

# MODELAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA NA RIA FORMOSA

Anabela N. VENÂNCIO

*Estagiária, EST\_Ualg, Campus da Penha, 8005-139, Faro, + 351 289 800124*

Alberto M. BRITO

*Mestrando, EST\_Ualg, Campus da Penha, 8005-139, Faro, + 351 289 800124*

Flávio MARTINS

*Doutorado, EST\_Ualg, Campus da Penha, 8005-139, Faro, + 351 289 800124*

Margarida REIS

*Mestrando, EST\_Ualg, Campus de Gambelas, 8000-117 Faro, + 351 289 800995*

## RESUMO

Este estudo integra-se numa avaliação hidrodinâmica e monitorização microbiológica da qualidade da água da Ria Formosa. A monitorização foi implementada pela DRAOT Algarve com a colaboração da EST, da FCMA e do IST. A metodologia utilizada consiste na aplicação de um modelo matemático para simulação das variáveis hidrodinâmicas e da qualidade da água. Utilizam-se como traçadores os coliformes fecais (CF), considerados indicadores de contaminação fecal pelo Dec-Lei 236/98 de 1 de Agosto, relativo à qualidade de águas do litoral e salobras para fins aquícolas- águas conquícolas.

As águas da ria são usadas para cultura de diversas espécies conquícolas de bivalves. Estes são organismos que filtram e retêm no seu interior material particulado existente em suspensão na água tais como os CF entre outros microorganismos presentes na água. Para avaliar a concentração de coliformes nos bivalves e gastrópodes foi desenvolvido um modelo que simula a bioacumulação desta propriedade por parte do bivalve. Da sua aplicação permite classificar a Ria em várias classes conforme o estabelecido no Dec. Lei nº 293/98 de 18 de Setembro.

## PALAVRAS CHAVE:

Bivalves, Coliformes Fecais (CF), Modelo de Bioacumulação, Modelação do transporte, Ria Formosa

## 1 OBJECTIVOS

Pretende-se com este trabalho avaliar o efeito das descargas de efluentes das ETAR's (Faro, Olhão e Tavira). Numa primeira fase procura-se saber como evolui a pluma de CF na coluna de água. Posteriormente analisa-se o comportamento dos bivalves, quando expostos a uma certa concentração de CF existente na água. Desenvolveu-se para isso um modelo de bioacumulação que simula o comportamento dos bivalves. Pretende-se com essa metodologia distinguir e classificar as diversas zonas de apanha de bivalves na Ria Formosa.

## 2 DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO

A Ria Formosa é um sistema lagunar com uma área de aproximadamente 18400 ha, encontrando-se ligada à plataforma costeira por 6 barras (3 na parte ocidental e 3 na parte oriental). Estas barras apresentam morfologias e funcionamentos bastante diferenciados. A região ocidental da ria, considerada até ao fim do Canal de Marim, é influenciada principalmente pelas barras de Olhão (Barra Grande), Barra Nova (Farol) e Barra de S. Luís (Barrinha), enquanto que a parte oriental é constituída pelas barras de Cabanas, Fuzeta e Tavira.

A Ria é caracterizada por uma vasta região de sapal, atravessada por inúmeros canais e protegida do mar aberto por um cordão de ilhas de constituição arenosa. A profundidade média global é inferior a um metro, pois grande parte da área de sapal descobre pouco depois do início da vazante. Desta forma o escoamento dá-se principalmente pelos esteiros e canais, possuindo estes profundidades que podem atingir dezenas de metros.

Este sistema lagunar, devido às suas propriedades hidrodinâmicas tem sido utilizado como local de descargas de efluentes das ETARs. Neste estudo foram monitorizadas zonas sob influência das ETARs de Faro (Nascente e Noroeste), Olhão (Nascente e Poente) e ETAR de Tavira. O sistema de tratamento utilizado nestas 5 ETARs é o biológico por lagunagem com sistema de remoção de CF através de lagoa de maturação.

## 3 METODOLOGIA

Utilizou-se neste trabalho o sistema de modelação MOHID ([www.mohid.com](http://www.mohid.com)). Trata-se de um sistema integrado com módulos de hidrodinâmica, transporte, qualidade da água entre outros. Devido à sua arquitectura modular orientada por objectos é uma boa base para o desenvolvimento de novos modelos e módulos, como é o caso do modelo de bioacumulação desenvolvido neste trabalho.

### 3.1 Modelo Hidrodinâmico e de Transporte

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 (MARTINS *et al.* (2001)). O modelo hidrodinâmico resolve as equações primitivas na forma cartesiana considerando equilíbrio hidrostático e a aproximação de Boussinesq (massa específica constante excepto quando multiplica pela aceleração da gravidade). As equações são resolvidas recorrendo ao método do volume finito. Os modelos de transporte resolvem ambos as equações tridimensionais de advecção difusão usando um esquema numérico semi-implícito equivalente ao do modelo hidrodinâmico. A formulação em coordenadas de Euler ou de Lagrange diferenciam os dois modelos. Desta forma o modelo euleriano utiliza a malha computacional do modelo hidrodinâmico e o modelo lagrangiano é aplicado a traçadores emitidos no interior do domínio. As variáveis turbulentas do modelo hidrodinâmico são utilizadas em ambos os modelos para calcular a dispersão.

No presente trabalho usou-se uma configuração de malha com uma única camada, tornando-se por isso o modelo equivalente a um modelo 2D integrado na profundidade. Esta simplificação justifica-se na Ria Formosa devido à pequena profundidade média e elevada mistura vertical. O transporte das plumas de coliformes provenientes das ETAR's foi simulado usando o modelo lagrangiano. A utilização de um modelo deste tipo justifica-se pois garante-se uma melhor definição das plumas com um elevado gradiente espacial de concentrações.

