

APLICAÇÃO DE UM MODELO HIDRODINÂMICO (MOHID) COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA LAGOA DE ÓBIDOS

RESUMO: A Lagoa de Óbidos é classificada como sendo uma laguna costeira localizando-se na costa oeste Portuguesa, junto à localidade da Foz do Arelho, apresentando uma orientação NW-SE. A comunicação da lagoa com o mar faz-se através de uma barra móvel, sendo a sua migração, fecho e abertura condicionada pelas variações sazonais do clima. No caso da Lagoa de Óbidos, o processo de assoreamento acentuou-se nas últimas décadas, não só devido à tendência natural mas também devido às actividades humanas, sendo necessário frequentes intervenções humanas através de dragagens, de modo a permitir o restabelecimento da comunicação e o desassoreamento. Para perceber a hidrodinâmica da lagoa e os problemas de qualidade da água no seu interior, o IST (Instituto Superior Técnico) conjuntamente com a HIDROMOD (Modelação em Engenharia, Lda.) implementou um modelo hidrodinâmico da lagoa, baseado no sistema de modelos MOHID (www.mohid.com), capaz de simular o transporte de sedimentos, conjuntamente com o efeito das ondas e correntes. Um dos resultados determinantes neste estudo reside no facto do modelo ter conseguido simular as sobrelevações que ocorrem dentro da lagoa, as quais estão relacionadas com a ocorrência de “storm surges”. Os principais rios afluentes, Arnóia e Cal, têm pouca importância significativa em termos de hidrodinâmica, uma vez que esta é condicionada pelas ondas e maré, mas são determinantes em termos de qualidade da água, pois constituem a principal fonte de nutrientes na Lagoa. As zonas mais afectadas em termos de qualidade da água são as zonas de montante, particularmente o Braço da Barrosa, cujo tempo de residência da água é na ordem dos 10 dias.

Madalena Santos¹, Adélio Silva², Paulo Leitão³, Henrique Coelho⁴, Ramiro Neves⁵

¹ Licenciada em Oceanografia Física, madalena.maretec@ist.utl.pt, +351 218417398, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

² Ph.D, Engenharia Civil., adelio@hidromod.com, +351 214211272, Hidromod Lda., Taguspark, Núcleo Central 349, 2780-920 Oeiras

³ Ph.D, Engenharia Civil., paulo.chambel@hidromod.com, +351 214211272, Hidromod Lda., Taguspark, Núcleo Central 349, 2780-920 Oeiras

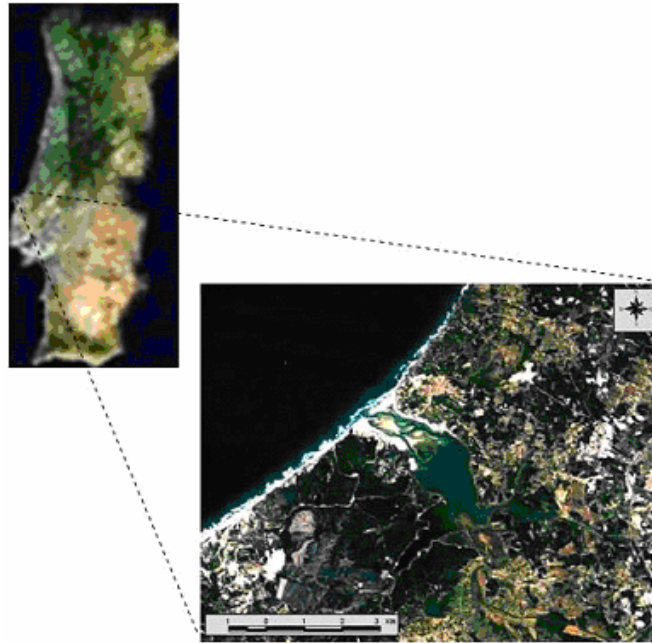
⁴ Ph.D, Engenharia do Ambiente., hcoelho@hidromod.com, +351 214211272, Hidromod Lda., Taguspark, Núcleo Central 349, 2780-920 Oeiras

⁵ Ph.D, Engenharia Mecânica., ramiro.neves@ist.utl.pt, +351 218417398, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

1. INTRODUÇÃO

A Lagoa de Óbidos é uma laguna costeira de baixa profundidade localizada na costa oeste Portuguesa, junto à Foz do Arelho, com uma orientação NW-SE (Figura 1), cuja hidrodinâmica é determinada, essencialmente, pela maré e pela interacção entre esta e o regime de agitação marítima.

A comunicação da lagoa com o mar faz-se através de uma barra móvel, cujo processo de migração, fecho e abertura é condicionada pela hidrodinâmica local e por intervenções de dragagem da barra e dos canais no interior da lagoa.



Duas zonas, diferenciadas pelos processos dominantes e pela exposição a impactes negativos podem ser identificadas: A zona litoral e da barra onde os processos de transporte de areias e mecanismos morfodinâmicos ao longo dos canais estreitos constituem os processos dominantes; O corpo principal da lagoa influenciado pelos processos de dispersão, pelo transporte de sedimentos e por complexos compartimentos biogeoquímicos.

Os factores que controlam estes aspectos são o canal de entrada, o regime fluvial e as práticas agrícolas, as cargas poluentes pontuais industriais e domésticas, as cargas poluentes difusas trazidas por efeito do runoff de nutrientes e químicos acumulados no solo e pelas águas subterrâneas.

O processo de migração da barra e a orientação do escoamento, são actualmente condicionados por um dique, o qual foi construído com o objectivo de proteger a

margem norte da embocadura (DHI, 1997). O canal que liga a lagoa ao mar, devido à actual posição da barra a sul, está progressivamente a ser desviado para a zona da praia do Bom Sucesso, provocando erosão na margem sul da embocadura. Para minorar o risco de destruição das propriedades privadas existentes na margem sul, o Instituto Nacional da Água (INAG) tem vindo a colocar desde 1998 milhares de sacos de plástico com areia na zona, com o objectivo de funcionarem como uma protecção temporária. A última intervenção ocorreu em Outubro de 2002, quando foram colocados 4.500 sacos que, com o mau tempo, acabam por cair para a lagoa. Com o objectivo de resolver a erosão na margem Sul, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) propôs o reforço da margem esquerda com um muro em pedra parcialmente enterrado na água.

As afluições fluviais (rios da Cal e Arnóia) têm importância secundária em termos de hidrodinâmica, mas são determinantes em termos de qualidade da água na região de montante, onde os tempos de residência são mais elevados (da ordem do mês) e as velocidades mais baixas, levando à deposição de sedimentos finos. Os nutrientes dissolvidos e os nutrientes provenientes da matéria particulada depositada na região de montante determinam o nível trófico no interior da laguna que foi classificada como sensível, com base no critério da eutrofização segundo o DL N°149/2004 de 22 Junho. As zonas mais afectadas, são os braços superiores da lagoa, nomeadamente Barrosa e Bom Sucesso, onde o efeito de renovação de água é menos acentuado. Estas zonas apresentam maior concentração de algas do que no corpo central da lagoa (DRALVT, 1997).

