

## Modelação dos Meios Receptores da SIMTEJO

### Relatório Final de Projecto

**Data:** 12-01-2007

**Autores:**

Sofia Saraiva

Frank Braunschweig

Pedro Chambel Leitão

David Brito

Guillaume Riflet

Pedro Galvão

Ramiro Neves



## *Índice*

<b>1</b>	<b><i>Sumário.....</i></b>	<b><i>1</i></b>
<b>2</b>	<b><i>Estuário do Tejo .....</i></b>	<b><i>5</i></b>
2.1	Modelação Matemática do Estuário do Tejo .....	5
2.2	Trabalho de Campo .....	6
2.2.1	Perfis horizontais e verticais com sensores.....	6
2.3	Aquisição de Dados com sensores fundeados.....	17
2.4	Conclusões.....	17
<b>3</b>	<b><i>Modelação das Bacias Hidrográficas do Rio Trancão e do Rio do Cuco .....</i></b>	<b><i>19</i></b>
3.1	Introdução .....	19
3.2	Metodologia para a Modelação de Bacias Hidrográficas .....	20
3.3	Informação de Base .....	21
3.3.1	Modelo digital do terreno.....	22
3.3.2	Uso do solo.....	29
3.3.3	Propriedades hidráulicas do solo.....	31
3.3.4	Meteorologia .....	34
3.3.5	Descargas de água .....	37
3.3.6	Dados de Escoamento .....	40
3.3.7	Dados de qualidade da água.....	42
3.4	Calibração e Validação dos Processos Hidrológicos do Rio Trancão .....	43
3.4.1	Introdução.....	43
3.4.2	Bacia hidrográfica do Rio Trancão .....	43
3.5	Implementação dos Processos de Transporte e contaminação Fecal no Rio Trancão .....	48
3.5.1	Introdução.....	48
3.5.2	Cenários em Estudo .....	49
3.6	Modelação da bacia hidrográfica do Rio Cuco .....	57
3.6.1	Introdução.....	57
3.6.2	Dados de Base.....	57
3.6.3	Descargas.....	61
3.6.4	Resultados .....	62

<b>3.7</b>	<b>Estimativa das Cargas de Azoto e Fósforo na Bacia do Rio Trancão e na Bacia do Rio Cuco pela aplicação das <i>Guidelines</i> da OSPAR.....</b>	<b>64</b>
3.7.1	Descrição da Abordagem.....	66
3.7.2	Descrição do Método de Cálculo das Cargas.....	73
3.7.3	Análise dos Resultados.....	88
3.7.4	Conclusões .....	93
3.7.5	Trabalho Futuro.....	95
<b>4</b>	<b><i>Modelação da Costa Oceânica.....</i></b>	<b>97</b>
4.1	Forçamento oceânico .....	97
4.2	Forçamento atmosférico.....	98
4.3	Forçamento pela maré.....	99
4.4	Modelo da costa portuguesa .....	100
4.5	Modelo da Estremadura .....	101
4.6	Resultados.....	102
4.7	Estado actual e trabalho futuro .....	105
<b>5</b>	<b><i>Organização e Gestão de Dados.....</i></b>	<b>106</b>

*Referências Bibliográficas*

## Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de Amostragem das campanhas de amostragem do Estuário do Tejo. A linha indica a trajectória do barco e a cor representa o tempo decorrido desde o início do perfil (Doca de Sto. Amaro).....	7
Figura 2. Distribuição de caudal medido na estação de Ómnias-Santarém, ao longo do ano de 2006. ....	8
Figura 3. Distribuição de Salinidade no dia 29 de Novembro: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos).....	9
Figura 4. Distribuição de Salinidade no dia 20 de Julho: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos). Situação de caudal fluvial inferior ao caudal médio. Neste caso os gradientes horizontais de salinidade são maiores, com valores de 35 ‰ na zona de S. Julião e de 6‰ no ponto mais a montante. ....	9
Figura 5. Perfis Verticais de Salinidade realizados frente à doca de Santos no dia 22 de Dezembro de 2006. ....	10
Figura 6. Perfis verticais de Salinidade e de Temperatura realizados frente à doca de Sto Amaro no dia 30 de Agosto de 2006 (as duas curvas em cada figura mostram as medidas durante a subida e a descida da sonda e dão uma ideia do erro devido ao tempo de reacção do sensor. As figuras mostram que no Verão, quando o caudal é baixo, a estratificação fica confinada a uma camada mais fina, de 5 metros de espessura. ....	11
Figura 7. Perfis de temperatura e salinidade registados em frente ao Terreiro do Paço: Agosto de 2006 (baixa-mar) e Novembro de 2006 (preia-mar). ....	12
Figura 8. Distribuição de Oxigénio Dissolvido no dia 19 de Setembro: amostragem com sensor. ....	13
Figura 9. Perfil de Oxigénio Dissolvido registado em frente ao Terreiro do Paço em 29/11/2006.....	13
Figura 10. Distribuição de Turbidez no dia 19 de Setembro: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos).....	14
Figura 11. Fotografia tirada no dia 9 de Novembro de 2006, na zona de montante do Estuário do Tejo. ....	15
Figura 12. Perfis de Turbidez registados em frente ao Terreiro do Paço em 30/08/2006 e em 29/11/2006 (direita). A figura da direita diz respeito a uma situação de preia-mar, mas mesmo assim, a turbidez à superfície é cerca do triplo de Agosto. Nas camadas inferiores onde a água é essencialmente marinha, a turbidez é semelhante em ambas as figuras. ....	15
Figura 13. Distribuição de Clorofila no dia 20 de Julho: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos). ....	16
Figura 14. Perfil de Clorofila registado em frente ao Terreiro do Paço em 20/07/2006 e em 30/08/2006. ....	16
Figura 15. Processos hidrológicos resolvidos pelo modelo MOHID Land.....	20
Figura 16. Modelo digital do terreno da bacia hidrográfica do Rio Trancão.....	23
Figura 17. Linhas de água na bacia hidrográfica do Rio Trancão.....	25
Figura 18. Linhas de água próximo da foz do Rio Trancão desenhadas sobre a carta militar. ....	26
Figura 19: Declive do terreno na bacia hidrográfica do Rio Trancão. ....	28
Figura 20. Uso de solo na bacia hidrográfica do Rio Trancão <i>Corine Land Cover</i> (2000).....	30
Figura 21. Tipos de solos na bacia hidrográfica do Rio Trancão (Comissão Europeia).....	33
Figura 22. Estações automáticas de amostragem do INAG nas zonas de atendimento da SIMTEJO.....	35
Figura 23. Temperatura do ar imposta ao modelo.....	36
Figura 24. Precipitação imposta ao modelo (Ponte Pinhal).....	36
Figura 25. Descarga das ETAR da SIMTEJO durante o período de simulação. ....	37
Figura 26. Densidade populacional das freguesias na área da bacia hidrográfica do Trancão (INE, censo de 2001).....	39
Figura 27. Medição de Caudal com o Equipamento do IMAR. ....	40

Figura 28. Pontos com informação sobre o escoamento (INAG) .....	41
Figura 29. Pontos com informação sobre qualidade da água (Estações de Monitorização do programa de monitorização da SIMTEJO).....	42
Figura 30. Comparação entre níveis simulados e observados (Ponte Pinhal).....	44
Figura 31. Comparação entre níveis simulados e observados no ano hidrológico 2005-2006 (Ponte Pinhal).....	44
Figura 32. Comparação entre níveis simulados e observados (Ponte Zambujal).....	46
Figura 33. Valores acumulados de precipitação (4 anos).....	46
Figura 34. Valores acumulados de infiltração (4 anos).....	47
Figura 35. Valores acumulados de evapotranspiração (4 anos).....	47
Figura 36. Valores acumulados de escoamento (4 anos).....	48
Figura 37. Comparação entre os caudais simulados na foz do Rio Trancão .....	50
Figura 38. Comparação (Out 2004) entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas, admitindo que a contaminação microbiológica é devida unicamente às ETAR.....	52
Figura 39. Comparação (Out 2004) entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas admitindo que 15% da contaminação microbiológica é de origem difusa.....	53
Figura 40. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA01 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR + difusa”).....	54
Figura 41. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA03 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).....	54
Figura 42. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA04 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).....	55
Figura 43. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA05 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).....	55
Figura 44. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA06 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).....	56
Figura 45. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA23.....	56
Figura 46. Modelo digital do terreno, delimitação e linhas de água da bacia hidrográfica do Rio Cuco.....	58
Figura 47. Uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Cuco <i>Corine Land Cover</i> (2000).....	59
Figura 48. Pontos de Monitorização na bacia hidrográfica do Rio Cuco.....	60
Figura 49. Descarga das ETAR da SIMTEJO durante o período de simulação.....	61
Figura 50. Caudal na foz da bacia hidrográfica do Rio Cuco.....	62
Figura 51. Comparação entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas – CUC02. (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”, respectivamente).....	63
Figura 52. Comparação entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas – CUC08. (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”, respectivamente).....	63
Figura 53 – Definição das Unidades de Resposta Hidrológica do modelo SWAT para a bacia do Trancão.....	69
Figura 54. Estrutura de monitorização da bacia do Trancão – estações de monitorização de Nutrientes. A vermelho a zona monitorizada, a área drenada a montante das estações e a cinzento a zona não monitorizada, a jusante.....	70

Figura 56. Comparação dos resultados do modelo SWAT (modelo calibrado a amarelo e não calibrado a vermelho) com as medidas do INAG na estação hidrométrica de Ponte Pinhal (a azul) – bacia do Trancão. Valores médios diários de caudal em m <sup>3</sup> /s. ....	72
Figura 57. Comparação entre escoamento anual medido (fonte: INAG) e estimado pelo modelo SWAT na estação de Ponte Canas na bacia do Trancão. É apresentada fracção da precipitação anual na estação da Lousa da rede INAG na bacia para comparação. ....	72
Figura 58. Comparação entre escoamento mensal medido (fonte: INAG) e estimado pelo modelo SWAT na estação de Ponte Canas na bacia do Trancão. ....	73
Figura 59. Caudal estimado pelo modelo SWAT para o período de 1993 a 2004 na estação de Ponte Canas e Ponte Resinga da rede de monitorização do INAG. ....	73
Figura 55. Áreas de Atendimento para os sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais na bacia do Trancão (a) e bacia do Cuco (b). Fonte: SIMTEJO. ....	75
Figura 60 – Concentrações de azoto total nas três estações de monitorização de qualidade da água superficial na bacia do Trancão (Fonte: INAG) e resultados do modelo SWAT. ....	87
Figura 61 – Concentrações de nitrato nas três estações de monitorização de qualidade da água superficial na bacia do Trancão (Fonte: INAG) e resultados do modelo SWAT. ....	87
Figura 62 – Concentrações de fósforo total nas três estações de monitorização de qualidade da água superficial na bacia do Trancão (Fonte: INAG) e resultados do modelo SWAT. ....	88
Figura 63. Comparação anual da abordagem das cargas e das fontes (ton/ano) para a bacia do Trancão. a) Cargas de Azoto b) Cargas de Fósforo. Nota: nas figuras da base, as linhas a azul são as rectas em que a carga estimada = carga rio. ....	92
Figura 64. Comparação anual da abordagem das cargas e das fontes (ton/ano) para a bacia do Trancão no cenário 1 (cargas pontuais constantes) e cenário 2 (cargas pontuais com variabilidade). a) Cargas de Azoto b) Cargas de Fósforo. ....	93
Figura 65. Batimetria da extracção da solução PSY2v2r1 de Mercator-Océan, resolução de 1/15º (5 a 7 km). ....	98
Figura 66. Topografias sobrepostas dos três domínios do modelo operacional atmosférico MM5 utilizado. Resoluções horizontais respectivas de 81, 27 e 9 km. ....	99
Figura 67. Batimetria do domínio bidimensional da costa portuguesa obtida por interpolação bilinear dos dados de base do ETOPO 2'. ....	100
Figura 68. Batimetria do domínio tridimensional da costa portuguesa obtida por interpolação bilinear dos dados de base do ETOPO 2', aninhada dentro do domínio bidimensional. ....	101
Figura 69. Batimetria do domínio tridimensional da costa portuguesa obtida por interpolação bilinear dos dados de base do ETOPO 2', aninhada dentro do domínio bidimensional. ....	102
Figura 70. Correntes residuais de superfície de 15 dias e nível da água para o domínio da costa portuguesa em Junho de 2006. O nível no repouso está a 2.08 m. As velocidades atingem cerca de 15 cm/s. ....	102
Figura 71. Correntes residuais de 15 dias aos 750 m de profundidade para o domínio da costa portuguesa em Junho de 2006. ....	103
Figura 72. Distribuição de Temperatura à superfície: solução do Mercator PSY2r2v1 interpolada para a malha do domínio baroclínico da costa portuguesa (à esquerda) vs. resultados do MOHID dos modelos baroclínicos da costa portuguesa e da Estremadura sobrepostos (à direita). ....	104
Figura 73. Distribuição de Temperatura à superfície: solução do Mercator PSY2r2v1 interpolada para a malha do domínio baroclínico da costa portuguesa (à esquerda em cima) vs. resultados do MOHID dos modelos baroclínicos da costa portuguesa e da Estremadura sobrepostos (à direita em cima) vs. imagem de satélite de temperatura à superfície (em baixo). ....	104
Figura 74. Estrutura utilizada no armazenamento de dados de campo. ....	106
Figura 75. Operações possíveis no controlo de navegação. ....	107
Figura 76. Controlo de pesquisa de datas e parâmetros a visualizar. ....	108
Figura 77. Visualização das estações que correspondem ao resultado das opções seleccionadas. ....	109
Figura 78. Resultado da pesquisa efectuada: tabela de valores obtidos nas campanhas de amostragem. ....	109

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Parâmetros utilizados referentes ao uso do solo.....	29
Tabela 2. Propriedades hidráulicas seleccionadas em função do tipo do solo.....	31
Tabela 3. Características das Estações Meteorológicas.....	35
Tabela 4. Concentrações de Bactérias Coliformes Termotolerantes.....	37
Tabela 5. Informação sobre Escoamento.....	40
Tabela 6. Gamas de remoção de nutrientes adaptadas de Metcalf and Eddy, 1991 de acordo com os tipo de tratamento.....	77
Tabela 7. Gamas de remoção de nutrientes calculadas a partir dos dados à entrada e à saída das ETAR da SIMTEJO.....	77
Tabela 8. Cargas de nutrientes estimadas à saída das ETAR nas bacias o Trancão e Cuco.....	79
Tabela 9. Distribuição das principais espécies animais, bem como o seu peso em termos de nutrientes na bacia do Trancão de acordo com o RGA de 1999.....	83
Tabela 10. Distribuição das origens de Nutrientes na bacia do Trancão por tipo de fonte.....	89
Tabela 11. Distribuição das origens de Nutrientes na bacia do Cuco por tipo de fonte.....	89
Tabela 12. Valores das cargas de nutrientes (descarregadas na rede de drenagem) por origem, na bacia do Trancão, estimadas a partir das fontes. Nota: as percentagens estão pela ordem cenário mínimo – cenário máximo obedecendo à ordem das cargas.....	90
Tabela 13. Bacia do Trancão: cargas de nutrientes exportadas para o estuário do Tejo, estimadas a partir das fontes e da capacidade de retenção da bacia.....	90
Tabela 14. Valores das cargas de nutrientes (descarregadas na rede de drenagem) por origem, na bacia do Cuco, estimadas a partir das fontes. Nota: as percentagens estão pela ordem cenário mínimo – cenário máximo obedecendo à ordem das cargas.....	91
Tabela 15. Bacia do Cuco: cargas de nutrientes exportadas para a zona costeira, estimadas a partir das fontes e da capacidade de retenção da bacia.....	91
Tabela 16. Comparação entre os valores obtidos pelas abordagem das fontes e das cargas para a zona monitorizada do Trancão.....	91

## 1 Sumário

Este relatório descreve o trabalho realizado pelo IMAR no projecto “Modelação dos Meios Receptores da SIMTEJO” (Abril de 2006 a Dezembro de 2006). O projecto é constituído por cinco componentes: (i) monitorização do Estuário do Tejo com sensores; (ii) modelação matemática do estuário; (iii) modelação de duas bacias hidrográficas na área de atendimento da SIMTEJO; (iv) modelação matemática da costa oceânica da Ericeira e (v) a gestão dos dados, correspondendo cada uma delas a um capítulo.

No Estuário do Tejo foram efectuadas medidas com sensores tendo sido realizados perfis horizontais ao longo do percurso da embarcação e perfis verticais, incluindo algumas estações de recolha de amostras para análise em laboratório. O sistema de mapeamento e toda a metodologia de aquisição de dados com sensores foi otimizada. Os dados obtidos mostram alguma estratificação, com água mais quente à superfície, durante os meses de Verão e a situação inversa nos meses de Outono/Inverno, com água mais fria - e de menor salinidade - à superfície em consequência de temperaturas do ar bastante reduzidas e ainda de a temperatura da água do rio ser inferior à temperatura da água do estuário (também como consequência da menor temperatura do ar).

Este tipo de estratificação é bem conhecido nos estuários e pode implicar o uso de modelos tridimensionais. No caso do estuário do Tejo a estratificação típica é de importância secundária para a hidrodinâmica geral, sendo relevante em situações de maior caudal do estuário. A disponibilidade destes dados permitirá validar simulações tridimensionais, em situações de caudal elevado ou em situações de vento, quando a água à superfície pode seguir trajectórias diferentes da trajectória média da massa de água.

A componente de modelação do estuário foi objecto de melhorias através da inclusão no modelo de novos processos. O modelo foi validado usando os dados de campo e foi utilizado para avaliar os eventuais benefícios da remoção de nutrientes em quatro ETAR da SIMTEJO (Alcântara, Chelas, Beirolas e S. João da Talha). Os resultados destas simulações foram descritos no relatório “Estudo do Efeito no Nível trófico do Estuário do Tejo da Remoção de Nutrientes nas ETAR de Alcântara, Chelas, Beirolas e S. João da Talha”. Depois de validado para a situação actual (referência) o modelo foi usado para simular cenários de gestão ao nível dos nutrientes, pondo em evidência a vantagem dos estudos integrados de monitorização, combinando estudos de campo com modelação matemática.

Na Costa Oceânica da Ericeira a estratégia de modelação utiliza o conceito de modelos encaixados para passar da escala regional para a escala local utilizando o modelo MOHID, desenvolvido no IST. Esta estratégia tem por base o facto de a circulação na zona costeira das Ribeiras do Oeste ser forçada pela maré, pelo vento e pela densidade, dependendo através destes últimos da circulação de larga escala. O seu

estudo baseia-se assim na aplicação do modelo em várias escalas, sucessivamente mais refinadas. Este relatório apresenta resultados de circulação e temperatura à superfície em três escalas. Os resultados comparados com modelos globais de maré e com imagens de satélite. Com base nesta plataforma de modelação poderá ser implementado um modelo operacional de qualidade das águas balneares capaz de simular impactes de descargas acidentais. Para tal será necessário instalar sistemas de monitorização nos sistemas de descarga de emergência que podem afectar cada uma das praias.

O modelo – MOHID Land – integrado no sistema de modelos MOHID foi usado para simular o transporte de contaminantes fecais na bacia do rio Trancão e para diagnosticar a importância relativa das fontes de contaminação pontuais e difusas. O modelo de bacia é forçado pelas trocas com a atmosfera (precipitação e evapotranspiração), sendo o escoamento função da topografia, das propriedades e do uso do solo e inclui a modelação do escoamento nas linhas de água, o escoamento superficial na bacia (*runoff*) e o escoamento no solo, na zona não-saturada (vadosa) e na zona saturada (aquífero).

O modelo utilizou a componente hidrológica desenvolvida em 2004 e foi aplicado nas bacias do Trancão e do Cuco. Na bacia hidrográfica do Rio Trancão os resultados do modelo hidrológico foram validados usando séries temporais de caudal. O modelo reproduz correctamente a localização temporal dos “picos” de caudal e a sua amplitude. O modelo reproduz também de forma correcta a diminuição do caudal após os eventos de chuva, ou seja o caudal de base (*base flow*). Desta forma se conclui que: (i) o método utilizado na interpolação da precipitação é adequado, pois a imposição da chuva no modelo resulta em “picos” na mesma altura em que houve “picos” nas observações; (ii) a parametrização do *runoff* superficial é adequada, pelas mesmas razões e ainda (iii) a parametrização do solo é adequada, visto que o modelo consegue reproduzir o *base flow*.

Os resultados da hidrologia foram em seguida usados para estudar a contaminação microbiológica, com base em cenários, de forma a identificar os processos mais relevantes para a contaminação microbiológica. Foram estudados na bacia do Rio Trancão os dois cenários seguintes: (i) descargas provenientes exclusivamente das ETAR e (ii) descargas das ETAR associadas a “descargas de origem difusa” cuja intensidade era proporcional à densidade populacional.

A existência de descargas a montante das ETAR é óbvia pois aí é detectada contaminação fecal nos dados de campo. O modelo permitiu avaliar a importância dessas descargas, mas também verificar que elas também devem existir a jusante das ETAR, pois as concentrações medidas são superiores às que existiriam se as descargas fossem exclusivamente provenientes das ETAR e do transporte das zonas a montante destas.

Para a bacia hidrográfica do Rio Cuco é igualmente descrita a aplicação do modelo, utilizando a experiência adquirida na bacia do Trancão para colmatar a falta de dados existente nesta bacia. Os resultados são interessantes, mas carecem de uma validação com dados de campo recolhidos na própria bacia.

Para o estudo da geração e transporte de nutrientes nas bacias foi utilizado o modelo SWAT, visto que o modelo MOHID Land ainda não considera os processos associados ao ciclo dos nutrientes no solo como é o caso de: (i) transporte de propriedades no solo, (ii) erosão associada ao *runoff* superficial e (iii) transformações biogeoquímicas no solo associadas à vegetação (e.g. consumo de nutrientes das plantas, mineralização da matéria orgânica).

O estudo do transporte de nutrientes nas bacias é apresentado sob a forma de uma aplicação das *Harpnut Guidelines* da OSPAR para a determinação das cargas. A utilização das *Guidelines* da OSPAR teve como objectivo quantificar a geração das cargas de nutrientes nas duas bacias em estudo, de modo a identificar áreas de actuação prioritárias caso se pretenda a sua redução. Estas *Guidelines* – 9 no total – quantificam a carga de nutrientes da bacia distinguindo as contribuições das diferentes origens (e.g. urbanas, agrícolas, etc.). O estudo permitiu concluir que: (i) para a bacia do Trancão, as fontes pontuais representam cerca de 50% a 75% das fontes de azoto da bacia e cerca de 45% a 75% das fontes de fósforo; ii) na bacia do Cuco a quase totalidade das fontes apresentam origem difusa iii) a bacia do Trancão descarrega cerca de 1000 tonN/ano a 2000 tonN/ano e cerca de 100 tonP/ano a 250 tonP/ano no Estuário do Tejo e a bacia do Cuco descarrega no mar cerca de 35 tonN/ano a 100 tonN/ano e menos de 10 tonP/ano; iv) em nenhuma das bacias as fontes pontuais urbanas de nutrientes são relevantes para o nível trófico na bacia de drenagem. No Cuco são pouco relevantes porque a carga gerada é baixa e no Trancão são pouco relevantes porque a maioria da carga é transportada para a ETAR de Frielas, que descarrega na zona terminal da bacia.

Globalmente acresce ainda referir que o projecto como um todo representa mais uma evolução no processo complexo de melhor compreender a dinâmica dos meios receptores da SIMTEJO – estuário, costa oceânica e bacias hidrográficas - que conduzirá certamente a uma melhor gestão dos recursos naturais naquelas bacias.



## 2 Estuário do Tejo

O trabalho efectuado no estuário do Tejo teve uma componente de modelação matemática e uma componente de monitorização com sensores. A modelação matemática inclui a manutenção do modelo operacional do estuário e o estudo de cenários. Neste relatório é descrita de forma sumária o trabalho de modelação para análise do impacte sobre a produção primária no estuário da remoção de nutrientes nas principais ETAR da SIMTEJO.

### 2.1 Modelação Matemática do Estuário do Tejo

A modelação matemática do Estuário do Tejo utiliza como ferramenta de modelação o sistema de modelos MOHID ([www.mohid.com](http://www.mohid.com)), desenvolvido pelo IST, que permite a simulação dos principais processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem no Estuário do Tejo. O modelo MOHID é utilizado de forma operacional, correndo diariamente para fazer previsões da solução esperada para os dois dias seguintes (modo *forecast*) e para reproduzir os dados entretanto medidos (modo *hindcast*). Actualmente o modelo operacional do Tejo utiliza uma metodologia de modelos encaixados, onde o modelo operacional do Tejo é obtido através do *downscaling* da solução de um modelo regional de maior dimensão, de forma a melhorar a condição de fronteira do lado do mar. O modelo é também forçado com o caudal do rio e descargas de ETAR do lado de terra e com o forçamento atmosférico fornecido por um modelo de circulação atmosférica, MM5, que corre no IST de forma operacional ([www.meteo.ist.utl.pt](http://www.meteo.ist.utl.pt)). O sistema integrado de modelação operacional para o Estuário do Tejo disponibiliza, através de uma interface acessível na Internet, a visualização de dados de campo e ainda as previsões diárias (resultados de modelação), para as 24 horas do dia seguinte ou os resultados históricos de modelação.

Durante o decorrer do projecto foi assegurada a manutenção do actual sistema operacional do Estuário do Tejo e a contínua optimização do próprio modelo cujos resultados poderão ser consultados em [www.mohid.com/tejo-op](http://www.mohid.com/tejo-op). Continuamente são implementadas no modelo melhorias quer ao nível da descrição dos processos simulados pelo modelo, por inclusão dos novos conhecimentos adquiridos no contexto do programa de monitorização, quer através de implementação de novas tecnologias que melhoram a operacionalização do sistema e facilitam a visualização da informação processada. Em termos gerais, as melhorias implementadas no modelo têm como objectivo final melhorar a capacidade de simulação da evolução diária, sazonal e espacial das várias propriedades. Desta forma, a componente de modelação implica também uma componente importante de validação dos resultados.

Um extenso trabalho de validação dos vários resultados do modelo é descrito no relatório: “Estudo do Efeito no Nível trófico do Estuário do Tejo da Remoção de Nutrientes nas ETAR de Alcântara, Chelas, Beirolas e S. João da Talha”. Este estudo descreve os impactes sobre o estuário que teria a redução da carga de nutrientes de origem urbana através da instalação de ETAR com tratamento terciário.

Os resultados do modelo evidenciam que os efeitos provocados pelas alterações das concentrações de nutrientes descarregadas nas ETAR são, em termos do nível trófico do sistema inferiores a 1%. Ao nível das concentrações de nutrientes no interior do estuário existe uma diminuição máxima de cerca de 30% nas concentrações de amónia e inferior a 10% no caso do nitrato e fósforo inorgânico, com um aumento de cerca de 15-20% na concentração de fósforo inorgânico no cenário correspondente aos valores impostos na licença de descarga das estações, por o valor limite definido na licença de descarga ser superior ao valor actualmente emitido pelas ETAR. O facto de a diferença máxima de fitoplâncton em ambos entre cenários ser inferior a 1% é uma consequência da dinâmica de produção primária no Estuário do Tejo que, sendo limitada pela disponibilidade de luz e não pela concentração de nutrientes, consome só uma pequena parte dos nutrientes disponíveis, sendo a parte não consumida muito superior à descarga de nutrientes provenientes das fontes urbanas. O estudo mostrou que o nível trófico no estuário assim limitado pela luz e que os nutrientes estão normalmente em excesso, não limitando a produção primária no interior do estuário. Nestas condições não existe nenhum benefício ambiental resultante da sua remoção nas quatro ETAR em estudo. Os detalhes daquele trabalho devem ser consultados.

## **2.2 Trabalho de Campo**

Esta componente do projecto inclui a execução de perfis verticais e horizontais com sensores instalados numa embarcação que faz percursos predefinidos no estuário e a instalação de sensores em estações fixas para a medição de séries temporais.

### **2.2.1 Perfis horizontais e verticais com sensores**

Ao longo do projecto foram realizadas 6 campanhas de amostragem com sensores, cuja análise e discussão é feita nos respectivos relatórios de campanha, apresentando-se neste relatório uma breve descrição do esquema de amostragem utilizado e dos principais resultados. Mensalmente (entre os meses de Julho e Dezembro de 2006) foram realizados perfis horizontais utilizando o sistema de mapeamento, ao longo de trajectórias idênticas às representadas na Figura 1 (uma descrição mais pormenorizada do sistema de mapeamento pode ser consultada nos relatórios de campanha). O

percurso consistiu em ziguezagues desde a secção S. Julião da Barra – Bugio, até à região dos mouchões, onde o deslocamento é feito ao longo dos canais por questões de navegabilidade. A extensão total do perfil é da ordem dos 80km e o tempo necessário para o executar é da ordem das 7 horas.

Ao longo do perfil longitudinal foram efectuados alguns perfis verticais (entre 6 e 9 perfis em cada campanha), de forma a caracterizar a estratificação da coluna de água ao longo do estuário. Em cada uma das campanhas foram ainda colhidas três amostras para análise em laboratório dos parâmetros registados pela sonda, com vista à validação dos dados recolhidos pelos sensores<sup>1</sup>, tendo sido por isso recolhidos em zonas de salinidade contrastante (perto do mar, perto da embocadura do rio e na zona intermédia do estuário).

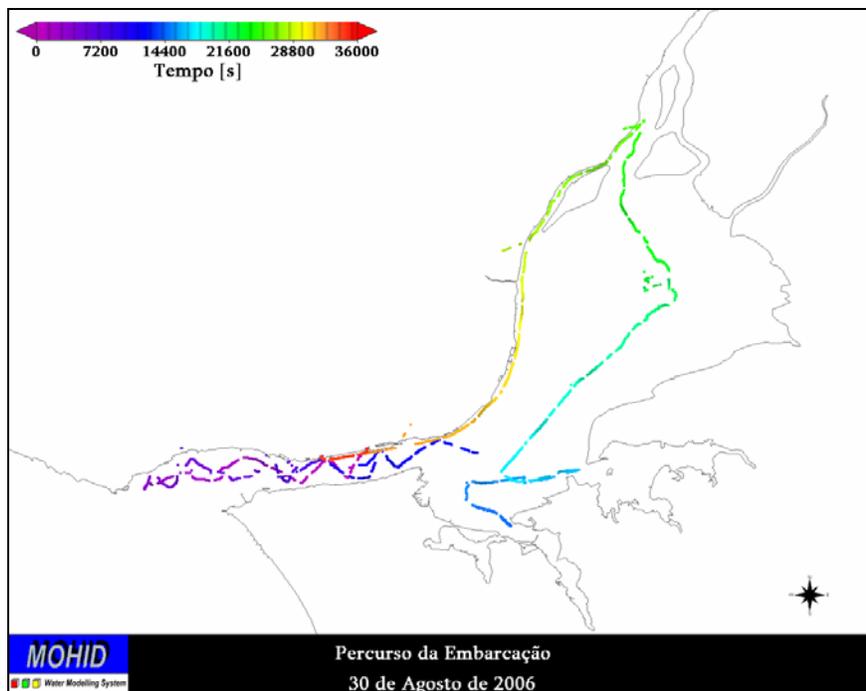


Figura 1. Esquema de Amostragem das campanhas de amostragem do Estuário do Tejo. A linha indica a trajectória do barco e a cor representa o tempo decorrido desde o início do perfil (Doca de Sto. Amaro).

Para facilitar a interpretação dos dados apresentam-se na Figura 2 uma série temporal de caudais medidos em Ómnias pelo SNIRH (INAG). Na figura são assinalados com um círculo os caudais nos dias das campanhas. Em termos globais os resultados das campanhas evidenciam gradientes importantes das propriedades ao longo dos percursos efectuados. A Figura 3 mostra a salinidade no mês de Novembro

<sup>1</sup> Na última campanha de amostragem não foram recolhidas amostras para análise laboratorial, por questões logísticas. No entanto, a experiência adquirida ao longo do projecto permite garantir a qualidade dos dados da sonda, estando os valores obtidos dentro da ordem de grandeza esperada.

de 2006. Nesta altura do ano o caudal do rio Tejo (principal fonte de água doce) era de quase 1500 m<sup>3</sup>/s e nos dias anteriores o caudal chegou aos 4000 m<sup>3</sup>/s (o caudal médio do Tejo é de 300 m<sup>3</sup>/s). Como consequência o volume de água doce descarregado para o estuário é muito elevado e a salinidade superficial é baixa, com valores abaixo de 6 ‰ até à zona de S. Julião da Barra, onde em condições normais de caudal a salinidade em baixa-mar deveria ser superior a 20 ‰ e em Preia-mar deveria ser semelhante à da água do mar (36 ‰).

Nas campanhas de Julho, Agosto e Setembro o caudal do Rio Tejo permaneceu em valores bastante abaixo dos 300m<sup>3</sup>/s (valor do caudal médio) e por conseguinte as salinidades no estuário eram muito mais altas do que a média, como mostra a Figura 4.

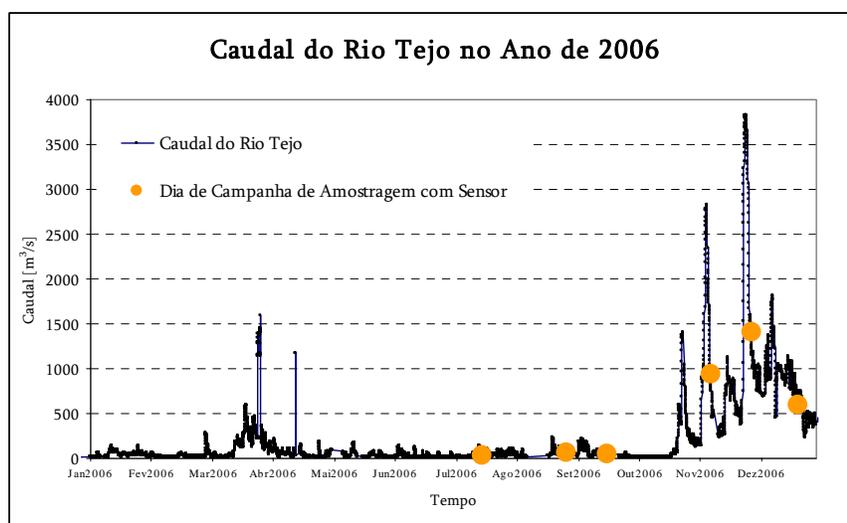


Figura 2. Distribuição de caudal medido na estação de Ómnias-Santarém, ao longo do ano de 2006.

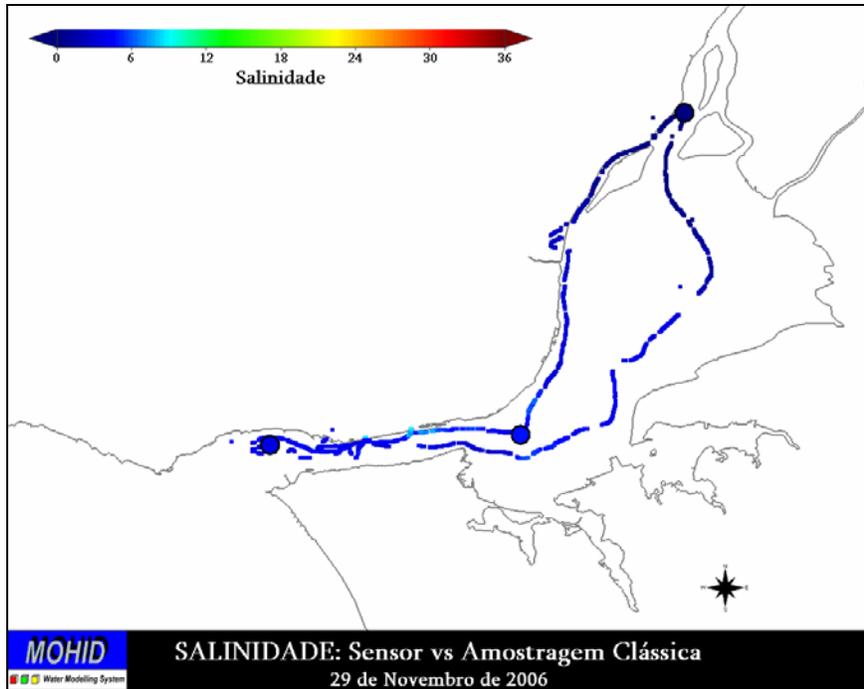


Figura 3. Distribuição de Salinidade no dia 29 de Novembro: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos).

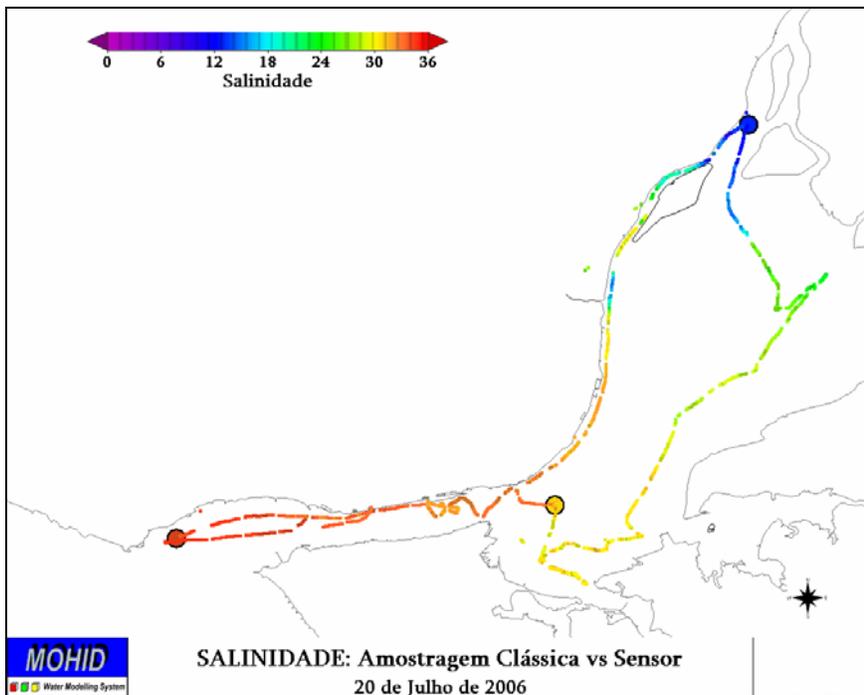


Figura 4. Distribuição de Salinidade no dia 20 de Julho: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos). Situação de caudal fluvial inferior ao caudal médio. Neste caso os gradientes horizontais de salinidade são maiores, com valores de 35‰ na zona de S. Julião e de 6‰ no ponto mais a montante.

A densidade da água depende essencialmente da temperatura e da salinidade (e em menor escala dos sedimentos em suspensão). As distribuições verticais de salinidade dão por conseguinte uma ideia da forma como a água doce se mistura no estuário, mas também da importância da estratificação vertical

de densidade (a temperatura também condiciona esta estratificação, mas normalmente em menor grau).

A Figura 5 (direita) representa dois perfis realizados na mesma estação, frente à Doca de Santos, junto à Ponte 25 de Abril, nas condições de maré indicadas na figura da esquerda<sup>2</sup> (imediatamente após a baixa-mar e em preia-mar). A figura mostra que mesmo quando o caudal do rio é duplo do caudal médio, a salinidade mínima nesta secção está acima dos 20 ‰ e que em preia-mar, a água nas camadas abaixo dos 10 metros é água do mar (salinidade de 36 ‰). A figura mostra também que nesta zona a estratificação vertical está confinada à camada superficial de 10 metros de espessura, o que não é suficientemente importante para condicionar a circulação<sup>3</sup>, mas é suficientemente importante para condicionar os processos de mistura na coluna de água, mantendo-se os produtos descarregados à superfície nesta camada superficial.

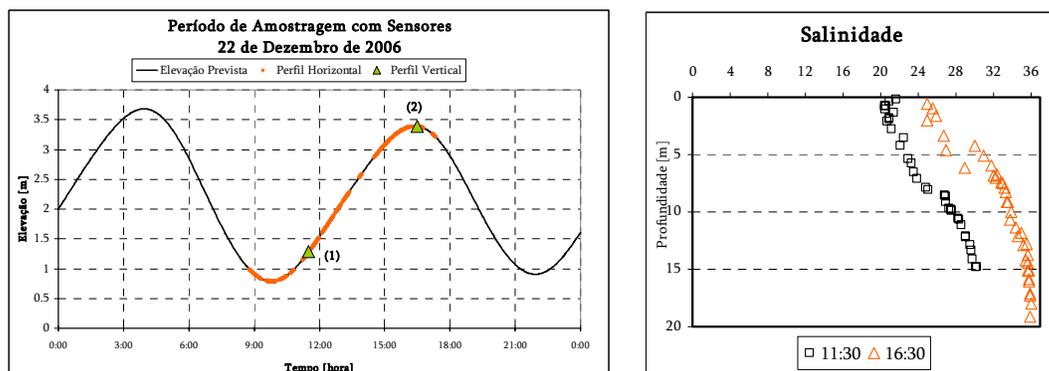
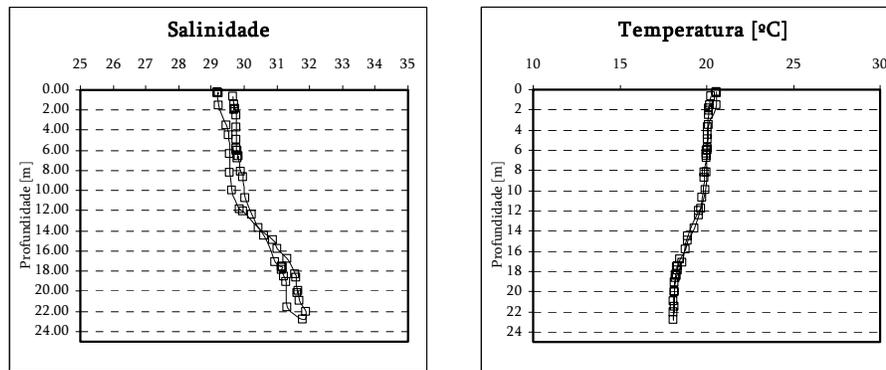


Figura 5. Perfis Verticais de Salinidade realizados frente à doca de Santos no dia 22 de Dezembro de 2006.

A Figura 6 mostra perfis de salinidade e de temperatura na mesma estação (frente à doca de Sto Amaro), no dia 30 de Agosto quando o caudal era inferior a 100 m<sup>3</sup>/s. Nestas condições as diferenças de salinidade entre a superfície e o fundo são muito menores (da ordem de 3 ‰) e a camada estratificada é também menos espessa (cerca de 5 metros). As situações descritas na Figura 5 e na Figura 6 são os casos extremos das distribuições que se podem encontrar aqui nesta estação e que são descritas nos relatórios de campanha.