### 3.2 Modelo de Bioacumulação

O modelo de bioacumulação considera que a concentração de coliformes na polpa e líquido intervalvar do molusco depende da importância relativa dos processos de assimilação e de eliminação operados em conjunto pelos sistemas digestivo e respiratório. Considera-se que a eliminação é função da concentração de coliformes no bivalve, aumentando com esta e que a absorção é função da concentração de coliformes na coluna de água. Assim a concentração no bivalve é regida pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{dc}{dt} = k_a c_{H_2O} - k_e c \quad (1)$$

em que:

$C$  - concentração de coliformes no bivalve

$C_{H_2O}$  - concentração de coliformes na água circundante ao bivalve

$k_a$  - taxa de assimilação

$k_e$  - taxa eliminação

Estas duas taxas são naturalmente função da espécie de bivalve mas também da sua idade, condição fisiológica e da temperatura da água, bem como da concentração de partículas na água (ŠOLIC *et al.* (1999)). A concentração do bivalve num determinado local e num determinado instante é obtida por integração desta equação usando a concentração de coliformes na coluna de água calculada pelo modelo de transporte. Os valores das taxas de eliminação e assimilação são obtidos por calibração com os resultados experimentais.

## 4 CONDIÇÕES DE CÁLCULO

A simulação da evolução das plumas provenientes das ETAR's foi obtida forçando o modelo de transporte lagrangiano com os campos de velocidades previamente calibrados. Efectuaram-se simulações de calibração usando os valores das medidas da monitorização. Utilizou-se sempre uma configuração bidimensional (uma camada na vertical) e desprezaram-se os efeitos do vento e das ondas de alta-frequência no transporte das plumas. Aplicou-se um forçamento de maré nas fronteiras abertas (exteriores) usando 22 componentes de maré. Dividiu-se a Ria formosa em dois domínios computacionais. Um abrangendo as regiões de Faro e Olhão, desde o Canal do Ancão até ao Canal de Marim e outro desde o Canal de Marim até Cacela. Esta divisão torna-se útil do ponto de vista computacional por permitir efectuar simulações separadas de dois domínios de menores dimensões.

Do ponto de vista dos resultados a influência não é grande, uma vez que a ligação hidrodinâmica entre estas duas partes da Ria Formosa através do Canal de Marim é reduzida. Nas figuras 1 e 2 apresentam-se as batimetrias usadas. A batimetria da parte ocidental (Faro-Olhão) possui 345x400 células com um passo espacial variável entre os 25 e os 212 metros. A batimetria da parte oriental possui 77x345 células com um passo espacial variável entre os 50 e os 150 metros.

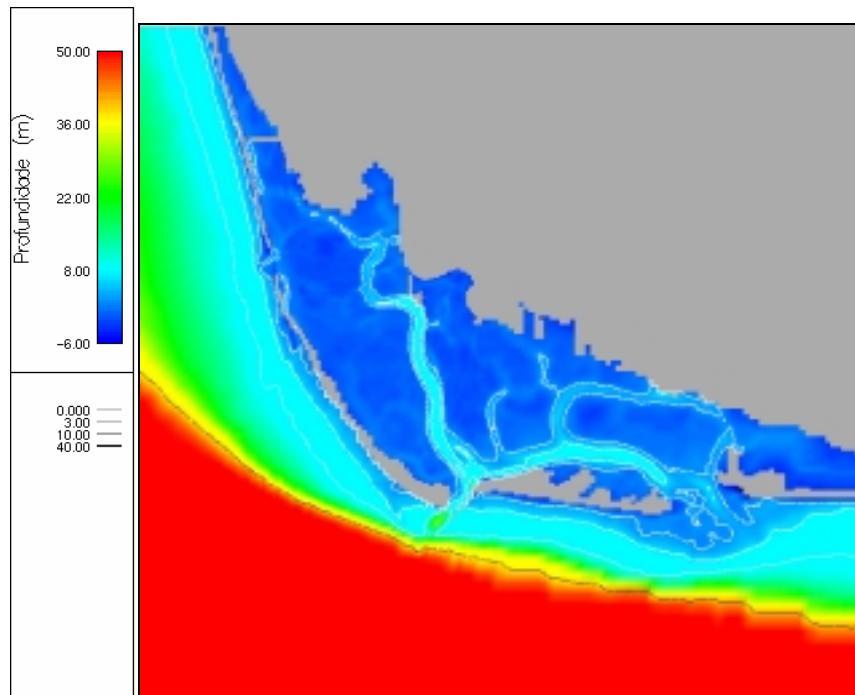


Figura 1: Batimetria do domínio ocidental, 345x400 células,  $\Delta x$  de 25 a 212 metros

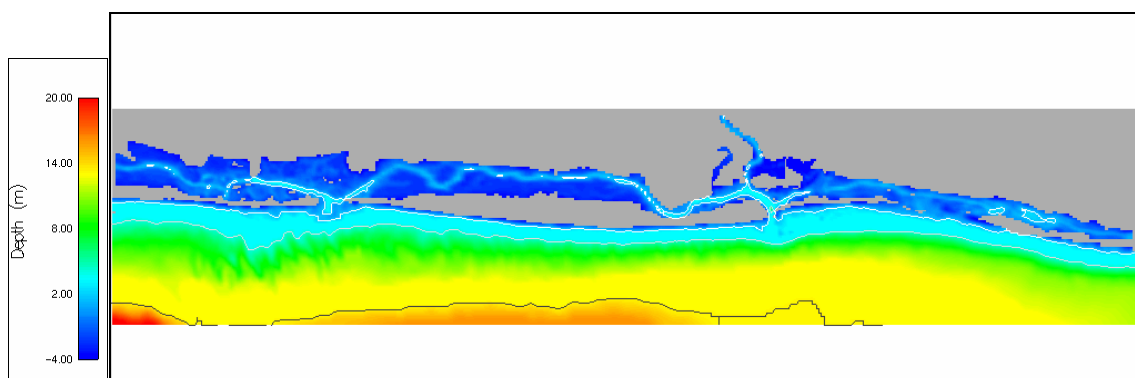


Figura 2: Batimetria do domínio oriental, 77x345 células,  $\Delta x$  de 50 a 150 metros

## 5 CALIBRAÇÃO DOS MODELOS

### 5.1 Calibração hidrodinâmica

A calibração do modelo hidrodinâmico resulta da comparação directa de medições de corrente com os campos das velocidades instantâneas obtidas pelo modelo, em pontos representativos da Ria (figuras 3 a 5). Utilizaram-se as medições de NEVES *et. Al.* (1994).