Neste trabalho é apresentada a caracterização do estado de referência da qualidade da água e resultados de modelação matemática da circulação e de transporte de sedimentos no interior da Lagoa e na zona da embocadura. A caracterização da situação de referência tem sido desenvolvida no âmbito de um projecto com as Águas

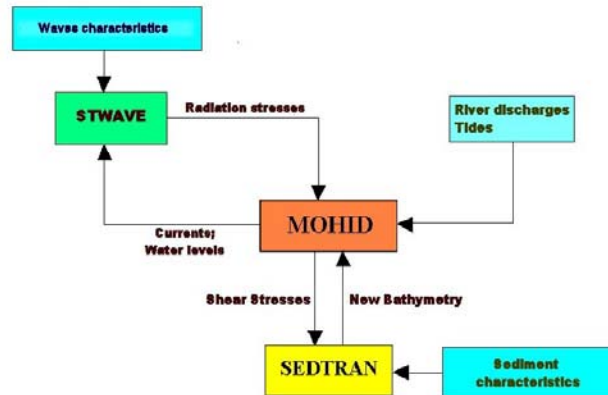
do Oeste e o Instituto Superior Técnico (IST/MARETEC), enquanto que a modelação matemática foi realizada pela HIDROMOD (Modelação em Engenharia, Lda.) recorrendo ao sistema de modelos MOHID (www.mohid.com). Este sistema de modelos permite simular o escoamento resultante da interacção entre ondas e marés e o transporte de sedimentos que lhe está associado. O estudo mostra que a interacção entre as ondas e as marés é determinante para simular as sobreelevações que ocorrem dentro da lagoa em situações de tempestade. O trabalho permitiu fazer uma caracterização hidrodinâmica da lagoa, baseada nos resultados do modelo, bem como a interacção dos processos físicos com os processos ecológicos, nomeadamente tempos de residência e disponibilidade dos nutrientes na lagoa.

2. METODOLOGIA

Tendo por objectivo caracterizar a hidrodinâmica, o transporte de sedimentos e a qualidade da água na lagoa, foi aplicado um sistema integrado de modelos capazes de simular a propagação da agitação, determinar os campos de correntes associados à acção conjunta da agitação, maré, prever as potenciais zonas de erosão e sedimentação associadas aos campos de correntes calculados e caracterizar a qualidade da água.

Para simulação dos fenómenos relacionados com a hidrodinâmica, o transporte de sedimentos e a qualidade da água foi utilizado o sistema MOHID e para a simulação da propagação da agitação foi utilizado o modelo STWAVE.

A simulação de forma integrada da hidrodinâmica decorrente da interacção de ondas e correntes foi efectuada recorrendo a um sistema que utiliza em sequência os modelos MOHID e STWAVE de acordo com o esquema representado na Figura 2. A quantificação do transporte e das alterações na batimetria foram efectuadas com base no módulo de transporte do modelo MOHID: SEDTRAN.



2.1. MODELO MOHID

O modelo MOHID, usado para a simulação dos processos físicos, químicos e biológicos foi desenvolvido a partir de vários modelos já existentes, utilizando novas tecnologias da engenharia informática, nomeadamente a programação orientada por objectos. O modelo, já foi objecto de diversas aplicações, salientando a capacidade de simular e obtenção de respostas aos problemas propostos. O modelo foi já objecto de aplicação na generalidade dos estuários e lagoas costeiras portuguesas (eg., Silva et al, 2002, Martins et al., 2001, Leitão et al, 2000) e estrangeiras (eg, Taboada et al, 1998, Montero, 1999, Montero et al 1999, Taboada et al 2000, Vilareal et al 2000, Péres-Villar 1998).

A base de partida para o desenvolvimento deste sistema de modelação foram modelos sectoriais, entre os quais se destacam três modelos hidrodinâmicos (um modelo bidimensional, um modelo tridimensional com coordenada vertical tipo dupla sigma e um tridimensional com coordenada vertical genérica), um modelo de turbulência unidimensional, um modelo de transporte eulereano, um modelo de transporte lagrangeano e um modelo de qualidade da água.

A actual filosofia do modelo (Miranda, *et al.*, 2000) permite trabalhar com qualquer número de dimensões e, além da hidrodinâmica, a simulação simples de processos de transporte e qualidade da água em vários domínios. O modelo é programado em ANSI Fortran 95, recorrendo à programação orientada por objectos (Decyk, *et al.*, 1997). A divisão do programa em módulos, tal como o fluxo de informação entre estes módulos, foi objecto de um estudo profundo. Cada módulo é responsável por gerir um tipo específico de informação, a qual é encapsulada para assegurar a fiabilidade do modelo. O encapsulamento, assegura que a informação associada a um dado módulo só é alterada dentro do mesmo, sendo assim impossível a introdução de erros por alteração indevida da informação noutros módulos.

A metodologia utilizada permite correr vários modelos encaixados em simultâneo, sendo as condições de fronteira fornecidas em cascata. O modelo geral fornece as condições de fronteira para os sub- modelos e estes por sua vez aos sub-sub- modelos. Esta filosofia permite estudar com detalhe áreas de pequenas dimensões com uma malha muito fina.

2.1.1. Módulo Hidrodinâmico

O módulo hidrodinâmico do modelo MOHID resolve a forma primitiva tridimensional das equações do movimento. As únicas aproximações admitidas são a de Boussinesq e a hidrostática (Santos, 1995 e Martins. 1999).

As equações de balanço da quantidade de movimento nas três direcções espaciais, e da continuidade em coordenadas cartesianas podem escrever-se:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_V \frac{\partial u}{\partial z})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_V \frac{\partial v}{\partial z})$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

em que t , representa o tempo; u, v, w as componentes da velocidade; f o parâmetro de Coriolis; p a pressão; ρ a densidade da água; g a aceleração da gravidade e, A_H e A_V - viscosidade cinemática turbulenta na horizontal e vertical. As velocidades horizontais são calculadas com base nas equações do movimento enquanto a localização da superfície livre e a velocidade vertical são calculadas por continuidade. As equações são aplicadas, explicitamente, a cada volume de controlo num referencial tridimensional. A discretização temporal utilizada é semi-implícita do tipo ADI “*Alternate Direction Implicit*”, a qual 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 foram discretizados implicitamente (pressão barotrópica, atrito, convecção e difusão vertical), enquanto para os restantes se optou por uma abordagem explícita. 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, e uma segunda baseada no esquema S21 que envolve a resolução de 4 equações.