<sup>2</sup> A curva representa a evolução do nível da água prevista pelo marégrafo de Cacilhas e os instantes da realização dos perfis verticais (representados por um triângulo), imediatamente após a baixa-mar e em preia-mar.

<sup>3</sup> Esta camada superficial desloca-se sobre a camada inferior de 30 metros de espessura.



**Figura 6: Perfis verticais de Salinidade e de Temperatura realizados frente à doca de Sto Amaro no dia 30 de Agosto de 2006 (as duas curvas em cada figura mostram as medidas durante a subida e a descida da sonda e dão uma ideia do erro devido ao tempo de reacção do sensor. As figuras mostram que no Verão, quando o caudal é baixo, a estratificação fica confinada a uma camada mais fina, de 5 metros de espessura.**

No Inverno os perfis verticais podem apresentar situações com maior temperatura na camada do fundo. Com efeito, no Inverno a temperatura do estuário pode ser inferior à do mar devido à menor inércia térmica do estuário e ao facto de a água do rio ter temperatura inferior à do estuário (e do mar). Assim, no Verão, quer a redução de salinidade quer o aumento de temperatura produzidos pelo rio contribuem para a estratificação vertical de densidade, inibindo a difusão vertical, enquanto que no Inverno, o arrefecimento superficial da água do estuário e o aumento do volume de água doce contribuem de forma oposta para a estratificação, dependendo a estrutura da coluna de água da importância relativa dos dois efeitos. Este efeito é posto em evidência na campanha de 29 de Novembro de 2006.

O caudal do rio na altura da campanha de Novembro era de cerca de 1000 m<sup>3</sup>/s e nos dias anteriores tinha sido ainda mais elevado. A Figura 7 compara perfis de temperatura e de salinidade frente ao Terreiro do Paço, respectivamente em Agosto (baixa-mar) e em Novembro (preia-mar). A figura põe em evidência o papel da temperatura e da salinidade na estratificação, mostrando que quando a salinidade superficial é baixa, a temperatura pode aumentar em profundidade. A figura mostra ainda que em situação de caudal elevado (Novembro) a salinidade em preia-mar pode ser muito baixa à superfície e que mesmo assim a água do mar (salinidade de 36) atinge o Terreiro do Paço em preia-mar. Este facto mostra que quando a estratificação é elevada a difusão vertical é baixa, permitindo que a água do mar mantenha as suas características durante a entrada no estuário. A comparação desta figura com a anterior põe em evidência a variabilidade da salinidade com a maré.

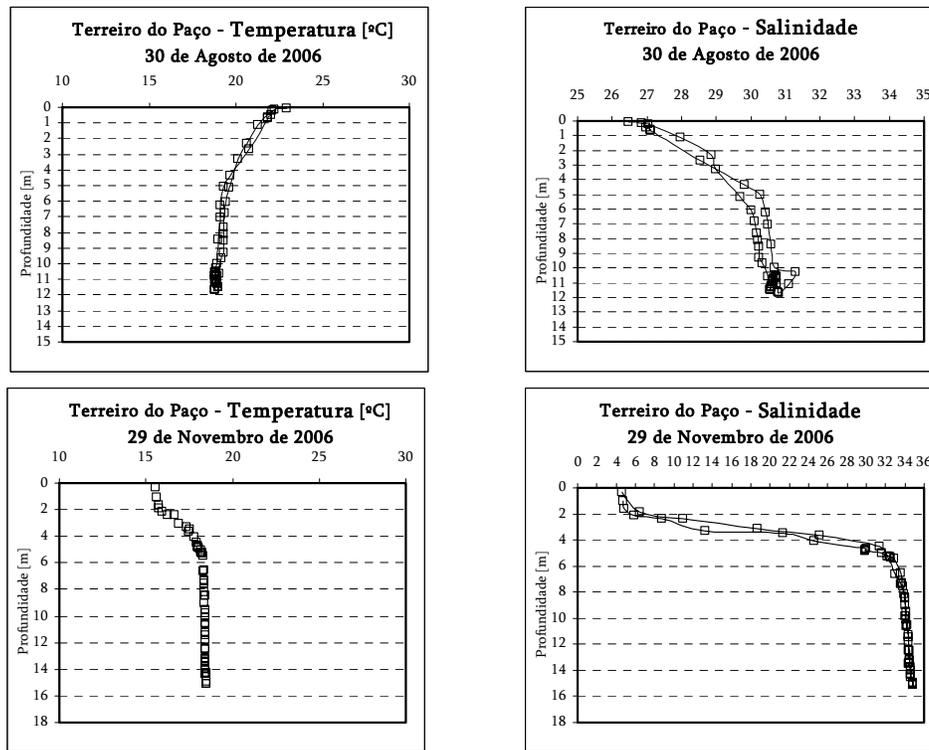


Figura 7. Perfis de temperatura e salinidade registados em frente ao Terreiro do Paço: Agosto de 2006 (baixa-mar) e Novembro de 2006 (preia-mar).

A Figura 8 mostra uma distribuição horizontal de Oxigénio Dissolvido em 19 de Setembro, quando a temperatura do estuário era da ordem dos 20°C. A figura mostra valores geralmente entre 7 e 9 mg/l, valores que estão próximos da saturação. A Figura 9 mostra um perfil vertical de concentração de O<sub>2</sub>, em preia-mar junto ao Terreiro do Paço. A figura mostra que a concentração nos 4 primeiros metros (camada superficial, menos salina) é mais elevada. Este resultado é consequência da turbidez elevada verificada nesta altura que reduz a produção primária nas camadas mais profundas. A figura mostra ainda que na camada inferior a concentração é bastante uniforme, pondo em evidência o papel da difusão vertical. A grande diferença da camada inferior para a superficial mostra também que a mistura entre ambas é baixa.

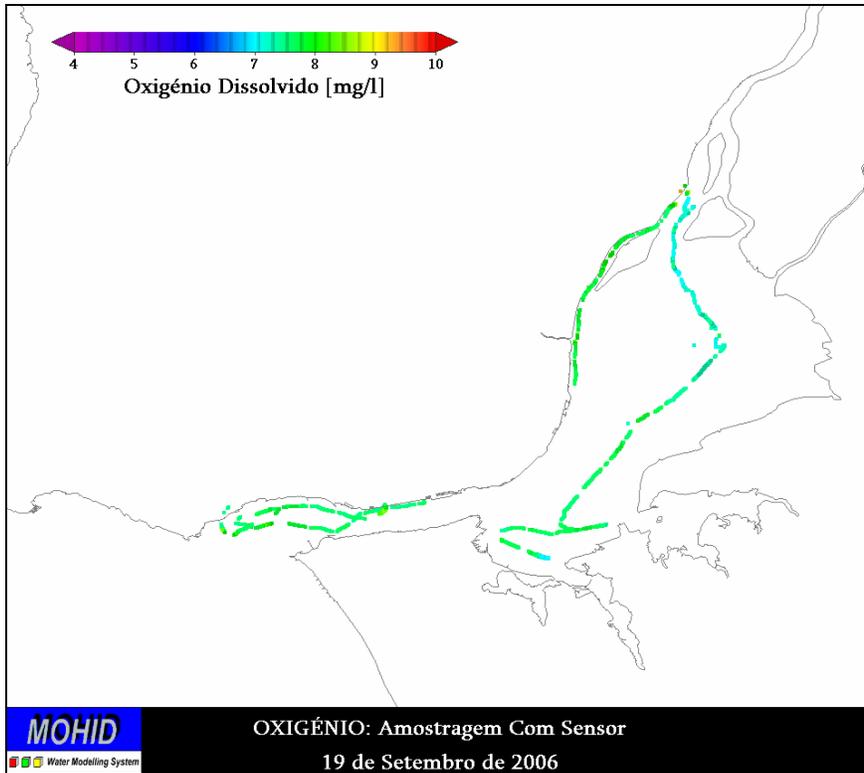


Figura 8. Distribuição de Oxigénio Dissolvido no dia 19 de Setembro: amostragem com sensor.

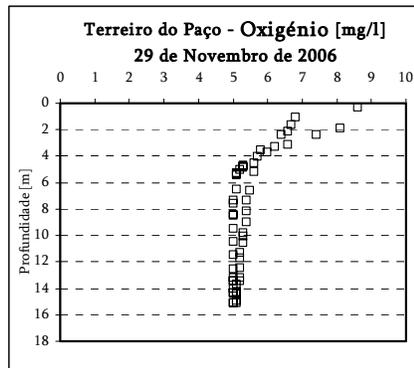


Figura 9. Perfil de Oxigénio Dissolvido registado em frente ao Terreiro do Paço em 29/11/2006.

A Figura 10 representa a turbidez registada ao longo do percurso da embarcação no dia 29 de Novembro de 2006. A figura evidencia valores bastante uniformes, da ordem dos 20 NTU na generalidade do estuário, com excepção da zona de entrada do rio Tejo, onde os valores são cerca do dobro. Este padrão de distribuição, com valores mais elevados a montante e foi observado na generalidade das campanhas de amostragem. Os valores de Novembro são no entanto cerca do dobro dos valores encontrados na maioria das outras campanhas. A Figura 11 mostra uma fotografia tirada no dia 9 de Novembro de 2006, mostrando como a água estava castanha na zona de montante do estuário.

A região de montante é normalmente mais turva porque é a zona de floculação e por isso a zona onde se floclula e se deposita a matéria orgânica particulada (fina) trazida pelo rio. Sendo também uma zona de baixa profundidade, essa matéria é facilmente ressuspendida por acção de correntes elevadas (como no caso de uma cheia) e pela acção da turbulência gerada pelo vento (indirectamente através de pequenas ondas. Adicionalmente foram também registados, em algumas das campanhas, valores elevados de turbidez em zonas mais a jusante, localizadas junto à costa, nomeadamente entre a região do Terreiro do Paço e Algés, possivelmente relacionado com o efeito das descargas existentes ao longo da costa.

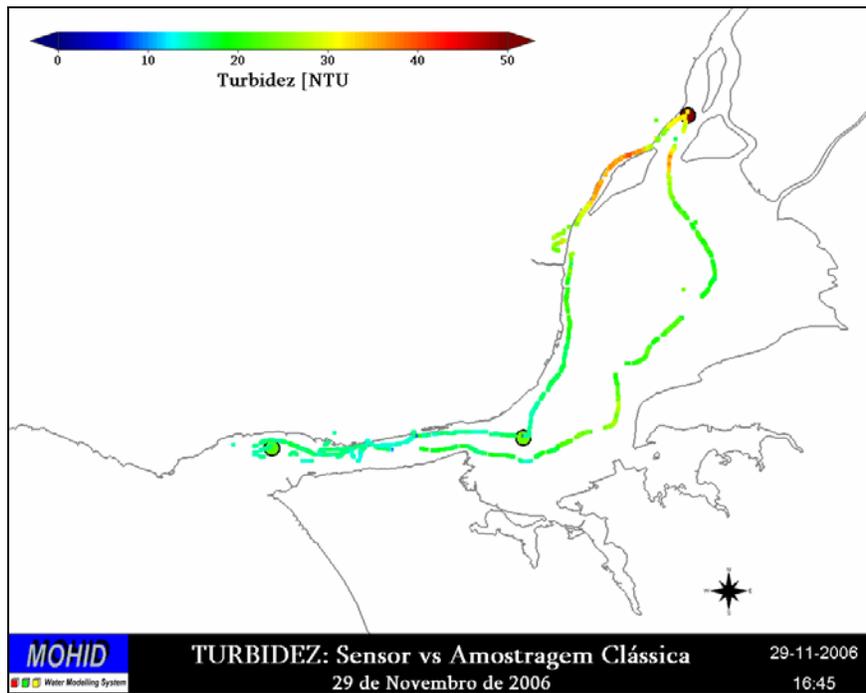


Figura 10. Distribuição de Turbidez no dia 19 de Setembro: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos).



Figura 11. Fotografia tirada no dia 9 de Novembro de 2006, na zona de montante do Estuário do Tejo.

Normalmente os perfis de turbidez mostram valores mais elevados junto ao fundo por causa de ressuspensão e junto à superfície por causa da produção primária. A Figura 12 mostra perfis verticais de turbidez em frente ao Terreiro do Paço em Agosto e no dia 29 de Novembro (preia-mar) e mostra que neste ponto, de Verão e de Inverno a turbidez é maior à superfície. No Verão isto é consequência da produção primária (ver clorofila na mesma estação na Figura 14) e no Inverno – neste caso – é consequência das cheias registadas, sendo a matéria em suspensão de origem em terra.

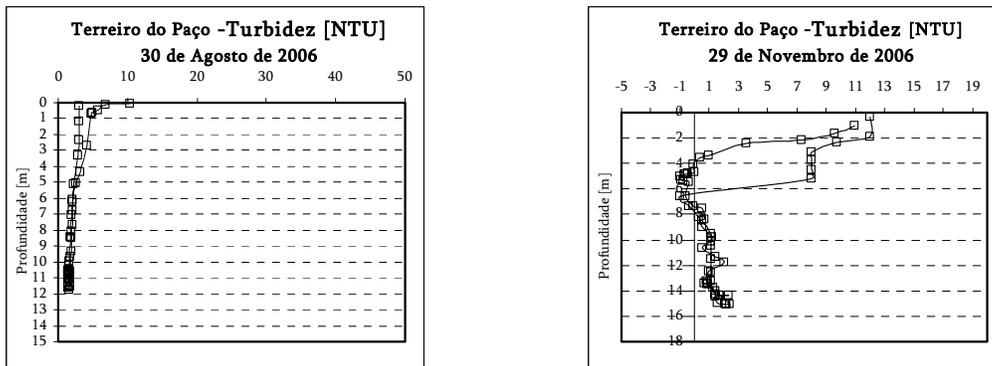


Figura 12. Perfis de Turbidez registados em frente ao Terreiro do Paço em 30/08/2006 e em 29/11/2006 (direita). A figura da direita diz respeito a uma situação de preia-mar, mas mesmo assim, a turbidez à superfície é cerca do triplo de Agosto. Nas camadas inferiores onde a água é essencialmente marinha, a turbidez é semelhante em ambas as figuras.

A Figura 13 representa uma distribuição típica de clorofila no estuário do Tejo, com valores mais elevados a montante e montante/Este do estuário, onde diversos estudos identificam como zonas de maior produção por unidade de área, como consequência da menor profundidade.

A distribuição vertical de clorofila apresenta variabilidade temporal e espacial. No entanto, em traços gerais existe tendência para a ocorrência de maiores concentrações à superfície, com exemplo apresentam-se os registos de 20 de Julho e 30 de Agosto frente ao Terreiro do Paço na Figura 14, embora os valores registados tenham sido sempre moderados.

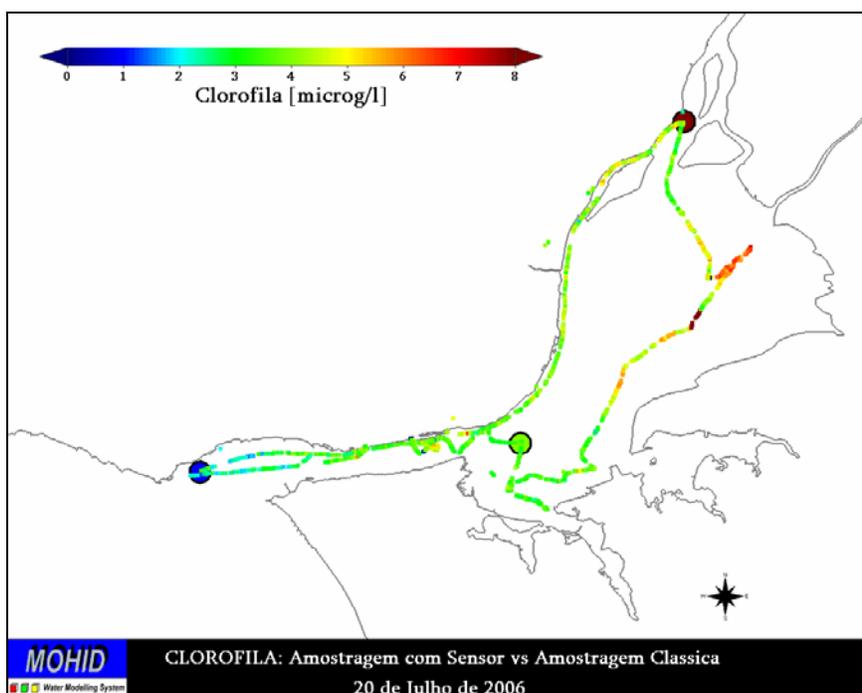


Figura 13. Distribuição de Clorofila no dia 20 de Julho: amostragem com sensor e amostragem clássica (círculos).

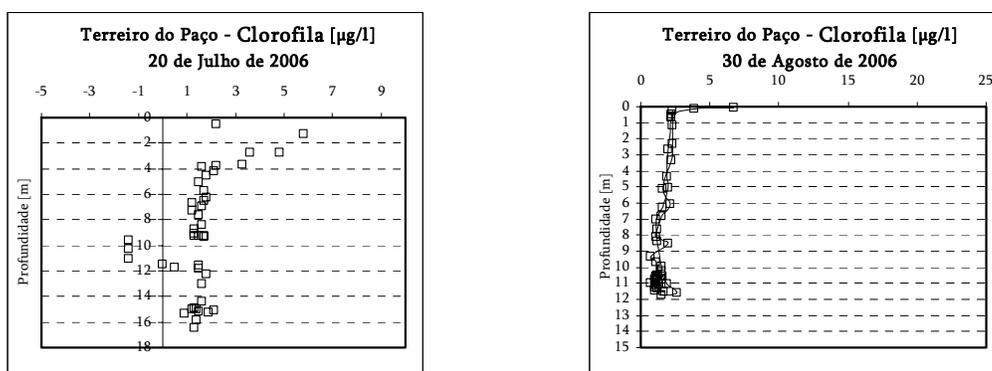


Figura 14. Perfil de Clorofila registado em frente ao Terreiro do Paço em 20/07/2006 e em 30/08/2006.

Acresce ainda evidenciar a boa aproximação entre os dados recolhidos através de sensor e os dados de laboratório, para a maior parte das propriedades.

A comparação entre os resultados do modelo e os dados de campo foi efectuada aquando dos relatórios de campanha. Em traços gerais, os seus resultados reflectem as tendências encontradas nos dados, aproximando-se os seus registos de forma muito satisfatória aos dados de sensor.

### 2.3 Aquisição de Dados com sensores fundeados

A aquisição de dados com sensores fundeados – em estação fixa – é um complemento importante no programa de monitorização do Estuário do Tejo, uma vez que permitirá registar a variação de algumas propriedades em contínuo ao longo de vários ciclos de maré. Têm no entanto sido encontradas dificuldades logísticas para a instalação dos sensores. Inicialmente estava planeada a instalação dos sensores no Cais de Alcântara Este e no Cais da Matinha, mas em conjunto com os Técnicos da SIMTEJO foi decidido seleccionar dois outros possíveis locais, devido à dificuldade em se chegar a acordo com a APL sobre os requisitos para a instalação. Foi também tentada a instalação junto ao museu da electricidade – que foi, no entanto, abandonada devido a dificuldades de comunicação com a empresa EDP.

Dadas as dificuldades na escolha de um local junto a costa que verifique as condições de segurança e facilidade de acesso pretendidas sugere-se agora que seja equacionada a instalação do equipamento numa bóia. Todo o material necessário para a implementação das estações fixas (excepto as bóias) encontra-se nas instalações do IMAR onde tem vindo a ser sucessivamente testado, encontrando-se em plenas condições de funcionamento. As ferramentas de armazenamento de dados estão desenvolvidas, permitindo neste momento armazenar dados de uma estação fixa. Estas ferramentas deverão ser melhoradas ao nível de visualização e utilização *user-friendly*, à medida que forem sendo usadas.

### 2.4 Conclusões

Este estudo permitiu (1) completar séries temporais de dados de qualidade da água (2) verificar que o estuário tem um nível trófico moderado, mesmo nas zonas de montante, onde são registadas as maiores concentrações de clorofila e (3) refinar a validação do modelo matemático do estuário.

Assim, este projecto completa as séries de dados dos anos anteriores e corrobora as conclusões dos estudos respectivos. A concentração de nutrientes é determinada pelo processo de mistura entre a água do Rio Tejo (principal fonte de nutrientes) e o oceano, desempenhando a produção primária, os processos de mineralização e as descargas de origem urbana um papel secundário nesta distribuição. A clorofila apresenta maiores concentrações nas zonas de menor profundidade a montante do estuário onde a luz por unidade de volume é mais elevada, sendo essas zonas exportadoras de clorofila para as

zonas de maior profundidade a jusante. Globalmente o estuário é consumidor de Azoto mineral, mineralizador de matéria orgânica e exportador de fitoplâncton.

Devido à importância da luz, o estuário apresenta variabilidade sazonal importante, com maiores concentrações de clorofila nos meses de Verão. No final do mês de Agosto a clorofila decai rapidamente por acção da predatória do zooplâncton, nunca chegando a produção primária a ser significativamente limitada pela concentração de nutrientes, cujos valores são máximos durante os meses de Outono/Inverno; durante a Primavera/Verão os valores de concentração de nutrientes são mais baixos devido ao facto de este ser o período no qual a actividade fotossintética é mais intensa, como consequência da maior disponibilidade de luz e da temperatura mais elevada.

Assim, a qualidade da água no Estuário do Tejo surge como a combinação e interligação de dois tipos de processos: (i) processos físicos que resultam da existência de um escoamento de maré e descargas fluviais importantes que determinam o tempo de residência (e o processo de mistura com a água do mar) e a turbidez do estuário (ii) processos químicos/biológicos que são intensos em alguns períodos do ano.

A aplicação do modelo matemático de produção primária para reproduzir o ano de 2005 revela resultados concordantes com a generalidade dos dados de campo e permite ainda um complemento importante na análise da variabilidade das propriedades, contribuindo para a compreensão dos principais processos que determinam o funcionamento do sistema. A dinâmica de sedimentos no estuário é muito intensa, devido à grande quantidade de sedimentos proveniente do rio, mas também devido à grande quantidade de sedimentos depositada nos espraídos de maré do estuário que são ressuspensos nos ciclos maré-morta, maré-viva, mas também por acção das ondas geradas pelo vento. Como consequência, o estuário do Tejo é em geral um estuário turvo, onde a luz penetra com dificuldade, limitando a produção primária. O modelo permite ainda confirmar que é possível distinguir no estuário do Tejo zonas com diferentes “funções” (i) as zonas de baixa profundidade, com tempo de residência elevado e com maior disponibilidade de luz por unidade de volume são zonas com produtividade mais elevada e simultaneamente são zonas com condições preferenciais de deposição de materiais finos e por isso zonas de mineralização intensa da matéria orgânica e (ii) zonas mais profundas, com hidrodinâmica intensa, tempo de residência baixo ou seja zonas essencialmente de transporte.

## 3 Modelação das Bacias Hidrográficas do Rio Trancão e do Rio do Cuco

### 3.1 Introdução

A qualidade da água numa bacia hidrográfica depende do regime hidrológico e das actividades desenvolvidas na bacia. O estudo aqui apresentado teve como objectivo identificar os factores que determinam a qualidade da água nas bacias hidrográficas dos rios Trancão e Cuco quantificando a importância das fontes pontuais – normalmente urbanas - e das fontes difusas, normalmente de origem agrícola. O trabalho inclui o levantamento das fontes de poluição e uma componente de modelação matemática para (1) simulação do ciclo hidrológico, (2) quantificação das fontes de origem difusa e (3) simulação da contaminação microbiológica nas linhas de água.

A modelação matemática das bacias hidrográficas usa tecnologia e conhecimento desenvolvidos em três projectos comunitários: EcoRiver ([www.iambiente.pt/ecoriver/pt/projecto.html](http://www.iambiente.pt/ecoriver/pt/projecto.html)), TempQsim ([www.tempqsim.net](http://www.tempqsim.net)) e ICREW ([www.icrew.info](http://www.icrew.info)) no âmbito dos quais foi desenvolvido o modelo MOHID Land para a simulação do escoamento em bacias hidrográficas, incluindo redes fluviais e águas subterrâneas. O projecto EcoRiver foi concluído em Setembro de 2005 e tinha como objectivo o estudo da toxicidade na bacia hidrográfica do Rio Trancão. O Projecto TempQsim tinha como objectivo o estudo dos processos que determinam a qualidade da água em rios temporários, sendo local de estudo em Portugal o Rio Degebe (afluente do Guadiana, no Alqueva) e ficou concluído em Abril de 2006. O projecto ICREW também terminou em Abril de 2006 e tinha como objectivo o melhoramento de águas de recreio e de banho e teve como local de estudo em Portugal a barragem de Montargil e a bacia de drenagem respectiva.

No âmbito do projecto de Modelação dos Meios Receptores da SIMTEJO foi usado o modelo MOHID Land para simular o transporte de contaminantes fecais nas linhas de água e os processos hidrológicos nas bacias do Trancão e do Cuco e foi usado o modelo SWAT<sup>4</sup> para simular a geração e exportação de nutrientes de origem agrícola.

---

<sup>4</sup> SWAT – Soil Water Assessment Tool, ([www.brc.tamus.edu/swat/](http://www.brc.tamus.edu/swat/)) modelo desenvolvido pelo *United States Department of Agriculture* para simular o impacto das práticas agrícolas na qualidade da água de uma bacia.

### 3.2 Metodologia para a Modelação de Bacias Hidrográficas

Desde 2004 a equipa do IMAR vem desenvolvendo um modelo integrado para a simulação dos processos que ocorrem em bacias hidrográficas, nomeadamente os processos hidrológicos e os processos biogeoquímicos. Este modelo – MOHID Land – está integrado no sistema de modelos MOHID e beneficia do conhecimento acumulado naquele sistema de modelos ao longo de duas décadas de desenvolvimento.

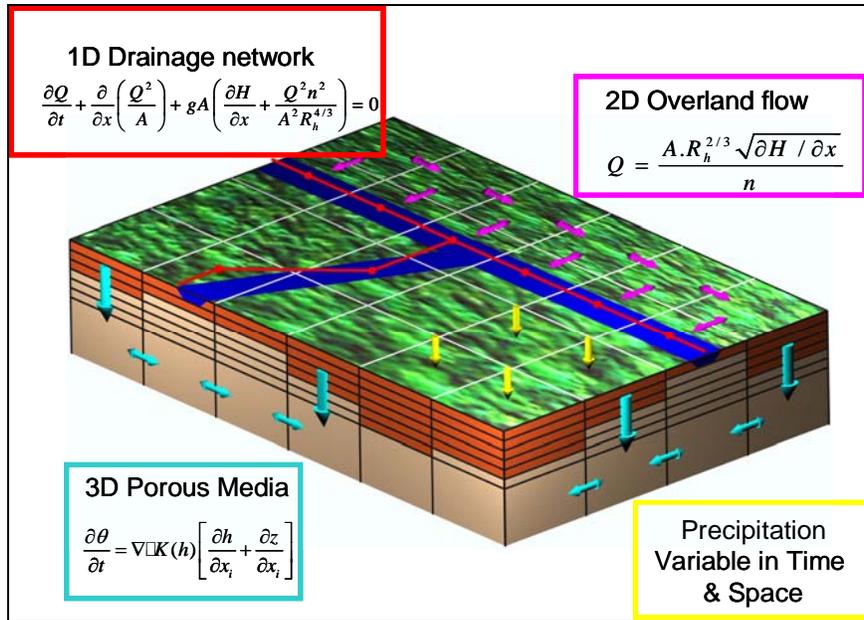


Figura 15. Processos hidrológicos resolvidos pelo modelo MOHID Land.

O modelo MOHID Land simula de forma integrada (i) o escoamento superficial (*Overland Flow*); (ii) o escoamento nos canais que constituem a rede de drenagem (*Drainage Network*); (iii) o escoamento na zona não saturada do solo (camadas acima do nível freático) e (iv) o escoamento na zona saturada do solo (aquífero). Estes escoamentos são interdependentes e a sua simulação integrada elimina a necessidade de hipóteses sobre as transferências entre aqueles domínios. A Figura 15 representada esquematicamente os processos hidrológicos resolvidos pelo modelo MOHID Land. A interacção entre os diferentes processos (e.g. troca de água entre o aquífero e da rede de drenagem) é calculada dinamicamente pelo modelo, tendo por base gradientes hidráulicos.

A simulação detalhada dos processos hidrológicos é fundamental para estudar a qualidade da água na rede de drenagem, nomeadamente os processos de contaminação fecal (e.g. simulação de bactérias coliformes) e processos biogeoquímicos (e.g. ciclo de azoto / fósforo e carbono).

Este modelo, após calibração e validação pode ser usado para estudar problemas à escala local (e.g. o impacte de uma fonte específica sobre uma linha de água), mas também para apoiar decisões à escala da bacia, e.g.:

- Importância relativa das fontes pontuais e das fontes difusas para a qualidade da água nos rios/albufeiras em função da pluviosidade,
- Impacte das práticas agrícolas sobre a qualidade das águas superficiais,
- Impacte da descarga de uma bacia sobre o meio receptor.

No âmbito deste projecto o modelo MOHID Land foi implementado nas bacias hidrográficas do Trancão e do Cuco para simular os processos hidrológicos e o transporte de contaminantes fecais nas linhas de água.

Para o estudo de transporte de nutrientes foi utilizado o modelo SWAT, visto que o modelo MOHID Land ainda não é capaz de simular todos os processos relevantes para o ciclo dos nutrientes, como é o caso de: (i) transporte de propriedades no solo, (ii) erosão associada ao *runoff* superficial e (iii) transformações bio geoquímicas no solo associadas à vegetação (e.g. consumo de nutrientes das plantas, mineralização da matéria orgânica).

Neste capítulo descrevem-se as diferentes tarefas realizadas, no âmbito deste projecto, para a implementação e calibração dos dois modelos acima referidos, em cada uma das bacias.

### 3.3 Informação de Base

Os modelos de bacias hidrográficas necessitam um conjunto de informação de base que pode ser dividida em duas partes: (i) a informação que descreve as propriedades da bacia e a meteorologia e (ii) a informação sobre as propriedades da água. O primeiro conjunto de dados é utilizado para implementar o modelo e o segundo para o calibrar e validar.

Descrevem-se de seguida os dados utilizados na bacia hidrográfica do Trancão, as fontes de onde provêm e eventuais hipóteses consideradas na sua utilização. Para a bacia hidrográfica do Rio Cuco há poucos dados de base disponíveis e por isso foram utilizados os mesmos dados de base/hipóteses utilizados no Trancão.

O objectivo do projecto é simular o ano de 2006. No entanto, por não existirem dados de base que permitam especificar as condições iniciais para aquele ano, foi decidido iniciar a simulação em Outubro de 2002. Deste modo o aquífero teve cerca de 3 anos para atingir uma condição de equilíbrio com as condições meteorológicas. Para este período estão disponíveis dados detalhados das estações automáticas do INAG e (ii) das campanhas de monitorização da SIMTEJO.

### 3.3.1 Modelo digital do terreno

A partir do modelo digital do terreno é obtida uma série de dados necessários para os modelos de bacias hidrográficas: (i) delimitação das bacias hidrográficas, (ii) linhas de água e (iii) declives do terreno. O modelo digital de terreno com maior precisão para Portugal é fornecido pelos Serviços Cartográficos do Exército (resolução de 8 metros). Outro modelo digital do terreno é fornecido, de forma gratuita, pela NASA (resolução de cerca de 70 metros). Tendo em conta que a resolução espacial de cálculo utilizado neste projecto é de 200m, foi utilizado o modelo digital da NASA.

Os parâmetros derivados do modelo digital do terreno são normalmente calculados usando Sistemas de Informação Geográfica. No âmbito do presente trabalho foi utilizado o MOHID GIS para gerar os dados para o MOHID Land e o ArcView para gerar os dados para o SWAT.

Uma bacia hidrográfica define-se como o espaço (conjunto de pontos no modelo digital de terreno) que drena para a secção que define a bacia hidrográfica. Se a secção usada for a foz do Rio Trancão em Sacavém e a foz do Rio Cuco na praia da Ribeira de Ilhas o resultado é toda a bacia de drenagem. A Figura 16 mostra o modelo digital do terreno na área da bacia hidrográfica do Rio Trancão e a delimitação da bacia hidrográfica considerando como secção de saída a foz do Rio Trancão em Sacavém. As cores representam a elevação do terreno acima do nível médio do mar e a linha preta representa o limite da bacia hidrográfica. A cota do terreno na bacia varia entre 0m e 421m e a área drenada da bacia hidrográfica é de 293 km<sup>2</sup>.

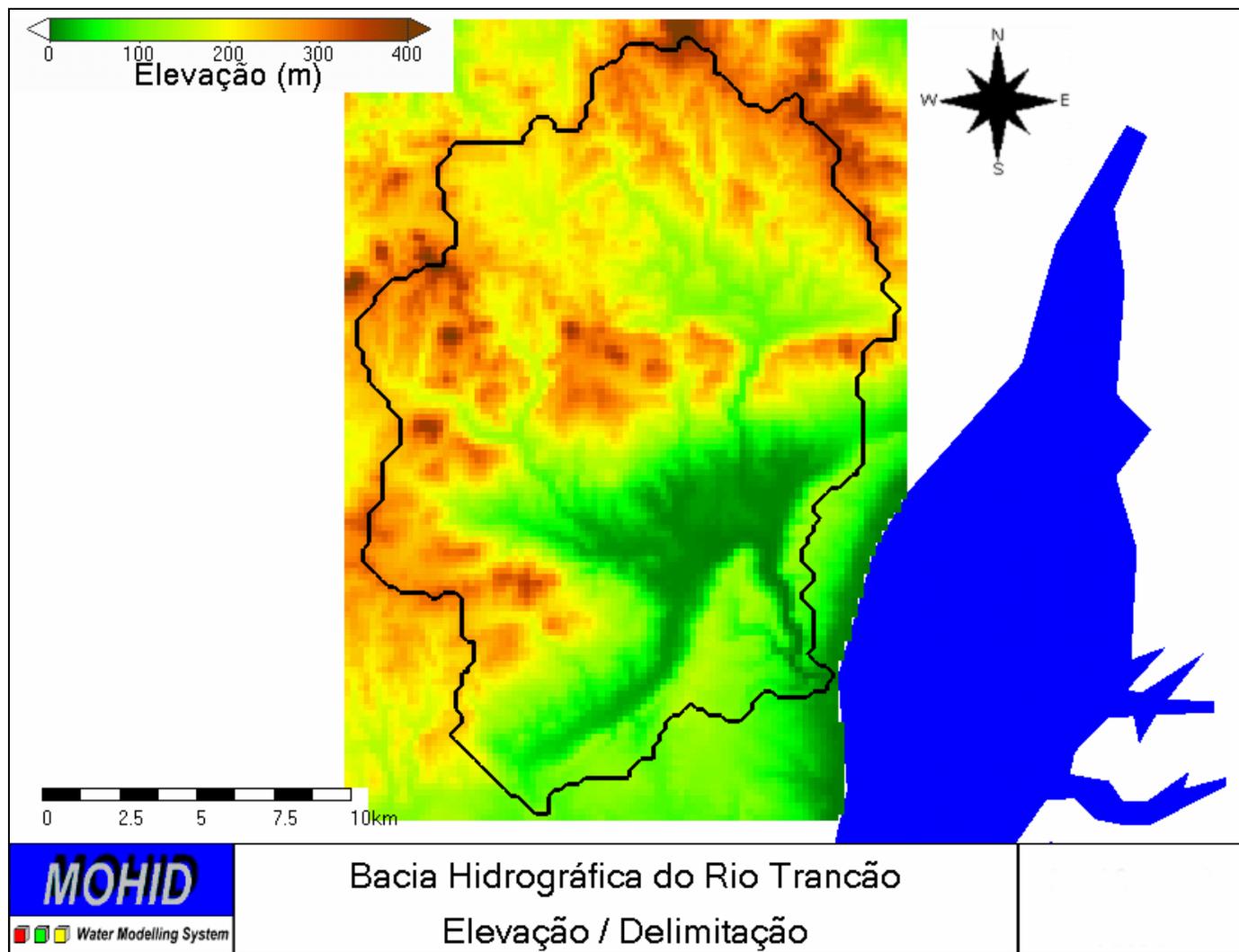


Figura 16. Modelo digital do terreno da bacia hidrográfica do Rio Trancão.

Outra informação que deriva do modelo digital do terreno é a localização das linhas de água. Tendo por base o modelo digital de terreno da Figura 16, um sistema de informação geográfica somente necessita a de um parâmetro indicando qual a área de drenagem mínima para que se forme uma linha de água. No caso do presente estudo foi considerado um valor de 10ha, o que resulta no aparecimento das linhas de água nas zonas onde elas também começam ser desenhadas nas cartas militares de 1:25000.

A obtenção das linhas de água a partir dos modelos digitais do terreno recorrendo a sistemas de informação geográficas falha nas zonas em que os curso de água são fortemente modificados pela intervenção humana ou em zonas em que o terreno se apresenta muito plano, e pequenos erros na elevação podem originar grandes diferenças na localização esperada para as linhas de água. No caso da bacia hidrográfica do Rio Trancão isto verifica-se na zona entre Frielas (Sudoeste da bacia), Santo Antão do Tojal (a Norte) e Loures (a Oeste). Na zona da várzea de Loures as linhas de água são limitadas por diques, criados na obra de rega da Associação de Beneficiários de Loures. O modelo digital do terreno foi corrigido nessas zonas para garantir que o modelo gera as linhas de água correctas.

A Figura 17 mostra as linhas de água na bacia hidrográfica do Rio Trancão obtidas usando as condições acima descritas. As cores representam, tal como na Figura 16 o modelo digital do terreno e em azul são representadas as linhas de água. A espessura da linha aumenta de montante para jusante.

A Figura 18 mostra as mesmas linhas de água perto da foz do Rio Trancão sobre a carta militar. A figura mostra que existe boa concordância entre as linhas geradas e as da carta, especialmente se tivermos em atenção que a malha computacional do modelo de bacia é de 200 metros.

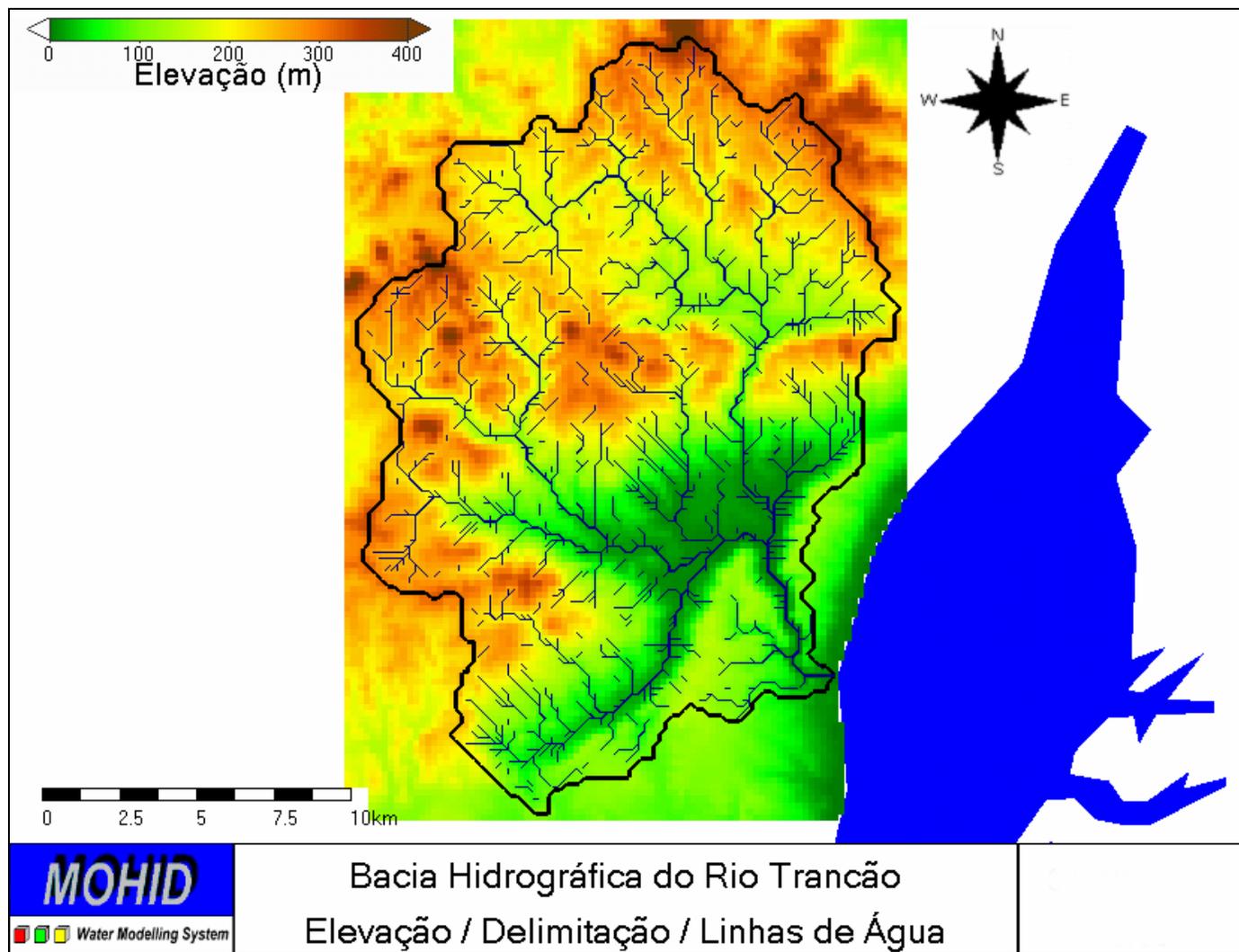


Figura 17. Linhas de água na bacia hidrográfica do Rio Trancão.

