



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Proc. 0605/14/16561

G-TERRA: DIRECTRIZES PARA A GESTÃO INTEGRADA DAS ESCORRÊNCIAS DE ESTRADAS EM PORTUGAL

Relatório da Bolseira de Projecto
Ana Rute Rodrigues de Sousa Vieira

Lisboa • Dezembro de 2010

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 444/2010 – NRE

G-Terra: Directrizes para a Gestão Integrada das Escorrências de Estradas em Portugal

RESUMO

Os recursos hídricos são a base de sustentação de todas as formas de vida na Terra e ecossistemas. Actualmente encontram-se em riscos de escassez, não só em termos de quantidade mas cada vez mais também da sua qualidade, o que cria a necessidade de medidas de controlo da poluição.

O presente relatório congrega o trabalho realizado no âmbito duma bolsa de projecto com a duração de 12 meses e que decorreu no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Esta instituição é a coordenadora do Projecto “G-Terra: Directrizes para uma gestão integrada das escorrências de estradas em Portugal” financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia com a referência PTDC/AMB/64953/2006.

A compreensão dos impactes relativos das escorrências de estradas numa dada massa de água, quando existem outras fontes poluentes, é um elemento importante na decisão a utilizar no seu controlo, quando necessário. Para investigar este aspecto, seleccionou-se a bacia hidrográfica da Albufeira de S. Domingos, perto de Peniche, que é atravessada pelo IP6, Itinerário Principal construído em 2003.

Utilizando ferramentas SIG caracterizaram-se os usos do solo da bacia hidrográfica e verificou-se que estes são essencialmente agrícolas, na sua maioria culturas temporárias.

Analisaram-se os dados de qualidade da água da albufeira, desde 1999 até depois da construção da via e efectuou-se uma campanha de campo no dia 8 de Março de 2010 com o objectivo de confirmar dados do uso do solo e recolher amostras na zona da albufeira que recebe as escorrências do IP6 através da Ribeira da Azenha da Petinga. Os dados de qualidade da água analisados são restritos e dependentes de uma série de variáveis, como a precipitação. Uma análise aos dados do SNIRH indica que parâmetros como a CQO, SST e alguns metais pesados podem ter sofrido alterações devido à construção do IP6.

Para apoiar a compreensão dos impactes relativos das diferentes fontes poluentes, procurou-se um modelo de bacia hidrográfica que pudesse ser aplicado, no universo de modelos da EPA dos EUA e de universidades europeias. Foram seleccionados dois, o BASINS e o WARMF. No entanto, ambos revelaram-se inadequados ao estudo por estarem adaptados às características dos suportes de informação georeferenciada dos EUA.

Como complemento ao estudo, analisou-se a ferramenta de modelação HAWRAT, desenvolvida no Reino Unido que permite a previsão de impactes referentes às escorrências de estradas, com base nas características do meio hídrico receptor, da própria estrada e das condições meteorológicas. Esta ferramenta revelou-se mais apropriada ao estudo, embora não tenha sido possível aplicá-la à albufeira

porque neste momento está preparada apenas para rios. Os resultados da aplicação da HAWRAT à ribeira da Azenha da Petinga revelam que os impactes previstos não são significativos, no entanto é necessário ter em conta que os dados iniciais representam uma situação específica e que a ribeira apresenta uma grande variação de caudais.

ABSTRACT

Water resources are the support for life and ecosystems. Nowadays they are at risk of shortage, not only when it comes to its quantity but also quality issues which demands pollution control measures.

This report gathers the work developed through a 12 months project grant at LNEC (National Civil Engineering Laboratory). This institution is responsible for coordinating the "G-Terra: Directrizes para uma gestão integrada das escorrências de estradas em Portugal" project (G-Earth: Guidelines for integrated road runoff pollution management in Portugal), financed by FCT (Science and Technology Foundation) referenced PTDC/AMB/64953/2006.

Understanding the impact of road runoff on water bodies, when other pollution sources are also present is an important element to account with when it comes to decide how to control it. In order to investigate this aspect, we selected the S. Domingos reservoir, near Peniche, which is crossed by IP6 a main itinerary built in 2003. The reservoir water is used for human consumption.

Using SIG tools, the soil use was identified as being essentially agricultural, mainly with temporary crops.

The S. Domingos water quality data were also analyzed, since 1999 until after the road construction. A field campaign took place on the 8th of March, 2010 in order to confirm the soil use data and collect samples from the reservoir water receiving the IP6 runoff, through the Azenha da Petinga stream. The water quality data analyzed are restricted and depend on several variables, such as precipitation. The SNIRH data indicate that parameters like COD, TSS and some heavy metals may have had an increase due to the operation of the IP6 road.

In order to understand the relative impact of different pollution sources, an applicable watershed model was searched within the USA, EPA models universe as well as within European Universities. Two models were selected, BASINS and WARMF. However, both turned out to be inadequate to this research since they are adapted to the USA georeferenced information characteristics.

The HAWRAT modeling tool was also analyzed. This tool was developed in the UK and allows the prediction of impacts from road runoff, based on the receiving water hydrological characteristics, the road variables and the climate conditions. HAWRAT proved to be the most applicable. However it was not possible to use it to the S. Domingos reservoir since the tool is only prepared for rivers as receiving water body. Applying it to the Azenha da Petinga stream, the HAWRAT revealed that the predicted impacts are not significant. Nevertheless it is necessary to take into account that the data used represent a specific situation and that the stream has a high annual flow variation.

AGRADECIMENTOS PESSOAIS

Este trabalho resulta de uma bolsa individual de projecto e foi desenvolvido com o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (Projecto G-Terra: PTDC/AMB/64953/2006). Além de mim, são autores deste relatório outros participantes do projecto G-Terra.

Pessoalmente, queria agradecer ao Eng.º Nuno Charneca pela valiosa contribuição no fornecimento de *layers* para o levantamento dos usos do solo.

À Escola Superior de Tecnologia de Viseu, pela análise de metais pesados nas amostras de água colhidas na campanha de campo de 8 de Março, sob a supervisão do Professor Pedro Baila Antunes.

Um agradecimento especial a todos os membros do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas a simpatia e o excelente acolhimento que tive desde o primeiro dia de trabalho.

À Sílvia Amaral, ao João Fernandes e ao Gonçalo Jesus pela amizade. É bom chegar ao fim de um ano de trabalho e além da experiência e conhecimento, ganhar também amigos.

O maior agradecimento é para a Ana Estela Barbosa, não só por ter sido uma excelente orientadora, mas também por ter sido professora e Amiga. Sempre disponível, paciente, compreensiva e muito sincera. Muito obrigada Ana!

Por fim, o agradecimento “lá para casa”, a minha, a dos meus pais e a da minha irmã, os que fazem parte de mim e dos quais eu faço parte. Se não estão bem, eu também não estou, por isso este trabalho também é deles.