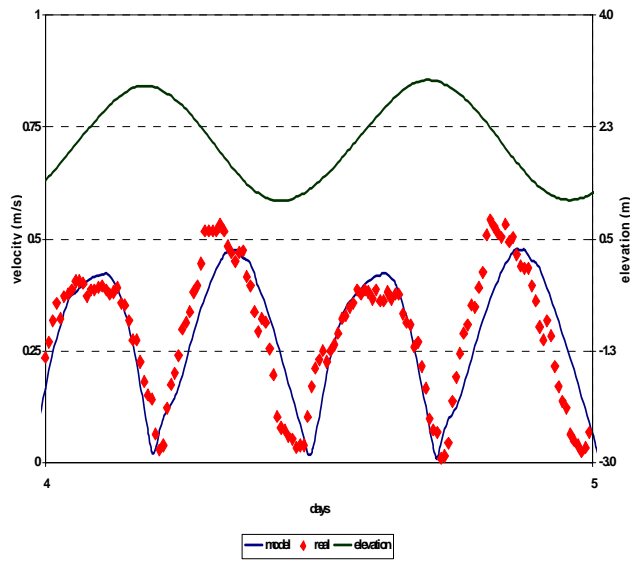


Figura 3: Calibração do módulo da Velocidade (Barra Tavira)

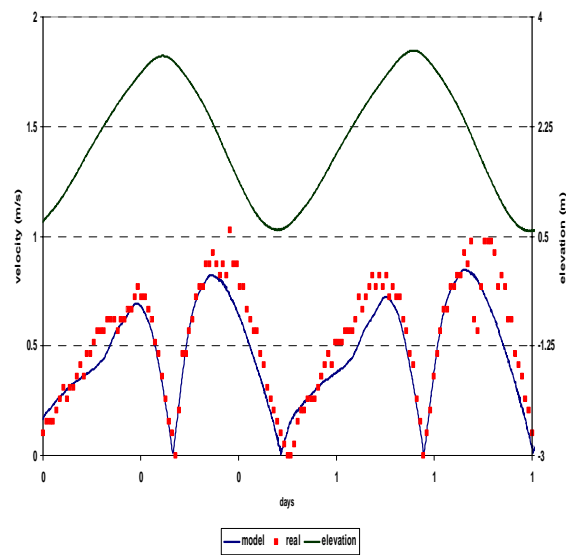


Figura 4: Calibração do módulo da Velocidade (Canal de Faro)

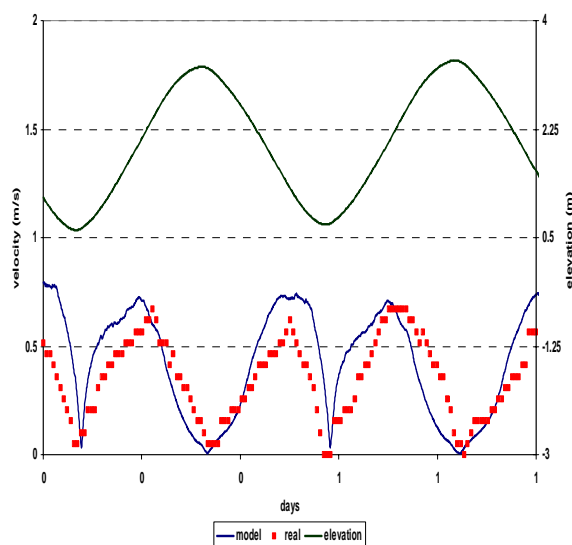


Figura 5: Calibração do módulo da Velocidade (Canal de Olhão)

## 5.2 Calibração do Modelo Langrangiano

Para cada campanha de monitorização efectuou-se uma simulação com as mesmas condições de maré e com caudais e concentrações de descarga das ETAR's iguais aos valores medidos, como apresentado no quadro 1. Em alguns casos os valores das descargas não se encontravam disponíveis tendo-se usado valores médios de descarga e de concentração. O parâmetro de calibração ajustado foi o tempo de decaimento T90 (tempo necessário para uma diminuição de 90% na concentração de CF). Este parâmetro foi calibrado em cada simulação isoladamente para cada ETAR reflectindo assim a eventual diferença de condições tanto da descarga como do meio receptor.

Quadro 1: Condições de simulação de CF

ETAR	T90 (horas)*	Conc. (NMP/100ml)**	Caudal (m3/s)
Faro Nascente	2-3	1e5	0.04
Faro Noroeste	2-3	5e5	0.12
Olhão Nascente	2-3	2e5	0.1
Olhão Poente	2-3	1e4	0.04
Tavira	1-2	1e4	0.05

Conc = concentração

\* gama de valores usados na calibração

\*\* valor médio anual na descarga da ETAR

As figuras 6 a 10, representam gráficos resultantes do processo de calibração para cada uma das ETAR's.