2.1.2. Módulo Lagrangeano

O tempo de residência da água no interior da lagoa é um importante indicador para a compreensão global do sistema. De acordo com a descrição em ‘Technical Guidance Manual for Nutrient Criteria’ (<http://www.epa.gov/>), existem diversas formas de definir tempo de residência mas, em geral, pretende-se determinar quanto tempo a água permanece no interior do estuário, ou o seu tempo de renovação. O tempo de

residência da Lagoa é determinado recorrendo ao Módulo Lagrangeano (Braunschweig, 2003) do sistema MOHID, que permite utilizar o conceito de traçador lagrangeano com a finalidade de “marcar” a água no interior da lagoa.

Esta metodologia permite dividir a lagoa em 5 caixas distintas, sendo que cada caixa é preenchida com traçadores lagrangeanos. O volume de partículas em cada caixa corresponde, no instante inicial, ao volume de água da respectiva caixa, pelo que, no total, o volume de partículas representa o volume total do estuário. Cada uma das Caixas de Integração possui uma coloração distinta, o que permite distinguir a origem das partículas ao longo da simulação. Cada partícula tem associada a sua posição, ou seja, a caixa em que se encontra em cada instante, mas também a sua caixa de origem. Com este tipo de informação é possível determinar, em cada instante, o volume de partículas que se encontram no interior do estuário e as proporções relativas das contribuições das várias origens.

Para as simulações considerou-se, na fronteira aberta, a existência de maré, e nas fronteiras laterais fechadas as descargas de água doce no interior da lagoa. A simulação parte de uma distribuição de partículas que preenche todo o volume do estuário, sendo feita para um período de 30 dias.

2.2. MODELO STWAVE

A simulação da agitação do largo até à costa foi efectuada com base num modelo de propagação da energia da onda, capaz de simular a propagação de um espectro direccionado – STWAVE (Steady-state spectral wave model). Este modelo permite a descrição quantitativa da variação dos parâmetros da onda (altura, período, direcção e forma espectral) ao longo da respectiva propagação desde o largo até à costa.

O modelo STWAVE é o modelo de propagação da agitação utilizado usualmente pelo US Army Corps of Engineers, e inclui a simulação dos fenómenos de difracção,

refracção e empolamento das ondas por efeito da batimetria e da interacção com correntes, e geração de ondulação por acção do vento. Para além disso, o modelo contempla, ainda, a simulação dos processos de rebentação e da interacção onda-onda e *white capping*, responsáveis pela redistribuição e dissipação de energia num campo de ondas em desenvolvimento.

2.3. DADOS

A lagoa de Óbidos tem sido objecto de diversos estudos que têm permitido reunir para o local, uma colecção de dados sobre a hidrodinâmica, as características dos sedimentos e a qualidade de água. A título de exemplo podem citar-se os trabalhos do Instituto Hidrográfico (IH), Instituto de Investigação das Pescas e do Mar (IPIMAR) e INAG

O IH, a pedido do INAG, realizou em 2000-2001 uma monitorização ambiental da Lagoa de Óbidos. O projecto MAMBO, acrónimo de Monitorização Ambiental de Óbidos, prolongou-se, numa primeira fase, até Maio de 2001.

O objectivo deste trabalho foi estabelecer uma rede de monitorização hidrodinâmica na Lagoa de Óbidos através da instalação de três estações lagunares, uma estação litoral e recolha de dados meteorológicos e de correntes na zona.

No âmbito do mesmo programa de monitorização o IPIMAR efectuou uma caracterização dos sedimentos e do macrozoobentos (IPIMAR, 2002).

A caracterização da situação de referência da qualidade da água, na Lagoa de Óbidos, foi feita tendo como base a informação proveniente do INAG (www.snirgh.inag.pt), o qual possui 6 estações de monitorização espalhadas pelo interior da lagoa, cuja localização se encontra na Figura 3. A caracterização da situação de referência, requer o conhecimento das principais variáveis que caracterizam o sistema e dos processos que as determinam, de modo a permitir identificar e quantificar o ecossistema. Para tal é necessário a recolha de informação bibliográfica sobre a Lagoa. Os dados que nos

permitem caracterizar a situação de referência da qualidade da água na lagoa, são referentes ao ano de 2003. Neste estudo serão apresentados mapas de concentração de oxigênio dissolvido, nutrientes e clorofila *a*. Em relação às concentrações de clorofila *a*, apenas existe registo para uma das estações de monitorização, nomeadamente Seixo, tornando-se difícil caracterizar a variação espacial de Clorofila *a* na Lagoa de Óbidos.

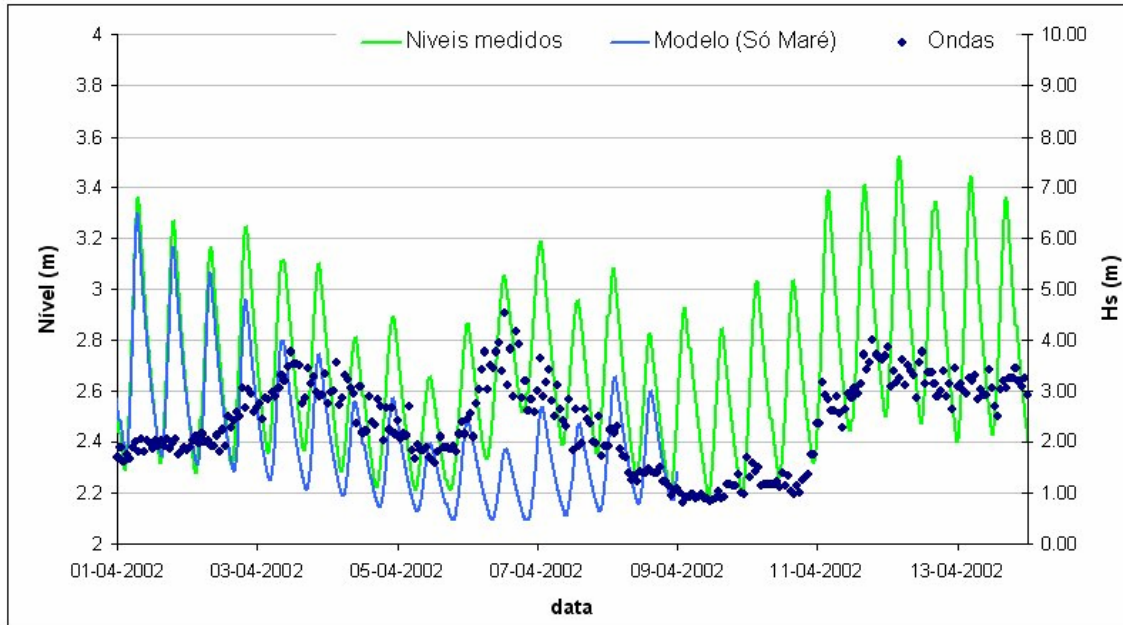
3. RESULTADOS

3.1. HIDRODINÂMICA DA LAGOA

A hidrodinâmica no interior da lagoa de Óbidos é dominada por processos relacionados com a propagação da maré. Em situações de ocorrência de climas de agitação com maior nível energético criam-se, igualmente, condições para que se verifiquem sobreelevações no interior da lagoa que podem ser significativas.