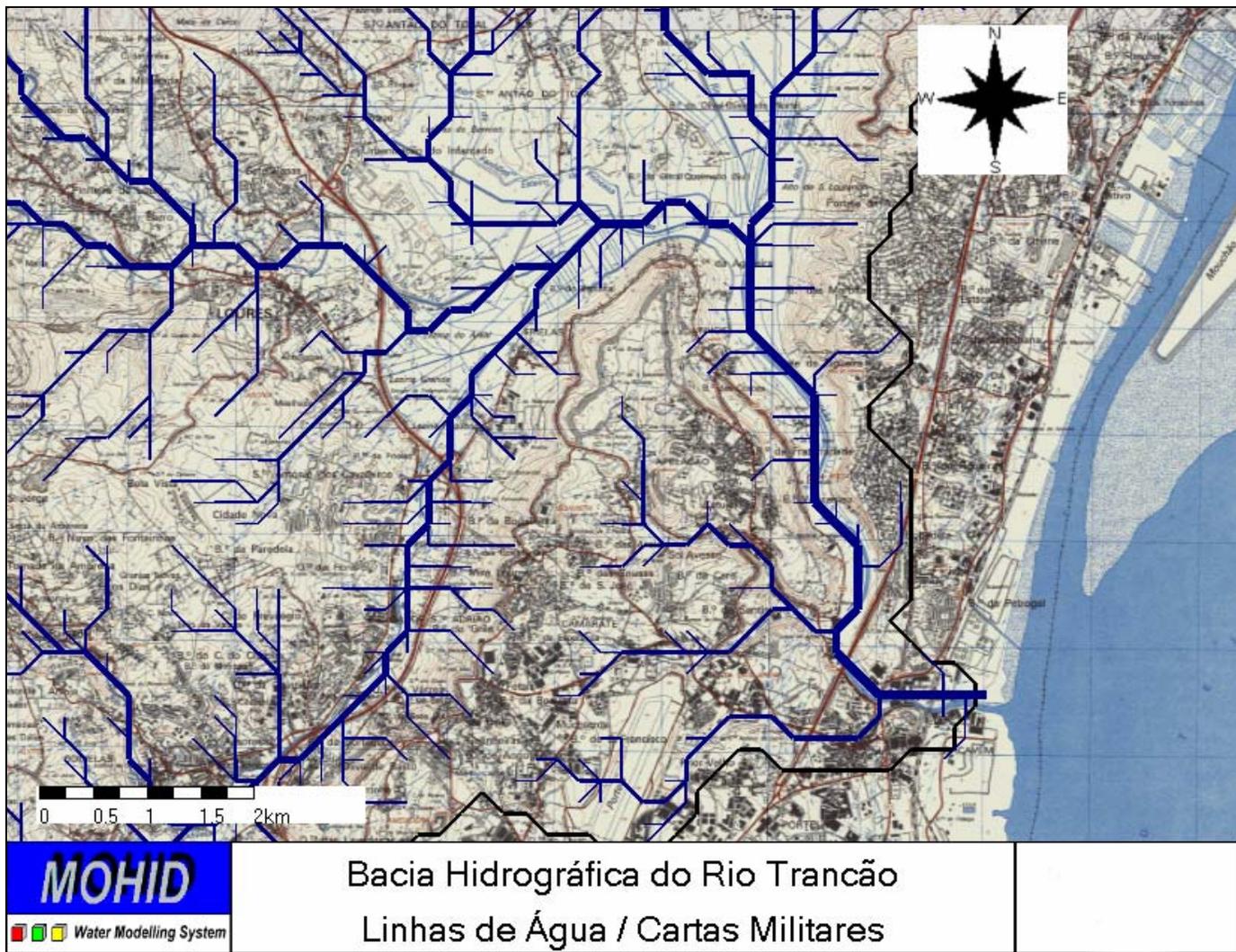


Figura 18. Linhas de água próximo da foz do Rio Trancão desenhadas sobre a carta militar.

O declive do terreno é outra informação que é derivada do modelo digital de terreno e que é directamente utilizado pelos modelos de bacia hidrográfica para estimar o caudal do *runoff* superficial. Terrenos mais inclinados geram *runoff* superficial maior e têm tempos de concentração menores.

Para a aplicação do MOHID Land o declive do terreno foi ainda utilizado para estimar a espessura do solo, por não ter sido encontrada nenhuma fonte que publicasse esta informação. Assumiu-se que o solo é mais espesso em zonas de declive baixo e mais fino em zonas de declive elevado, devido aos processos naturais de erosão.

A Figura 19 mostra o declive do terreno na bacia hidrográfica do Rio Trancão. As cores representam o declive (m/m) e a linha preta a delimitação da bacia hidrográfica. No mapa é claramente identificável a zona de baixo declive na zona entre Frielas (a Sul da bacia), Santo Antão do Tojal (a Norte) e Loures (a Oeste). O vale a jusante de Bucelas e a zona na envolvente de Lousa são facilmente identificáveis como as zonas de declives mais acentuados.

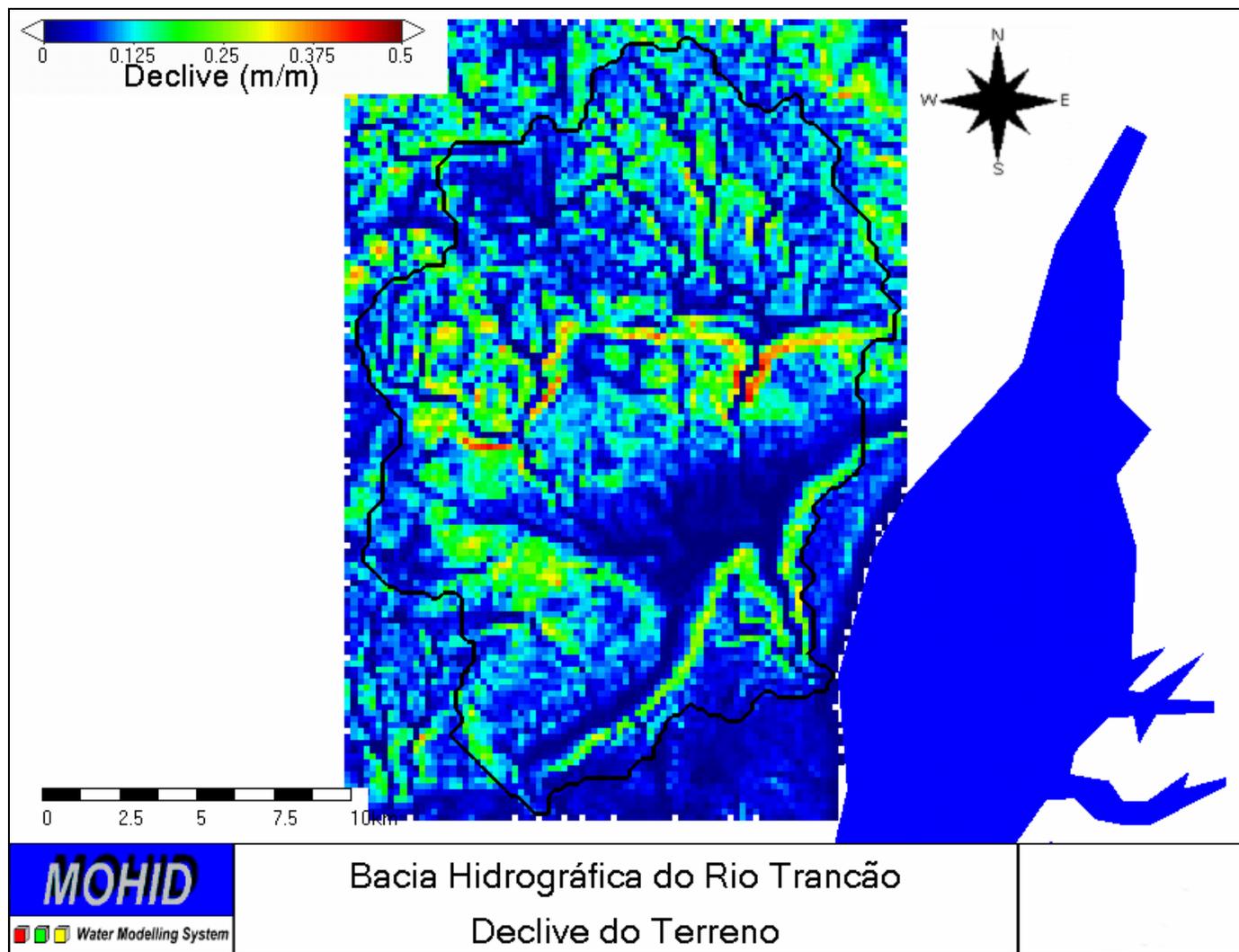


Figura 19: Declive do terreno na bacia hidrográfica do Rio Trancão.

### 3.3.2 Uso do solo

Para um modelo hidrológico o uso do solo é fundamental em três processos: (i) no processo da retenção da chuva pelas folhas, (ii) no processo da infiltração para caracterização da permeabilidade e (iii) durante o *runoff* superficial para calcular a resistência ao escoamento.

A parametrização destes três processos é feita em função do uso do solo e de valores encontrados na bibliografia. Os dados do uso de solo são extraídos da carta *Corine Land Cover* do ano 2000 tendo sido utilizados de forma a identificar três tipos distintos de uso do solo: (i) áreas urbanas, (ii) áreas agrícolas e (iii) zonas florestais. A Figura 20 mostra a classificação do uso de solo adoptada e a Tabela 1 mostra os valores adoptados para a parametrização do modelo hidrológico.

**Tabela 1. Parâmetros utilizados referentes ao uso do solo**

Parâmetro	Urbano	Agricultura	Floresta
% Área Impermeável [-]	50%	0%	0%
Leaf Area Index [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	1.2	1-4	5.0
Specific Leaf Storage [mm]	0,6	0,1-0,6	0,1
Coeficiente “Manning” [-]	0,01	0,4	0,8
Coeficiente Evapotranspiração [-]	1,0	0,3-1,15	1,0
Parâmetros de Feddes “h1” [m]	-0,1	0,0	-0,1
Parâmetros de Feddes “h2” [m]	-0,25	-0,01	-0,25
Parâmetros de Feddes “h3” [m]	-5,0	-7,0	-6,0
Parâmetros de Feddes “h4” [m]	-30,0	-30,0	-30,0
Profundidade das Raízes [m]	0,5	0,2-0,4	1,0

A percentagem da área impermeável indica ao modelo a área indisponível para a infiltração em cada célula de 200x200 m<sup>2</sup>. Em zonas urbanas, completamente pavimentadas, este valor poderia teoricamente chegar aos 100% mas tendo em conta a existência de parques, áreas verdes, etc. considerou-se este valor não ultrapassa os 50% em zonas urbanas.

A *Leaf Area Index* é um parâmetro que quantifica a área de folhas por metro quadrado de solo e em conjunto com a *Specific Leaf Storage* indica a quantidade de chuva que é intersectada pelas folhas antes de atingir o solo. Neste estudo foram considerados os valores adoptados por Valente *et al.* (1995) e van Dijk & Bruijnzeel (2001).

O coeficiente de “Manning” é um parâmetro que indica a resistência ao escoamento superficial. Os valores apresentados na Tabela 5 foram obtidos da bibliografia (e.g. Panday & Huyakorn, 2004, Beeson *et al.*, 2001).

Todos os restantes coeficientes/parâmetros apresentados na Tabela 1 são relacionados com a evapotranspiração e resulta igualmente de pesquisa bibliográfica (e.g. Feddes *et al.*, 2001).

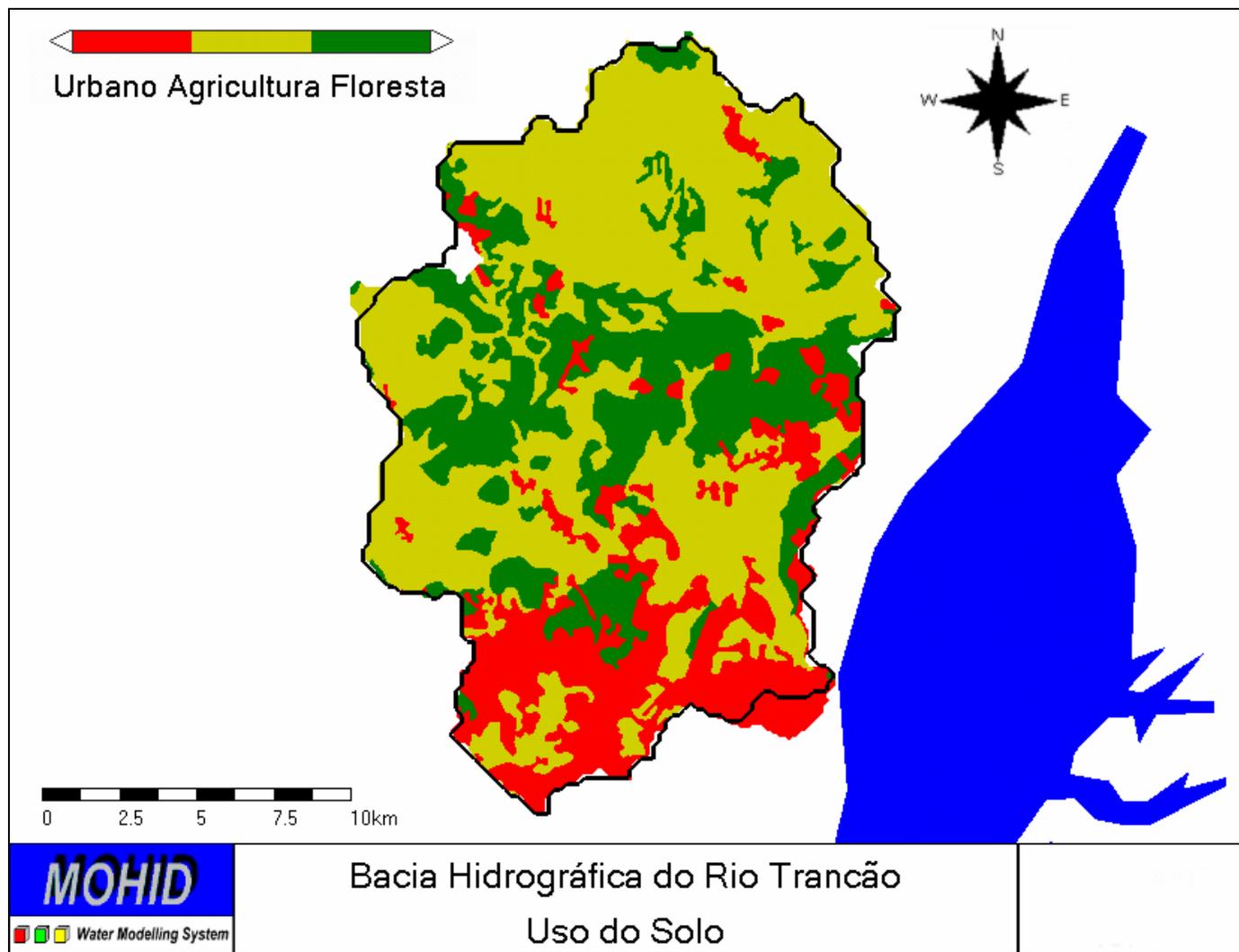


Figura 20. Uso de solo na bacia hidrográfica do Rio Trancão *Corine Land Cover* (2000).

### 3.3.3 Propriedades hidráulicas do solo

As propriedades hidráulicas (e.g. porosidade, condutividade em saturado) do solo são necessárias para calcular o fluxo da água na zona saturada, na zona não-saturada e ainda o fluxo de infiltração. Estas propriedades têm que ser dadas na horizontal e em profundidade porque o modelo é tridimensional.

Para a bacia hidrográfica do Rio Trancão (à semelhança de muitas outras) não existem cartas das propriedades hidráulicas dos solos e muito menos informação detalhada em profundidade. Porém existem cartas que classificam o tipo de solo e, usando funções de pedotransferência, é possível obter, a partir do tipo do solo, as propriedades hidráulicas.

No âmbito do presente projecto foi utilizada a carta dos solos publicada pela Comissão Europeia (Gonçalves *et al.*, 2005) e funções de pedotransferência encontradas na bibliografia (van Genuchten, 1980). As propriedades do solo foram admitidas uniformes em profundidade, considerando-se no entanto a profundidade do solo variável espacialmente em função do declive do terreno, variando entre 0.5m nas zonas com declive mais acentuado até 30m nas zonas com menor declive. Esta aproximação não é documentada na bibliografia, tendo sido obtida a através da experiência com o modelo MOHID. A Figura 21 mostra os tipos de solo existentes na bacia hidrográfica do Rio Trancão e a Tabela 2 as principais propriedades hidráulicas em função do tipo do solo.

**Tabela 2. Propriedades hidráulicas seleccionadas em função do tipo do solo**

Caracterização		<i>Coarse/Medium</i>	<i>Medium/Fine</i>	<i>Fine/Very Fine</i>
Porosidade [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]		0,3859	0,4323	0,4903
Condutividade hidráulica máxima	[m/s]	3,555e-6	7,095e-7	1,956e-6
	[cm/d]	30,7	6,1	16,9
Parâmetro “alfa”		2,75	1,37	2,14
Parâmetro “n”		1,390	1,391	1,193

A porosidade do solo indica a fracção de espaços vazios por unidade de volume do solo. Estes espaços são completamente preenchidos por água quando o solo está saturado<sup>5</sup>. À medida que o solo vai secando estes espaços vão sendo preenchidos por ar.

A condutividade mede a facilidade com que a água se escoia no meio poroso. Aumenta com a porosidade pois é através dos poros cheios que a água circula e para cada solo a condutividade é máxima quando este está saturado pois é nessa altura que todos os poros são utilizados. As dimensões são de espaço por unidade de tempo, sendo tradicionalmente apresentada em cm/dia<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Um m<sup>3</sup> de solo com uma porosidade de 0,3859 contém 0,3859m<sup>3</sup> de água quando está saturado.

<sup>6</sup> As normas actuais recomendam que se apresente em unidades SI (m/s). Por essa razão na Tabela 2 apresentamos nas duas unidades.

A outra característica que determina a dinâmica da água do solo é a chamada curva de pF que relaciona a sucção com o teor de água. No modelo MOHID Land é usada a formulação de van Genuchten (van Genuchten, 1980) que ajusta uma função à curva de pF cujos parâmetros são o “alfa” e “n”, para os quais foram usados os valores indicados na Tabela 2.

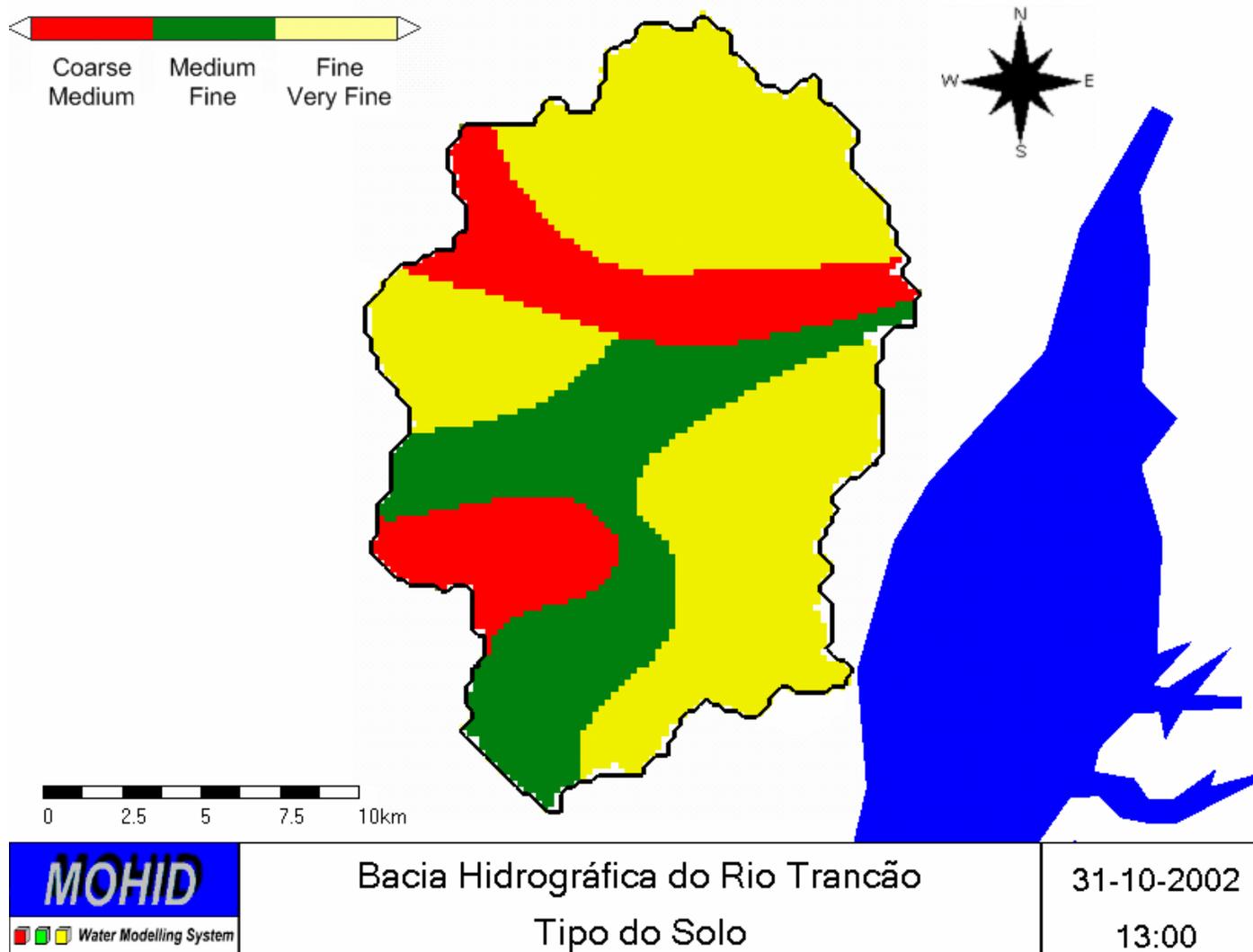


Figura 21. Tipos de solos na bacia hidrográfica do Rio Trancão (Comissão Europeia).

### 3.3.4 Meteorologia

A atmosfera é o agente forçador do escoamento na bacia, quer através da precipitação, quer através da evapotranspiração, a qual depende do coberto vegetal, da temperatura, da velocidade do vento, da humidade e da cobertura nebulosa. Toda esta informação é medida pelo INAG numa série de estações na zona em estudo e é disponibilizada através da Internet através do SNIRH. Tendo em conta que o modelo necessita desta informação em todos os pontos de cálculo, estes dados têm de ser interpolados no tempo e no espaço (interpolação espaço-temporal).

Devido ao elevado custo computacional da interpolação espaço-temporal optou-se por aplicar apenas este tipo de interpolação no cálculo da precipitação (parâmetro que requer maior precisão), recorrendo ao método da distância inversa para interpolação espacial e interpolação linear para a interpolação temporal. Os outros dados meteorológicos (radiação, velocidade do vento, etc.) foram considerados constantes no espaço e interpolados somente no tempo.

Os dados utilizados para forçar o modelo foram extraídos do *site* da Internet do INAG (SNIRH). Foram utilizados no total dados de 10 estações meteorológicas automáticas: Arranhó, Cacém, Calhandriz, Caneças, Lisboa, Lousa, Milharado, Sobral da Abelheira, Sobral de Monte Agraço e São Julião do Tojal. A Figura 22 mostra a localização e o código destas estações e a Tabela 3 as suas características.

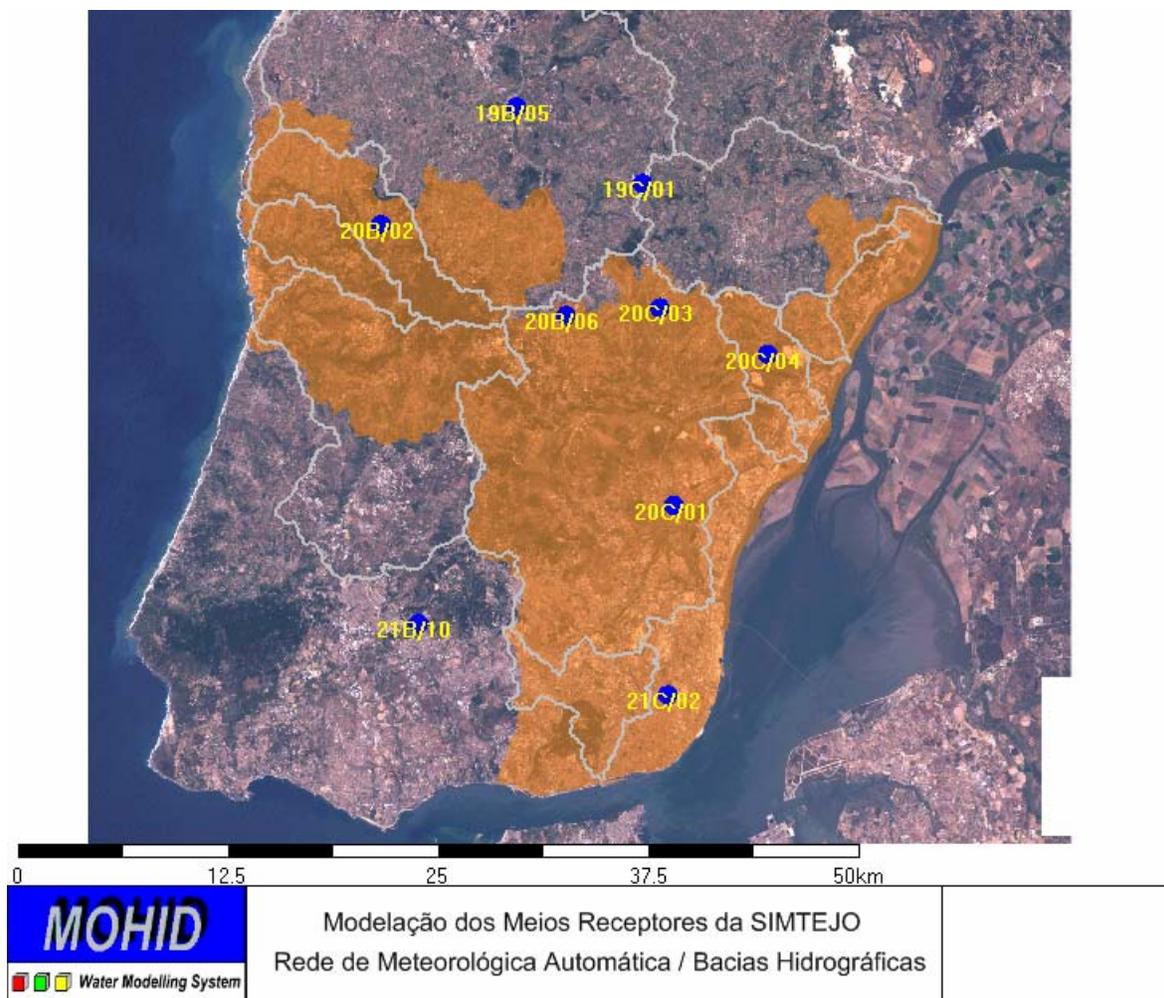


Figura 22. Estações automáticas de amostragem do INAG nas zonas de atendimento da SIMTEJO.

Tabela 3. Características das Estações Meteorológicas

ID	Nome	Latitude	Longitude	X	Y	Altitude	Início
20C/03G	Arranho	38.952	-9.137	112953	220951	204	11-08-2004
21B/10G	Cacém	38.778	-9.302	98416	201764	173	16-01-2002
20C/04UG	Calhandriz	38.929	-9.065	119174	218371	138	09-11-2001
21B/11UG	Caneças	38.823	-9.223	105321	206775	277	03-11-2004
21C/02G	Lisboa	38.747	-9.130	113357	198187	52	13-01-2005
20B/03CG	Lousa	38.888	-9.207	106852	213882	157	13-10-2005
20B/06UG	Milharado	38.950	-9.202	107301	220778	195	09-11-2001
20B/02UG	Sobral da Abelheira	38.998	-9.329	96364	226305	120	01-08-2004
19C/01UG	Sobral de M. Agraço	39.021	-9.151	111813	228597	265	14-09-2001
20C/01C	São Julião do Tojal	38.843	-9.123	114090	208796	6	28-11-2001

Os valores da precipitação foram interpolados temporalmente para valores horários e espacialmente para a malha computacional utilizando o método do *Inverse Weighted Distance*. A partir desse dados foi imposto a precipitação ao modelo considerando uma distribuição aleatória da chuva em que cada evento tinha uma duração média de 15min. A Figura 23 mostra a temperatura imposta ao modelo durante os 4 anos de simulação e a Figura 24 a precipitação na estação do Ponte Pinhal. De notar que se apresenta a

precipitação com o eixo invertido – comum na hidrologia – pois permite ter a noção da quantidade de chuva “que vem de cima”.

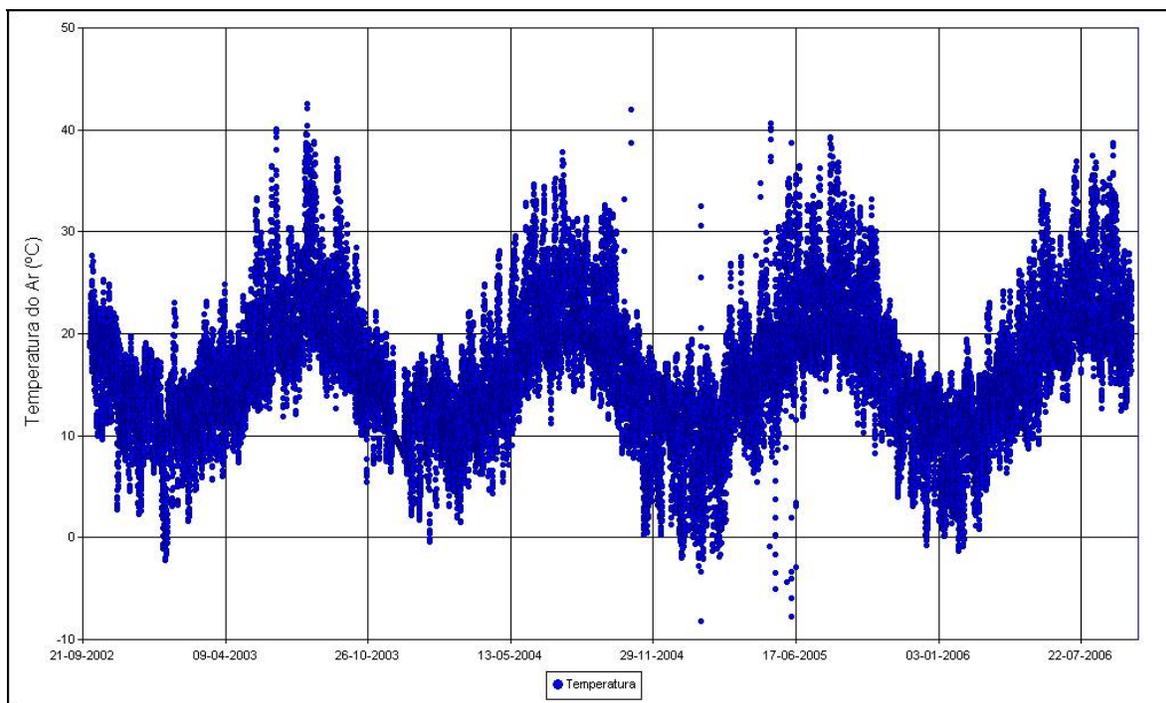


Figura 23. Temperatura do ar imposto ao modelo.

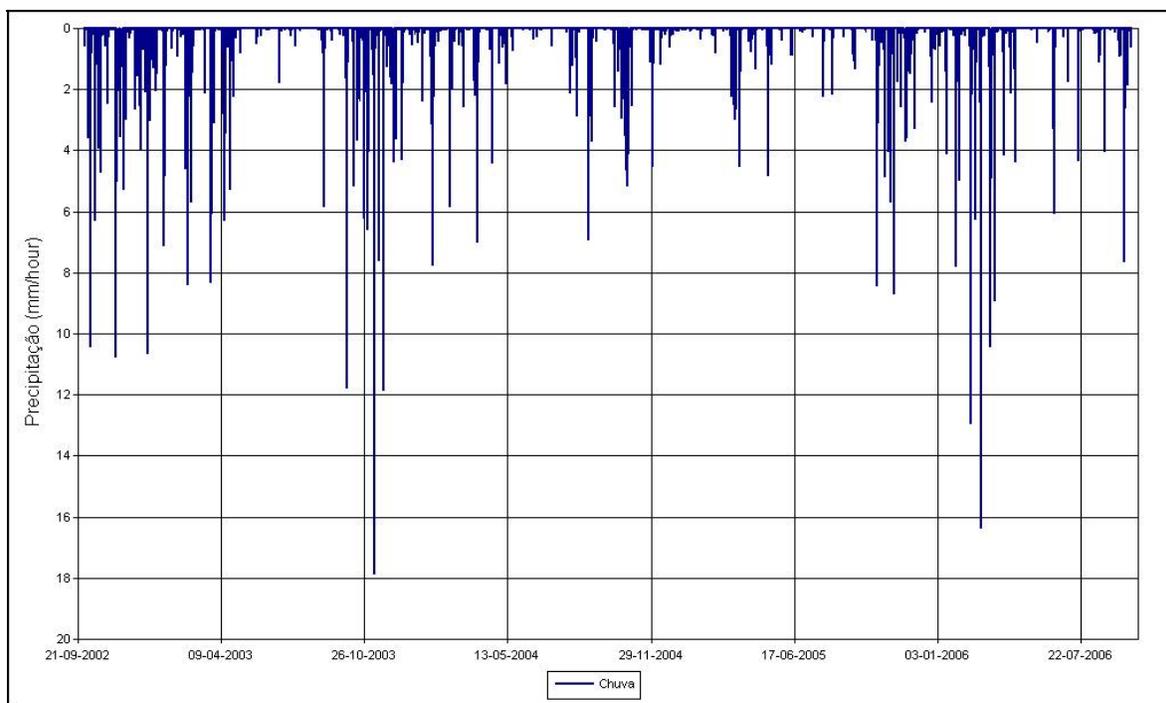


Figura 24. Precipitação imposta ao modelo (Ponte Pinhal).

### 3.3.5 Descargas de água

As simulações feitas com o modelo MOHID Land considerarem três diferentes cenários para a origem da água: (i) forçamento somente com os dados meteorológicas (chuva), (ii) forçamento com dados meteorológicos e ETAR da SIMTEJO e (iii) forçamento com dados meteorológicos, ETAR da SIMTEJO e descargas distribuídas (difusas) em função de densidade populacional.

Para simular as descargas das ETAR foram utilizados os caudais fornecidos pela SIMTEJO, preenchendo valores omissos com dados do mesmo período de anos posteriores. Para simular as descargas difusas foram utilizadas as densidades populacionais das freguesias do censo de 2001, publicados pelo INE.

A Figura 25 mostra os caudais descarregados pelas ETAR da SIMTEJO (Tabela 4) nas linhas de água da bacia hidrográfica do Trancão pondo em evidência que a ETAR de Frielas é responsável por mais de 95% das descargas pontuais de caudal.

A Tabela 4 mostra os valores das concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes descarregados das ETAR durante as simulações. Os valores foram obtidos por interpolação logarítmica a partir dos dados fornecidos pela SIMTEJO (período entre Setembro de 2004 e Abril de 2006).

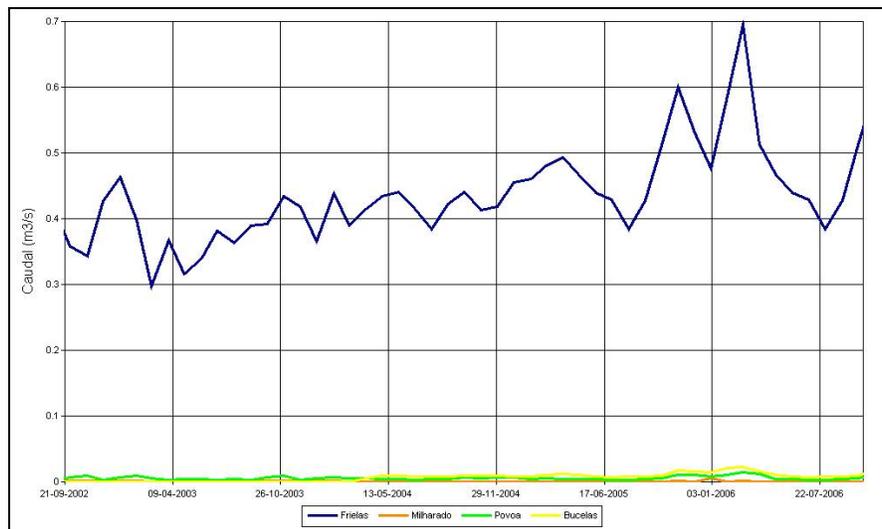


Figura 25. Descarga das ETAR da SIMTEJO durante o período de simulação.

Tabela 4. Concentrações de Bactérias Coliformes Termotolerantes.

ETAR	Concentração de Bactérias Coliformes Termotolerantes (100un/ml)
Frielas	1.3e4
Milharado	4.0e4
Povoia da Galega	6.0e5
Bucelas	5.8e4

A Figura 26 mostra a densidade habitacional das freguesias na área da bacia hidrográfica do Rio Trancão, onde se pode observar o gradiente Norte – Sul da densidade, com um aumento da densidade à medida que nos aproximamos de Lisboa. De notar que as freguesias de Póvoa de Santo Adrião e Alfarelos ultrapassam os 20.000 habitantes por km<sup>2</sup>.

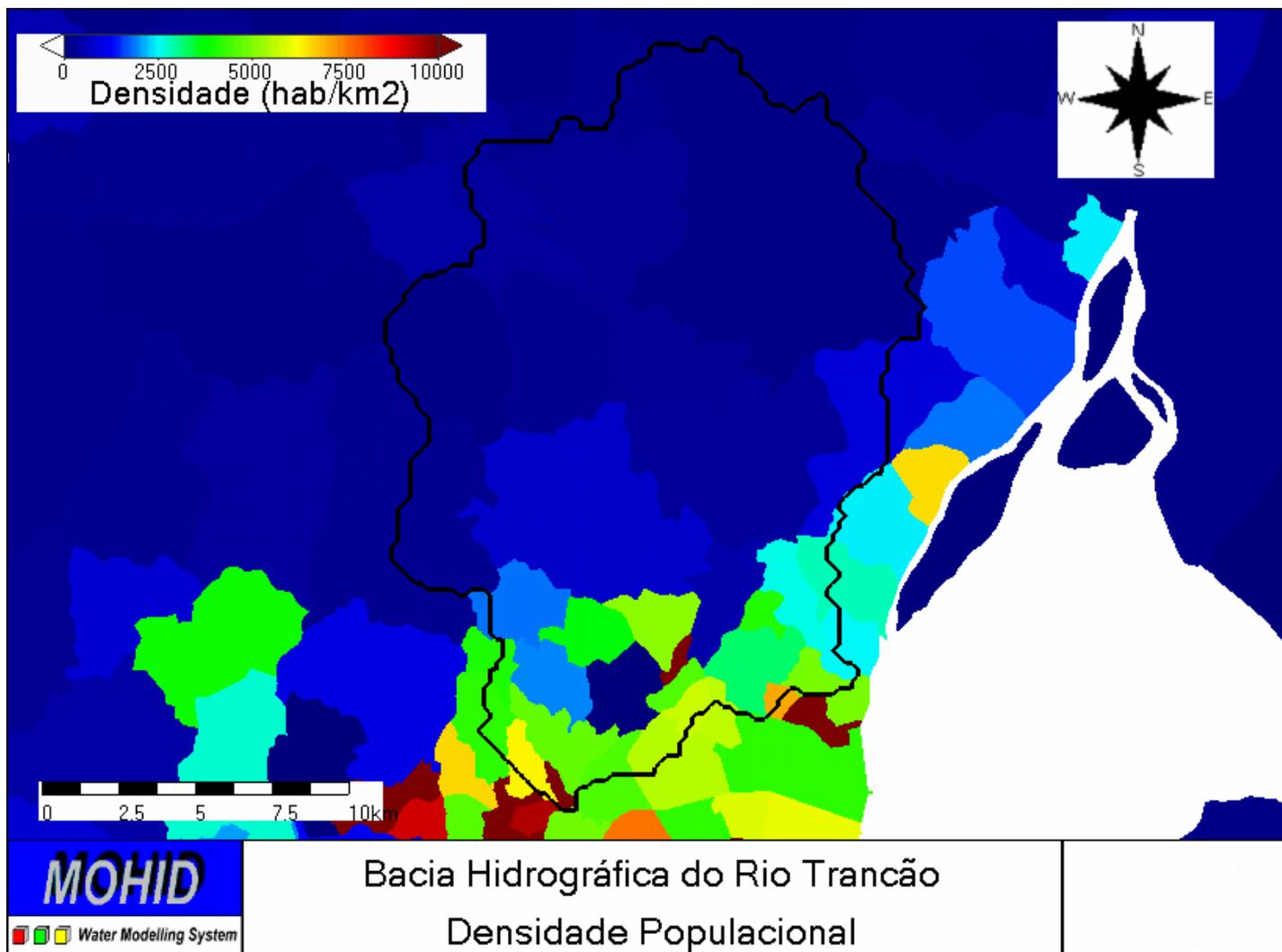


Figura 26. Densidade populacional das freguesias na área da bacia hidrográfica do Trancão (INE, censo de 2001).

### 3.3.6 Dados de Escoamento

Para calibrar e validar o modelo hidrológico são necessárias séries temporais de caudais, de preferência em diferentes sub-bacias. Níveis piezométricos podem ser utilizados para calibrar/validar o modelo de escoamento sub-superficial. Na bacia hidrográfica do Rio Trancão o INAG tem duas estações hidrométricas automáticas e uma estação piezométrica. Para as duas estações hidrométricas não existem curvas de vazão, razão pela qual se efectuou algum trabalho de campo.

A Figura 28 mostra a localização dos pontos onde existe informação sobre o escoamento e a Tabela 5 caracteriza o tipo de informação existente.

**Tabela 5. Informação sobre Escoamento**

Ponto	Descrição
Ponte Pinhal	Estação hidrométrica automática (não existe curva de vazão)
Ponte Resinga	Estação hidrométrica (fora de funcionamento) Medição de caudal no âmbito deste projecto
Rib. Loures (TRA04)	Medição de caudal no âmbito deste projecto
Ponte Canas	Estação hidrométrica (fora de funcionamento)
Ponte Zambujal	Estação hidrométrica automática (não existe curva de vazão)
TRA07	Medição de caudal no âmbito deste projecto
430/164	Ponto de medição do nível freático (mensal)

A medição do caudal no âmbito deste projecto foi levada a cabo com o equipamento do IMAR representado na Figura 27, constituído por um perfilador de correntes e uma ecossonda de medição de profundidade que permite, por integração o cálculo do caudal. O objectivo deste levantamento foi a construção de curva de vazão nos pontos das estações hidrométricas automáticas do INAG. No entanto, os dados obtidos durante as campanhas ainda são insuficientes para a construção dessas curvas (não ocorreram durante este período caudais elevados) Para melhorar os resultados da modelação matemática, as curvas de vazão deviam existir em todos os pontos onde existam estações hidrométricas automáticas.



