.

Segundo Pugh (1987), nestas zonas, a maré, quer devido à sua amplitude, quer ao período, determina não só os locais e tempos de exposição ao ar/submersão, as mudanças em temperatura, salinidade, o transporte de sedimentos e ainda o fluxo de nutrientes.

Os ecossistemas mais produtivos do mundo encontram-se precisamente em zonas fortemente influenciadas pela maré. Em muitos casos, é também nestes locais que se aglomeram grandes conjuntos populacionais, com as consequências nefastas que toda a actividade aí existente acarreta para o meio ambiente.

O presente trabalho pretende sumarizar alguma informação de carácter ambiental existente na área envolvente à Lagoa de Óbidos, e que foi obtida no decorrer do projecto MAMBO (ver capítulo 4), assim como demonstrar a implementação de um modelo hidrodinâmico à área lagunar.

O trabalho foi dividido em 4 capítulos principais, seguido de um último capítulo que enquadra não só o trabalho futuro, como também as conclusões retiradas deste estudo.

No capítulo 3 faz-se uma abordagem ao Sistema Lagunar de Óbidos, onde se inclui uma breve caracterização da zona, a nível ambiental, geográfico e sócio-económico.

No capítulo 4 apresenta-se a metodologia de aquisição e processamento de dados adoptada neste estudo.

O capítulo 5 é inteiramente dedicado à análise dos dados obtidos em campo, nesta fase apresentam-se alguns resultados e características do sistema lagunar de Óbidos.

Nestes dois capítulos, os diferentes dados são divididos em sub-capítulos de forma a possibilitar uma melhor compreensão.

Posteriormente, no capítulo 6, é descrita a implementação do MOHID na Lagoa de Óbidos, são apresentadas algumas das simulações efectuadas e a análise dos resultados obtidos.

No capítulo 7 tecem-se algumas considerações sobre trabalho futuro e ainda sobre o trabalho realizado neste estudo.

As conclusões são apresentadas, de uma forma sucinta, no capítulo 8, é nesta secção que se procede a uma síntese de todos os dados apresentados nos Capítulos anteriores.

3. O SISTEMA LAGUNAR DE ÓBIDOS

O presente capítulo serve como introdução de algumas noções sobre as lagoas costeiras, nomeadamente no que diz respeito à sua génese, dinâmica e evolução. Pretende-se ainda abordar alguns aspectos gerais sobre a Lagoa de Óbidos, tais como, factores ambientais, geográficos e sócio-económicos, de forma a caracterizar a zona de estudo e posteriormente fazer o paralelo com os dados obtidos em campo.

3.1. Características das Lagoas Costeiras

Na bibliografia consultada para a base teórica desta tese, foram escassas as referências encontradas relativamente às características das Lagoas costeiras. A maior parte dos estudos efectuados na actualidade focam essencialmente os ecossistemas estuarinos, por se tratarem de zonas extremamente produtivas e, fundamentalmente, por aí se localizarem grandes aglomerados populacionais.

A descrição das características gerais das lagoas costeiras apresentada neste capítulo tem como base as informações recolhidas relativamente a alguns desses ecossistemas.

A zona costeira pode ser descrita como a zona onde ocorre maior interacção entre o mar e a massa terrestre, originando quer novas áreas sedimentares, quer o desaparecimento de áreas devido à erosão.

Segundo Beer (1997), as lagoas costeiras aparecem devido aos processos sedimentares ou à acção da agitação marítima em zonas como ilhas-barreira, barras de rios ou mesmo reentrâncias costeiras.

São geralmente áreas que se encontram em equilíbrio dinâmico, sendo bastante afectadas por factores como a agitação marítima, a intensidade do vento, as marés, etc.

Pode-se afirmar que uma lagoa costeira é apenas um estágio no longo processo evolutivo da zona de costa. A tendência geral destes sistemas é o encerramento da ligação ao mar e, conseqüentemente, a transformação em zona pantanosa e posteriormente numa nova área terrestre.

Estes sistemas apresentam um ambiente extremamente complexo, que é dependente de diversos factores, e da interligação entre eles, constituindo também zonas de transição entre o ambiente costeiro e terrestre (Freitas, 1996).

A configuração da zona de entrada de uma lagoa costeira, é fortemente influenciada pelas correntes, que transportam a água para dentro ou para

fora deste sistema, tendendo a mantê-lo aberto, e pelo transporte de areias ou outros sedimentos mais grosseiros, que tendem a fechá-lo (Beer, 1997).

Ao contrário da foz dos estuários (que são estáveis, quer devido à acção humana, quer à sua grande dimensão), nas lagoas costeiras, estas zonas são extremamente instáveis, movendo-se de acordo com a variação dos processos acima indicados (correntes, agitação marítima, etc.).

As dimensões da entrada deste tipo de lagoas desempenham um papel extremamente importante na troca de massas de água com o exterior e, conseqüentemente na variação de alguns parâmetros hidrológicos, o que afecta também o biota aí presente.

Os factores mais importantes no controlo dos processos de sedimentação/erosão neste tipo de lagoas são a forma lagunar e a direcção do vento.

De acordo com Beer (1997), os fenómenos que afectam de uma forma mais intensa a qualidade da água estuarina são a mistura entre águas com diferentes teores de sal e a taxa a que esta mistura ocorre. Por sua vez, estes dois processos são controlados pelo fluxo de água de origem fluvial, pela precipitação, evaporação, pelas variações de maré, intensidade do vento e ainda pela topografia.

O vento afecta a circulação de água num estuário ou lagoa costeira e ainda o seu teor em sal. Por exemplo, um vento suficientemente forte induz a mistura das camadas de água mais superficiais com as camadas mais profundas através da geração de uma corrente vertical que se mantém enquanto este mecanismo forçador se mantiver também. O mesmo pode ser dito em relação à temperatura na coluna de água. Enquanto o vento promover a agitação da coluna de água, o seu perfil térmico vai ser homogéneo, porém, quando a força cessar, o sistema tende a estabilizar e a formar duas camadas de água, estando a mais quente mais próxima da superfície.

3.2. Enquadramento Geográfico – a Lagoa de Óbidos

A Lagoa de Óbidos, situada no litoral Oeste, entre a Nazaré e Peniche, é enquadrada pelos concelhos das Caldas da Rainha (a Norte) e de Óbidos (a Sul). É a maior lagoa costeira em Portugal, pensando-se que seja a última de um conjunto de lagoas situadas naquela zona. Deste conjunto fariam parte as Lagoas de Alfeizerão e de Alcoa, que devido à deposição de sedimentos desapareceram por volta do Séc. XVI (<http://www.oesteonline.pt/concelhos/obidos/>).

Actualmente esta Lagoa apresenta uma superfície de cerca de 7.0 Km², no entanto, em tempos remotos, alcançava a Vila de Óbidos, sendo navegável em toda a sua extensão (<http://www.terravista.pt/portosanto/1615/enqua-dramento.htm>).

Já nesse tempo, os principais problemas eram consequência da acumulação de sedimentos na Lagoa, especialmente na zona de comunicação com o mar, de tal forma que, por exemplo, em 1640 a Câmara de Óbidos tivesse decretado que as populações em redor da Lagoa se mobilizassem para executar as obras necessárias para manter esta ligação aberta (<http://www.oesteonline.pt/concelhos/obidos/>).

Na Figura nº 3.1 apresenta-se uma imagem aérea da Lagoa de Óbidos e área envolvente.



Figura nº 3.1 – Ortofotomapa da Lagoa de Óbidos, e região costeira adjacente (<http://scrif.igeo.pt>)

A Lagoa de Óbidos apresenta uma forma irregular, situando-se num depressão pouco profunda, cujos contornos, são muito instáveis na zona mais próxima do mar (<http://oesteonline.pt/concelhos/obidos/>), é composta por um cordão litoral dunar que sofre a acção mais ou menos intensa da ondulação exterior.

Os principais afluentes fluviais são os Rios Real, Arnóia (ambos desaguam no Bico dos Corvos- braço no lado esquerdo da figura) e Cal (Braço da Barrosa- localizado no lado direito da figura) (<http://terravista.pt/portosanto/1615/afluentes>).

Em tempos mais antigos, estes rios possuíam caudal apenas nos meses de Inverno, encontrando-se os leitos secos durante a época estival. Hoje em dia, a situação é um pouco diferente, há sempre um caudal que escoa para a Lagoa e que é mantido, sobretudo nos meses mais quentes pelas descargas

das Estações de Tratamento de Águas Residuais que servem os concelhos adjacentes.

Exteriormente, a zona costeira é caracterizada pela existência de escarpas rochosas, expostas ao vento e ao mar, que desempenham um papel erosivo extremamente importante (Dias, 1987). Através da observação da Figura nº 3.1 é possível verificar que na costa a Norte da Lagoa não existem zonas arenosas, no entanto a costa a Sul é mais homogénea, com uma zona de praia bastante extensa e estável (no que refere aos processos erosivos).

Cálculos aproximados indicam que a sua Área média ronda os $60 \cdot 10^5 \text{ m}^2$, o que, assumindo que apresenta uma profundidade média aproximada de 2.0 m, se traduz num Volume de cerca de $120 \cdot 10^5 \text{ m}^3$. Estes valores são apenas estimativas, uma vez que dependem do alagamento verificado em situações de baixa e de preia-mar e das profundidades nas diferentes zonas desta bacia.

Outras dimensões passíveis de identificação para esta Lagoa são o *fetch* (comprimento máximo de exposição ao vento) e o *breadth* (largura máxima perpendicular ao *fetch*), que apresentam $4 \cdot 10^3 \text{ m}$ e $1.6 \cdot 10^3 \text{ m}$, respectivamente.

O período de residência é definido como o período necessário para a renovação de toda a água na área lagunar. Este parâmetro é calculado partindo do pressuposto de que a contribuição fluvial é uniforme e de que força o deslocamento de toda a água do interior para o exterior da Lagoa.

A fórmula utilizada para este cálculo é:

$$t_r = V / Q \quad \text{Equação nº 1}$$

em que V é o Volume de água no interior da Lagoa e Q o Caudal fluvial.

Para esta Lagoa, o tempo de residência varia entre 22 e 466 dias, considerando um caudal de 6.188 ou 0.298 m^3/s (quer se trate de uma época mais ou menos húmida).

Os valores dos Caudais acima mencionados datam de 1991 e foram retirados do Relatório de Síntese do Estudo de Impacte Ambiental relativo à Ligação da Lagoa de Óbidos ao mar, efectuado pelo LNEC em 1994.

Os caudais apresentados na Figura nº 3.2, representam os valores característicos anuais com base em dados existentes para os diversos afluentes da Lagoa de Óbidos. É de salientar que o afluente que mais contribui para estes valores é o Rio Real, que desagua no Bico dos Corvos.

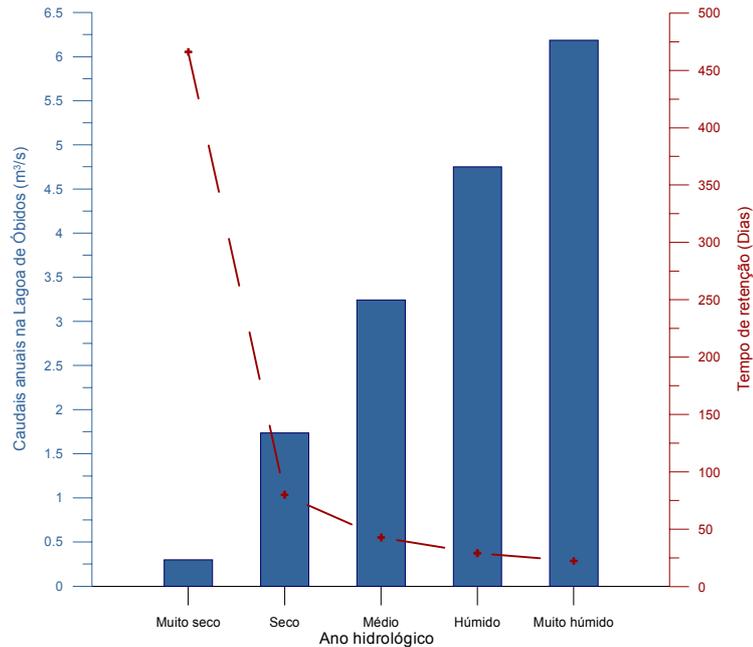


Figura nº 3.2. – Variação dos Caudais anuais (barras azuis) e do Tempo de retenção (traçado vermelho) na Lagoa de Óbidos (dados do LNEC, 1994)

Com base no gráfico da Figura nº 3.2. facilmente se constata que nos anos mais secos, os tempos de retenção da água lagunar são mais elevados, como seria de esperar. Refere-se novamente que estes valores são aproximados e pressupõem que o escoamento fluvial induz a deslocação de toda a água presente no corpo lagunar.

Outro parâmetro que pode ser calculado, de forma a identificar e caracterizar o tipo de mistura que ocorre entre as águas de diferentes características e a distribuição de sal resultante deste processo, é o prisma de maré.

O prisma de maré é definido como o volume de água que é trocada entre uma lagoa (ou estuário) e o mar aberto, no decorrer de um ciclo de maré completo (Pugh, 1987).

Neste caso, a formulação utilizada consiste na multiplicação da amplitude de maré pela área superficial média (Beer, 1997). Na Lagoa de Óbidos, o prisma de maré, considerando uma amplitude média de maré de 2 m, é cerca de $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

3.3. Caracterização Ambiental

Neste capítulo procede-se a uma caracterização ambiental da região envolvente à Lagoa de Óbidos. As figuras apresentadas a seguir têm as seguintes características comuns: definem-se as delimitações dos concelhos das Caldas da Rainha (a Norte) e de Óbidos (a Sul), e o ponto vermelho indica a posição aproximada da Lagoa de Óbidos.

Os dados utilizados para a construção destes mapas provêm do Atlas do Ambiente, disponível em <http://www.iambiente.pt>.

3.3.1. Temperatura e Radiação Solar

A temperatura é um dos factores condicionantes para o desenvolvimento e manutenção das espécies vegetais e animais numa determinada zona.

No que concerne à variação deste parâmetro, a zona da Lagoa de Óbidos e sua envolvente apresenta temperaturas que oscilam entre os 12.5 e os 16 °C, tal como se pode verificar na Figura nº 3.3.1.1.

Temperatura

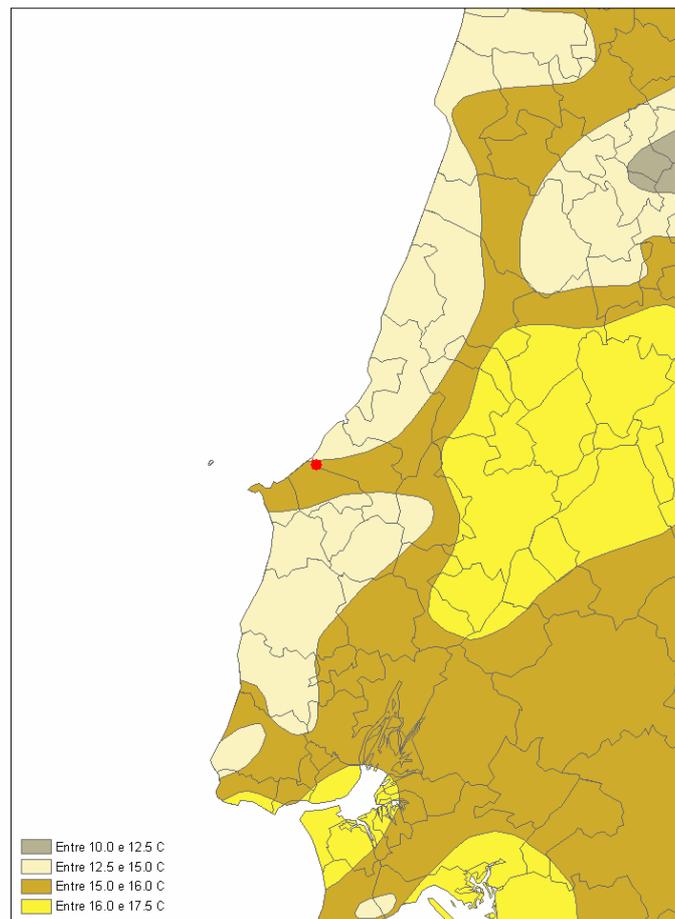


Figura nº 3.3.1.1 – Variação média anual da temperatura (Instituto Ambiente)

Associada aos valores de temperatura está a radiação solar incidente que assume especial importância no zonamento das espécies vegetais. Nesta zona, os valores oscilam entre os 140 e os 145 Kcal/cm², tal como indicado na Figura nº 3.3.1.2.

Radiação Solar

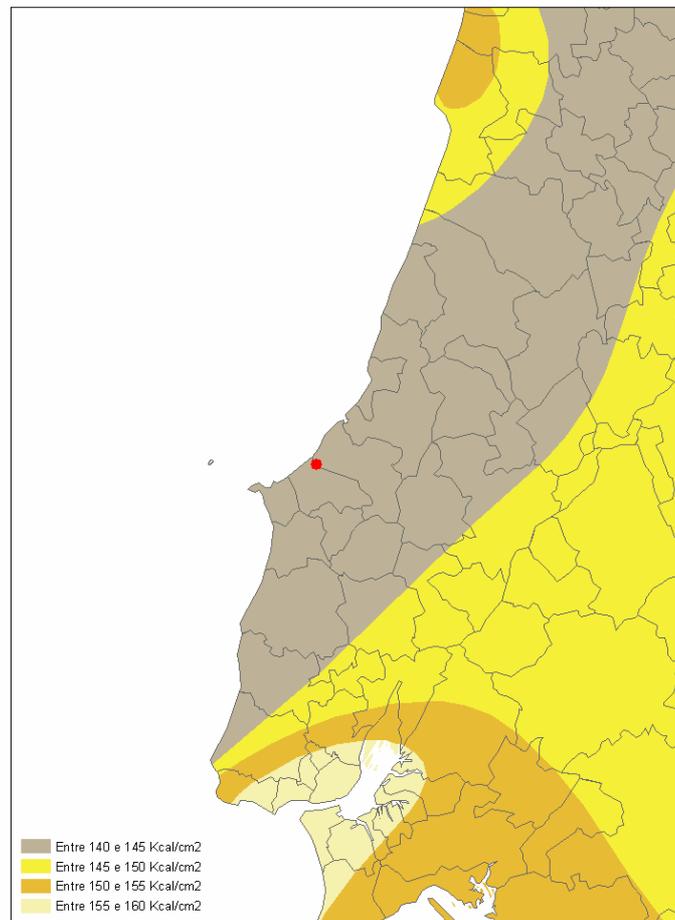


Figura nº 3.3.1.2 – Variação média anual da radiação solar incidente (Instituto Ambiente)

3.3.2. Pluviosidade e Escoamento

A quantidade de precipitação que atinge a zona lagunar de Óbidos e em especial, a bacia hidrográfica envolvente, é um dos factores mais importantes no transporte de material sólido de origem terrestre para a Lagoa.

Como se pode verificar através da observação da Figura nº 3.3.2.1, a quantidade de precipitação que atinge esta zona é reduzida, situando-se no intervalo entre 500 e 600 mm.

Precipitação

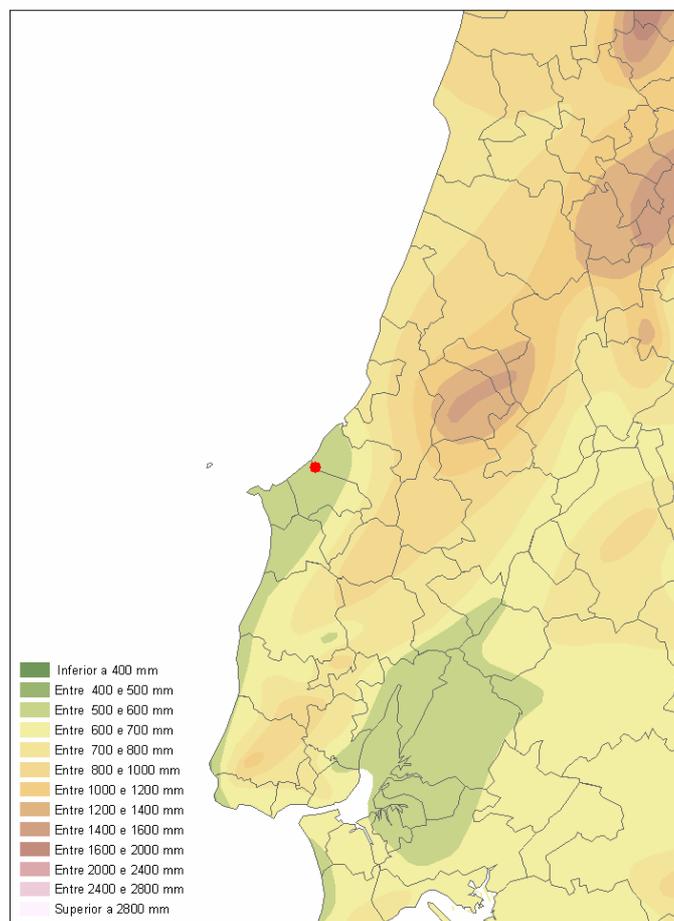


Figura nº 3.3.2.1 – Variação média anual da pluviosidade (Instituto Ambiente)

Como consequência da precipitação, o escoamento observado também não é muito intenso, encontrando-se entre os 50 e os 100 mm, tal como indicado na Figura nº 3.3.2.2, pelo que somente durante fenómenos extremos de precipitação, se pode esperar um escoamento suficientemente intenso, com o consequente transporte de material de origem terrestre para o corpo lagunar.

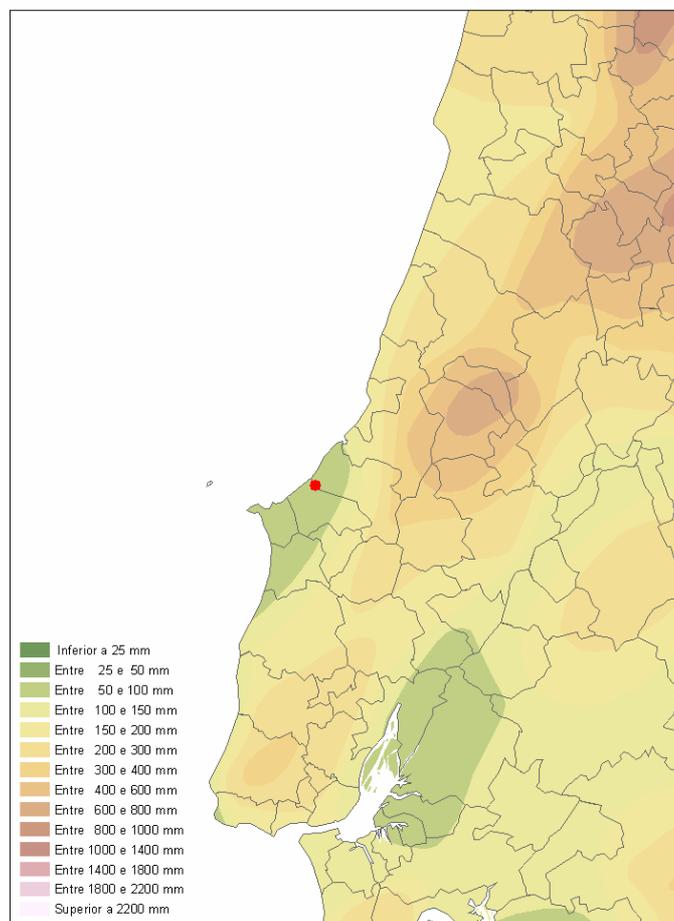
E s c o a m e n t o

Figura nº 3.3.2.2 – Variação média anual do escoamento (Instituto Ambiente)

3.3.3. *Geologia e Geomorfologia*

A zona envolvente da Lagoa de Óbidos é caracterizada por áreas com um declive relativamente acentuado, constituídas essencialmente por arenitos, calcários margosos e margas.

Em termos geomorfológicos, as principais formações nesta região são: a Lagoa de Óbidos, que é uma das maiores e mais importantes do país, as escarpas litorais, a Serra do Bouro, as zonas de praia, os vales encaixados e as formações aluvionares na Baía de S. Martinho – Salir do Porto (<http://www.cm-caldas-rainha.pt/ambiente.htm>).

Relativamente ao tipo de solo existente, os tipos dominantes são os Luvisolos, os Cambissolos e os Pódzois, tal como assinalado na Figura nº 3.3.3.1.

Tipo de solo

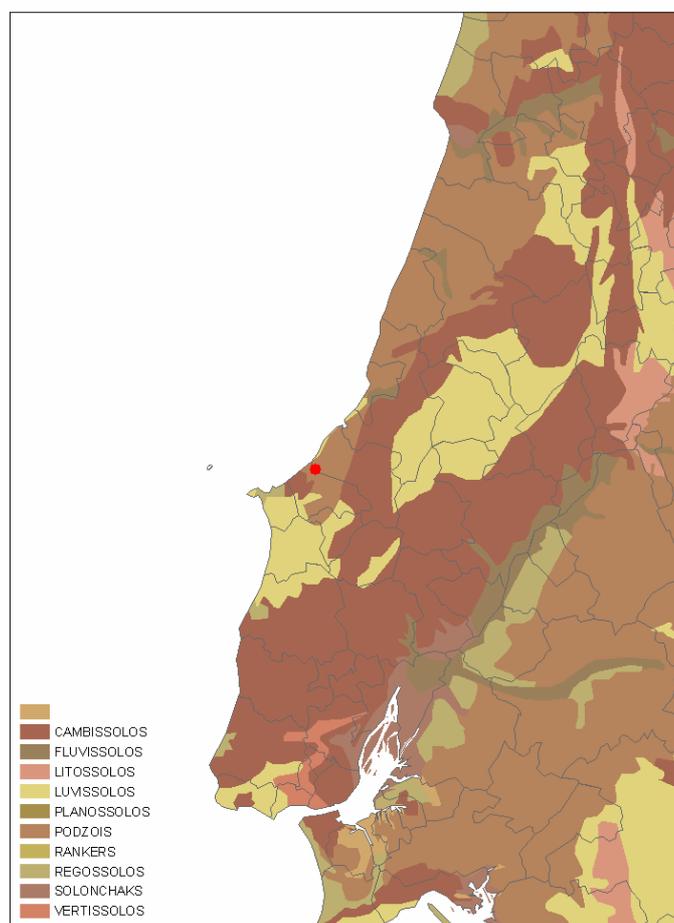


Figura nº 3.3.3.1 – Tipo de solo (Instituto Ambiente)

Em termos litológicos, as formações mais abundantes são as formas sedimentares, como se pode verificar na Figura nº 3.3.3.2. Facto que é expectável quando se sabe que a zona lagunar se estendia até ao Castelo de Óbidos.

Litologia

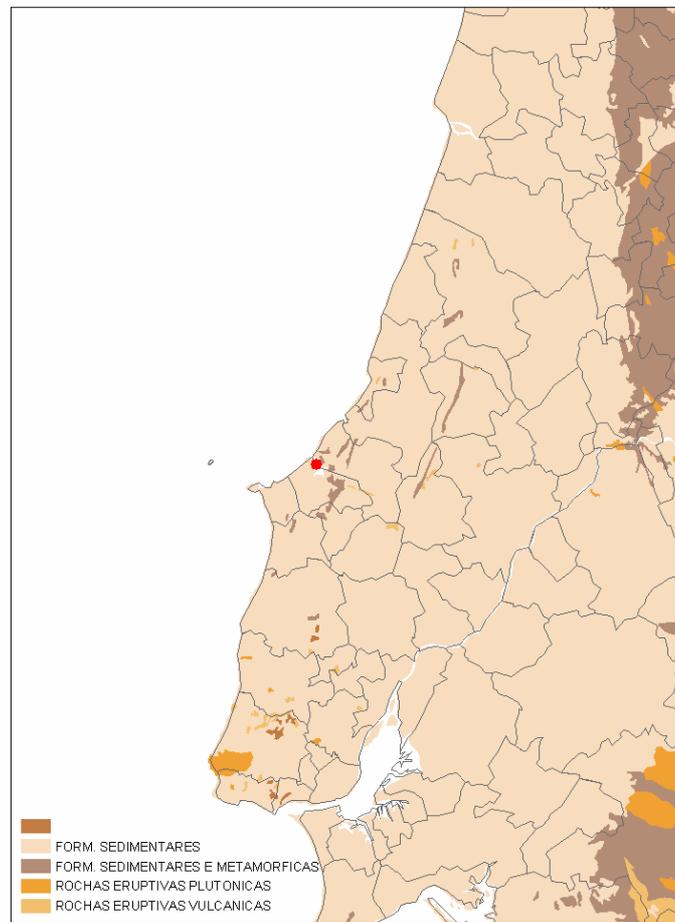


Figura nº 3.3.3.2 – Composição litológica (Instituto Ambiente)

3.3.4. Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica que alimenta a Lagoa de Óbidos é constituída pelos Rios Arnóia, Cal e Real, sendo o último o que apresenta maior significância em termos de caudal (segundo os dados publicados pelo LNEC em 1994).