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA	5
3. ESTADO DA ARTE	7
3.1. Fontes de Poluição	7
3.2. Escorrências pluviais como fonte de poluição difusa	9
3.3. Águas de Escorrência de Estradas	9
3.3. Modelos de Qualidade da Água de Bacias Hidrográficas	14
4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	17
4.1. Localização Geográfica	17
4.2. Caracterização dos usos do solo	18
4.3. Precipitação e escoamento na bacia	19
4.4. Caracterização da rede hidrográfica	21
4.5. Qualidade da água e fontes poluentes	22
4.6. Definição e caracterização da sub-bacia hidrográfica a estudar	24
4.7. Angariação e sistematização de dados caracterizados	26
4.8. Avaliação do potencial impacte das escorrências do IP6 na albufeira de S. Domingos	29
5. APLICAÇÃO DOS MODELOS AO CASO DE ESTUDO	31
5.1. Selecção dos modelos a aplicar	31
5.2. Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS)	32
5.3. Watershed Analysis Risk Management Framework (WARMF)	32
5.4. Highways Agency Water Risk Assessment Tool (HAWRAT)	33
5.5. Aplicação dos modelos seleccionados à área definida	33
6. SÍNTESE E ANÁLISE CRÍTICA DAS TAREFAS DESENVOLVIDAS	37
7. CONCLUSÕES DO PROJECTO	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

ANEXO I _____	49
Modelos analisados para possível aplicação ao caso de estudo _____	49
ANEXO II _____	53
Resumo dos dados de qualidade da albufeira de S. Domingos, da ribeira da Azenha da Petinga e das escorrências do IP6 e valores de referência dos Anexos I e XVIII do D.L. n.º236/98 de 1 de Agosto _____	53
ANEXO III _____	55
Poster apresentado no 14º Encontro Nacional de Saneamento Básico (ENaSB) e Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA) realizado de 26 a 29 de Outubro de 2010 no Porto _____	55

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Contribuição específica da poluição de fontes pontuais e difusas na origem de alguns poluentes nos EUA.	8
Quadro 2 – Gama de concentrações típicas de alguns poluentes existentes em águas de drenagem urbana e estradas.	11
Quadro 3 – Concentrações médias de poluentes em estradas dos EUA monitorizadas em 3 alturas diferentes: 1983, 1995 e entre 1999 e 2000.	12
Quadro 4 – Gama de concentrações de diversos poluentes em águas de escorrência de várias estradas de Portugal monitorizadas entre 1996 e 2009.	13
Quadro 5 – Gamas de valores das águas de escorrência registadas num ponto de amostragem da auto-estrada A23 em 2006.	14
Quadro 6 – Características hidrológicas da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos (excerto das cartas militares 337 e 349 do IGeoE).	18
Quadro 7 – Percentagens de ocupação do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos.	19
Quadro 8 – Dados de escoamento da albufeira de S. Domingos.	21
Quadro 9 – Características da bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga. Dados extraídos de COBA (2001) e do SIG.	26
Quadro 10 – Resultados das análises feitas às águas de escorrência do IP6 numa campanha de amostragem feita em Setembro e Outubro de 2005 e em Fevereiro de 2006.	26
Quadro 11 – Resultados da campanha de amostragem de dia 8 de Março de 2010.	28
Quadro 12 – Medições referentes à ribeira da Azenha da Petinga efectuadas na campanha de campo do dia 8 de Março de 2010	28
Quadro 13 – Coeficiente de determinação (R^2) obtido entre os valores de precipitação médios registados nos 5 (Pp.m 5d) e 2 (Pp.m 2d) dias anteriores à campanha de monitorização de qualidade e no próprio dia da amostragem (Pp. D) e os valores de CQO, CBO ₅ , Cu, NO ₃ ⁻ e SST registados.	28
Quadro 14 – Concentrações de CQO, Cu, SST e cloretos nas águas de escorrência do IP6, na ribeira da Azenha da Petinga e na albufeira de S. Domingos	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Cronograma e lista de tarefas previstas no âmbito desta bolsa de projecto.	2
Figura 2 – Fotografias de diferentes fontes de poluição difusa como agricultura, pastorícia e descarga de águas pluviais, respectivamente em a), b) e c).	7
Figura 3 – Fotografias representativas da origem de águas de escorrência de estradas.	10
Figura 4 – Localização geográfica do local de estudo, em Portugal (a) e fotografia aérea da albufeira de S. Domingos (b).	17
Figura 5 – Usos do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos. Representação feita através de SIG, utilizando o programa ArcGis.	19
Figura 6 – Localização da estação meteorológica de Moledo e distância à albufeira de S. Domingos.	20
Figura 7 – Precipitação média anual entre 2002 e 2009 na estação meteorológica de Moledo.	20
Figura 8 – Rede hidrográfica da bacia da albufeira de S. Domingos. Representação feita através de SIG, utilizando o programa ArcGis.	21
Figura 9 – Fontes de poluição na bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos presentes na <i>layer</i> de fontes de poluição do Plano de Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste.	22
Figura 10 – Concentrações de Cl ⁻ , CQO, SST, NO ₃ ⁻ , CBO ₅ e Cu na estação de monitorização da albufeira de S. Domingos de 1999 a 2009.	23
Figura 11 – Concentrações de CQO, SST, CBO ₅ , Pb, Cu e Cd na estação de monitorização da albufeira de S. Domingos antes da existência do IP6 (1999 a 2002), durante a sua construção (2002 e 2003) e na sua exploração (2004-2009).	24
Figura 12 – Excerto da planta do projecto de drenagem do IP6 com realce para a ribeira da Azenha da Petinga que recebe escorrências da estrada.	25
Figura 13 – Bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga.	25
Figura 14 – a) Localização dos 3 pontos de amostragem da campanha do dia 8 de Março de 2010 na ribeira da Azenha da Petinga (extraído da Carta Militar 337 do Instituto Geográfico do Exército). b) Fotografia da campanha com os pontos de recolha indicados. c) Pormenor do ponto R1 no leito da ribeira (8 de Março de 2010).	27
Figura 15 – Concentrações médias de CQO, Cu, SST e cloretos nas escorrências do IP6, na ribeira e na albufeira de S. Domingos.	30

Figura 16 – Interface gráfica do modelo BASINS v4.	34
Figura 17 – Interface gráfica do modelo WARMF.	35
Figura 18 – Interface gráfica, na perspectiva do utilizador, da ferramenta de modelação HAWRAT.	36
Figura 19 – Resultados da HAWRAT para a previsão de impactes da descarga de escorrências do IP6 na ribeira da Azenha da Petinga.	36

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AIA – Avaliação de Impacte Ambiental
Al – Alumínio
As – Arsénio
BASINS – Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources
CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio a 5 dias
Cd – Cádmio
COT – Carbono Orgânico Total
CQO – Carência Química de Oxigénio
Cr – Crómio
Cu – Cobre
DQA – Directiva-Quadro da Água
EPA – Environmental Protection Agency
Fe – Ferro
HAP – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HAWRAT – Highways Agency Water Risk Assessment Tool
HC – Hidrocarbonetos
MPN – Most Probable Number
N – Azoto
NH₄⁺ – Amónia
NO₃⁻ – Nitrato
NO₂⁻ – Nitrito
OD – Oxigénio Dissolvido
P – Fósforo
Pb – Chumbo
PBH – Plano de Bacia Hidrográfica
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SO₄²⁻ – Sulfato
SST – Sólidos Suspensos Totais
TMDA – Tráfego Médio Diário Anual
VLE – Valores Limite de Emissão
WARMF – Watershed Analysis Risk Management Framework
Zn – Zinco

G-Terra: Directrizes para a Gestão Integrada das Escorrências de Estradas em Portugal

Relatório Final de Bolsa de Projecto

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são a base de sustentação da vida na Terra, dos ecossistemas e da forma como actualmente a sociedade está organizada no contexto económico e social. Cada vez mais também existem sérios riscos para a sustentabilidade destes recursos, havendo uma necessidade de medidas concretas de prevenção da poluição e de minimização de impactes sobre as massas de água.