**Figura 27. Medição de Caudal com o Equipamento do IMAR.**

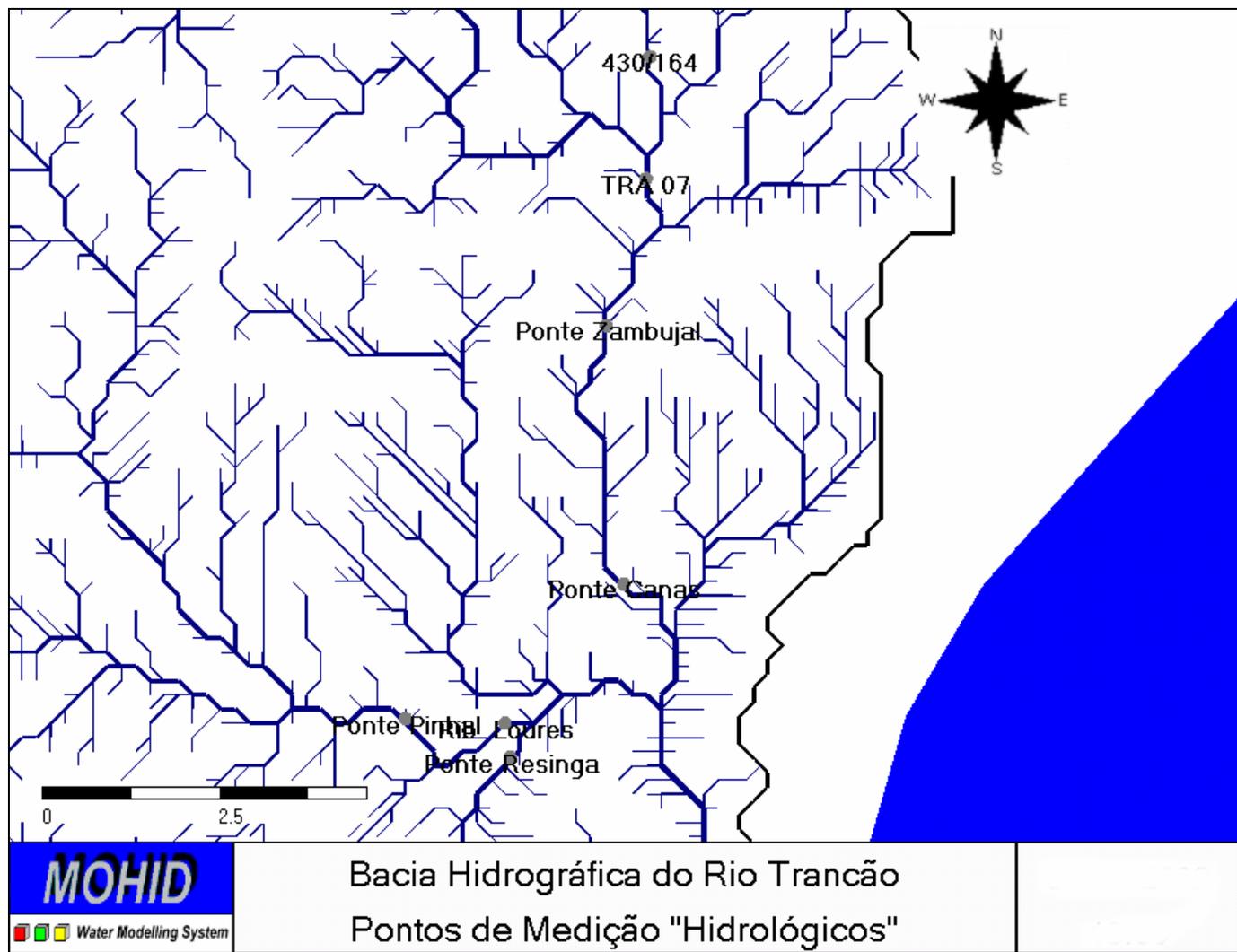


Figura 28. Pontos com informação sobre o escoamento (INAG).

### 3.3.7 Dados de qualidade da água

Para comparar os resultados do modelo da qualidade da água com dados de campo, foram utilizados os dados medidos em programas de monitorização da SIMTEJO. A Figura 29 mostra a localização das estações de medição.

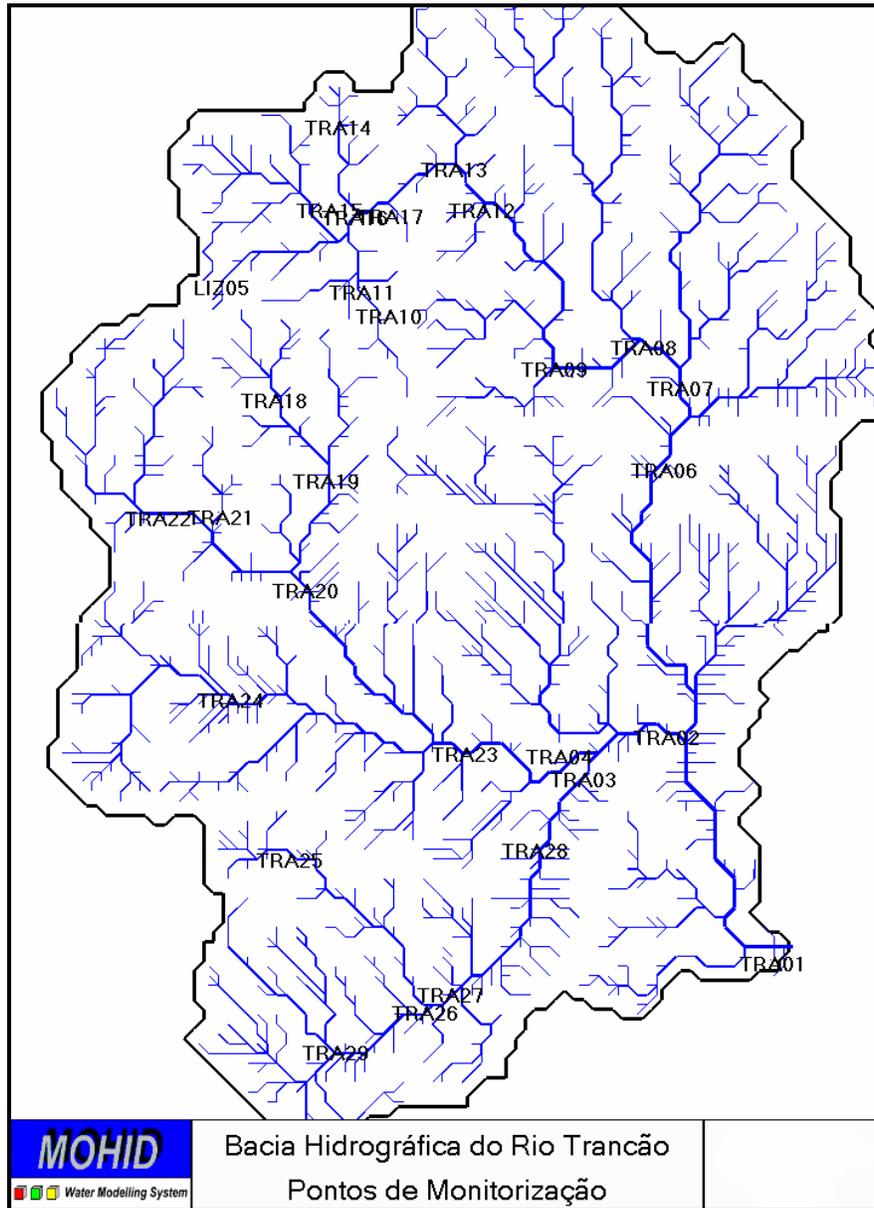


Figura 29. Pontos com informação sobre qualidade da água (Estações de Monitorização do programa de monitorização da SIMTEJO).

## **3.4 Calibração e Validação dos Processos Hidrológicos do Rio Trancão**

### **3.4.1 Introdução**

O primeiro passo, na implementação de um modelo hidrológico, é a calibração e validação dos processos hidrológicos. Sendo o modelo MOHID Land um modelo que descreve os processos físicos com muito detalhe, a calibração é um processo moroso, tendo em conta o tempo de cálculo que o modelo necessita para correr uma simulação. No entanto este processo de calibração tem a vantagem de depender directamente dos processos que estão a ser simulados (tipo de solo, tipo de coberto vegetal,...) e não da geometria da bacia. Assim, por um lado a calibração pode recorrer a dados de outras bacias com processos semelhantes sendo por outro lado possível construir uma base de dados utilizável em casos posteriores, i.e. o modelo vai “aprendendo” a escolher os parâmetros à medida que vai sendo utilizado.

Com este objectivo e tendo em atenção que a bacia hidrográfica do Trancão é relativamente pobre em termos de estações hidrométricas, começou-se por implementar o modelo na bacia hidrográfica do Maranhão onde existem três estações hidrométricas automáticas cujas curvas de vazão são conhecidas. Após a afinação dos parâmetros do modelo nesta bacia, ele foi implementado na bacia do Trancão, utilizando a mesma parametrização.

A avaliação dos resultados de um modelo hidrológico pode ser feita comparando valores medidos e valores simulados ou parâmetros derivados dos valores medidos/simulados. Neste trabalho foi adoptado um método misto: (i) comparação visual de valores medidos e calculados, (ii) correlações e (iii) eficiência do modelo.

### **3.4.2 Bacia hidrográfica do Rio Trancão**

Como mencionado mais acima, o modelo foi aplicado na bacia hidrográfica do Rio Trancão, usando a mesma parametrização usada na bacia do Maranhão. Os resultados foram comparados nas duas estações hidrométricas existentes na bacia para o período entre 1 de Outubro de 2002 e 30 de Setembro de 2006.

A Figura 30 e a Figura 31 mostram a comparação entre o nível simulado e o nível observado na estação hidrométrica Ponte Pinhal. A Figura 30 mostra os dados para todo o período simulado e a Figura 31 somente durante o ano hidrológico 2005-2006. Nas duas figuras apresentam-se as evoluções de três grandezas: (i) Profundidade (Nível) da água na secção em questão, representada por círculos verdes, (ii) a

profundidade simulada pelo modelo, representada por uma linha cor-de-laranja e (iii) a intensidade da chuva, representada por barras azuis.

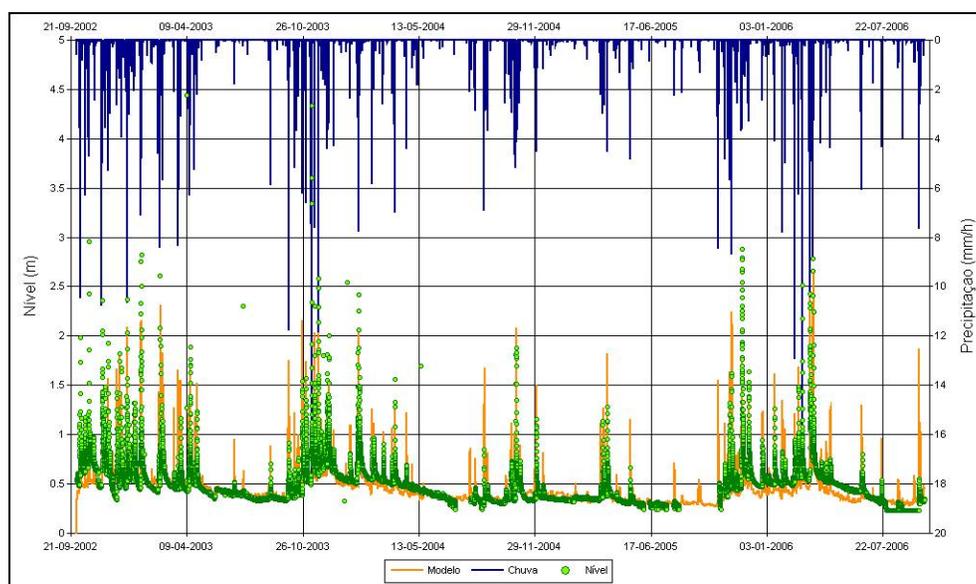


Figura 30. Comparação entre níveis simulados e observados (Ponte Pinhal).

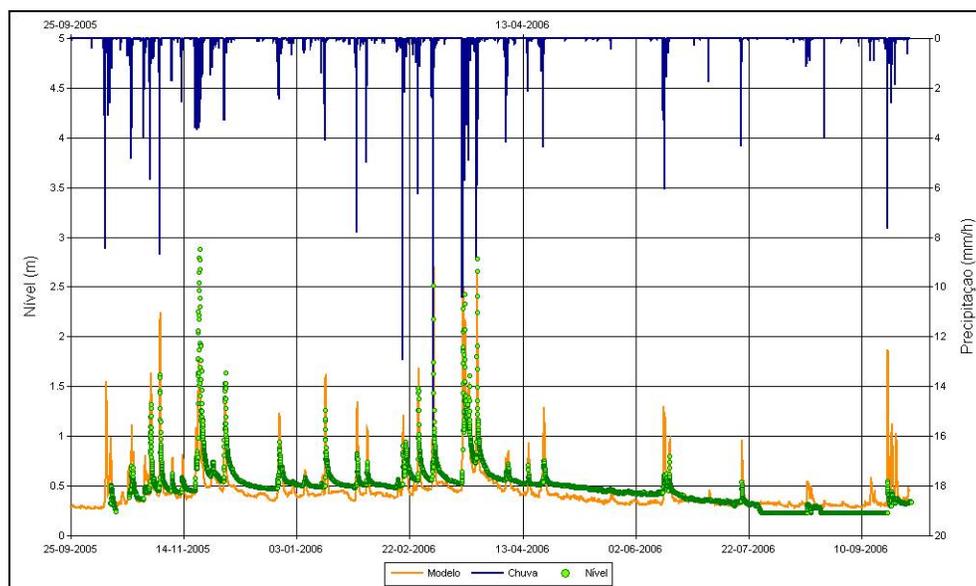


Figura 31. Comparação entre níveis simulados e observados no ano hidrológico 2005-2006 (Ponte Pinhal).

Por observação das duas figuras pode-se afirmar que:

- a localização temporal dos “picos” de caudal é correctamente simulada pelo modelo;
- a intensidade dos “picos” de caudal é igualmente calculada em concordância com as observações;

- a diminuição do caudal após os eventos de chuva, ou seja o caudal de base (*base flow*) tem no modelo o mesmo decaimento das observações.

Estes três conclusões permitem afirmar que:

- O método utilizado na interpolação da precipitação é adequado, pois a imposição da chuva ao modelo resulta em “picos” na mesma altura em que houve “picos” nas observações;
- A parametrização do *runoff* superficial é adequada, pelas mesmas razões;
- A parametrização do solo é adequada, visto que o modelo consegue reproduzir o *base flow*, que resulta da perda pelo solo de água infiltrada.

Ao considerar que as secções transversais utilizadas pelo modelo se aproximam das secções reais e que os outros parâmetros que influenciam a relação nível/caudal são igualmente próximos dos valores reais, ou seja que se pode efectivamente dizer que a curva de vazão do modelo é igual a curva de vazão real, pode ainda afirmar se que a relação precipitação/infiltração/escoamento é correctamente calculada pelo modelo.

A Figura 32 representa o mesmo tipo de informação da Figura 30 para a estação hidrométrica Ponte Zambujal. As conclusões previamente tiradas também se aplicam a esta estação, pois visualmente os dados medidos estão em boa concordância com os dados simulados, com a excepção da altura dos “picos”. Por observação da Figura 32 pode concluir-se que o modelo subestima os níveis nesta estação. Estas diferenças têm muito provavelmente a ver com o facto que a curva de vazão real ser algo diferente da do modelo, uma vez que a estação Ponte Zambujal se encontra no vale a jusante de Bucelas onde o leito do Rio apresenta uma forma muito irregular, preenchido com rochas de grande dimensões.

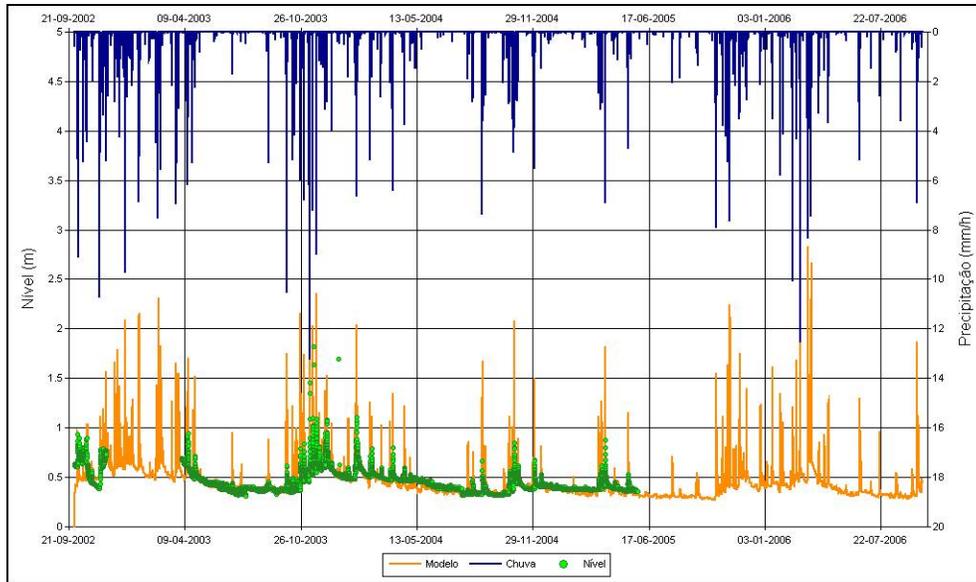


Figura 32. Comparação entre níveis simulados e observados (Ponte Zambujal).

As figuras seguintes apresentam os valores acumulados de (i) precipitação, (ii) infiltração, (iii) evapotranspiração e (iv) escoamento. Todos os valores apresentados são valores acumulados durante os quatro anos simulados. De notar que a escala de cores da precipitação varia entre 2m e 3m enquanto as outras escalas variam entre 0m e 3m.

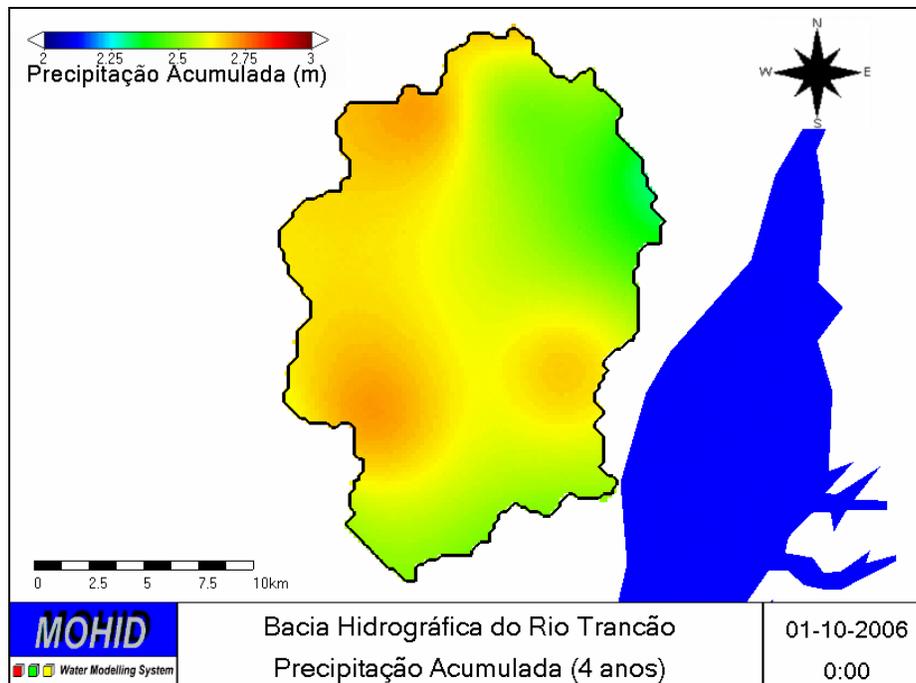


Figura 33. Valores acumulados de precipitação (4 anos).

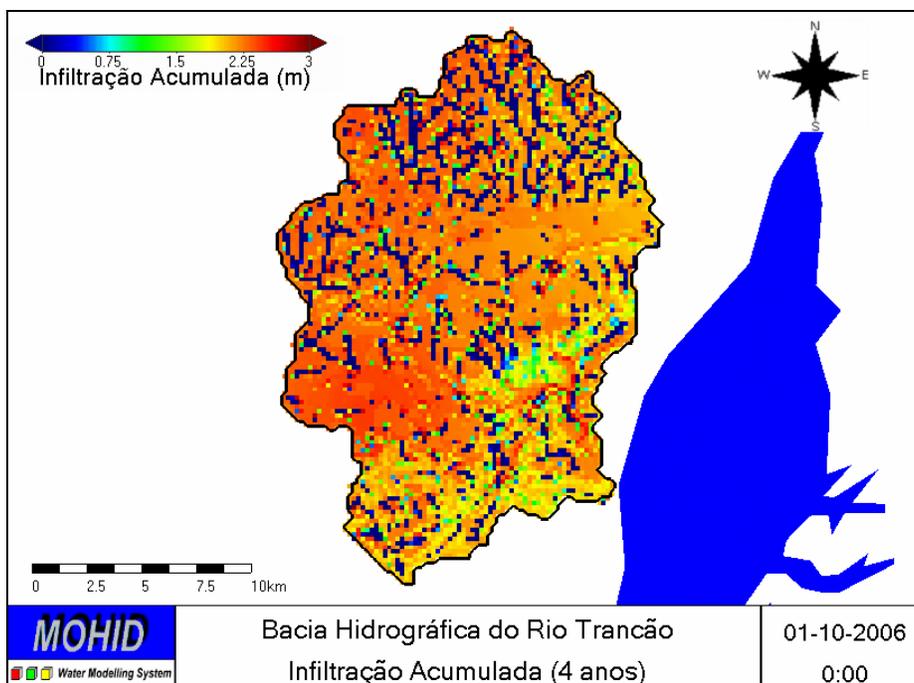


Figura 34. Valores acumulados de infiltração (4 anos).

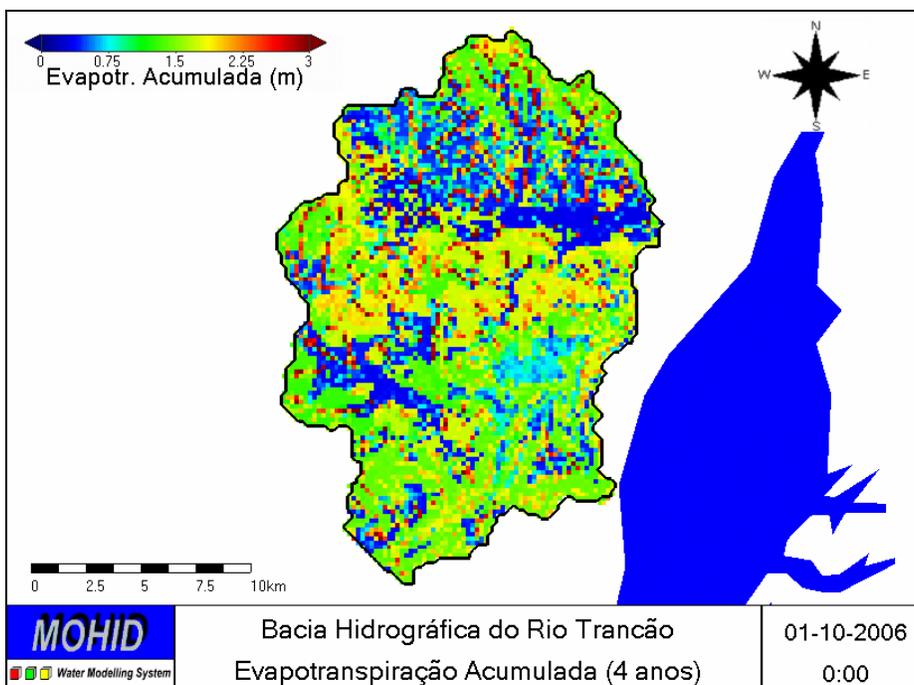


Figura 35. Valores acumulados de evapotranspiração (4 anos).

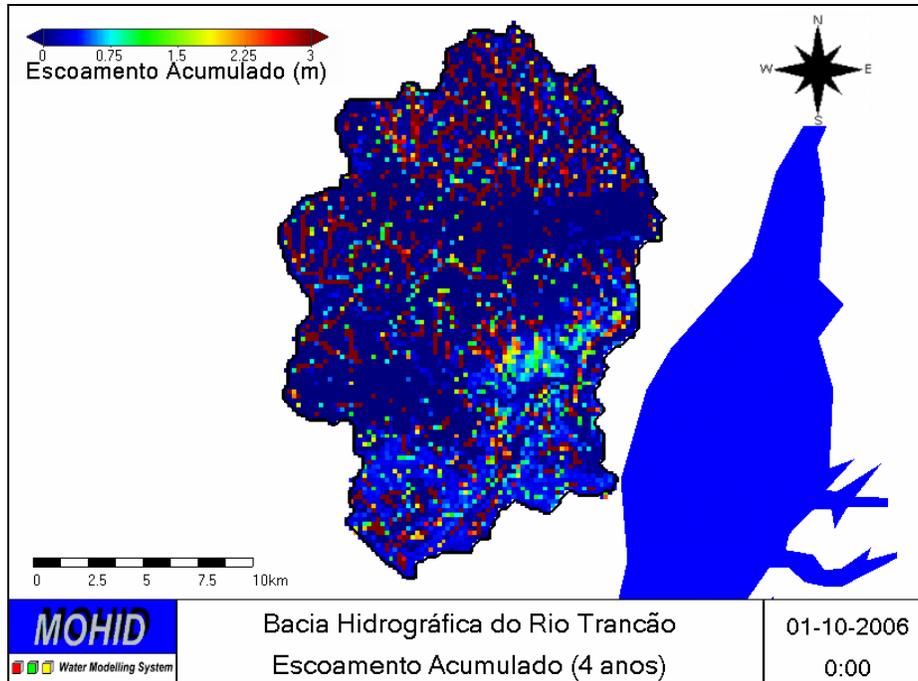


Figura 36. Valores acumulados de escoamento (4 anos).

A precipitação acumulada apresenta pequenas variações na bacia, sendo menor na zona nordeste da bacia. A infiltração acumulada é apresentada na Figura 34. Esta figura mostra em muitos pontos ao longo dos cursos de água valores de infiltração acumulada próximos de zero ou mesmo negativos. Estes pontos correspondem a zonas de convergência do aquífero onde existe exfiltração da água que vai para as linhas de água. A figura mostra ainda que as zonas urbanas (e.g. Loures, Odivelas) têm valores acumulados baixos, o que é uma consequência da impermeabilização do solo. A evapotranspiração acumulada mostra valores mais elevados nas zonas florestais e mais baixos nas zonas agrícolas, embora seja também identificável uma certa correlação com o tipo do solo. Relativamente a escoamento superficial produzido nota-se que este é claramente mais elevado nas zonas urbanas (consequência da impermeabilização). Os pontos com linhas de água apresentam a referida exfiltração e por isso escoamento mais elevado.

### 3.5 Implementação dos Processos de Transporte e contaminação Fecal no Rio Trancão

#### 3.5.1 Introdução

O modelo hidrológico MOHID Land depois de calibrado foi utilizado para estudar os processos de transporte e decaimento da contaminação fecal nas linhas de água da bacia do Trancão, tirando partido do

detalhe com que este modelo simula o caudal instantâneo nos rios. O ciclo dos nutrientes na bacia foi simulado usando o modelo SWAT<sup>7</sup> que inclui a simulação da biogeoquímica do solo.

Para estudar a contaminação fecal na bacia hidrográfica do Rio Trancão foram analisados dois cenários (i) um considerando somente as descargas de ETAR da SIMTEJO e (ii) outro considerando, estas descargas e uma “descarga difusa” em todas as linhas de água, proporcional à densidade populacional.

### 3.5.2 Cenários em Estudo

O modelo hidrológico utiliza a parametrização descrita no capítulo “Calibração e Validação dos Processos Hidrológicos do Rio Trancão”. Para o primeiro cenário foram adicionadas as descargas das 4 ETAR existentes na bacia hidrográfica do Rio Trancão e ao segundo, além das ETAR foi adicionada uma descarga proporcional à densidade populacional, tendo sido simulado o mesmo período usado na calibração. Nas linhas de água simulou-se o transporte e decaimento das bactérias coliformes Termotolerantes. As descargas das ETAR são apresentadas na Figura 25 e na Tabela 4.

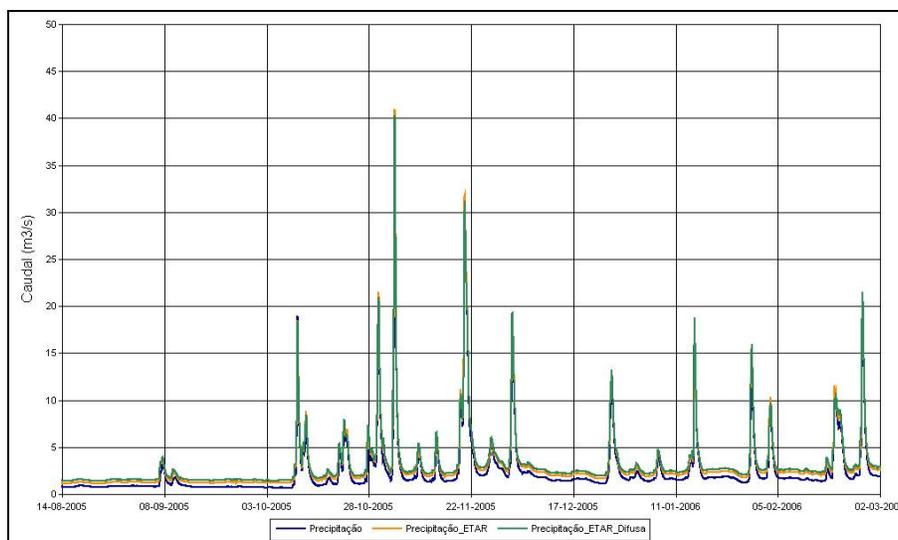
As descargas difusas foram impostas em todos os pontos da malha (de 200 metros) onde existe uma linha de água. No cenário estudado admitiu-se que 15% do efluente seria descarregado nas linhas de água, que o consumo de água é de 250l/hab/dia e que a concentração do efluente à entrada do rio teria uma concentração de  $10^7$  un/100ml. É ainda de referir que cerca de  $\frac{1}{4}$  dos pontos da malha têm uma linha de água. O valor de 15% de habitantes foi obtido a partir dos dados do INE, apresentado na secção 3.7 deste relatório.

A Figura 37 apresenta a comparação dos caudais simulados, na foz do Rio Trancão, considerando exclusivamente chuva (linha azul), chuva + ETAR (linha laranja) e chuva + ETAR + descarga difusa (linha verde). Desta figura pode concluir-se que:

- o efeito das descargas nos caudais é irrelevante durante os períodos de chuva;
- as descargas das ETAR contribuem para um ligeiro aumento do caudal em tempo seco,
- as fontes de origem difusa têm um efeito insignificante nos caudais.

---

<sup>7</sup> O modelo SWAT (Soils Water Assessment Tool) foi desenvolvido para estudar a interação entre a água e o solo, com especial ênfase para a dinâmica dos fertilizantes (nutrientes).



**Figura 37. Comparação entre os caudais simulados na foz do Rio Trancão**

A Figura 38 apresenta a comparação entre as concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes medidos durante a campanha de Outubro de 2004 e as simuladas pelo modelo considerando somente as descargas das ETAR. Os pontos “quadrados cinzentos” indicam a localização das 4 ETAR. Os círculos representam pontos de amostragem, indicando a cor a concentração medida. A cor das linhas de água representa as concentrações simuladas pelo modelo (azul-escuro representa água não-contaminada). Como seria de esperar a montante das ETAR as linhas de água não apresentam contaminação microbiológica fecal neste cenário em que as ETAR seriam as únicas fontes de contaminação (ausência de poluição de origem difusa). A jusante das ETAR a cor da linha de água vai-se alterando, tornando-se mais azulada à medida que nos afastamos, pondo em evidência o decaimento devido à acção combinada da mortalidade bacteriana e do aumento de caudal do rio. Mesmo a jusante das ETAR as concentrações medidas são sempre superiores às concentrações simuladas no cenário de ausência de poluição difusa. Este facto associado ao facto de existir contaminação a montante das ETAR sugere que as fontes de origem difusa são significativas.

A Figura 39 apresenta resultados obtidos considerando descargas de origem difusa distribuídas ao longo das linhas de água com valor igual a 15% do total das fontes locais. A comparação dos resultados do modelo com os dados da campanha de Outubro mostra que a concordância aumentou, sugerindo que globalmente a ordem de grandeza da poluição difusa deverá ser de 15%. No entanto a análise local mostra que este valor não é uniforme na bacia:

- na zona de Alfovelos e Odivelas a consideração do valor de 15% gera concentrações superiores às observadas nas linhas de água mostrando que aí a poluição difusa é inferior a 15% da total gerada nesta região;
- na zona de Lousa, a hipótese de que a contaminação de origem difusa é 15% do total gerado nesta região gera concentrações inferiores às observadas, o que significa que nesta zona a poluição difusa deverá ser superior;
- na zona da Póvoa da Galega as concentrações simuladas assemelham-se às observadas sugerindo que a aproximação utilizada para a poluição difusa é realista nesta zona.

A Figura 40 até à Figura 45 mostram comparações entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes medidas *in situ* e concentrações simuladas nos dois cenários para as estações: TRA01 (Foz do Rio Trancão), TRA03 (Ribeira da Póvoa a montante da confluência com o Rio Loures), TRA04 (Rio Loures a montante da confluência com a Ribeira da Póvoa), TRA05 (Rio Trancão a montante da confluência com o Rio de Loures), TRA06 (a jusante da ETAR de Bucelas) e TRA23 (a jusante da confluência do Rio de Loures com a Ribeira de Pinheiro). Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR + difusa”, respectivamente. As figuras sugerem os seguintes comentários:

- As cargas de origem difusa são essenciais para a obtenção de concentrações realistas e são responsáveis por concentrações nas linhas de água entre  $10^4$  e  $10^5$ . Se as descargas fossem provenientes exclusivamente das ETAR, as concentrações nas linhas de água não ultrapassariam os  $10^3$ ;
- As estações TRA04 e TRA23 não têm nenhuma ETAR a montante, razão pela qual nestes gráficos a concentração simulada no cenário “Só ETAR” apresenta sempre valores nulos;
- Os resultados das simulações no cenário que inclui as descargas difusas aproximam-se mais das medidas nas estações TRA01, TRA03, TRA06 e TRA23 do que o cenário sem as fontes difusas;
- Na maioria das estações a consideração de descargas difusas resulta numa sobre-estimação da concentração das bactérias coliformes Termotolerantes, sugerindo que globalmente a contaminação difusa representa menos do que os 15% considerados.

O conhecimento rigoroso das cargas de origem difusa é essencial para a explicação detalhada das concentrações medidas nas linhas de água. As diferenças entre os valores simulados e os medidos dão uma ideia dos erros com que aquelas cargas são conhecidas.

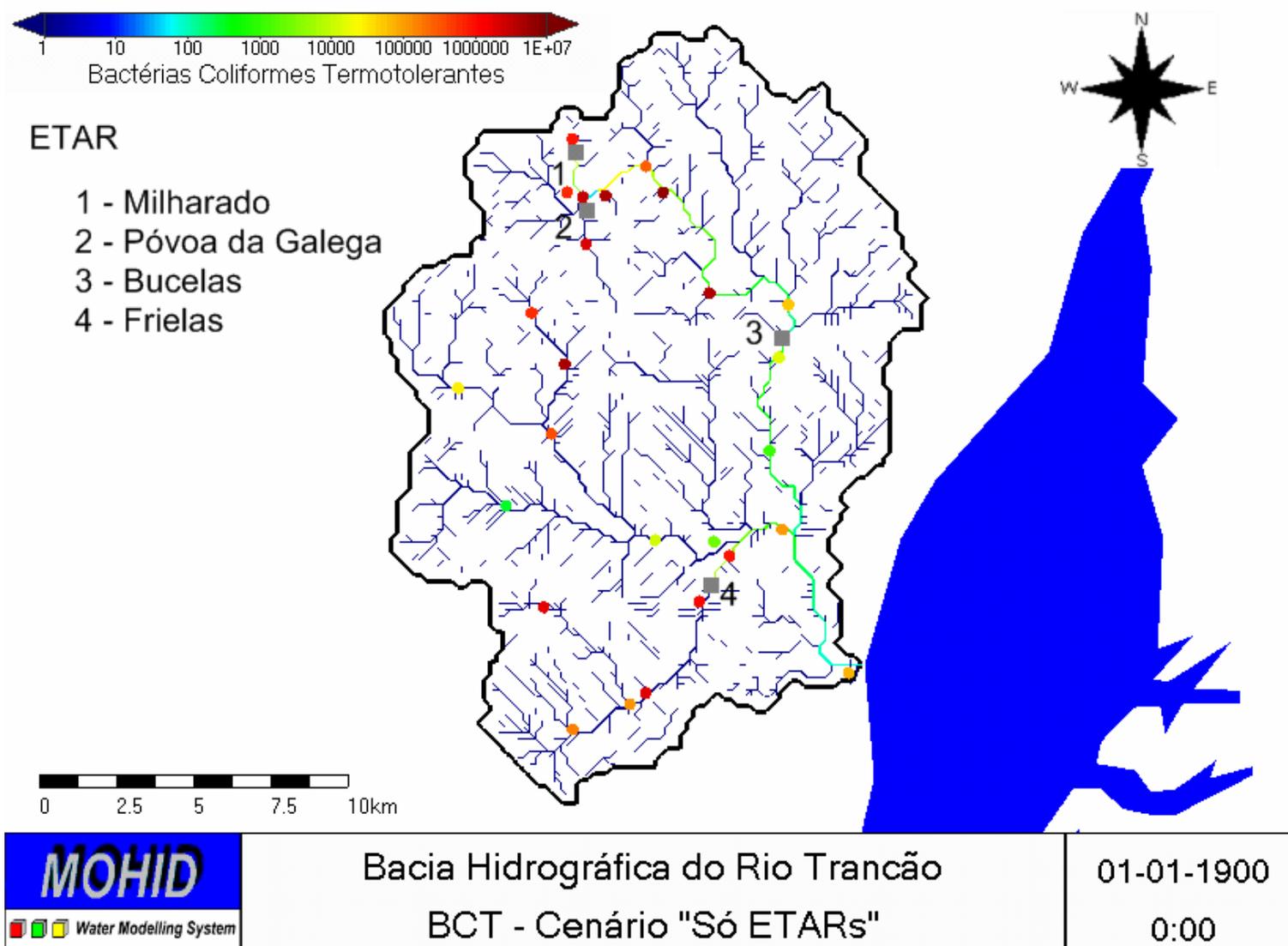


Figura 38. Comparação (Out 2004) entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas, admitindo que a contaminação microbiológica é devida unicamente às ETAR.

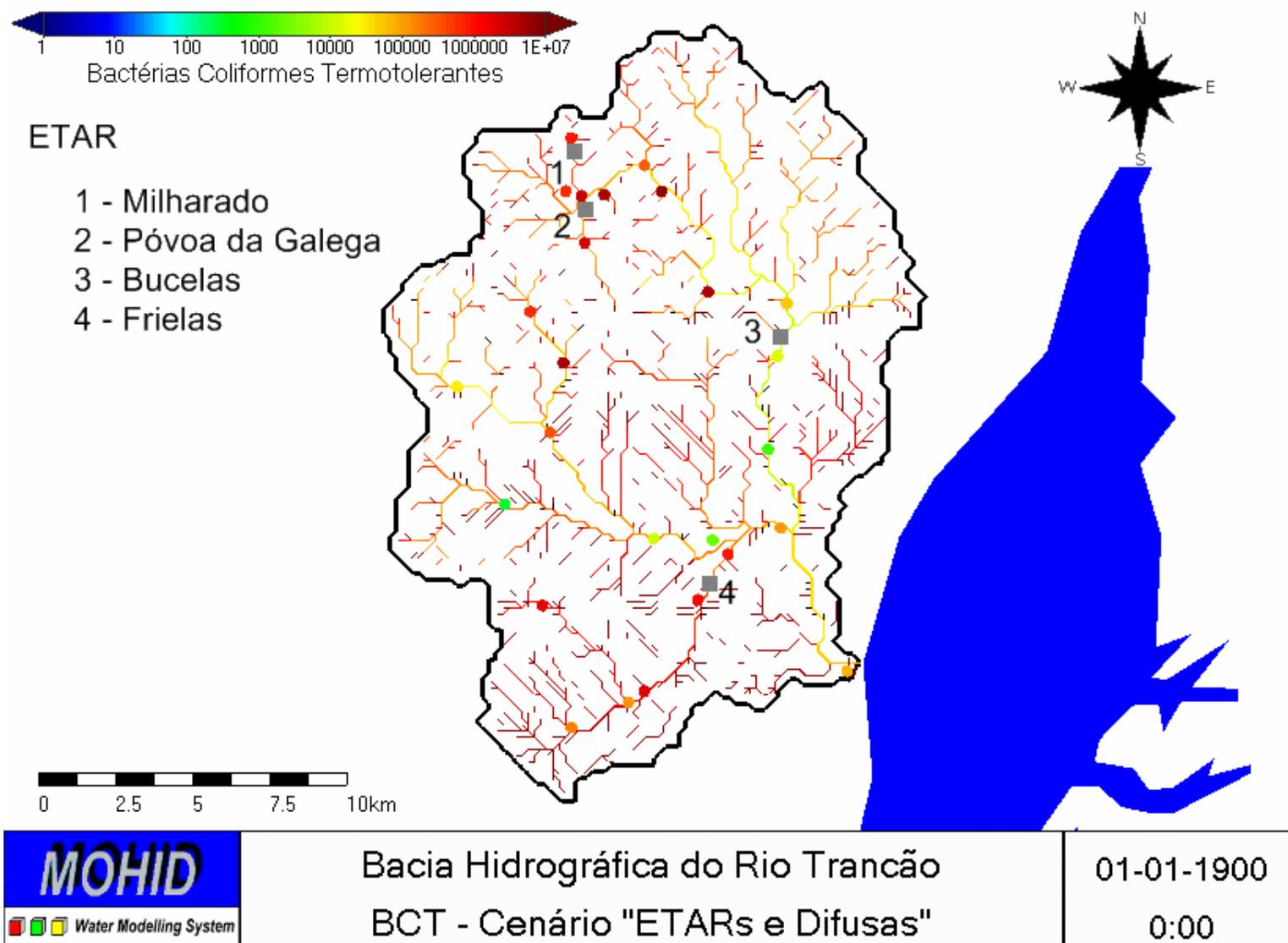


Figura 39. Comparação (Out 2004) entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas admitindo que 15% da contaminação microbiológica é de origem difusa.