A simulação do escoamento no interior da lagoa, considerando o forçamento isolado da maré, não permite reproduzir as sobreelevações frequentes registadas pelos 3 marégrafos instalados pelo IH (Figura 4).

Como se pode observar, nas alturas em que a altura significativa das ondas é relativamente baixa (da ordem de 1 m ou inferior) os níveis calculados pelo modelo comparam relativamente bem com as medidas. No entanto, à medida que aumenta a energia da agitação, verifica-se que os resultados do modelo deixam de acompanhar os valores medidos. Este comportamento é similar nos 3 marégrafos pelo que não se pode pôr a hipótese das flutuações de nível poderem estar associadas a eventuais erros de leitura.

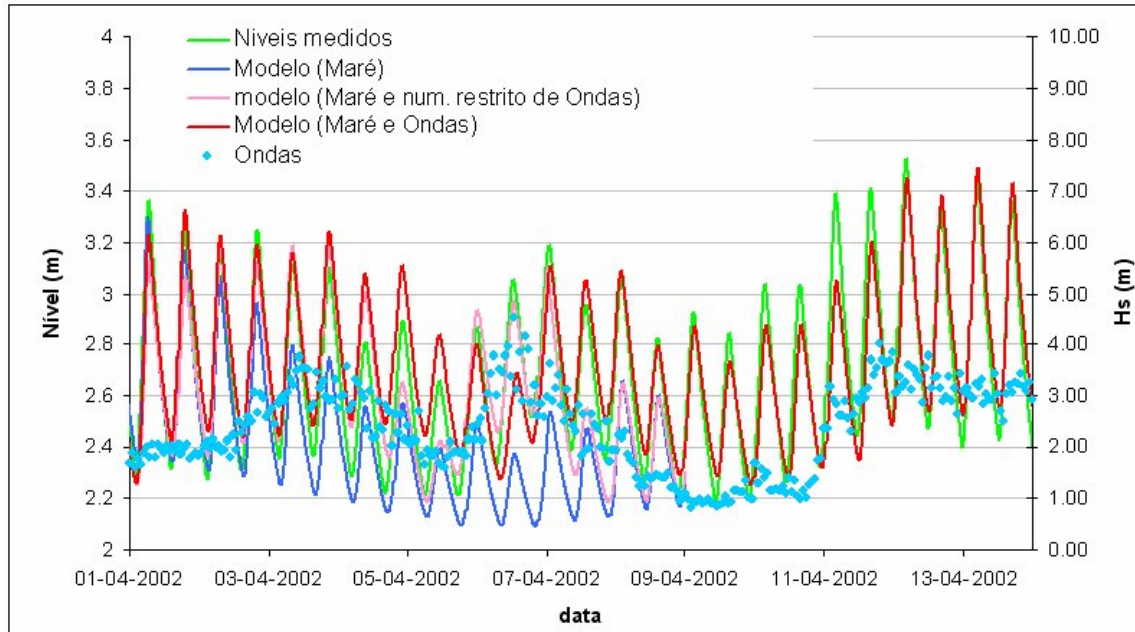


A consideração da acção combinada de ondas e correntes permite corrigir este problema, permitindo que os resultados das simulações comparem de forma razoável com as medidas (Figura 5). Um dos problemas, associados à execução deste tipo de simulações, está relacionado com a disparidade de escalas temporais e espaciais associadas aos fenómenos da maré e, das ondas.

Tendo em atenção que as características da propagação da agitação, vão sofrendo alterações com a variação do nível de maré e com a intensidade das correntes de enchente/vazante, a opção óptima seria poder simular a propagação da agitação, com intervalos suficientemente pequenos para poder ter em consideração, em cada instante, estes dois factores. No entanto, dado o esforço computacional que tal procedimento exigiria o procedimento normal passa pela simplificação do processo através da redução no números de instantes em que a propagação é recalculada ao longo do ciclo de maré e, eventualmente, da substituição das ondas reais por climas de agitação “equivalentes” representados por um número restrito de ondas.

Nas simulações efectuadas foi considerada uma actualização do cálculo da agitação a cada 2 horas e foram efectuadas simulações considerando um clima de agitação

simplificado e o clima de agitação real medido pelo ADCP instalado pelo IH na batimétrie dos 20 m. Como se poderá observar na Figura 5, a utilização do clima de agitação observado permitiu reproduzir os níveis medidos de forma mais razoável que o clima de agitação simplificado.



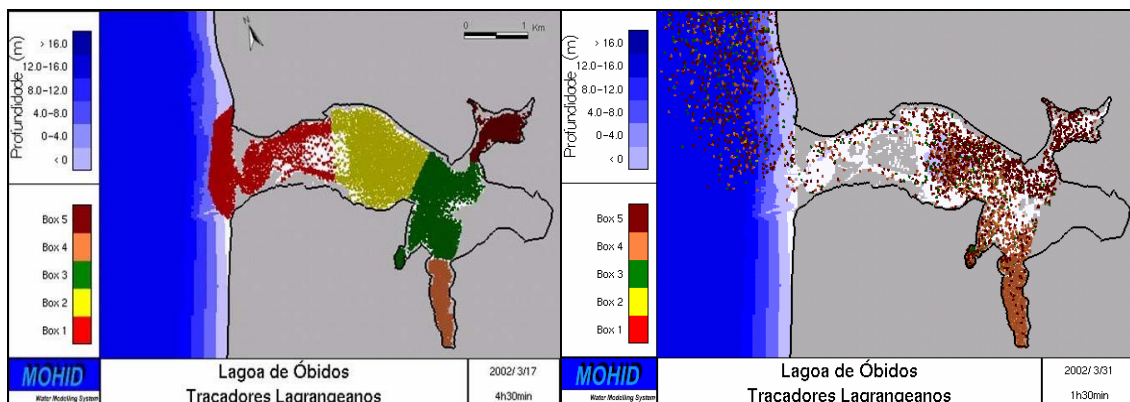
Para além dos efeitos associados à ocorrência de sobrelevações, a consideração da acção combinada de ondas e correntes têm igualmente consequências significativas ao nível dos processos de hidrodinâmica e transporte., sendo fundamental a sua consideração na análise dos processos na barra.

3.1.1. Tempos de Residência

Os tempos de residência foram calculados através do módulo Lagrangeano do Modelo MOHID. Nestes sistemas, grande parte dos nutrientes têm origem externas, ou seja, através dos rios ou descargas afluentes e, o tempo de residência da Lagoa torna-se um factor importante no que diz respeito à disponibilidade de nutrientes no seu interior.