A construção de auto-estradas, itinerários principais e complementares e, ainda, outras estradas passou a ter de ser submetida ao processo de avaliação de impacte ambiental (AIA) desde 1990, com a publicação do Decreto-Lei n.º186/90 que abrange os impactes nos recursos hídricos. Este diploma foi posteriormente substituído pelo Decreto-Lei n.º69/2000, o qual sofreu alterações concretizadas no Decreto-Lei n.º197/2005.

O presente relatório congrega o trabalho realizado no âmbito duma bolsa de projecto com a duração de 12 meses e que decorreu no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Esta instituição é a coordenadora do Projecto “G-Terra: Directrizes para uma gestão integrada das escorrências de estradas em Portugal” financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia com a referência PTDC/AMB/64953/2006.

O projecto G-Terra teve início em Janeiro de 2008 com duração prevista de 3 anos e em 2010 foi solicitado e aprovado o prolongamento deste prazo até Junho de 2011. É um projecto que tem a participação de várias instituições, nomeadamente, a Universidade do Minho, a Escola Superior de Tecnologia de Viseu e o Instituto da Água, além do LNEC. Conta ainda com a colaboração da Estradas de Portugal S.A. e de um consultor externo da *Highways Agency*, do Reino Unido.

O objectivo deste projecto é a angariação de um conjunto de dados nacional, caracterizando de forma extensiva as escorrências de algumas estradas para vários poluentes. O intuito final é a compilação e análise destes dados juntamente com a restante informação existente a nível nacional, utilizando ferramentas analíticas, estatísticas e de modelação para melhor compreender a relação entre os poluentes e as características das estradas, considerando aspectos do clima local, como a distância à costa.

Estudos efectuados pela *Environmental Protection Agency* (EPA) nos EUA, estimaram que as águas de escorrência de superfícies pavimentadas, naquele país, contribuem para 4% dos impactes em zonas húmidas e rios; 7% dos impactes nas águas costeiras e lagos e 11 % dos impactes verificados em

estuários (FHWA, 1996). Estes estudos foram impulsionados por novas leis relativas à qualidade do meio hídrico e controlo da poluição, nomeadamente o “Clean Water Act” de 1987 (Novotny, 2003).

Na Europa, desde 2000 a Directiva-Quadro da Água (DQA) tem sido motor de diversos estudos e investigação no domínio da qualidade da água e avaliação dos impactes das fontes de poluição. Neste contexto, começam a surgir estudos específicos relativos à descarga de escorrências rodoviárias no meio hídrico (Barbosa, 2002; Nabelkova *et al.*, 2010; Sansalone e Buchberger, 1997; Drapper *et al.*, 2000; Meland *et al.*, 2010).

O trabalho desenvolvido nos 12 meses de duração da bolsa de Projecto será sintetizado no presente relatório. A finalidade deste trabalho foi identificar metodologias que permitam avaliar o impacte relativo da descarga de escorrências rodoviárias no meio hídrico receptor. Para isso seria importante ter como caso de estudo, uma bacia hidrográfica que incluísse uma estrada e um meio hídrico receptor. Assim, seleccionou-se o IP6, próximo de Peniche, o qual foi monitorizado pelo LNEC entre Setembro de 2005 e Fevereiro de 2006, no âmbito de um estudo para a empresa Estradas de Portugal S.A. (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b). A razão para esta escolha deveu-se ao facto de existir uma boa caracterização das escorrências do IP6 e, ainda, haver na proximidade uma albufeira que é origem de água de abastecimento, a albufeira de S. Domingos.

A sensibilidade dos usos da albufeira de S. Domingos determinou a construção de bacias de tratamento no IP6 para controlo da poluição rodoviária e protecção da água ao longo de praticamente toda a secção que atravessa a bacia hidrográfica (COBA, 2001). Todavia, identificou-se uma pequena extensão do IP6 de, aproximadamente 290 m, correspondente a uma área pavimentada de cerca de 4350 m², que drena sem tratamento prévio, para uma linha de água afluyente à albufeira, a ribeira de Azenha da Petinga (DGRAH, 1981).

Assim, parte deste estudo concentra-se na bacia hidrográfica desta ribeira com uma área total de aproximadamente 28,5 ha, dos quais 1,5% correspondem à área pavimentada do IP6 da qual recebe a drenagem.

Para atingir os objectivos propostos, definiu-se no início do projecto um cronograma com uma lista de 4 tarefas que se apresenta na Figura 1.

TAREFAS	Dez 09	Jan 10	Fev 10	Mar 10	Abr 10	Mai 10	Jun 10	Jul 10	Ago 10	Set 10	Out 10	Nov 10
1 - Revisão bibliográfica. Selecção de 1 a 3 modelos de qualidade de água que integrem fontes de poluição difusa e escorrências de estradas e pelo menos dois poluentes típicos destes efluentes.												
2 - Definição de uma bacia hidrográfica com secção do IP6 (Peniche). Caracterização do uso do solo; fontes poluentes (variações sazonais); caudais fluviais e regime de precipitação.												
3 - Aplicação dos modelos seleccionados em à bacia definida em 2. Avaliação da sensibilidade do modelo às diferentes variáveis. Proposta de um modelo/método simples para avaliar descargas de escorrências de estradas no meio hídrico superficial.												
4 - Escrita do relatório (proposta de estrutura apresentada na primeira quinzena de Jan10; Início da escrita, a acompanhar os trabalhos em Fev 10).												

Figura 1 – Cronograma e lista de tarefas previstas no âmbito desta bolsa de projecto.

A **Tarefa 1** foi realizada com o objectivo de enquadrar este estudo no panorama nacional e internacional através de pesquisa bibliográfica. Recolheram-se dados de casos de estudo de avaliação de impactes das águas de escorrência de estradas em Portugal e no resto do mundo e fez-se uma avaliação dos resultados.

O número de amostragens necessárias e a grande quantidade de meios envolvidos, dificultam a angariação de dados quantitativos sobre o impacte das águas de escorrências de estrada no meio hídrico. Este facto ditou a necessidade de pesquisar a utilização de ferramentas de modelação como tarefa neste trabalho, o que para este tipo específico de poluição difusa ainda não é um procedimento corrente em Portugal. Fez-se uma pesquisa de modelos de qualidade da água e de bacia hidrográfica que fossem potencialmente indicados para este trabalho, ou seja, que incluíssem fontes de poluição difusa, entre elas, áreas pavimentadas, preferencialmente estradas; que se adaptassem a bacias hidrográficas de área relativamente reduzida e que fossem de utilização gratuita. Paralelamente e como complemento ao estudo, analisou-se a ferramenta de modelação HAWRAT, desenvolvida pela *Highways Agency* do Reino Unido que permite a previsão de impactes referentes a concentrações de Zn, Cu, Cd, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) e depósito de sedimentos das escorrências de estradas, com base nas características hidrológicas do meio hídrico receptor, nos dados meteorológicos e nas características da própria estrada, como o tráfego médio diário anual (TMDA) (Whitehead, 2009).

