

Flávio A. MartinsÁrea Eng. Mecânica
EST/UAIG

Modelação Ecológica no Estuário do Sado

Resumo

Os modelos matemáticos são ferramentas poderosas para avaliar o impacto humano em sistemas costeiros e estuarinos de estrutura complexa. Neste artigo utiliza-se um sistema de modelos matemáticos para simular o comportamento hidrodinâmico e biológico do estuário do Sado. Estudos experimentais de análise da evolução da biomassa de fitoplâncton durante os últimos 10 anos indicam que o ecossistema se encontra numa situação relativamente estável, exibindo pouca tendência para a eutrofização (Cabeçadas, 1993). Neste Artigo procura-se caracterizar o estado trófico do sistema, confirmar as conclusões obtidas experimentalmente e interpretar os processos que ocorrem na região do estuário.

Estuário do Sado

O estuário do Sado possui um comprimento de cerca de 20 Km e uma largura de aproximadamente 4 Km (fig. 1).

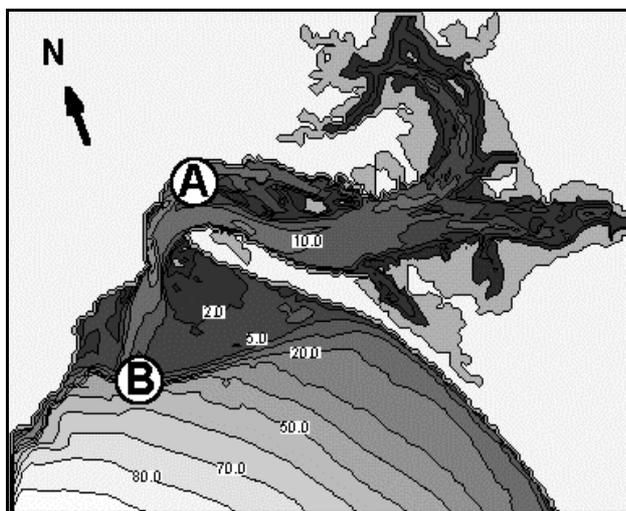


Figura 1 - Batimetria do Estuário do Sado

A sua profundidade média é de 8 m. Do ponto de vista morfológico a região de montante do estuário possui características distintas da região de Jusante: A montante os sedimentos são compostos essencialmente pelas fracções finas formando zonas de Sapal que ocupam cerca de 30% da área. O Canal da Marateca estende-se para Norte possuindo a maior área de Sapal do estuário. Na região de jusante os sedimentos são areias que formam bancos ao

largo da cidade de Setúbal. Estes bancos dividem o estuário em dois canais com características diferentes e que condicionam a hidrodinâmica dessa região. O estuário propriamente dito liga ao rio Sado através do canal de Alcácer. Este canal apresenta características estuarinas marcadamente diferentes das anteriores. O gradiente horizontal de salinidade é elevado ocorrendo o máximo de turbidez nessa região. O estuário é uma região importante tanto do ponto de vista económico como ecológico. O turismo, a pesca e a aquacultura são actividades importantes para a região. As regiões de sapal são também áreas preferenciais para a nidificação de aves marinhas. Grande parte do estuário possui o estatuto de reserva natural.

Sistema de Modelos

O sistema de modelação é composto por um modelo hidrodinâmico baroclínico tridimensional às equações primitivas acoplado a dois modelos de transporte: Um utilizando uma formulação lagrangiana e outro utilizando uma formulação do tipo euleriano. Estes modelos de transporte têm uma concepção genérica sendo utilizados para forçar os modelos de transporte de sedimentos e o modelo ecológico (Martins et. al., 1998).

