

HIDROINFORMÁTICA E OPTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

*Ramiro Neves⁽¹⁾; Adélio Silva⁽²⁾; Frank Braunschweig⁽³⁾; Paulo Chambel Leitão⁽⁴⁾;
Rodrigo Wandel⁽⁵⁾; Pedro Pina⁽⁶⁾; Gabriel Pita⁽⁷⁾*

Resumo – Neste trabalho a relevância da hidroinformática na gestão de ecossistemas aquáticos é abordada. A utilidade de modelos matemáticos, bem como de sistemas de aquisição de dados, é discutida na introdução deste trabalho.

O trabalho segue com uma descrição do modelo *Mohid*, desenvolvido ao longo dos últimos anos, para dar apoio à gestão de ecossistemas aquáticos.

No capítulo seguinte, é apresentado o sistema de aquisição de dados com a descrição das partes modulares que o compõem.

Por último, são apresentados os resultados obtidos pela integração do modelo matemático com o sistema de aquisição de dados.

Palavras-chave – Gestão de ecossistemas, Modelação Integrada, Sistema de aquisição de dados, Mohid.

⁽¹⁾ Engenheiro Mecânico, Doutorado em Engenharia Mecânica, ramiro.neves.maretec@taguspark.pt, Maretec, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

⁽²⁾ Engenheiro Civil, Doutorado em Engenharia Mecânica, asilva.hidromod@taguspark.pt, Hidromod Lda., Núcleo Central 349, Taguspark, 2780-920 Oeiras

⁽³⁾ Engenheiro Civil, frank.maretec@taguspark.pt, Maretec, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

⁽⁴⁾ Engenheiro Civil, paulo.chambel.maretec@taguspark.pt, Maretec, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

⁽⁵⁾ Engenheiro Aeroespacial, RodrigoPacheco@Mail.telepac.pt, Maretec, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

⁽⁶⁾ Engenheiro do Ambiente, ppina.maretec@taguspark.pt, Maretec, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

⁽⁷⁾ Engenheiro Mecânico, Doutorado em Engenharia Mecânica, gabrielpita@ist.utl.pt, Maretec, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

1 - INTRODUÇÃO

A hidroinformática desempenha um papel cada vez mais importante na optimização da gestão de ecossistemas aquáticos, devendo o seu uso sustentado ser baseado num profundo conhecimento do funcionamento daqueles ecossistemas.

A aquisição deste conhecimento tem de ter por base uma observação sistemática dos processos considerados relevantes, a qual, realisticamente, só poderá ser efectuada num pequeno número de pontos. O recurso aos modelos matemáticos permite, por um lado, integrar a informação recolhida num número reduzido de pontos, extrapolando essa informação para todo o sistema e, por outro lado, efectuar previsões sobre possíveis comportamentos do sistema em função de eventuais alterações das condições ambientais.

Nesta perspectiva, a optimização da gestão de ecossistemas aquáticos deve assentar num sistema de monitorização o qual deverá englobar três componentes: medidas, modelação, publicação de dados/resultados.

O estabelecimento de um programa de medidas é fundamental para, por um lado, fornecer directamente dados sobre parâmetros importantes do ecossistema e, por outro lado, calibrar e validar os modelos. Este processo de calibração e validação resulta assim num processo dinâmico que vai sendo enriquecido à medida que vai existindo mais informação disponível.

Os modelos desempenham então um papel importante, tanto no que respeita ao estabelecimento de diagnósticos sobre os problemas do ecossistema, através da integração e da correlação dos diversos parâmetros envolvidos, como no que respeita à execução de prognósticos quer sobre eventuais medidas remediadoras quer sobre os possíveis efeitos da alteração das variáveis no respectivo funcionamento.

A garantia de um uso eficaz de toda esta informação passa finalmente pela disponibilização de meios eficientes de publicação que tornem fácil e atractivo o respectivo uso.

A rápida evolução, quer ao nível do preço quer das capacidades de processamento, que se tem vindo a verificar ao nível das tecnologias de computação e de aquisição de dados, permite estabelecer actualmente sistemas de monitorização em tempo real, em que conjuntos de sensores fornecem informação a modelos matemáticos que, por sua vez, simulam o sistema em tempo real, garantindo assim uma observação em contínuo e a possibilidade de actuação imediata sobre eventuais anomalias que sejam detectadas.