No âmbito da **Tarefa 2** seleccionou-se a área de estudo, uma bacia hidrográfica incluindo uma secção do IP6. Como foi dito anteriormente, a escolha da bacia da albufeira de S. Domingos e do IP6 deveu-se à existência de estudos anteriores que caracterizam as águas de escorrência daquela estrada (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b) e ao facto da água da albufeira ser utilizada para consumo humano, o que torna esta massa de água particularmente sensível à poluição.

Com o objectivo de identificar as fontes de poluição existentes e perceber quais os tipos de poluentes que poderiam afectar a massa de água fez-se a caracterização dos usos do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos. Efectuou-se também uma análise do regime de precipitação mensal e anual local, de forma a avaliar os efeitos da precipitação no transporte de poluentes até à albufeira, incluindo e os riscos associados à sazonalidade.

A **Tarefa 3** compreendeu a aplicação dos modelos de qualidade de bacia hidrográfica seleccionados na **Tarefa 1** e da ferramenta de modelação HAWRAT. Inicialmente, seguindo os tutoriais de cada modelo, trabalharam-se nas bacias hidrográficas fornecidas como exemplos nas suas bases de dados e, posteriormente, testou-se a aplicação à albufeira de S. Domingos. No caso da HAWRAT, a sua aplicação foi feita na ribeira da Azenha da Petinga, uma vez que a actual versão da ferramenta não aceita lagos ou albufeiras como meio receptor.

2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

Este trabalho teve com principal objectivo a compreensão do impacte relativo da descarga de águas de escorrências do IP6 na albufeira de S. Domingos, perto de Peniche. Para tal, foram desenvolvidas as seguintes actividades dentro das tarefas definidas no cronograma de trabalho:

- 1) Selecção e teste de modelos de qualidade da água na bacia hidrográfica para possível utilização neste estudo;

Pesquisa em universidades e centros de investigação nacionais e internacionais de modelos de qualidade da água na bacia hidrográfica de utilização gratuita e com as características adequadas às especificidades do caso de estudo.

- 2) Caracterização dos usos do solo na bacia hidrográfica do caso de estudo com o intuito de identificar as fontes de poluição existentes;

Levantamento e análise das percentagens de ocupação dos usos do solo e actualização das fontes poluentes existentes recorrendo a ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Confirmação das características do local de estudo através de uma campanha de campo.

- 3) Caracterização da qualidade da água da albufeira de S. Domingos recorrendo aos dados do Sistema Nacional de Informação de Recurso Hídricos (SNIRH) e tendo em conta o período de construção e exploração do IP6;

Levantamento e análise temporal dos dados de qualidade da água da albufeira de S. Domingos através dos dados disponíveis no SNIRH na última década. Correlação dos resultados de qualidade com os dados de precipitação do local existentes no mesmo sistema de informação.

- 4) Definição da secção da bacia hidrográfica ocupada pelo IP6;

Selecção duma sub-bacia da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos, através da análise do projecto de drenagem do IP6 e das cartas da rede hidrográfica local.

- 5) Campanha de campo no local de estudo no dia 8 de Março de 2010;

Realização de uma campanha de campo para recolha de amostras de água da ribeira da Azenha da Petinga (que recebe escorrências não tratadas do IP6) e da margem da albufeira de S. Domingos (no local mais próximo e com possibilidade de acesso, da confluência da ribeira) e confirmação do tipo de ocupação do solo no local.

- 6) Caracterização da qualidade da água da sub-bacia que recebe as drenagens do IP6;

Análise dos dados de qualidade da água da ribeira da Azenha da Petinga e caracterização dos usos do solo da sua bacia hidrográfica.

7) Análise dos dados de qualidade das águas de escorrência do IP6;

Análise dos resultados relativos ao estudo que caracterizou as águas de escorrência do IP6 e comparação com os dados referentes à ribeira da Azenha da Petinga e à albufeira de S. Domingos.

8) Análise dos dados e correlações com o objectivo de identificar o impacte da construção do IP6 na qualidade da água da albufeira de S. Domingos.

Análise de todos os resultados angariados e pesquisa de correlações existentes através de regressões lineares simples. Estudo dos dados temporais de qualidade da água na albufeira de S. Domingos examinando a sua evolução antes da existência do IP6, durante o período da sua construção e já no período de exploração da estrada.

3. ESTADO DA ARTE

3.1. Fontes de Poluição

Segundo a Directiva-Quadro da Água, define-se como poluição “A introdução directa ou indirecta, de substâncias ou calor no ar, água ou terra, como resultado da actividade humana, as quais possam ser prejudiciais para a saúde humana ou para a qualidade dos ecossistemas aquáticos ou ecossistemas terrestres que dependam destes, o que por sua vez resultem em prejuízos para bens materiais ou prejudiquem ou interferiram com o valor natural ou com outras utilizações legítimas do ambiente”.

As fontes de poluição podem ser classificadas em difusas ou pontuais, conforme a sua origem e forma de dispersão. As fontes de poluição difusa de massas de água podem ter origem agrícola ou urbana, entre outras, e caracterizam-se pelo facto de ter como meio de dispersão a precipitação e, por isto, não obedecer a um padrão constante de volume e de período de descarga (Burton e Pitt, 2002). Devido a esta heterogeneidade de origens e meios de descarga, a gestão de risco e prevenção dos fenómenos de poluição difusa torna-se complexa. Na Figura 2 estão representadas imagens de algumas das origens de fontes de poluição difusa: a agricultura, a pecuária e as descargas de águas pluviais. Outras fontes deste tipo são as lixeiras, cemitérios, fossas sépticas, etc.



Figura 2 – Fotografias de diferentes fontes de poluição difusa como agricultura, pastorícia e descarga de águas pluviais, respectivamente em a), b) e c).

As fontes de poluição pontual caracterizam-se pelas descargas directas no meio receptor através de estruturas artificiais como canalizações. Podem resultar de descargas de indústrias de esgotos ou esgotos domésticos não tratados. O impacto deste tipo de poluição é agudo, no entanto o facto de ter origens geograficamente bem definidas e padrões de descarga conhecidos, potencia a eficácia do seu controlo.

No Quadro 1 discrimina-se a percentagem de cada um dos tipos de poluição, pontual e difusa, no total na origem da carga poluente de diferentes compostos nos Estados Unidos da América, como referência do que acontece no resto do mundo, incluindo Portugal (Santos, 2000). Analisando os dados, confirmam-se as origens dos dois tipos de fontes de poluição. Nos parâmetros associados a actividades agropecuárias, como a carência química de oxigénio (CQO), azoto (N) Kjeldahl e o fósforo (P), a contribuição mais

elevada é dada pelas fontes de poluição difusa, que também contribuem fortemente para as emissões de zinco e chumbo, poluentes associados a escorrências rodoviárias. Por outro lado, os poluentes possivelmente associados a emissões industriais, como o cobre e o cádmio, têm a sua origem em fontes de poluição pontual.

Quadro 1 – Contribuição específica da poluição de fontes pontuais e difusas na origem de alguns poluentes nos EUA (adaptado de Santos e Lima, 2003).