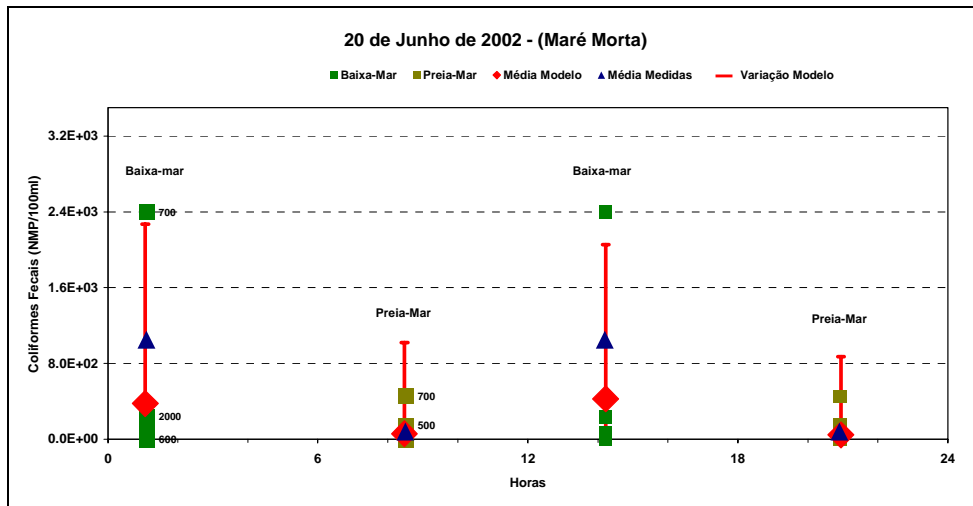


Figura 6: Gráfico de síntese da calibração de coliformes fecais. Távira, Junho de 2002

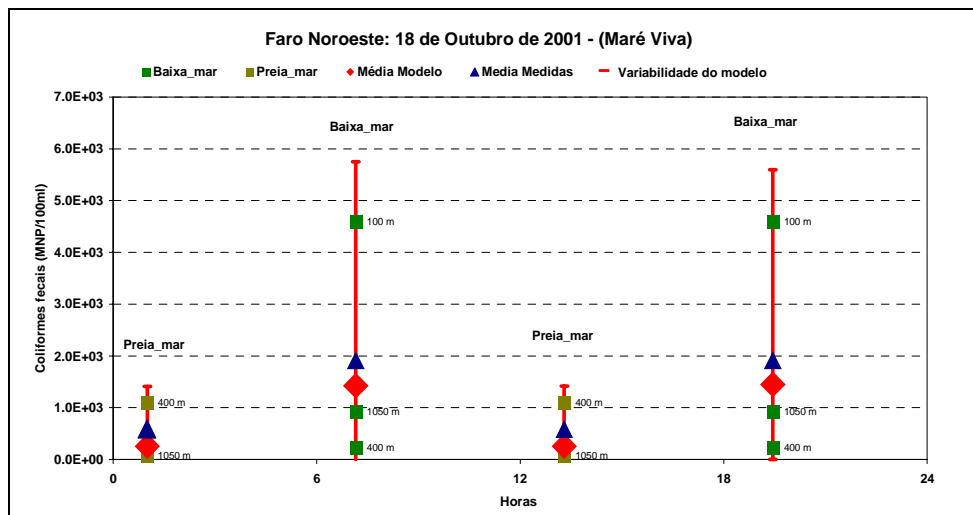


Figura 7: Gráfico de síntese da calibração de coliformes fecais. Faro Noroeste, Outubro 2002

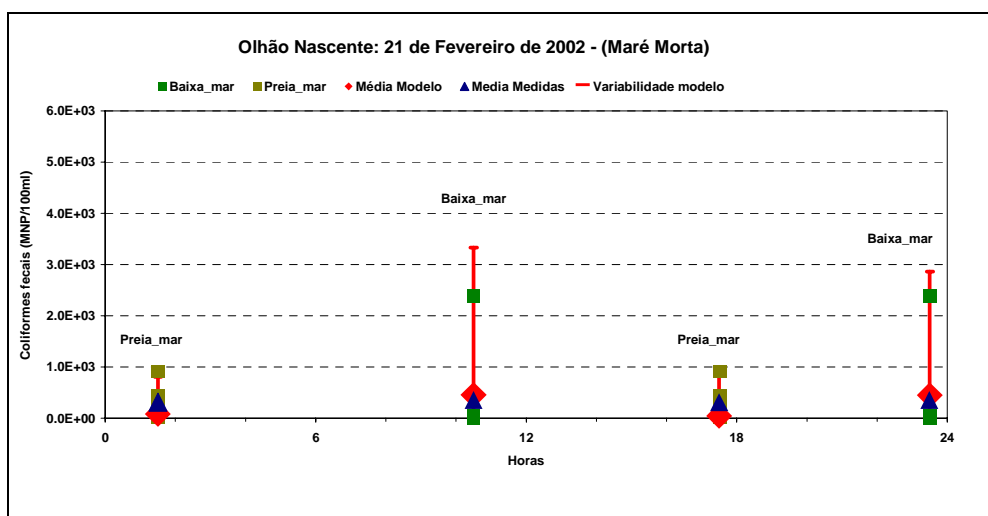


Figura 8: Gráfico de síntese da calibração de coliformes fecais. Olhão Nascente, Fevereiro 2002

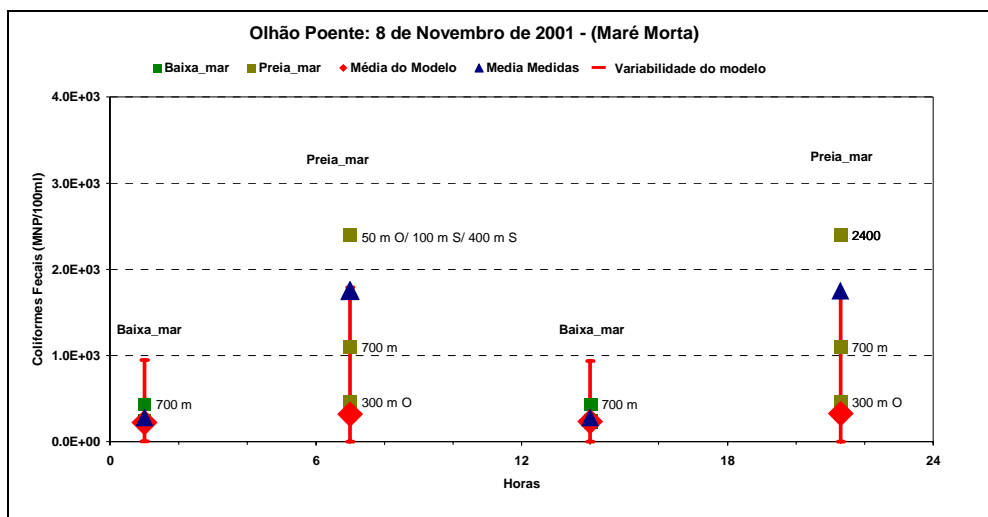


Figura 9: Gráfico de síntese da calibração de coliformes fecais. Olhão Poente, Novembro 2001