Neste trabalho apresenta-se a integração entre o modelo matemático *Mohid* e um sistema de aquisição de dados, desenvolvidos ao longo dos últimos anos. No âmbito do projecto *RealTime*¹, este sistema está a ser implementado no estuário do Tejo.

2 - O MODELO MATEMÁTICO – MOHID

O desenvolvimento de modelos matemáticos é condicionado pelos meios computacionais, tanto ao nível do *Hardware* como ao nível do *Software*. Os modelos matemáticos, nomeadamente os modelos que lidam com problemas da área da mecânica dos

¹ O projecto *RealTime* envolve o Instituto Superior Técnico, a Hidromod, o Instituto Hidrográfico, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o IMAR.

fluidos, necessitam de elevada capacidade de processamento e de armazenamento de dados as quais têm vindo a crescer de forma sustentada. As novas linguagens de programação e o melhoramento dos ambientes de trabalho possibilitaram o desenvolvimento de ferramentas de modelação integradas e simplificaram os procedimentos de pré- e pós-processamento, aumentando o universo das aplicações e dos utilizadores.

Os modelos da área da mecânica dos fluidos têm vindo a beneficiar deste desenvolvimento, tornando-se mais gerais e dando um apoio útil à gestão de ecossistemas aquáticos. O modelo descrito neste trabalho começou por ser desenvolvido para aplicações em ambientes estuarinos e tem vindo progressivamente a ser generalizado para aplicações nos meios mais diversos, estando actualmente a ser utilizado igualmente em ambientes oceânicos e em sistemas de água doce.

2.1 - O desenvolvimento da ferramenta integrada

A ferramenta utilizada para a simulação dos processos físicos, químicos e biológicos foi desenvolvida para dar resposta a estes processos em ambientes marinhos. Este modelo, designado por *Mohid*, foi desenvolvido a partir de vários modelos já existentes, utilizando novas tecnologias da engenharia informática, nomeadamente a programação orientada por objectos. Estas novas tecnologias permitiram desenvolver um produto que se tem revelado fiável e robusto na utilização e com muitas capacidades de crescimento. O *Mohid*, desde a sua criação, já foi objecto de diversas aplicações entre as quais se podem destacar todos os estuários portugueses, a maioria das Rias Galegas, o Porto de Sines, o Atlântico Ibérico, diversos locais no Brasil e algumas albufeiras portuguesas.

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 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. Actualmente o modelo *Mohid* é constituído por mais de 40 módulos, que no total completam cerca 140 mil linhas de código.

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 programação orientada por objectos permite correr vários modelos encaixados em simultâneo, sendo as condições de fronteira fornecidas em cascata. O modelo geral fornece as condições de fronteira aos 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. Na Figura 1 é representada um modelo com um sub- modelo.