Na Figura nº 3.3.4.1 apresenta-se apenas a Bacia Hidrográfica do Arnóia, devido ao facto de as restantes não estarem disponíveis no Atlas do Ambiente consultado à data da realização deste estudo.

Esta bacia tem cerca de 400 Km² e recebe as águas provenientes dos concelhos das Caldas da Rainha, Óbidos, Cadaval, Bombarral e Lourinhã.

R i o s

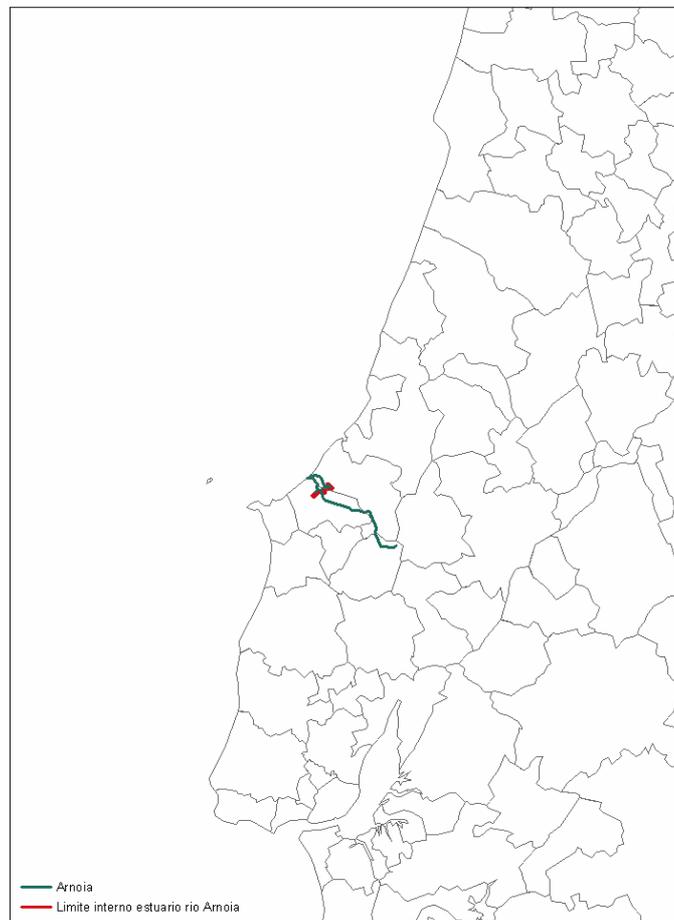


Figura nº 3.3.4.1 – Bacia hidrográfica do Rio Arnóia (Instituto Ambiente)

3.3.5. Fauna e Flora

A zona envolvente à Lagoa de Óbidos apresenta diferentes características no que diz respeito à fauna e flora. Em termos ambientais, esta zona possui três tipos de biótopos extremamente importantes: o Paúl da Tornada, a Lagoa de Óbidos e a Serra do Bouro.

O Paúl da Tornada constitui uma zona húmida por excelência, constituindo um habitat privilegiado para a avifauna em migração do Norte e Centro da Europa.

A Lagoa de Óbidos é a maior lagoa costeira de Portugal, as suas águas servem de local de nidificação e de recuperação de espécies piscícolas e conquícolas e ainda de algumas aves, como a Garça Vermelha e a Garça Pequena.

Na Serra do Bouro, a fauna mais abundante é a avifauna rupícola, no entanto também se podem encontrar algumas aves de rapina, tal como o Peneireiro e o Falcão Peregrino.

Relativamente à flora, as espécies dominantes são o Tojo, a Urze, o Pinheiro Bravo, o Pinheiro Manso, Carvalhos, Sobreiros e Oliveiras. As primeiras espécies estão presentes essencialmente nas arribas, nas áreas dunares e em zonas junto à costa, estando as restantes mais dispersas.

Na Figura nº 3.3.5.1 a paisagem na área envolvente à Lagoa é definida como sendo do tipo de Policultura Submediterrânica, coexistindo com algumas zonas de Ribeiras Subatlânticas (<http://www.cm-caldas-rainha.pt/ambiente.htm>).

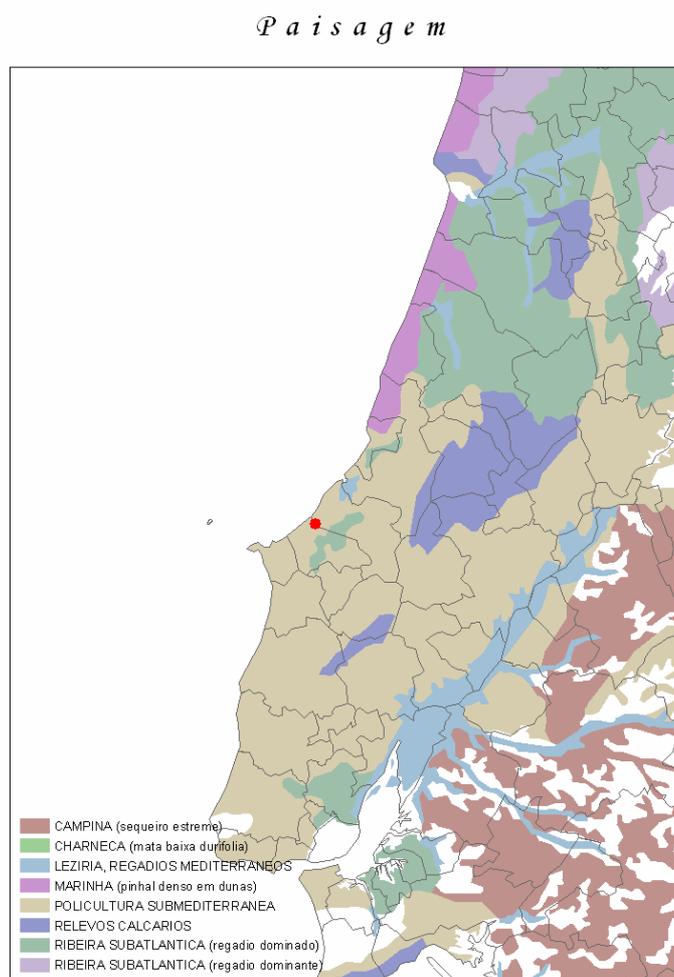


Figura nº 3.3.5.1 – Caracterização da paisagem (Instituto do Ambiente).

3.3.6. Aspectos Sócio-Económicos

Em termos económicos, os aspectos mais importantes são os empreendimentos turísticos existentes e os planeados. Grande parte da economia desta zona está associada ao turismo e ao lazer.

Há uma grande implementação de indústrias pertencentes essencialmente ao sector primário e num futuro deverá ocorrer o estabelecimento de

actividades não poluentes que permitam o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis (<http://www.cm-obidos.pt/cmo/pdm.htm>).

4 . METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

O presente capítulo pretende servir de introdução aos dados utilizados na tese. Nesta fase apresentam-se as metodologias utilizadas durante a aquisição e processamento dos dados.

Os dados obtidos pelas Divisões de Oceanografia e Hidrografia do Instituto Hidrográfico resultaram de um protocolo estabelecido entre esta instituição e o Instituto da Água.

O protocolo visou o estabelecimento de uma rede de monitorização ambiental no período compreendido entre Novembro de 2000 e Dezembro de 2002 (M. Onofre, 2001), o projecto foi designado por MAMBO, acrónimo de **M**onitorização **A**MBiental da Lagoa de **Ó**bidos.

Os principais objectivos estabelecidos no protocolo e que serviram de base à recolha dos dados utilizados neste trabalho foram, entre outros:

- Medição em contínuo dos níveis de superfície livre numa estação litoral ao largo da Lagoa de Óbidos;
- Medição em contínuo da superfície livre em três pontos no interior da Lagoa de Óbidos;
- Medição mensal dos seguintes parâmetros hidrológicos: Temperatura (°C), Condutividade (mS), Salinidade, Turbidez (FTU) e Oxigénio Dissolvido (% e ppm);
- Medição semestral de correntes ao longo de três secções na Lagoa de Óbidos;
- Avaliação semestral da evolução hidrográfica da foz da Lagoa de Óbidos;

Todos estes objectivos foram cumpridos, na medida do possível, nos períodos indicados. Os problemas registados durante a fase de aquisição de dados foram essencialmente devidos a avarias ou a um manuseamento inadequado nos equipamentos.

Os problemas registados durante a aquisição dos diferentes tipos de dados não serão abordados neste trabalho, no entanto, tecem-se algumas considerações relativamente à qualidade dos mesmos.

Este capítulo está organizado em diferentes sub-capítulos, cada um relativo a um tipo de dados, de modo a que a compreensão seja facilitada. Deste modo, a descrição está dividida em quatro pontos, onde se pretende, de uma forma sucinta, identificar a metodologia de aquisição dos dados, seguida da abordagem utilizada na fase de processamento dos mesmos.

Exceptuando os casos mencionados, todo o processamento foi efectuado pela autora, utilizando técnicas e programas da Divisão de Oceanografia do Instituto Hidrográfico.

As posições definidas para a medição e obtenção dos dados foram impostas pelo INAG e constam do protocolo anteriormente mencionado.

Sempre que possível, os diferentes equipamentos foram fundeados ou colocados em aquisição nesses locais conforme o acordado. Apesar das inevitáveis variações em posicionamento, os dados apresentados correspondem às posições inicialmente definidas (em coordenadas militares).

4.1. Parâmetros hidrológicos

A obtenção de dados relativos a parâmetros hidrológicos, na Lagoa de Óbidos, foi executada através da utilização de uma sonda CTD Idronaut perfiladora da coluna de água. Os sensores instalados permitiram a aquisição em tempo real, dos seguintes parâmetros: Profundidade (m), Temperatura (°C), Condutividade (mS), Turbidez (FTU), Oxigénio Dissolvido (% e ppm), pH e o Potencial Redox (Eh) (os dados registados por estes três sensores não foram utilizados neste projecto, pelos que não são alvo de discussão).

Dada a reduzida profundidade da Lagoa, a aquisição de dados foi executada sem o auxílio de meios mecânicos (p.e. guincho), ou seja, a sonda foi imersa e arriada até à profundidade máxima registada (o que dependendo dos locais e da fase da maré, pode variar entre 1 e 3 metros). Esta operação foi repetida por três vezes, para que qualquer bloqueio ou colmatação nos sensores (devido aos sedimentos finos do fundo ou bolhas de ar, p.e.) pudessem ser superado, e fosse possível adquirir pelo menos um perfil com dados válidos.

Sempre que a sonda estava em aquisição na coluna de água, tentou-se manter uma velocidade estável de descida, cerca de 1 m/s, e ainda a sua verticalidade.

Apesar dos esforços, e devido ao facto de não ser possível utilizar meios mecânicos na operação do Idronaut e ainda de, por vezes, se registarem correntes extremamente fortes, estas duas condições nem sempre foram cumpridas.

A obtenção dos parâmetros hidrológicos foi executada em três locais no interior da Lagoa, na Tabela nº 4.1.1 apresentam-se as posições adoptadas, na Figura nº 4.1.1 é possível visualizar a implementação dos pontos de amostragem na Lagoa de Óbidos.

LOCAL	X (m)	Y (m)
Cais da Foz do Arelho	106190	273900
Bico dos Corvos	106950	270550
Braço da Barrosa	108700	271275

Tabela nº 4.1.1 – Posicionamento adoptado para medição dos parâmetros hidrológicos na Lagoa de Óbidos.



Figura nº 4.1.1 – Posicionamento adoptado para medição dos parâmetros hidrológicos na Lagoa de Óbidos.

Os perfis foram obtidos com intervalos de 1h30m entre cada passagem na estação (a definição deste período entre amostragens sucessivas teve em conta o facto de todo o percurso ser feito com um bote Zebro III, e que, em condições de vento forte, este percurso demora mais tempo a ser efectuado). Sempre que possível tentou-se registar a evolução dos parâmetros, acima mencionados, ao longo de um ciclo de maré, embora também esta condição nem sempre tenha sido satisfeita, devido quer à fraca iluminação solar verificada na altura e que punha em causa a segurança dos técnicos no local, quer devido a problemas técnicos que surgiram durante os trabalhos de campo.

Todos os sensores têm uma taxa de aquisição de 50 ms, exceptuando os de Oxigénio, o pH e o Redox, cuja taxa é de 3 ms, a uma frequência de 2500 Hz. Os dados obtidos são o resultado de uma média executada sobre um número determinado de *scans* ou leituras (IDRONAUT, 1996).

Na fase de processamento, todos os dados originais foram visualizados e posteriormente foram retiradas as inversões de pressão e os valores que indicavam que a sonda tinha tocado no fundo (visível através dos valores de turbidez).

4.2. Caudais

A obtenção de dados relativos a caudais, ao longo de três secções, no interior da Lagoa de Óbidos, foi possível devido à utilização de um corren-

tómetro acústico por efeito de *Doppler* com um módulo de *Bottom Tracking* acoplado.

O registo de correntes e caudais neste tipo de utilização, obriga a que o equipamento seja fixo a uma plataforma, neste caso um bote *Zebro III*, e que, ao contrário de um fundeamento tradicional, registre os parâmetros desejados desde a superfície até ao fundo.

Na Tabela nº 4.2.1 apresentam-se as posições adoptadas para as secções, ou fiadas, a Figura nº 4.2.1 apresenta a implementação espacial das fiadas.

LOCAL	X (m)	Y (m)
Barra	105525	273880
	105540	273980
Cais da Foz do Arelho	106175	273900
	106120	273800
Topo do canal	106700	273400
	106800	273500

Tabela nº 4.2.1 – Posicionamento adoptado para medição de caudais em três secções na Lagoa de Óbidos (a primeira linha em cada local representa as posições de início de fiada e a segunda, as do fim).



Figura nº 4.2.1 – Posicionamento adoptado para medição de caudais em três secções na Lagoa de Óbidos.

O transdutor do ADCP foi colocado a cerca de 0.4 m, a partir da superfície, configurando-se o aparelho para registar velocidades e direcções em células com 0.25 m de espessura. Durante a realização das fiadas, obteve-se

também o registo do fundo, o que permitiu estimar de uma forma mais ou menos rigorosa a velocidade da plataforma e a distância percorrida.

A fase de processamento incluiu a remoção de valores incorrectos, a alteração no intervalo de amostragem e ainda o cálculo dos caudais totais das secções (RD Instruments, 2000).

Estes dados foram amostrados com um carácter semestral (Novembro 2000, Julho 2001, Novembro 2001, Junho 2002 e Dezembro 2002), de forma a avaliar a evolução do escoamento no interior da Lagoa de Óbidos.

Durante os trabalhos de campo, as secções foram repetidas com intervalos de 1h30m, e, sempre que possível, tentou-se registar um ciclo de maré, quer em fase de Marés Vivas (MV), quer em Marés Médias (Mm).

4.3. Marés

A obtenção de dados relativos ao nível da superfície livre no interior da Lagoa de Óbidos foi efectuada através da colocação de três sondas Mini-TROLL em três locais distintos.

Estas sondas permitem o registo de temperatura e pressão em massas de água de diferentes tipos, desde aquíferos subterrâneos a massas superficiais, sendo constituídas pela sonda (propriamente dita), cabos de ligação a computadores e bateria (In-Situ, 2001).

Na Tabela nº 4.3.1 estão as posições adoptadas para a colocação dos marégrafos no interior da Lagoa.

LOCAL	X (m)	Y (m)
Cais da Foz do Arelho	106190	273900
Bico dos Corvos	106950	270550
Braço da Barrosa	108700	271275

Tabela nº 4.3.1 – Posicionamento adoptado para medição do nível da superfície livre em três locais na Lagoa de Óbidos.

O registo em contínuo dos níveis da superfície livre foi interrompido apenas durante as operações de manutenção das sondas ou durante uma avaria registada num dos sensores. Os dados foram amostrados a cada 6 minutos, o processamento, realizado pela Secção de Marés da Divisão de Oceanografia do Instituto Hidrográfico, incluiu a graficação dos dados originais, filtragem para eliminação de *outliers* e compactação dos dados para séries horárias.

Foram ainda registados dados relativos aos níveis da superfície livre na zona costeira ao largo da Lagoa de Óbidos. A obtenção destes dados foi efectuada através do fundeamento de um ADCP (o mesmo utilizado para a medição das correntes naquela zona). A Tabela nº 4.3.2. indica a posição ocupada por este equipamento durante a aquisição de dados.

Durante o processamento, estes dados não sofreram qualquer tipo de controlo, filtragem ou tratamento, sendo apresentados conforme a aquisição de que foram objecto (RD Instruments, 2001).

LOCAL	X (m)	Y (m)
Estação litoral	104536	275043

Tabela nº 4.3.2 – Posicionamento adoptado para o registo dos níveis da superfície livre ao largo da Lagoa de Óbidos.

Na Figura nº 4.3.1 apresenta-se a implantação espacial dos aparelhos utilizados para o registo da elevação da superfície, tanto no interior, como no exterior da Lagoa de Óbidos.



Figura nº 4.3.1 – Posicionamento adoptado para medição do nível da superfície livre em três locais na Lagoa de Óbidos.

4.4. Batimetria e Sedimentos

Os levantamentos hidrográficos que deram origem aos dados que permitem caracterizar a evolução sedimentar na Lagoa de Óbidos foram efectuados pela Brigada Hidrográfica da Divisão de Hidrografia do Instituto Hidrográfico.

Os trabalhos de campo tiveram uma periodicidade semestral, sendo o primeiro levantamento em Junho de 2000, e o último em Outubro de 2002.

Na execução dos trabalhos de sondagem, foi utilizado um sistema automático de aquisição e processamento de dados (HYPACK), integrado com um sondador acústico, que operou a uma frequência de 210 kHz, e cujo transdutor foi imerso a cerca de 0.4 m da superfície (Ramalho Marreiros, 2000).

Na sondagem da faixa costeira (realizada no 1º levantamento), o sondador acústico operou nas frequências de 33 e 210 kHz, com o transdutor imerso a cerca de 1.1 m. Utilizou-se sempre um sistema de DGPS e sistemas receptores, de forma receber as correcções enviadas pelas estações de referência.

A aquisição dos dados variou consoante o espaçamento adoptado para a execução das fiadas. O processamento consistiu na correcção de eventuais erros de posicionamento durante a aquisição e gravação, que foi realizada em intervalos de 300 ms, na leitura dos ecogramas obtidos durante a sondagem, correcção de sondas e ainda na redução das sondas para o Nível Médio Adoptado (Ramalho Marreiros, 2000).

No 1º levantamento toda a área lagunar foi sondada, no entanto nos trabalhos posteriores apenas uma área parcial da Lagoa, a correspondente à zona junto à foz, foi sondada. Na Tabela nº 4.4.1 indicam-se as posições delimitadoras das sondagens efectuadas.

SONDAGEM	X (m)	Y (m)
Junho 2000	104800	269100
	109800	274300
seguintes	104800	272350
	107450	274300

Tabela nº 4.4.1 – Delimitação das áreas sondadas na Lagoa de Óbidos (posições aproximadas).

Na Figura nº 4.4.1 apresenta-se um gráfico onde se delimitam as áreas sondadas acima mencionadas. A área a sombreado representa os levantamentos hidrográficos realizados entre Novembro de 2000 e Outubro de 2002. A legenda indica a profundidade aproximada da Lagoa, os valores negativos representam valores acima da cota de água (neste trabalho utiliza-se a notação oceanográfica para a profundidade, ou seja, os valores de Z são medidos positivamente da superfície até ao fundo e negativamente quando se apresentem acima do espelho de água).

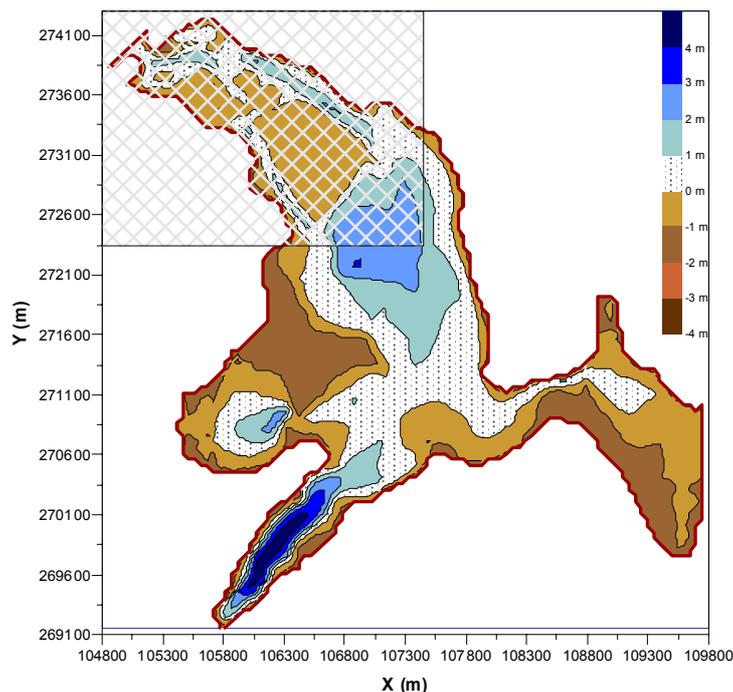


Figura nº 4.4.1 – Gráfico representativo das áreas sondadas na Lagoa de Óbidos (a linha de costa é apresentada a vermelho escuro e a zona a sombreado os levantamentos posteriores a Junho de 2000, sendo o mapa base referente ao 1º levantamento).

Em 2002 efectuou-se uma saída de campo com o objectivo de recolher algumas amostras sedimentológicas na Lagoa de Óbidos.

A tabela nº 4.4.2 indica o posicionamento dos locais definidos para a colheita de amostras.

POSIÇÕES	X (m)	Y (m)
1	106589.2	273468.8
2	106622.1	273344.4
3	106673.7	273093.9
4	106480.1	273107.3
5	106414.1	273110.0
6	106337.4	273064.6
7	106243.7	273026.9
8	106195.5	273077.5
9	106158.0	273185.3
10	106133.1	273265.1
11	106126.4	273304.1
12	106175.1	273414.5
13	108676.4	271282.3

Tabela nº 4.4.2 – Posicionamento dos locais de colheita de sedimentos em 2002.

A amostragem foi efectuada introduzindo um *minicorer* no sedimento, após a colheita, as amostras foram preservadas e levadas para o laboratório para análise.

Esta fase compreendeu diversas etapas, desde o corte das amostras em níveis pré-definidos pelas grandes variações granulométricas, à determinação do teor de água e finalmente à determinação da granulometria e tipo de sedimentos. Nesta última etapa foi utilizada um Malvern 2000, que opera através da difracção de laser.

Todos os dados resultantes desta operação foram analisados e processados pelo sector de Dinâmica Sedimentar da Divisão de Geologia Marinha do Instituto Hidrográfico.

Na Figura nº 4.4.2 apresenta-se a implantação dos locais onde foram recolhidas as amostras para análise.



Figura nº 4.4.2 – Posicionamento adoptado na recolha de amostras de sedimentos na Lagoa de Óbidos em 2002.

5. ANÁLISE DE DADOS

O presente capítulo pretende sintetizar algumas das informações que foram extraídas dos dados, de forma a caracterizar, em termos hidrológicos e hidrodinâmicos, o Sistema Lagunar de Óbidos.

Inicialmente faz-se uma pequena introdução ao tipo de dados obtidos, para posteriormente ser possível efectuar a ligação entre as características gerais de sistemas estuarinos e a Lagoa de Óbidos.

5.1. Parâmetros hidrológicos

A recolha de parâmetros hidrológicos que permitam caracterizar um determinada massa de água, passa pela compreensão da interacção que fenómenos de outro tipo (e.g. físicos) possam ter na mistura ou manutenção dessas características.

As massas de água oceânicas podem ser identificadas com base nos valores de Temperatura e Salinidade. Numa lagoa costeira (ou estuário), a caracterização pode não ser tão explícita, pois há diversos factores que alteram as propriedades dessa massa de água. No entanto, é possível, após diversos estudos, identificar as características base, tendo também em conta a água que aflui a este local (seja ela proveniente de um curso de água ou da zona costeira adjacente).

Cerca de 70% da superfície do planeta Terra é constituída por água, no entanto, apenas uma pequena porção está concentrada em massas de água interiores. Cerca de 40% da água doce está contida nas bacias dos lagos de grandes dimensões, no entanto os lagos de menores dimensões são mais numerosos e geralmente apresentam uma profundidade reduzida, localizando-se sobretudo nas regiões temperada e sub-ártica do Hemisfério norte (Wetzel, 1983).

Segundo o mesmo autor, os lagos têm diversas origens, podendo ser formados pela actividade vulcânica, por desabamento de terras, pela actividade dos glaciares, por dissolução de rocha solúvel, pela actividade costeira, pela acção do vento, pela acção fluvial ou mesmo ter uma origem orgânica.

No caso da Lagoa de Óbidos, a sua origem poderá ter estado associada à interacção entre o mar e um antigo estuário, ou eventualmente um golfo que abarcaria uma área compreendida entre a Nazaré e Óbidos. Neste caso, as correntes paralelas à linha de costa representariam um papel sedimentar, uma vez que contribuiriam para a deposição de material em barras ou pontões que, por sua vez, isolariam as massas de água salobra ou doce.

A Lagoa de Óbidos é uma zona de confluência de águas costeiras e de água proveniente quer dos escoamentos superficiais, quer dos rios que nela desaguardam.

Apesar de não ter sido possível obter dados actuais relativos aos caudais dos rios afluentes à Lagoa de Óbidos, algumas investigações e informações orais deram a entender que estes valores são muito reduzidos, sendo em alguns casos (p.e. em período estival), mantidos devido às descargas de efluentes provenientes dos centros urbanos mais próximos.

Devido ao facto de possuir uma profundidade muito reduzida e de uma zona de contacto com o mar extremamente instável, as características da massa de água da Lagoa de Óbidos, depressa se modificam devido, por exemplo, à propagação da onda de maré, ou à sucessão das estações.

Durante o decorrer do projecto que serviu de base a este estudo, a zona de abertura ao mar, denominada por “Aberta”, nunca foi alvo de intervenção humana, esta ligação manteve-se sempre, independentemente do seu posicionamento.

Com base nas amostragens efectuadas, é possível tecer algumas considerações sobre as características hidrológicas gerais da massa de água lagunar durante o período de estudo. Os gráficos apresentados servem apenas de exemplo das situações relatadas, sendo com efeito apenas fotografias de um instante e não demonstrações de uma realidade muito mais vasta e que não é abrangida neste estudo.

A partir da análise dos dados obtidos durante o decorrer do projecto, e tendo em conta que houve sempre comunicação com o mar (como já foi mencionado anteriormente), apresentam-se de seguida as características gerais da massa de água da Lagoa de Óbidos.