Quando o tempo de residência é muito baixo, embora a disponibilidade de nutrientes possa não ser reduzida, o facto de estes passarem um período de tempo reduzido no

seu interior, pode ser um importante factor limitativo da produção primária. Nestas condições, apesar de não existir, realmente, uma falta de nutrientes, estes não são consumidos, simplesmente porque não passam tempo suficiente no interior do sistema para permitir que sejam desencadeados os processos de produção primária. Assim, considera-se que um estuário, com um tempo de residência baixo, apresentará, à partida, importantes exportações de nutrientes e *blooms* de algas menos frequentes. Se o tempo de residência for elevado os nutrientes ficam tempo necessário e suficiente para desencadear a produção primária. A Figura 6 representa a distribuição inicial de partículas no interior do estuário e a Figura 7 representa a distribuição de partículas após 15 dias de simulação. Do lado esquerdo da figura encontra-se a respectiva legenda com a cor e o número da caixa. Cada partícula tem associada a sua posição, ou seja, a caixa em que se encontra em cada instante, mas também a sua caixa de origem. São apresentados os tempos de residência em cada caixa de integração usada na Lagoa de Óbidos. O número de partículas no interior da lagoa diminui, gradualmente, ao longo das simulações, permanecendo 70% no seu interior após 7 dias, e apenas 20% após 15 dias. A zona dos Braços da Barrosa e Bom Sucesso são as que apresentam maiores tempos de residência, nomeadamente 26 e 10 dias.



3.2. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA

O desenvolvimento do fitoplâncton é limitado pela temperatura, nutrientes e luz, sendo por isso bastante variável ao longo do ano. A quantidade de luz na água está associada a vários ciclos: ciclo sazonal de intensidade luminosa (Inverno/Verão), ciclo diário (Dia/Noite), ciclo Maré Viva/Morta Cheia/Vazia que afecta a turbidez e ainda a ocorrência de fenómenos ocasionais como cheias, secas, blooms de algas. Em termos de transporte verifica-se que as maiores concentrações de clorofila estão normalmente associadas a áreas com maiores tempos de residência da água, uma vez que os nutrientes ficam retidos tempo suficiente para serem consumidos e desencadear os processos biológicos. A caracterização da situação de referência foi feita através da avaliação da distribuição das concentrações existentes na lagoa, bem como a sua ligação e dependência com os processos físicos, nomeadamente o tempo de residência.

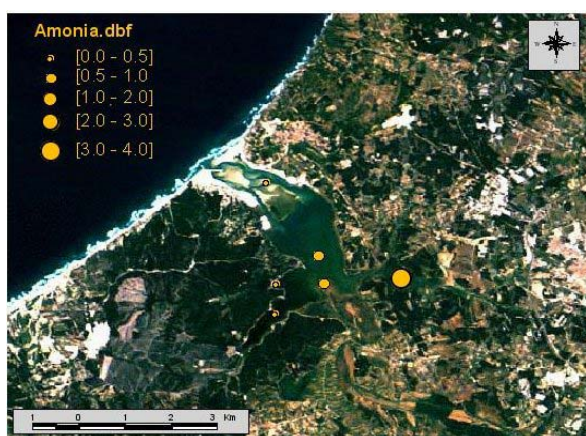
Os mapas de concentração de nutrientes, oxigénio dissolvido e clorofila *a* são apresentados para as diferentes estações do ano, uma vez que se pretende caracterizar também a variação sazonal de algumas propriedades. No canto superior esquerdo das figuras estão representadas as várias classes de acordo com a variação da concentração na Lagoa de Óbidos, sendo esta representada por pontos de tamanhos diferentes, os quais aumentam de acordo com as respectivas gamas de valores.

As concentrações de amónia diminuem de montante para jusante, sendo as maiores concentrações registadas na proximidade das descargas dos rios, nomeadamente Braço da Barrosa. Neste Braço aflui o Rio da Cal, o qual por sua vez recebe as descargas da água residuais das Caldas da Rainha. Esta ETAR, recebe esgotos de um número considerável de habitantes e também das Indústrias de cerâmica e pecuárias. A

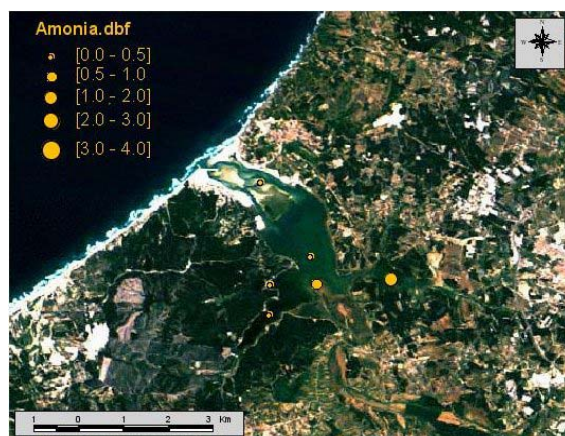
concentração de nitrato, apresenta valores mais elevados próximo das descargas dos rios e durante o Inverno. Este resultado pode ser explicado pelo facto de que, no período existe uma maior probabilidade de ocorrência de cheias, provocando um aumento de caudal nos principais afluentes, Rio Arnóia e Rio da Cal. O fosfato total diminui de montante para jusante, sendo a maior concentração registada no Braço da Barrosa. Este facto, pode estar associado às grandes práticas agrícolas e campos de agricultura existentes por toda a margem norte deste braço, uma vez que na agricultura são frequentemente usados adubos fosfatados. Com o registo apenas de uma estação é muito difícil caracterizar a variação espacial da Clorofila na Lagoa de Óbidos.

Com base neste registo, apenas se pode dizer que o valor mais elevado para esta estação decorreu na Primavera, o qual poderá estar associado, tal como foi dito anteriormente à variação sazonal da intensidade luminosa. No entanto no decorrer das campanhas de monitorização da lagoa, verificou-se que o Braço da Barrosa e o Braço do Bom Sucesso (embora mais evidente no Braço da Barrosa) apresentavam uma enorme quantidade de algas. Esta constatação vai ao encontro do registo da concentração de oxigénio, uma vez que o crescimento excessivo das algas pode levar a uma depleção de oxigénio. Por outro lado, as maiores concentrações de nutrientes registam-se no Braço da Barrosa, onde se verifica também o maior tempo de residência (~10 dias), criando-se, assim, todas as condições favoráveis para o desenvolvimento da actividade biológica.