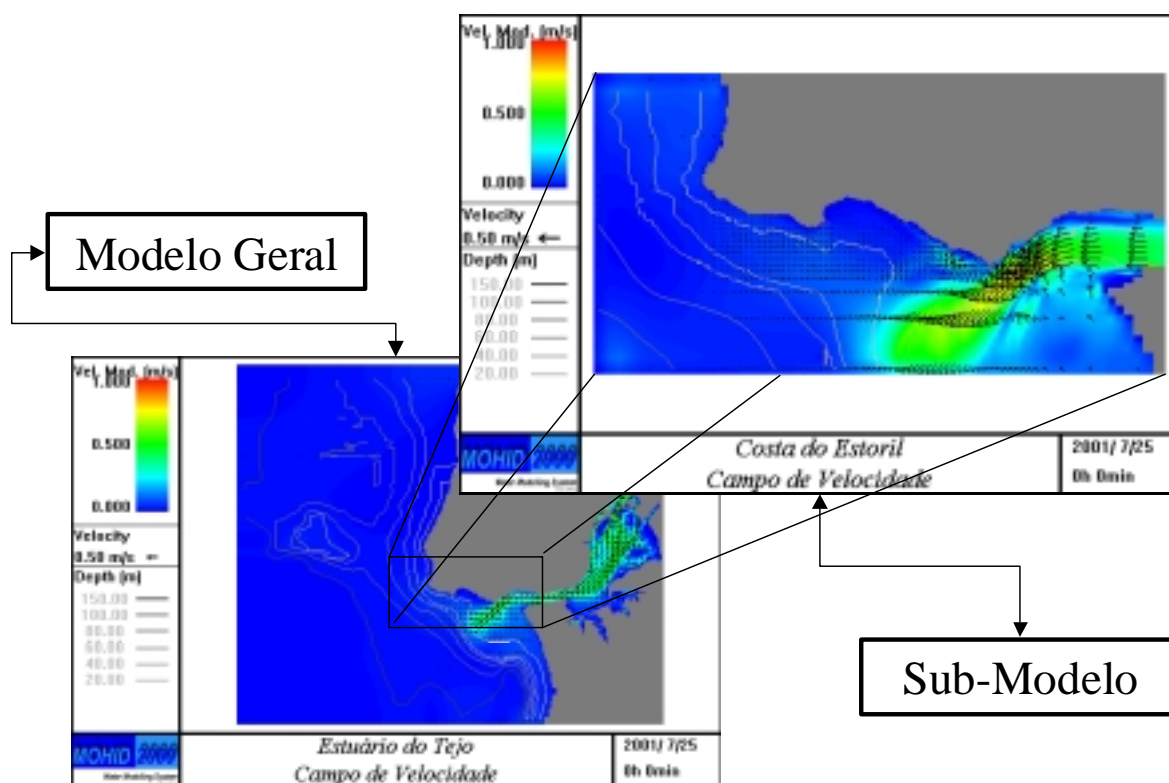


Figura 1 – Um modelo geral com um sub-modelo

2.2 - Descrição do programa de cálculo

Como já mencionado anteriormente, o modelo *Mohid* é um sistema modular, sendo cada módulo responsável por uma tarefa específica. Os principais módulos são descritos neste capítulo, dando a ênfase às principais características.

2.2.1 - Malha computacional

No grupo dos módulos relacionadas com a malha computacional incorporam-se os módulos encarregues de tratar a informação batimétrica/topográfica de base incluindo o módulo da geometria vertical. A geometria vertical é dividida em volumes finitos, permitindo ao utilizador escolher a coordenada vertical mais adequada para o estudo em causa. Destacam-se a coordenada vertical *Sigma* para escoamentos baroclínicos (p. e. estuários pouco profundos), a coordenada vertical *Cartesiana* para escoamentos caracterizados por colunas de águas estratificadas (p. e. oceanos), a coordenada vertical *Harmónica* para sistemas estratificados com um grande variação do nível da água (p. e. albufeiras).

Em relação à malha horizontal, é de salientar que o modelo *Mohid* suporta fronteiras móveis. Este conceito foi originalmente implementado no modelo para simular as zonas entre marés dos estuários. Nas albufeiras, este conceito também é fundamental devido às variações do nível da superfície livre que induzem grandes variações da área horizontal inundada. No modelo foi definido um parâmetro que indica, a partir de que altura da água, uma célula deve ser considerada descoberta. Quando um ponto tiver uma altura de água inferior a este parâmetro, todos os processos simulados neste ponto são “congelados”.

A Figura 2 mostra uma célula de cálculo utilizada no modelo *Mohid* (MARTINS, 1999).

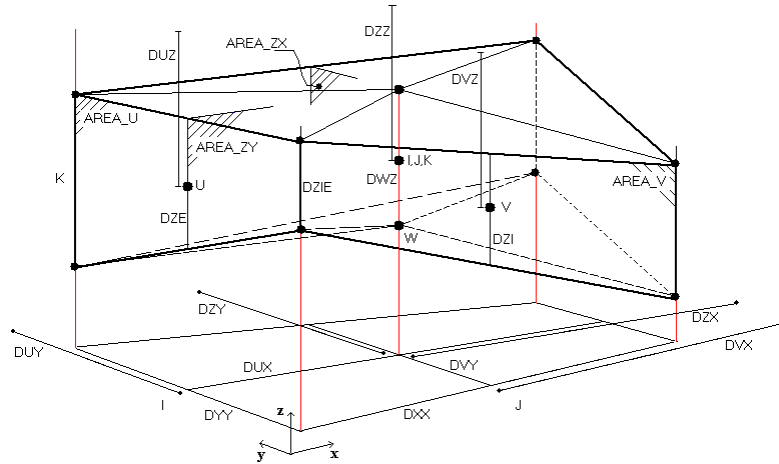


Figura 2 – Esquema de uma célula no sistema de coordenadas verticais genéricas

Para a gestão de ecossistemas aquáticos, a liberdade de escolha da coordenada vertical permite utilizar a mesma ferramenta de estudo para uma diversidade de ecossistemas aquáticos.