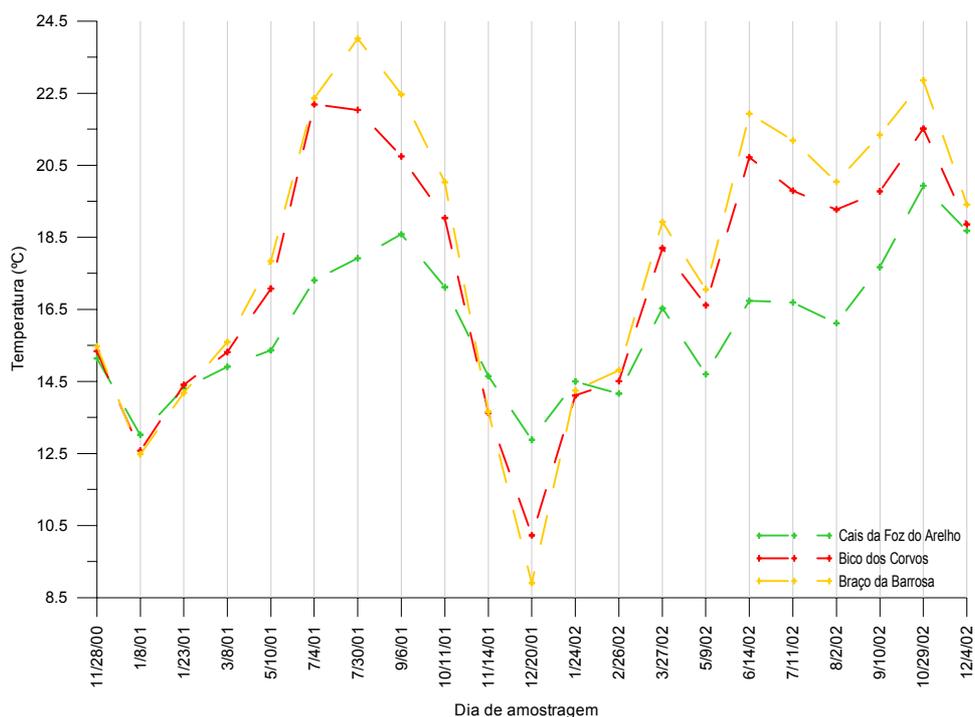


Figura nº 5.1.1 – Variação da Temperatura média (°C) nos três locais de amostragem no interior da Lagoa de Óbidos.

Analisando a Figura nº 5.1.1, verifica-se que, aparentemente, a Temperatura média, nos locais de amostragem, varia com a alternância das estações. Os valores mais baixos registam-se no Inverno e os mais elevados no Verão, com um aumento e diminuição graduais durante a Primavera e o Outono, respectivamente.

Esta variação é mais evidente no Bico dos Corvos e no Braço da Barrosa do que no Cais da Foz do Arelho, devido, essencialmente ao elevado hidrodinamismo deste local.

A análise diária deste parâmetro parece também indicar a existência de uma variação, regra geral associada à propagação da onda de maré. Na Figura nº 5.1.2 apresenta-se um caso em que a variação de Temperatura está relacionada com a maré, apesar de nem sempre ser possível visualizar este tipo de interacção nos dados obtidos.

Nesta Figura, optou-se por representar a variação da Temperatura no Cais da Foz do Arelho no dia 14 de Julho de 2002, por se tratar de uma amostragem em que existe uma ligação directa entre a Maré e o parâmetro mencionado.

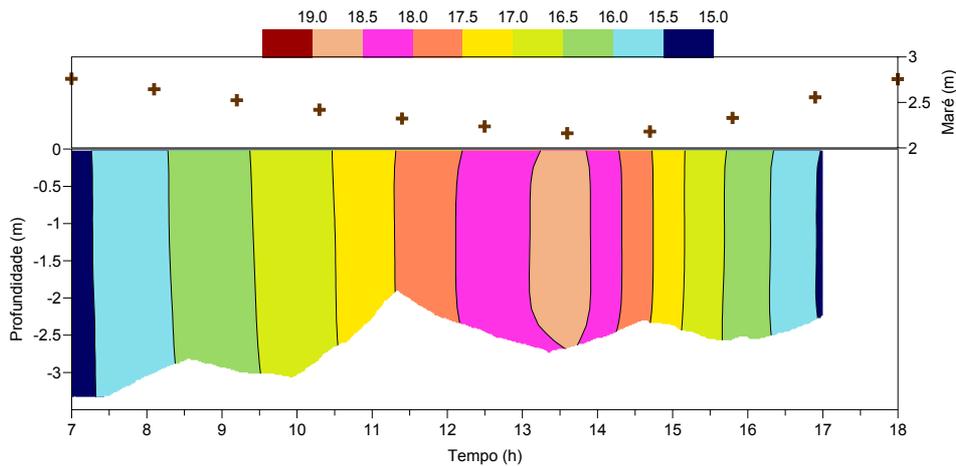


Figura nº 5.1.2 – Variação da Temperatura (°C) e da maré (m) no Cais da Foz do Arelho (as cruzes simbolizam a curva de maré ao longo do período de amostragem).

Nesta situação é evidente que em baixa-mar, a Temperatura aumenta, e em preia-mar há uma diminuição. O facto de durante o estófo da maré não se verificarem correntes fortes e por se tratar de uma época estival, em que há uma maior intensidade da Radiação Solar incidente, contribui para o aumento de Temperatura visível no gráfico. Neste local estas variações são mais perceptíveis devido ao facto de ser extremamente dinâmico.

Apesar de não se mostrarem os restantes gráficos de variação da Temperatura em termos diários, foi efectuada uma análise a esses dados, sendo por isso possível afirmar que na realidade a estratificação observada em alguns dias foi originada pela propagação da Maré, ou seja, as águas mais frias são introduzidas numa camada mais próxima do fundo, “empurrando” a massa de água mais quente para a superfície, tal como se pode verificar pela análise da Figura nº 5.1.3. Esta Figura apresenta os dados obtidos em 10 de Maio de 2001.

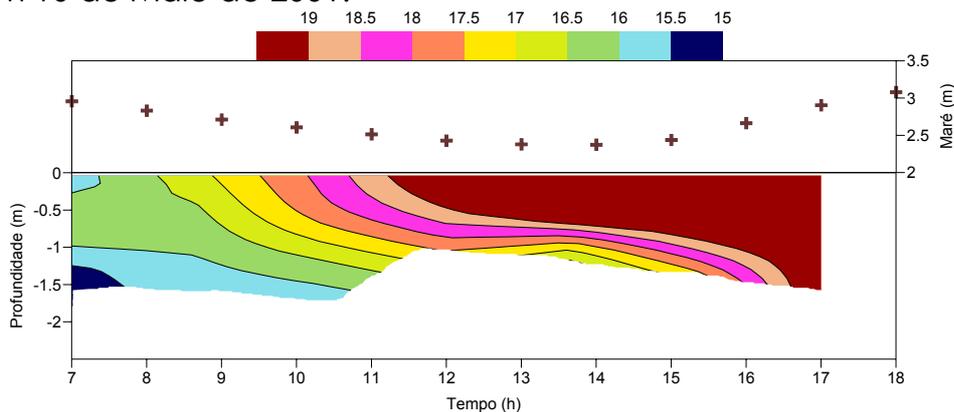


Figura nº 5.1.3 – Variação da Temperatura (°C) e da maré (m) no Braço da Barrosa (as cruzes simbolizam a variação da maré durante o período de amostragem).

Este fenómeno é visível nos dados do Bico dos Corvos e no Braço da Barrosa, sendo quase inexistente no Cais da Foz do Arelho.

Analisaram-se ainda os dados relativos à Salinidade na Lagoa de Óbidos, no gráfico da Figura nº 5.1.4, apresentam-se as médias deste parâmetro nos três locais de amostragem.

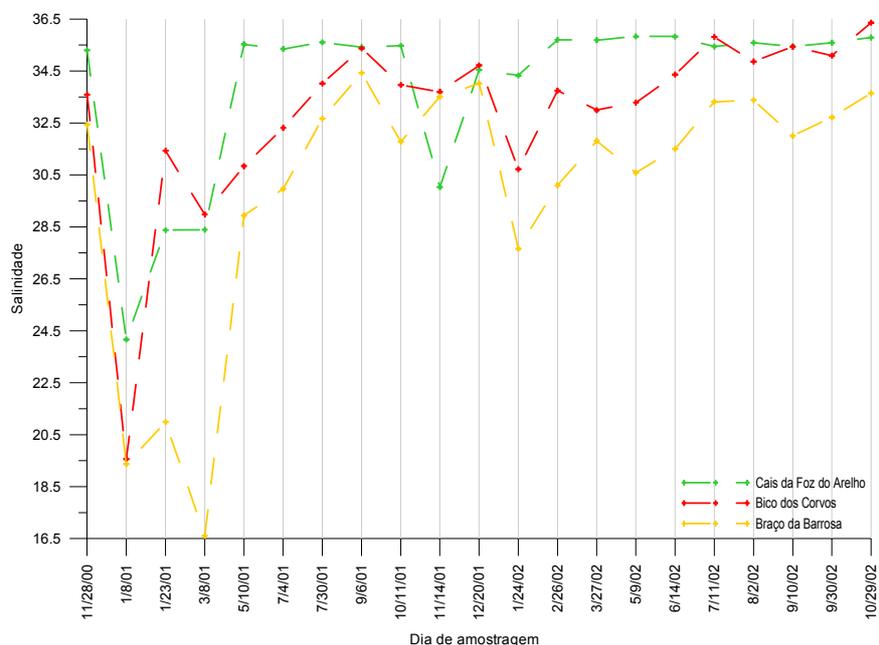


Figura nº 5.1.4 – Variação da Salinidade média nos três locais de amostragem no interior da Lagoa de Óbidos.

No que diz respeito a este parâmetro, é possível afirmar que não existe, aparentemente, uma variação sazonal do teor em sais no interior da Lagoa de Óbidos. É possível ainda verificar que os teores mais elevados são registados no Cais da Foz do Arelho e que é no Braço da Barrosa que se apresentam os valores mais reduzidos, o que seria de esperar, uma vez que é no Cais da Foz do Arelho que há uma maior influência da água proveniente da faixa costeira exterior à Lagoa. No Braço da Barrosa, estes valores devem-se sobretudo à reduzida influência que a onda de maré apresenta neste local, é aqui que a renovação da massa de água é menos sentida.

Exceptuando alguns casos pontuais (como os dos dias 23/01 e 08/03 de 2001), a Salinidade média no Bico dos Corvos apresenta uma variação com um comportamento semelhante ao do Braço da Barrosa.

Na Figura nº 5.1.5 apresenta-se a variação diária deste parâmetro em relação à Maré observada. Escolheu-se para esta representação a amostragem do dia 30 de Julho de 2001, obtida no Braço da Barrosa.

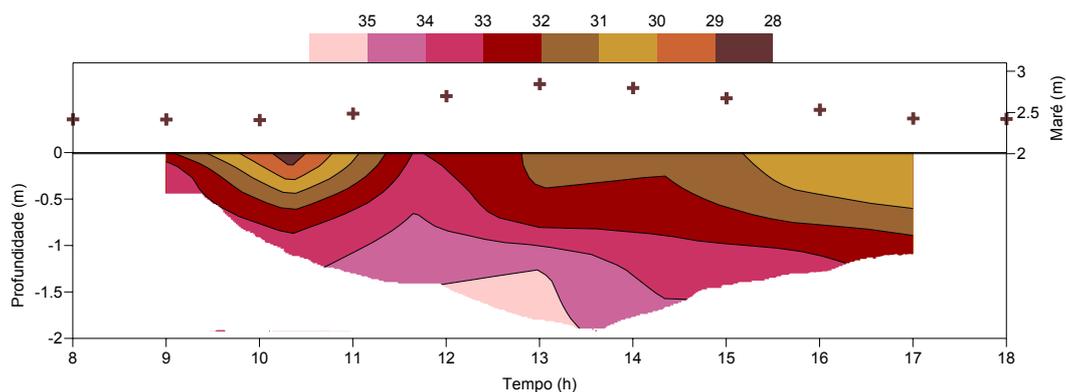


Figura nº 5.1.5 – Variação da Salinidade e da maré (m) no Braço da Barrosa (as cruzes simbolizam a variação da maré durante o período de amostragem).

A análise desta Figura indica que existe alguma correlação entre o teor de sais observado e a evolução da Maré, é possível confirmar que existe uma camada de água mais salina que se desloca junto ao fundo e que é impelida pela onda de Maré, forçando a água menos salina a permanecer junto à superfície.

Também neste caso, a estratificação observada foi o resultado da propagação da onda de Maré para o interior da Lagoa de Óbidos. Tal como já foi mencionado para a Temperatura, este fenómeno é quase inexistente no Cais da Foz do Arelho, mas assume uma grande expressão nos restantes locais de amostragem.

Apesar de existirem também dados relativos ao Oxigénio Dissolvido, optou-se por não apresentar a análise efectuada a este parâmetro por se tratarem, em muitos casos, de dados com qualidade duvidosa. A razão para tal acontecer, prende-se com problemas técnicos do sensor.

Este tipo de sensores necessita sempre de um manuseamento bastante especial, uma vez que têm de ser calibrados frequentemente, visto que a membrana tem tendência para saturar rapidamente, invalidando a partir daí todos os dados.

A partir da análise dos dados hidrológicos obtidos nos três locais de amostragem no interior da Lagoa de Óbidos, apresentam-se as seguintes ilações:

- O processo físico mais importante, que promove a mistura da coluna de água na Lagoa de Óbidos, é a propagação da onda de maré;
- A variação da Temperatura manifesta não só um carácter diário (devido à maré), mas também sazonal (sendo mais elevada no Verão e mais reduzida no Inverno);
- A variação do teor de sais na Lagoa de Óbidos apresenta um carácter diário, a alternância das estações, aparentemente, não impõe qualquer efeito neste parâmetro;
- A estratificação observada quer em termos de Temperatura, quer em Salinidade é imposta pela entrada de água mais fria e mais salina, que se

desloca junto ao fundo, obrigando a que a massa de água mais quente e menos salina, permaneça à superfície;

- O Cais da Foz do Arelho é o local onde se registam as maiores variações em termos de Temperatura, por outro lado, o Braço da Barrosa é o local onde há maior expressão nas variações em Salinidade;

5.2. Caudais

O deslocamento das massas de água lacustres depende essencialmente da sua morfometria, estratificação e exposição aos ventos (Wetzel, 1993).

As correntes lagunares são provocadas por elementos externos forçadores, tais como o vento, alterações na pressão atmosférica, gradientes de densidade ou influxo de água.

Nos sistemas lacustres pouco profundos, as variações de correntes devem-se essencialmente ao vento e ao fluxo de água para o seu interior. No caso da lagoa de Óbidos, é possível dizer que os principais mecanismos que promovem a circulação lagunar são as marés e o vento.

A caracterização da hidrodinâmica lagunar apresentada nesta tese, foi efectuada tendo como base os dados de três secções perpendiculares realizadas semestralmente durante 2000 e 2002. Nestes períodos obtiveram-se dados relativos a Marés Vivas (MV) e Marés Médias (Mm). É uma caracterização que pode não ser a mais adequada, devido ao facto de apenas se ter registado a corrente e os caudais no canal de navegação principal da Lagoa.

Apesar do escoamento, para o exterior ou o interior da Lagoa de Óbidos, se efectuar essencialmente por este canal, o canal localizado mais a Sul deve ser tido em conta numa análise detalhada.

De forma a possibilitar uma melhor compreensão dos dados obtidos, estes foram subdivididos em três partes, representando cada uma, um dos locais de amostragem, quer em situação de MV, quer em Mm. Desta forma apresentam-se os dados das secções efectuadas com o ADCP no Cais da Foz do Arelho, na Barra da Lagoa de Óbidos e no Topo do Canal.

5.2.1. *Cais da Foz do Arelho*

Os gráficos nesta secção apresentam no eixo à esquerda a variação do Caudal Total, em m^3/s , e no eixo da direita a Velocidade da Corrente registada em m/s . O azul mais escuro representa, em todos os gráficos, os dados obtidos em situação de Águas Vivas e o azul mais claro os dados registados em situação de Águas Médias.

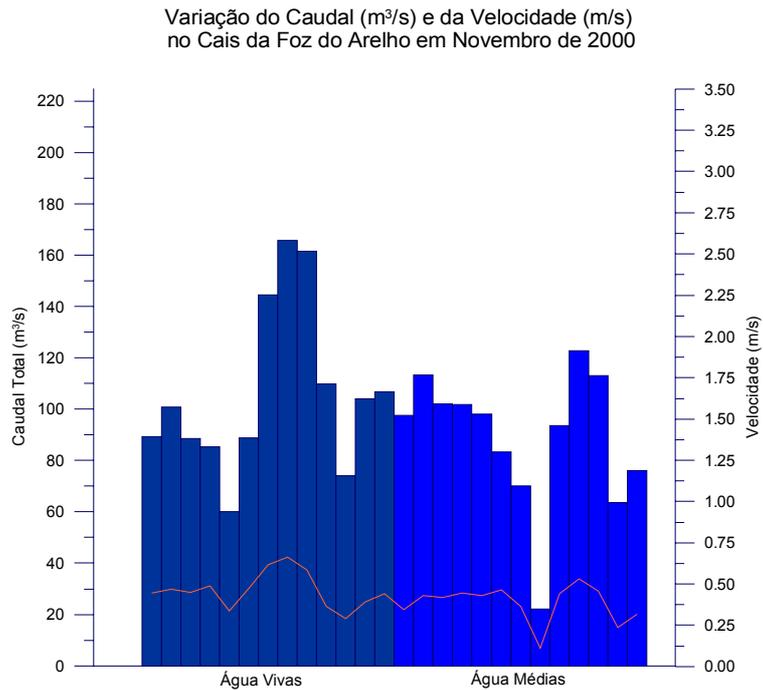


Figura nº 5.2.1.1 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Novembro de 2000.

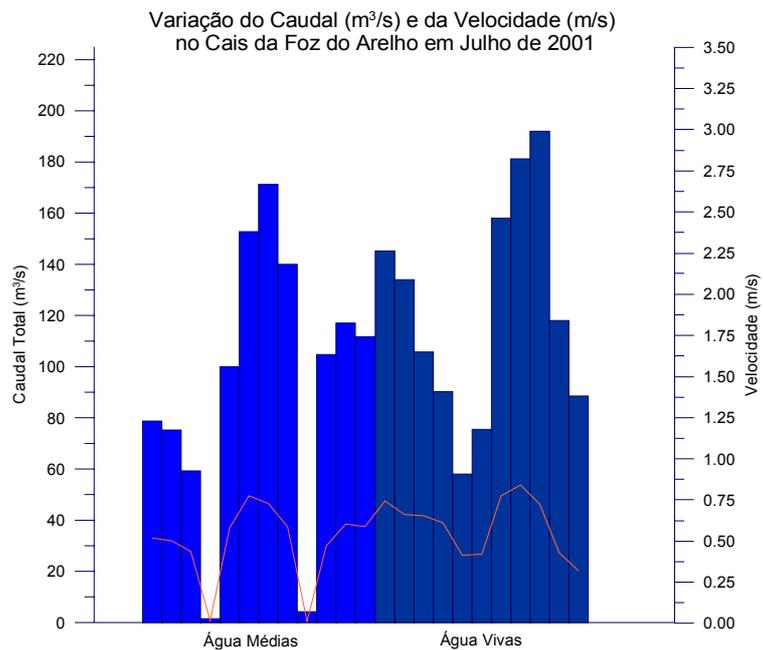


Figura nº 5.2.1.2 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Julho de 2001.

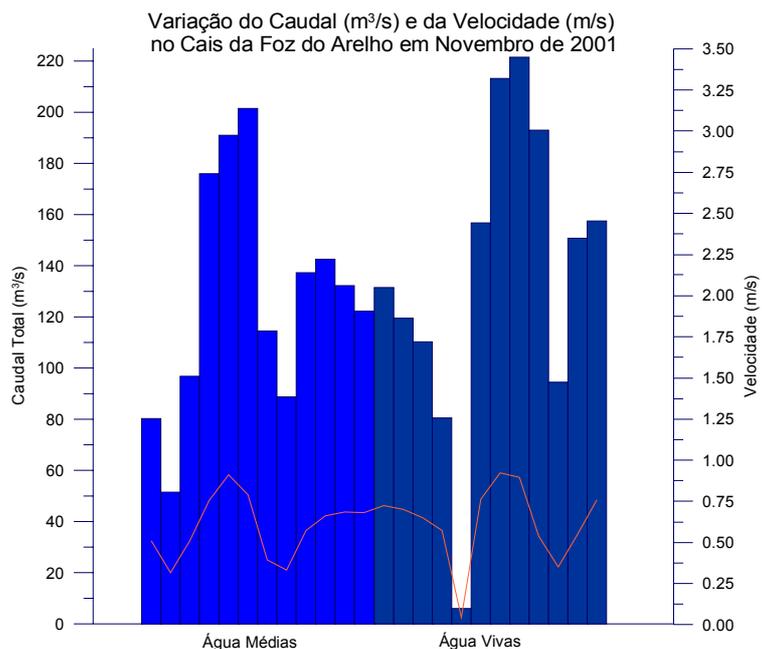


Figura nº 5.2.1.3 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Novembro de 2001.

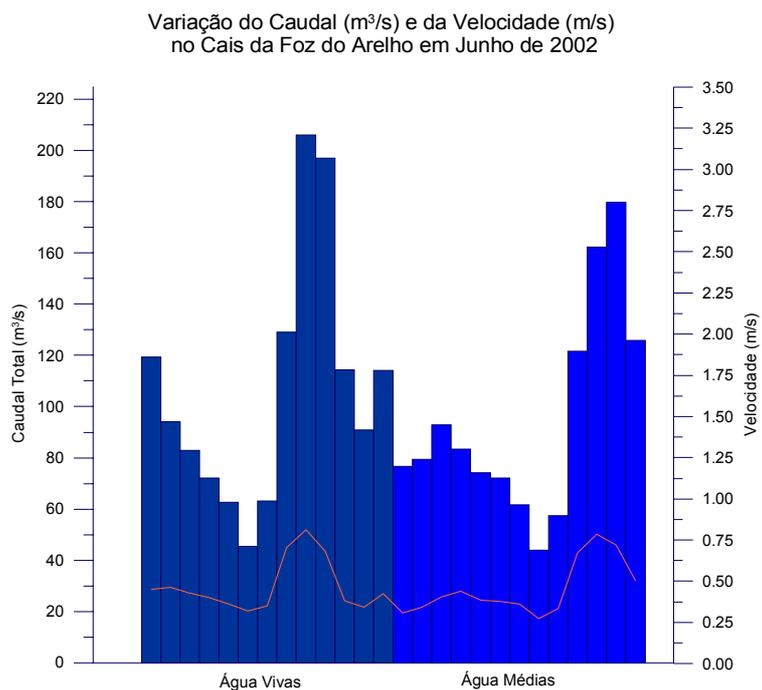


Figura nº 5.2.1.4 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Junho de 2002.

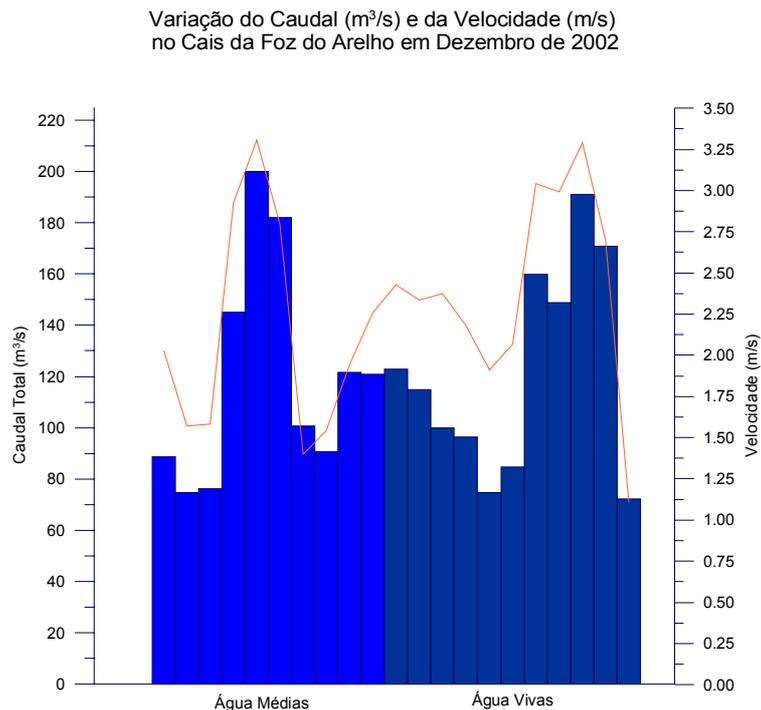


Figura nº 5.2.1.5 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Cais da Foz do Arelho em Dezembro de 2002.

Os valores máximos de Caudais registados no Cais da Foz do Arelho, rondaram os $220 \text{ m}^3/\text{s}$, em Novembro de 2001, relativamente às velocidades, os valores mais elevados foram registados em Dezembro de 2002, cerca de $3.5 \text{ m}/\text{s}$.

A partir da análise das figuras 5.2.1.1 a 5.2.1.5 não é possível concluir que a variação do Caudal apresente uma dependência da alternância entre Águas Vivas e Médias. Por outro lado, e como o registo de dados foi efectuado, sempre que possível, durante um ciclo de maré, observa-se que a um aumento de caudal está associado um aumento da velocidade da corrente, e que estes dois parâmetros variam ao longo do período em que foram efectuadas as observações.

É de notar ainda que apesar dos valores dos Caudais se manterem relativamente constantes durante o decorrer do projecto, o mesmo não acontece com os dados das Velocidades. De facto, verifica-se que em Dezembro de 2002, os valores de Velocidade de corrente registados são muito superiores aos registados nas restantes campanhas.

5.2.2. Barra da Lagoa de Óbidos

Tal como o referido anteriormente para as secções realizadas no Cais da Foz do Arelho, os gráficos apresentados para a Barra da Lagoa de Óbidos, apresentam no eixo da esquerda os valores de Caudal Total em m^3/s e no eixo da direita, a Velocidade da corrente em m/s .

De forma semelhante, as barras vermelhas correspondem aos dados obtidos durante uma situação de Águas Vivas e as barras laranja correspondem a uma situação de Águas Médias.

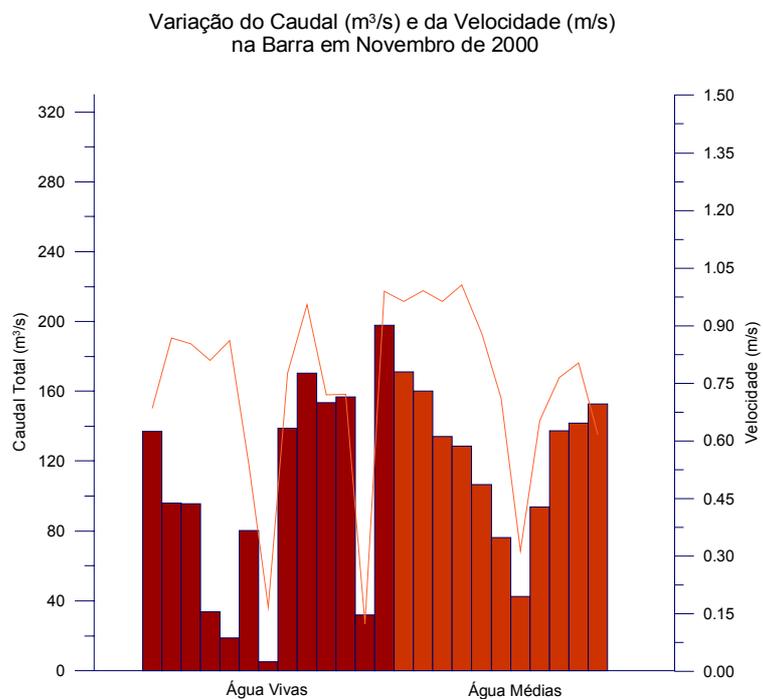


Figura nº 5.2.2.1 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) a Barra em Novembro de 2000.