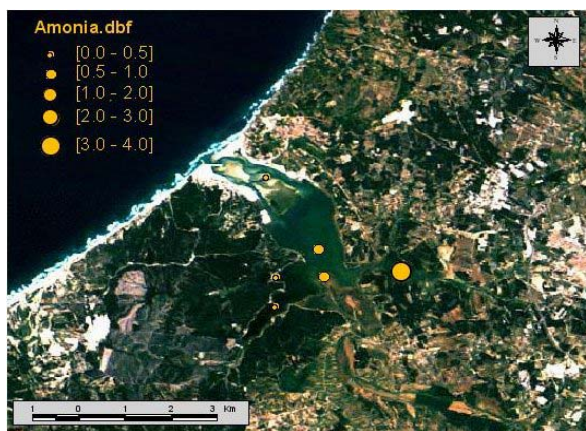
Primavera



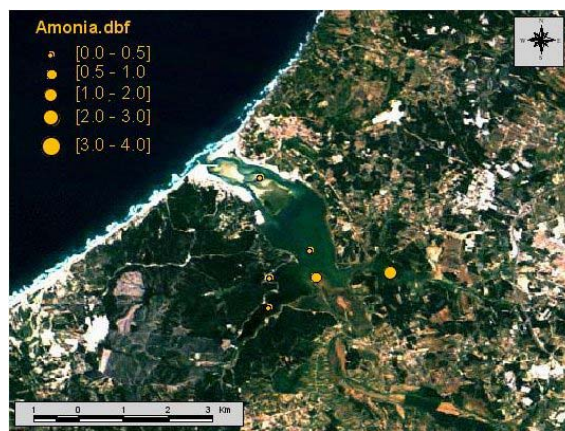
Verão



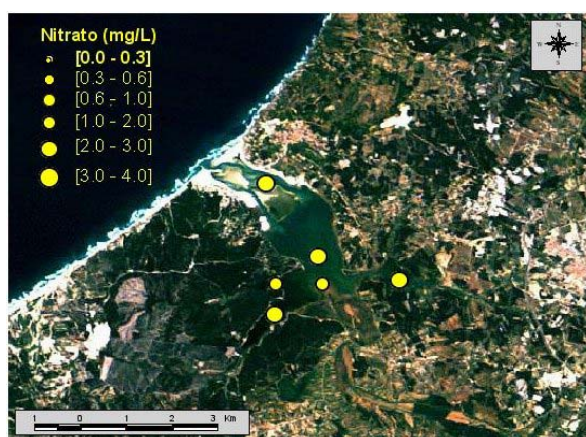
Outono



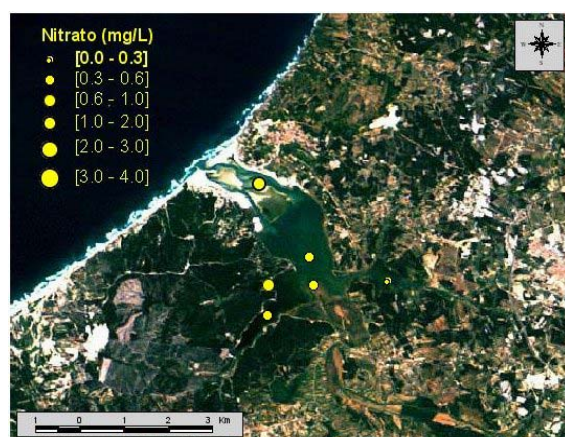
Inverno



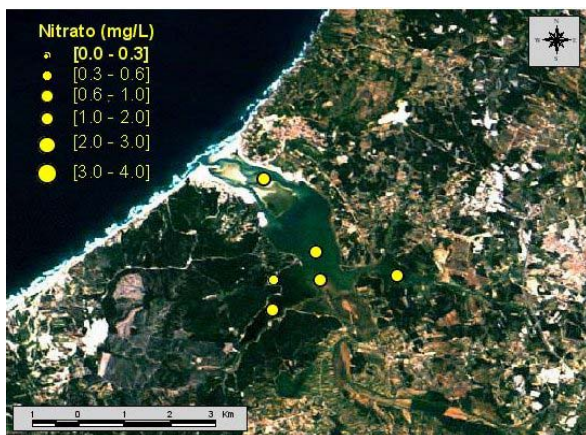
Primavera



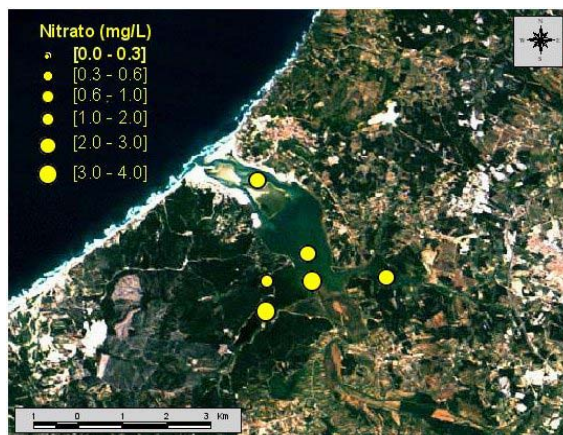
Verão



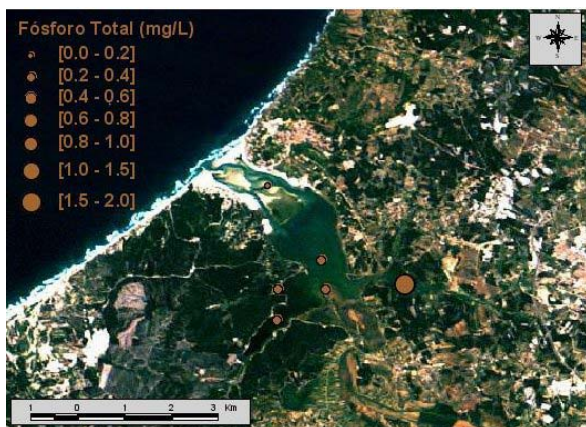
Outono



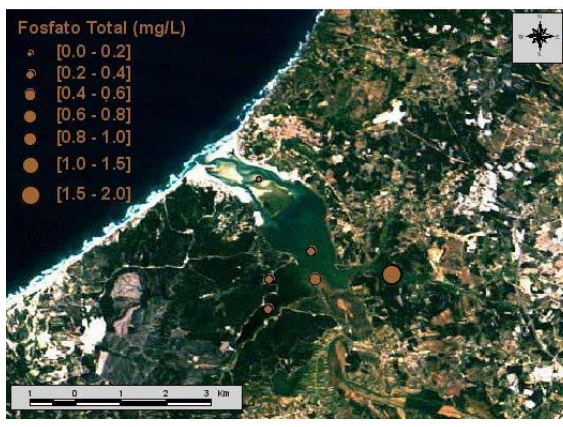
Inverno



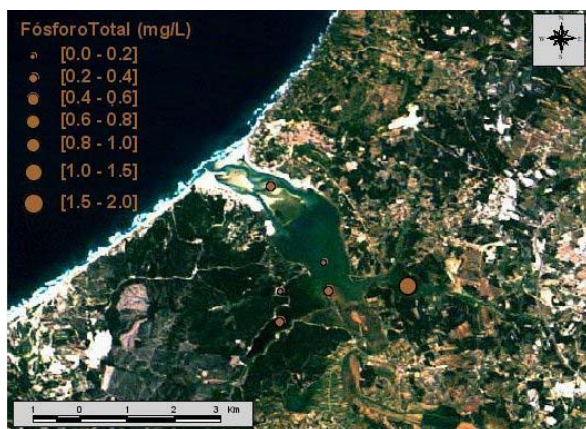
Primavera



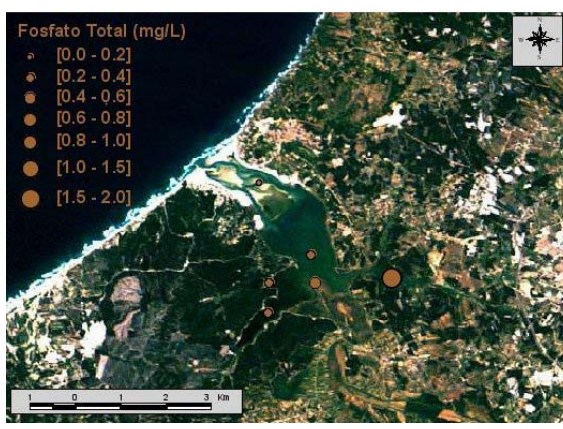
Verão



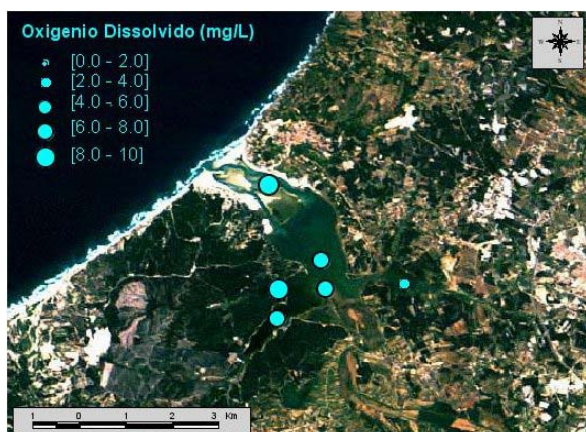