2.3 - Evolução das variáveis de estado

O modelo *Mohid* calcula a evolução de várias variáveis de estado. Estas variáveis podem-se subdividir-se em variáveis relacionadas com o campo hidrodinâmico (velocidades, fluxos e níveis), em variáveis relacionadas com a densidade da água (temperatura e salinidade), em variáveis que caracterizam a qualidade de água (oxigénio, nitrato, fitoplâncton, etc.), em variáveis genéricas (idade) e em variáveis relacionadas com o fecho turbulento (energia cinética turbulenta, comprimento de mistura, viscosidade e difusividade).

A evolução destas variáveis é dividida em vários módulos dos quais se resumem, em seguida, os mais importantes.

2.3.1 - 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:

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_V \frac{\partial v}{\partial z}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

em que:

t - tempo;

u, v, w - componentes da velocidade;

f - parâmetro de Coriolis;

p - pressão;

ρ - densidade da água;

g - aceleração da gravidade;

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 (LEENDERTSE, 1967), e uma segunda baseada no esquema S21 (ABBOTT *et al.*, 1973) que envolve a resolução de 4 equações.

2.3.2 - Módulo das propriedades da água

O módulo das propriedades de água coordena toda a evolução das propriedades da água na coluna de água, sob uma forma eulereana. A evolução das propriedades depende dos transportes advectivo e difusivo, das condições de fronteira e das fontes e poços do módulo da qualidade de água. Este módulo utiliza a informação dos seguintes módulos para coordenar a evolução das propriedades de água:

- módulo *Hydrodynamic*, para obter os fluxos entre as células;
- módulo *Turbulence*, para obter as viscosidades e difusividades;
- módulo *Surface*, para obter os fluxos entre a atmosfera e a coluna de água;
- módulo *Bottom*, para obter os fluxos entre o fundo e a coluna de água;
- módulo *AdvectionDiffusion*, para resolver o transporte das propriedades;
- módulo *WaterQuality*, para calcular as fontes e os poços;
- módulo *Geometry*, para conhecer a malha de cálculo.

Este módulo é muito adequado para simular ecossistemas aquáticos na sua forma integral, permitindo ao utilizador obter informações sobre a variação espacial e temporal das

variáveis em estudo. Do ponto de vista numérico, este módulo é aplicável em estudos em que as propriedades apresentam gradientes baixos.

2.3.3 - Módulo lagrangeano

O módulo lagrangeano simula o deslocamento de massas de água – traçadores – e a evolução das propriedades da água a eles associadas, de forma semelhante ao módulo das propriedades de água, com a diferença que este módulo recorre a uma abordagem lagrangeana. Este tipo de abordagem é o mais adequado para simular casos em que as propriedades apresentam elevados gradientes, devido às suas propriedades numéricas. No passado, o módulo lagrangeano foi utilizado para estudar o impacto sobre ecossistemas providente de fontes poluidores pontuais, como é o caso de emissários submarinos.

2.3.4 - Módulo de qualidade da água

O módulo da qualidade de água simula a produção e destruição de uma propriedade em cada ponto (formulação zero dimensional) baseado num modelo inicialmente desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (BOWIE *et al.*, 1985) e sucessivamente melhorado por PORTELA (1996), MIRANDA (1999), PINA (2001) e BRAUNSCHWEIG (2001). Actualmente, o modelo permite simular a dinâmica do zooplâncton (consumo primário), do fitoplâncton (produção primária) e dos nutrientes, bem como os ciclos do azoto, do oxigénio e do fósforo.