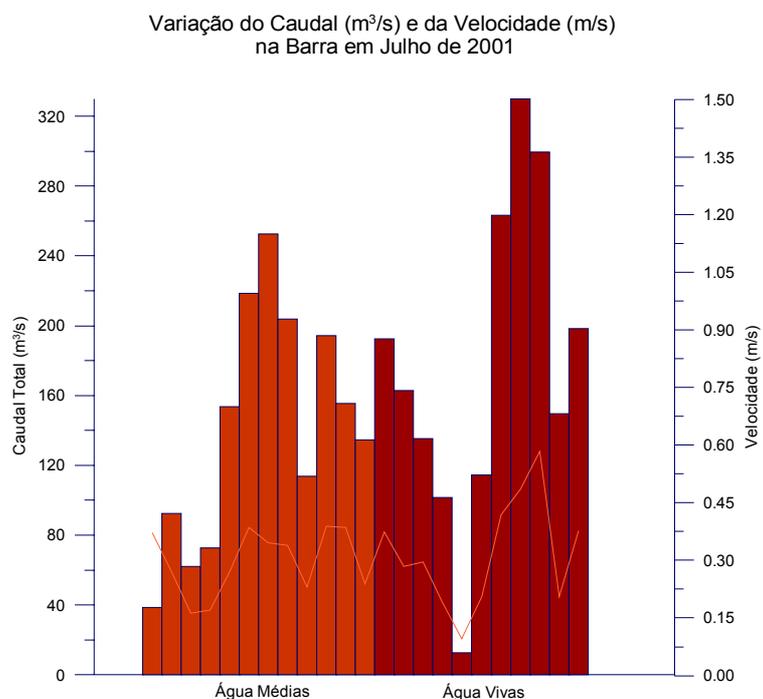


Figura nº 5.2.2.2 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) a Barra em Julho de 2001.

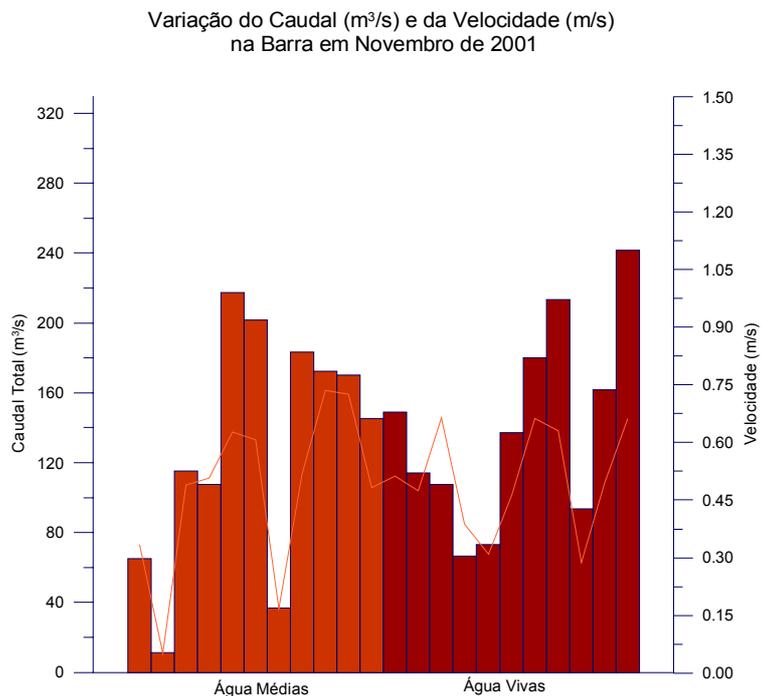


Figura nº 5.2.2.3 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) a Barra em Novembro de 2001.

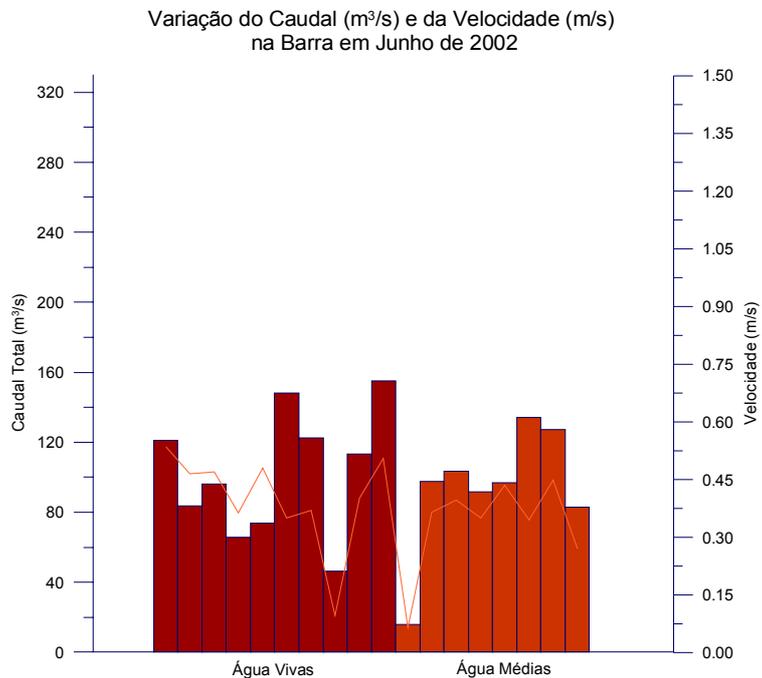


Figura nº 5.2.2.4 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) a Barra em Junho de 2002.

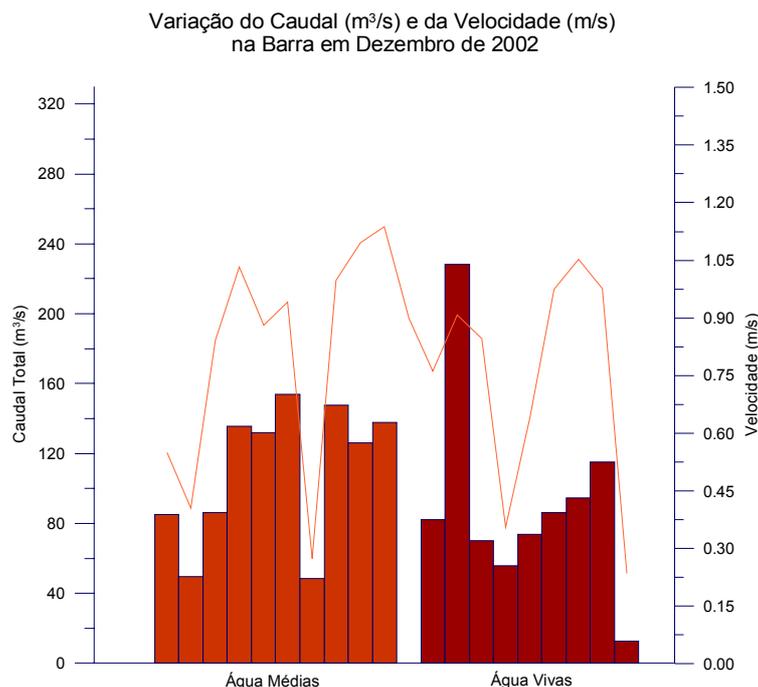


Figura nº 5.2.2.5 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) a Barra em Dezembro de 2002.

Analisando os gráficos 5.2.2.1 a 5.2.2.5, é possível identificar que os valores máximos de Caudal foram registados em Julho de 2001, com cerca de 330 m³/s e que a Velocidade máxima, cerca de 1.2 m/s, foi registada em Dezembro de 2002.

Também nesta secção os valores do Caudal aparentam ser independentes da alternância entre Águas Vivas ou Médias, atribuindo-se a variação apenas à maré semi-diurna observada na Lagoa.

A análise dos dados de Velocidade de corrente permite inferir que os valores registados na 1ª e na última campanha (Novembro de 2000 e Dezembro de 2002, respectivamente), são idênticos entre si e superiores aos registados no restante período de observação.

Relativamente aos Caudais, os valores mais elevados foram registados na 2ª e na última campanhas (Julho de 2001 e Dezembro de 2002, respectivamente).

5.2.3. Topo do Canal

Nesta secção, os gráficos são idênticos aos anteriores, no eixo da esquerda está representada a variação do Caudal Total, em m³/s, e no eixo da direita, a Velocidade da corrente, em m/s. A verde escuro estão os dados obtidos durante Águas Vivas e a verde claro durante Águas Médias.

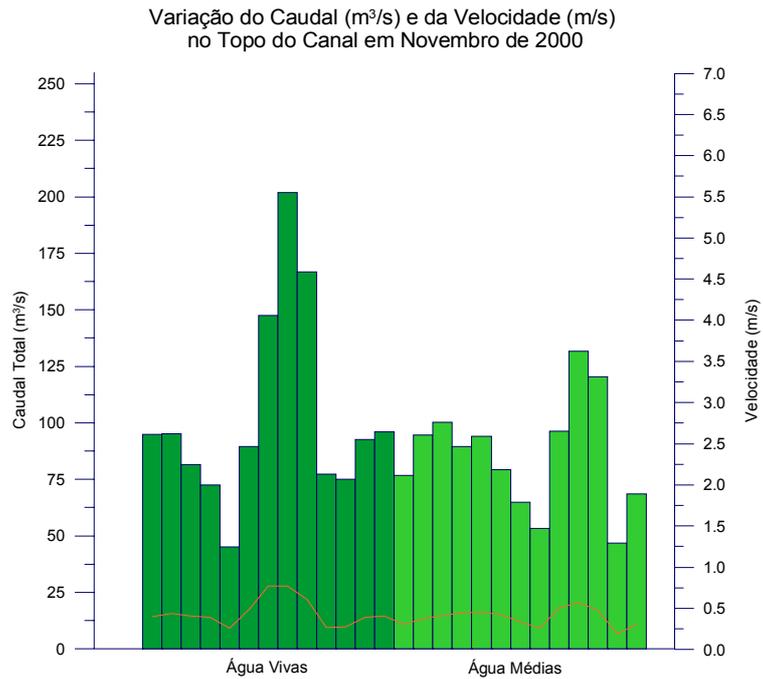


Figura nº 5.2.3.1 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Novembro de 2000.

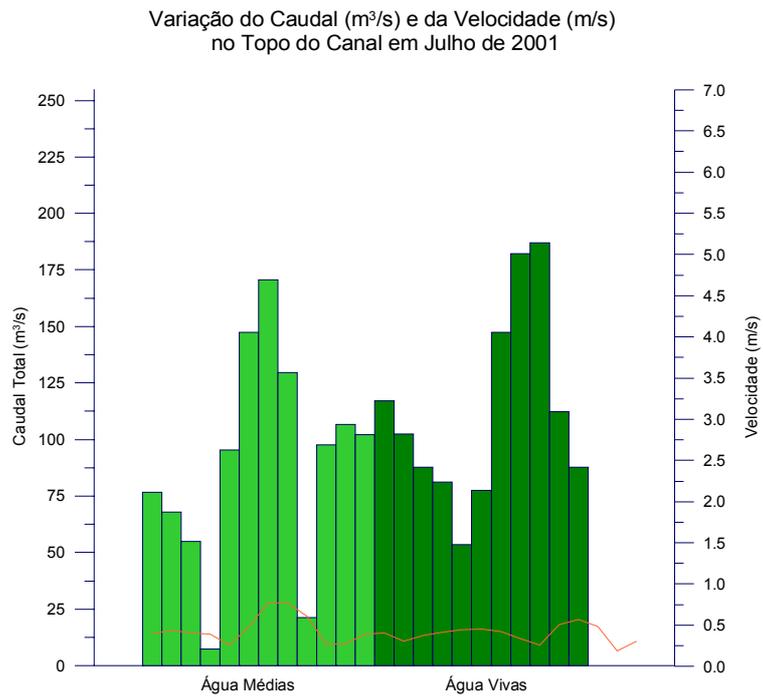


Figura nº 5.2.3.2 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Julho de 2001.

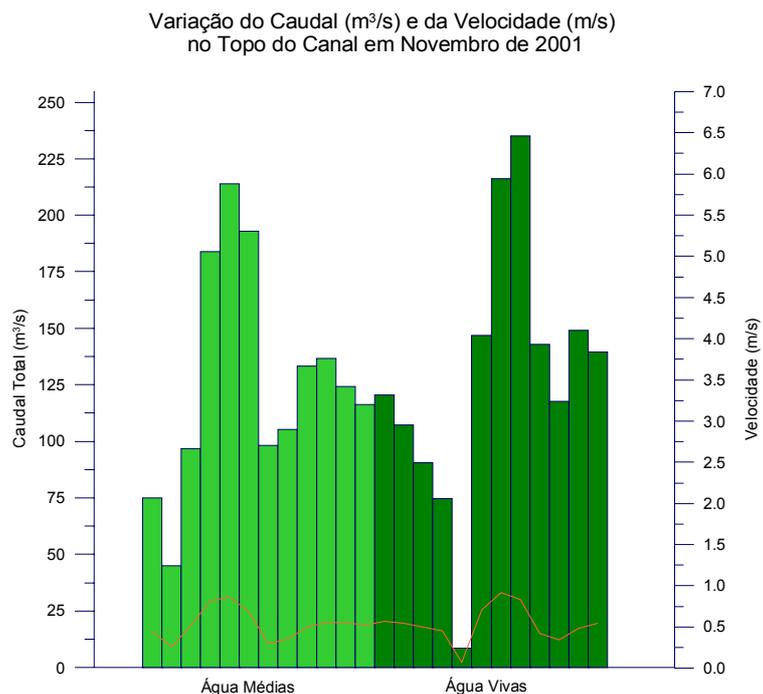


Figura nº 5.2.3.3 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Novembro de 2001.

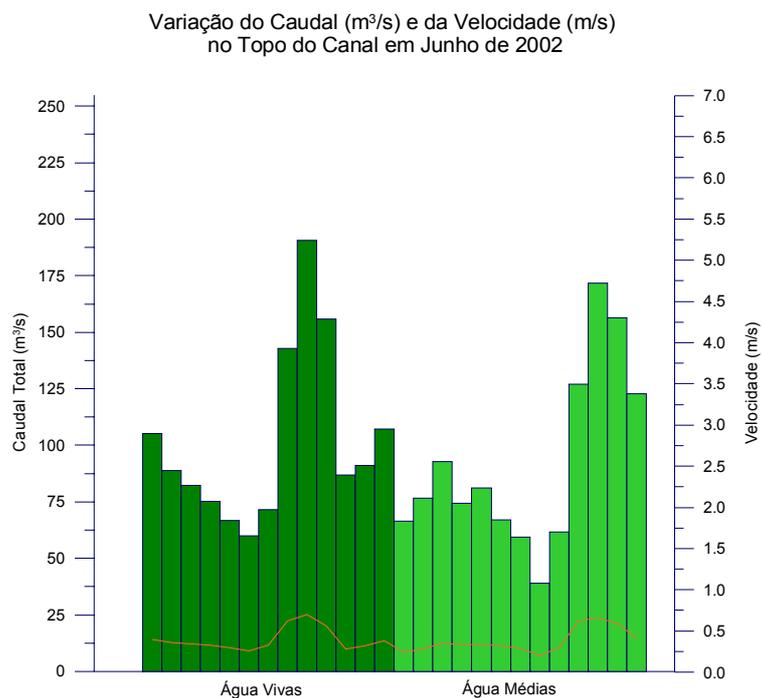


Figura nº 5.2.3.4 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Junho de 2002.

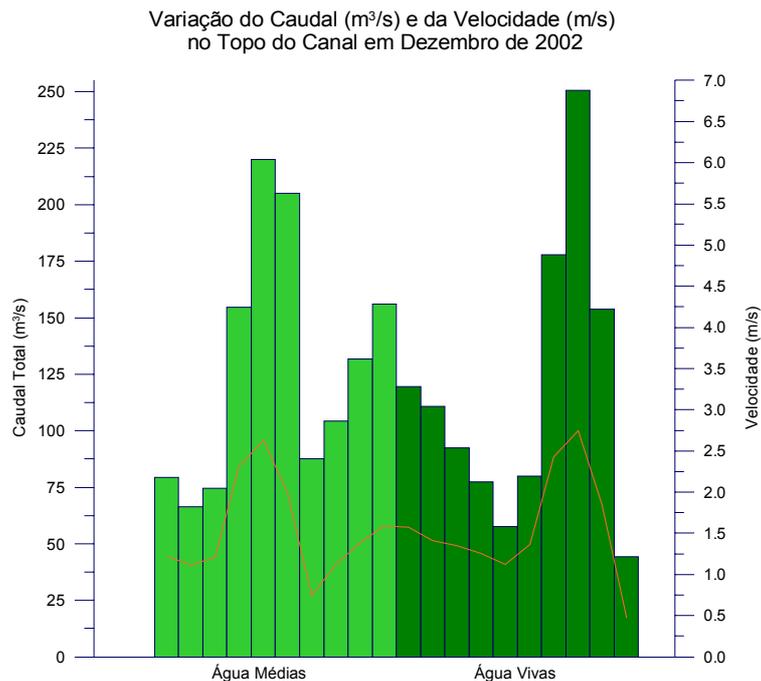


Figura nº 5.2.3.5 – Variação do Caudal (barras) e da Velocidade da corrente (linha) no Topo do Canal em Dezembro de 2002.

A análise dos gráficos 5.2.3.1. a 5.2.3.5 permite identificar que os valores máximos de Caudal registados em Dezembro de 2002, com cerca de 250 m³/s, e que os valores de Velocidade da corrente são máximos também nesta campanha (3 m/s).

Confrontando as velocidades registadas durante todo o período de observação, é possível inferir que os valores mais elevados foram obtidos em Dezembro de 2002 (à semelhança do que se passa no Cais da Foz do Arelho).

No que concerne aos Caudais, os valores mais elevados foram obtidos nas campanhas de Inverno, ou seja, em Novembro de 2001 e Dezembro de 2002.

5.3. Marés

No oceano, a onda mais longa é a que está associada aos movimentos periódicos de subida e descida do nível de água, facilmente identificáveis junto à costa (Sverdrup et al., 1970).

A maré terrestre pode ser definida, de uma forma geral, como a subida e descida periódicas da superfície do mar, devido a forças astronómicas (Doodson & Warburg, 1941). Segundo Knauss (1978), as marés são o resultado da diferença das forças gravitacionais, devido à mudança de posição do Sol e da Lua, relativamente a pontos posicionados na superfície terrestre.

Apesar destas forças serem as predominantes, no que diz respeito à caracterização da maré em determinado ponto do globo, os factores não-astronómicos (e.g. configuração da linha de costa, profundidade local, topografia submarina, factores meteorológicos e hidrológicos) têm também alguma relevância, relativamente à amplitude, intervalo entre preia e baixa-mar e período da maré (<http://www.co-ops.nos.noaa.gov/restles1.htm>).

A onda de maré é na realidade a resultante de um somatório de outras ondas, também designadas por marés parciais (Open University, 1989), que correspondem a um determinado período de um movimento astronómico envolvendo o sistema Terra-Sol-Lua.

As marés podem ser divididas em espécies, de acordo com a sua periodicidade, existindo por isso as espécies diurnas (com períodos de cerca de um dia), as semi-diurnas (cujo período é cerca de meio dia) e assim sucessivamente (Doodson et al., 1941).

A previsão da onda de maré é efectuada através da análise dos seus constituintes harmónicos (ondas definidas por senos de uma dada frequência) e respectivas amplitudes. Esta análise pode ser executada através da implementação de três métodos distintos: harmónico (trata as marés observadas como uma soma finita de constituintes harmónicos, cujas velocidades angulares e fases são determinadas a partir de argumentos astronómicos), não-harmónico (relaciona os períodos de preia e baixa-mar e as suas alturas, com as fases da Lua além de outros parâmetros astronómicos) e o sistema de resposta de frequência dependente de um mecanismo forçador (Open University, 1989).

Em zonas de profundidade reduzida, como p.e. em estuários, a progressão da onda de maré é modificada devido à perda de energia resultante da fricção exercida pelo fundo (Pugh, 1987).

Segundo Doodson et al. (1941), a distorção exercida na onda de maré em zonas de profundidade reduzida, é suficiente para impedir a determinação de uma série de constituintes de águas pouco profundas.

A propagação da onda de maré do largo para o interior de uma lagoa costeira pode não estar em fase, de facto, segundo Hill (1994), os retardos verificados em sistemas deste tipo podem ir até 3 dias.

Os estudos efectuados permitem afirmar que durante as MV, se dá a ocorrência de correntes muito intensas, transportando maiores volumes de água para o interior das lagoas, obrigando a que os seus níveis sejam superiores. Durante as MM, dá-se o oposto, as correntes são mais fracas e os níveis médios tendem a ser mais reduzidos (Hill, 1994).

O aumento nos níveis lagunares durante as MV significa que durante a vazante no mar, ocorre um desnível da superfície das lagoas para o mar, o que tem como consequência um aumento da resistência friccional, impedindo a saída de água do interior do sistema. O oposto ocorre quando há uma mudança na maré, os níveis lagunares são mais baixos do que o exterior, e por isso há uma maior entrada de água. Segundo Hill (1994), os

níveis lagunares elevados verificados durante as MV favorecem a entrada de água nas lagoas.

Ainda segundo o mesmo autor, os retardos da maré nas lagoas têm um papel biológico crucial, visto que os diferentes animais que habitam nestes locais são dependentes das fases da maré e da sua sucessão.

No caso dos dados de maré obtidos na Lagoa de Óbidos, optou-se por não se efectuar uma análise harmónica devido ao facto dos registos não possuírem um período suficientemente extenso que permitisse a identificação das características base do regime de maré naquele local, e ainda porque não seria possível, à posteriori, comparar as constantes com outras obtidas a partir de um marégrafo costeiro próximo.

O trabalho de análise dos dados de maré permitiu a extracção de algumas ilações, que serão apresentadas no fim deste subcapítulo.

Após a visualização de todos os registos, para os três locais de amostragem na Lagoa de Óbidos e dos dados do ADCP, resolveu-se analisar e apresentar apenas aqueles em que existia uma sobreposição temporal (o tempo é representado em dias julianos).

Em todos os gráficos apresentados, as características gerais são semelhantes, no eixo da esquerda representa-se a elevação da superfície registada pelo ADCP fundeado ao largo, no eixo da direita a elevação registada pelos marégrafos instalados no interior da Lagoa.

5.3.1. Ano de 2000: 24/11 a 19/12

A Figura nº 5.3.1.1 representa a evolução do nível da superfície registada pelos três marégrafos instalados no interior da lagoa, e pelo ADCP fundeado ao largo, nas posições mencionadas na Tabela nº 4.3.1 e 4.3.2, respectivamente. Em 2000 a sobreposição temporal destes quatro registos ocorreu apenas durante cerca de 27 dias.

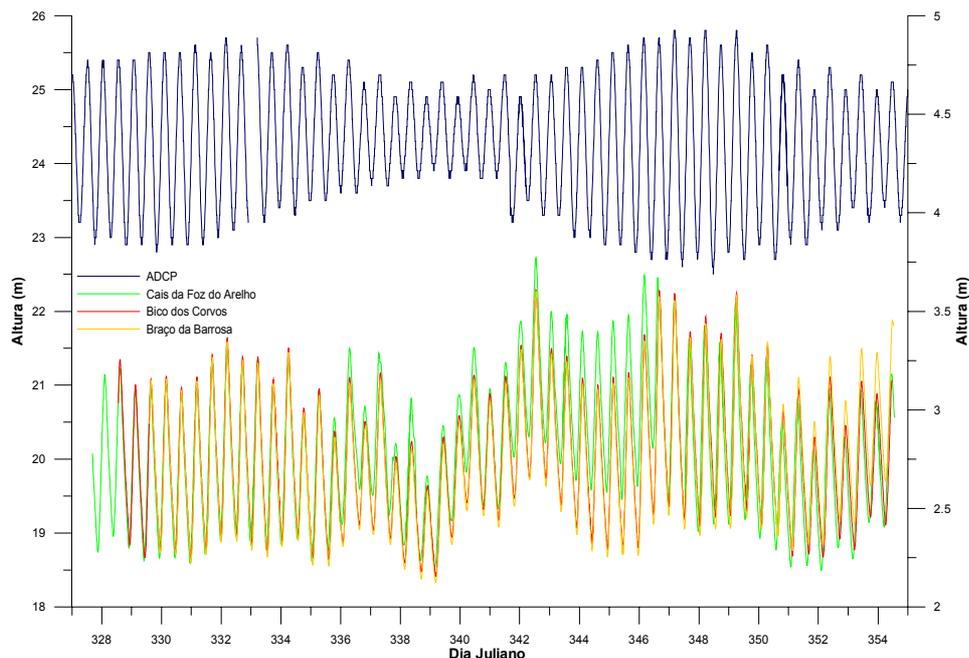


Figura nº 5.3.1.1 – Variação do nível da superfície registada pelos marégrafos instalados no interior da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo.

Através da Figura nº. 5.3.1.1, é possível afirmar que durante MV, as amplitudes variam em cerca de 1m, enquanto que em MM, estes valores são menores, cerca de 0.5m para os três locais de amostragem no interior da Lagoa de Óbidos.

Relativamente ao nível lagunar, verifica-se que, no Cais da Foz do Arelho, os valores oscilam entre 2.6 – 3.1 m e no Bico dos Corvos e Braço da Barrosa, estes valores encontram-se entre 2.5 – 2.9 m.

Os dados registados pelo ADCP permitem inferir que as amplitudes em MM são aproximadamente 1 m e em MV estes valores variam entre os 2.5 – 3 m.

Uma análise aos dados permite ainda apresentar os seguintes factos:

LOCAL	MÁXIMO (m)	MÍNIMO (m)	MÉDIA (m)
Cais da Foz do Arelho	3.771	2.185	2.813
Bico dos Corvos	3.607	2.157	2.750
Braço da Barrosa	3.602	2.125	2.744

Tabela nº 5.3.1.1 – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos.

5.3.2. Ano de 2001: 20/09 a 17/11

A sobreposição temporal em 2001 ocorreu durante quase 50 dias, tendo sido possível obter registos de, pelo menos, 3 MM e 2 MV completas. Na Figura nº 5.3.2.1, grafica-se o período compreendido entre 20 de Setembro e 17 de Novembro de 2001.

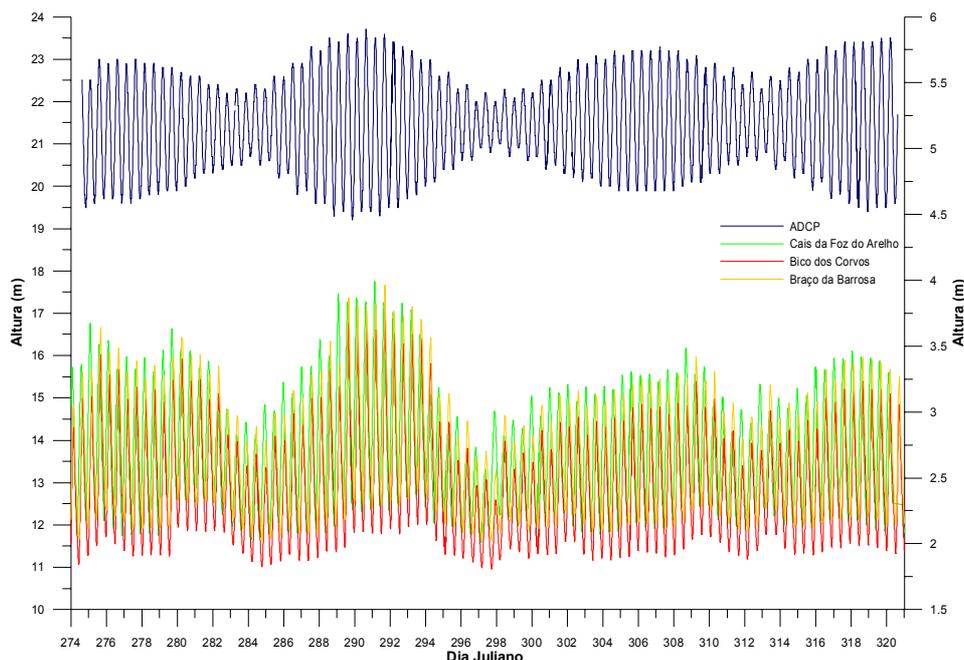


Figura nº 5.3.2.1 – Variação do nível da superfície registada pelos marégrafos instalados no interior da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo.

LOCAL	MÁXIMO (m)	MÍNIMO (m)	MÉDIA (m)
Cais da Foz do Arelho	3.991	2.012	2.708
Bico dos Corvos	3.754	1.808	2.456
Braço da Barrosa	3.963	2.023	2.661

Tabela nº 5.3.2.1 – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos.

Em situação de MV, os dados obtidos pelo ADCP, permitem inferir que as amplitudes máximas rondaram os 3 – 4 m, e que durante a MM, estes valores foram cerca de 1.5 – 2 m.