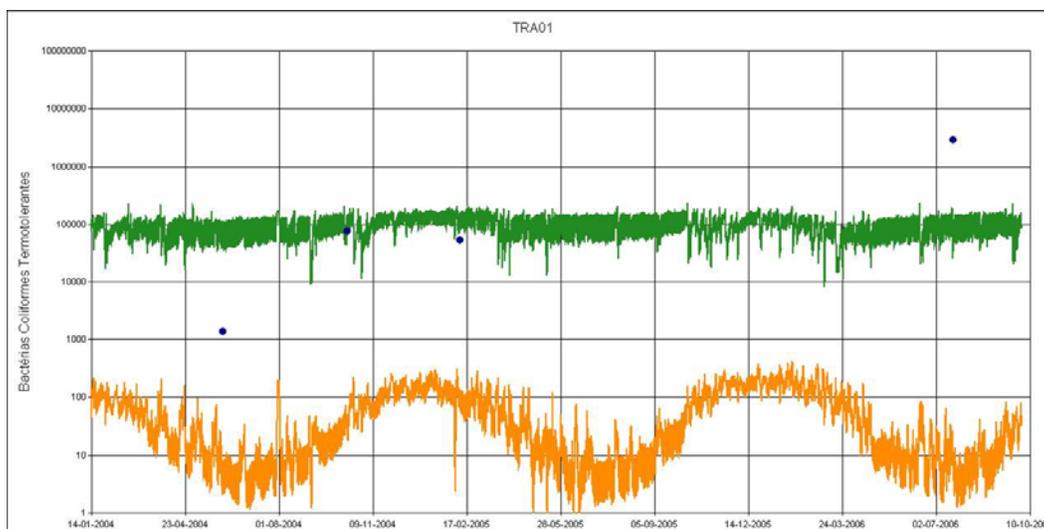


Figura 40. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA01 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR + difusa”).

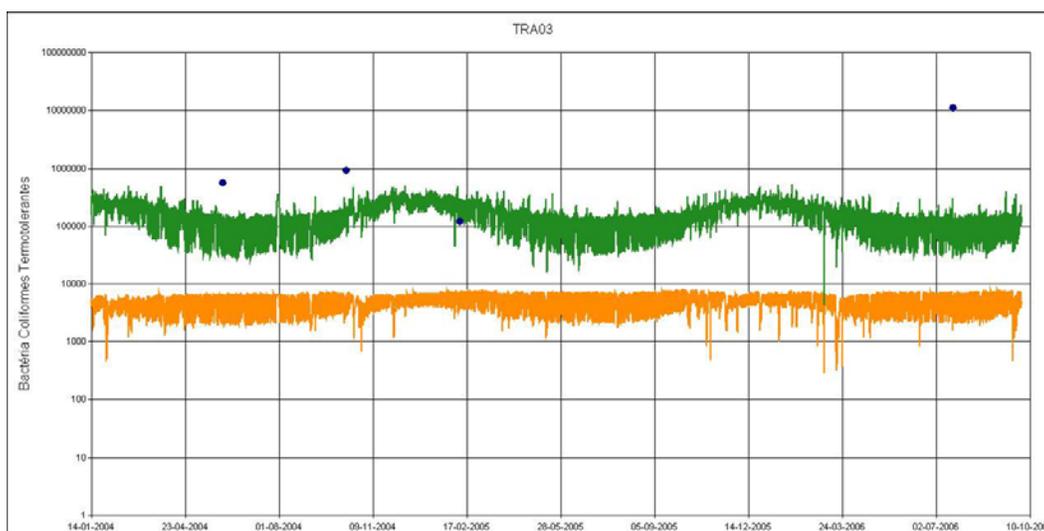


Figura 41. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA03 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).

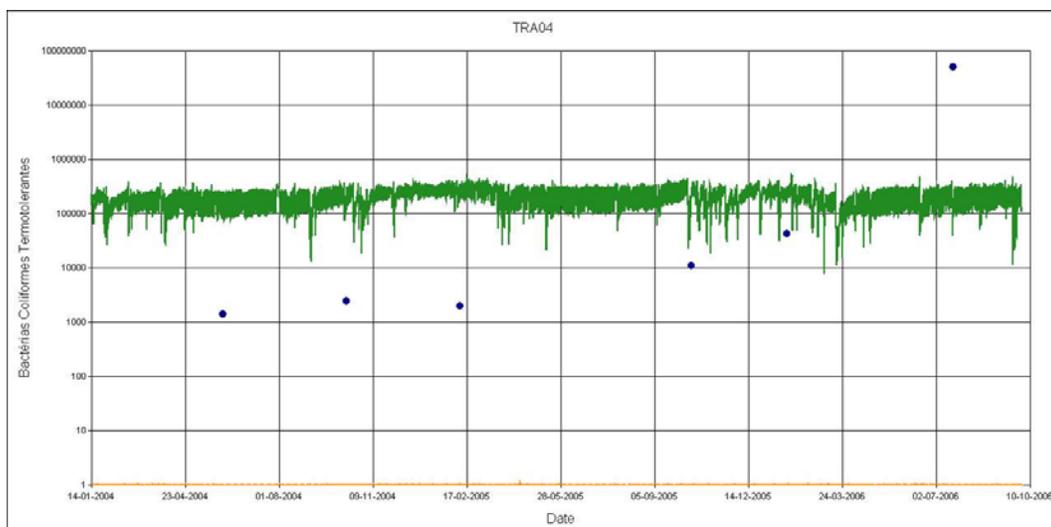


Figura 42. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA04 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).

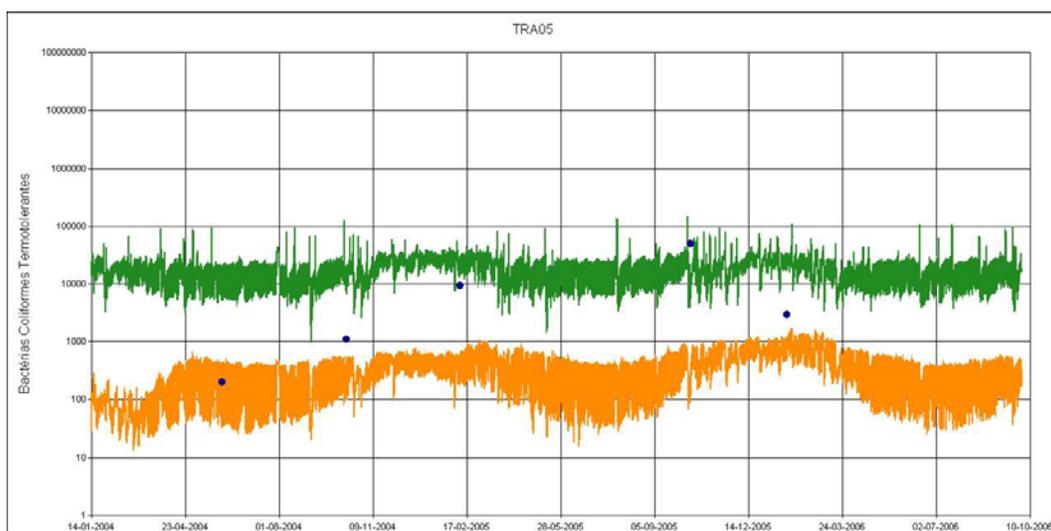


Figura 43. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA05 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).

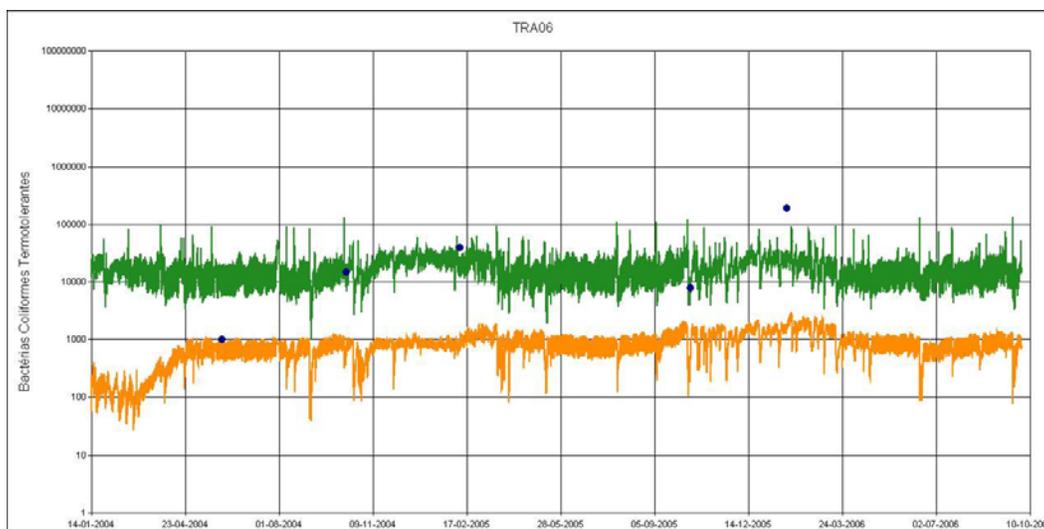


Figura 44. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA06 (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”).

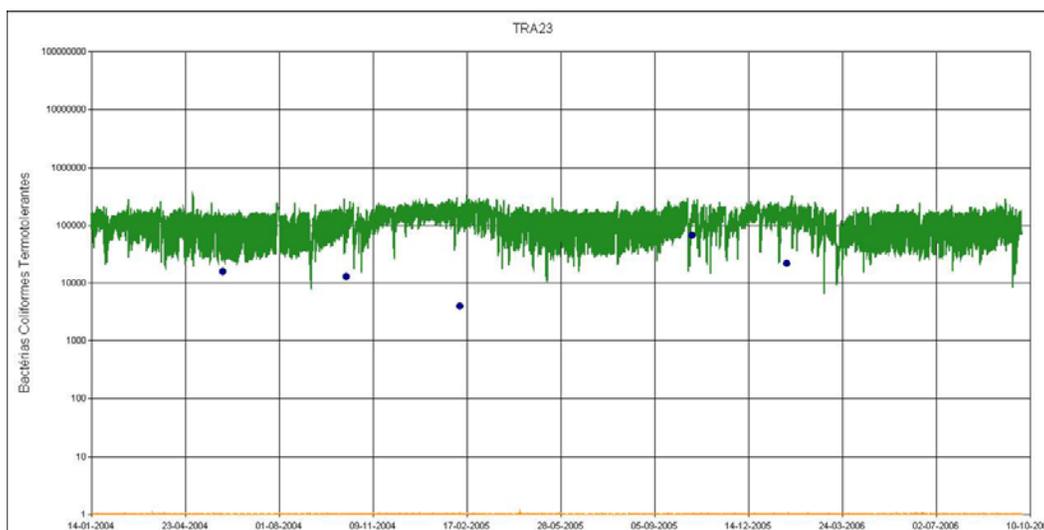


Figura 45. Comparação entre concentrações de bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas na estação TRA23.

## 3.6 Modelação da bacia hidrográfica do Rio Cuco

### 3.6.1 Introdução

No âmbito deste projecto o modelo MOHID Land foi também implementado na bacia hidrográfica do Rio Cuco numa perspectiva de diagnóstico dos processos que ocorrem na bacia, por não estarem disponíveis dados de solos e séries temporais de caudais necessárias à calibração e validação do modelo hidrológico.

### 3.6.2 Dados de Base

A Figura 46 mostra o modelo digital do terreno numa malha de 200 m de passo espacial, usada para correr o modelo, obtida a partir dos dados de base da NASA. A figura mostra a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Cuco (a preto) e as linhas de água (a azul). A célula da malha com maior altitude tem nível médio de 343m e a célula da foz tem 0m. A área da bacia hidrográfica é de 30km<sup>2</sup>.

A Figura 47 mostra o mapa de uso do solo (*Corine Land Cover*), que é predominantemente agrícola. A floresta é dominante na cabeceira bacia e as zonas urbanas são dispersas e de pequena dimensão. O solo segundo a carta de solos (Gonçalves *et al.*, 2005) é todo do tipo *Coarse/Medium*, cujas características já foram apresentadas na Tabela 2.

Os dados disponíveis são provenientes do programa de monitorização da SIMTEJO (ver Monitorização Ambiental dos Meios Receptores da SIMTEJO – Ribeiras) e foram adquiridos nas estações indicadas na Figura 48.

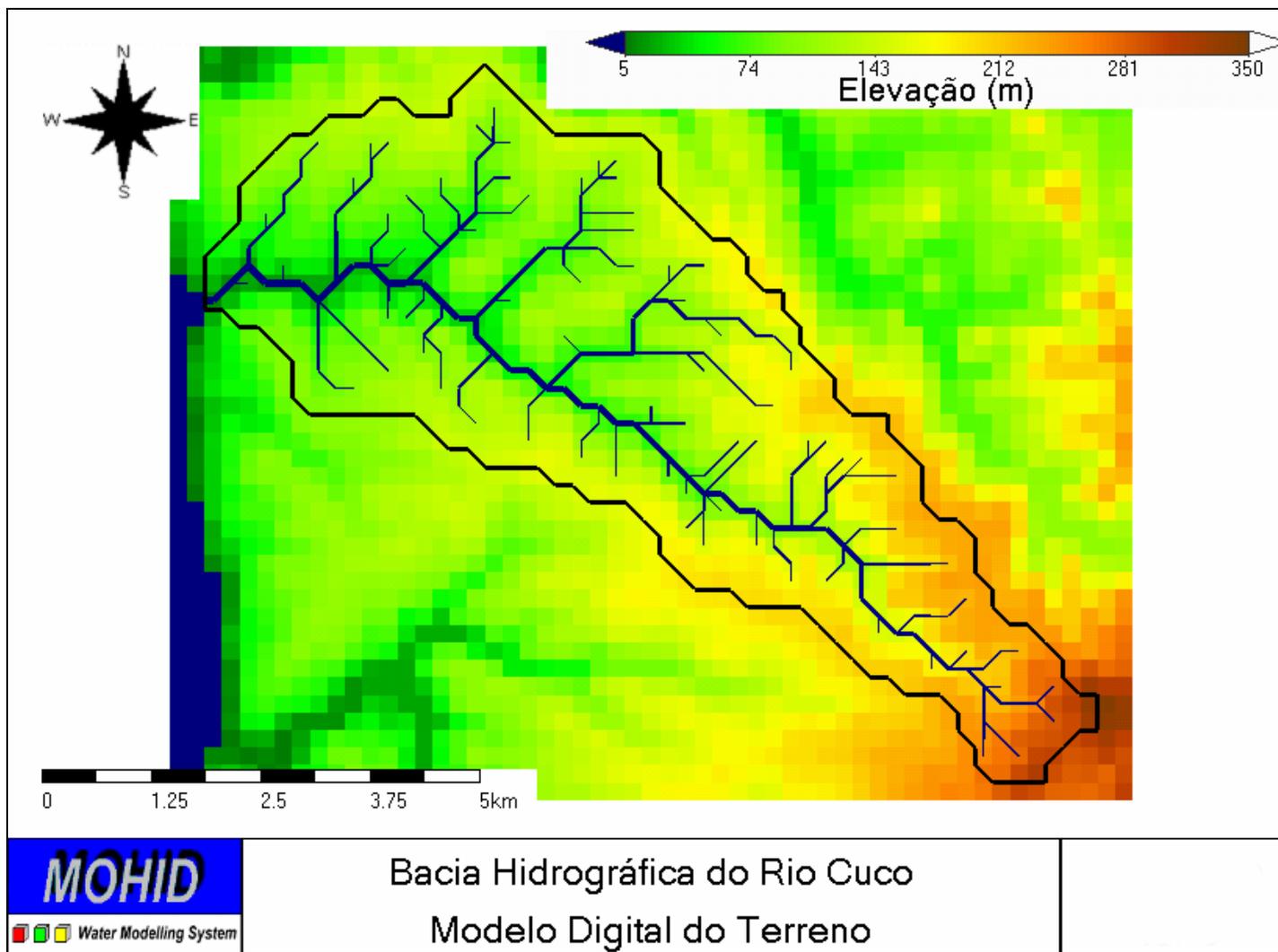


Figura 46. Modelo digital do terreno, delimitação e linhas de água da bacia hidrográfica do Rio Cuco.

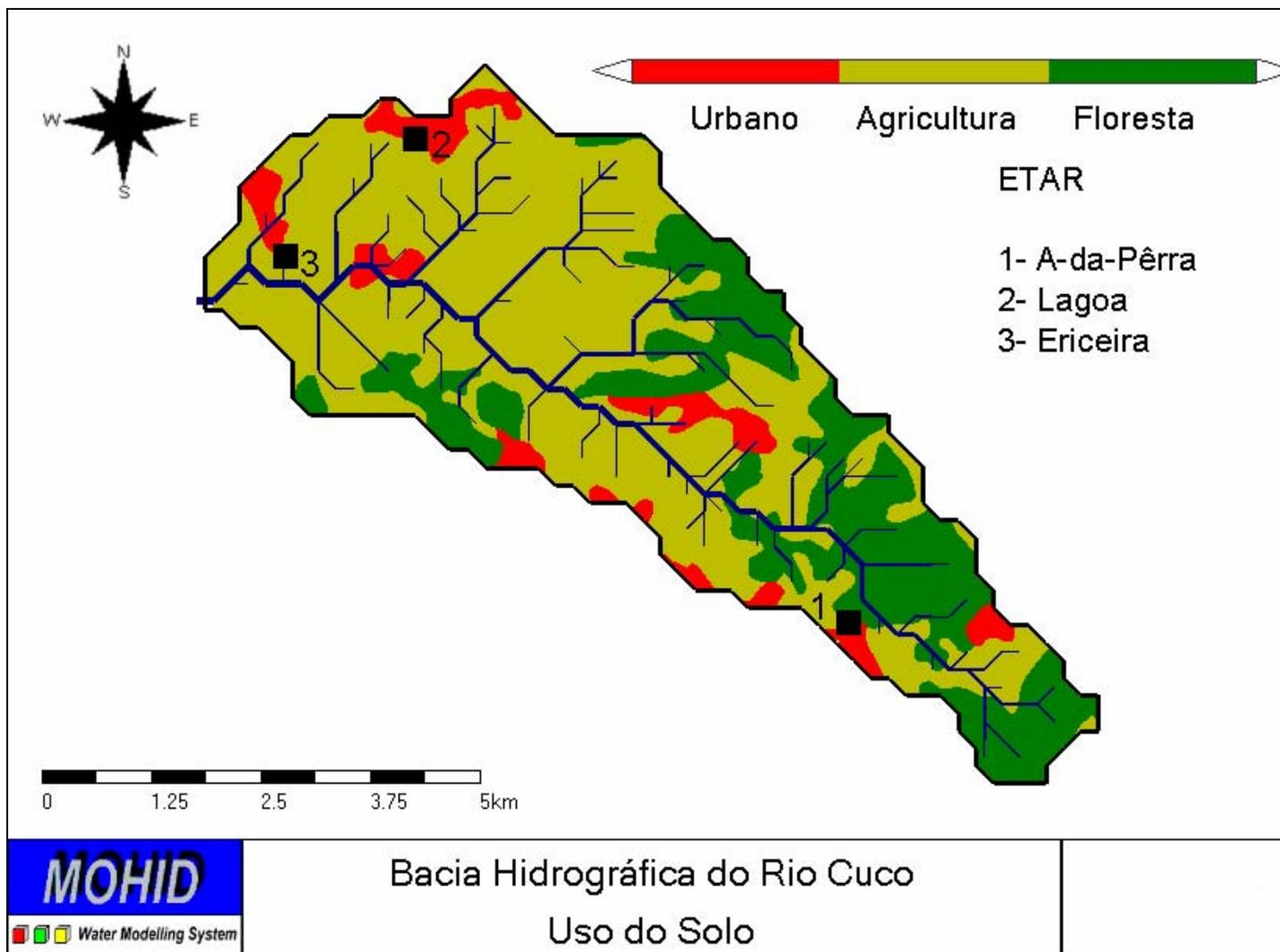


Figura 47. Uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Cuco *Corine Land Cover (2000)*..

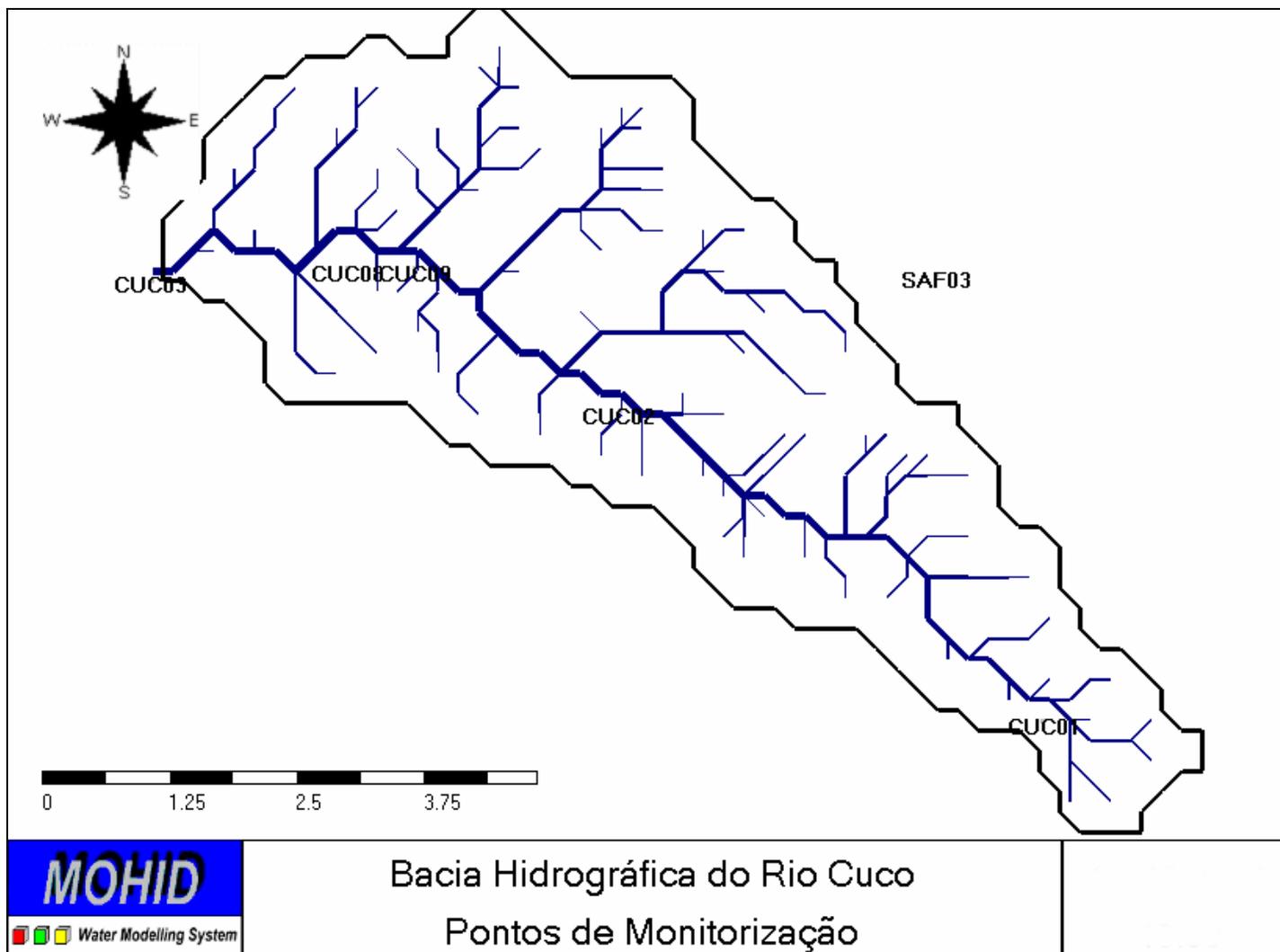


Figura 48. Pontos de Monitorização na bacia hidrográfica do Rio Cuco.

### 3.6.3 Descargas

Na bacia hidrográfica do Rio Cuco existem as três ETAR: (i) A-da-Pêrra, (ii) Lagoa e (iii) Ericeira indicadas na Figura 47. Uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Cuco *Corine Land Cover* (2000)..Figura 47. As duas primeiras são de muito pequena dimensão e descarregam na bacia. A ETAR da Ericeira é responsável por cerca de 90% do caudal total e descarrega directamente no mar através de um emissário submarino.

A Figura 49 mostra a séries temporais de caudais das ETAR da Ericeira e de A-da-Pêrra, descarregados durante o período de simulação, fornecidos pela SIMTEJO. A figura mostra que o caudal de A-da-Pêrra é muito regular, apresentando pequenos picos de Inverno. O caudal da ETAR da Ericeira tem um patamar nos 0.015 m<sup>3</sup>/s (cerca de 1300m<sup>3</sup>/dia), com picos nos meses de Verão da ordem dos 2200m<sup>3</sup>/dia nos meses de Verão.

As concentrações de Bactérias Coliformes Termotolerantes foram obtidas por interpolação logarítmica dos valores fornecidos pela SIMTEJO, a partir dos quais se obteve  $1.2 \times 10^5$  e  $2 \times 10^2$  respectivamente para as ETAR de A-da-Pêrra e de Ericeira.

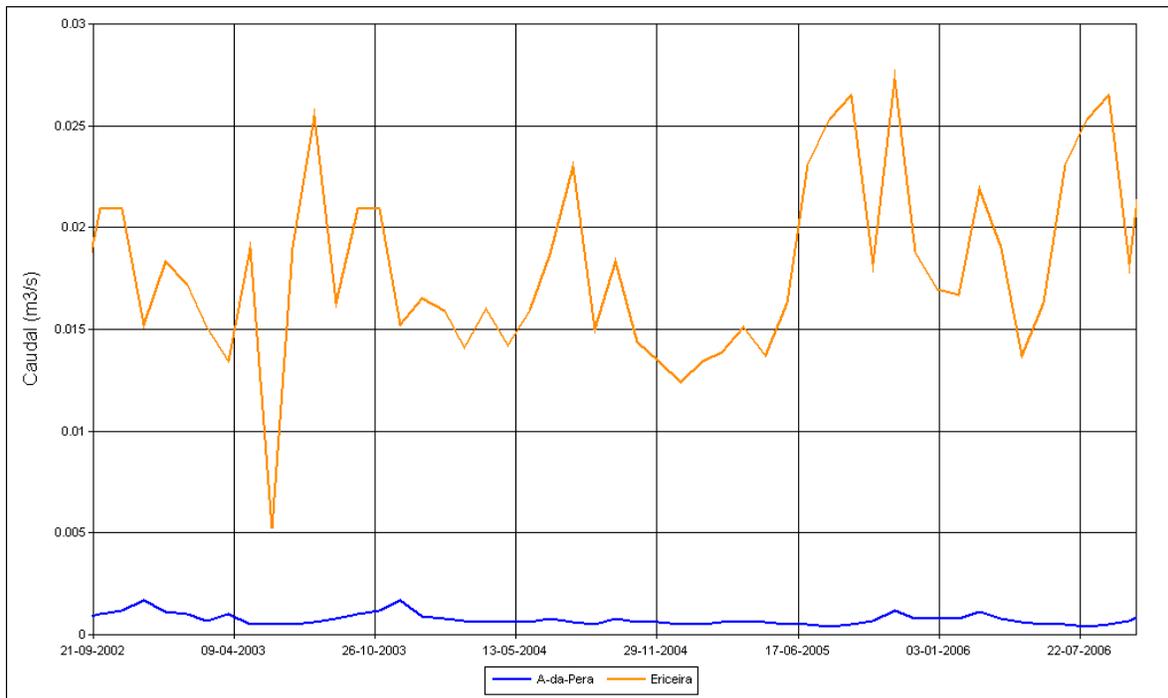


Figura 49. Descarga das ETAR da SIMTEJO durante o período de simulação.

### 3.6.4 Resultados

A Figura 54 mostra a intensidade da chuva obtida a partir das estações meteorológicas (Figura 22) e o caudal calculado na foz pelo modelo num cenário de forçamento exclusivamente atmosférico i.e. sem ETAR e sem descargas difusas.

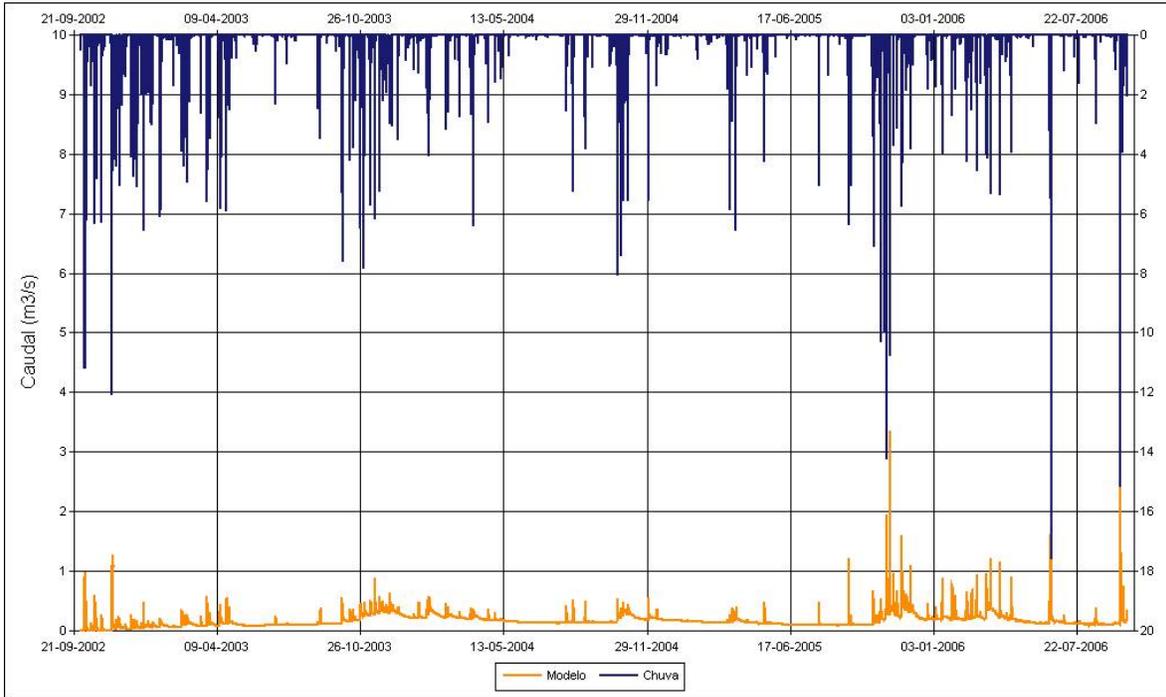
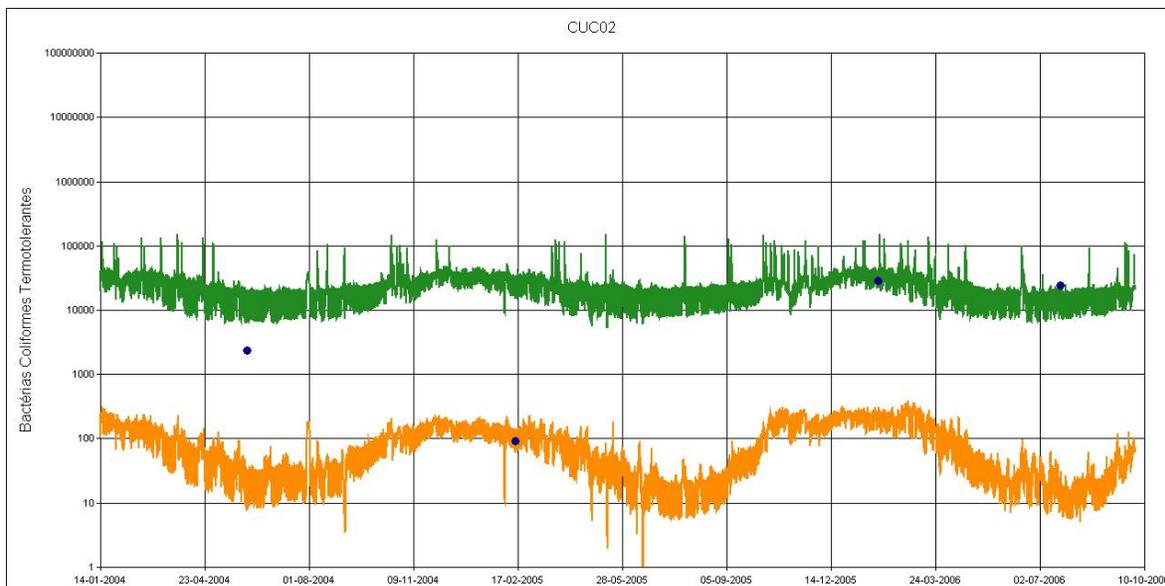


Figura 50. Caudal na foz da bacia hidrográfica do Rio Cuco.

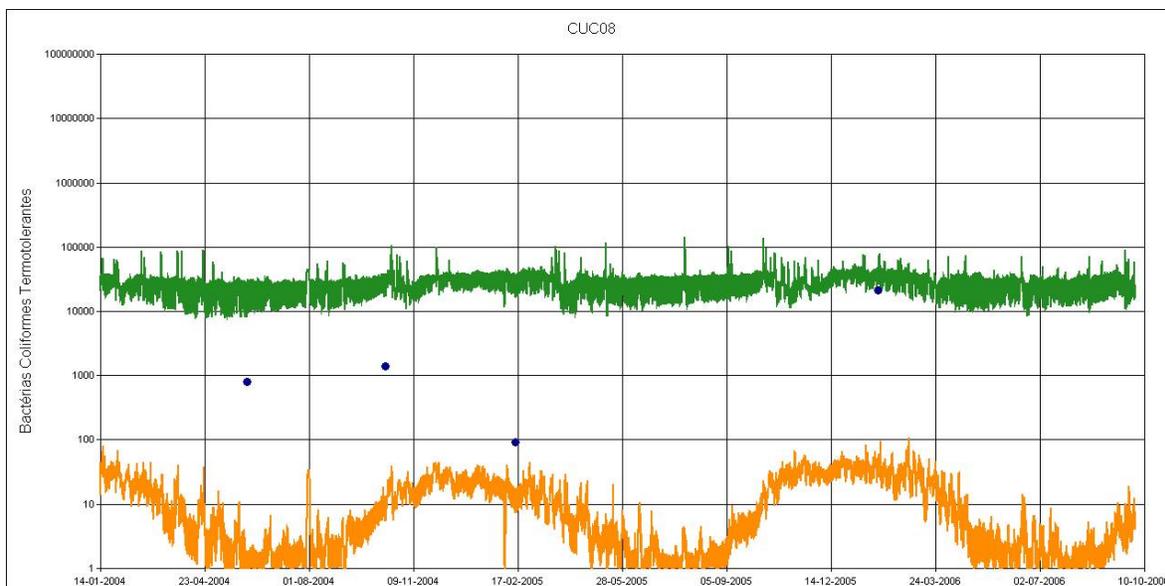
A partir da Figura 54 pode concluir-se que há sempre caudal no rio, mesmo durante o Verão. Isto confirma as observações feitas no campo durante as campanhas de monitorização. Os caudais máximos são excepcionalmente ultrapassam os  $2\text{m}^3/\text{s}$ . Este resultado mostra que a parametrização do modelo é aceitável e que as hipóteses feitas para complementar os dados de campo disponíveis são realistas.

As figuras seguintes mostram a comparação entre as concentrações de Bactérias Coliformes Termotolerantes medidas *in situ* nas estações de monitorização CUC02 e CUC08e as concentrações calculadas pelo modelo nos dois cenários (chuva + ETAR) e (chuva + ETAR+ descargas difusas). Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor-de-laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR + difusa”, respectivamente. Os resultados com poluição difusa foram obtidos para um cenário em que estas são 15% das cargas totais. A comparação dos cenários com e sem poluição difusa e dos dados de campo mostra que a poluição difusa existe, mas é inferior a 15% da carga total. De qualquer modo a poluição difusa parece ser responsável pelo aumento da concentração de uma ordem de grandeza. A

contaminação proveniente da ETAR é praticamente nula nos meses de Verão e origina valores da ordem de  $10^2/100$  ml nos meses de Inverno, enquanto que as concentrações medidas são da ordem dos  $10^3/100$  ml.



**Figura 51. Comparação entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas – CUC02. (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”, respectivamente).**



**Figura 52. Comparação entre bactérias coliformes Termotolerantes simuladas e medidas – CUC08. (Os pontos azuis representam as medidas, as linhas cor de laranja e verde correspondem aos cenários “Só ETAR” e “ETAR e difusa”, respectivamente).**

### 3.7 Estimativa das Cargas de Azoto e Fósforo na Bacia do Rio Trancão e na Bacia do Rio Cuco pela aplicação das *Guidelines da OSPAR*

A actividade trófica num corpo de água é controlada pela disponibilidade de nutrientes e de energia (luz e temperatura). Os nutrientes dependem das descargas directas nesse corpo de água, das cargas transportadas pelos afluentes, da regeneração, do consumo e da exportação. A energia é proveniente da radiação solar e raramente pode ser controlada pelo Homem<sup>8</sup>. Assim, a gestão da eutrofização de um corpo de água passa pela gestão das cargas de nutrientes nele descarregadas directamente ou transportadas da bacia de drenagem a montante.

As cargas provenientes das zonas de montante são transportadas pelos rios e, tal como as descargas directas, podem ser quantificadas monitorizando os caudais e as concentrações. A quantificação das cargas instantâneas (fluxos) transportadas pelos rios a partir de uma medida de concentração e do caudal pressupõe que a concentração seja uniforme na secção transversal. A integração temporal da carga instantânea requer medidas feitas em contínuo, as quais são comuns para os caudais mas raras para as concentrações, normalmente medidas mensalmente num ponto. A quantificação das cargas a partir de pouca informação no tempo (medidas mensais) e na secção está por conseguinte sujeita a erros, especialmente em situações de forte variabilidade temporal e/ou espacial.

O estudo da dinâmica dos nutrientes na bacia baseado no conhecimento das fontes de nutrientes e dos processos que ocorrem na bacia é a alternativa à quantificação das cargas através da monitorização dos rios. Este método, conhecido pelo “Método das Fontes”, tem a vantagem de fazer implicitamente a ligação causa-efeito, fornecendo elementos para a gestão das actividades geradoras de nutrientes (e.g. benefícios de níveis alternativos de tratamento nas ETAR e de eventuais modificações do uso do solo e/ou das práticas agrícolas). O método das fontes é limitado pelo conhecimento dos processos que determinam a exportação de nutrientes por uma bacia, mas também pela qualidade da informação de base existente sobre o sistema (eficiência das ETAR, práticas agrícolas, agro-pecuária, etc.).

---

<sup>8</sup> A gestão da energia tem normalmente o objectivo de aumentar a disponibilidade, sendo as estufas o exemplo mais frequente.

A combinação das abordagens das fontes e das cargas é por conseguinte a forma mais eficiente de estudar a geração de nutrientes numa bacia. A abordagem combinada dá uma ideia dos erros com que se está a trabalhar (pela diferença dos resultados obtidos), fornecendo indicações sobre os aspectos onde é necessário mais conhecimento e disponibilizando informação relevante para a gestão. A OSPAR<sup>9</sup> reconhece as vantagens desta aproximação, tendo produzido um conjunto de 9 *Guidelines* (*Harpnut Guidelines*) especialmente importantes para a abordagem das fontes, que orientam a análise dos processos na bacia e garantem a comparabilidade de resultados obtidos por diferentes equipas, ou mesmo países.

Nesta secção são apresentadas para cada bacia em estudo – Trancão e Cuco – as cargas de nutrientes e as suas origens, estimadas de acordo com a metodologia definida nas *Guidelines Harpnut* da OSPAR. Estas *Guidelines* resultaram do projecto europeu EuroHarp<sup>10</sup> que teve como objectivo normalizar métodos para calcular cargas de nutrientes a partir de informação referente ao uso da bacia (fontes de nutrientes) e de informação referente às cargas transportadas pelos rios.

A *Guideline 1* faz a síntese do cálculo da carga global produzida na bacia tendo em conta a abordagem das fontes (*Guideline 2 a 6*) e a retenção na bacia (*Guideline 9*). A *Guideline 8* reporta o contributo de cada tipo de fonte (pontual, difusa antropogénica e difusa natural) para as cargas descarregadas na rede de rios e a *Guideline 7* descreve o processo de cálculo recomendado para a carga transportada pelo rio a partir de medidas de caudais e de concentrações (abordagem das cargas). As *Guidelines 2 a 6* descrevem o cálculo das fontes de nutrientes (fontes pontuais nas *Guidelines 2, 3 e 4* e fontes difusas nas *Guidelines 5 e 6*).

A análise da geração de nutrientes nas bacias do Trancão e do Cuco mostrou que existe ainda muita falta de dados, especialmente sobre as fontes de poluição difusa. Apesar da falta de dados é possível dizer que as fontes difusas são dominantes na bacia do Cuco (mais de 90% do total) e correspondem entre 25% a 50% da carga na bacia do Trancão, onde a fonte pontual dominante é a ETAR de Frielas, que descarrega na parte terminal da bacia (Ribeira da Póvoa). As fontes pontuais são pouco importantes para o funcionamento da bacia do Cuco por serem pequenas. Na bacia do Trancão as fontes pontuais são pouco importantes para os níveis tróficos nas linhas de água por a descarga da ETAR de Frielas estar localizada na zona terminal da bacia. Por conseguinte a política de gestão dos nutrientes na ETAR de Frielas deve ser

---

<sup>9</sup> OSPAR – Convenção Oslo Paris para a protecção do ambiente marinho no Atlântico Nordeste (<http://www.ospar.org>), da qual fazem parte a generalidade dos países atlânticos europeus e ainda a União Europeia.

<sup>10</sup> [www.euroharp.org](http://www.euroharp.org)

determinada pelos processos que ocorrem no Estuário do Tejo e não pelo facto de estar localizada na bacia do Trancão. Efectivamente o sistema de intercepção de efluentes a montante desta ETAR contribui de forma efectiva para reduzir as cargas de nutrientes, de matéria orgânica e microbiológica nas linhas de água da bacia do Trancão.

As secções que se seguem descrevem a metodologia usada para a aplicação das *Guidelines* da OSPAR, nomeadamente os processos de validação dos dados existentes e das hipóteses feitas para colmatar algumas falhas de dados.