O modelo ecológico encontra-se implementado numa metodologia a zero dimensões, podendo por isso ser acoplado tanto ao modelo de transporte do tipo euleriano como ao lagrangiano. Neste modelo simula-se o ciclo do Azoto, as concentrações de Oxigénio Dissolvido e CBO e as populações de Fito e Zooplâncton. As espécies do ciclo do Azoto incluem as suas três principais formas inorgânicas: Amónia, nitrato e nitrito, assim como três formas orgânicas de azoto: Fracções refractária e não refractária do azoto orgânico dissolvido, e azoto orgânico particulado. Apresenta-se na figura 2 um esquema conceptual do modelo utilizado. Os produtores primários (fitoplâncton) consomem amónia e nitrato, dependendo da disponibilidade destes nutrientes e da radiação solar como fonte de energia para a fotossíntese. O nível trófico seguinte consome os compostos orgânicos sintetizados pelos produtores primários, sendo por sua vez consumidos pelos níveis tróficos superiores. As excreções do fitoplâncton incluem amónia, azoto orgânico particulado e azoto orgânico dissolvido lábil. Por sua vez, a decomposição do azoto orgânico particulado produz

amónia e azoto orgânico dissolvido refractário ou não lábil. A remineralização do azoto orgânico dissolvido a amónia só é conseguida, no caso refractário, numa escala temporal de anos. O processo da nitrificação é constituído pela transformação da amónia em nitrito e, posteriormente, em nitrato. Não é considerada no modelo a fixação atmosférica de azoto. A geralmente pequena importância da fixação de N_2 em água salgada justifica a não inclusão deste termo nas equações da amónia.

Simulações

O objectivo deste estudo é caracterizar o estuário do Sado do ponto de vista da produção primária usando como indicador a biomassa de fitoplâncton.

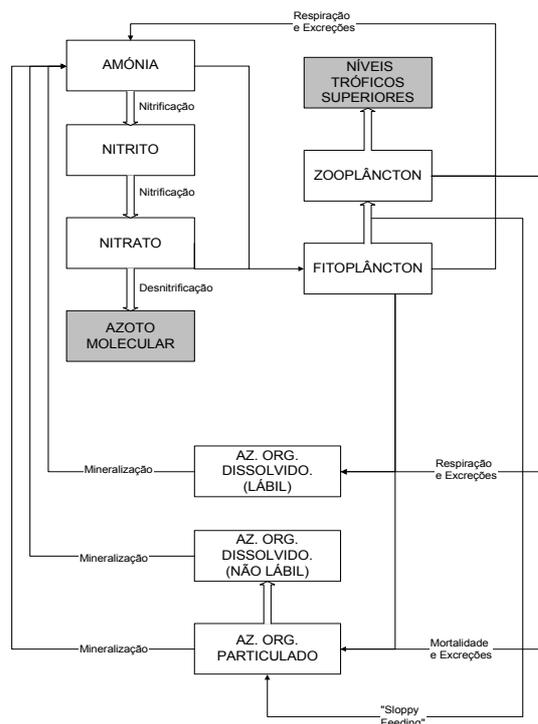


Figura 2: Esquema do modelo ecológico.

Para isso torna-se necessário efectuar simulações com períodos de vários anos de forma a permitir estabilizar o comportamento das populações. A utilização de modelos do tipo euleriano com milhares de pontos de cálculo torna esta tarefa muito exigente do ponto de vista computacional. Nas simulações efectuadas o tempo de cálculo foi reduzido usando condições hidrodinâmicas cíclicas. Neste método usam-se os campos hidrodinâmicos de um ciclo de maré para forçar os modelos de transporte. Usou-se uma malha computacional com passo variável entre 400 e 2300 metros com 60x79 células e apenas uma camada na direcção vertical. O modelo hidrodinâmico foi previamente validado usando medidas em diversos pontos do estuário (Martins et al., 2001). Efectuaram-se simulações de 3 anos de duração. Os valores das variáveis introduzidas pelo rio foram extraídos da literatura encontrando-se especificados na tabela 1 (Duarte e Henriques, 1991), (Cabeçadas, 1993).

O rio Sado possui um regime de caudal do tipo torrencial com caudais máximos diários que podem atingir os $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ e caudais de estio inferiores a $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Neste estudo usou-se um valor constante de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde ao caudal médio anual.