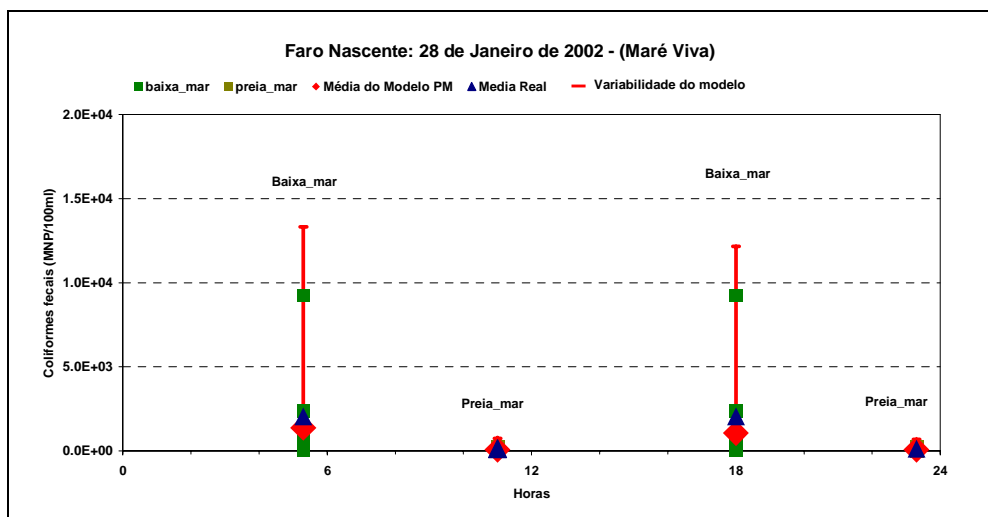


Figura 10: Gráfico de síntese da calibração de coliformes fecais. Faro Nascente, Janeiro 2002

Deve-se notar que os valores máximos do modelo não têm obrigatoriamente de coincidir com os máximos das medidas pois o instante de amostragem não foi escolhido de forma a coincidir exactamente com o instante de passagem da pluma. Os valores de T90 obtidos são valores de calibração do modelo lagrangiano, sendo por isso os melhores valores que produzem para a concentração nos pontos de monitorização. Estes valores não devem ser comparados com os valores de T90 obtidos em laboratório por diversos motivos: Em primeiro lugar deve-se notar que cada partícula do modelo lagrangiano possui várias centenas de litros de água e ocupa uma posição vertical variável. Além disso a concentração numa célula do domínio é obtida a partir da concentração das diversas partículas que possuem alguma água dentro dessa célula, através de um processo de média ponderada. Por esse motivo este valor além dos processos biológicos depende também de factores relacionados com o método de modelação.

### 5.3 Calibração do Modelo de Bioacumulação

A taxa de eliminação foi obtida usando os resultados laboratoriais de BENTO, (2001). Nesses ensaios foi utilizada a mesma espécie de molusco deste trabalho e a concentração de coliformes na

carne e fluido intervalvar foi determinada usando as mesmas técnicas. Os resultados utilizados encontram-se no quadro 2.

Quadro 2: Resultados laboratoriais usados para determinação da taxa de eliminação (Bento, 2001)

Tempo (horas)	Concentração NMP/100g
0	3000
4	1056
8	573
12	331
18	247

Nestes ensaios a água foi mantida com concentração nula, pelo que o efeito de acumulação não estava presente. Isto permite simplificar a equação (1) para:

$$\frac{dc}{dt} = k_e c \quad (2)$$

com a qual se pode determinar facilmente  $k_e$  a partir dos dados do quadro 2. Obteve-se um valor igual a  $5.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Os ensaios efectuados neste trabalho permitiram determinar a taxa de assimilação, usando os dados constantes do quadro 3 e a taxa de eliminação determinada anteriormente. Resolveu-se a equação pelo método de Newton e ajustou-se a taxa de assimilação de forma a produzir os melhores resultados. Obteve-se um valor para a taxa de assimilação igual a  $1.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ .

Quadro 3: Resultados laboratoriais usados para determinação da taxa de assimilação

Tempo (minutos)	Molusco (NMP/100g)	Água (NMP/100mL)
0	3.0E+02	3.0E+08
30	1.0E+08	2.8E+08
60	4.7E+08	4.1E+08
90	3.7E+08	8.0E+08
120	5.3E+08	6.8E+08
180	4.3E+08	6.6E+08
240	4.3E+08	6.1E+08
360	7.0E+08	5.8E+08
480	2.4E+08	5.0E+07

A comparação dos dados laboratoriais e os resultados do modelo usando estas constantes mostram uma boa correlação (figura 11).