Poluente	% das fontes pontuais	% das fontes difusas
Carência Química de Oxigénio	30	70
Azoto Kjeldahl	34	66
Fósforo total	10	90
Chumbo	43	57
Cobre	59	41
Cádmio	84	16
Zinco	30	70

Os eventos de precipitação são determinantes na ocorrência de fenómenos de poluição difusa porque são responsáveis pela lavagem, transporte e dispersão da carga poluente. Como já foi referido, a imprevisibilidade da poluição difusa potencia o seu impacte no meio hídrico. As primeiras chuvas do ano podem contribuir com 20% da carga anual de determinado poluente (Santos e Lima, 2003). Associada à precipitação existe a incerteza do comportamento do composto poluente que pode solubilizar (fracção solúvel) ou em agregar-se aos sedimentos existentes na água (fracção particulada). O impacte da fracção particulada é tanto maior quanto menor for o diâmetro das partículas em suspensão, uma vez que o risco de agregação aumenta (Santos, 2000).

A sazonalidade é um factor importante a atender neste tipo de fonte de poluição e que pode causar riscos. Nos períodos mais secos dá-se uma acumulação da carga poluente que pode ser transportada com as primeiras chuvas para o meio receptor, em concentrações elevadas. Na Turquia, um estudo sobre a variação sazonal da qualidade da água numa ribeira mostrou que no Outono foram registadas as concentrações mais elevadas em 15 dos 29 parâmetros analisados (Altum *et al.*, 2009).

O tipo de fontes de poluição determina os poluentes associados. Relacionados com uma origem urbana da poluição difusa estão os seguintes compostos: sólidos suspensos totais (SST), carência bioquímica de oxigénio a 5 dias (CBO₅), nutrientes, metais pesados, HAP e óleos e gorduras. Os metais pesados e HAP são especialmente problemáticos devido à sua toxicidade, persistência e capacidade de bioacumulação, o que origina outro risco associado às áreas urbanas, caracterizado pelo efeito cumulativo e crónico da carga poluente (Santos e Lima, 2003).

Na Republica Checa, um estudo evidenciou o aumento da biodisponibilidade de poluentes tóxicos como metais pesados e HAP, adsorvidos nos sedimentos no leito de 4 ribeiras monitorizadas na zona de Praga e que recebem escorrências pluviais urbanas (Nabelkova e Kominkova, 2008). Os mesmos autores conduziram um outro trabalho de monitorização a longo e curto prazo, da concentração de metais pesados numa ribeira urbana e nos tecidos de comunidades de organismos bênticos existentes nessa linha de

água. Verificou-se uma diminuição do número de indivíduos, da qualidade da comunidade e a destruição do habitat a curto prazo (Nabelkova *et al.*, 2005). Estes factos evidenciam o risco que as escorrências pluviais representam para os recursos hídricos e ecossistemas aquáticos.

3.2. Escorrências pluviais como fonte de poluição difusa

As escorrências pluviais constituem uma importante fonte de poluentes de origem difusa, que não deve ser negligenciada. Conforme a sua génese, urbana ou agrícola, a concentração e composição de poluentes varia nas escorrências pluviais.

A carga poluente das escorrências pluviais de origem urbana resulta essencialmente das seguintes actividades (Santos, 2000):

- Deposição resultante das emissões industriais e de veículos motorizados;
- Erosão do solo e produtos de corrosão de superfícies como pneus, ruas, telhados, etc;
- Áreas de construção, incluindo a erosão de solos expostos e substâncias químicas provenientes de combustíveis, solventes e estabilizadores;
- Fossas sépticas (mais comuns em áreas urbanas);
- Resíduos urbanos.

Destas actividades resultam predominantemente os seguintes compostos (Santos, 2000):

- SST;
- CQO e CBO₅;
- Óleos e gorduras;
- Nutrientes – N e P;
- Metais pesados – Zn, Cu, Cd, Pb, Cr e Ni;
- HAP.

A origem agrícola das fontes de poluição difusa determina a existência, nas escorrências pluviais, de elevadas concentrações de SST resultantes essencialmente da erosão dos solos, nutrientes provenientes dos fertilizantes utilizados e compostos químicos associados a pesticidas (Santos, 2000).

3.3. Águas de Escorrência de Estradas

As águas de escorrência de estradas são uma fonte de poluição difusa linear, que se caracterizam pelo transporte de poluentes provenientes do tráfego automóvel e dos materiais de construção da estrada pelas chuvas. Muitas vezes apresentam uma baixa concentração de poluentes numa grande massa de água, o que faz com que geralmente seja uma fonte de poluição negligenciada. No entanto, pode causar impactes

ambientais significativos no meio hídrico e no solo (poluição crónica), consequentes de ocorrências habituais devido às cargas poluentes acumuladas no pavimento, à passagem do tráfego e comportamento dos utentes e ocorrências pontuais ou extraordinárias, resultantes de actividades como a manutenção e reparação da via e taludes ou derrames acidentais (Barbosa, 2002).

Os poluentes acumulam-se no pavimento e nas faixas adjacentes, a partir da libertação dos próprios materiais da estrada (incluindo o asfalto e as guardas de segurança), da erosão de taludes envolventes, do tráfego rodoviário (incluindo desgaste de pneus e travões, perdas de óleos e combustíveis, deterioração da pintura, emissão de gases e sua deposição posterior e deposição incorrecta de resíduos pelos utentes) e das operações de conservação das vias (incluindo a aplicação de pesticidas e adubos) (Antunes e Barbosa, 2005).

Um estudo desenvolvido na República Checa, fez a monitorização da qualidade da água de ribeiras urbanas inseridas, respectivamente, em três bacias hidrográficas de diferentes dimensões (4, 11 e 135 km²) com o objectivo de estimar o impacte relativo de escorrências de estrada. Foram detectadas elevadas concentrações dos metais pesados Hg, Cu, Ni, Zn, Cd, Cr e Pb, e colocada a hipótese da sua origem ser rodoviária (Nabelkova *et al.*, 2010). Este caso evidencia a importância crescente que este tipo de investigação tem vindo a ganhar nos últimos anos.

Na Figura 3 estão fotografias que representam a origem deste tipo de fonte poluição difusa.



Figura 3 – Fotografias representativas da origem de águas de escorrência de estradas.

As águas de escorrência de estradas são constituídas essencialmente por sólidos dissolvidos e particulados, compostos orgânicos e elementos metálicos (Sansalone e Buchberger, 1997), salientando-se novamente o facto de estes últimos juntamente com os HAP serem considerados poluentes perigosos (Barbosa *et al.*, 2008).

No Quadro 2 estão sintetizadas as concentrações típicas de alguns poluentes presentes em águas de escorrência de superfícies pavimentadas em meio urbano e exclusivamente em estradas e apesar de uma forma geral, as concentrações mais elevadas de carga poluente se encontrarem as águas de escorrência

urbana, verifica-se que as drenagens de estradas não devem ser negligenciadas, uma vez que a ordem de grandeza das concentrações é a mesma.