Resultados

Utilizaram-se valores extraídos da literatura para efectuar uma calibração preliminar e qualitativa do modelo ecológico. Os dados disponíveis não permitem uma calibração completa nem a validação do modelo, sugerindo a necessidade de campanhas de medições. Foram determinadas séries temporais dos valores simulados em pontos representativos do estuário, tendo sido também determinadas médias espaciais. Para essas médias dividiu-se o estuário em sete zonas (caixas) como indicado na figura 3. Na figura 2 compara-se a série temporal da concentração média de fitoplâncton na caixa 6 no segundo ano de simulação, com os valores da literatura para pontos na mesma zona (Cabeçadas, 1993). Os valores obtidos apresentam uma elevada variabilidade de alta frequência associada ao ciclo semi-diurno da maré. Calculou-se por isso o valor médio, utilizando médias móveis com uma amostragem de 50 horas.

Propriedade	Valor
Nitrato mgN/l	3.6
Nitrito mgN/l	0.04
Amónia mgN/l	0.24
Caudal	$10 \text{ m}^3/\text{s}$
Sedimentos	200 mg/l
Salinidade	0 ppm
Temperatura	$18 \text{ }^\circ\text{C}$
Oxigénio	8 mg/l
Zooplankton	0 mgC/l
Phytoplankton	0.9 mgC/l
DNRON	0.2 mgN/l
DRON	0 mgN/l
PON	0.2 mgN/l

Tabela 1: Variáveis de entrada para as simulações.

Apesar das condições iniciais e fronteira utilizadas na simulação serem condições médias e por isso não estarem directamente relacionadas com as condições nos anos das campanhas, os resultados obtidos são qualitativamente semelhantes aos valores das medidas. Isto verifica-se relativamente à sua ordem de grandeza e também relativamente ao seu comportamento anual, sendo possível detectar os "blooms" de Primavera e de fim de Verão nos instantes correctos. Os bons resultados obtidos nesta comparação fornecem alguma segurança quanto à qualidade das simulações, no entanto a falta de dados experimentais permite apenas uma análise qualitativa dos resultados.

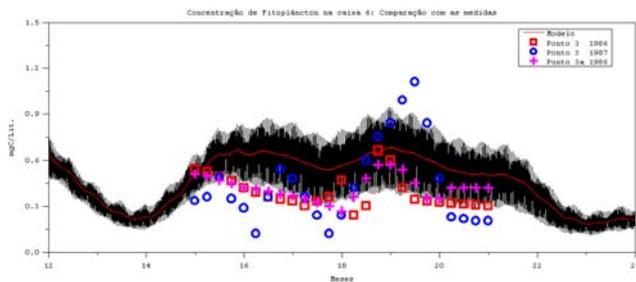


Figura 2: Comparação da evolução temporal de fitoplâncton na caixa 6 com as medidas.

Na figura 3 representam-se as médias anuais da concentração de fitoplâncton nas seis caixas definidas.

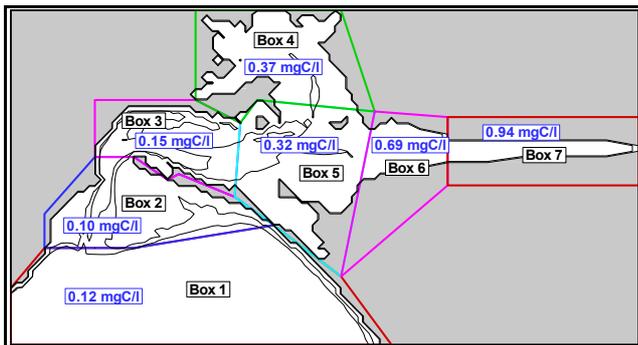


Figura 3: Concentração média anual de fitoplâncton para as condições de referência.