2.3.5 - Módulo de turbulência

O módulo de turbulência implementado no modelo *Mohid* fornece aos outros módulos a informação sobre a energia cinética turbulenta, o comprimento de mistura, as viscosidades horizontais e verticais, assim como as difusividades. O sistema *Mohid* inclui modelos empíricos, de comprimento de mistura e modelos que resolvam equações para a energia cinética turbulenta e para o comprimento de mistura. Estes últimos são utilizados na generalidade dos escoamentos turbulentos. O sistema GOTM (www.gotm.net) – *Generic Ocean Turbulence Model* – está igualmente incorporado no modelo *Mohid*. Este sistema inclui um conjunto de diferentes modelos para a descrição das trocas turbulentas nas camadas de mistura. Todos os modelos usam o conceito de viscosidade turbulenta e são forçados em função do escoamento médio.

Entre os modelos introduzidos no GOTM, os fechados de segunda ordem de duas equações (k- ϵ e Mellor-Yamada) são os que descrevem mais realisticamente a turbulência nas camadas limite de superfície e fundo, com um detalhe que permite a sua utilização num modelo tridimensional sem um custo computacional elevado.

2.4 - Condições de fronteira

A simulação de sistemas regidos por equações às derivadas parciais exige as condições de fronteira nos limites do modelo. O modelo *Mohid* contém quatro módulos que simplificam a imposição das condições de fronteira ao modelo. O módulo *OpenBoundary* fornece as condições do modelo na fronteira aberta. O módulo *Discharges* é responsável pela entrada e saída de massas de água por processos não determinados pela solução no interior do domínio de cálculo (e.g. descargas de rios, descargas de efluentes ou caudais turbinados em barragens). A estas massas de água podem ser associadas propriedades transportadas pela água (e.g. concentrações ou temperaturas). O módulo *Surface* fornece ao modelo fluxos através da superfície livre (e.g. quantidade de movimento, calor, fluxos de água, oxigénio). O módulo *Bottom* fornece ao modelo fluxos através do fundo, de modo semelhante ao módulo *Surface*.

2.5 - Entrada e saída de dados

Em paralelo com a aplicação do modelo *Mohid* foi desenvolvida uma interface gráfica em ambiente *Windows* que permite ao utilizador do modelo gerir os dados de entrada do modelo, executar o programa e analisar os resultados produzidos.

No que respeita ao fornecimento de dados, este tipo de interface é importante, pois permite ao utilizador processar com facilidade a informação que é necessário fornecer ao modelo. Esta informação varia desde a escolha de simples parâmetros até informação obtida através de sistemas de aquisição de dados. Este último tipo de informação encontra-se geralmente disponível sob a forma de séries temporais. Um outro aspecto importante, na modelação, é a organização de vários cenários que o utilizador pretende estudar. Para este fim, a interface gráfica do modelo *Mohid* permite organizar toda a informação de forma hierárquica, na filosofia do “*Windows Explorer*”, como indicado na Figura 3.

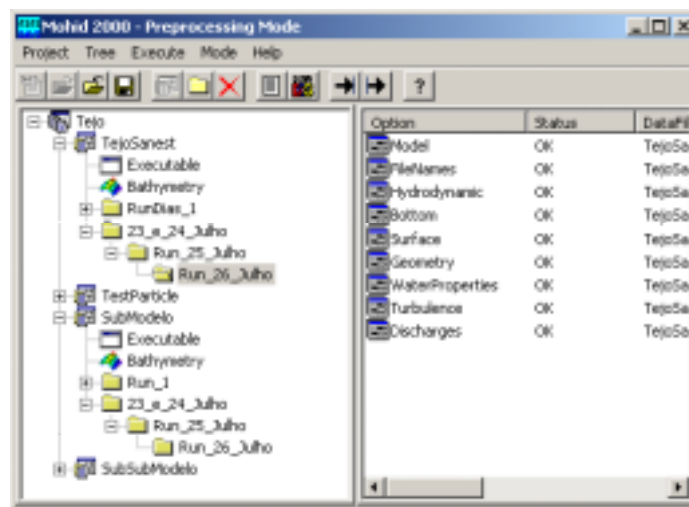


Figura 3 – Organização hierárquica no modelo *Mohid*

Após a execução do modelo é necessário analisar os resultados produzidos. Esses podem ser analisados usando o pós-processador da interface gráfica do modelo *Mohid*. Para o activar o utilizador necessita somente de mudar do modo pré-processamento para o modo pós-processamento. O aspecto da janela principal da interface gráfica permanece o mesmo (como na Figura 3) só que, na coluna da direita, aparece agora uma lista dos ficheiros de resultados produzidos pelo modelo. Esta organização permite ao utilizador manter a mesma estrutura de ficheiros nos dois modos.