Quadro 2 – Gama de concentrações típicas de alguns poluentes existentes em águas de drenagem urbana e de estradas (adaptado de Leitão *et al.*, 2005)

Poluente	Escorrência de áreas urbanas	Escorrência de estradas
SST (mg/L)	30 – 100	30 – 60
CQO (mg/L)	40 – 60	25 – 60
CBO ₅ (mg/L)	5	-
N-Total (mg/L)	2	1 – 2
P-Total (mg/L)	0,5	0,2 – 0,5
Pb (µg/L)	50 – 150	50 – 125
Zn (µg/L)	300 – 500	125 – 400
Cu (µg/L)	5 – 40	-
Cd (µg/L)	0,5 – 3	5 – 25
<i>E. coli</i> (MPN/100ml)	10 ³ – 10 ⁴	-

Nos EUA e em vários países da Europa a monitorização das águas de escorrência de estrada é uma prática cada vez mais implementada, tendo no caso dos EUA sido transposta para directrizes (Water Clean Act de 1987). Existem diversos estudos sobre o impacte da construção de estradas em massas de água de pequenas, médias ou grandes dimensões (por ex. Pitt, 2001 e Nabelkova, 2010) e sobre as características das suas escorrências (Sansalone e Buchberger, 1997; Drapper *et al.*, 2000; Meland *et al.*, 2010). No Quadro 3 exemplificam-se as gamas de concentrações de poluentes registadas em estradas dos EUA em 3 datas diferentes: 1983, 1995 e 1999-2000 (Pitt, 2001).

Quadro 3 – Concentrações médias de poluentes em estradas dos EUA monitorizadas em 3 alturas diferentes: 1983, 1995 e entre 1999 e 2000 (adaptado de Pitt, 2001).

Parâmetros	Data da monitorização		
	1983	1995	1999-2000
CQO (mg/L)	65	15 – 270	10 – 390
Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	-	-	3,3 – 448
SST (mg/L)	100	45 – 798	3 – 4800
Al (µg/L)	-	-	29 – 12600
(Arsénio) As (µg/L)	-	-	1 – 17
Cd (µg/L)	-	nd – 40	0,5 – 378
Cr (µg/L)	-	nd – 40	1 – 100
Cu (µg/L)	34	22 – 7000	1 – 800
(Ferro) Fe (µg/L)	-	-	4,1 – 24000
Pb (µg/L)	144	70 – 1800	1 – 2300
(Alumínio) Al (µg/L)	-	-	0,91 – 317
Zn (µg/L)	160	56 – 930	5 – 2400
(Amónia) NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	-	0,19 – 4
(Nitrato) NO ₃ ⁻ (mg/L)	-	-	0,1 – 9,5
(Nitrito) NO ₂ ³⁻ (mg/L)	-	-	0,05 – 1,7
N Kjeldahl (mg/L)	1,5	0,24 – 55	0,1 – 57
P-Total (mg/L)	0,33	0,11 – 1,0	0,05 – 10
Coliformes totais (MPN/100ml)	-	-	20 – 500000
Coliformes fecais (MPN/100ml)	-	-	17 – 160000
Óleos e gorduras (mg/L)	-	-	1 – 226

Em Portugal, especialmente na última década, surgiram diversos estudos sobre a caracterização e monitorização de águas de escorrências de estrada impulsionados pelo Decreto-Lei n.º186/90 que insere as auto-estradas, itinerários principais e complementares e outras estradas, nas avaliações de impacto ambiental sobre recursos hídricos. O Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC tem também contribuído para a consolidação deste tipo de investigação no país uma vez que tem participado em diversos estudos e projectos sobre esta temática, muitos deles financiados pela Estradas de Portugal, S.A., pelo Instituto da Água e pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia como é exemplo o projecto G-Terra (por ex. Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 1996; Barbosa, 2004; Leitão *et al.*, 2005; Antunes e Barbosa, 2005; Barbosa e Fernandes, 2008; Barbosa *et al.*, 2009; Brencic *et al.*, 2010; Barbosa e Fernandes, 2010).

No Quadro 4 estão sintetizados, com as respectivas referências, os dados resultantes de monitorizações automáticas, realizadas num mesmo local e que envolveram vários episódios de precipitação e várias recolhas de amostras ao longo de cada chuvada nas seguintes estradas: IP4, A1, A2; IC1, IP5 (actual A25), IP2 (túnel), A6, IP6, A22 e A1. A única excepção a estas regras diz respeito ao estudo efectuado no IC1, pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR Algarve, 2006). Este estudo amostrou as escorrências do IC1 em 6 locais e algumas das amostras foram manuais embora a maior parte tenha sido angariada com equipamento automático. As gamas de valores que são apresentadas correspondem ao conjunto dos locais e amostras (CCDR Algarve, 2006).

Quadro 4 – Gama de concentrações de diversos poluentes em águas de escorrência de várias estradas de Portugal monitorizadas entre 1996 e 2009 (Adaptado de Barbosa *et al.*, 2011 – em preparação).

Parâmetros	Estradas, Tráfego Médio Diário Anual (TMDA), data da monitorização e gama de valores									
	IP4	A1	A2	IC1	IP5 (actual A25)	IP2 (túnel)	A6	IP6	A22	A1
	TMDA = 6000 Monit. 1996-98	TMDA = 30299 Monit. 2002	TMDA = 15309 Monit. 2002-03	TMDA = 6700 Monit. 2003-04	TMDA = 13224** Monit. 2003-04	TMDA = 8611 Monit. 2004	TMDA = 2918 Monit. 2004	TMDA = 6539 Monit. 2005-06	TMDA = 19201 Monit. 2009	TMDA = 27746 Monit. 2009
N.º total amostras *	73 - 127	5 - 93	36 - 86	180	25 - 40	8	23 - 80	6 - 47	57 - 76	37 - 73
N.º eventos de precipitação	10	6	5/6	11	5	lavagem c/ 2 fases	6	8	9	11
pH	5,9 - 7,2	6,3 - 7,4	6,5 - 7,5	6,81 - 8,99	7,0 - 7,8	7,1 - 8,4	6,6 - 7,7	4,4 - 7,5	7,2 - 8,3	5,8 - 7,2
Condutividade (µS/cm)	8,8 - 183,8	124 - 357	47 - 352	53 - 1527	67,3 - 1790,0	381 - 683	58 - 154	132 - 722	85,0 - 355,0	58,0 - 288,0
Dureza Tot. (mg CaCO ₃ /L)	1,5 - 67,2	-	-	-	28,3 - 181,8	100 - 211	-	71,0 - 569,0	50,0 - 158,0	19,0 - 255,0
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	-	39,4 - 104,7	21,7 - 138,9	-	-	-	24 - 65	-	-	-
Cloretos (mg/L)	-	-	-	-	6,6 - 139,5	-	-	4,2 - 53,0	4,0 - 90,0	2,0 - 28,0
SST (mg/L)	< 8 - 147	10,0 - 872	1,1 - 13,3	-	< 5,0 - 295,0	89 - 2182	0,3 - 86,0	11,0 - 1800,0	2,5 - 220,0	0,3 - 350,0
CQO (mg/L)	-	-	-	-	< 0,3 - 170,0	-	-	4,0 - 690,0	6,3 - 226,0	14,4 - 330,0
CBO ₅ (mg/L)	-	-	-	-	< 2 - 66	-	-	1,0 - 20,0	-	1,4 - 27,5
COT (mg/L)	-	-	-	12 - 414	-	-	-	-	6,0 - 38,0	6,4 - 72,0
NO ₂ ³⁻	-	-	-	-	< 1,8 - 2,0	-	-	0,3 - 9,0	-	-
Zn (µg/L)	< 50 - 1462	62 - 736	31 - 343	20 - 3600	< 83 - 409	370 - 2210	21 - 6410	6,7 - 510,0	44 - 464	0 - 834
Cu (µg/L)	< 1 - 54,3	27 - 76	< 5 - 45	30 - 330	< 5,0 - 72,2	82 - 340	< 5 - 21	3,0 - 137,0	9 - 46	0 - 51
Pb (µg/L)	< 1 - 199,5	2 - 58	< 5 - 9	1 - 840	< 2,0 - 18,0	20 - 92	< 5 - 9	1,0 - 58,0	9 - 49	Feb-58
Cd (µg/L)	< 0,1	< 0,5	< 0,5 - 2,4	1 - 28	< 0,192	3 - 6	< 0,5	< 3 - 7	nd	0,09 - 0,32
Cr (µg/L)	< 0,1	-	-	1 - 70	< 2,0 - 12,0	-	-	< 10 - 60	9 - 57	0 - 49
Fe (µg/L)	-	86 - 3030	< 50 - 388	20 - 25000	-	1710 - 11980	50 - 990	-	280 - 6627	0 - 7192
HAP (µg/L)	-	< 0,05 - 0,08	< 0,03	-	-	0,1 - 0,6	< 0,05	-	-	-
Hid. Totais (mg/L)	-	-	-	0,82 - 15,0	-	-	-	0,1 - 0,7	-	-
Óleos e gorduras (mg/L)	-	3,2 - 40	< 0,1 - 6,6	-	-	7,0 - 125,2	< 3 - 36,5	0,0 - 1,0	0,3 - 3,9	0 - 16,0
Referência	Barbosa, 1999	Leitão <i>et al.</i> , 2005	Leitão <i>et al.</i> , 2005	CCDR Algarve, 2006	Barbosa e Antunes, 2005	Barbosa e Antunes, 2004	Leitão <i>et al.</i> , 2005	Barbosa <i>et al.</i> , 2006b	Barbosa <i>et al.</i> , 2010	Barbosa <i>et al.</i> , 2010