As maiores concentrações ocorrem na caixa 7 que coincide com o Canal de Alcácer e na caixa 6 na zona de ligação ao estuário propriamente dito. As concentrações destas duas zonas são cerca de uma ordem de grandeza superior às encontradas no resto do estuário. Estes resultados são confirmados pela literatura (Coutinho, 1994). De acordo com alguns autores (Anderson, 1986), (Mallin et. al., 1991) estes valores são típicos de estuários medianamente produtivos, sem problemas de eutrofização generalizada.

Os valores totais anuais das trocas entre caixas foram também calculados. Para esse cálculo integraram-se os fluxos instantâneos das propriedades entre as células das caixas adjacentes. Na figura 4 representam-se os valores totais de fitoplâncton trocados entre caixas para um ano típico.

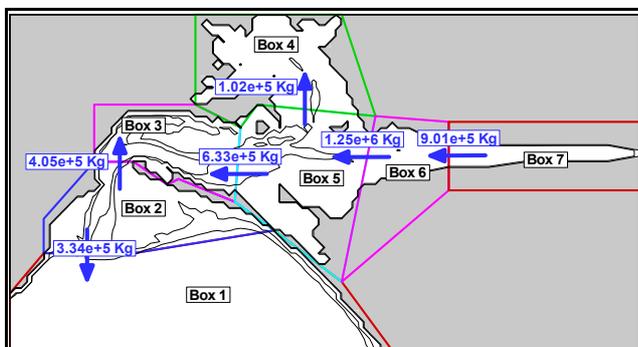


Figura 4: Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a situação de referência

Conclusões

De um ponto de vista global verifica-se que os resultados do modelo estão de acordo com as observações. Verificam-se productividades moderadas na globalidade do estuário identificando-se apenas situações pontuais de eutrofização.

Visto que o fitoplâncton se comporta como uma grandeza não conservativa a análise conjunta das concentrações médias e dos fluxos entre caixas permite extrair conclusões sobre os locais de maior produção, o transporte e os locais de maior mortalidade. Assim as regiões de maior produtividade podem ser associadas às caixas 6 e 7. O fitoplâncton aí produzido é exportado para o resto do estuário. As trocas totais anuais entre a caixa 2 e a caixa 3 apresentam um sentido de jusante para montante parecendo indicar que na zona perto da barra (caixa 3) a mortalidade média anual é superior à produção.

Com a entrada em funcionamento da barragem do Alqueva prevê-se um a utilização dessa água para a irrigação da bacia do Sado. Esta prática terá como consequência um aumento dos nutrientes introduzidos no estuário, podendo alterar a situação actual. No futuro irá estudar-se esse efeito e as suas consequências.

REFERÊNCIAS

- Anderson, G., 1986. *Silica, diatoms and a freshwater productivity maximum in Atlantic coastal plain estuaries, Chesapeake Bay*. Estuarine Coastal and Shelf Science **22**:183-197.
- Cabeçadas, L., 1993. *Ecologia do Fitoplâncton do Estuário do Sado: para uma estratégia de conservação*. Estudos de conservação da Natureza **10**. SNPRCN, Lisboa.
- Coutinho, M., 1994. *Variação espaço-temporal do fitoplâncton no Estuário do Sado*. Seminário sobre recursos haliêuticos, ambiente, aquacultura e qualidade do pescado da península de Setúbal 79-88. IPIMAR.
- Duarte, M. e M. Henriques, 1991. *Caracterização físico-química das águas do Estuário do Rio Sado*. INETI DEII 14/91
- Mallin, M., H. Paerl e J. Rudek, 1991. *Seasonal phytoplankton composition productivity and biomass in the Neuse River estuary, North Carolina*. Estuarine Coastal and Shelf Science **32**:609-623.
- Martins, F., R. Neves e P. Leitão, 1998. *A three-dimensional hydrodynamic model with generic vertical coordinate*. Proceedings de Hydroinformatics'98, **2**:1403-1410, Ed. V. Babovic & L. C. Larsen, Balkema, Rotterdam.
- Martins, F., R. Neves, P. Leitão e A. Silva, 2001. *3D modeling in the Sado estuary using a new generic coordinate approach*. Oceanologica Acta, **24**:S51-S62.