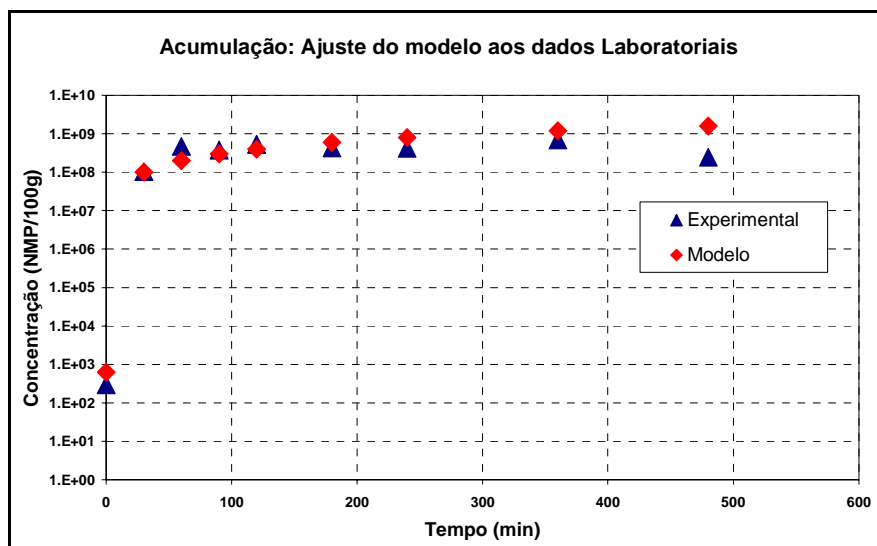


Figura 11: Determinação da taxa de assimilação por ajuste entre o modelo e os dados laboratoriais

As taxas de assimilação e de eliminação atrás determinadas foram depois confirmadas usando os resultados dos ensaios de campo. Para isso utilizou-se o modelo de transporte para simular a evolução da pluma da ETAR de Faro Noroeste durante o período da campanha. O caudal de descarga utilizado foi o caudal médio de 0.04 m<sup>3</sup>/s e com uma concentração medida de 5.4E+05 NMP/100ml.

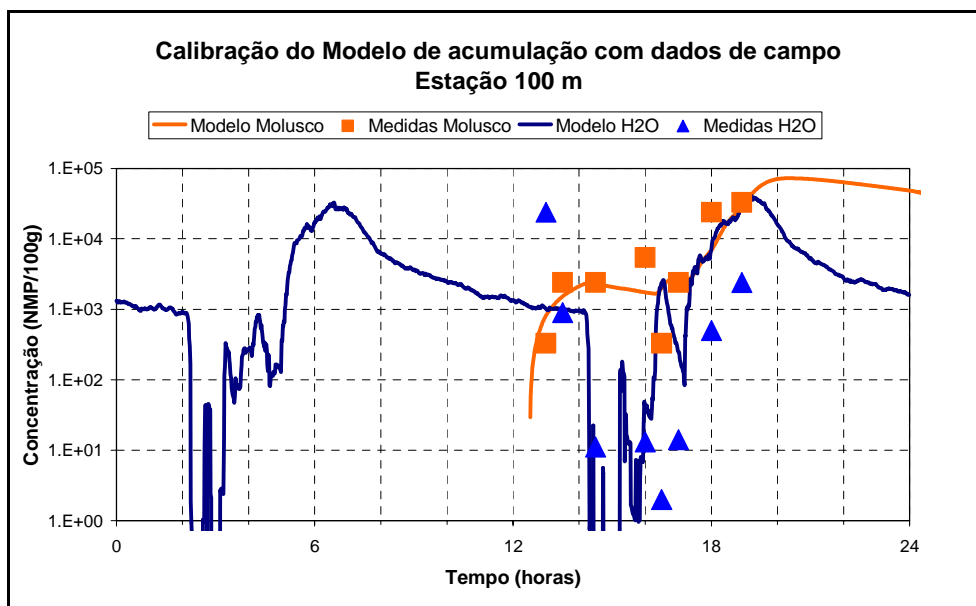


Figura 12: Calibração do modelo de acumulação com os dados de campo para a estação 100m

## 6 RESULTADOS DE APLICAÇÃO

Com base nos valores de calibração efectuaram-se simulações para aplicação dos modelos lagrangiano e de bioacumulação. As simulações do modelo de acumulação nos bivalves foi efectuada com base nos resultados do modelo lagrangiano, para uma descarga de 1.0E+04 NMP/100ml. As plumas de coliformes resultantes encontram-se nas figuras 13 e 14.

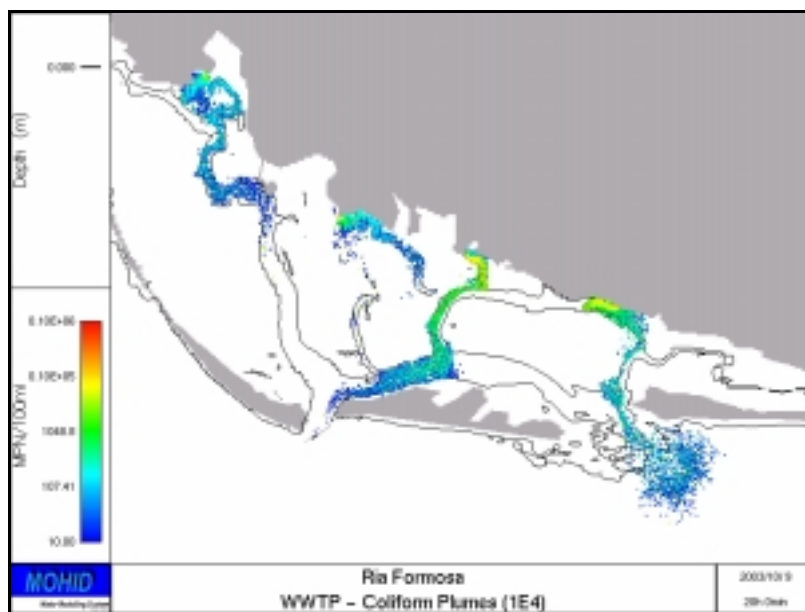


Figura 13: Plumas de emissão de coliformes fecais das ETAR's de Faro e Olhão em Maré-vazia. Concentração à saída  $1 \times 10^4$  NMP/100ml