nd=Não detectado

* O número superior é o total de amostras recolhidas, com medição de condutividade e pH; o número inferior descreve o parâmetro que foi medido em número mais reduzido de amostras, geralmente HAP, CBO₅ e/ou óleos e gorduras, os quais se mostravam geralmente abaixo do limite de detecção.

** Assumiu-se metade do valor do TMDA=27448, uma vez que a área pavimentada estudada abarca unicamente um dos sentidos.

Como existe uma grande variabilidade de concentrações nas águas de escorrência de estradas, uma monitorização automática potencia o registo da variação de concentrações ao longo do evento de precipitação.

No Quadro 5 apresentam-se os valores de concentrações das águas de escorrência da auto-estrada A23 obtidas através de monitorização manual em Janeiro, Maio e Novembro de 2006 no âmbito de uma tese de mestrado na Universidade da Beira Interior (Albuquerque, 2006).

Quadro 5 – Gamas de valores das águas de escorrência registadas num ponto de amostragem da auto-estrada A23 em 2006 (adaptado de Albuquerque, 2006).

Parâmetros	N.º de amostras	Gama de concentrações	Média	Desvio padrão
pH	40	6,63 – 7,85	7,15	0,29
Temperatura (°C)	40	8,80 – 14,90	12,54	2,18
Condutividade (µS/cm)	40	18,0 – 362,0	150,19	120,48
OD (mg/L)	40	2,12 – 6,38	4,00	1,68
SST (mg/L)	22	5,0 – 210,0	97,5	63,83
CQO (mg/L)	22	11,7 – 639,0	167,37	153,16
NH ₄ ⁺ (mg/L)	22	< 0,02 – 2,95	1,31	0,64
NO ₃ ⁻ (mg/L)	22	< 0,10 – 33,60	17,12	6,16
Cu (µg/L)	22	2 – 20	11	6
Cr (µg/L)	22	1 – 20	7	6
Zn (µg/L)	22	< 100 – 930	460	290
Óleos e gorduras (mg/L)	20	0,19 – 1,33	0,58	0,34
HAP (µg/L)	20	0,15 – 0,52	0,32	0,12

Apesar de não existir uma grande discrepância entre a ordem de grandeza dos valores dos Quadro 3, Quadro 4 e Quadro 5, existem algumas diferenças significativas em compostos como os SST, o Cu ou o Pb, comprovando a grande variabilidade de dados existentes de escorrências de estradas causada pela imprevisibilidade associada aos fenómenos de precipitação. Outro aspecto relevante são as alterações tecnológicas e de materiais que têm vindo a alterar a composição típica das águas de escorrência de estradas. O exemplo mais conhecido internacionalmente é a quase ausência do Pb verificada actualmente, resultante dos novos motores e do uso de gasolina sem chumbo.

Neste contexto, cria-se a necessidade de criação de metodologias que permitam prever e gerir este tipo de ocorrência de forma a minimizar eventuais impactes nos pontos de descarga.

3.3. Modelos de Qualidade da Água de Bacias Hidrográficas

Como foi dito anteriormente, a poluição difusa pode ter origem em variadas fontes e está associada a fenómenos de precipitação, que por não obedecer a nenhum padrão, faz com que a sua quantificação e controlo não sejam simples.

Segundo Santos (2000), existem duas formas para quantificação da carga poluente: observação e modelação. Na observação são feitas monitorizações ao longo de ocorrências de precipitação e estima-se a carga poluente pela medida dos fluxos e das concentrações no conjunto dos pontos de amostragem. No entanto, esta abordagem implica algumas limitações, nomeadamente a exigência de um grande número de medições sem no entanto, ter certeza da sua validação estatística e os custos inerentes (Santos, 2000).

Neste sentido, a modelação dos dados pode ser uma boa ferramenta para a gestão de risco em recursos hídricos decorrentes de fontes de poluição difusa, estabelecendo condições de descargas de novas fontes e permitindo simular para diferentes situações, o comportamento de poluentes na massa de água e o impacte na sua qualidade e nos usos do solo da bacia hidrográfica modelada. Possibilita ainda que sejam testadas hipóteses funcionais e equacionados estudos futuros ou respostas do sistema a possíveis alterações (Abrantes e Pimpão, 2006).

A modelação em recursos hídricos pode ser feita recorrendo a modelos de qualidade da água ou modelos de bacia hidrográfica. Os primeiros simulam o ciclo dos poluentes e o estado de determinadas variáveis da qualidade da água no meio receptor em estudo e incorporam uma variedade de processos físico-químico e biológicos que controlam o transporte e transformações dessas variáveis. Por sua vez, os modelos de bacia hidrográfica têm uma abordagem mais integradora, associando problemas ambientais a problemas sociais, uma vez que são condicionados por factores como a precipitação, os usos e tipo de solo ou as áreas impermeáveis e de drenagem. Associados a SIG, simulam processos naturais de escoamento de água, sedimentos, químicos, ou nutrientes nas bacias e quantificam o impacte das actividades humanas nestes processos (Abrantes e Pimpão, 2006).