### **3.7.1 Descrição da Abordagem**

A aplicação das *Guidelines* da OSPAR, tal como foi referido acima, requer informação acerca da produção de nutrientes na bacia, da retenção nos rios e monitorização das concentrações e caudais nos rios para determinação das cargas transportadas. No caso das bacias do Trancão e do Cuco - à semelhança do que acontece na maioria das bacias - não existe toda a informação necessária e por isso foi preciso fazer algumas hipóteses que são descritas (e validadas) ao longo dos parágrafos dedicados a i) fontes pontuais, ii) fontes difusas, iii) retenção nas linhas de água e iv) carga no rio.

#### ***3.7.1.1 Fontes Pontuais***

As fontes pontuais originam descargas directas no meio receptor, sendo as mais fáceis de identificar e de caracterizar. São normalmente constituídas por descargas de ETAR ou ainda de indústrias - incluindo as agropecuárias - não ligadas à rede pública de saneamento.

Existem na bacia do Trancão 5 ETAR: Frielas, Bucelas, Póvoa da Galega, Milharado e Santiago dos Velhos, sendo as 4 primeiras geridas pela SIMTEJO e a última gerida pelo Município de Arruda dos Vinhos. Na bacia do Cuco existem 3 ETAR: Ericeira, Lagoa e A-da-Perra todas geridas pela SIMTEJO. A primeira descarrega directamente no mar e não foi considerada neste estudo.

A carga de nutrientes provenientes das ETAR é particularmente importante na bacia do Trancão pelo que foi dedicada especial atenção à validação dos dados usados, comparando dados provenientes de diferentes fontes e testando a sua consistência. As cargas das ETAR foram calculadas através dos dados de monitorização da descarga, sempre que disponíveis. A consistência destes dados foi analisada tendo em conta as cargas estimadas à entrada e as taxas de remoção típicas de cada uma das ETAR (Metcalf and Eddy, 1991). Quando não estavam disponíveis dados de monitorização das descargas das ETAR foram usadas estatísticas da população servida e capitações.

Em todas as ETAR geridas pela SIMTEJO foi possível calcular as cargas de fósforo a partir dos dados de monitorização do efluente. As cargas obtidas são consistentes com cargas esperadas, calculadas a partir dos Equivalentes Populacionais e de gamas típicas de remoção apresentadas em Metcalf and Eddy, 1991. Para a ETAR de Frielas (a que tem maior carga) estão também disponíveis dados de azoto kjeldahl, de nitrito e de nitrato suficientes para calcular a carga de Azoto Total, tendo sido obtidos valores consistentes com as cargas estimadas à entrada e com as taxas de remoção propostas em Metcalf and Eddy, 1991. Nas restantes ETAR estão disponíveis só dados de azoto kjeldahl e por isso as cargas foram estimadas a partir dos Equivalentes Populacionais (e.p.) e das gamas de remoção propostas em Metcalf and Eddy, 1991. Estas ETAR servem pequenos aglomerados populacionais da ordem da centena ou dezena de milhar de e.p. e por isso são pouco importantes para a carga total da bacia. Os e.p. servidos pela ETAR de Santiago dos Velhos – 360 – foram estimados a partir dos dados do INSAAR<sup>11</sup>, por não estarem disponíveis dados mais recentes. Em todas as ETAR, as cargas à entrada foram calculadas usando as captações recomendadas pela *Guideline 4*.

Os dados de fontes pontuais devidas a indústrias não ligadas à rede pública são escassos, tendo sido localizados só os dados do projecto ECORIVER (Avaliação Ecotoxicológica de Águas Residuais, Municipais e Industriais na bacia do Rio Trancão<sup>12</sup>), não apresentando o PBH do Tejo (de 1999) quaisquer dados referentes a estas fontes. No âmbito do projecto ECORIVER foram feitas campanhas de amostragem a uma série de indústrias das quais seis descarregavam directamente para a rede de drenagem. Os dados disponíveis para estas instalações<sup>13</sup> (amostras de Junho de 2003 a Setembro de 2004) mostram que as concentrações de nitratos estão em geral abaixo dos limites de detecção. Não estão disponíveis dados de amónia ou de compostos de fósforo para estas instalações pelo que os dados existentes são insuficientes para determinar cargas anuais. No entanto, a julgar pelas instalações monitorizadas e pelas reduzidas concentrações de nitrato, os dados do projecto ECORIVER parecem indicar que o peso das indústrias não ligadas na bacia do Trancão deverá ser reduzido para as cargas totais de azoto e fósforo.

O facto de os dados serem insuficientes para calcular aquelas cargas e de os existentes sugerirem que elas são pouco importantes levou-nos a formular a hipótese de que poderiam ser desprezadas. Esta hipótese foi validada comparando as cargas calculadas exclusivamente com base nas descargas das ETAR com as cargas

---

<sup>11</sup> <http://insaar.inag.pt/>

<sup>12</sup> <http://www.iambiente.pt/ecoriver/pt/capa.html>

<sup>13</sup> <http://www.mohid.com/GIS/ecoriver/>

monitorizadas no rio em anos secos (comparação apresentada mais abaixo). A concordância dos valores obtidos pelas duas abordagens valida a hipótese de que a carga de nutrientes devida às indústrias não-ligadas é actualmente pouco importante na bacia do Trancão.

Para o reduzido peso das indústrias não-ligadas terão contribuído os Programas de Identificação e Irradicação de Descargas (pontuais) levados a cabo pela SIMTEJO na bacia do Trancão e no sub-sistema de Mafra, o qual reduz o número de descargas nos meios receptores e tem efeitos de escala em termos de custos de tratamento (Mata *et al.*,1998).

### **3.7.1.2 Fontes Difusas**

As fontes difusas podem ter origem: i) nas habitações não ligadas ao colector afluente às ETAR ou podem ser provenientes da exportação de nutrientes das zonas agrícolas e florestais da bacia. As cargas devidas à população residente em habitações não ligadas foram calculadas com base nos dados do censo de 2001 do INE. As restantes fontes foram calculadas utilizando o modelo SWAT<sup>14</sup>.

O modelo SWAT é um modelo de bacia hidrográfica que simula os caudais e o ciclo dos nutrientes com base em dados meteorológicos, de solos, de uso do solo e de práticas agrícolas. O modelo SWAT divide a bacia em unidades hidrológicas (HRU – *Hydrologic Response Units*) – Figura 53 – de acordo com a topografia, as propriedades e o uso do solo, sendo por conseguinte a discretização espacial muito mais grosseira do que a usada no modelo MOHID Land<sup>15</sup> descrito no capítulo anterior, mais pesado em termos de cálculo, mas mais preciso no cálculo de caudais instantâneos e na simulação da interacção entre os vários corpos de água (rios, água superficial, zona vadosa e aquífero).

O modelo SWAT tem a vantagem de incluir uma base de dados de práticas agrícolas standard, que pode ser usada na ausência de dados detalhados de práticas agrícolas. Esta base de dados tem vindo a ser produzida pela uma comunidade de milhares de utilizadores do modelo. Este modelo permite avaliar os impactes de alterações de culturas e de práticas agrícolas na exportação de nutrientes, mas também na contaminação dos aquíferos.

---

<sup>14</sup> SWAT – Soil Water Assessment Tool, ([www.brc.tamus.edu/swat/](http://www.brc.tamus.edu/swat/)) modelo desenvolvido pelo United States Department of Agriculture para simular o impacte das práticas agrícolas na qualidade da água de uma bacia.

<sup>15</sup> O modelo SWAT utiliza normalmente um número de HRU's da ordem das dezenas, enquanto que o MOHID Land usa milhares de pontos.

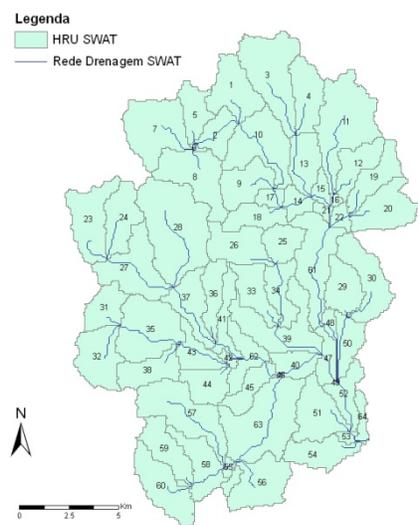


Figura 53 – Definição das Unidades de Resposta Hidrológica do modelo SWAT para a bacia do Trancão.

### 3.7.1.3 Retenção

Parte dos nutrientes que são descarregados nos rios são retidos nas linhas de água por processos de deposição, assimilação pela vegetação, volatilização, etc., não atingindo as zonas de jusante. A estimativa da retenção nas bacias foi efectuada utilizando um modelo proposto pela *Guideline 9* que relaciona a retenção com o caudal e com a área de água da bacia.

### 3.7.1.4 Carga no Rio

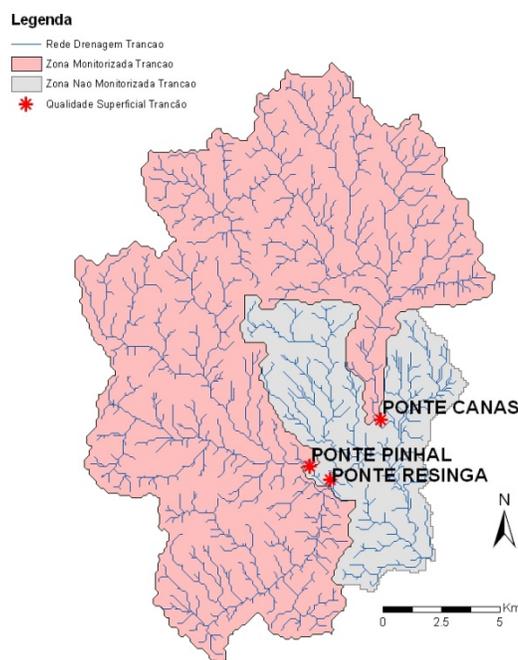
O cálculo da carga no rio (o Método das Cargas) é feito com base em séries temporais longas de monitorização (caudais e concentrações). A produção destas séries é um dos objectivos dos programas de monitorização regulares, implementados pelas autoridades ambientais (em Portugal pelas CCDR e/ou pelo INAG). Estas séries temporais permitem avaliar cargas fazendo hipóteses simplificativas sobre (i) a variabilidade no intervalo de tempo entre duas amostras e (ii) admitindo que a concentração é uniforme na secção, mas não permitem identificar as origens das cargas calculadas. Este método é por conseguinte complementar do método das fontes descrito acima.

As dificuldades da logística e os custos associados à obtenção destas séries temporais longas são elevados e por conseguinte estas séries estão disponíveis em poucas estações. O programa de monitorização das bacias hidrográficas promovido pela SIMTEJO e iniciado há cerca de 3 anos teve como objectivo a caracterização da qualidade da água no conjunto das bacias, tendo sempre como preocupação a relação causa-efeito. Como consequência este programa privilegiou a cobertura espacial (muitas estações) em

detrimento da resolução temporal (é um programa sazonal). Os dados deste programa são por conseguinte úteis para avaliar o estado da bacia e para apoiar a gestão, mas não são úteis para quantificar cargas nem para validar as séries temporais calculadas pelo modelo SWAT (são no entanto fundamentais para validar as distribuições espaciais calculadas pelo modelo MOHID Land).

A quantificação das cargas foi possível na bacia do Trancão usando dados de nutrientes das estações do INAG indicadas na Figura 54: Ponte Canas, Ponte Pinhal e Ponte Resinga, que monitorizam as cargas de cerca de 80% da bacia. Nestas estações estão disponíveis dados para o período de Outubro de 1991 a Abril de 2006, mas só no período de Agosto de 1998 a Abril de 2006 (anos hidrológicos de 1998 a 2004) são suficientes para calcular as cargas. O ano de 1998 é também o ano de início da exploração da ETAR de Frielas e da configuração do sistema actual de águas residuais na bacia e por conseguinte as cargas foram calculadas no período de 1998 a 2004 para comparação com o método das fontes.

Os caudais medidos nas estações referidas acima foram para o período de 1979 a 1988 e por isso os caudais necessários ao cálculo das cargas foram obtidos com o modelo hidrológico validado com os caudais medidos naquele período. Na bacia do Cuco não existem séries temporais nem de caudal nem de nutrientes suficientemente longas para implementar da abordagem das cargas (*Guideline 7*).



**Figura 54. Estrutura de monitorização da bacia do Trancão – estações de monitorização de Nutrientes. A vermelho a zona monitorizada, a área drenada a montante das estações e a cinzento a zona não monitorizada, a jusante.**

Aos caudais calculados pelo modelo para a Ribeira da Póvoa foi adicionado o caudal descarregado pela ETAR de Frielas (valor médio de cerca de 12 hm<sup>3</sup>/ano) que em anos secos é cerca de quatro vezes superior ao caudal natural calculado pelo SWAT. A importância desta descarga para o caudal da Ribeira da Póvoa em período seco foi também identificado em Teixeira, 2001 num estudo sobre as estratégias de gestão da água na bacia do Trancão.

Foram comparados caudais anuais, mensais e diários simulados pelo modelo SWAT e medidos nas estações hidrométricas (Ponte Canas, Ponte Pinhal e Ponte Resinga) na bacia do Trancão. O parâmetro que especifica o tempo de armazenamento no aquífero foi o único que teve que ser ajustado no modelo. Todos os outros são os valores por defeito do modelo SWAT. A Figura 55 compara os caudais diários medidos e calculados com e sem calibração, mostrando que a calibração melhorou muito os resultados.

A Figura 56 compara, para a estação de Ponte Canas, valores anuais do escoamento (i) medido, (ii) calculado pelo SWAT [referidos à área da bacia para poder ser expresso em mm] e (iii) “um terço” da precipitação anual da estação de Lousa<sup>16</sup>. A figura mostra que o modelo reproduz bem as medidas e que o valor de “1/3 da precipitação na bacia” representa a tendência da evolução do caudal do rio, mas não os valores observados.

O escoamento mensal é analisado na Figura 57, que mostra que o modelo reproduz os picos de caudal medidos (duração e amplitude), sendo os coeficientes de correlação para as três estações de 61% a 70%, valores que são da mesma ordem de grandeza dos obtidos por Fohrer, 2001 (correlações de 71%) numa bacia na Alemanha (em Hesse) e por Reungsang, 2005 (correlação de 73% no Iowa, EUA), também com o modelo SWAT.

O caudal calculado pelo modelo SWAT para o período de dados de qualidade superficial (de 1993 a 2004) é apresentado na Figura 58. Neste período o regime de escoamento apresenta grande variabilidade com alternância de anos húmidos e anos secos como é o caso dos anos de 1994 e 1995 em que o escoamento passa de menos de 100 mm para mais de 1000 mm.

---

<sup>16</sup> Tipicamente 2/3 da precipitação é vapotranspirada e 1/3 é exportada através do rio.

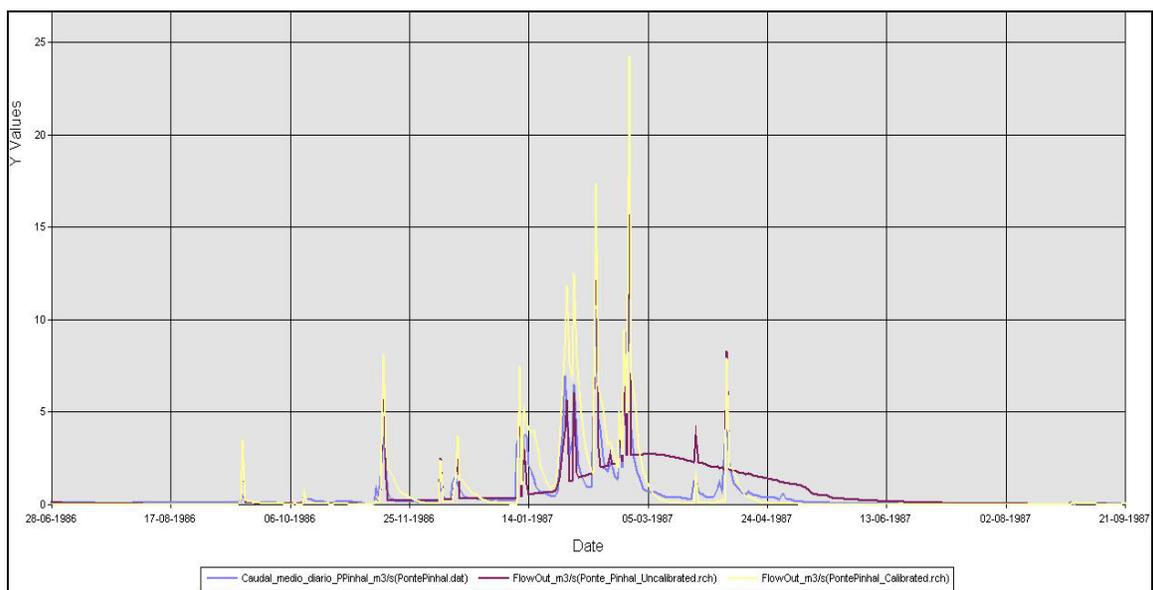


Figura 55. Comparação dos resultados do modelo SWAT (modelo calibrado a amarelo e não calibrado a vermelho) com as medidas do INAG na estação hidrométrica de Ponte Pinhal (a azul) – bacia do Trancão. Valores médios diários de caudal em m³/s.

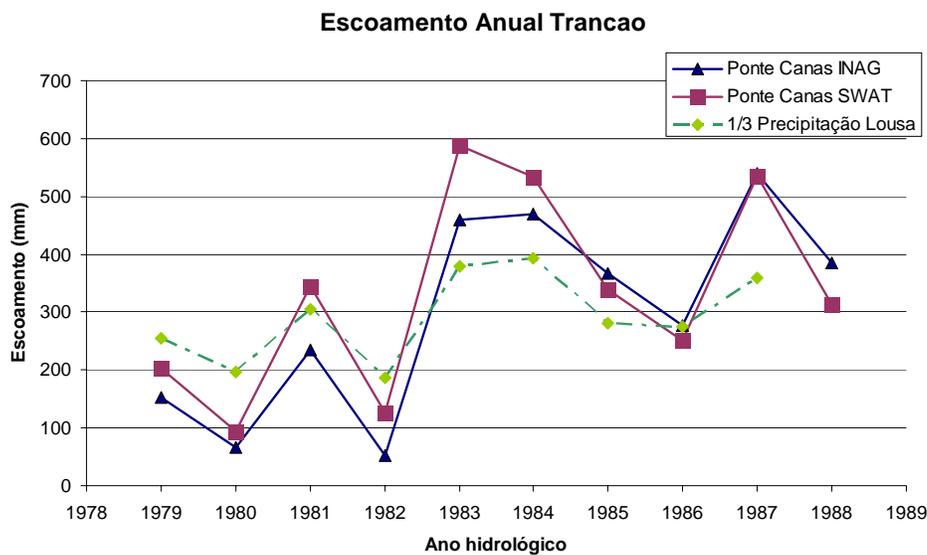


Figura 56. Comparação entre escoamento anual medido (fonte: INAG) e estimado pelo modelo SWAT na estação de Ponte Canas na bacia do Trancão. É apresentada fracção da precipitação anual na estação da Lousa da rede INAG na bacia para comparação.

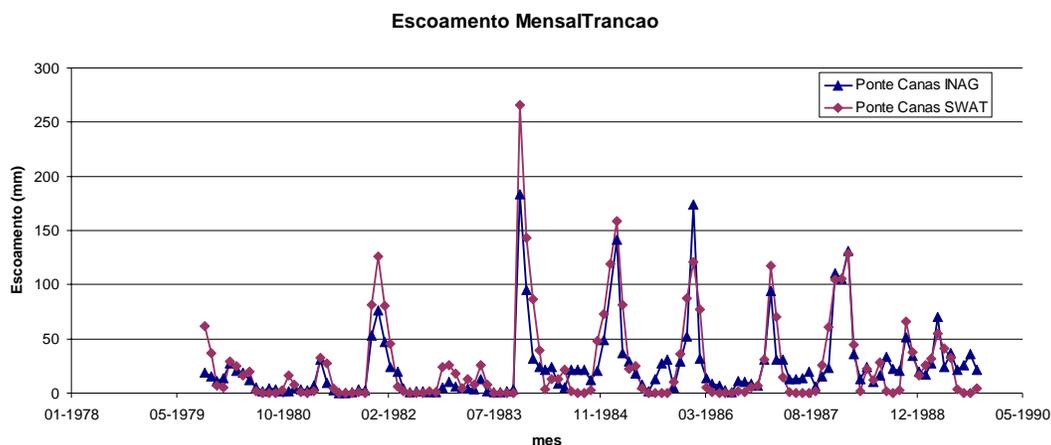


Figura 57. Comparação entre escoamento mensal medido (fonte: INAG) e estimado pelo modelo SWAT na estação de Ponte Canas na bacia do Trancão.

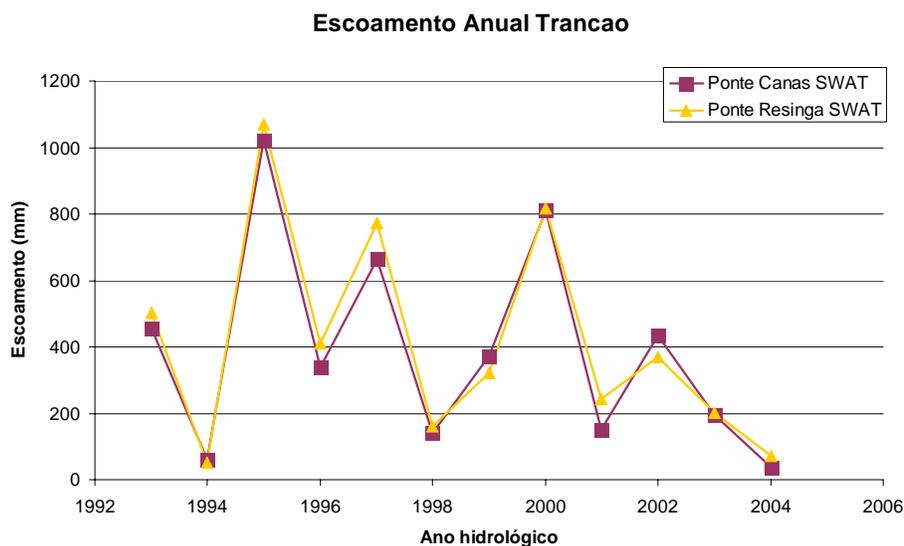


Figura 58. Caudal estimado pelo modelo SWAT para o período de 1993 a 2004 na estação de Ponte Canas e Ponte Resinga da rede de monitorização do INAG.

### 3.7.2 Descrição do Método de Cálculo das Cargas

Nas secções anteriores foi descrita a estratégia seguida para implementação das Guidelines. Nos parágrafos seguintes são descritos os dados de base, opções tomadas para suprir dados em falta e os resultados obtidos.

#### 3.7.2.1 Cálculo das Fontes Pontuais

A carga urbana é particularmente importante na bacia do Trancão pelo que se teve especial atenção à verificação da consistência dos dados provenientes de diversas fontes.

Para as ETAR da responsabilidade da SIMTEJO os dados de base incluem CBO<sub>5</sub> (e conversão em e.p.), caudais à entrada (estes a partir de 2003) e azoto kjeldahl e fósforo total à saída. Para a ETAR de Frielas estão também disponíveis dados de nitratos e nitritos à saída. A frequência de amostragem é mensal, excepto em Frielas e Bucelas onde estão disponíveis dados de azoto medidos quinzenalmente.

Há dois anos completos – 2005 e 2006 – de dados de CBO<sub>5</sub> à entrada das ETAR. À saída estão disponíveis séries temporais completas nos efluentes de Bucelas e Frielas a partir de 2004 e em Lagoa a partir de 2005. Para a pequena ETAR de Santiago dos Velhos (gerida pelo município de Arruda dos Vinhos e servindo 360 e.p. de acordo com o INSAAR) foram usadas capitações médias por não estarem disponíveis dados de monitorização. Nas restantes ETAR monitorizadas estes dados estão disponíveis a partir de 2003.

Os dados à entrada e à saída das ETAR foram comparados tendo em consideração as taxas de remoção propostas por Metcalf and Eddy, 1991, de acordo com o tipo de tratamento efectuado pela ETAR (Tabela 6). A conversão da carga expressa em CBO<sub>5</sub> na carga de nutrientes usou os factores de conversão recomendados pela *Guideline 4*: - 12gN/60gCBO<sub>5</sub> e 2.5gP/60gCBO<sub>5</sub>.

### ***3.7.2.1.1 Dados de afluentes às ETAR***

A drenagem e o tratamento de águas residuais na bacia do Trancão são feitas pelos sistemas de Frielas, de Bucelas e parcialmente pelos sistemas de Mafra, Chelas e Beirolas (Figura 59). O sistema de Frielas representa 61% da área da bacia do Trancão, o de Bucelas 21% e o de Mafra 10%. A restante área é servida pelos sistemas de Beirolas e Chelas e por uma pequena área no concelho de Sobral de Monte Agraço, todos eles descarregando fora da bacia do Trancão. A bacia do Cuco é servida pelo sistema de drenagem e tratamento de Mafra e pelo sub-sistema da Ericeira que descarrega directamente no mar.

Nesta secção é feita uma comparação entre os e.p. medidos nas ETAR da SIMTEJO e a população servida de acordo com os dados do INSAAR (ao nível das ETAR) e dos dados do INE (ao nível das freguesias). Para a ETAR de Santiago dos Velhos a comparação será feita entre os dados do INSAAR e do INE.

A ETAR de Santiago dos Velhos representa menos de 0.5% da carga de azoto descarregada pelas ETAR da bacia do Trancão. A ETAR encontra-se na área de atendimento de Bucelas, na freguesia de Santiago dos Velhos. Parte desta freguesia é servida pela ETAR da Mata, que se encontra fora da bacia do Trancão. Os dados do INSAAR de 2002 dão para a ETAR de Santiago dos Velhos 360 habitantes servidos e para a da Mata 40 habitantes resultando em cerca de 400 habitantes servidos para a freguesia. Dados do censo do INE de 2001 indicam que na freguesia de Santiago dos Velhos cerca de 220 habitantes estão ligados a sistemas de águas residuais. Estes dados são pouco consistentes, mas mostram que a carga é baixa e por isso

eventuais erros na estimativa desta fonte terão consequências desprezáveis para os resultados globais da bacia do Trancão.

As ETAR de Milharado e da Póvoa da Galega servem a freguesia de Milharado que constitui a área de atendimento do sistema de Mafra na bacia do Trancão. De acordo com os dados da SIMTEJO de 2005 e 2006, a ETAR de Milharado serve cerca de 200 e.p. e a ETAR da Póvoa da Galega cerca de 2000. O total de e.p. das duas ETAR estimado pela SIMTEJO é semelhante à população da freguesia ligada a sistemas de águas residuais obtida a partir dos dados do INE de 2001 (2300 habitantes). Os dados do INSAAR de 2002 para estas duas ETAR dão no total cerca de 9000 habitantes servidos que é superior às duas anteriores fontes de dados, não parecendo credível.

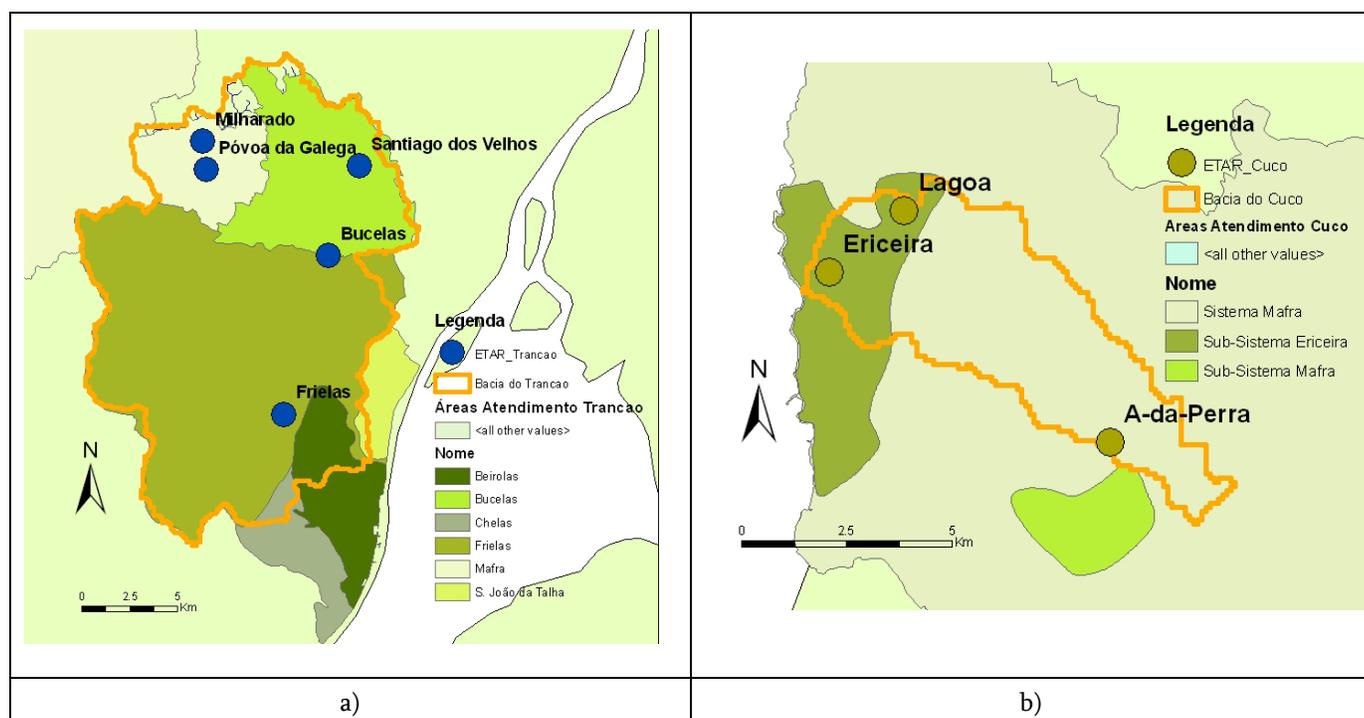


Figura 59. Áreas de Atendimento para os sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais na bacia do Trancão (a) e bacia do Cuco (b). Fonte: SIMTEJO.

A ETAR de Bucelas (bacia do Trancão) na área de atendimento de Bucelas e segundo as medidas da SIMTEJO (dados de 2005 e 2006) serve cerca de 3500 e.p. A partir dos dados do censo de 2001 do INE calculou-se para a área de atendimento de Bucelas cerca de 4600 habitantes ligados a sistemas de águas residuais que é da ordem de grandeza das medidas da SIMTEJO. Os dados do INSAAR de 2002 não apresentam valores de habitantes servidos para a ETAR de Bucelas.

A ETAR de Frielas (bacia do Trancão) na área de atendimento de Frielas serve de 270 000 a 285 000 e.p. segundo as medidas da SIMTEJO (dados de 2005 e 2006). A partir dos dados do censo de 2001 do INE calculou-se para a área de atendimento de Frielas cerca de 273000 habitantes ligados a sistemas de águas residuais o que é da ordem de grandeza dos e.p. das medidas da SIMTEJO. Os dados do INSAAR de 2002 apresentam para esta ETAR cerca de 267 000 habitantes servidos sendo também um valor semelhante aos dados do INE de população ligada e aos e.p. dos dados da SIMTEJO. A consistência destes valores sugere que a carga de origem industrial seja de importância secundária quando comparada com a carga de origem doméstica.

Os subsistemas de Chelas ou Beirolas não têm descargas dentro da bacia pelo que não são considerados nesta análise.

A ETAR de A-da-Perra (bacia do Cuco, freguesia de Mafra) encontra-se na área de atendimento do sistema de Mafra e segundo as medidas da SIMTEJO (dados de 2005 e 2006) apresenta cerca de 300 e.p. Parte desta freguesia é servida pela ETAR de Mafra que serve a generalidade da cidade. Pelos dados do censo de 2001 do INE a freguesia de Mafra tem cerca de 6800 habitantes ligados a sistemas de águas residuais. Pelos dados da SIMTEJO a ETAR de Mafra apresenta de 7000 a 8000 e.p. que é da ordem de grandeza dos habitantes ligados na freguesia. Os dados do INSAAR de 2002 não apresentam valores de população servida para a ETAR de A-da-Perra.

A ETAR de Lagoa (bacia do Cuco) encontra-se na freguesia de Santo Isidro, na área de atendimento do sistema de Mafra e da ETAR da Ericeira. Segundo as medidas da SIMTEJO (dados de 2005 e 2006) a ETAR de Lagoa apresenta de 100 a 400 e.p. A área de atendimento da ETAR da Ericeira serve para além da freguesia de Santo Isidro ainda a freguesia da Ericeira. Segundo os dados do censo de 2001 do INE, a freguesia de Santo Isidro tem cerca de 400 habitantes ligados a redes de águas residuais e a de Ericeira cerca de 5200 habitantes ligados. A ETAR da Ericeira apresenta segundo as medidas da SIMTEJO em 2006 cerca de 7800 e.p. que é da ordem de grandeza do número de habitantes ligados nas duas freguesias. Os dados do INSAAR indicam para esta ETAR 40 habitantes servidos.

Esta análise mostra que as ordens de grandeza dos Equivalentes Populacionais calculados pela SIMTEJO à entrada das ETAR (carga de CBOs convertida) são idênticos aos (i) da população ligada do recenseamento do INE e (ii) da população servida por ETAR do INSAAR. As divergências maiores são para pequenas ETAR (com centenas de e.p.) e por isso afectam pouco os resultados. Estes resultados indiciam que os afluentes que chegam às ETAR nas duas bacias são maioritariamente de origem doméstica.

### 3.7.2.1.2 Dados de efluentes das ETAR

Nesta secção são comparadas as cargas medidas à saída das ETAR com as cargas medidas à entrada, cuja relação mede a taxa de eficiência da ETAR e que pode ser comparada com as taxas típicas para o nível de tratamento existente em cada uma delas. Neste caso as eficiências foram comparadas com as propostas em Metcalf and Eddy, 1991 (ver Tabela 6). Para cada ETAR foram calculadas remoções médias, máximas e mínimas.

Na ETAR de Frielas a remoção de azoto foi estimada em 42% a 51% e a de fósforo de 63% a 73% (

Tabela 7). Esta ETAR faz tratamento secundário e biofiltração. Em Metcalf and Eddy, 1991 este tratamento específico (biofiltração) não é referido, no entanto apresenta a remoção para o processo físico de filtração que combinado com tratamento primário e secundário resulta em remoções de 30% a 60% para o azoto e de 35% a 70% para o fósforo. As remoções de azoto e fósforo calculadas para a ETAR de Frielas estão dentro desta gama.

**Tabela 6. Gamas de remoção de nutrientes adaptadas de Metcalf and Eddy, 1991 de acordo com os tipo de tratamento.**

Tratamento	Remoção (%)			
	Azoto		Fósforo	
	máxima	minima	máxima	minima
Primário + Lamas Activadas	40%	15%	40%	20%
Primário + Lamas Activadas + Filtração	60%	30%	70%	35%
Primário + Leitos Percoladores	40%	15%	30%	17%

**Tabela 7. Gamas de remoção de nutrientes calculadas a partir dos dados à entrada e à saída das ETAR da SIMTEJO.**

ETAR	Tratamento	Remoção (%)					
		Azoto			Fósforo		
		max	média	min	max	média	min
A-da-Perra	Primário + Lamas Activadas	--	--	--	54%	33%	4%
Bucelas	Primário + Lamas Activadas	--	--	--	79%	70%	61%
Frielas	Primário + Lamas Activadas + Biofiltros + Desinfecção	51%	47%	42%	73%	68%	63%
Lagoa	Primário + Tratamento Secundário*	--	--	--	82%	71%	30%
Milharado	Primário + Lamas Activadas	--	--	--	64%	59%	53%
Póvoa da Galega	Primário + Leitos Percoladores	--	--	--	73%	61%	40%

\* tratamento secundário segundo os dados do INSAAR. equiparado a lamas activadas nesta análise.

Na bacia do Cuco na ETAR de A-da-Perra a remoção de fósforo calculada está dentro das gamas apresentadas na bibliografia. Na bacia do Trancão, as ETAR de Bucelas, Milharado e Póvoa da Galega apresentam gamas médias de remoção de fósforo entre 60% a 70% o que são valores superiores à remoção máxima dada na bibliografia – 40% (Tabela 6 e Tabela 7). As remoções mínimas calculadas nestas ETAR são mais semelhantes aos valores máximos da bibliografia. As descargas de fósforo destas três ETAR representam cerca de 2% da descarga de Frielas. No caso limite, se não fosse efectuada remoção de fósforo nestas três ETAR, a soma da sua carga à saída representaria cerca de 6% da carga de fósforo de Frielas. Assim, a estimativas das fontes pontuais de fósforo (e de azoto) na bacia do Trancão não dependem significativamente do grau de remoção das pequenas ETAR uma vez que as fontes são dominadas pela ETAR de Frielas (ver Tabela 8). Nas pequenas ETAR não estão disponíveis dados de nitritos nem os nitratos à saída, pelo que não foi possível de determinar a taxa de remoção de azoto.

Quando os valores amostrados estavam abaixo do limite de detecção assumiu-se o valor do limite de detecção nos cálculos. No caso da ETAR de Frielas a carga calculada com base nos valores abaixo do limite de detecção representa 15% da carga de azoto em 2004 e de 44% em 2006. Em 2005 não existem amostras de azoto abaixo do limite de detecção e para o fósforo em nenhum dos anos houve amostras abaixo do limite de detecção.

### ***3.7.2.1.3 Valores das cargas estimadas para as fontes pontuais***

Nesta secção são apresentadas as cargas devidas às fontes pontuais nas bacias do Trancão e Cuco, calculadas com base nos valores descritos acima. Após a análise das secções anteriores concluiu-se que:

- Os Equivalentes Populacionais das ETAR da SIMTEJO calculados com base na carga afluente são muito semelhantes à população ligada nas freguesias (dados INE 2001) ou à população servida pelas ETAR (dados INSAAR 2002) o que indicia que os efluentes das duas bacias que chegam às ETAR serão principalmente de origem doméstica.
- A remoção da carga de nutrientes calculada na ETAR de Frielas foi de 42 a 51% para o azoto e de 63% a 73% para o fósforo que está na gama de remoção típica para este tipo de ETAR.
- Nas restantes ETAR (outras que não Frielas) só é monitorizado o azoto kjeldahl. O cálculo das taxas de remoção considerando exclusivamente esta forma daria valores da ordem dos 80% - 90%, que é mais do dobro esperado de acordo com a bibliografia. Nestas condições é de esperar que mais de metade do azoto saia da ETAR na forma de nitrito/nitrato.

- As remoções de fósforo são da ordem das esperada para a ETAR de Frielas na bacia do Trancão e A-da-Perra na bacia do Cuco (estão de acordo com a bibliografia). Para as restantes ETAR as remoções médias estão acima dos valores da bibliografia sendo os valores mínimos de remoção calculados próximos dos valores máximos da bibliografia.

Nestas condições, para todas as ETAR<sup>17</sup> em que não existem dados de nitrito/nitrato na saída foi decidido calcular a carga à saída com base na carga à entrada, numa taxa de remoção média para o tipo de ETAR, sendo os resultados apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8. Cargas de nutrientes estimadas à saída das ETAR nas bacias o Trancão e Cuco.**

ETAR	Bacia	Carga Azoto (ton/ano)		Carga Fósforo (ton/ano)	
		máximo	mínimo	máximo	mínimo
À-da-Perra	Cuco	1.2	0.6	0.2	0.1
Bucelas	Trancão	13	9	1.2	0.7
Frielas	Trancão	687	611	92	71
Lagoa	Cuco	1.5	0.3	0.1	0.1
Milharado	Trancão	0.7	0.5	0.1	0.1
Póvoa da Galega	Trancão	9	4	0.8	0.6
Santiago dos Velhos	Trancão	1.5	1.4	0.3	0.2

A ETAR de Frielas representa de 96% a 98% da carga total urbana na bacia do Trancão seguindo-se a ETAR de Bucelas de 1% a 2% do total (Tabela 8). As restantes ETAR representam cada uma menos de 1% da carga total à saída das ETAR na bacia do Trancão. Na bacia do Cuco as ETAR do Milharado e de Lagoa (as que descarregam dentro da bacia) repartem entre si o valor máximo de cerca de 3 toneladas de azoto e 0.3 toneladas de fósforo descarregadas na bacia.

A ETAR de Frielas descarrega na Ribeira da Póvoa, na parte de jusante da bacia do Trancão. Como consequência o maior benefício deste sistema para a bacia resulta do sistema de intercepção, que remove fisicamente as aflúncias às linhas de água. O nível de tratamento efectuado pela ETAR é por conseguinte determinado pela condições ambientais no meio receptor da ETAR - Estuário do Tejo - onde o nível trófico é determinado pela penetração da luz na coluna de água e não pela concentração de nutrientes, não existindo sintomas de eutrofização.

<sup>17</sup> Em todas, excepto em Frielas.

### 3.7.2.2 *Cálculo das Fontes Difusas*

Os caudais nas linhas de água e as cargas de origem difusa foram calculados usando o modelo SWAT. Nesta secção apresenta-se os dados de base e as opções feitas para implementar aquele modelo. Os caudais poderiam também ser calculados usando o modelo MOHID Land, mas foi decidido apresentar os resultados do SWAT por uma questão de consistência, mas também porque estes caudais comparam bem com as medidas (e por isso com os resultados do MOHID Land). Na bacia do Cuco não existem séries temporais suficientemente longas de nutrientes e caudal pelo que a calibração hidrodinâmica e de qualidade da água não pode ser feita. O modelo foi aplicado a esta bacia usando os parâmetros resultantes da calibração hidrodinâmica do Trancão de modo a uniformizar a abordagem.

Os parâmetros do modelo de qualidade da água foram calibrados dentro da margem de incerteza própria de cada um deles e tendo em conta a comparação da abordagem das fontes e das cargas efectuada para a zona monitorizada do Trancão. Nas simulações de qualidade da água nas duas bacias o modelo SWAT foi corrido em dois cenários: (i) nas condições actuais de uso do solo e (ii) admitindo que toda a bacia está coberta de floresta. A diferença entre estes dois resultados dá a produção de nutrientes devida à acção antropogénica. Na hipótese de que a floresta tem uma gestão diminuta, a simulação só com floresta corresponde à situação pristina (daí resultando as fontes naturais, “*background sources*” na terminologia anglo-saxónica)

Para o cálculo das fontes difusas provenientes de habitações não ligadas a sistemas de águas residuais foram utilizados dados do censo de 2001 do INE. A partir da população foram calculadas cargas pelas capitações recomendadas pelas *Guidelines*: 12gN/60gCBO<sub>5</sub> e 2.5gP/60gCBO<sub>5</sub> e 60g CBO<sub>5</sub>/dia/Equivalente Populacional.