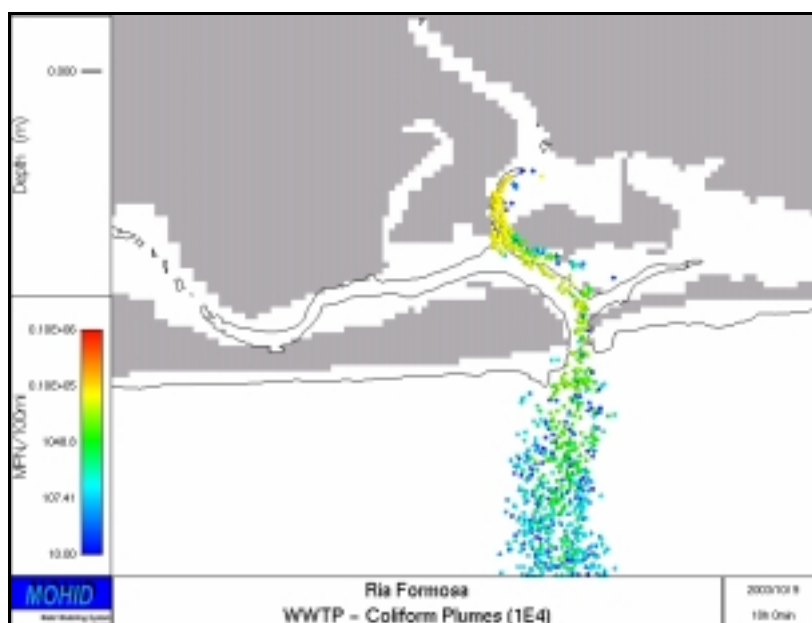


Figura 14: Pluma de emissão de coliformes fecais da ETAR de Tavira em Maré-vazia. Concentração à saída  $1 \times 10^4$  NMP/100ml

Para analisar o impacto da descarga das ETARS, escolheram-se algumas dezenas de pontos em toda a Ria Formosa onde se aplicou o modelo de bioacumulação. Os resultados foram comparados com as várias classes de apanha de bivalves (A, B, C, Zona interdita  $\geq 60000$  NMP/100g) estabelecida no Decreto-Lei nº 293/98, figura 15.

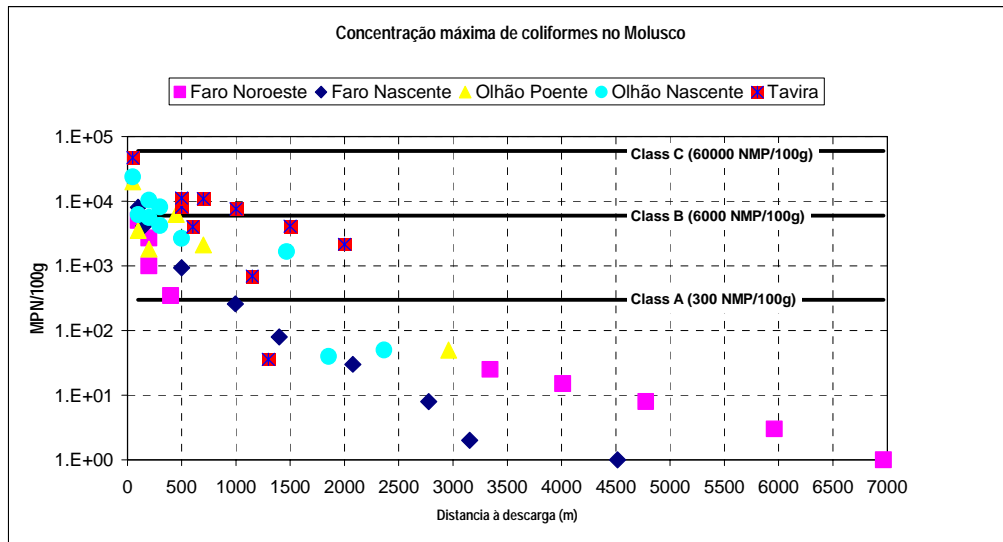


Figura 15: Variação da concentração de coliformes no molusco em função da distância à descarga (Faro-Olhão e Tavira, concentração de descarga  $1 \times 10^4$  NMP/100ml)

Com estes resultados foi possível delinear zonas da Ria Formosa correspondentes às diversas classes, como apresentado nas figuras 16 e 17.

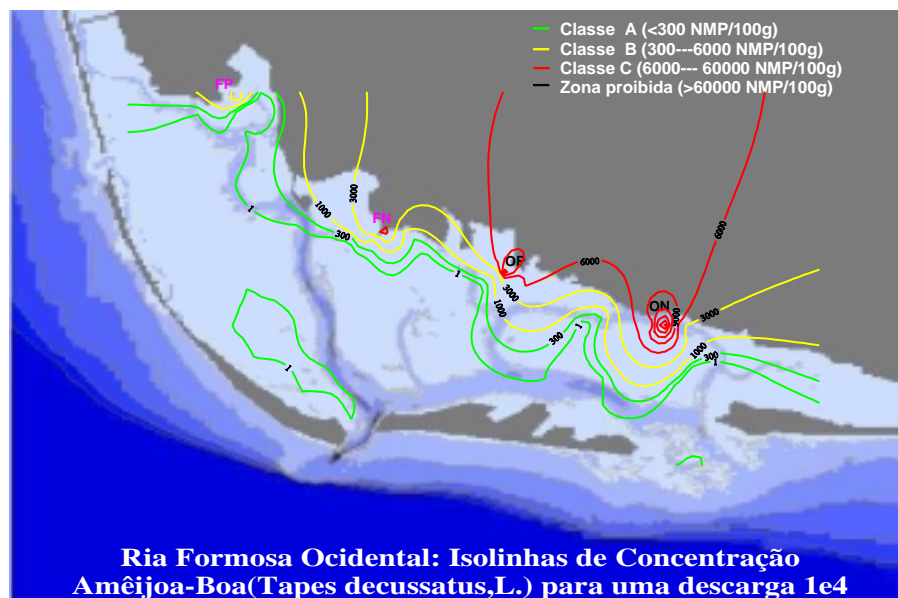


Figura 16: Mapa de isolinhas da concentração de coliformes no molusco (Faro-Olhão, concentração de descarga  $1 \times 10^4$  NMP/100ml)