Ao seleccionar um ficheiro de resultados, o pós-processador analisa o seu conteúdo e abre uma janela com as estruturas de resultados contidos nesse ficheiro. A partir dos resultados obtidos, o utilizador tem a hipótese de seleccionar a informação que pretende visualizar. O pós-processador do modelo *Mohid* tem a capacidade de produzir vários tipos de figuras a partir dos resultados, nomeadamente campos de cores, isolinhas, vectores e traçadores lagrangeanos. O utilizador pode ainda visualizar os resultados passo a passo ou sob a forma de animações contínuas. A Figura 4 mostra a selecção dos resultados e uma figura final.

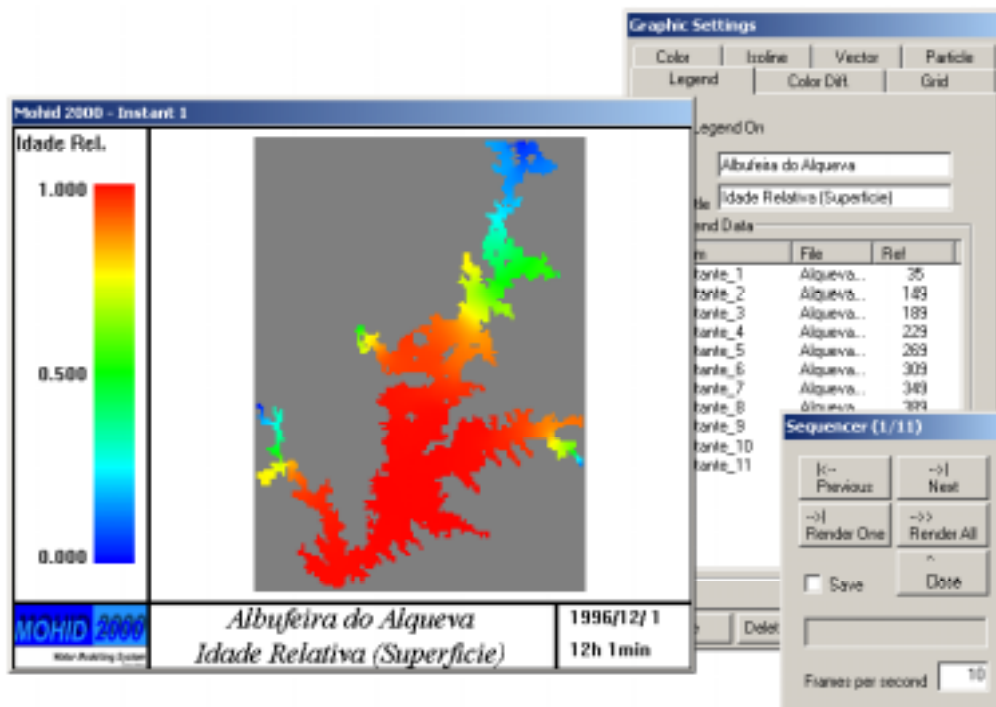


Figura 4 – Exploração dos resultados com o modelo *Mohid*

A disponibilização deste tipo de interfaces para análise dos resultados assume uma importância fundamental no que respeita à utilização destas tecnologias para a gestão de ecossistemas aquáticos, pois permite ao utilizador perceber as variações temporais e espaciais de uma dada propriedade de uma forma fácil e intuitiva.

3 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados em ecossistemas aquáticos pode ser uma tarefa morosa e difícil, pois está sujeita a muitos factores externos, como sejam as condições climáticas e a disponibilidade para a instalação do equipamento (mergulhadores, barco de transporte).

No âmbito do projecto *RealTime*, está ser desenvolvido um sistema de aquisição de dados, que permite medir parâmetros de qualidade de água e correntes de forma automatizada e permanente.