As fontes dos dados usados no modelo SWAT incluíram estações de precipitação do INAG<sup>18</sup>, estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia, carta de texturas de solos 1:1000000 compilada pelo European Soil Bureau (Gonçalves *et al.*, 2005), topografia publicada pela NASA, carta de ocupação de solo do Corine Land Cover 2000 à escala 1:100000<sup>19</sup> e concentrações de azoto e fósforo na água subterrânea da rede INAG<sup>18</sup>. O modelo foi calibrado na bacia do Trancão usando dados de caudal e de concentrações de nutrientes nos rios do INAG<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> <http://www.inag.pt>

<sup>19</sup> <http://www.igeo.pt/>

Da Figura 60 à Figura 62 mostram respectivamente concentrações de azoto total, nitrato e fósforo total medidas nas 3 estações de monitorização e valores calculados pelo modelo SWAT. As figuras mostram que as concentrações medidas apresentam grande variabilidade mensal. As mesmas figuras mostram concentrações devidas às fontes difusas calculadas pelo modelo (linhas). As concentrações devidas às fontes difusas estão dentro da gama das medidas e têm picos associados à pluviosidade por serem devidas à lixiviação do solo.

As figuras mostram que as concentrações devidas às fontes difusas sobem nas alturas em que sobe o caudal e depois baixam para valores da ordem dos mínimos registados nas análises. Isto significa que os valores elevados registados nos períodos de baixo caudal são devidos a fontes pontuais que descarregadas em volumes de água baixos que dão origem a concentrações elevadas cujo valor depende da carga e do caudal do rio e por isso podem ter grande variabilidade.

A análise das figuras mostra que as fontes de origem difusa agrícola só são responsáveis por concentrações elevadas nos eventos de chuva. Como consequência, são as pequenas cargas de origem pontual (por vezes também chamadas fontes urbanas difusas) que são responsáveis pelas concentrações medidas com maior frequência. Estas concentrações estão associadas a caudais baixos e por isso originam cargas baixas. No entanto elas são determinantes para o impacte visual sobre o observador da linha de água.

A integração temporal das cargas correspondentes às concentrações medidas mensalmente está sujeita a erros elevados por via da aproximação de que a concentração (e o caudal) se mantêm constantes durante todo o mês. A integração das cargas de origem difusa é mais precisa porque são conhecidos valores diários de caudais e de concentração. As diferenças apesar de tudo pequenas dos valores anuais obtidas são consequência de a carga anual ser determinada em grande parte pelos períodos de maior caudal.

Apesar de todas as dificuldades do cálculo das cargas, os resultados permitem perceber os aspectos principais do funcionamento da bacia, nomeadamente a relação entre as cargas de origem urbana e as cargas de origem difusa e a variabilidade inter-anual determinada pelo regime pluvial. No Trancão as fontes de origem pontual representam cerca de 50% a 75% do Azoto e 45% a 77% do Fósforo. Na bacia do Cuco mais de 90% das fontes são de origem difusa. Quer no Trancão quer no Cuco as cargas de origem difusa são cerca de cinco vezes maiores num ano húmido do que num ano seco. No Trancão as cargas de origem difusa variam entre cerca de 130 tonN/ano a 600 tonN/ano e de 20 tonP/ano a 110 tonP/ano, respectivamente em anos secos e anos húmidos, enquanto que no Cuco o valor foi de 26 tonN/ano a 92 tonN/ano e de 1 tonP/ano a 8 tonP/ano. No cenário pristino as cargas de azoto na bacia do Trancão seriam da ordem de uma dezena de toneladas de azoto por ano e inferiores a uma tonelada de fósforo, enquanto que no Cuco seriam respectivamente de 1 tonN/ano e de 0.1 tonP/ano.

Adicionando as cargas de origem difusa às fontes pontuais obtêm-se valores que podem ser comparados com as cargas medidas nos rios, tendo-se obtido diferenças da ordem dos 30% no Trancão (esta comparação não é possível no Cuco por falta de dados). A análise da Figura 60 à Figura 62 e a análise de sensibilidade à incerteza dos dados descrita abaixo mostram que nas condições de conhecimento actual dificilmente se poderiam obter diferenças menores do que estas.

Nos parágrafos que se seguem são feitos testes de sensibilidade aos parâmetros usados no cálculo e são analisados dados provenientes de diferentes fontes, que nos permitem avaliar a qualidade dos resultados e perceber as fontes de incerteza.

### *3.7.2.2.1 Concentração de nutrientes na água subterrânea*

A concentração nutrientes no aquífero é um dado do modelo e é admitida como constante durante toda a simulação. Esta aproximação baseia-se no facto de a escala de tempo da variação das propriedades dos aquíferos ser da ordem dos anos, enquanto que nas águas superficiais é da ordem dos meses<sup>20</sup>. As primeiras simulações utilizaram como valores para as águas subterrâneas concentrações médias de 3 estações da rede de monitorização de águas subterrâneas do INAG (com dados semestrais muito incompletos). O valor médio de nitrato é de 1.2 mgN/l (e o desvio padrão de 1.4 mgN/l) e de fosfato é de 0.011 mgP/l (com desvio padrão de 0.002 mgP/l). Não existem dados de carbono orgânico no solo, tendo sido usado o valor de 1.5% (em peso) que é o dobro dos valores típicos nos solos do Alentejo com pouca matéria orgânica<sup>21</sup>. Usando estes valores foram calculadas cargas difusas no período de 1998 a 2004 variando entre 95 e 418 tonN/ano e entre 26 e 126 tonP/ano. Juntando a estes valores as cargas pontuais e deduzindo a retenção de acordo com as *Guidelines* da OSPAR, obtêm-se cargas de 688 a 1069 tonN/ano e de 96 a 214 tonP/ano. As cargas calculadas com base nos dados medidos nas estações de monitorização (abordagem das cargas – capítulo 3.7.2.4) resultaram em cargas de 962 tonN/ano a 1973 tonN/ano e de 111 tonP/ano a 270 tonP/ano. As diferenças das cargas de fósforo são aceitáveis tendo em conta a precisão dos métodos, mas as de azoto são excessivas. Para reduzir estas diferenças iniciou-se um processo de calibração

---

<sup>20</sup> Esta aproximação é no entanto inconveniente quando se pretende estudar as implicações das alterações das práticas agrícolas existentes na bacia.

<sup>21</sup> O valor de 1.5% foi escolhido tendo em conta o processo de calibração, mas também o facto de na bacia do Trancão a produção animal ser elevada.

com aumento das concentrações de azoto e fósforo nas águas subterrâneas. O valor de 2.5 mgN/l que está no limite superior do intervalo dado pelo desvio padrão dos dados originou aumentos da carga de origem difusa, passando a carga estimada pelas fontes e retenção a ser de 852 tonN/ano a 1398 tonN/ano. A melhoria dos resultados mostra que o conhecimento das propriedades das águas subterrâneas é um dos aspectos a melhorar na bacia do Trancão.

### 3.7.2.2.2 Carga Animal na Bacia do Trancão e Fertilização

As cargas de nutrientes de origem animal na bacia do Trancão calculada a partir das densidades animais dos RGA (INE, 1989; INE, 1999) e das capitações por animal (Ministério da Agricultura, 1997) são cerca de 1360 tonN/ano e 259 tonP/ano (Tabela 9), correspondendo a valores médios de 125 kgN/ha/ano e de 34kgP/ha/ano.

**Tabela 9. Distribuição das principais espécies animais, bem como o seu peso em termos de nutrientes na bacia do Trancão de acordo com o RGA de 1999.**

Bacia Total					
Total	Nº de Animais	Azoto		Fósforo	
		Ntotal (ton/ano)	Ntotal/SAU (Kg/ha/ano)	Ptotal (ton/ano)	Ptotal/SAU (Kg/ha/ano)
caprinos	936	17	1.52	3	0.24
coelhos	6241	37	3.42	10	0.94
equinos	422	9	0.87	2	0.20
bovinos	7894	441	40.47	65	5.98
suínos	24420	356	32.67	79	7.27
Aves	285877	181	16.59	47	4.35
ovinos	17772	320	29.38	52	4.78
<b>Total</b>	-	<b>1360</b>	<b>124.92</b>	<b>259</b>	<b>23.76</b>

Se esta carga fosse distribuída uniformemente por toda a área da bacia daria uma carga de 125 kgN/ha/ano que ainda está abaixo do limite de 170 kgN/ha/ano de fertilizante orgânico permitido em zonas vulneráveis (Directiva dos Nitratos). É de esperar que uma parte destes estrumes seja espalhada no terreno e que outra seja descarregada nas linhas de água por explorações de carácter intensivo. Parte dos estrumes colocados no solo são mineralizados, sendo a maioria dos nutrientes assimilados pelas plantas<sup>22</sup>. A

<sup>22</sup> A matéria orgânica colocada no solo fica sujeita a processos complexos que incluem volatilização de amónia, desnitrificação de nitrato e processos de adsorção ao solo no caso do fósforo. Estes processos conjuntamente com o

componente não mineralizada é armazenada no solo na forma de matéria orgânica refractária e os nutrientes não consumidos pelas plantas são transportados para as linhas de água directamente ou através do aquífero. Como não existem dados sobre as práticas agrícolas na bacia, esta fonte de nutrientes não foi considerada neste estudo. Esta aproximação não teria consequências se todos os nutrientes provenientes da mineralização fossem consumidos pelas plantas. Não sendo todos consumidos, os lixiviados vão aumentar a diferença entre a carga transportada pelos rios e a carga calculada a partir das fontes.

Para a bacia do Trancão a fertilização calculada pelo SWAT foi em média de 1600 tonN/ano (desvio padrão de 59 tonN/ano). Admitindo que todo o estrume é espalhado, isto significa que o modelo admite que a fertilização química é da ordem de 240 tonN/ano. É certo que a fertilização na bacia não utiliza todos os estrumes e por isso é de esperar que aos valores calculados pelo modelo sejam inferiores aos reais. A consideração de 1.5% de teor de carbono orgânico no solo é também decorrente da hipótese de que a maioria dos estrumes são espalhados, aumentando o teor de matéria orgânica no solo. O melhor conhecimento dos solos e das práticas agrícolas é outro dos aspectos a ter em consideração para melhorar o conhecimento das cargas de nutrientes transportadas pelos rios na bacia do Trancão.

### *3.7.2.2.3 Erosão do solo*

A geração de sedimentos na bacia do Rio Trancão foi estimada em 4.12 ton/ha/ano pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo. O modelo produz esta quantidade de sedimentos quando se utiliza como factor de erodibilidade do solo o valor de 0.05, que é cerca de metade do que é característico deste tipo de solos. Como consequência do uso deste factor, baixa a carga de nutrientes de origem difusa calculada pelo método das fontes, especialmente a carga de fósforo que está normalmente adsorvido às partículas finas de argila.

O valor de sedimentos gerados pela bacia é por conseguinte um dos aspectos que requer mais conhecimento na bacia do Trancão.

---

processo de mineralização são mediados por bactérias (muitas do tipo coliforme) cujo desenvolvimento depende da temperatura e humidade do solo e ainda das relações C:N:P.

### 3.7.2.3 Cálculo da Retenção no Rio

Os nutrientes que chegam às linhas de água sofrem uma série de processos (assimilação pela vegetação, deposição do fósforo, volatilização do azoto, etc.) que resultam na retenção de uma parte. Esta retenção é em grande parte mediada por agentes biológicos e por isso está directamente associada à extensão da superfície livre, através da qual estes assimilam energia do sol.

A *Guideline 9* apresenta uma relação empírica para estimar a retenção que foi obtida com base em dados de rios contidos num rectângulo com vértices na Áustria (a Sul), na Finlândia (a Norte e Este) e a França (a Oeste). Essa relação dá a retenção,  $R_{N,P}$ , em função de:

$$R_{N,P} = L_{N,P} * a \cdot \left( \frac{F}{A_S} \right)^b$$

Onde  $R_{N,P}$  é a retenção que ocorre no rio (ton/ano),  $L_{N,P}$  é a carga de azoto ou fósforo transportada pelo rio (ton/ano),  $F$  é o caudal anual do rio ( $m^3/ano$ )  $A_S$  é a área de águas superficiais ( $m^2$ ), e o  $a$  e o  $b$  (sempre negativo) são constantes empíricas ( $a=5.9$  para o azoto e  $a=13.3$  para o fósforo,  $b=-0.75$  para o azoto e  $b=-0.93$  para o fósforo). Nesta relação a retenção é directamente proporcional à área de água superficial da bacia e inversamente proporcional ao caudal anual.

As áreas de água das bacias foram obtidas através da interpretação da carta *Corine Land Cover 2000* e o caudal obtido pela aplicação do modelo SWAT às bacias e pela contabilização das descargas das ETAR (ver secção 3.7.2.4).

A retenção média calculada na bacia do Trancão foi para a zona monitorizada da ordem de 10% dos nutrientes descarregados nos rios: 94 tonN/ano e 10 tonP/ano, com desvios padrão de 27 tonN/ano e 4 tonP/ano). No total da bacia a retenção é estimada em 346 tonN/ano e em 54 tonP/ano, por a retenção ser proporcional à área de água, que é muito maior na várzea. Na bacia do Cuco a retenção de azoto obtida foi de 1 tonN/ano a 3 tonN/ano e para o fósforo foi inferior a 0.1 tonP/ano, correspondentes a cerca de 2% das fontes. A diferença na proporção da retenção entre bacias deve-se principalmente à diferença entre as áreas de água que é de cerca de 0.01  $km^2$  na bacia do Cuco e 1.2  $km^2$  na bacia do Trancão (interpretação dos dados da carta Corine 2000).

### 3.7.2.4 Cálculo das Cargas nos Rios

A *Guideline 7* da OSPAR apresenta o método de cálculo das cargas transportadas pelos rios com base em séries temporais de caudal e de nutrientes. Esta carga, quando calculada a partir de séries temporais

detalhadas constitui a melhor medida da exportação de nutrientes e constitui a melhor forma de validar os valores obtidos para as fontes.

A *Guideline 7* sugere que a amostragem seja feita de acordo com o “Principles of the Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges” do “RID monitoring programme” com base em dados de azoto total e fósforo total. De acordo com o RID a estação de amostragem deve estar localizada num ponto por onde passem pelo menos 90% dos nutrientes produzidos na bacia. O conjunto das três estações de qualidade da bacia do Trancão (Ponte Resinga, Ponte Pinhal e Ponte Canas) monitoriza uma área de cerca de 80% da área da bacia. Na bacia do Cuco não existem dados para um período suficientemente longo para a aplicação da *Guideline 7* pelo que as cargas foram estimadas com base nas fontes e na retenção.

Os dados de concentração nas estações de qualidade de água superficial da bacia do Trancão foram fornecidos pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - <http://snirh.inag.pt>). As três estações de qualidade da bacia do Trancão apresentam séries temporais de concentrações mensais de azoto total, azoto kjeldahl, amónia, nitrato, nitrito e de fósforo total. Os dados de azoto total estão disponíveis de Outubro de 2001 a 2006, azoto kjeldahl de Agosto de 1998 a Setembro de 2001, nitrato de Janeiro de 1993 a 2006, amónia e nitrito de Outubro de 1991 a 2006 e fósforo total de Outubro de 1992 a 2006. Concentrações de azoto total puderam ser calculadas directamente das medidas de azoto total e/ou indirectamente a partir de azoto kjeldahl (azoto orgânico mais amónia), de nitrito e nitrato. Assim, as concentrações de azoto total foram obtidas para os anos hidrológicos de 1998 a 2004. As concentrações de fósforo total foram obtidas para os anos hidrológicos de 1992 a 2004.

Os dados de azoto total nas três estações de monitorização são apresentados na Figura 60 (que mostra também o contributo das fontes difusas calculado pelo SWAT). Esta figura mostra que as concentrações são em geral mais elevadas na estação de Ponte Resinga (geralmente entre 30 mgN/l e 40 mgN/l) com alguns valores um pouco mais altos em 2001. As concentrações de nitratos na mesma estação (Figura 61) foram muito baixas até 2000, aumentaram a partir de 2003 para valores da ordem de 30 mgN/l, sugerindo maior mineralização da matéria orgânica e oxidação da amónia resultantes da melhoria do sistema de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR de Frielas).

A Figura 62 apresenta dados de fósforo total na bacia do Trancão. A figura mostra que as concentrações de fósforo total subiram até 1999, quando atingiram valores de 15 mgP/l. A partir de 2003 as concentrações baixaram para valores da ordem de 6 mgP/l, sendo normalmente inferiores a 8 mgP/l. Este facto deverá estar também associado à entrada em funcionamento da ETAR de Frielas.

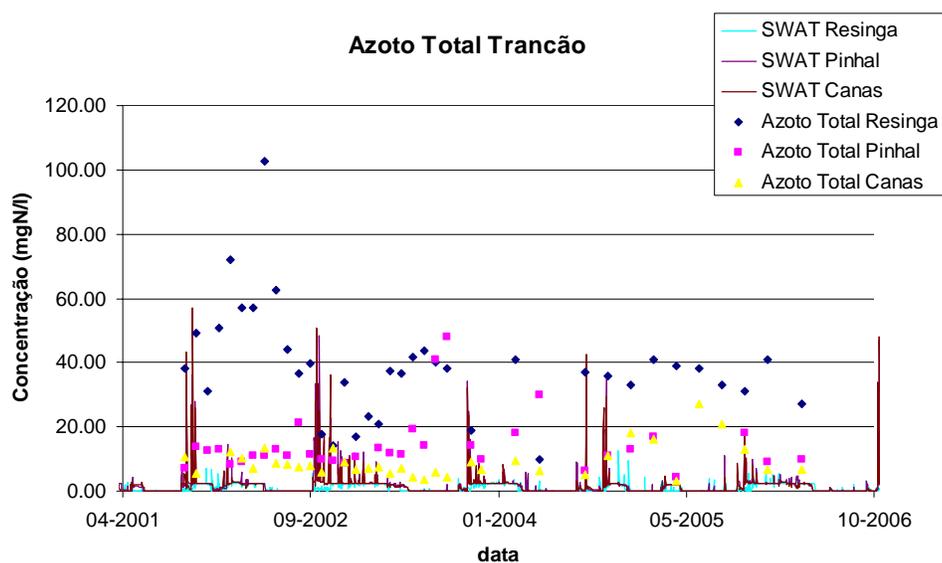


Figura 60 – Concentrações de azoto total nas três estações de monitorização de qualidade da água superficial na bacia do Trancão (Fonte: INAG) e resultados do modelo SWAT.

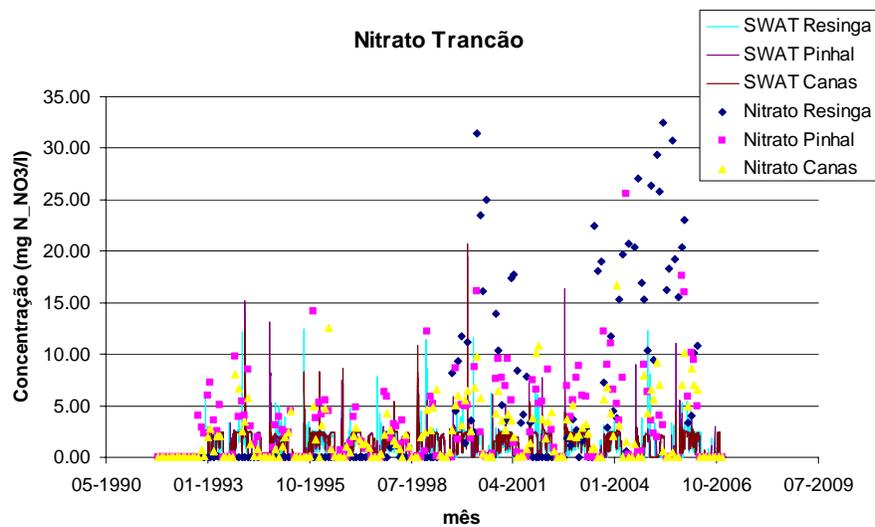
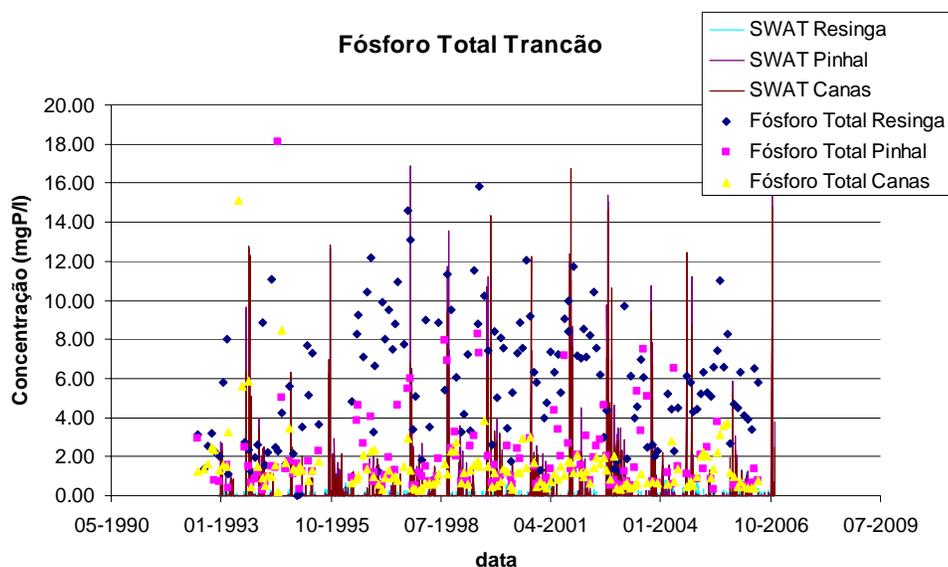


Figura 61 – Concentrações de nitrato nas três estações de monitorização de qualidade da água superficial na bacia do Trancão (Fonte: INAG) e resultados do modelo SWAT.



**Figura 62 – Concentrações de fósforo total nas três estações de monitorização de qualidade da água superficial na bacia do Trancão (Fonte: INAG) e resultados do modelo SWAT.**

A integração temporal das cargas instantâneas transportadas pelos rios de 1998 a 2004 resultou em cargas anuais de médias de azoto na bacia do Trancão de 962 tonN/ano a 1973 tonN/ano e de fósforo de 111 tonP/ano a 270 tonP/ano.

Na bacia do Cuco não existem séries temporais suficientemente longas de caudal e nutrientes pelo que a carga no rio não pôde ser calculada.

### 3.7.3 Análise dos Resultados

Nesta secção são sumariados os resultados da avaliação das fontes de nutrientes nas bacias do Trancão e do Cuco, comparando as duas bacias e analisando a importância relativa das fontes pontuais, difusas de origem antropogénica e difusas naturais (frequentemente designadas por *background sources*, da terminologia anglo-saxónica). Os resultados são apresentados na Tabela 10 para o Trancão e na Tabela 11 para o Cuco.

Na bacia do Trancão as fontes de azoto de origem pontual representam de 51% a 73% da carga total e as fontes de origem difusa de 26% a 48%. As fontes pontuais de fósforo representam 44% a 77% do total e as difusas de 22% a 56%. Na bacia do Cuco mais de 90% do azoto e do fósforo são de origem difusa. Nas duas bacias as fontes difusas naturais têm contributos muito baixos (menos de 2% do total de azoto e de fósforo).

**Tabela 10. Distribuição das origens de Nutrientes na bacia do Trancão por tipo de fonte.**

	Fontes pontuais <sup>23</sup>	Fontes difusas	Fontes de fundo naturais	Total
Azoto	51% – 73%	26% – 48%	<0.5% – 1%	100%
Fósforo	44% – 77%	22% – 56%	<0.5% – 1%	100%

**Tabela 11. Distribuição das origens de Nutrientes na bacia do Cuco por tipo de fonte.**

	Fontes pontuais <sup>23</sup>	Fontes difusas	Fontes de fundo naturais	Total
Azoto	3%	96%	1%	100%
Fósforo	3% – 10%	90% – 97%	<0.5%	100%

Na bacia do Trancão a componente urbana é responsável por as fontes pontuais suplantarem as difusas de azoto e de fósforo. É de salientar no entanto que a ETAR de Frielas representa mais de 90% das descargas de ETAR na bacia do Trancão e descarrega na parte terminal desta, o que significa que a carga urbana proveniente de ETAR é de importância secundária para o nível trófico nos rios da bacia do Trancão.

Na Tabela 12 e na Tabela 14 são apresentados os valores das cargas estimadas a partir das fontes respectivamente para as bacias do Trancão e do Cuco. De acordo com estas tabelas as fontes descarregam nos rios na bacia do Trancão de 852 a 1398 tonN/ano e de 95 a 215 tonP/ano (Tabela 12) e aos rios na bacia do Cuco de 36 a 104 tonN/ano e de 2 a 9 tonP/ano (Tabela 14). As mesmas tabelas mostram que os alojamentos não ligados incluídos na componente difusa representam de 6% a 13% das fontes totais de azoto e de fósforo na bacia do Trancão e de 8% a 55% na bacia do Cuco<sup>24</sup>.

De acordo com estes resultados, as fontes difusas de origem agrícola representam para a bacia do Trancão de 16% a 42% do total de azoto e de 9% a 50% do fósforo total que chega às linhas de água. Na bacia do Cuco o contributo das fontes difusas agrícolas corresponde a 73% a 88% do total de azoto e de 35% a 85% do total de fósforo.

A Tabela 13 e a Tabela 15 apresentam a retenção média calculada para a bacia do Trancão que é de 346 tonN/ano e 54 tonP/ano (de 25% a 40% das fontes totais de azoto e de 25% a 57% das fontes de fósforo) e para a bacia do Cuco de 1 tonN/ano a 3 tonN/ano e inferior a 0.1 tonP/ano (cerca de 2% das fontes totais de azoto e de fósforo). A diferença entre as proporções da retenção de nutrientes nas duas bacias deve-se

<sup>23</sup> - Foram consideradas as descargas dos sistemas de águas residuais urbanos.

<sup>24</sup> A percentagem de 55% obtém-se para o cenário em que as fontes pontuais e difusas calculadas pelo SWAT são as mais reduzidas.

ao facto de a área da bacia coberta por água ser muito maior no (valores estimados a partir da *Guideline 9* da OSPAR). De acordo com a aplicação das *Guidelines*, a bacia do Trancão descarrega no estuário do Tejo de 507 a 1053 tonN/ano e de 40 a 160 tonP/ano e a bacia do Cuco descarrega no oceano de 36 a 104 tonN/ano e 2 a 9 tonP/ano (Tabela 13 e Tabela 15).

As cargas médias anuais transportadas pelos rios na bacia do Trancão são apresentadas na Tabela 16 (de 962 a 1973 tonN/ano e de 111 a 270 tonP/ano). A tabela mostra que a diferenças das cargas médias calculadas pelos métodos das fontes e das cargas representa para o fósforo 27% da carga no rio, e para o azoto de 25% a 38%.

No sentido de compreender as diferenças entre os valores das cargas calculadas no período 1998-2004 pelo método das fontes e das cargas foi feita uma análise inter-anual considerando dois cenários, um em que os valores das fontes pontuais se mantêm constantes ao longo do período e outro em que são variáveis.

A Figura 63 apresenta a comparação ano-a-ano dos valores calculados pelo método das cargas e pelo método das fontes. Para a abordagem das fontes são apresentadas os valores da estimativa superior e da estimativa inferior apresentados no capítulo 3.7.2.1.3. Esta figura mostra que há grande variabilidade inter-anual das cargas de azoto e de fósforo medidas no rio, podendo as de azoto variar entre cerca de 700 e 2500 tonN/ano, respectivamente em anos secos e em anos húmidos.

**Tabela 12. Valores das cargas de nutrientes (descarregadas na rede de drenagem) por origem, na bacia do Trancão, estimadas a partir das fontes. Nota: as percentagens estão pela ordem cenário mínimo – cenário máximo obedecendo à ordem das cargas.**

Descargas de nutrientes nas águas superficiais	<i>Guideline</i>	Azoto [Ton N/ano]	Fracção da carga global	Fósforo [Ton P/ano]	Fracção da carga global
Águas residuais e águas pluviais	4	626 – 712	73% – 51%	73 – 94	77% – 44%
Alojamentos não ligados a sistemas públicos de drenagem de águas residuais	5	87	10% – 6%	12	13% – 6%
Agricultura	6	136 – 587	16% – 42%	9 – 107	9% – 50%
Difusas de origem natural	6	3 – 12	<0.5% – 1%	1	1% – <0.5%
Soma de todas as cargas pela abordagem das fontes	1	<b>852 – 1398</b>	100%	<b>95 – 214</b>	100%

**Tabela 13. Bacia do Trancão: cargas de nutrientes exportadas para o estuário do Tejo, estimadas a partir das fontes e da capacidade de retenção da bacia.**

Nº de ordem	Descargas de nutrientes nas águas superficiais	Azoto [TonN/ano]	Fósforo [TonP/ano]
1	Soma de todas as cargas pela abordagem das fontes	852 – 1398	95 – 214
2	Retenção estimada na área da bacia total	346	54
3	Carga descarregada pela bacia no estuário (3=1-2)	507 – 1053	40 – 160

Tabela 14. Valores das cargas de nutrientes (descarregadas na rede de drenagem) por origem, na bacia do Cuco, estimadas a partir das fontes. Nota: as percentagens estão pela ordem cenário mínimo – cenário máximo obedecendo à ordem das cargas.

Descargas de nutrientes nas águas superficiais	Guideline	Azoto [Ton N/ano]	Fracção da carga global	Fósforo [Ton P/ano]	Fracção da carga global
Águas Residuais e águas pluviais	4	1-3	2% – 3%	<0.5	10% – 3%
Alojamentos não ligados a sistemas públicos de drenagem de águas residuais	5	8	23% – 8%	1	55% – 12%
Agricultura	6	26 – 92	73% – 88%	1 – 8	35% – 85%
Difusas de origem natural	6	1	2% – 1%	<0.5	<0.5%
Soma de todas as cargas pela abordagem das fontes	1	<b>36 – 104</b>	100%	<b>2 – 9</b>	100%

Tabela 15. Bacia do Cuco: cargas de nutrientes exportadas para a zona costeira, estimadas a partir das fontes e da capacidade de retenção da bacia.

Nº de ordem	Descargas de nutrientes nas águas superficiais	Azoto [TonN/ano]	Fósforo [TonP/ano]
1	Soma de todas as cargas pela abordagem das fontes	36 – 104	2 – 9
2	Retenção estimada na área da bacia total	1 – 3	<0.5
3	Carga descarregada pela bacia no oceano (3=1-2)	<b>35 – 101</b>	<b>2 – 9</b>

Tabela 16. Comparação entre os valores obtidos pelas abordagem das fontes e das cargas para a zona monitorizada do Trancão.

Nº de ordem	Descargas de nutrientes nas águas superficiais	Azoto [TonN/ano]	Fósforo [TonP/ano]
1	Soma de todas as cargas pela abordagem das fontes	817 – 1317	91 – 206
2	Retenção estimada na área da bacia monitorizada	94	10
3	Carga no ponto de monitorização pela <i>abordagem das fontes</i> e retenção (3=1-2)	723 – 1223	81 – 196
4	Carga estimada no ponto de monitorização pela <i>abordagem das cargas</i>	<b>962 – 1973</b>	<b>111 – 270</b>
5	<b>Diferença entre valor estimado pela abordagem das fontes e a abordagem das cargas (5= 4-3 )</b>	240 – 750	30 – 73

O ano hidrológico de 2004 é aquele que apresenta menores cargas e foi também o ano mais seco. Da mesma forma o ano hidrológico de 2000 foi o ano mais húmido e apresenta maior carga. A concordância entre os valores calculados pelos dois métodos é maior para caudais menores. A explicação dos desvios tem por conseguinte que envolver o caudal. Para analisar este aspecto são também apresentadas as cargas estimadas a partir das fontes em função da carga medida no rio. A figura mostra que os desvios aumentam com a carga (com o caudal), sendo os coeficientes de correlação semelhantes: ( $R^2$ ) de 0.52 para o azoto e 0.47 para o fósforo.

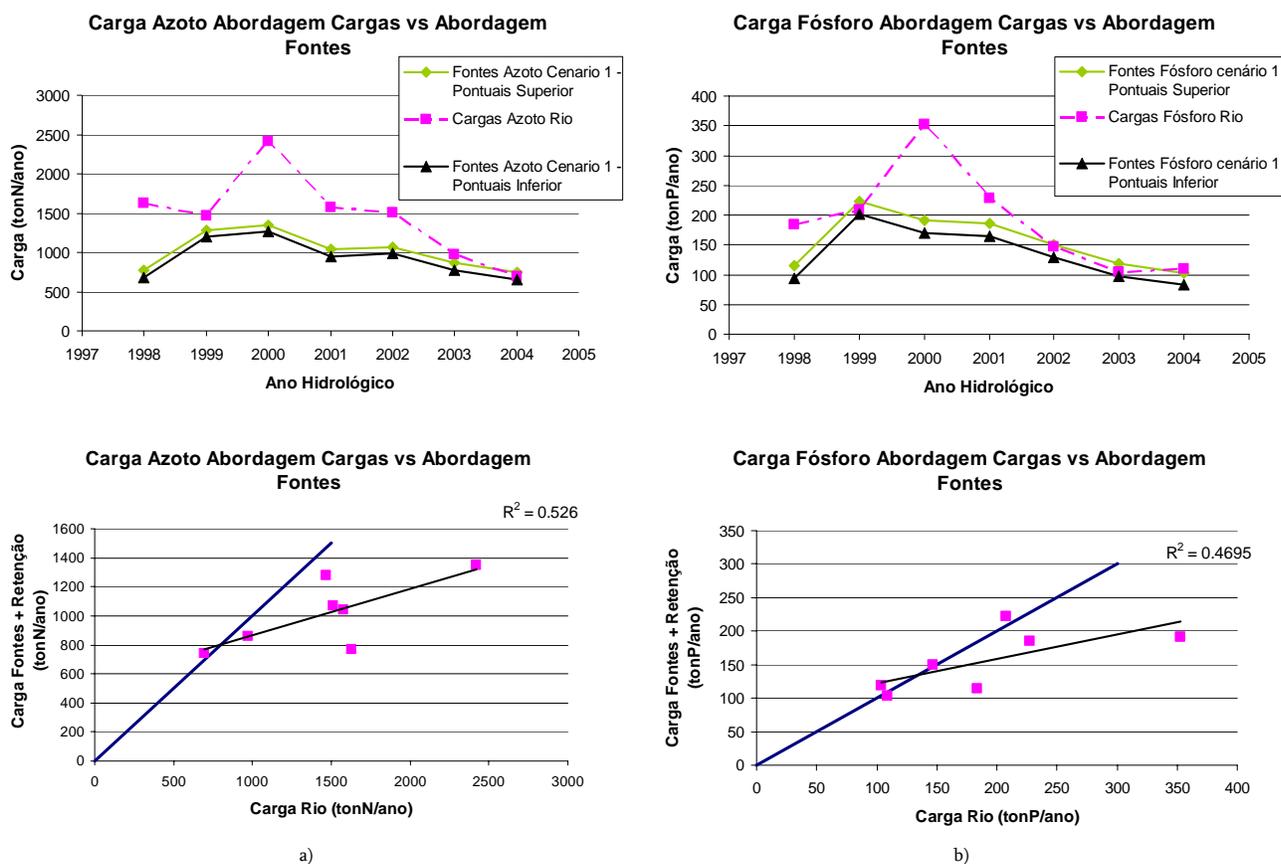


Figura 63. Comparação anual da abordagem das cargas e das fontes (ton/ano) para a bacia do Trancão. a) Cargas de Azoto b) Cargas de Fósforo. Nota: nas figuras da base, as linhas a azul são as rectas em que a carga estimada = carga rio.

É interessante notar que em 2004, ano seco, a carga descarregada pela ETAR de Frielas (cerca 700 tonN e cerca de 90 tonP) é semelhante à carga medida na estação de Resinga (cerca de 600 tonN e de 100 tonP). Este resultado está de acordo com o facto de as fontes difusas calculadas pelo modelo SWAT serem da ordem de 4% do total das fontes nesta sub-bacia. Se a retenção fosse nula neste troço e os cálculos não tivessem erro a carga medida na estação de Resinga deveria ser superior à descarregada por Frielas. O facto de ser inferior mostra que existe algum erro na estimativa da carga descarregada pela ETAR e/ou na estimativa da carga transportada pelo rio. Isto significa que se admitirmos que a carga descarregada pela ETAR de Frielas é igual à carga medida na Estação de Monitorização de Resinga cometemos um erro que é da ordem de grandeza do erro da carga do rio nesta estação. Fazendo esta aproximação poderemos analisar

um cenário em que principal fonte pontual passa a ter variabilidade interanual<sup>25</sup> igual à medida em Resinga. A Figura 64 apresenta a comparação das cargas neste cenário. Neste caso os valores para toda a bacia calculados pelo métodos das fontes e das cargas são semelhantes, sendo o coeficiente de correlação 0.89 para o azoto e 0.90 para o fósforo, enquanto que no cenário de carga constante da ETAR eram de 0.53 e 0.47, respectivamente. Admitindo o cenário de carga variável como o mais correcto, foram calculados novos valores para as cargas pelo método das fontes, tendo-se obtido 1232 tonN/ano e 202 tonP/ano, que comparam muito melhor com os valores calculados a partir das medidas nos rios (diferenças de 16% para o azoto e de 6% para o fósforo em relação às medidas).

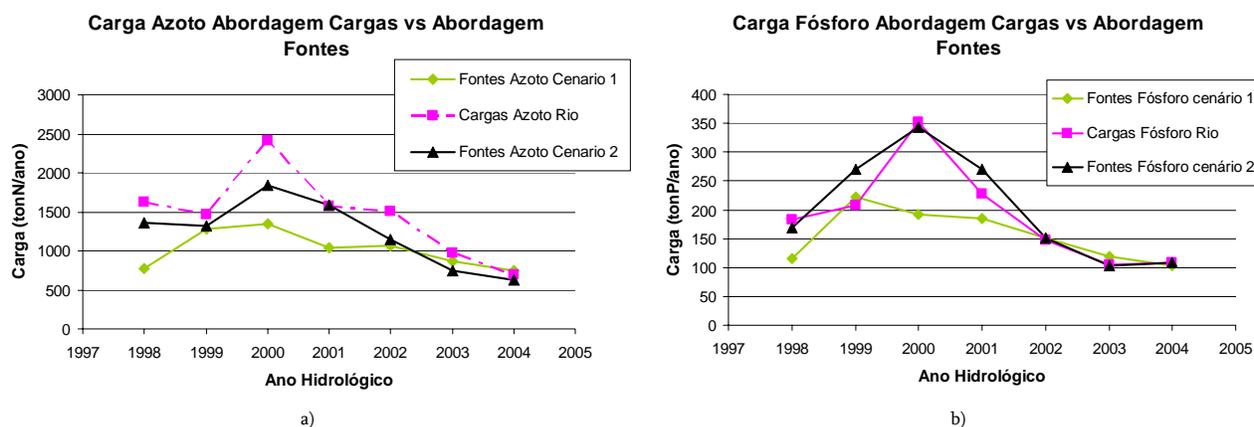


Figura 64. Comparação anual da abordagem das cargas e das fontes (ton/ano) para a bacia do Trancão no cenário 1 (cargas pontuais constantes) e cenário 2 (cargas pontuais com variabilidade). a) Cargas de Azoto b) Cargas de Fósforo.

### 3.7.4 Conclusões

A aplicação das *Guidelines* da OSPAR permitiu determinar as cargas de nutrientes descarregadas pelas bacias do Trancão e do Cuco e pôr em evidência a importância relativa das diferentes fontes, especialmente das urbanas - maioritariamente de origem doméstica - e das difusas, maioritariamente de origem agrícola. Assim poderemos dizer que:

<sup>25</sup> É conhecida a variabilidade das descargas das ETAR em função do regime pluvial. No entanto a série temporal de dados de Frielas ainda não a permite caracterizar.

- As cargas de origem pontual urbana (ETAR) representam 50% a 75% das fontes de azoto e 45% a 77% das fontes de fósforo na bacia do Trancão, enquanto que na bacia do Cuco as cargas de azoto são sobretudo de origem difusa, representando as cargas pontuais urbanas menos de 10% das fontes;
- As cargas domésticas com origem em alojamentos não ligados a sistemas de águas residuais representam de 6% a 13% das fontes de azoto na bacia do Trancão. Na bacia do Cuco variam de 8% a 23% das fontes de azoto, embora a carga seja reduzida (8 tonN/ano e 1 tonP/ano). Os valores percentuais mais elevados correspondem a anos secos onde as outras fontes são menos importantes.
- De acordo com o RGA, a carga de origem animal na bacia do Trancão é elevada (1600 tonN/ano). Esta carga foi incluída no modelo SWAT como fertilizante orgânico e admitindo que a fertilização química é a mínima necessária para complementar esta.
- As cargas de azoto descarregadas pela bacia do Trancão no Estuário do Tejo variam muito com o ano hidrológico, sendo tipicamente da ordem das 1000 tonN/ano e das 150 tonP/ano, enquanto que no Cuco são inferiores a 100 tonN/ano e a 9 tonP/ano.
- A comparação da abordagem das fontes e da abordagem das cargas na bacia do Trancão mostrou que é fundamental considerar a variabilidade inter-anual das cargas das ETAR, de modo a ter em consideração as condições hidrológicas.
- Eventos extremos de erosão, quer ao nível da bacia quer ao nível do leito do rio, poderão também estar na origem das elevadas cargas de nutrientes medidas no rio em anos húmidos. A erosão na bacia requer maior conhecimento.
- O facto de a ETAR de Frielas descarregar na zona terminal da bacia do Trancão e de representar mais de 90% das cargas pontuais urbanas torna o nível trófico na bacia pouco dependente das fontes urbanas pontuais, por estas serem desviadas dos rios através dos sistemas interceptores que conduzem as águas residuais às ETAR.