A análise dos períodos de MV e MM nos marégrafos no interior da Lagoa de Óbidos, indica que as amplitudes no Cais da Foz do Arelho variaram entre os 1 – 1.5 m no primeiro caso e 0.5 – 0.7 m no segundo. Relativamente aos dados do Bico dos Corvos e do Braço da Barrosa, é possível dizer que os valores são semelhantes, apesar dos níveis serem ligeiramente diferentes, tal como apresentado na Tabela nº 5.3.2.1.

A partir dos dados dos marégrafos obtiveram-se informações relativas aos níveis lagunares, pelo que no Cais da Foz do Arelho, estes valores oscilaram entre os 2.4 – 3 m, no Bico dos Corvos entre 2.2 – 2.8 m e no Braço da Barrosa entre 2.5 – 2.9 m.

5.3.3. Ano de 2002: 05/03 a 17/04, 19/07 a 27/08

A 1ª sobreposição analisada corresponde ao período compreendido entre 5 de Março e 17 de Abril de 2002. Neste período, registaram-se dois ciclos quinzenais completos, visualizando-se no gráfico da Figura nº 5.3.3.1.

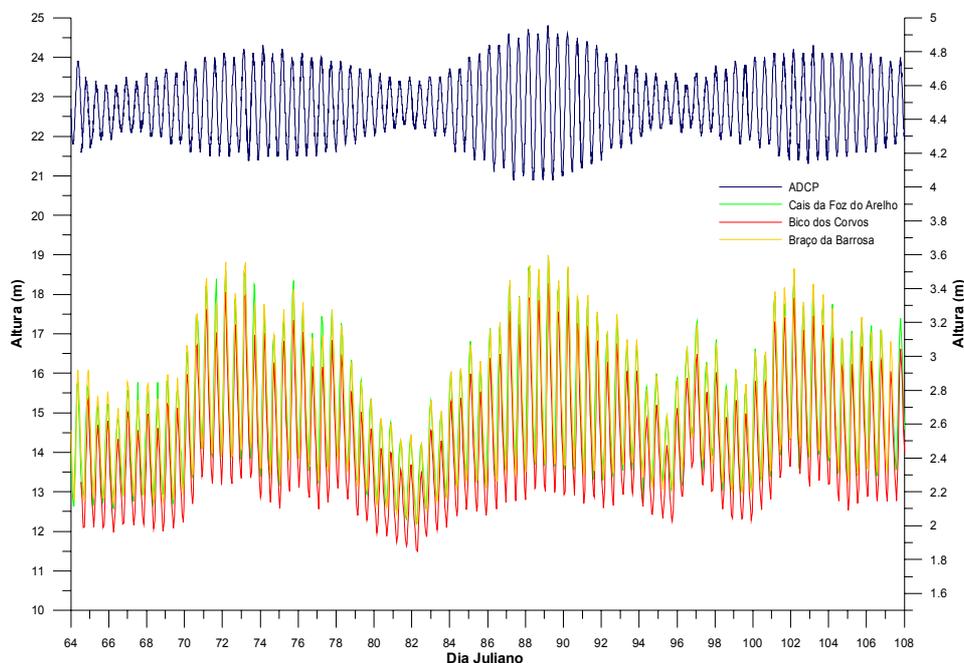


Figura nº 5.3.3.1 – Variação do nível da superfície registada pelos marégrafos instalados no interior da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo.

A análise estatística executada nestes dados é apresentada na Tabela nº 5.3.3.1.

LOCAL	MÁXIMO (m)	MÍNIMO (m)	MÉDIA (m)
Cais da Foz do Arelho	3.598	2.017	2.659
Bico dos Corvos	3.432	1.849	2.449
Braço da Barrosa	3.599	2.016	2.660

Tabela nº 5.3.3.1 – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos.

A análise das amplitudes registadas, indica que, no Cais da Foz do Arelho, em MV os valores se aproximaram de 1.0 m e em MM de 0.5 m. No Bico dos Corvos e no Braço da Barrosa, as amplitudes foram semelhantes, ou seja, cerca de 1.0 m em MV e 0.3 m em MM.

Nos dados do ADCP fundeado ao largo, as amplitudes registadas variaram entre os 2.5 m em situação de MV e 1.5 m em MM.

Relativamente aos níveis lagunares, é possível afirmar que a oscilação verificada no Cais da Foz do Arelho e no Braço da Barrosa, apresentou os seguintes valores de 2.4 – 2.8 m, sendo um pouco mais reduzidos no Bico dos Corvos, entre 2.2 – 2.6 m.

A 2ª sobreposição analisada compreende o período entre 19 de Julho e 27 de Agosto (cerca de 40 dias). Na Figura nº 5.3.3.2 apresenta-se o gráfico correspondente.

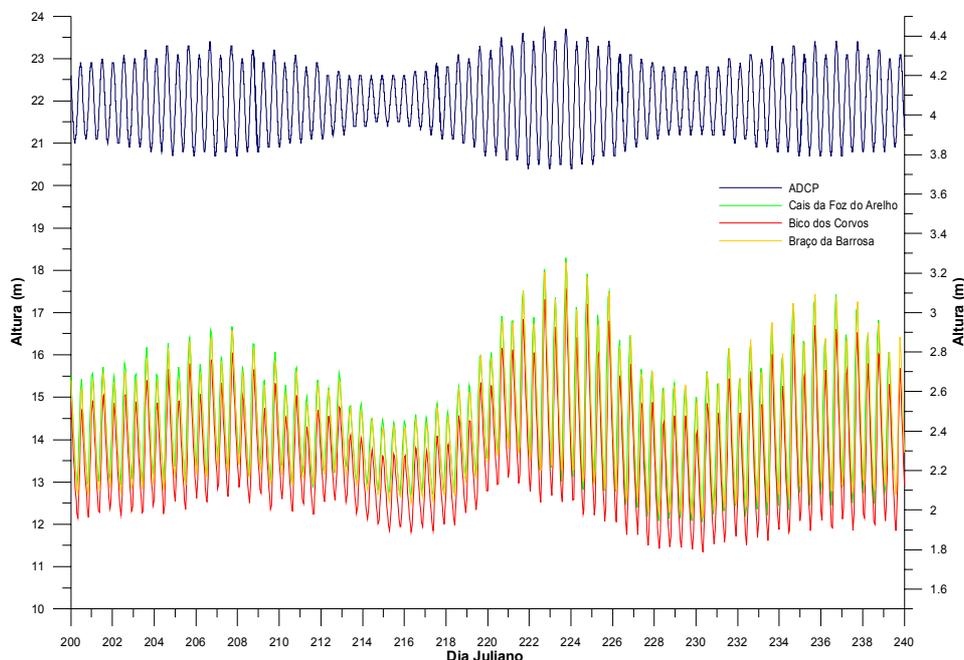


Figura nº 5.3.3.2 – Variação do nível da superfície registada pelos marégrafos instalados no interior da Lagoa de Óbidos e pelo correntómetro fundeado ao largo.

A análise dos dados do ADCP permite inferir que as amplitudes registadas oscilaram entre 1.0 e 3.0 m durante MM e MV, respectivamente. No interior da Lagoa, estas amplitudes oscilaram entre 0.3 m em MM e 0.7 m em MV, no Cais da Foz do Arelho e entre 0.7 m em MV e 0.5 m em MM, tanto no Bico dos Corvos como no Braço da Barrosa.

Em termos estatísticos, os valores obtidos nos marégrafos no interior da Lagoa de Óbidos, são apresentados na Tabela nº 5.3.3.2.

LOCAL	MÁXIMO (m)	MÍNIMO (m)	MÉDIA
Cais da Foz do Arelho	3.278	1.941	2.442
Bico dos Corvos	3.123	1.787	2.274
Braço da Barrosa	3.255	1.959	2.417

Tabela nº 5.3.3.2 – Dados estatísticos da análise da altura de maré registada no interior da Lagoa de Óbidos.

A medição dos níveis no interior da Lagoa, no Cais da Foz do Arelho, oscilou entre os 2.3 - 2.7 m, no Bico dos Corvos, estes valores são menores, entre 2.1 - 2.5 m e no Braço da Barrosa variam entre 2.2 - 2.6 m.

Segundo Onofre (2001), a onda de maré sofre um atraso na sua propagação do exterior para o interior da Lagoa de Óbidos.

A onda de maré entra na Lagoa de Óbidos pela foz, junto ao Cais da Foz do Arelho e propaga-se para o interior, sofrendo modificações no seu comportamento devido aos obstáculos que se fazem sentir no seu “percurso” (p.e. baixios, meanderização dos canais).

Segundo o mesmo autor, estes retardos variam entre 2h30m e 3h15m no Cais da Foz do Arelho, tratando-se de uma situação de preia ou baixa-mar. No Bico dos Corvos, os retardos da maré variam entre 3h00m em preia-mar, atingindo as 3h50m em baixa-mar, no Braço da Barrosa, os períodos dos retardos são semelhantes aos verificados no Bico dos Corvos.

Após a apresentação destes resultados é possível tecer as seguintes considerações relativamente ao comportamento da onda de maré no sistema lagunar de Óbidos e zona costeira adjacente:

- A maré registada pelo ADCP, no exterior da Lagoa de Óbidos, apresenta as mesmas características que no resto da costa portuguesa, ou seja ciclos quinzenais de Marés Vivas e Marés Mortas e ciclos semi-diurnos (duas preias-mar e duas baixas-mar por dia);
- A maré no interior da Lagoa de Óbidos apresenta características semi-diurnas, no entanto, o ciclo quinzenal de Marés Vivas – Marés Mortas apresenta alguma distorção, possivelmente devido aos efeitos não-lineares típicos de águas pouco profundas, mencionados anteriormente;
- A partir dos dados dos marégrafos no interior da Lagoa, é possível inferir que os valores máximos são registados no Cais da Foz do Arelho (zona mais exposta à entrada de água), seguido do Braço da Barrosa (eventualmente através da contribuição de um escoamento do Rio da Cal, no Bico dos Corvos os máximos, apesar de serem semelhantes aos do Braço da Barrosa, são ligeiramente inferiores (possivelmente por se tratar de uma zona mais espraçada);
- Relativamente aos valores mínimos, a situação é ligeiramente diferente, o marégrafo do Cais da Foz do Arelho é o que regista os menores valores (devido também à maior exposição ao mar), os valores mais elevados são registados no Braço da Barrosa, seguido do Bico dos Corvos;
- A análise das amplitudes entre preia e baixa-mar, permite inferir que nos dados obtidos pelo ADCP, os valores são maiores em situação de Maré Viva do que em Maré Morta, como aliás seria expectável. No interior da Lagoa de Óbidos, os valores são muito semelhantes, em ambas as situações de maré;
- A partir de uma análise à variação dos níveis lagunares, facilmente se confirma que a Lagoa de Óbidos não é um sistema homogéneo e estável, há períodos de maior acumulação de água, e outros em que os processos de escoamento para o seu exterior são mais intensos.

- Apesar dos dados apresentados relativamente aos caudais afluentes à Lagoa de Óbidos (ver secção 3.2. Enquadramento geográfico - a Lagoa de Óbidos), em que se afirma que o afluente com maior peso é o que desagua no Bico dos Corvos, os dados apresentados relativamente aos níveis lagunares, parece ser contraditório a este facto. Ou seja, os níveis mais elevados no Braço da Barrosa podem ser consequência do caudal afluente neste local, ou ainda pela maior retenção de água nesta bacia. Desta forma, supõe-se que, à data da realização das amostragens, o afluente com maior importância será o que desagua no Braço da Barrosa e não o do Bico dos Corvos.

- O período de tempo compreendido entre fases sucessivas de preia e baixa-mar permitem inferir que, na Lagoa de Óbidos, este período é desigual. A maré apresenta uma fase de baixa-mar com cerca de 7 h, aproximadamente, enquanto que a preia-mar é limitada em 5 h.

- Por último, refere-se ainda que a onda de maré sofre um retardo na sua propagação para o interior lagunar, atraso esse que varia entre 2 a 4 h, dependendo do local e da fase de maré considerados.

5.4. Batimetria e Sedimentos

Portugal apresenta quase 1/3 da sua área continental banhada pelas águas do Oceano Atlântico. Apesar da plataforma possuir uma espessura que varia entre os 10 e os 65 Km (inferior à média mundial), está relativamente bem estudada, apresentando características que merecem destaque, como o Canhão da Nazaré, por exemplo.

A região costeira que abarca a Lagoa de Óbidos, é extremamente rochosa, com escarpas sujeitas à acção violenta do mar e do vento. São poucas as praias aqui existentes, situando-se somente em zonas onde existem cursos de água ou baías (Alveirinho Dias, 1987).

Relativamente à orientação da costa, pode-se afirmar que, *grosso modo*, é de NNE-SSW. Segundo Alveirinho Dias (1987), esta região está em recuo, facto que pode ser visível pela erosão que ocorre mais intensamente nas bases das arribas do que nos seus limites superiores.

O caso da Lagoa de Óbidos é oposto a este recuo, de facto, este corpo lagunar tende a fechar e a transformar-se em areal, no caso da intervenção humana, que está planeada, ser ineficaz para combater a evolução natural desta Lagoa.

Segundo Wetzel (1993), a geomorfologia lagunar é definida por aspectos de natureza física, química e biológica, desempenhando por isso um papel extremamente importante no seu metabolismo. São as características geomorfológicas que controlam, por exemplo, a natureza da drenagem, os *inputs* de nutrientes e a razão entre o volume de água que influi e o seu tempo de renovação.

Pode-se afirmar, de uma forma geral, que as lagoas costeiras resultam de barras na foz de antigos estuários que foram inundados aquando da subida do nível das águas marinhas, ou que são provenientes de barras resultantes da acumulação de material terrestre.

Os sedimentos lagunares e estuarinos tendem a agrupar-se em diferentes zonas, de acordo não só com o tamanho das partículas que os compõem, mas também com a velocidade das correntes e, conseqüentemente, com a taxa de deposição.

Os sedimentos encontrados em zonas lacustres podem, segundo Wetzel (1993) ser divididos em três tipos: a) matéria orgânica, b) partículas minerais e c) matéria inorgânica de origem biogénica. Regra geral, a matéria orgânica existente nestas zonas apresenta uma composição semelhante à dos solos vizinhos, pois resulta do escoamento terrestre circundante.

Um dos factos que mais contribui para a elevada produtividade lagunar é a reduzida profundidade, nestes casos, há uma maior área de sedimento por volume de água (Wetzel, 1993).

As zonas de comunicação com o mar são extremamente importantes, no sentido em que é devido à sua evolução que se mantêm ou não a maior parte das características dinâmicas, hidrológicas, p.e..

Segundo Gao *et al* (1994), a estabilidade das zonas de comunicação com o mar neste tipo de sistemas costeiros depende de factores como o prisma de maré, a duração das baixas e das preias-mar, das descargas de água fluvial e ainda dos fluxos sedimentares

A evolução da área lagunar de Óbidos está relativamente bem documentada. As referências mais antigas datam do tempo dos romanos, quando César aproveitou a extensão da Lagoa, naqueles tempos até ao Castelo de Óbidos, para conquistar território que de outra forma seria inacessível pelo mar.

Tal como outras lagoas costeiras, ou mesmo alguns estuários, esta Lagoa encontra-se num lento processo de desaparecimento, processo esse que se manifesta não só pela perda de áreas inundadas, mas também pelo encerramento da zona ligação ao mar (a “Aberta”).

Os dados resultantes do processo de sondagem na Lagoa de Óbidos, foram utilizados, após o processamento e validação, na construção de um modelo digital de terreno (DTM), que foi efectuado com uma grelha espaçada de 50m. A análise posterior aos dados baseou-se neste modelo.

Numa primeira fase, efectuou-se a diferença de superfícies entre levantamentos consecutivos, obtendo-se assim 5 gráficos semestrais que representam a evolução das formas de fundo na Lagoa de Óbidos entre Junho de 2000 e Outubro de 2002, gráficos estes que apresentam a evolução lagunar com uma periodicidade semestral.

A legenda de cores das Figuras 5.4.1 a 5.4.5 é comum, sendo apresentada após a última Figura. Optou-se por apresentar as zonas

submersas em tom de Verde e as zonas emersas no tom das cores de terra, as linhas a vermelho são construções existentes na Lagoa de Óbidos.

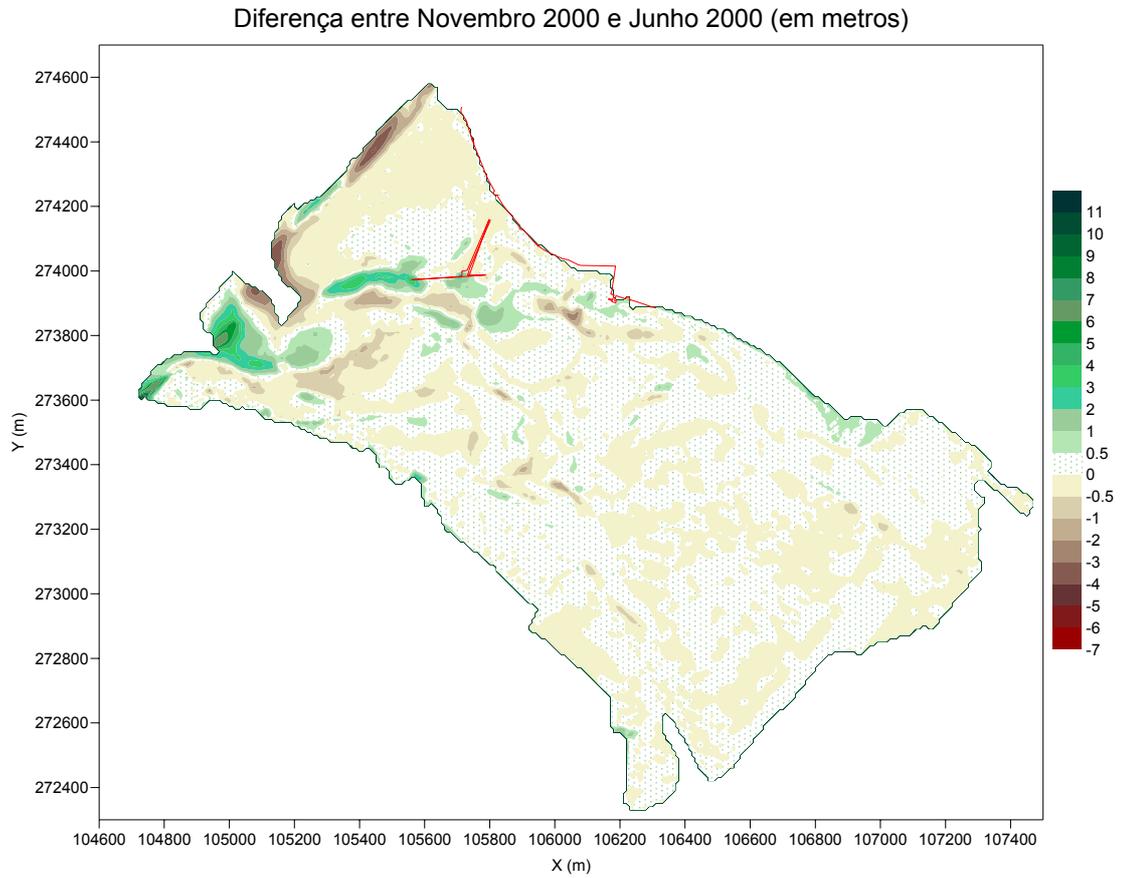


Figura nº 5.4.1 – Implantação da diferença de superfícies entre Novembro e Junho de 2000.

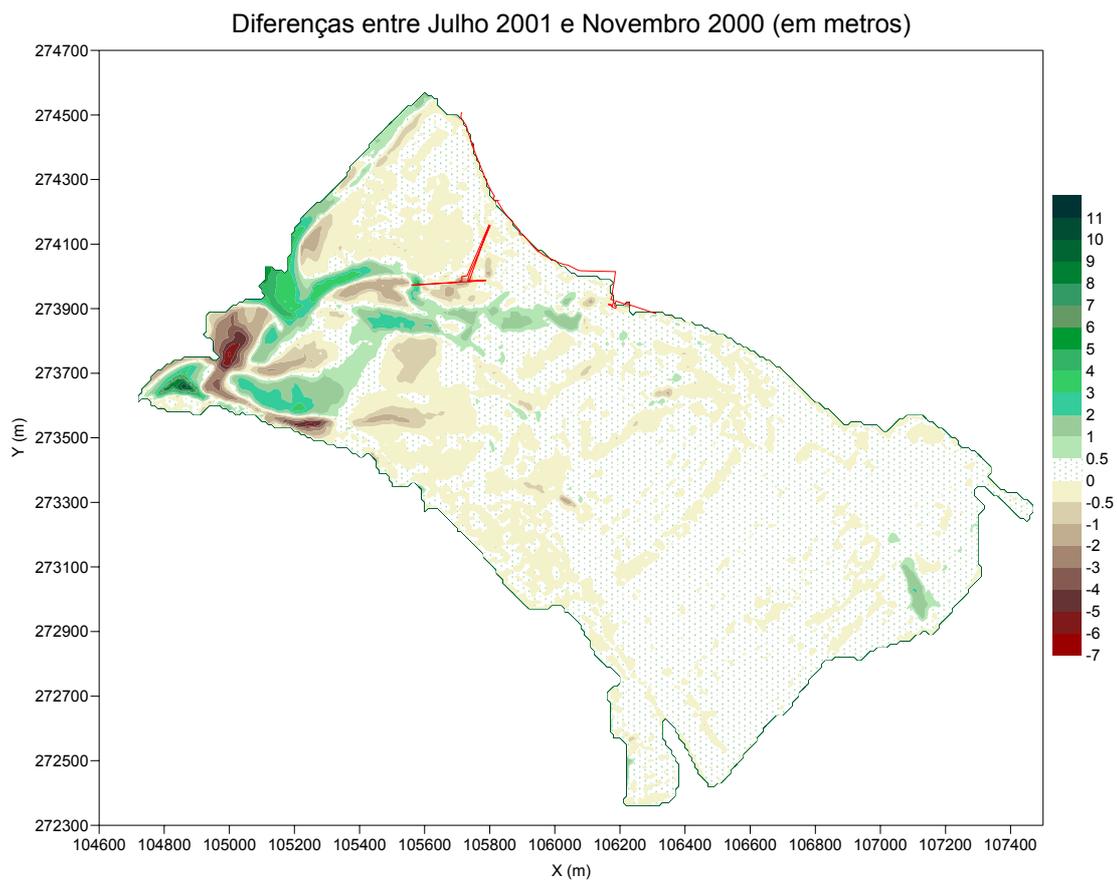


Figura nº 5.4.2 – Implantação da diferença de superfícies entre Julho de 2001 e Novembro de 2000.

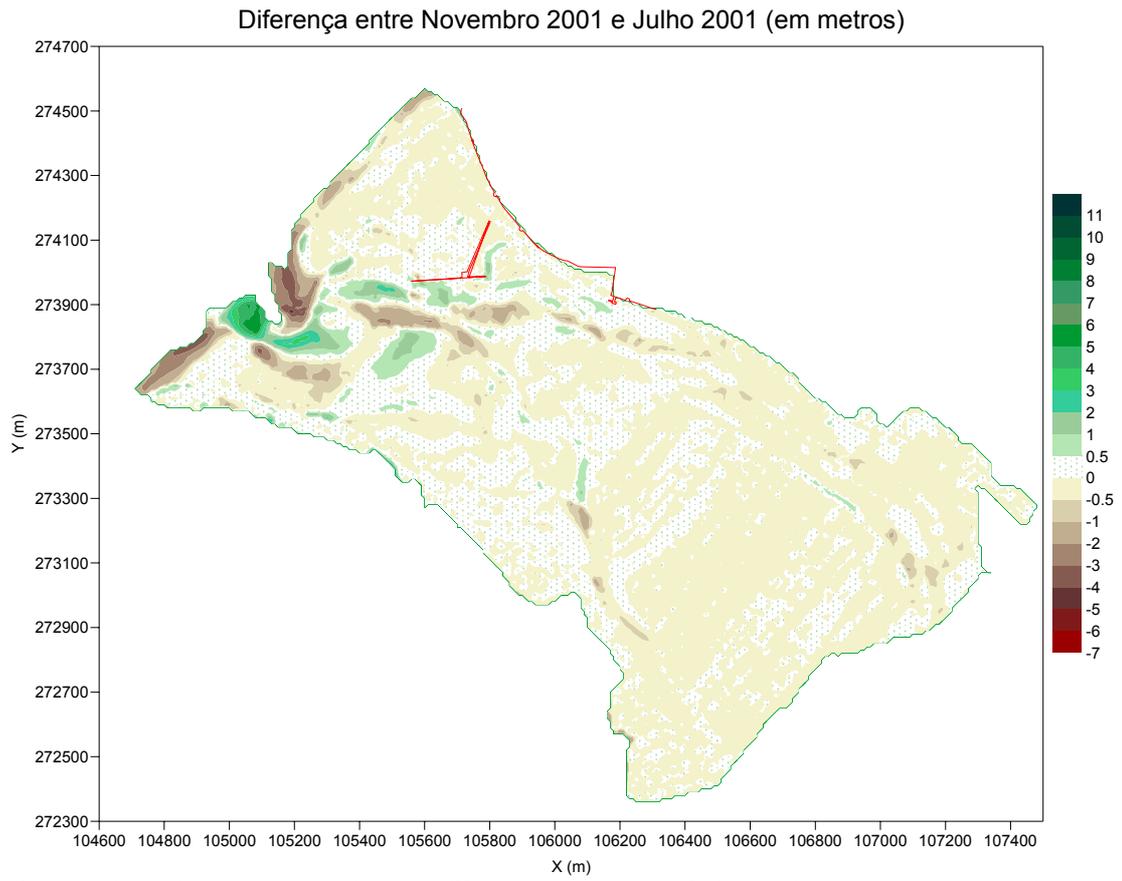


Figura nº 5.4.3 – Implantação da diferença de superfícies entre Novembro e Julho de 2001.

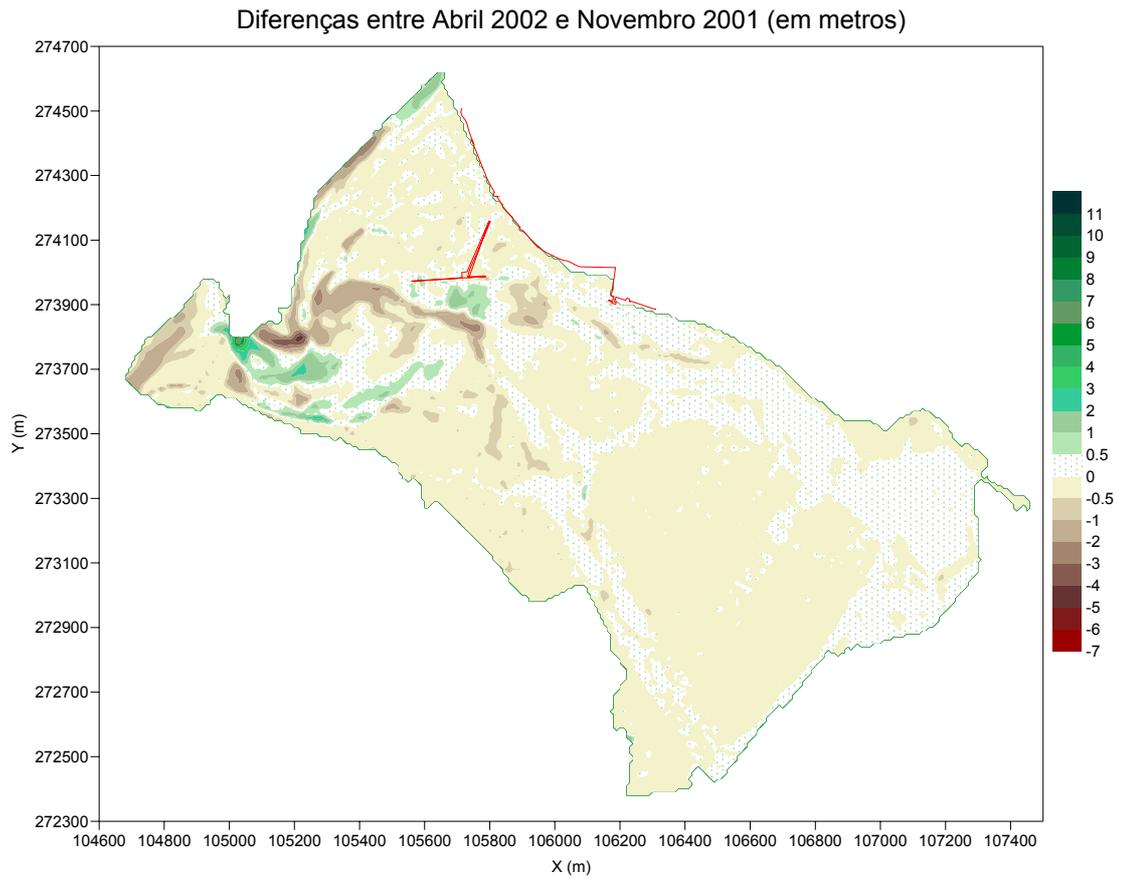


Figura nº 5.4.4 – Implantação da diferença de superfícies entre Abril de 2002 e Novembro de 2001.