Actualmente, o sistema é composto por um *Data Logger* (Campbell CR10X) com 6 entradas analógicas, uma memória de 64.000 pontos de medida e um módulo adicional, que permite a transmissão e aquisição de dados digitais a partir de 4 portas de série (RS 232), que recebe e armazena a informação na configuração actual. A informação é fornecida por uma sonda multiparamétrica responsável por medir os parâmetros de qualidade da água (temperatura, condutividade, salinidade, pH, oxigénio concentração e percentagem de saturação, turbidez e brevemente nitratos e clorofila A), por um ADV que mede as características hidrodinâmicas e ainda um GPS. O sistema de aquisição de dados será também equipado com um sistema de transferência por GSM, de modo a permitir uma monitorização à distância via WWW, como indicado na Figura 5.

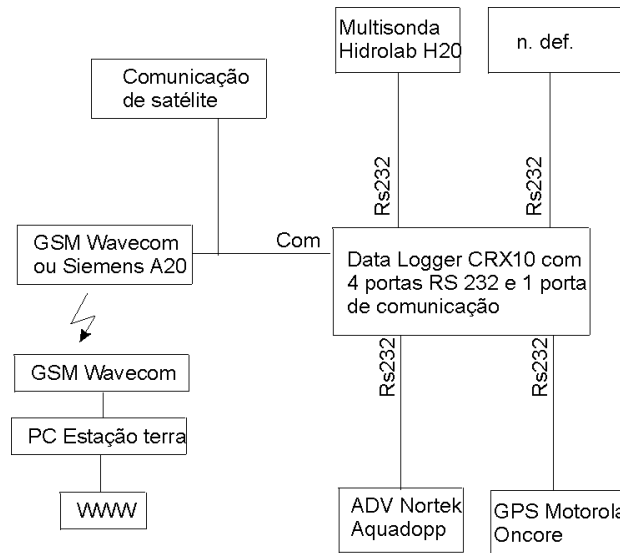


Figura 5 – Representação do sistema de aquisição de dados

Uma importante característica do sistema de aquisição de dados é o facto de ter sido concebido de forma modular, garantindo assim a independência dos fabricantes de equipamento. O *software* de controlo foi desenvolvido pela mesma equipa que trabalha no desenvolvimento do modelo *Mohid*, garantindo assim uma perfeita integração ao nível das tecnologias utilizadas. Na Figura 6 é representado o *software* de controlo do sistema de aquisição de dados. No lado esquerdo superior é representada a janela principal da interface e, nas restantes partes, a informação possível a representar, nomeadamente a localização do sistema de aquisição de dados (lado direito superior), análise estatística da informação medida (lado esquerdo inferior) e visualização das medições em contínuo (lado direito inferior).