Outono



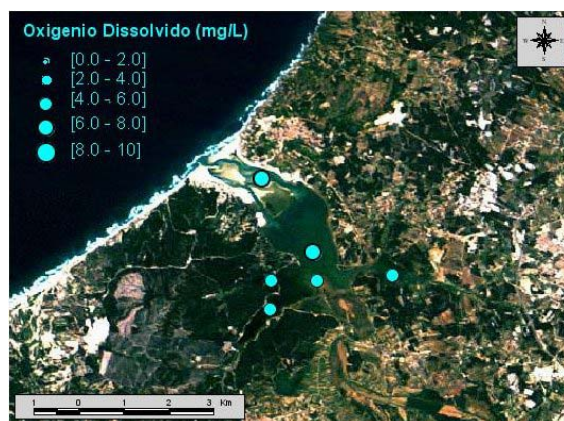
Inverno



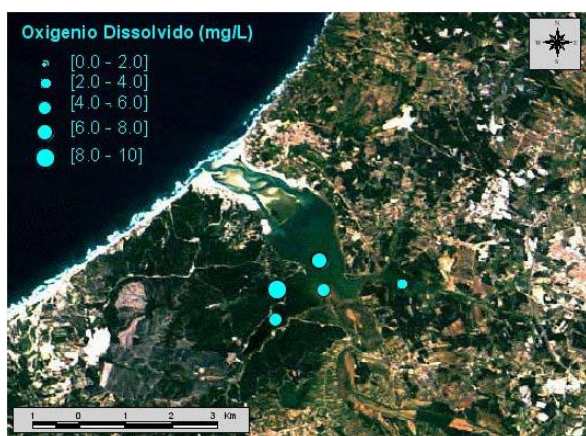
Primavera



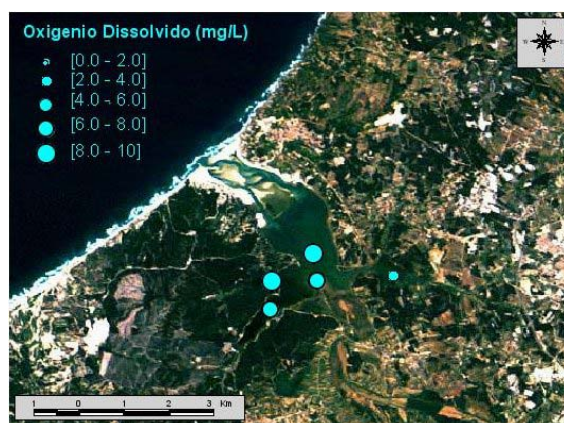
Verão



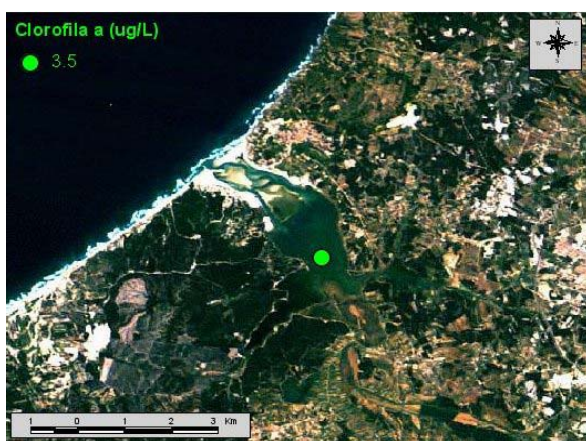
Outono



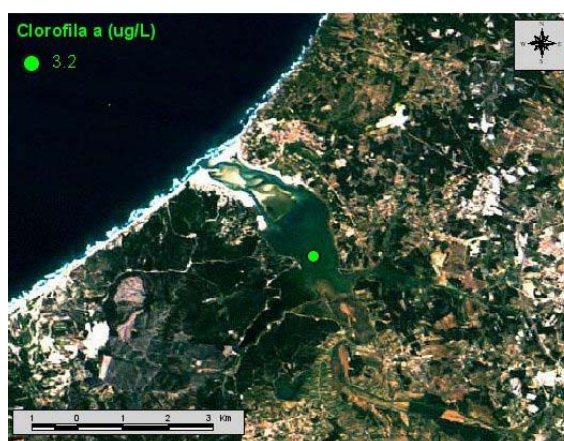
Inverno

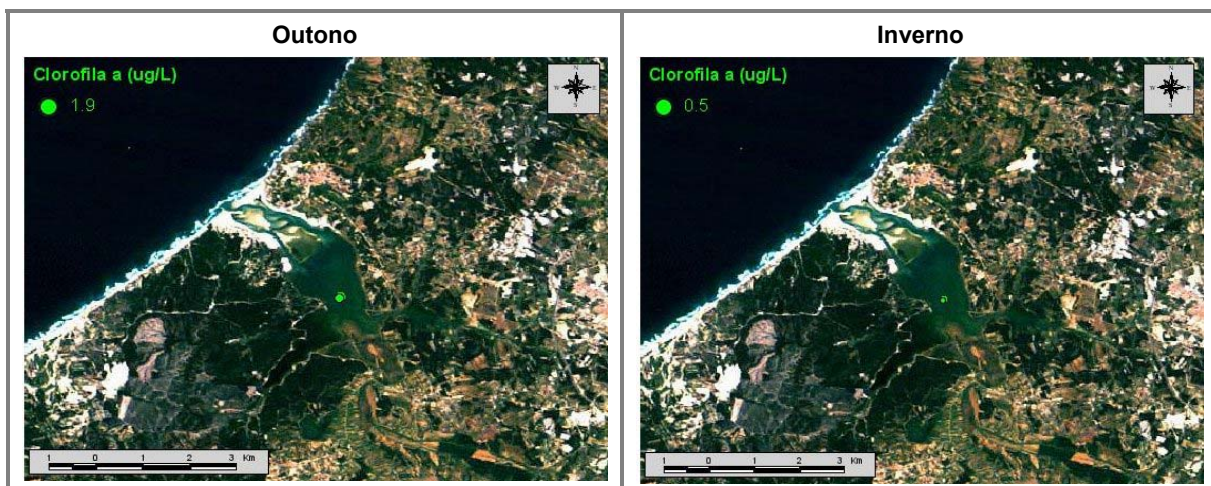


Primavera



Verão





3.3. CONCLUSÕES

Nesta comunicação são apresentados resultados da caracterização da situação actual da lagoa de Óbidos no que respeita aos processos de hidrodinâmica e qualidade da água.