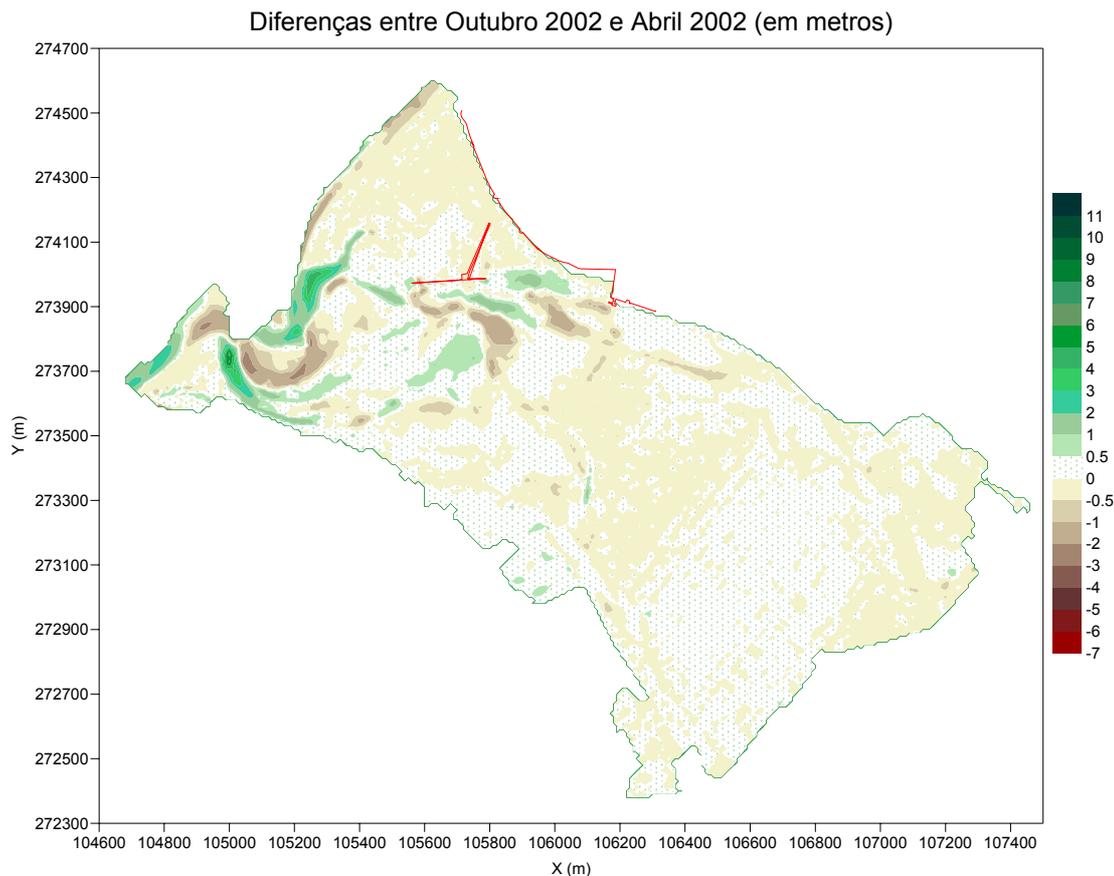


Figura nº 5.4.5 – Implantação da diferença de superfícies entre Outubro e Abril de 2002.



A análise das Figuras representativas da evolução sedimentar no interior da Lagoa de Óbidos indica que, durante o período em que decorreram os trabalhos de campo e para a área investigada, não se verificou uma evolução considerável em termos dos processos de erosão ou de sedimentação.

Entre Junho e Novembro de 2000 foram efectuadas dragagens numa zona compreendida entre o Cais da Foz do Arelho e a foz da Lagoa, a Figura nº 5.4.1 reproduz essa acção como um aprofundamento, é perfeitamente visível o canal que foi dragado.

As principais diferenças, durante o decorrer do projecto e que estão presentes nas Figuras acima apresentadas são: a modificação da posição da Aberta, da sua profundidade, o aumento da zona de praia; a criação de um espelho de água (que se manteve mais ou menos estável durante os trabalhos de campo) junto à margem Norte, a meanderização (junto à margem Sul) de um canal secundário, originando uma zona de deposição mais intensa; a evolução das formas de fundo, no sentido de uma maior estabilidade (mouchão a Sul); o assoreamento do canal de navegação

inicialmente dragado; a criação e posterior destruição de um “fundão” junto ao dique.

Apesar dos dados não indicarem um assoreamento intenso, as observações visuais durante os trabalhos de campo apontam para que este fenómeno seja realmente importante, especialmente em zonas onde a intensidade das correntes é menor, o que promove a sedimentação das partículas em suspensão na coluna de água. Estes factos podem ser constatados nas zonas interiores da Lagoa, no entanto, visto que não existem dados que possibilitem uma confirmação, fica apenas como especulação baseada em registos visuais.

De forma a avaliar o processo de erosão/sedimentação, efectuou-se um cálculo estimativo dos Volumes lagunares (abrangendo a zona indicada nas Figuras 5.4.1 a 5.4.5). Para este cálculo, considerou-se que a superfície superior corresponderia aos valores das diferenças das sondagens e que o superfície inferior seria uma linha fictícia de valor constante igual a zero.

Desta forma obtiveram-se os Volumes Positivos (em que a superfície superior está acima da superfície inferior) e os Volumes Negativos (nos quais a superfície inferior está acima da superfície superior). Neste cálculo são consideradas apenas as zonas com sondas válidas, ou seja, todas as regiões que foram branqueadas não entram para este cálculo.

Na Figura nº 5.4.6 pode observar-se a evolução destes volumes durante o decorrer do projecto.

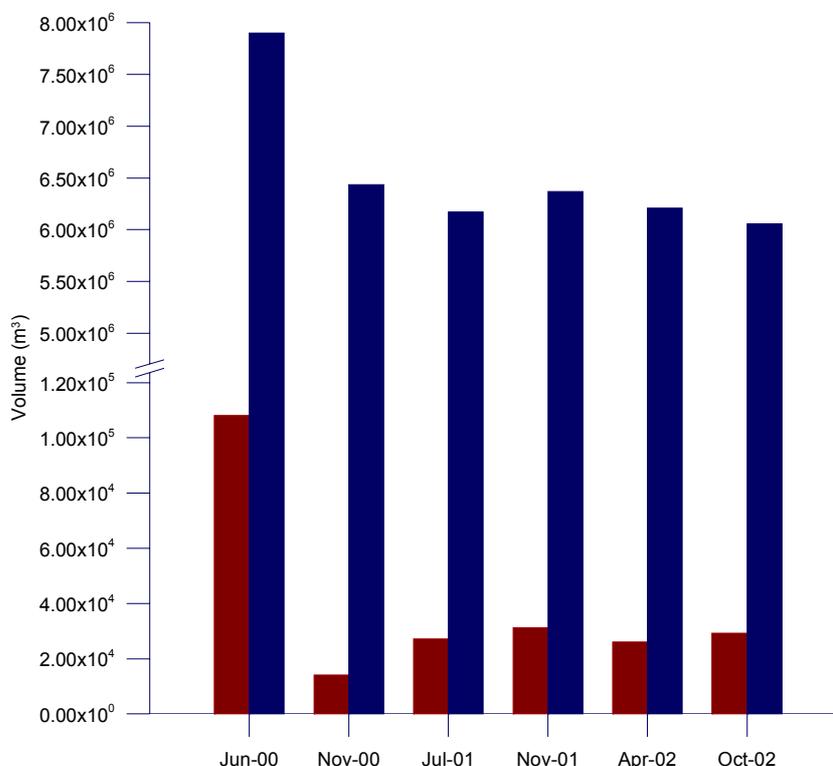


Figura nº 5.4.6 – Volumes positivos (vermelho escuro) e negativos (azul escuro) calculados na Lagoa de Óbidos.

A análise da Figura parece indicar que, nem os volumes positivos nem os negativos apresentam uma grande variação.

A bibliografia consultada indica para o constante assoreamento não só de lagunas costeiras mas também de estuários. A forma de reverter ou pelo menos retardar este processo natural de assoreamento pode ser efectuado quer através da estabilização das margens ou de dragagens em locais pré-determinados. A intervenção não poderá deixar de levar em consideração a carga sedimentar transportada pelos rios afluentes, o transporte sedimentar oceânico, os padrões de circulação das massas de água lacustres e oceânicas, a importância ecológica destes locais, entre outros aspectos.

Os dados obtidos na Lagoa de Óbidos aparentam exactamente o que foi acima descrito, ou seja, neste local, os processos dominantes serão os sedimentares, há uma deposição de material.

Outro factor que afecta os processos de erosão/sedimentação na Lagoa de Óbidos, é o influxo de água costeira. O facto desta laguna possuir uma foz dinâmica, ou seja, que não tem uma posição fixa e bem definida, dá origem a que, quando a orientação é propícia à propagação da onda de maré, as correntes sejam mais intensas, pelo que há uma maior probabilidade de transporte dos materiais finos entretanto acumulados, no entanto, como não há dados que confirmem esta hipótese, fica assinalada apenas como uma especulação possível dos processos que ocorrem nesta zona.

A análise dos dados provenientes da colheita de sedimentos efectuada em 2002, indica que, nas áreas amostradas, as areias grosseiras são o material predominante. Apenas duas estações, uma no lado Sul do mouchão em frente ao Cais do Arelho e a outra no Braço da Barrosa, junto à margem Norte, têm uma composição diferente, sendo os sedimentos designados por silte médio (ver Figura 4.4.2).

Quase todas as estações de amostragem realizadas durante esta campanha se localizaram num dos mouchões a Sul do Cais da Foz do Arelho, entre o canal de navegação principal (junto ao Cais da Foz do Arelho) e o canal onde se verificam também alguns fluxos de água, mas que não possui profundidade suficiente para permitir a navegação a embarcações.

Este mouchão encontra-se quase totalmente submerso durante as baixamar de Marés Mortas, estando durante o restante período exposto aos elementos atmosféricos.

As Figuras nº 5.4.7 a 5.4.10 representam a distribuição das componentes Areia, Argila, Cascalho e Silte nos locais de amostragem no mouchão a Sul do Cais da Foz do Arelho, no 1º cm dos corers efectuados.

Note-se ainda que estas Figuras apresentam um sistema de cores diferente, variando os teores dos sedimentos entre 0% e 100%.

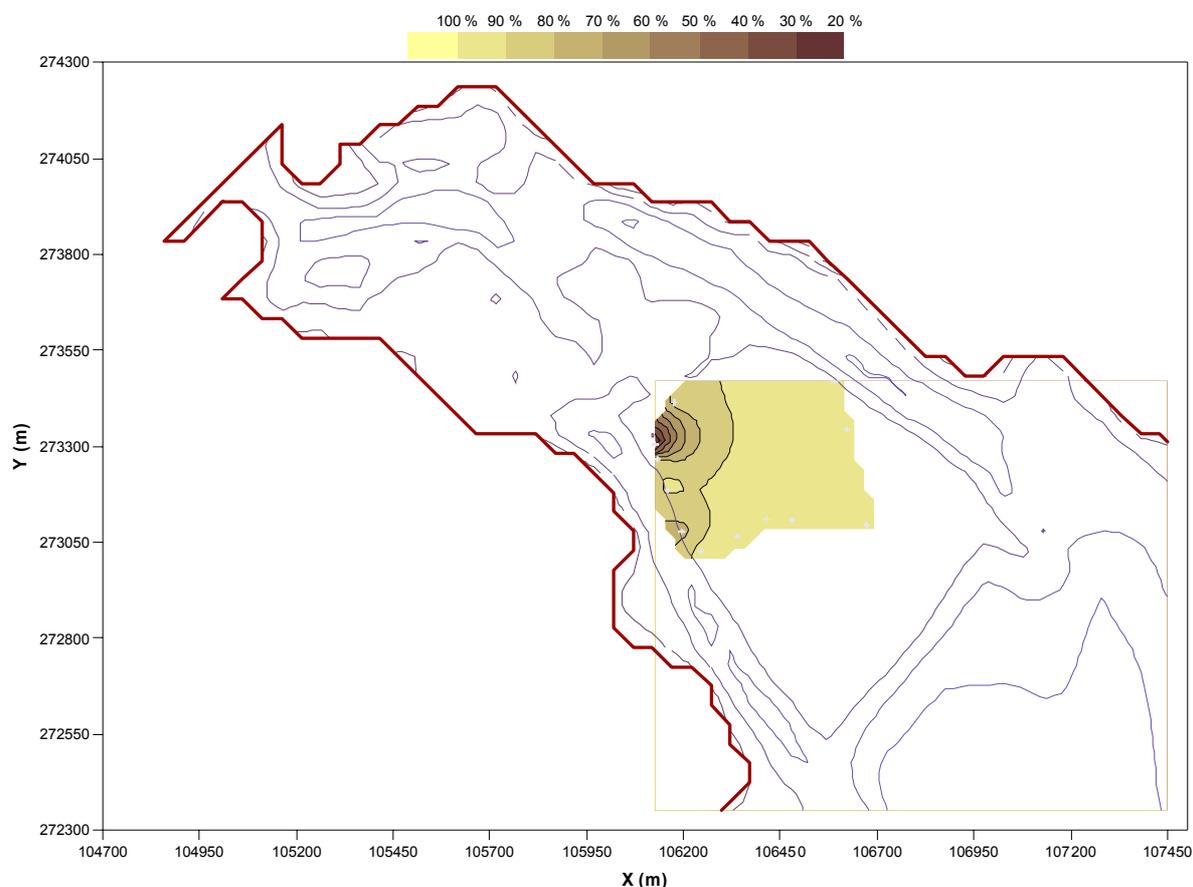


Figura nº 5.4.7 – Distribuição do teor de Areia, no 1ºcm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002.

Analisando a Figura nº 5.4.7, verifica-se que os maiores teores de Areia se concentram numa zona mais afastada da foz da Lagoa de Óbidos. Os locais onde se o teor de Areia é mais reduzido localizam-se do lado oposto ao canal de navegação da Lagoa, numa zona bastante influenciada pela alternância do nível da água.

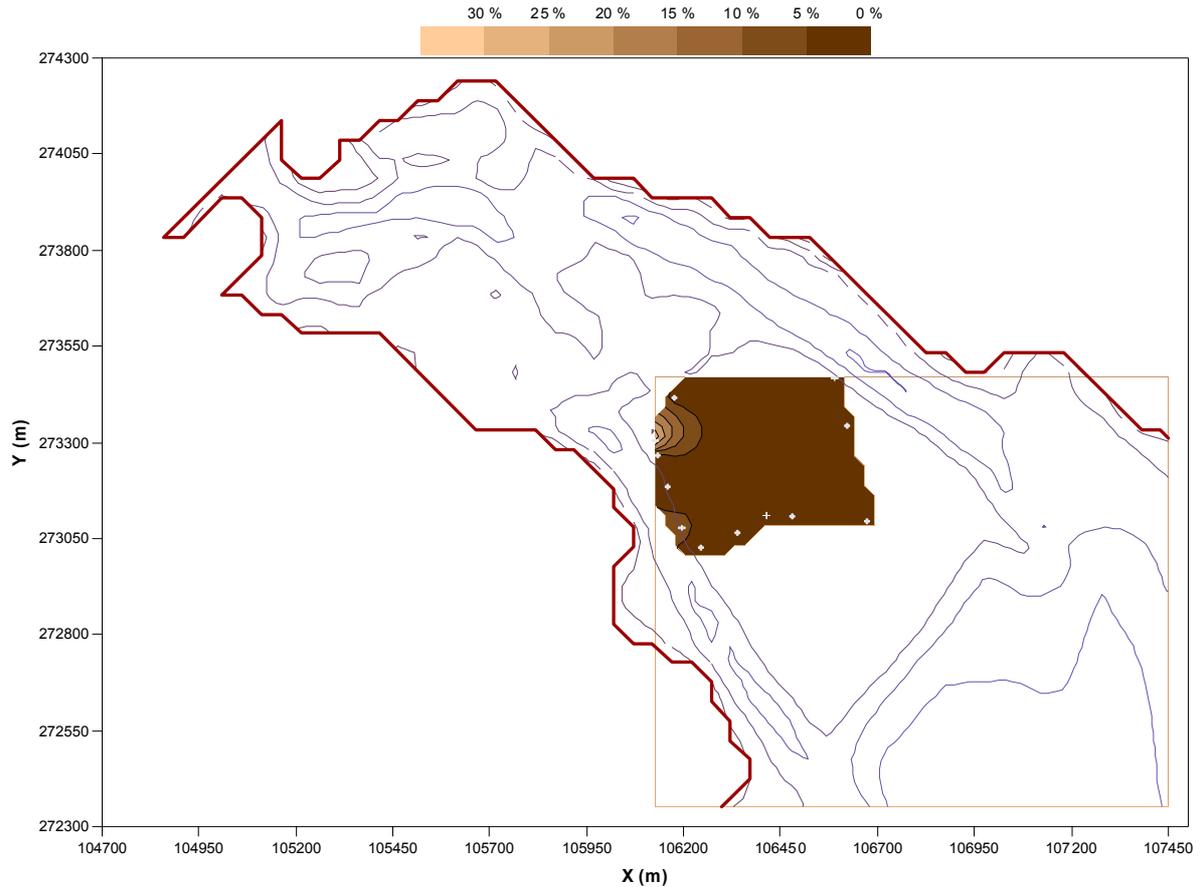


Figura nº 5.4.8 – Distribuição do teor de Argila, no 1ºcm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002.

Na Figura nº 5.4.8, é possível constatar que os teores em Argila, nesta zona da Lagoa, são bastante reduzidos. Facto este que é suportado pela presença de correntes bastantes intensas que efectuam a lavagem de sedimentos e transportam os finos para o interior ou o exterior da Lagoa.

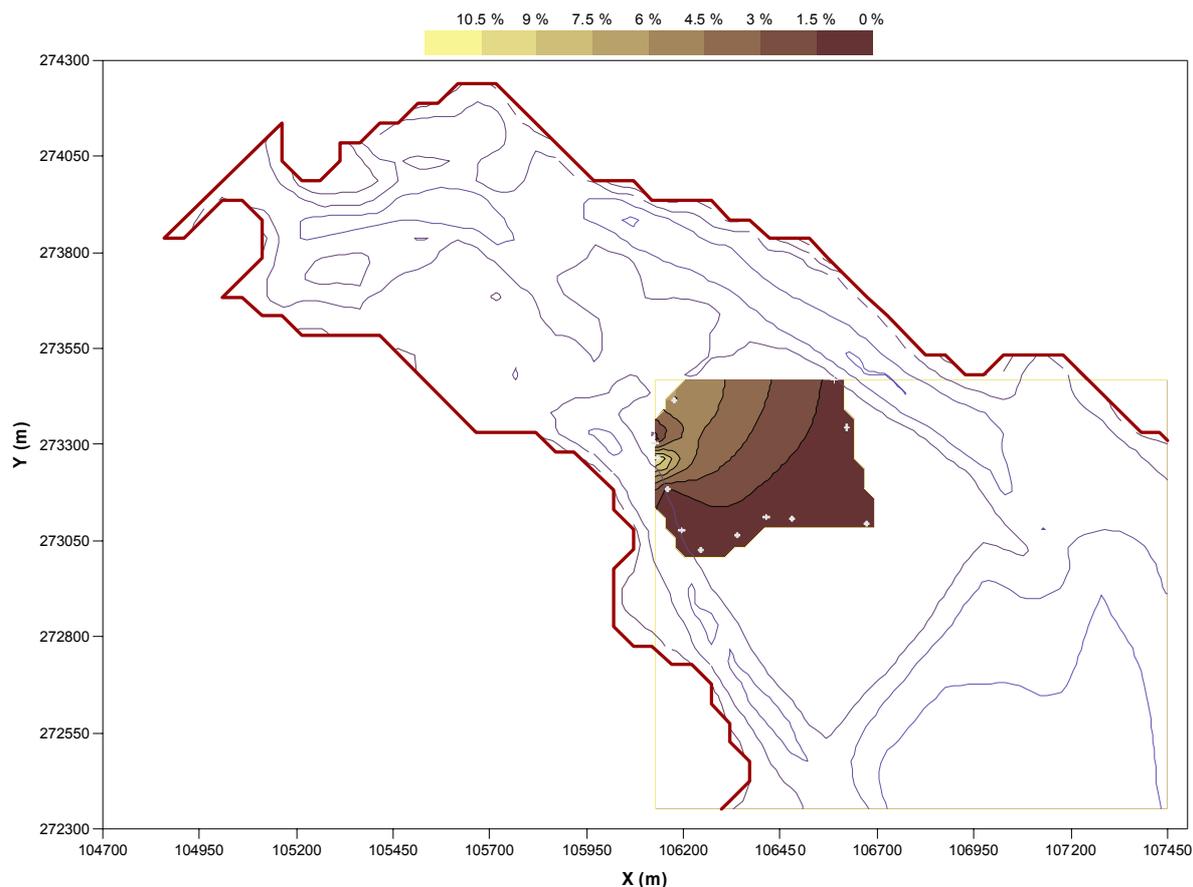


Figura nº 5.4.9 – Distribuição do teor de Cascalho, no 1ºcm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002.

Relativamente aos teores em Cascalho, a variação também é bastante reduzida, encontrando-se os valores mais elevados no lado oposto ao canal de navegação principal, numa zona em que a profundidade é extremamente reduzida. Infelizmente não há dados de correntes que permitam corroborar a afirmação de que as correntes neste local são também menos intensas, promovendo a deposição de algum material mais fino do que no canal a Norte.

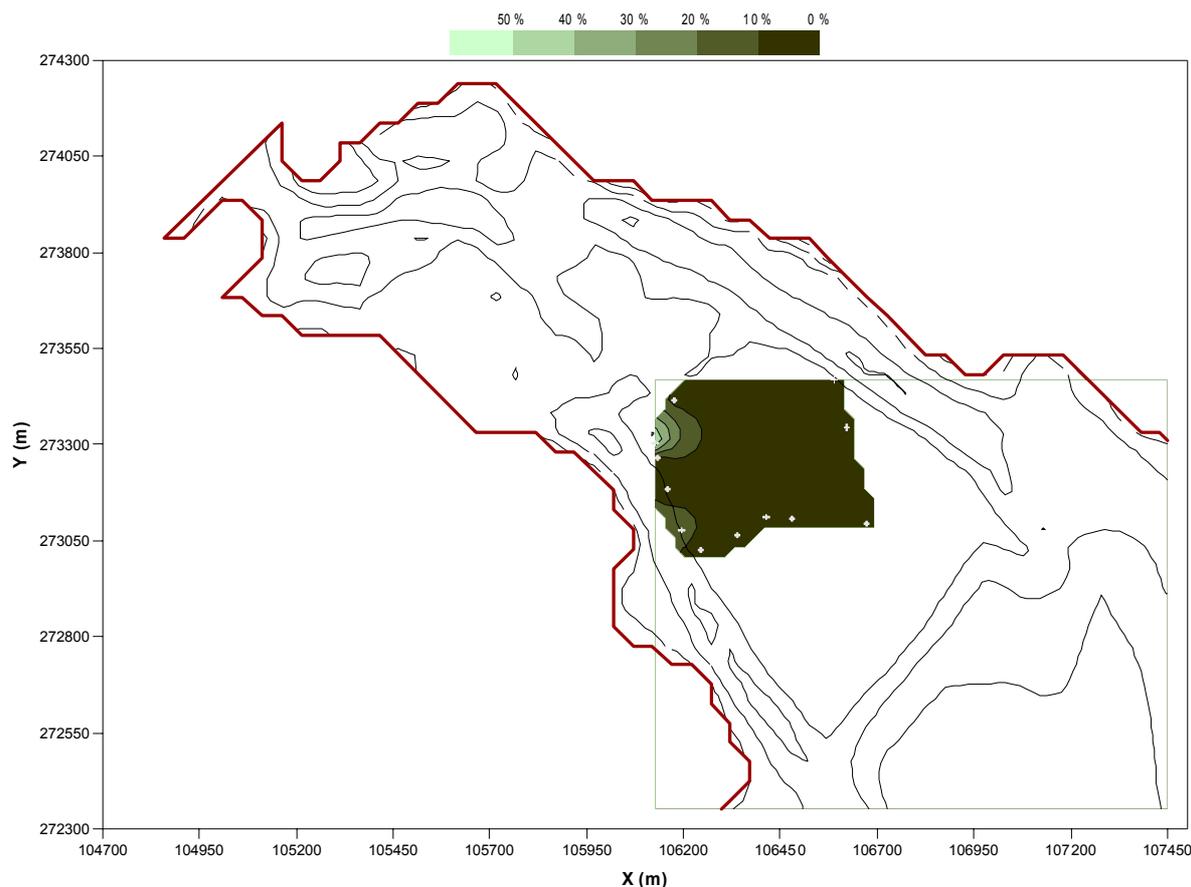


Figura nº 5.4.10 – Distribuição do teor de Silte, no 1ºcm dos corers efectuados na campanha de amostragem de 2002.

Na Figura nº 5.4.10, constata-se que os teores em Silte são também reduzidos, existindo apenas uma estação onde este material tem maior expressão na composição sedimentar.

Coligindo toda a informação relativa aos levantamentos hidrográficos apresentados e à colheita de sedimentos efectuada, apresentam-se as seguintes deduções:

- Durante o decorrer dos trabalhos de campo, não se verificou uma evolução considerável na alteração da profundidade da Lagoa de Óbidos (isto é válido apenas para a área onde se efectuaram os levantamentos hidrográficos);
- Os mouchões representam as formas sedimentares mais estáveis nesta área da Lagoa;
- O canal de navegação (junto ao Cais da Foz do Arelho) foi alvo de algumas alterações, quer devido à dragagem em 2000, quer a um aprofundamento em algumas zonas e a um assoreamento noutras.
- O cálculo dos Volumes efectuado para a área da Lagoa que foi alvo dos levantamentos, revela que, durante o decorrer dos trabalhos de campo, não houve alterações substanciais entre os processos erosivos e os sedimentares;

- O material mais importante na composição sedimentar das amostras recolhidas no mouchão a Sul da Cais da Foz do Arelho, são as Areias;
- É evidente, a partir da análise das Figuras nº 5.4.7 e 5.4.10 que os materiais finos, como a Argila, e o Silte têm muito pouca expressão neste local;
- Os reduzidos teores em Cascalho podem dever-se ao facto deste material não ser característico da zona envolvente à Lagoa;
- Apesar de não existirem, à data deste trabalho, dados que confirmem esta hipótese, as escorrências terrestres após um fenómeno de precipitação mais intenso arrastam essencialmente as Areias (ver Capítulo 3.3.3). Os materiais finos poderão ter a sua origem mais importante nos efluentes industriais provenientes dos aglomerados populacionais circundantes (p.e. Caldas da Rainha).

6. APLICAÇÃO DE UM MODELO HIDRODINÂMICO NO SISTEMA LAGUNAR DE ÓBIDOS

No presente capítulo apresentam-se os resultados obtidos com a aplicação de um modelo hidrodinâmico na Lagoa de Óbidos.

Este capítulo está dividido em cinco sub-capítulos; inicialmente faz-se a descrição do modelo a utilizar, de seguida introduz-se o tipo de aplicações em que este modelo pode ser utilizado, numa terceira parte descrevem-se as parametrizações das condições iniciais que forçaram o modelo para a área de estudo. Na quarta parte descrevem-se as situações de estudo que foram simuladas e finalmente faz-se a análise dos dados obtidos após as corridas do modelo.