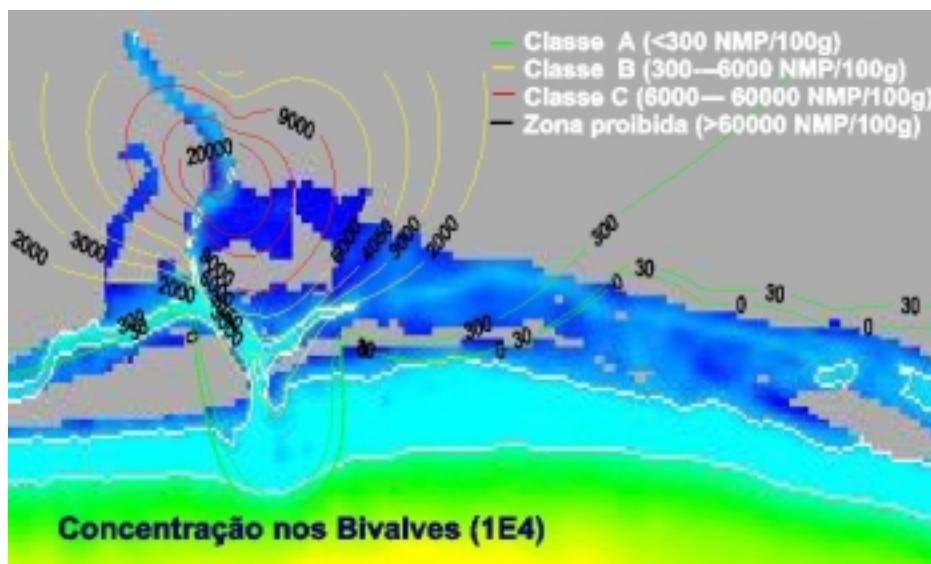


Figura 17: Mapa de isolinhas da concentração de coliformes no molusco (Tavira, concentração de descarga  $1 \times 10^4$  NMP/100ml)

## 7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÃO

A calibração hidrodinâmica mostrou que o modelo representa de forma muito aproximada as correntes na Ria Formosa.

Relativamente ao modelo Lagrangiano de CF, a sua calibração permitiu obter bons resultados, sendo a concentração média do modelo próxima da concentração média real. Em todas as ETAR's é possível constatar menores concentrações de CF na situação de preia-mar resultante de um maior efeito de diluição que ocorre durante esta situação da maré. As diferenças de concentração de CF que se pudessem observar entre as marés vivas e mortas tornam-se de difícil interpretação devido às distintas condições de simulações, figuras 6 e 10.

A pluma de CF, de uma forma global, tem valores de concentrações mais elevados nos pontos próximos das descargas e valores menores nos pontos mais afastados. Este resultado explica-se facilmente pelo efeito de diluição, figuras 13 e 14.

Embora haja alguma imprecisão nos dados de campo a calibração do modelo de bioacumulação revelou-se com resultados bastante satisfatórios. Analisando os resultados do modelo, pode-se concluir que a acumulação de CF nos bivalves reflecte a concentração destes indicadores de contaminação fecal na água.

Pelas figuras 15, 16 e 17 é notório que a Ria apresenta todas as classes de apanha permitida de bivalves para o cenário simulado (descarga  $1E+04$  NMP/100ml). Para distâncias relativamente à descarga superiores a 1500m a Ria é de classe A e inferiores a 1500m encontra-se entre as classes B e C, para as zonas sob a influência das ETAR's de Faro (Nascente, Noroeste) e Olhão (Nascente e Poente). Em zonas da Ria sob a influência da ETAR de Tavira verifica-se que as concentrações de CF no bivalve encontra-se maioritariamente entre as classes B e C.

Em suma a acumulação de CF pelos bivalves depende então da distância relativamente à localização da descarga, do valor da concentração dessa descarga e do tempo que se encontram expostos a essa concentração de CF na água.

A metodologia utilizada torna-se útil ao nível da tomada de decisão. Isto deve-se à sua capacidade de simulação de diferentes cenários de actuação e de avaliação dos seus efeitos.

## BIBLIOGRAFIA

Bento, J.A., 2001. *Avaliação do efeito da temperatura na depuração em amêijoas-boa (Ruditapes decussatus, L.)*. Faro, Portugal: Universidade do Algarve, Trabalho final de curso, 42p.

Cravo et al, 2003, *Avaliação dos Impactes das Descargas na Ria Formosa*, Faro.

DECRETO-LEI nº 236/98. «D. R. I. – A Série». 176 (98-08-07) 3676-3722

DECRETO-LEI nº 293/98. «D. R. I. – A Série». 176 (98-08-07)

IST, UAAlg, DRAOT-Alg., Ministério do Ambiente, 2003. *Estudo de Monitorização das Estações de Tratamento de Água Residual da Ria Formosa-Tarefas de Modelação*. Relatório Técnico.

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.

Neves, R., Leitão, J. & Leitão, P., 1994. *Ria de Faro, Modelação Matemática da Hidrodinâmica*. Relatório Técnico LNEC/IST.

Šolic, M. Krstulović, N. Josić, S. Curać, D. *THE RATE OF CONCENTRATION OF FAECAL COLIFORMS IN SHELLFISH UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS CONDITIONS: Environment International*, 25 N°8(1999)991-1000.

[www.mohid.com](http://www.mohid.com)