Na componente da caracterização da hidrodinâmica é posta em evidência a importância dos processos associados à acção conjugada de ondas e correntes, que têm consequências ao nível dos processos de hidrodinâmica e transporte, com reflexos nos campos de correntes e na ocorrência de sobrelevações com valores significativos.

Na componente da qualidade da água mostra-se que as descargas dos principais rios afluentes, Cal e Arnóia, são determinantes na qualidade da água da Lagoa de Óbidos, uma vez que estes são a principal fonte de nutrientes na lagoa.

As zonas a montante, Braço da Barrosa e Bom Sucesso, apresentam tempos de residência elevados, 12 e 26 dias, respectivamente; velocidades baixas fazendo com que ocorra a deposição de sedimentos finos. O Braço da Barrosa apresenta quantidades consideráveis de nutrientes (amónia, fosfato e nitrato) e índices muito baixos de oxigénio, situados na ordem dos 4 mg/L, evidenciando as características conhecidas em relação ao processo de eutrofização. O Braço do Bom Sucesso

actualmente, não apresenta problemas na concentração de oxigénio, no entanto pode sofrer um agravamento das condições actuais, se não forem tomadas medidas de acção uma vez que este Braço apresenta uma enorme tendência para o assoreamento.

Em termos de hidrodinâmica a contribuição das descargas dos principais rios afluentes, Arnóia e Cal, são pouco significativas face ao prisma de maré no interior da Lagoa. A maré é a principal responsável pela renovação da água no interior da Lagoa, de modo que é vital a sua comunicação com o mar para permitir uma renovação cíclica da água e por conseguinte uma melhoria na qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se às Águas do Oeste pela colaboração prestada no decorrer do Projecto de Monitorização da Lagoa de Óbidos e do Emissário Submarino da Foz do Arelho, particularmente à Dr^a. Sara Duarte,.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Danish Hydraulic Institute, DHI (1997). *Hydraulic and Sedimentologic Studies design of a Dike/Channel System*, Relatório realizado no âmbito do Projecto para a Fixação da Aberta da Lagoa de Óbidos, INAG, pp.112.

Regional de Ambiente e Recursos Naturais de Lisboa e Vale do Tejo, DRA/LVT (1997). Direcção, *Lagoa d'Óbidos - Avaliação do Estado de Qualidade da Água*, Ministério do Ambiente, Lisboa.

Decyk, V. K., C. D. Norton, B. K. Szymanski (1997). *Expressing Object-Oriented Concepts in Fortran90*. ACM Fortran Forum, Vol. 16 .

Braunschweig, F., Martins, F., Chambel, P. & Neves, R. (2003). A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case. *Ocean Dynamics* 53(3): 137-145.

Instituto de Investigação das Pescas e do MAR, IPIMAR (2002). *Caracterização ambiental da lagoa de Óbidos*, Relatório, Abril de 2002.

Leitão, J.C., Silva, A.J.R., Berzin, G., Neves, R.J.J., (2000), *Estudo do melhor local para o descarte de lodos dragados no Porto de Santos*, IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro (BA), Brasil.

Martins, F., R. J. Neves, P.C. Leitão & A.J.R. Silva (2001). 3D modelling in the Sado estuary using a new generic coordinate approach. *Oceanologica Acta* 24: S51-S62.

Miranda, R., F. Braunschweig, P. Leitão, R. Neves, F. Martins and A. Santos (2000) – Mohid 2000, A Coastal integrated object oriented model. *Hydraulic Engineering Software VIII*, WIT Press.

Montero, P. (1999). *Estudio de la hidrodinámica de la Ría de Vigo mediante un modelo de volúmenes finitos (Study of the hydrodynamics of the Ría de Vigo by means of a finite volume model)*, Ph.D. Dissertation, Universidad de Santiago de Compostela, in Spanish.

Montero, P., M. Gómez-Gesteira, J. J. Taboada, M. Ruiz-Villarreal., A. P. Santos, R. J. J. Neves, R. Prego & V. Pérez-Villar (1999). *On residual circulation of Vigo Ría using a 3D baroclinic model*, Boletín Instituto Español de Oceanografía 15, Suplemento 1.

Neves, R. J. J. (1985). *Étude Experimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado*. Ph. D. Thesis, Univ. Liège

Pérez-Villar, V. (1998). Evaluation of the seasonal variations in the residual patterns in the Ría de Vigo (NW Spain) by means of a 3D baroclinic model, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 47: 661-670.

Silva, A.J.R., Leitão P.C., Leitão J.C., Braunschweig F. & Neves R.J.J., (2002), *Ria Formosa 3D hydrodynamic model. A contribution for the understanding of the Faro-Olhão inlet processes*. Proceedings of Littoral 2002, 6th Intern. Conf., The Changing Coast, Vol 2, pp 197-207.

Taboada, J.J., R. Prego, M. Ruiz-Villarreal, P. Montero, M. Gómez-Gesteira, A. Santos & V. Pérez-Villar (1998). Evaluation of the seasonal variations in the residual patterns in the Ría de Vigo (NW Spain) by means of a 3D baroclinic model. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 47: 661-670.

Taboada, J.J., M. Ruíz-Villarreal, M. Gómez-Gesteira, P. Montero, A. P.Santos, V. Pérez-Villar & R. Prego (2000). Estudio del transporte en laRía de Pontevedra (NOEspaña) mediante un modelo 3D: Resultados preliminares, In: Estudos de Biogeoquímica na zona costeira ibérica,Eds. A.Da Costa, C. Vale & R. Prego, *Servicio de Publicaciones da Universidade de Aveiro* in press.

Villarreal, M.R., P. Montero, R. Prego, J.J. Taboada, P. Leitaó, M. Gómez- Gesteira, M. de Castro & V. Pérez-Villar (2000). Water Circulation in the Ria de Pontevedra under estuarine conditions using a 3d hydrodynamical model, *Estuarine Coast.and Shelf Sience* in Press.