Um modelo é uma esquematização da realidade, que introduz, devido às simplificações inerentes à sua concepção, aspectos adulterados na descrição dessa mesma realidade. Constitui, portanto, uma aproximação aos fenómenos reais e, como tal, uma concepção idealizada dos processos e mecanismos que ocorrem na natureza.

Um modelo é uma ferramenta hipotética, sendo tanto mais aproximado da realidade, quanto melhor for o conhecimento existente sobre essa mesma realidade.

Os modelos revelam-se, no entanto, bastante úteis porque constituem uma forma racional de visualizar a realidade, um método lógico de compreender e sistematizar os vários processos envolvidos e respectivas interações, e um relato legível do funcionamento da natureza, evitando recorrer a simplificações excessivas (Dias, 1987).

Por outro lado, um modelo numérico é a expressão quantitativa de um modelo conceptual que, obrigatoriamente, lhe está subjacente. A sua qualidade depende, entre outros aspectos, da qualidade do modelo conceptual em que se baseia (nível de aproximação à realidade) e, obviamente, da qualidade da formulação matemática e parametrização utilizada (nível de precisão da quantificação da realidade).

Quando o conhecimento científico da realidade é elevado, e quando as leis da física que as descrevem são bem conhecidas, é possível desenvolver modelos numéricos teóricos de alta qualidade.

6.1. Descrição do MOHID

Em 1985 teve início o desenvolvimento do sistema de modulação MOHID. Desde então este sistema tem passado por diversas actualizações propor-

cionadas essencialmente pela utilização em diversos projectos científicos e de engenharia.

O MOHID foi construído, inicialmente como um sistema de modelação hidrodinâmica bidimensional, denominando-se então MOHID 2D. Nesta fase, esta ferramenta foi utilizada para estudar estuários e zonas costeiras usando uma aproximação clássica de diferenças finitas.

Nos anos que se seguiram foi incluído no MOHID, um módulo de transporte euleriano e lagrangeano bidimensional.

O primeiro modelo tridimensional (MOHID 3D) foi introduzido por Santos (1995) utilizando o sistema de dupla coordenada sigma. Com o emprego deste sistema, foram descobertas algumas limitações, pelo que se revelou necessário o desenvolvimento de uma ferramenta que permitisse a aplicação de uma coordenada vertical genérica, cabendo ao utilizador a escolha do tipo de coordenada vertical mais adequada a cada situação.

Devido à correcção da limitação pelo uso de dupla coordenada sigma, Martins (1999) introduziu o conceito de volumes finitos com a versão MESH 3D. No módulo MESH 3D foram incluídos três modelos: transporte euleriano, transporte lagrangeano e qualidade da água (sendo este último, adimensional).

Com o crescimento da complexidade do MOHID, tornou-se necessária a reformulação do código e uma reestruturação da informação. Em 1998 todo o código base do modelo foi submetido a uma reorganização total usando não só as novas características das linguagens de programação, mas também as capacidades do computador na re-programação do MOHID.

Os principais objectivos desta transformação foram o de tornar o modelo mais robusto, mais fiável e ainda o de proteger a sua estrutura dos erros de programação involuntários, o que possibilitou também uma maior facilidade nas actualizações posteriores.

Estes objectivos foram cumpridos através da introdução de um conceito de programação por objectos em FORTRAN. A filosofia por detrás deste novo modelo é a de permitir o seu uso em qualquer dimensão (tridimensional, bidimensional e unidimensional).

Actualmente o MOHID é composto por mais de 40 módulos que correspondem a cerca de 150 mil linhas de código, sendo cada módulo responsável pela gestão de um tipo específico de informação.

Outra característica importante do MOHID é a possibilidade de efectuar simulações com outros modelos acoplados, possibilitando o estudo de áreas locais, através das condições de fronteira de áreas mais abrangentes, entretanto simuladas no modelo "pai".

O número de modelos acoplado é limitado somente pelas capacidades de computação.

Na tabela Nº 6.1 apresentam-se alguns dos módulos utilizados na maior parte das simulações do MOHID.

MÓDULO	DESCRIÇÃO
<i>Model</i>	Gere o fluxo de informação entre o módulo hidrodinâmico, os dois módulos de transporte e ainda a comunicação entre os modelos acoplados
<i>Bathymetry</i>	Dados batimétricos
<i>Geometry</i>	Armazena e actualiza a informação acerca dos volumes finitos
<i>Hydrodynamic</i>	Modelo hidrodinâmico de superfície livre, baroclínico e tridimensional. Calcula a altura da coluna de água, as velocidades e os fluxos.
<i>Water Properties (transporte euleriano)</i>	Modelo de transporte euleriano. Gere a evolução das propriedades da água (temperatura, salinidade, oxigénio, etc.) usando uma aproximação euleriana
<i>Lagrangian</i>	Modelo de transporte lagrangeano. Gere a evolução das mesmas propriedades do módulo anterior, mas usando uma aproximação lagrangeana.
<i>Water Quality</i>	Modelo de qualidade da água adimensional. Simula os ciclos do oxigénio, azoto e fósforo. Usado pelos módulos de transporte lagrangeano e euleriano. Baseado num modelo inicialmente desenvolvido pela EPA
<i>Oil Dispersion</i>	Simula a dispersão do petróleo devido aos gradientes de espessura e dos processos internos do petróleo como a evaporação, emulsão, dispersão, dissolução e sedimentação
<i>Turbulence</i>	Modelo de turbulência unidimensional. Utiliza a formulação do modelo GOTM
<i>Surface</i>	Condições de fronteira acima da coluna de água
<i>Bottom</i>	Condições de fronteira no fundo da coluna de água
<i>Open Boundary</i>	Condições de fronteira com o mar aberto
<i>Discharges</i>	Descargas antropogénicas e fluviais

<i>Hydrodynamic File</i>	Módulo auxiliar que armazena a solução hidrodinâmica num ficheiro externo para uso posterior
--------------------------	--

Tabela 6.1 - Descrição sucinta dos principais módulos no sistema de modelação hidrodinâmico MOHID (Anon, —).

De seguida descrevem-se sucintamente as características de alguns dos módulos utilizados nas simulações hidrodinâmicas da Lagoa de Óbidos.

6.1.1. *Módulo Model*

Este módulo representa o topo da hierarquia do sistema de modulação MOHID e tem duas funções principais: a coordenação da execução do modelo hidrodinâmico e de transporte, e a coordenação da comunicação entre os modelos “pai – filho” no caso de modelos acoplados (“nested”).

6.1.2. *Módulo Bathymetry*

Um dos módulos de hierarquia mais baixa, tem como função fornecer aos módulos cliente a informação batimétrica que lê a partir de um ficheiro ASCII previamente definido.

6.1.3. *Módulo Geometry*

Este módulo calcula as áreas e volumes laterais do volume finito baseado na informação da elevação da superfície livre e da batimetria. Esta informação é actualizada e fornecida aos restantes módulos.

a) Volumes finitos

O sistema MOHID utiliza uma aproximação de volumes finitos na discretização das equações. Nesta aproximação a forma discreta das equações é aplicada macroscopicamente a um volume de controlo ou célula.

A lei de conservação geral para um escalar U , com fontes Q num volume controlo Ω é dada por:

$$\partial_t \int_{\Omega} U dt + \int_S \vec{F} d\vec{S} = \int_{\Omega} Q d\Omega \quad \text{Equação nº2}$$

representando F os fluxos do escalar que atravessam a superfície S .

Após a discretização da expressão numa célula (ou volume de controlo) Ω_j , onde U_j é definido vem:

$$\partial_t (U_j \Omega_j) + \sum_{\text{faces}} \vec{F} \cdot \vec{S} = Q_j \Omega_j \quad \text{Equação nº3}$$

Deste modo, a forma de resolver as equações é independente da geometria da célula. A célula pode, assim, ter qualquer geometria, tendo apenas como condicionamento o facto de serem necessários os fluxos entre as faces. Desta forma, existe uma separação total entre as variáveis físicas e a geometria.

No MOHID, só é permitido um grau de liberdade vertical e a malha é cartesiana, ortogonal na horizontal. Neste caso, a malha é descentrada na horizontal utilizando o esquema de Arakawa C, ou seja, as velocidades horizontais estão localizadas no centro das faces Oeste (velocidade u) e Sul (velocidade v), enquanto que a elevação, intensidade da turbulência e traçadores estão localizados no centro das células.

Também é utilizada a descentralização na vertical, com a velocidade w , traçadores e intensidades de turbulência localizadas verticalmente nas faces de topo e base, e a elevação no centro vertical do elemento.

b) Coordenadas verticais

O módulo Geometry é capaz de dividir a coluna de água em diferentes tipos de coordenadas verticais: Sigma, Cartesianas, Lagrangeanas (baseadas em Sigma ou Cartesianas), "Fixed Spacing" e Harmónicas. A subdivisão da coluna de água em diferentes domínios também é possível.

6.1.4. Módulo Hidrodinâmico

De um modo resumido, o módulo hidrodinâmico do sistema MOHID resolve a forma primitiva tridimensional das equações do movimento, assumindo o equilíbrio hidrostático e as aproximações de Boussinesq e de Reynolds.

As equações de evolução de massa e momento podem ser escritas da seguinte forma:

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_i} = 0 \quad \text{Equação nº4}$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_1)}{\partial x_j} = -f u_2 - g \frac{\rho_\eta}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial x_1} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_s}{\partial x_1} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho'}{\partial x_1} dx_3 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(A_j \frac{\partial u_1}{\partial x_j} \right) \quad \text{Equação nº5}$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_2)}{\partial x_j} = -f u_1 - g \frac{\rho_\eta}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial x_2} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_s}{\partial x_2} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho'}{\partial x_2} dx_3 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(A_j \frac{\partial u_2}{\partial x_j} \right) \quad \text{Equação nº6}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = 0 \quad \text{Equação nº7}$$

em que u_j são os componentes vectoriais da velocidade nas direcções cartesianas x_i , η é a elevação da superfície livre, f o parâmetro de Coriolis, A_i a viscosidade turbulenta, p_s a pressão atmosférica, ρ a densidade e ρ' a anomalia da densidade.

O campo de fluxos calculado pelo módulo hidrodinâmico é usado na equação de advecção – difusão:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + u_i \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_i \frac{\partial P}{\partial x_i} \right) + Fontes - Poços \quad \text{Equação n}^\circ 8$$

A densidade é calculada como uma função da temperatura e salinidade pela equação de estado:

$$\rho = \frac{(5890 + 38T - 0.375T^2 + 3S)}{(1.779.5 + 11.25T - 0.0745T^2) - (3.8 - 0.01T)S + 0.698(5890 + 38T - 0.375T^2 + 3S)} \quad \text{Equação n}^\circ 9$$

A discretização temporal utilizada no modelo é semi-implícita do tipo ADI (Alternate Direction Implicit), que minimiza as restrições de estabilidade. Este mesmo esquema foi utilizado na primeira versão 2D do módulo hidrodinâmico (Neves, 1985).

Os termos que introduzem maiores restrições de estabilidade são discretizados implicitamente (pressão barotrópica, atrito, convecção e difusão vertical), enquanto que os restantes são calculados através de uma abordagem explícita.

No MOHID, foram adoptados dois tipos de discretizações semi-implícitas: uma que necessita da resolução de 6 equações em cada passo temporal, conhecido pelo esquema de Leendertse (Leendertse, 1967), e uma segunda baseada no esquema S21 (Abbott et al., 1973) que envolve a resolução de 4 equações.

As condições de fronteira abertas podem ser do tipo caudal imposto, nível imposto, radiativas ou mistas.

6.1.5. Módulo Water Properties

Este módulo coordena a evolução de diferentes parâmetros na coluna de água. A evolução destas propriedades rege-se pelo transporte advectivo e difusivo, das condições de fronteira e das fontes e poços das propriedades no domínio de cálculo.

O módulo Water Properties gere as propriedades que definem a qualidade de água (oxigénio dissolvido, nitrato, nitrito, etc.), o forçamento baroclínico do módulo hidrodinâmico (temperatura e salinidade) e outras propriedades genéricas (idade, coliformes, etc.).

O transporte devido a fluxos advectivos e difusivos de uma dada propriedade A é resolvido pela equação:

$$\partial_t A = -\partial_x(uA) - \partial_y(vA) - \partial_z(wA) + \partial_x(v'_H \partial_x A) + \partial_y(v'_t \partial_y A) + \partial_z((v'_t + v'_A) \partial_z A) \quad \text{Equação n}^\circ 10$$

onde u, v e w são as velocidades nas direcções x, y e z, v'_H e v'_t as viscosidades turbulentas horizontais e verticais e v'_A a difusividade molecular.

A evolução temporal da propriedade A é um balanço do transporte advectivo pelo fluxo médio, a mistura turbulenta e as possíveis fontes e poços no domínio em estudo.

6.1.6. Módulo Turbulence

O módulo de turbulência implementado neste modelo fornece aos restantes módulos o valor de energia cinética turbulenta, comprimento de mistura, viscosidades horizontais e verticais e as difusividades.

O sistema MOHID inclui modelos empíricos de comprimento de mistura e modelos que resolvem equações para a energia cinética turbulenta e para o comprimento de mistura. Estes últimos são utilizados na generalidade dos escoamentos turbulentos.

O sistema GOTM – *Generic Ocean Turbulence Model* está actualmente incorporado no MOHID. Este sistema inclui um conjunto de diferentes modelos para a descrição das trocas turbulentas em camadas de mistura, que usam o conceito de viscosidade turbulenta e são forçadas em função do escoamento médio.

6.1.7. Módulo Bottom

Calcula as condições fronteira na base da coluna de água, a tensão de corte como condição de fronteira para os módulos hidrodinâmico e de turbulência e é ainda responsável pelo cálculo dos fluxos na interface sedimento-água, gerindo as condições fronteira quer na coluna de água quer na coluna sedimentar.

As diferentes propriedades na coluna de água ou na coluna sedimentar podem ser dissolvidas ou particuladas. A evolução das propriedades dissolvidas depende em grande parte nos fluxos de água, tanto na coluna como na água intersticial dos sedimentos. A evolução das propriedades particuladas na coluna de água depende dos fluxos de água e da velocidade de deposição.

Ocorrendo deposição, a propriedade em questão pode permanecer no fundo, ou ser ressuspensa de volta para a coluna de água. Se persistir no fundo durante um determinado período de tempo pode voltar a fazer parte do sedimento por consolidação.

a) Erosão e Deposição

Para propriedades particuladas no fundo, define-se um termo de fluxo, F_b (massa de sedimento por unidade de área de fundo por unidade de tempo) que corresponde a uma fonte ou poço da propriedade em condições de erosão ou deposição, respectivamente. Assim, no fundo:

$$F_b = E - D \quad \text{Equação nº11}$$

em que E e D são os fluxos de erosão e deposição.

Assume-se que, quando a tensão de corte no fundo é menor do que um determinado valor crítico para deposição, há um acréscimo de matéria no fundo e, por outro lado, quando este valor é superior, ocorre erosão. Entre estes dois valores, a erosão e a deposição equilibram-se.

b) Fluxo de erosão

O algoritmo de erosão usado no sistema MOHID é baseado na aproximação clássica de Partheniades (1965). A erosão ocorre quando a tensão de corte no fundo excede o limite de erosão. O fluxo de matéria erodida é dado por:

$$\frac{dM_E}{dt} = E \left(\frac{\tau}{\tau_E} - 1 \right) \text{ para } \tau > \tau_E \quad \text{Equação nº12}$$

$$\frac{dM_E}{dt} = 0 \text{ para } \tau < \tau_E \quad \text{Equação nº13}$$

Onde τ é a tensão de corte no fundo, τ_E é tensão crítica para a ocorrência de erosão e E a constante de erosão.

c) Fluxo de Deposição

O fluxo de deposição pode ser definido como:

$$F_p = \frac{dm}{dt} = -pW_s C \quad \text{Equação nº14}$$

Onde p é a probabilidade de ocorrer a deposição de sedimento, W_s é a velocidade de queda e C a concentração de sedimento junto ao fundo.

A probabilidade de deposição de sedimentos, segundo Krone (1962) é definida por:

$$p = \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right) \quad \text{Equação nº15}$$

Onde τ_b e τ_{cd} são as tensões de corte no fundo e a tensão crítica de deposição respectivamente.

O algoritmo de deposição (Krone, 1962), assim como o algoritmo de erosão baseia-se no pressuposto de que estes dois processos nunca ocorrem simultaneamente, ou seja, uma partícula que atinge o fundo tem uma probabilidade de lá ficar que varia entre 0 e 1, com a variação da tensão de corte no fundo entre zero e o limite superior para deposição.

A deposição é calculada pelo produto do fluxo depositante e a probabilidade de uma partícula permanecer no fundo:

$$\frac{dM_D}{dt} = (CW_s)_B \left(1 - \frac{\tau}{\tau_D} \right) \text{ para } \tau < \tau_D \quad \text{Equação nº16}$$

$$\frac{dM_D}{dt} = 0 \text{ para } \tau > \tau_D \quad \text{Equação nº17}$$

onde τ_D é a tensão de corte crítica para deposição. O valor de τ_D depende em grande parte no tamanho das partículas.

6.2. Âmbito de aplicação

O MOHID tem sido extensamente utilizado na modelação das características hidrodinâmicas, ou de qualidade da água de diversos estuários, p.e.

Neste trabalho pretende-se implementar o modelo e simular as características hidrodinâmicas da Lagoa de Óbidos.

6.3. Parametrização do modelo

A inicialização do MOHID tem como base a batimetria da Lagoa de Óbidos e de uma faixa costeira suficientemente extensa, para que os erros gerados nas fronteiras não se propaguem para o interior da malha de cálculo.

A construção da batimetria desenvolveu-se a partir dos dados do levantamento hidrográfico de Junho de 2000, por ser este o único, à data da realização deste estudo, que abrangia toda a extensão lagunar. A faixa costeira adjacente foi construída tendo por base os dados batimétricos disponíveis.

Conjugando todos os dados, procedeu-se à construção de uma malha irregularmente espaçada, conforme se descreve de seguida.

O espaçamento da malha, usada na construção da batimetria, varia desde os 200 até aos 25 m, esta diferença é maior na faixa costeira externa, na zona definida com o nº 1 na Figura nº 6.3.1. O nº 2 representa uma zona em que o espaçamento entre pontos consecutivos da malha é de 100 m. O espaçamento de 50 m foi definido com o nº 3 e finalmente, toda a área lagunar foi definida como tendo um espaçamento de 25 m, sendo representada na Figura pelo nº 4.

Neste tipo de malhas, o espaçamento deve “apertar” de uma forma suave, de modo a que não se criem saltos muito grandes entre células de cálculo adjacentes.

Deu-se prioridade à malha no interior da Lagoa, Daí o facto de nesse local ser mais refinada. Como a zona exterior é utilizada somente para que não os erros de cálculo não se propaguem, a malha nesse local é mais “ampla”.

Esta malha foi criada com a ferramenta GIS do MOHID e foi posteriormente aplicada sobre a batimetria original da Lagoa, obtida a partir da sondagem de Junho de 2000, o resultado final foi a criação de uma malha de cálculo com cerca de 58500 pontos.

A razão da escolha de uma malha com este elevado número de pontos prende-se com o facto de ser a que melhor reflecte as formas de fundo presentes na sondagem de onde provêm os dados originais. Criaram-se ainda outras malhas para comparação, no entanto verificou-se que a opção escolhida era a que melhor reproduzia as principais características lagunares.

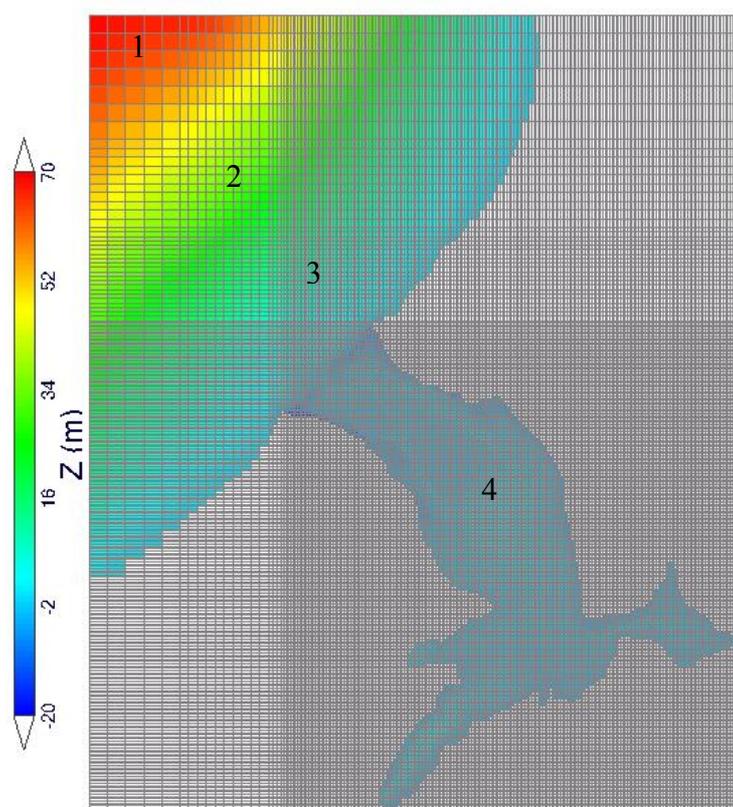


Figura nº 6.3.1 – Definição da malha batimétrica para inclusão no módulo Bathymetry do MOHID (malha gerada com o Digital Terrain Tool do MOHID).

A definição da malha de cálculo é um dos passos mais importantes na implementação de um modelo. Neste caso, decidiu-se que a malha seria irregular, possuindo um espaçamento maior em zonas menos importantes na modelação e menor na área de interesse.

A escolha para este tipo de malha foi baseada essencialmente no tempo de cálculo do modelo, i.e., se a malha fosse homogénea, com um espaçamento reduzido, o modelo demoraria consideravelmente mais tempo a “correr”, além de que se obteriam resultados desnecessários (por se tratarem de zonas fora do âmbito desta tese) e, por outro lado, se a malha apresentasse um espaçamento maior, a zona de estudo deixaria de ter pontos suficientes para discretizar a variação das propriedades a simular.

Nesta fase, a malha de cálculo no interior da Lagoa apresenta apenas uma fronteira aberta, que foi definida como sendo a zona de comunicação com o mar.

Seguidamente foi necessário introduzir um forçamento do tipo harmónico, de forma a simular a propagação da onda de maré no interior da Lagoa de Óbidos. Para tal, utilizaram-se os dados da elevação da superfície provenientes do ADCP fundeado ao largo da Lagoa. Introduziu-se ainda um ponto de descarga fluvial, localizado no Braço da Barrosa. O valor de descarga apli-

cado consta do Relatório de Síntese do Estudo de Impacte Ambiental que o LNEC efectuou para a Ligação da Lagoa de Óbidos ao mar (LNEC, 1984).

Na fase inicial de implementação do modelo, não foram impostos mais forçamentos externos, na Tabela nº 6.3.1 apresentam-se as condições iniciais impostas ao modelo.

PARAMETRIZAÇÕES	DESCRIÇÃO
Passo Temporal	5 segundos
Tipo de Coordenadas	Sigma
Nº Camadas simuladas	1

Tabela nº 6.3.1 – Parametrizações do modelo para simulação das características hidrodinâmicas da Lagoa de Óbidos.

A escolha de apenas uma camada para simular os fenómenos de circulação prende-se com o facto de toda a área lagunar apresentar uma profundidade muito reduzida, pelo que, para efeitos de implementação deste modelo, foi considerada como uma camada homogénea.

6.4. Análise de resultados

Após a implementação da malha de cálculo e das condições iniciais, correu-se o modelo para períodos distintos de forma a obter alguns dados sobre a sua aplicabilidade na zona de estudo.

De seguida são apresentados, nas Figuras 6.4.1 a 6.4.3, alguns dos resultados obtidos para a elevação da superfície, para o Cais da Foz do Arelho, Bico dos Corvos e Braço da Barrosa, no período compreendido entre 21 de Maio a 13 de Junho de 2002.

É possível verificar nas Figuras que se seguem que a onda de maré simulada apresenta sensivelmente as mesmas características da onda de maré registada nos marégrafos instalados no interior da Lagoa de Óbidos.

As maiores diferenças entre as duas curvas exibidas, centram-se na amplitude, na realidade, a maré simulada apresenta uma amplitude inferior à que de facto se registou nos marégrafos; no nível médio, na simulação, o nível médio é mais elevado do que o registado; e ainda nas elevações obtidas, a simulação exhibe, em regra, máximos e mínimos inferiores aos registados.

As maiores semelhanças centram-se quer ao nível de fase, quer de período, i.e., ambas as curvas estão em fase e a curva simulada reproduz a alternância Marés Vivas - Marés Mortas registada nos marégrafos.

É possível verificar ainda que as maiores diferenças entre as duas curvas são visíveis no Braço da Barrosa, devendo-se isto ao facto de ser neste local que a propagação da onda de maré encontra mais obstáculos (quer ao nível batimétrico, quer de configuração da linha de costa lagunar).

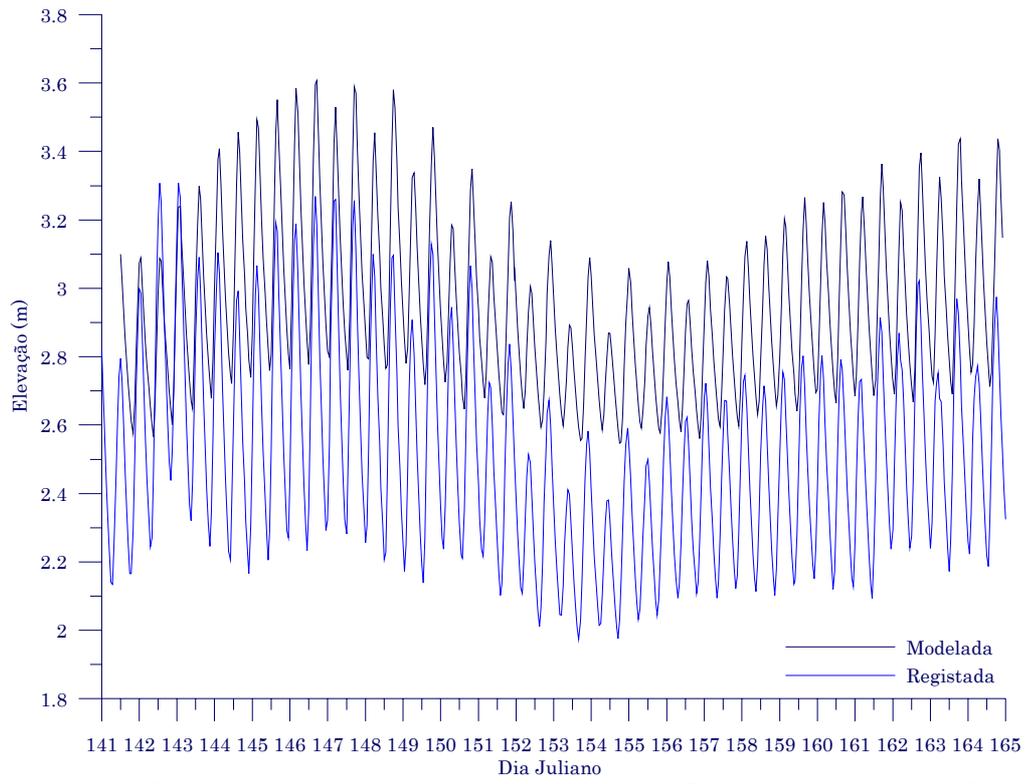


Figura nº 6.4.1 – Comparação entre a elevação da superfície registada no ADCP (cyan) e a modelada (azul escuro) no Cais da Foz do Arelho.