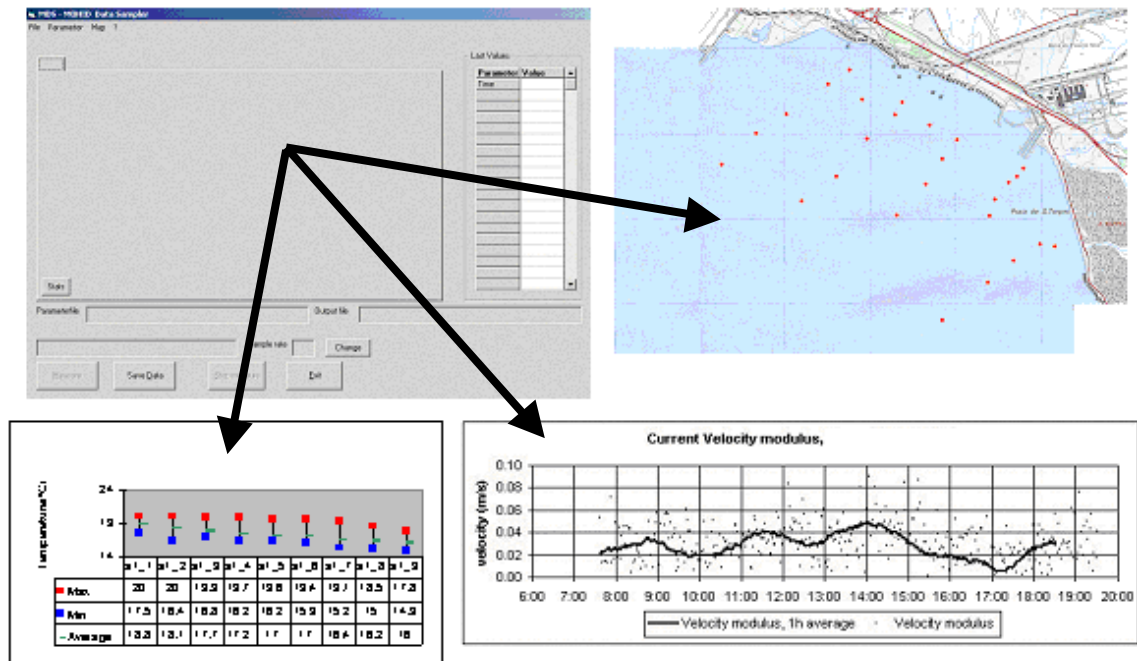


Figura 6 – Software do controlo do sistema de aquisição de dados

Todos os componentes encontram-se já em funcionamento, à excepção da ligação GSM, sendo por isso necessário a presença local de um técnico para operar o sistema. Nesta primeira fase, os dados são recolhidos directamente do *Data Logger* para um computador portátil, onde é feito o acompanhamento da medição dos parâmetros.

4 - CONCLUSÕES

A integração do sistema de modelação *Mohid* e do sistema de aquisição de dados resulta numa ferramenta de grande utilidade para a gestão de ecossistemas aquáticos. Este tipo de ferramenta permite minimizar os custos de um programa de monitorização e, simultaneamente, o estudo dos processos que determinam o funcionamento do ecossistema. Uma versão experimental deste sistema tem sido utilizada no estuário do Tejo, no âmbito do projecto investigação *RealTime* e do programa de monitorização da Costa do Estoril. As medições realizadas durante o Verão 2001 estão a ser utilizadas para validação de resultados do modelo *Mohid* em zonas localizadas, obtidos recorrendo a sub-modelos encaixados no modelo principal.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento do sistema de aquisição de dados é financiado pela FCT, através do projecto *Realtime* (PDCTM/P/MAR/15287/1999). O trabalho efectuado no âmbito do Programa de Monitorização da Costa do Estoril foi financiado pela SANEST SA.

BIBLIOGRAFIA

- ABBOTT, M.; DAMSGAARD, A.; RODENHUIS, G. S. (1973) - *System 21, 'Jupiter', a Design System for Two-dimensional Nearly-horizontal Flows*. Journal of Hydraulic Research, vol. 1, pp 1-28.
- BOWIE, G. L.; MILLS, W. B.; PORCELLA, D. B.; CAMBELL, C. L.; PAGENDORF, J. R.; RUPP, G. L.; JOHNSON, K. M.; CHAN, P. W.; GHERINI, S. A.; CHAMBERLIN, C. E. (1985) – *Rates, Constants and Kinetic Formulations in Surface Water Quality Modeling*. U.S. Environmental Protection Agency.
- BRAUNSCHWEIG, F. (2001) - *Generalização de um Modelo de Circulação Costeira para Albufeiras*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- COELHO, H. (1996) - *Modelação Numérica da Turbulência Oceânica*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- DECYK, V. K.; NORTON, C. D.; SZYMANSKI, B. K. (1997) – *Expressing Object-Oriented Concepts in Fortran90*. ACM Fortran Forum, Vol. 16
- LEITÃO, P. C. (1996) – *Modelo de Dispersão Lagrangeano Tridimensional*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- MARTINS, F. (1999) – *Modelação Matemática Tridimensional de Escoamentos Costeiros e Estuarinos usando uma Abordagem de Coordenada Vertical Genérica*. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- MIRANDA, R. (1999) – *Nitrogen Biogeochemical Cycle Modeling in the North Atlantic Ocean*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

- MIRANDA, R.; BRAUNSCHWEIG, F.; LEITÃO, P.; NEVES, R.; MARTINS, F.; SANTOS, A. (2000) – *Mohid 2000, A Costal integrated object oriented model*. Hydraulic Engineering Software VIII, WIT Press.
- NEVES, R. J. J. (1985) - *Étude Experimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado*. Ph. D. Thesis, Univ. Liège.
- PINA, P. M. N (2001) – *An Integrated Approach to Study the Tagus Estuary Water Quality*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- PORTELA, L. S. (1996) – *Modelação Matemática de Processos Hidrodinâmicos e de Qualidade da Água no Estuário do Tejo*. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior.
- SANTOS, A. J. (1995) - *Modelo Hidrodinâmico Tridimensional de Circulação Oceânica e Estuarina*. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.