Este trabalho permitiu quantificar a importância relativa das fontes pontuais e difusas de nutrientes nas bacias do Cuco e do Trancão e mostrou que os aspectos ligados à agricultura são aqueles onde há mais falta de conhecimento. Como conclusão principal poderemos dizer que em nenhuma das bacias as fontes pontuais urbanas de nutrientes são relevantes para as cargas que chegam à rede de drenagem. No Cuco são pouco relevantes porque a carga gerada é baixa e no Trancão são pouco relevantes porque a maioria da carga é transportada para a ETAR de Frielas, que descarrega na zona terminal da bacia. No entanto as fontes urbanas difusas parecem ser determinantes para as concentrações medidas nos rios, que são

fundamentais para a avaliação da qualidade da água. Com efeito pequenas cargas descarregadas em situações de baixo caudal originam concentrações elevadas. Se a contaminação fosse exclusivamente de origem agrícola, as concentrações seriam elevadas durante os eventos de chuva, mas baixariam rapidamente após o termo do evento. As concentrações medidas não baixam devido às descargas urbanas. A irradicação dessas descargas é por conseguinte fundamental para a boa qualidade da água nos rios.

### 3.7.5 Trabalho Futuro

A aplicação das *Guidelines Harpnut* da OSPAR permitiu caracterizar a importância relativa das várias fontes de nutrientes, mas não permite responder ao detalhe do que acontece em cada ponto de espaço e em cada instante de tempo. Esta aplicação permitiu ainda pôr em evidência lacunas de conhecimento em termos de uso de solo, práticas agrícolas e ainda em termos de adequação do programa de monitorização da qualidade da água nos rios, que apresenta grande variabilidade, variando as concentrações mensais sem um padrão bem definido.

O modelo SWAT permite calcular as fontes de origem agrícola recorrendo a uma malha grosseira. Os resultados obtidos mostram concentrações dentro da gama medida, com grandes variações em função do regime de precipitação. O modelo mostra que as concentrações sobem muito quando chove, mas são baixas durante os períodos de baixo caudal. Nestes períodos as concentrações medidas têm grande variabilidade, sendo normalmente superiores às dadas pelo modelo. Esta diferença põe em evidência a importância das fontes urbanas de origem difusa, cuja existência é responsável pelo aumento da concentração, que sobe para valores que dependem da descarga e do caudal no rio.

A análise das concentrações medidas no rio sem ter em consideração os caudais sugeriria que as cargas calculadas através dos dados das estações de monitorização fossem ordens de grandeza superiores às cargas de origem difusa. Na realidade não são porque as concentrações tendem para valores máximos quando os caudais dos rios são mínimos. As séries temporais medidas põem em evidência os benefícios da entrada em funcionamento da ETAR de Frielas, especialmente a partir do ano de 2001.

Assim, em termos de trabalho futuro, recomenda-se o refinamento do modelo de simulação que deve de evoluir para um modelo detalhado do rio e da bacia, do tipo do MOHID Land. Este modelo está completamente operacional em termos de hidrologia e em termos de processos no leito do rio, estando em curso o desenvolvimento dos módulos de mineralização da matéria orgânica no solo e de crescimento de plantas.

Na bacia do Trancão o refinamento do trabalho de modelação é a primeira prioridade, enquanto que na bacia do Cuco a modelação deve desenvolver-se em paralelo com a implementação de uma estação hidrométrica para produção de dados para validação do modelo hidrológico. A instalação de uma estação de monitorização da qualidade da água é menos importante uma vez que a generalidade da carga é de origem agrícola e por isso está associada a eventos de pluviosidade difíceis de monitorizar na base de campanhas mensais.

## 4 Modelação da Costa Oceânica

A circulação oceânica na zona das ribeiras do oeste é induzida pela maré, pelo vento e pela densidade, dependendo através destes últimos da circulação de larga escala. O seu estudo deve por conseguinte ser baseado num modelo local encaixado num modelo de maior escala. A modelação na zona oceânica é feita com o modelo MOHID, desenvolvido no IST, usando uma metodologia de modelos encaixados para passar da escala regional para a escala local. Descreve-se de seguida a metodologia utilizada para a simulação de larga escala, fazendo referência ao tipo de informação necessário e apresentando alguns resultados preliminares da sua implementação.

### 4.1 Forçamento oceânico

No seguimento dum contrato de colaboração com a Empresa Francesa Mercator-Océan, são fornecidos semanalmente a esta equipa uma extracção das soluções do modelo operacional do oceano Atlântico Norte, PSY2v2r1, do grupo Mercator-Océan, e que consistem em previsões a 14 dias. A solução operacional PSY2v2r1 do Atlântico Norte apresenta um padrão de circulação da hidrodinâmica – forçada pelo vento e pelas diferenças de densidade no oceano – realista ao largo da costa portuguesa, incluindo a influência das águas mediterrânicas (Drillet 2005). Resume-se na seguinte lista as suas principais características, descritas mais extensamente na página web: [http://w3.mersea.eu.org/html/ocean\\_modelling/psy2v2\\_overview.html](http://w3.mersea.eu.org/html/ocean_modelling/psy2v2_overview.html).

- Modelo tridimensional, baroclínico de tampa rígida<sup>26</sup>,
- Previsões a 14 dias,
- Resolução horizontal de 1/15º, i.e. 5 a 7 km,
- 43 camadas em coordenada z-genérica na vertical,
- Assimilação de dados in-situ, da anomalia do nível do mar e da temperatura à superfície,
- Descargas de água doce oriundas de 24 rios.
- Forçamento atmosférico diário pela solução do ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast).

---

<sup>26</sup> Não simula a maré.

- Os outputs fornecidos são médias diárias da salinidade (S), temperatura (T), velocidade zonal (U), velocidade meridional (V) e nível.

Na Figura 65 mostra-se a batimetria da extracção da solução PSY2v2r1 fornecida pelo sistema Mercator.

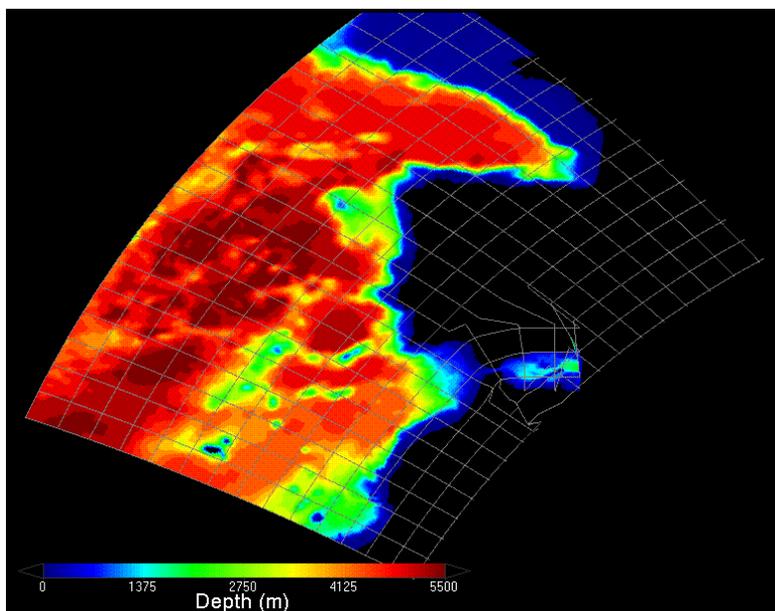


Figura 65. Batimetria da extracção da solução PSY2v2r1 de Mercator-Océan, resolução de 1/15° (5 a 7 km).

## 4.2 Forçamento atmosférico

O forçamento atmosférico utilizado na modelação da costa oceânica recorre ao mesmo sistema operacional utilizado na modelação do Estuário do Tejo, desenvolvido e mantido no Instituto Superior Técnico sob coordenação do Prof. Delgado Domingos, cujos resultados podem ser consultados em <http://meteo.ist.utl.pt>. Segue-se resumidamente uma descrição do modelo de forçamento atmosférico e apresenta-se na Figura 66 a topografia dos três domínios sobrepostos:

- Modelo MM5,
- Previsões a 7 dias,
- 3 domínios aninhados desde a península Ibérica até Portugal com resoluções horizontais de 81, 27 e 9 km,
- 25 camadas na vertical,

- Os outputs são médias horárias dos ventos a 10 metros da superfície do nível do mar, da radiação solar, do calor latente e sensível à superfície do nível do mar, da precipitação e da cobertura das nuvens.

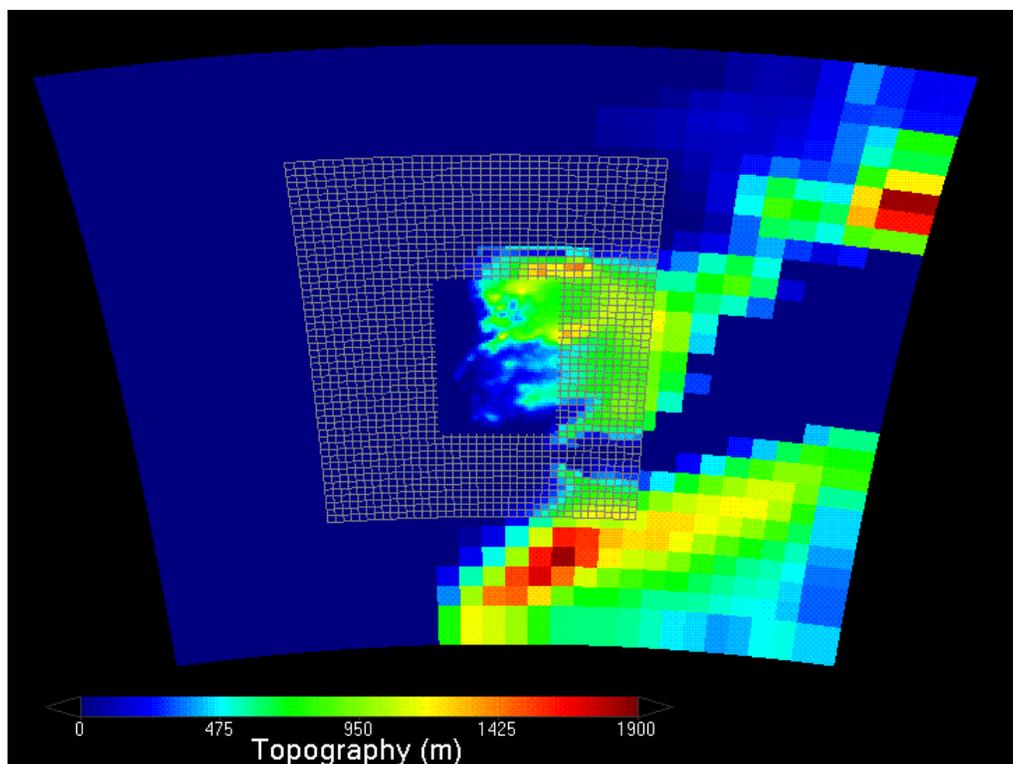


Figura 66. Topografias sobrepostas dos três domínios do modelo operacional atmosférico MM5 utilizado. Resoluções horizontais respectivas de 81, 27 e 9 km.

### 4.3 Forçamento pela maré

Dado que o modelo de Mercator-Océan, a solução PSY2v2r1, ser um modelo de tampa rígida, ele torna-se pouco apropriado para ter uma solução de maré realista. Por isso, optou-se por implementar o modelo MOHID numa versão 2D barotrópica para a costa portuguesa com forçamento de maré dado pelas componentes harmónicas da solução do FES2004 cuja solução de nível é adicionada à solução do Mercator na fronteira. A batimetria do ETOPO 2' do modelo está ilustrada na Figura 67, a malha horizontal tem uma resolução de  $0.06^\circ$  ou 6.5 km, tem uma única camada sigma na vertical e o seu domínio estende-se na longitude de  $-13.7^\circ$  a  $-5.3^\circ$  O, e na latitude de  $33.5^\circ$ N a  $46.1^\circ$  N. Como condição de fronteira aberta usa um esquema de radiação de nível descrito em Blumberg 1985, usando os resultados do FES2004 como solução externa. A força do gradiente de nível é activada lentamente sobre 5 períodos inerciais (cerca de 4 dias). Para dissipar as oscilações espúrias de alta-frequência é usado um filtro biharmónico de  $1E9$  m<sup>4</sup>/s.

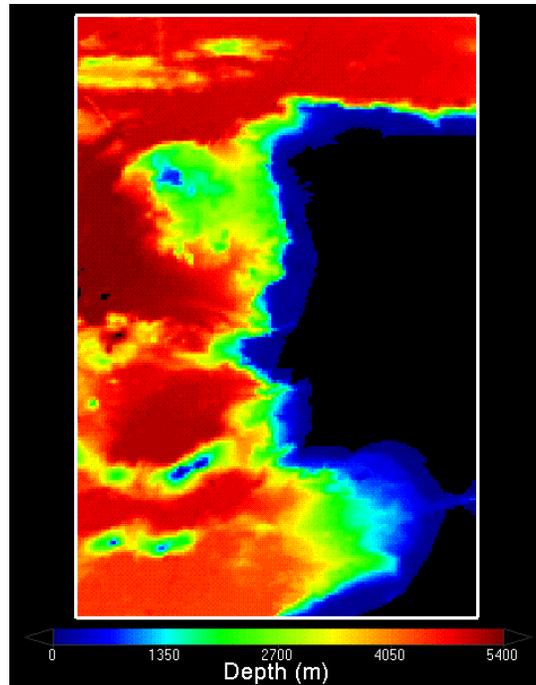


Figura 67. Batimetria do domínio bidimensional da costa portuguesa obtida por interpolação bilinear dos dados de base do ETOPO 2'.

#### 4.4 Modelo da costa portuguesa

Pretende-se, com um modelo tridimensional baroclínico para a costa portuguesa, sobrepor as soluções oriundas dos modelos PSY2v2r1 e FES2004, e forçá-las com ventos de média e fina escala. O modelo da costa portuguesa tem uma resolução semelhante à resolução do modelo PSY2v2r1 de  $0.06^\circ$  ou 6.5 km, com 42 camadas verticais lagrangianas (introduzidas por Martins 1999). O domínio estende-se na longitude de  $-12.6^\circ$  a  $-5.5^\circ$  W, e na latitude de  $34.4^\circ$  a  $45.0^\circ$  N. A batimetria é também oriunda dos dados de base do ETOPO 2' e está ilustrada na Figura 68. Como condições de fronteira aberta usa-se um esquema de radiação do nível descrito por Flather 1974, onde se usa como solução de referência a sobreposição linear do modelo bidimensional com a solução PSY2v2r1. Também se aplica um esquema de relaxamento como descrito por Martinsen e Engedahl 1987 a S, T, U e V, usando como referência a solução PSY2v2r1 do Mercator. Como forçamento na superfície usam-se os ventos do modelo MM5, activados lentamente sobre 6 períodos inerciais (cerca de 5 dias) assim como o forçamento radiativo atmosférico (calor). Para filtrar as oscilações espúrias de alta-frequência usou-se novamente um filtro biarmónico de  $1E10$  m<sup>4</sup>/s. Simulou-se a descarga de água fresca em proveniência do estuário do Tejo com uma estimativa da média anual do caudal baseada em dados de 2004 do INAG. Para condições iniciais de S et T, usou-se uma interpolação bilinear simples dos campos da solução PSY2v2r1.

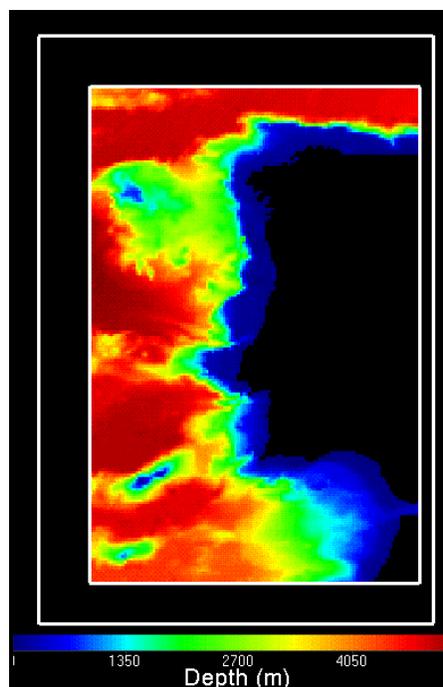


Figura 68. Batimetria do domínio tridimensional da costa portuguesa obtida por interpolação bilinear dos dados de base do ETOPO 2', aninhada dentro do domínio bidimensional.

## 4.5 Modelo da Estremadura

Para se ter um ganho na variabilidade da meanderização de frentes, de acordo com Stevens 2000, é necessário atingir uma resolução inferior a 3 km na zona da costa portuguesa. Para atingir esse objectivo, fez-se o downscaling da solução anterior para um domínio regional na Estremadura que se situa na longitude de  $-11.18^\circ$  a  $-8.78^\circ$  O, e na latitude de  $37.5^\circ$  a  $40.5^\circ$  N. O modelo possui uma resolução horizontal de  $0.02^\circ$ , ou seja cerca de 2.2 km e é igualmente tridimensional e baroclínico. A batimetria foi gerada a partir dos dados de base do ETOPO 2' e está ilustrada na Figura 69. Para facilitar o downscaling com o modelo pai, usaram-se também as mesmas 42 camadas verticais lagrangianas que no modelo tridimensional para a costa portuguesa. Tanto os forçamentos atmosféricos como as condições de fronteira aberta e condições iniciais são idênticos, excepto na solução de referência da radiação de Flather onde apenas se usa o nível do modelo pai da costa portuguesa. Também as soluções externas do esquema de relaxação são S, T, U, V e nível do modelo pai.

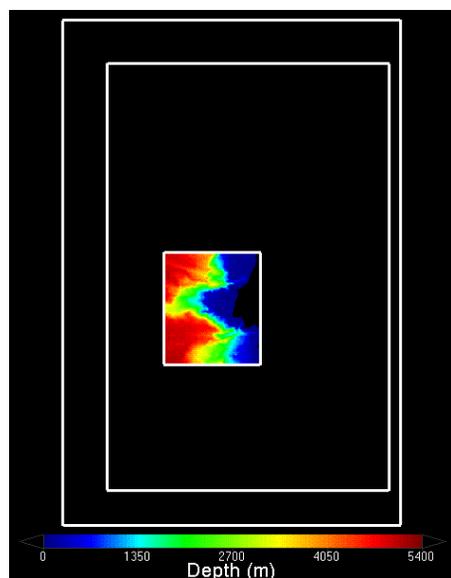


Figura 69. Batimetria do domínio tridimensional da costa portuguesa obtida por interpolação bilinear dos dados de base do ETOPO 2', aninhada dentro do domínio bidimensional.

## 4.6 Resultados

Os resultados obtidos do modelo têm sido concordantes com o que se possa esperar das características da circulação ao largo da costa Portuguesa (Coelho 2002). À superfície, temos uma corrente persistente induzida pelo forçamento dos ventos em direcção a Sul (Figura 70) que contrasta com a corrente do talude que flui para norte abaixo da superfície (Figura 71). A recirculação da corrente das Canárias e da corrente dos Açores no golfo de Cádiz está bem patente à superfície (Figura 70) como abaixo da superfície (Figura 71).

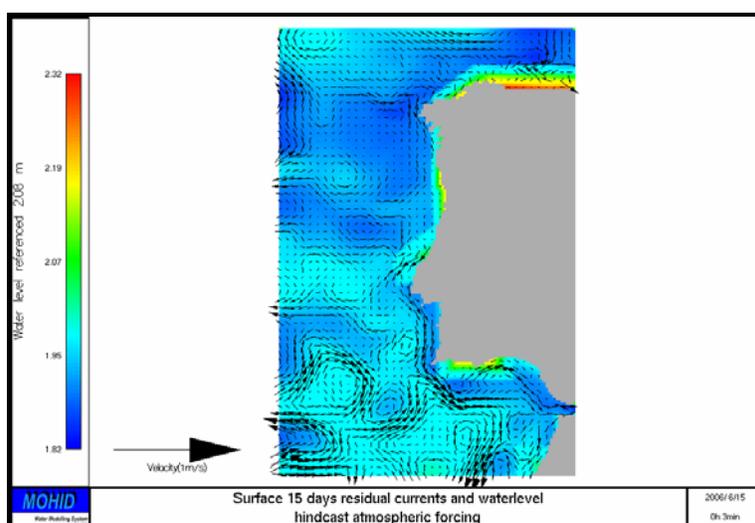


Figura 70. Correntes residuais de superfície de 15 dias e nível da água para o domínio da costa portuguesa em Junho de 2006. O nível no repouso está a 2.08 m. As velocidades atingem cerca de 15 cm/s.

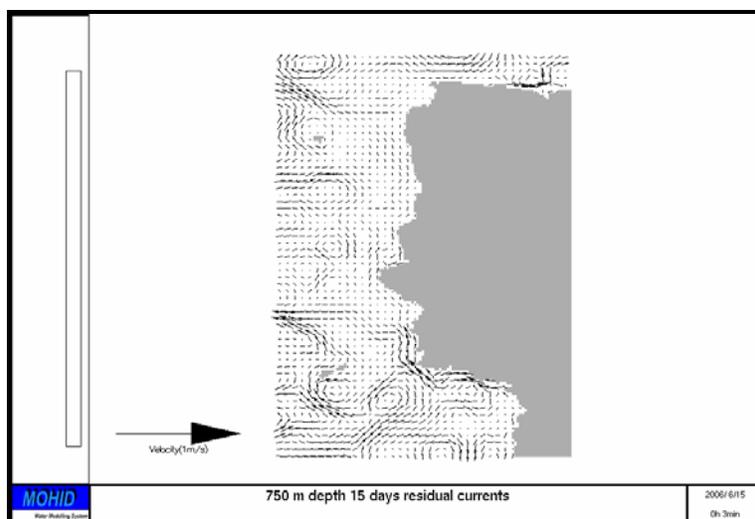


Figura 71. Correntes residuais de 15 dias aos 750 m de profundidade para o domínio da costa portuguesa em Junho de 2006.

Os resultados do MOHID para o modelo 3D baroclínico da costa Portuguesa são em todo semelhantes aos da solução do Mercator interpolada para a malha do mesmo domínio (Figura 72). Dado que ambos os modelos têm aproximadamente a mesma resolução espacial e temporal, tal semelhança seria de esperar. As diferenças surgem pelos seguintes factores por ordem de importância: i) a inicialização das correntes no MOHID “atrasa” o transporte dos campos de densidade; ii) à superfície existe um forçamento no MOHID de ventos de melhor resolução; iii) o efeito da maré sobre o promontório da Estremadura não está bem recriado na solução do Mercator devido à sua batimetria mais grosseira. Já na zona do modelo da Estremadura, temos uma resolução de 2.2 km, pelo que um ganho substancial na variabilidade das estruturas que se formam nas frentes, tais como filamentos e jactos, torna-se visível (Figura 72 e Figura 73).

A dia 10 de Junho de 2006 foi possível obter da NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) uma imagem de satélite de temperatura à superfície num dia quase sem cobertura de nuvens. Quando comparada lado a lado com resultados à superfície do Mercator e do MOHID, na Figura 73, podemos ver o ganho de exactidão que o MOHID acresce à solução do Mercator devido ao seu campo de ventos, ao efeito da maré, e à sua resolução acrescida no modelo da Estremadura.

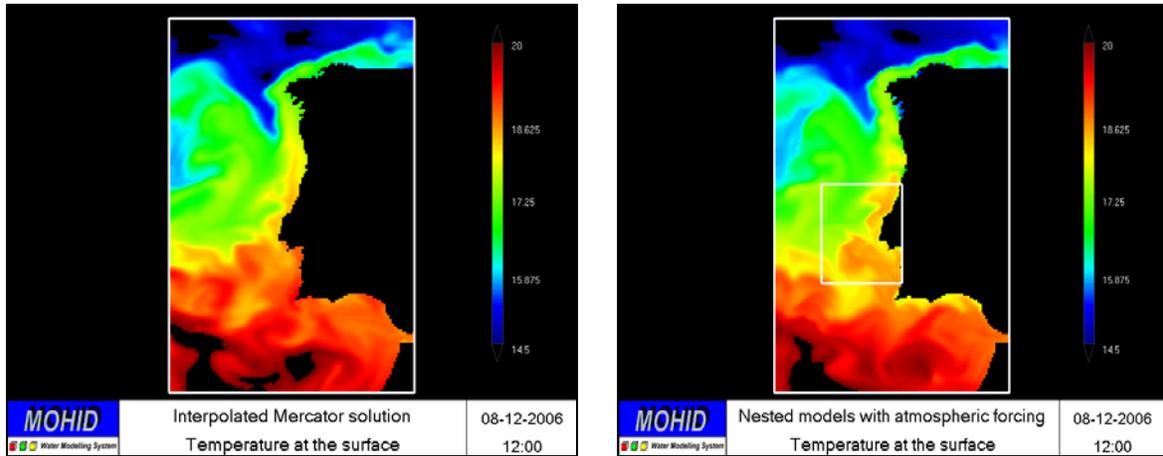


Figura 72. Distribuição de Temperatura à superfície: solução do Mercator PSY2r2v1 interpolada para a malha do domínio baroclínico da costa portuguesa (à esquerda) vs. resultados do MOHID dos modelos baroclínicos da costa portuguesa e da Estremadura sobrepostos (à direita).

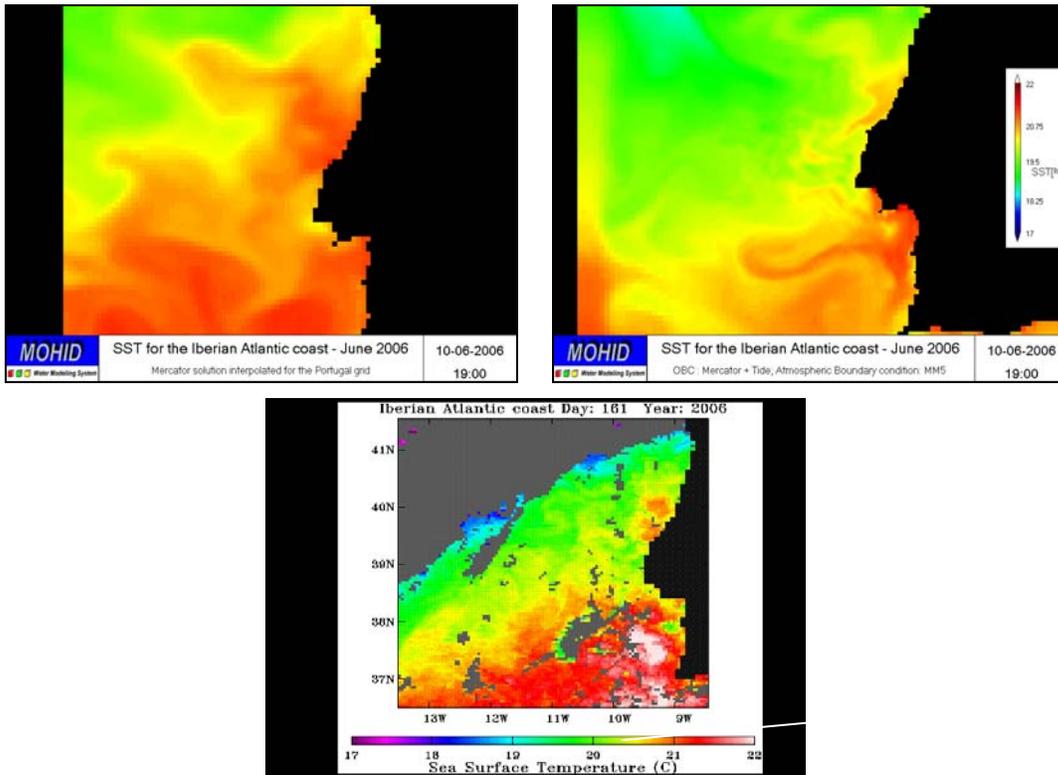


Figura 73. Distribuição de Temperatura à superfície: solução do Mercator PSY2r2v1 interpolada para a malha do domínio baroclínico da costa portuguesa (à esquerda em cima) vs. resultados do MOHID dos modelos baroclínicos da costa portuguesa e da Estremadura sobrepostos (à direita em cima) vs. imagem de satélite de temperatura à superfície (em baixo).

## **4.7 Estado actual e trabalho futuro**

O sistema encontra-se actualmente em estado pré-operacional i.e. os processos de obtenção das soluções de forçamento, de interpolação para os domínios das mesmas, de execução da simulação e de divulgação dos seus resultados estão automatizados e o modelo tem retornado regularmente resultados em modo de previsão. No futuro o trabalho será dedicado à validação usando dados in situ e imagens de satélite. Será ainda aprofundada a análise comparativa dos resultados do modelo MOHID com os resultados do modelo Mercator, para por em evidência os benefícios do refinamento da solução junto à costa e da adição do efeito de maré.

## 5 Organização e Gestão de Dados

A par do desenvolvimento de modelos e ferramentas tecnológicas de suporte à operacionalização de modelos, também na área das bases de dados e ferramentas de visualização de dados os desenvolvimentos são contínuos. O sistema de armazenamento de dados da SIMTEJO existente em anos anteriores foi recentemente actualizado tanto nos inferiores de armazenamento e gestão de informação como ao nível das interfaces gráficas que permitem pesquisa sobre a informação. Na base do sistema encontra-se um servidor de base de dados POSTGRESQL – um servidor base de dados com mais de 15 anos de desenvolvimento e aplicações em ambientes empresariais. A escolha deste gestor de base de dados prende-se com a ausência de licenças, robustez e capacidades de pesquisa espaciais graças à extensão POSTGIS. Esta extensão permite que este tipo de base de dados armazene objectos geográficos abrindo caminho para um sistema de informação geográfica completamente contido ao nível do armazenamento de dados, de forma muito semelhante às extensões SDE da ESRI ou a “Spatial extension” da Oracle.

Sobre este servidor foi implementada a estrutura de base de dados utilizada pelo sistema anterior, onde a principal entidade é o conceito “Amostra”. Uma amostra ocorre num ponto a dada data e pode ter uma ou mais análises associadas. Cada análise incide sobre um parâmetro, efectuada num determinado laboratório, e à qual está associado um resultado. A Figura 74 representa de uma forma esquemática a estrutura descrita. O facto de cada ponto onde ocorre uma amostra e consequentemente uma análise ser armazenado como um objecto geográfico permite se pretendido pesquisas sobre distâncias, intersecções, áreas.

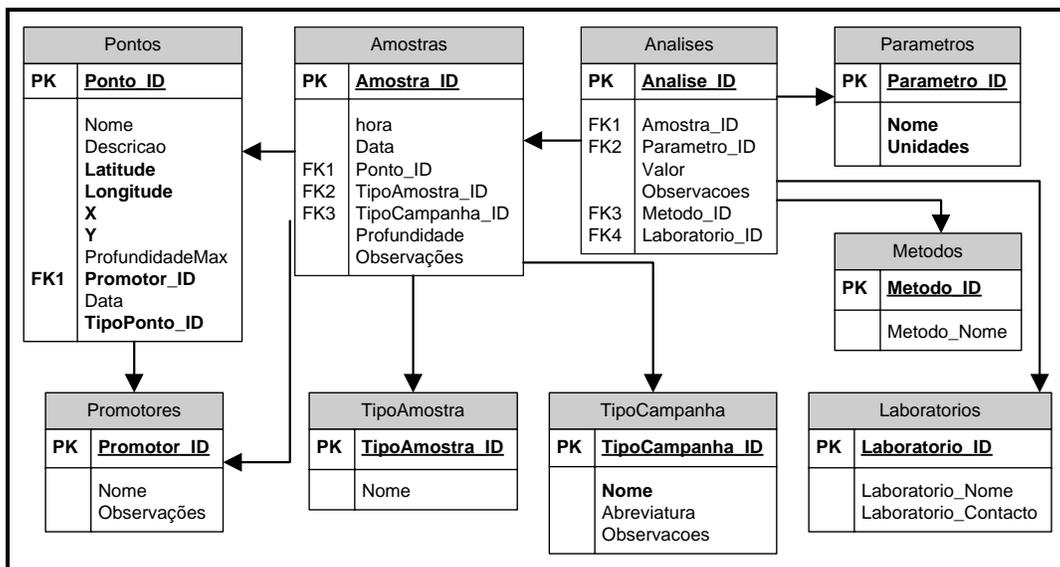


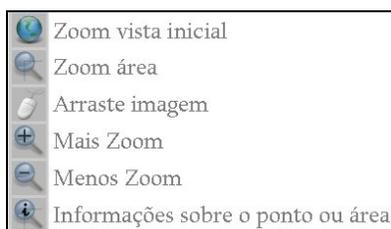
Figura 74. Estrutura utilizada no armazenamento de dados de campo.

A visualização da informação contida na base de dados foi também alvo de uma reestruturação profunda de forma a ultrapassar algumas limitações do sistema anterior. O facto de neste momento toda a informação, mesmo a informação geográfica ser administrada por um gestor de base de dados permite uma maior flexibilidade ao nível de pesquisa de informação.

A representação gráfica da informação ficou, como aliás no sistema anterior, a cargo de uma aplicação “Open Source” conhecido por MAPSERVER. Esta aplicação permite gerar imagens com representação geográfica a partir de inúmeros formatos, incluindo a ligação directa a uma base de dados POSTGIS. Seguindo esta filosofia foi desenvolvida uma nova aplicação gráfica baseada na tecnologia AJAX e asp.net na plataforma DOTNET. A tecnologia AJAX (acrónimo em língua inglesa de Asynchronous Javascript And XML) consiste no uso sistemático de Javascript, XML e derivados para tornar o navegador mais interactivo com o usuário, servindo-se de solicitações assíncronas de informações. Efectivamente este tipo de tecnologia permite actualizar informação apenas em parte do ecrã sem ser necessário carregar todas a informação presente numa página de Internet, permitindo, por exemplo apenas actualizar a informação acerca de análises num ponto sem ter de carregar toda a página, incluindo gráficos.

A tecnologia asp.net foi utilizada para gerir o restante tráfego de informação e encapsular todo o sistema em controlos. O facto de o sistema se encontrar encapsulado em controlos permite que seja implementado em qualquer página Internet que esteja alojada num servidor que se encontre preparado para asp.net 2.0 e tenha acesso à base de dados. Esta metodologia permite abstrair o design da página do fardo de comunicação com a estrutura de dados.

Existem neste momento três controlos desenvolvidos: (i) navegador de mapas; (ii) estrutura de selecção de parâmetros, datas e imagem de fundo; (iii) tabela de representação de valores alfanuméricos. Apenas o primeiro controlo é completamente independente ou seja, pode ser implementado sem nenhum dos restantes. É através do controlo de navegação que o utilizador pode interagir com o mapa apresentando, fazendo as operações usuais em mapas, ilustradas na Figura 75.



**Figura 75. Operações possíveis no controlo de navegação.**

O controlo de selecção de parâmetros é bastante simples, consistindo numa lista ordenada de parâmetros e um selector de datas. Os parâmetros seleccionados serão representados nas datas escolhidas. A informação

base a visualizar é também neste controlo seleccionada e actualmente permite optar por representar a linha de costa, imagem de satélite, a localização das ETAR existentes, bacias hidrográficas, municípios e anda as localidades. A Figura 76 representa a operação de selecção das datas, parâmetros e informação base a ser visualizada.

[MOSTRAR RESULTADOS](#)  
[ENTRE AS DATAS SELECIONADAS](#)  
 DATA INICIAL  
  
 DATA FINAL  
  
[ACTUALIZAR IMAGEM COM AS](#)  
[OPÇÕES SELECIONADAS](#)  
 IMAGEM SATELITE  
 LINHA DE COSTA  
 ETAR  
 BACIAS HIDROGRÁFICAS  
 CONCELHOS  
 LOCALIDADES  
 ÁGUA

ÁGUA  
 AZOTO AMONIACAL (NH4)  
 AZOTO KJELDHAL (N)  
 AZOTO ORGÂNICO  
 AZOTO AMONIACAL (N)  
 BACTÉRIAS COLIFORMES  
 BACTÉRIAS COLIFORMES TERMOTOLERANTES  
 CBO5  
 CQO  
 CARBONO ORGÂNICO TOTAL  
 CHUMBO TOTAL (Pb)  
 CLOROFILA A  
 COBRE TOTAL (Cu)  
 CRÓMIO TOTAL (Cr)  
 CÁDMIO TOTAL (Cd)  
 DETERGENTES  
 E. COLI  
 ENTEROCOCCOS INTESTINAIS  
 FÓSFORO TOTAL (P)  
 HIDROCARBONETOS  
 NITRATOS (N)  
 NITRATOS (NO3)  
 NITRITOS (N)  
 NITRITOS (NO2)  
 OXIGÊNIO DISSOLVIDO  
 SALINIDADE  
 SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS  
 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST)  
 SÓLIDOS TOTAIS  
 TEMPERATURA  
 TURBIDEZ  
 ZINCO TOTAL (Zn)  
 PH  
 ÓLEOS & GORDURAS

Figura 76. Controlo de pesquisa de datas e parâmetros a visualizar.

A actualização da imagem com as opções seleccionadas anteriormente apresenta-se na Figura 77. Para obter informação sobre os dados existentes nesses pontos pode-se accionar a operação de informação do controlo de navegação e a tabela correspondente aparecerá, seguida de uma opção de *download* da informação em ficheiro *.xls*, Figura 78.

Apesar de carecer ainda de alguns melhoramentos ao nível da visualização dos dados, a actual aplicação permite assim não só pesquisar entre os dados disponíveis como também exportar em formato Excel que permite um mais rápido acesso a dados, facilitando o seu tratamento e análise.



Figura 77. Visualização das estações que correspondem ao resultado das opções seleccionadas.



Figura 78. Resultado da pesquisa efectuada: tabela de valores obtidos nas campanhas de amostragem.

## Referências Bibliográficas

- A. van Dijk, L. Bruijnzeel – Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. *Journal of Hydrology*, 2001
- Beeson P., Martens, S, Breshears, D. - Simulating overland flow following wildfire: mapping vulnerability to landscape disturbance., *Hydrological Processes*, 2001.
- Blumberg, A.F. and L.H. Kantha, 1985. Open boundary condition for circulation models. *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, 111, 237-2555.
- Coelho Hs, Rjj Neves, M. White, Pc Leitão and Aj Santos. A model for ocean circulation on the Iberian coast *Journal of Marine Systems* (2002); 32: 153-179.
- Drillet, Y., Bourdallé-Badie, R., Siefridt, L., Le Provost, C., 2005, Meddies in the Mercator North Atlantic and Mediterranean Sea eddy-resolving model, *Journal of Geophysical Research*, VOL. 110, C03016, doi:10.1029/2003JC002170.
- Feddes, R., H. Hoff, M. Bruen, T. Dawson, P. Rosnay, P. Dirmeyer, R. Jackson, P. Kabat, A. Kieldon, A. Lilly, A. Pitman – Modelling Root Water Uptake in Hydrological and Climate Models, *American Meteorological Society*, 2001
- Flather, R.A., A tidal model of the northwest European continental shelf, *Mem. Soc. R. Sci. Liege*, 6 (10), 141-164, 1976.
- Fohrer, N; Eckhardt, K.; Haverkamp, S.; Frede, H.G. (2001) - Applying the SWAT Model as a Decision Support Tool for Land Use Concepts in Peripheral Regions in Peripheral Regions in Germany. Pages 994-999 *Sustaining Global Farm. Papers from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organisation Meeting*.
- Gonçalves M.C., Reis L.C.L & Pereira M.V. 2005. Progress of Soil Survey in Portugal. European Soil Bureau - Research Report 9.. [http://eu-soils.jrc.it/ESDB\\_Archive/eu-soils\\_docs/esb\\_rr/n09\\_soilresources\\_of\\_europe/Portugal.pdf](http://eu-soils.jrc.it/ESDB_Archive/eu-soils_docs/esb_rr/n09_soilresources_of_europe/Portugal.pdf)
- Horn, A.L.; Rueda, F.J.; Heormann, G.; Fohrer, N. (2004) - Implementing river water quality modelling issues in mesoscale watershed models for water policy demands - an overview on current concepts, deficits, and future tasks. *Physics and Chemistry of the Earth* 29 725-737.
- Martins, F., R. Neves, P.C. Leitão, and A. Silva, 3D modeling in the Sado estuary using a new generic coordinate approach, *oceanologica Acta*, 24, S51-S62, 2001.
- Martinsen, E.A., and H. Engedahl., Implementation and testing of a lateral boundary scheme as an open boundary condition in a barotropic ocean model, *Coastal Engineering*, 11, 603-627, 1987.
- Mata, A. M.; Martins, C. M.; Cortez, M. C. (1998) - Situação actual da gestão do regulamento de descarga de águas residuais industriais do município de Loures; Comunicação no Congresso da Água 1998, APRH
- Metcalf and Eddy (1991) - *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse*. 3rd edition, McGraw-Hill Int. Ed., Singapore, pp. 692-695.
- OSPAR (2001) - Framework and Approach of the Harmonised Quantification and Reporting Procedures for Nutrients (HARP) <http://euroharp.org/rl/guidelines>
- Panday, S and Huyakorn, P. – A fully coupled physically-based spatially distributed model for evaluating surface/subsurface flow. *Advances in Water Resources*, 2004.
- Reungsang, P.; Kanwar, R.S.; Jha, M.; Gassman, P.W.; Ahmad, K.; Saleh, A. (2005) - Calibration and Validation of SWAT for the Upper Maquoketa River Watershed. *Working Paper 05-WP 396* June 2005
- S. Kollet, R. Maxwell - Integrated surface-groundwater flow modeling: A free-surface overland flow boundary condition in a parallel groundwater flow model, 2005
- Stevens I., M. Hamann, J. A. Johnson and A.F.G. Fiúza, 2000, Comparisons between a fine resolution model and observations in the Iberian shelf-slope region. *Journal of Marine Systems*, 26 53-74,
- Tanik, A. Beler Baykal, B. and Gonenc, I. E. (1999) - The impact of agricultural pollutants in six drinking water reservoirs. *Water Science and Technology* Vol 40 N° 2 pp 11-17
- Teixeira (2001) - Estratégias para a gestão integrada de águas residuais urbanas, Caso de Estudo – Bacia Hidrográfica do Rio Trancão. Apresentação ENEG 2001.
- The Commission of the European Communities, Directorate General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research. 1985. "Soil Map of the European Communities at 1:1 000 000." The Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-825-5427-9, L-2985 Luxembourg, 124 pages.

van Genuchten, M. T., A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America J., 44, 892-898, 1980.

Valente, F., J. David, J. Gash – Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in Central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. Jornal of Hydrology, 1995

INE (1989) Censo Agrícola, 1989. [www.ine.pt](http://www.ine.pt)

INE (1999) Censo Agrícola, 1999. [www.ine.pt](http://www.ine.pt)

Ministério da Agricultura (1997) “Código de boas práticas agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola.” [http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/PROT\\_TEMAS/F\\_AMBIENTE/MADRPCNT\\_AMB\\_CDGPACT/CODIGO/10ANEXOs.html](http://www.min-agricultura.pt/oportal/extcnt/docs/FOLDER/PROT_TEMAS/F_AMBIENTE/MADRPCNT_AMB_CDGPACT/CODIGO/10ANEXOs.html)