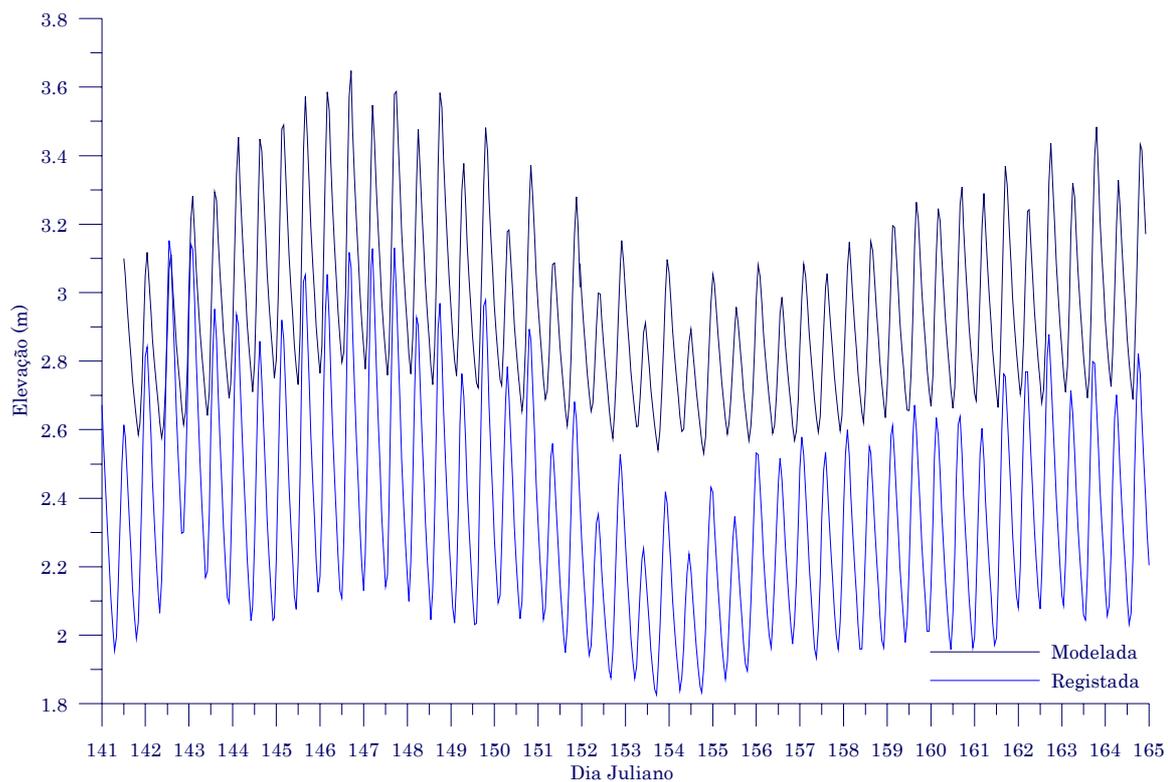


Figura nº 6.4.2 – Comparação entre a elevação da superfície registada no ADCP (cyan) e a modelada (azul escuro) no Bico dos Corvos.

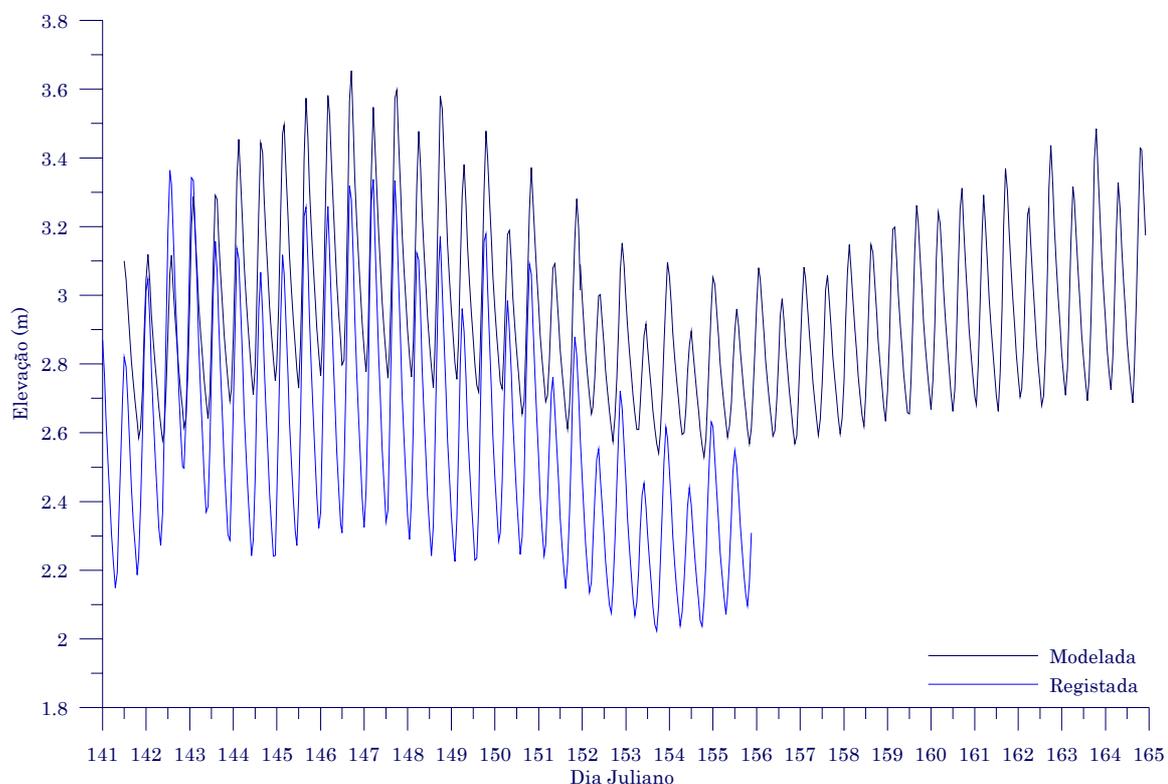


Figura nº 6.4.3 – Comparação entre a elevação da superfície registada no ADCP (cyan) e a modelada (azul escuro) no Braço da Barrosa.

No que concerne às intensidades de corrente modeladas, apenas se apresentam os resultados para um local, o Cais da Foz do Arelho. A comparação entre as intensidades registadas e as modeladas são apresentadas nas figuras nº 6.4.4 e 6.4.5.

São apresentados os resultados para dois dias em Junho de 2002 em situações de Águas Vivas e Águas Médias.

Apesar da boa correspondência das curvas de intensidade, é possível verificar que os valores provenientes da simulação são inferiores aos registados. Constata-se ainda que as curvas de intensidade simuladas estão ligeiramente desfasadas das intensidades registadas.

As principais diferenças registadas entre as observações e os dados obtidos com o modelo poderão resultar essencialmente do facto que os dados registados com o ADCP correspondem a um secção que atravessa o canal de navegação junto ao Cais da Foz do Arelho, enquanto que os dados modelados são relativos a apenas um ponto localizado em frente a esse mesmo Cais.

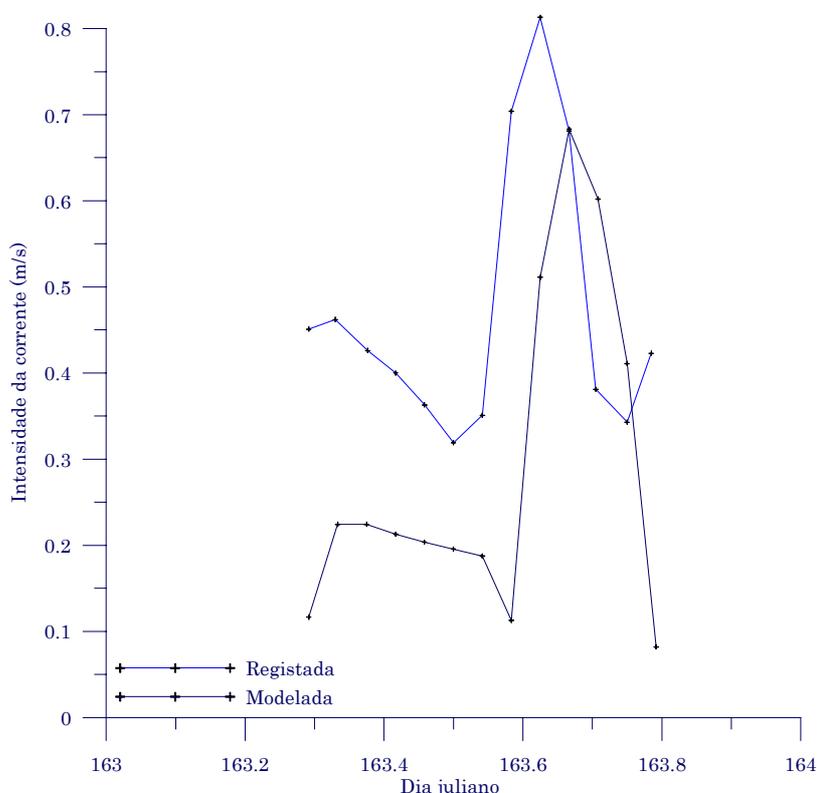


Figura nº 6.4.4 – Comparação das intensidades de corrente registada e modelada em Águas Vivas

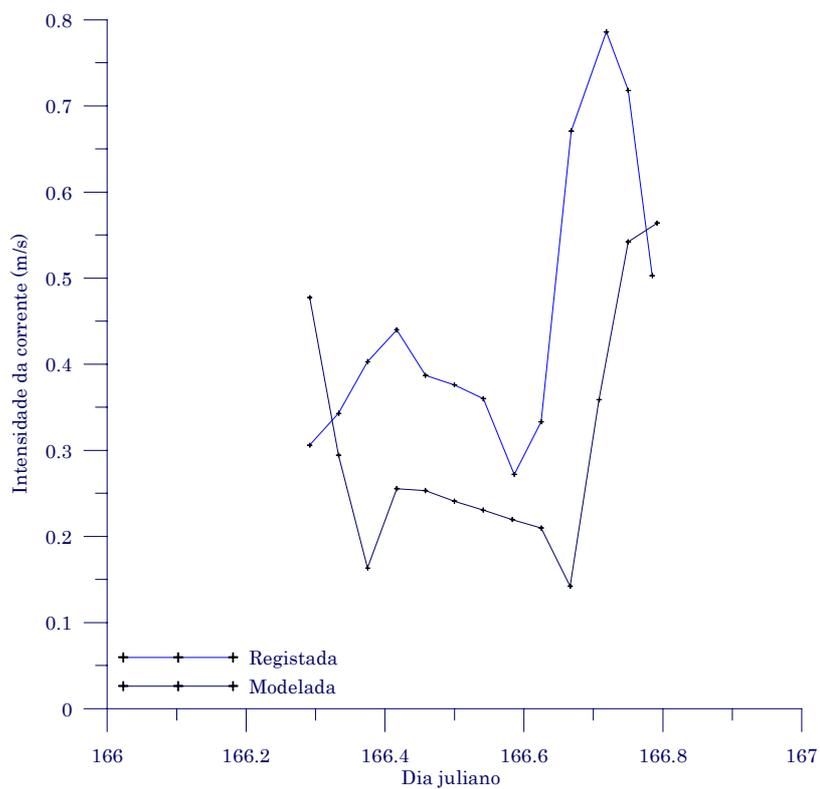


Figura nº 6.4.5 – Comparação das intensidades de corrente registada e modelada em Águas Médias

7. TRABALHO FUTURO: PROPOSTAS E RECOMENDAÇÕES

A presente dissertação é o resultado de um estudo desenvolvido no Sistema Lagunar de Óbidos, durante o período compreendido entre Outubro de 2000 e Dezembro de 2002.

Durante o decorrer do projecto foram vários os problemas enfrentados, desde avarias de sensores, a perda de equipamentos, ou a períodos de amostragem com dados inválidos.

Efectuar trabalhos de campo não é uma tarefa fácil, desde os factores logísticos até aos naturais, há muito a ter conta, para que as missões decorram conforme o planeado.

No caso da Lagoa de Óbidos, um dos grandes problemas nos trabalhos de campo prendeu-se com a navegação, que foi agravada com a ausência de sondagens actualizadas no local de amostragem.

Neste capítulo pretende-se efectuar uma crítica ao tipo e método de aquisição de dados utilizado neste projecto, tentando, sempre que possível propor uma alternativa ao esquema de monitorização executado e ainda uma avaliação da utilização do modelo MOHID na Lagoa de Óbidos.

Note-se que as propostas apresentadas são fruto de várias discussões entre os diferentes técnicos que participaram neste projecto e da experiência de campo adquirida no decorrer do projecto.

No que concerne à aquisição de parâmetros hidrológicos no interior da Lagoa de Óbidos, os principais problemas colocaram-se ao nível da aquisição dos dados, quer devido a avarias/descalibração de sensores, quer devido à forma como essa aquisição foi realizada.

Segundo as informações obtidas referentes aos sensores para registo de dados hidrológicos, o mercado actual oferece algumas soluções que, no entanto, poderão ser completamente desadequadas para este local, por ser constituída por uma massa de água muito turbida.

Uma solução possível para a aquisição deste tipo de dados consistiria na colocação de sensores para medição dos parâmetros em tempo real na coluna de água. Desta forma, poder-se-ia registar não só a evolução em continuo dos parâmetros desejados, como seria possível a detecção imediata de eventuais problemas nos sensores utilizados, procedendo-se rapidamente à sua limpeza, calibração ou substituição, consoante o caso.

No que diz respeito aos pontos de amostragem, poderiam multiplicar-se por algumas zonas que não foram cobertas e que podem ter alguma importância na caracterização hidrológica lagunar, ou algum interesse em termos de habitats ecológicos.

Em termos de período de amostragem, a aquisição poderia efectuar-se quer sazonal, quer anualmente, desde que abrangesse sempre pelo menos um ciclo de maré completo. Dadas as características do sistema proposto, quer em termos operacionais, quer económicos, a opção mais adequada tratar-se-ia eventualmente da aquisição em contínuo durante um ano.

A aquisição de dados hidrodinâmicos foi centralizada numa área restrita desta Lagoa, nomeadamente no canal de navegação principal. Este tipo de planeamento torna-se insuficiente quando se pretende conhecer a área lagunar por completo e os factores hidrodinâmicos que maior contribuição apresentam neste corpo lagunar.

A utilização dos correntómetros acústicos do tipo ADCP é neste momento o *state of the art* na aquisição de dados de correntes e caudais. Estes equipamentos, além de apresentarem uma fiabilidade bastante razoável, são relativamente fáceis de operar e de programar.

As maiores dificuldades situar-se-ão aí nível da aquisição de dados quando as condições de luz são insuficientes, ou mesmo inexistentes. Por outro lado, os períodos de amostragem devem ser coincidentes com os períodos acima indicados para os parâmetros hidrológicos, de forma a obter dados hidrológicos e correntométricos sincronizados temporalmente.

A obtenção de dados relativos à elevação do nível da superfície na Lagoa de Óbidos revelou-se uma tarefa um pouco mais complicada do que aparentava inicialmente. Neste projecto utilizaram-se sensores de pressão relativamente novos, pelo que os problemas que surgiram constituíram também alguma surpresa para os técnicos do Instituto Hidrográfico que trabalham nesta área.

Apesar dos diferentes problemas que surgiram durante a aquisição destes dados, as alterações centram-se apenas na passagem da aquisição tradicional (com a gravação de dados no próprio equipamento) para uma aquisição em tempo real. Os eventuais problemas seriam mais facilmente detetados e os sensores reparados, limpos ou substituídos, conforme o caso.

Os levantamentos hidrográficos revelaram-se insuficientes na determinação da evolução das formas de fundo na Lagoa de Óbidos, uma vez que apenas uma área parcial foi alvo de estudo.

No futuro, a realização de levantamentos em toda a área lagunar e a realização de perfis de praia na foz da Lagoa, tendo o cuidado de abranger todas as possíveis localizações da Aberta (que como foi mencionado no capítulo 5.4 é uma zona extremamente dinâmica), deve ser um aspecto a considerar.

A filtração de amostras de água para determinação das concentrações de matéria em suspensão e da sua composição poderá constituir um dado adicional à caracterização sedimentar da Lagoa.

As colheitas de amostras dos sedimentos de fundo também permitiriam a caracterização do tipo de sedimentos e da sua evolução ao longo do tempo, bem como a determinação das taxas de deposição. A existência de alguns trabalhos de campo já efectuados (p.e. EIA,1994), poderá servir de base a um esquema de amostragem futuro.

É óbvio que um projecto de monitorização de uma Lagoa costeira, como a Lagoa de Óbidos, não estaria completo sem o conhecimento das características hidrodinâmicas na faixa costeira adjacente. Não se mencionam nesta fase nenhuma propostas, visto que a análise dos dados existentes para esta zona também foi escassa.

Durante a elaboração deste estudo, foram vários os organismos contactados para a obtenção dos dados de escoamento fluvial dos afluentes da Lagoa, tarefa que se revelou infrutífera.

Os principais factores que se opõem à realização de um projecto de monitorização da Lagoa de Óbidos, como o acima proposto, são, além dos económicos, os relativos à segurança dos equipamentos.

Durante o decorrer do projecto foram detectados alguns actos de vandalismo em locais de amostragem, como por exemplo, no Cais da foz do Arelho, na caixa instalada para resguardo das baterias de alimentação do sensor de pressão aí instalado.

A obtenção de todos estes dados permite caracterizar hidrodinamicamente a Lagoa de Óbidos em termos descritivos, no entanto, a aplicação de um modelo permite ainda a análise de uma evolução a longo prazo, neste caso, o modelo implementado seria calibrado com os dados obtidos e os resultados obtidos seriam comparados com os dados de reais.

Num esquema de monitorização a longo prazo, o conhecimento prévio da zona de estudo é essencial para a obtenção de uma situação base, passada esta fase, as taxas e os locais de amostragem, bem como o tipo de dados a registar poderiam sofrer alguns ajustes, de acordo com as necessidades do estudo a desenvolver.

Num futuro poderia tornar-se necessário, p.e. obter dados sobre as características químicas ou biológicas da massa de água lagunar, desta forma todas as ciências colaborariam para uma melhor compreensão do sistema lagunar de Óbidos.

Relativamente à aplicação do MOHID na Lagoa de Óbidos, foi um processo penoso e demorado. Durante o decorrer do estudo e muito depois disso, foram várias as versões do modelo utilizadas para simular as condições hidrodinâmicas na Lagoa de Óbidos. Isto advém essencialmente do facto do MOHID ser um modelo em permanente actualização.

As principais dificuldades existiram ao nível da implementação do modelo, devido ao facto de não existir nenhum manual de referência sobre este modelo, e de poder contar apenas com a disponibilidade dos programadores para a resolução dos diversos problemas que se colocaram.

Apesar das dificuldades sentidas na realização desta tese, o estudo apresentado poderá servir de base à implementação de um esquema de monitorização pensado não só na protecção das populações influenciadas por esta Lagoa, mas na compreensão dos fenómenos que afectam este corpo de água, quer sejam eles de ordem física, química, biológica, geológica ou mesmo antropogénica.

8. CONCLUSÕES

Das várias conclusões que se podem tirar deste estudo, uma das mais importantes é a de que o modelo hidrodinâmico aplicado à Lagoa de Óbidos exhibe uma correlação positiva entre os resultados das simulações e os dados obtidos em campo.

Pode-se assim afirmar que este modelo, apesar de, eventualmente necessitar de alguns ajustes em alguns parâmetros, se encontra implementado para a Lagoa de Óbidos.

De seguida descrevem-se sucintamente os factos essenciais que caracterizam a Lagoa de Óbidos durante o período em estudo.

Relativamente aos parâmetros hidrológicos, constata-se que tal como em qualquer estuário, as suas variações são idênticas às descritas na literatura, ou seja, a entrada de água é feita junto ao fundo, o que obriga a água lagunar a permanecer junto à superfície.

A mistura destas massas de água é promovida essencialmente pela maré e pelo vento que, por se tratar de uma zona de águas pouco profundas, tem grande expressão especialmente nas zonas mais distantes da foz da Lagoa.

Devido ao facto de ser um local com elevado hidrodinamismo e de estar bastante exposto às águas costeiras, o Cais da Foz do Arelho é o local onde melhor se podem visualizar as variações no que concerne à Temperatura. O Braço da Barrosa e o Bico dos Corvos, por se tratarem de locais com menor hidrodinamismo e menos profundos que o anteriormente mencionado, apresentam, as maiores amplitudes na variação de Temperatura.

No que diz respeito à Salinidade, a análise dos dados não indica uma variação de carácter sazonal, mas sim diária.

Em termos de intensidade de correntes e caudais registados, os dados permitem afirmar que a Lagoa apresenta uma alternância de caudais entre Marés Vivas e Médias, sendo que os que apresentam valores mais reduzidos são os obtidos em Marés Médias.

Relativamente às intensidades de corrente, as maiores diferenças verificam-se com a alternância de maré semidiurna e não com a variabilidade quinzenal.

Após a aplicação do modelo verifica-se que apesar das intensidades serem ligeiramente inferiores às registadas pelo correntómetro acústico, e de ao máximos e mínimos estarem desfasados com as observações, o modelo reproduz de uma forma geral, as condições de circulação no interior da Lagoa de Óbidos.

No que concerne à propagação da onda de maré, esta, faz-se sentir em toda a área lagunar, no entanto, esta onda aparenta ser deformada pelos

efeitos não-lineares característicos das águas pouco profundas. Segundo Sverdrup *et al* (1970), nestas massas de água, o deslocamento vertical junto ao fundo modifica as características das ondas.

O marégrafo do Cais da Foz do Arelho é o que apresenta uma maior relação com os dados obtidos no exterior da Lagoa, precisamente por estar situado numa zona situada perto da foz, com ligação ao mar. Os dados demonstram que é neste local que se podem encontrar os valores máximos e mínimos de elevação da coluna de água.

A existência de um escoamento, proveniente do Rio da Cal, no Braço da Barrosa, induz a que os valores máximos e mínimos sejam sempre superiores que em relação ao Bico dos Corvos; a contribuir também para esta situação, é o facto do Braço da Barrosa se situar numa zona menos exposta à circulação de água, numa pequena baía, o que permite a acumulação no seu interior. O Bico dos Corvos localiza-se na zona de entrada de um braço relativamente longo e profundo da Lagoa, pelo que a circulação de água se processa mais facilmente.

Com a aplicação do modelo hidrodinâmico, verifica-se que a propagação da onda de maré se efectua por toda a área lagunar, embora os resultados da simulação induzam a valores mais reduzidos dos que os verdadeiramente registados. Esta onda apresenta também algum desfasamento em relação aos dados obtidos pelos três marégrafos instalados no interior da Lagoa de Óbidos.

Em termos de morfologia de fundo, a Lagoa de Óbidos apresenta zonas de transformação intensa, como é o caso da zona da aberta, e zonas em que as transformações devido aos processos de erosão/sedimentação não são tão óbvios.

De uma forma geral, a Lagoa encontra-se lentamente em processo de assoreamento, sendo interrompido apenas pela dragagem de canais de navegação ou pela construção de estruturas no seu interior. Apesar de não se demonstrar neste estudo, levantamentos mais actuais apontam para a criação de um novo banco de areia junto à foz da Lagoa, resultando daí um novo padrão de circulação e de deposição de sedimentos.

É ainda possível constatar que as grandes formas de fundo são relativamente estáveis, as zonas mais perturbadas (p.e. áreas dragadas), são as que apresentam maiores diferenças em levantamentos sucessivos.

Na área onde se efectuaram colheitas de sedimentos de fundo, junto à foz da Lagoa de Óbidos, verificou-se que os materiais mais abundantes são as Areias. No entanto, nas áreas internas a composição sedimentar poderá ser diferente, uma vez que há uma maior abundância de finos, não só em suspensão na coluna de água, mas também depositados no fundo (confirmado através de observações visuais).

9. **BIBLIOGRAFIA**

- Doodson, A. T. & Warburg, H. D.; 1941; Admiralty Manual of Tides; his Majesty Stationery Office; London;
- Sverdrup, Johnson & Fleming; 1970; The oceans – their physics, chemistry and general biology; Prentice-Hall; New Jersey;
- Knauss, J. A.; 1978; Introduction to physical oceanography; Prentice-Hall; New Jersey;
- LNEC; 1984; Ligação da Lagoa de Óbidos ao mar – Estudo de Impacte Ambiental; Relatório de Síntese; Lisboa;
- Alveirinho Dias, J.; 1987; Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental portuguesa setentrional; Dissertação apresentada para provas de Doutoramento, Faculdade de Ciências de Lisboa; Lisboa;
- Pugh, D. T.; 1987; Tides, surges and mean sea level – a handbook for scientists and engineers; John Wiley and Sons; Chichester;
- Open University; 1989; Waves, tides and shallow-water processes; Open University Course Team; Pergamon Press;
- Wetzel, R. G.; 1993; Limnologia; 2ª Edição; Fundação Calouste Gulbenkian; Lisboa;
- IDRONAUT; 1996; Operators Manual – Ocean Seven 316 Multiparameter Probe; IDRONAUT Srl; Italy;
- Beer, T.; 1997; Environmental Oceanography; Marine Sciences Series – CRC Press ; 2nd Edition ; Boca Raton ;
- Tordada, R.; 1999; Modelação da Dinâmica Sedimentar na Plataforma Continental Portuguesa; Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geodinâmica Externa; Lisboa;
- Cancino, L. & Neves, R.; 1999; Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems. Part I: description of the numerical models; Journal of Marine Systems; Vol.22; pp. 105-116;
- RD Instruments; 2000; Winriver – User’s guide; RD Instruments; USA;
- Ramalho Marreiros, J.; 2000; Levantamento topo-hidrográfico da Lagoa de Óbidos e de uma faixa costeira adjacente ;
- RD Instruments; 2001; Waves – User’s guide; RD Instruments; USA;
- Mesquita Onofre, J.; Julho 2001; Monitorização Ambiental da Lagoa de Óbidos Nov2000 - Jun2001; REL TF OC 08/2001; Instituto Hidrográfico; Lisboa;
- In-Situ; 2001; MiniTROLL - Operator's Manual - model SSP-100; In-Situ Inc.; USA;
- Onofre, J. M.; 2001; Relatório de Progresso de Trabalhos – Monitorização Ambiental da Lagoa de Óbidos Jul – Dez 2001; REL PT OC 06/2001; Instituto Hidrográfico; Lisboa;

- Beja, J. & Onofre, J. M.; 2002; Relatório de Progresso de Trabalhos – Monitorização Ambiental da Lagoa de Óbidos Mai – Ago 2002; REL PT OC 05/2002; Instituto Hidrográfico; Lisboa;
- Anon; --; Mohid Description; Maretec; Instituto Superior Técnico; Lisboa;

- UNESCO; 1985; Manual on sea level measurement and interpretation – Volume I, basic procedures; Intergovernmental Oceanographic Commission; http://www.bodc.ac.uk/projects/wocedac/guides/ioc_14i.pdf ;
- NOAA; 1998; Our restless tides, explanation of astronomical factors, tides and tidal currents; <http://www.co-ops.nos.noaa.gov/restles1.htm> ;
- --; --; Enquadramento da Lagoa de Óbidos; <http://www.terravista.pt/portosanto/1615/enquadramento.htm>;
- Oeste-Online; 2003; Locais e personagens, Lagoa de Óbidos; <http://oesteonline.pt/concelhos/obidos> ;
- --; --; Os afluentes da Lagoa de Óbidos <http://www.terravista.pt/portosanto/1615/afluentes.htm> ;
- Câmara Municipal das Caldas da Rainha; ????.; Caracterização Física e Ambiente - <http://www.cm-caldas-rainha.pt/ambiente.htm> ;
- Freitas, M. C.; 1996; Comunicação apresentada no Seminário sobre lagunas costeiras e ilhas-barreira da zona costeira de Portugal - <http://aurelia.si.fct.unl.pt/units/dct/GEOPOR/Gpref/Gec/Cfreitas.html>- ; Associação Eurocoast de Portugal;
- Humberto, J.; 2001; A Lagoa de Óbidos - <http://www.oestediario.com/oestediario> ;
- Câmara Municipal de Óbidos; --; Plano Director Municipal - <http://www.cm-obidos.pt/cmo/pdm.htm> ;
- ??; 2003; Locais e Personagens, Lagoa de Óbidos - <http://www.oesteonline.pt/concelhos/obidos> ;
- Instituto do Ambiente; --; Atlas do Ambiente; <http://www.iambiente.pt> ;