Existem três grandes grupos de modelos (Santos, 2000):

- **Modelos empíricos ou estatísticos**, que resultam da análise estatística das observações e suportam-se em várias campanhas de monitorização. Os dados são tratados e analisados com ferramentas clássicas da estatística. Estes modelos dificilmente são exportáveis, porque são válidos para campanhas de medidas localizadas.
- **Modelos determinísticos ou físicos**, que descrevem os mecanismos físicos dos fenómenos ligados ao transporte da poluição. A abordagem geral é portanto determinística e de cálculo e supõe o conhecimento exaustivo e preciso das leis físicas que regem o fenómeno.
- **Modelos conceptuais**, que conjugam o conjunto dos fenómenos em jogo compartimentando o problema. As relações estabelecidas não são fundadas na descrição precisa das leis físicas mas em equações específicas simplificadas e sobretudo em parâmetros de variação. Eles permitem definir a natureza da transformação do fluxo que entra no que sai, tudo isto respeitando algumas restrições físicas. A utilização destes modelos sobre um determinado local passa pela calibração dos parâmetros externos do modelo com base num número limitado de observações.

A utilização de modelos conceptuais, ou empíricos, tem-se generalizado a nível nacional e internacional. Um estudo conduzido na Austrália determinou uma análise espacial de escorrência de poluentes através de ferramentas geoestatísticas, relacionando os usos do solo com a concentração de poluentes registada através de monitorizações efectuadas no local. Os resultados mostraram uma boa correlação entre os

dados conseguida através de uma metodologia relativamente simples e rápida, no entanto com incerteza quando ao volume de dados necessário para que se possa afirmar que os resultados são rigorosos (Ghafouri e Swain, 2005). Uma abordagem semelhante foi utilizada no Japão, a partir dos dados de ocupação do solo e imagens satélite do local, estimou-se a variação anual de poluentes numa bacia hidrográfica através de um modelo empírico. Os resultados indicaram uma boa correlação entre os dados previstos e observados (He *et al.*, 2009).

A nível nacional, este tipo de metodologia é comum, passando pela utilização de SIG e ferramentas de telegestão no planeamento da gestão de recursos hídricos (Brito *et al.*, 2010) até ao recurso a modelos de bacia hidrográfica na previsão de impactes. Um exemplo recente foi a utilização do modelo SWAT da EPA na quantificação do impacte da agricultura na qualidade da água numa bacia hidrográfica em Moçambique e na bacia do Maranhão, em Portugal, e de uma ferramenta acoplada ao modelo, o CeQualW2 para determinação da qualidade da água num reservatório existente nessa bacia. Os resultados foram semelhantes aos alcançados nos estudos internacionais: uma boa correlação entre dados previstos e observados mas sem possibilidade de uma validação eficaz do modelo, devido ao volume de dados não ser suficiente (Leitão *et al.*, 2010).

Um outro exemplo foi um estudo de modelação da qualidade da água numa sub-bacia da bacia hidrográfica da lagoa de Óbidos, em Portugal. Foi utilizado o modelo SWAT e este revelou-se eficaz, verificando-se uma elevada correlação entre os dados previstos e observados; neste caso foram feitas monitorizações mensais ao longo de 6 anos o que evidencia a necessidade de um grande volume de dados para a obtenção de uma validação fiável (Malhadas *et al.*, 2010).

Na Dinamarca foi feito um estudo de monitorização automática da qualidade de águas pluviais em três bacias hidrográficas de diferentes características hidrológicas e de ocupação do solo. A remoção dos poluentes em bacias de tratamento foi simulada através de um modelo conceptual, utilizando um balanço de massas com concentrações obtidas através de equações cinéticas de 1ª ordem, considerando nulas as perdas ocorridas por evaporação ou infiltrações e utilizando duas abordagens diferentes: uma considerando a contribuição da temperatura nos processos químicos e biológicos ocorridos e outra ignorando esse parâmetro. Obteve-se uma boa correlação entre os resultados obtidos na modelação e os medidos, principalmente na abordagem menos complexa em que a contribuição da temperatura foi negligenciada. Estes resultados demonstram que uma abordagem mais simples pode ser mais eficaz na modelação de fenómenos em que existem poucos dados, no entanto, é necessário um maior conhecimento dos fenómenos ocorridos possibilitando a geração de mais informação e consequentemente maior rigor nos resultados (Wium-Andersen *et al.*, 2010).

4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

4.1. Localização Geográfica

A estrada seleccionada neste trabalho foi o IP6, na secção que atravessa a bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos, na freguesia da Atouguia da Baleia, Peniche a cerca de 100 km de Lisboa (Figura 4). A escolha desta zona deveu-se à existência de estudos prévios de caracterização do local com dados referentes às escorrências rodoviárias do IP6 (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b).

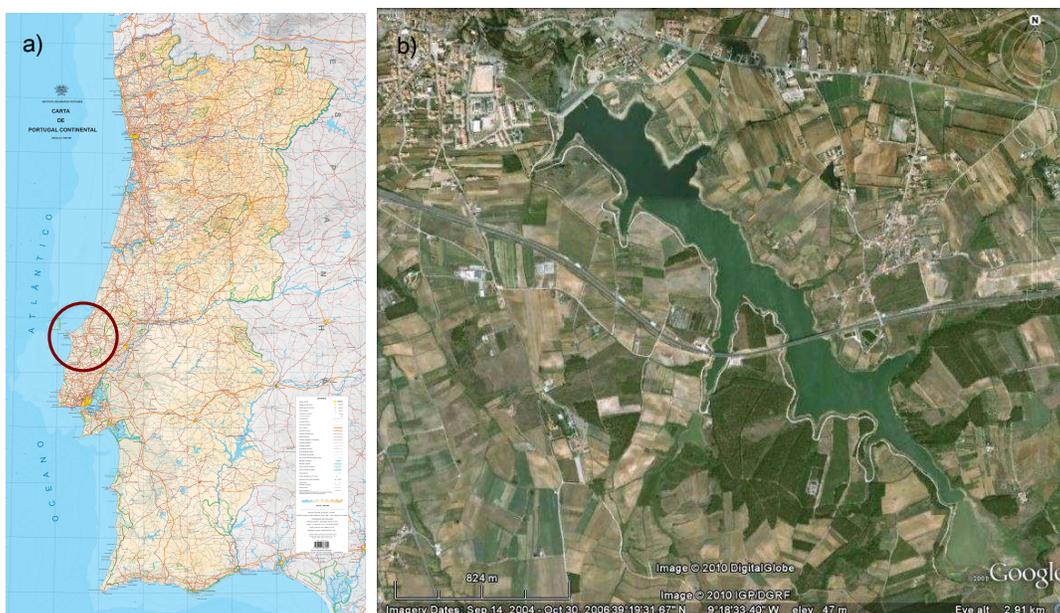
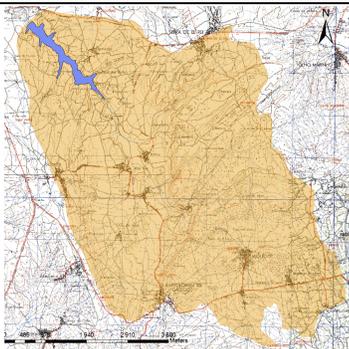


Figura 4 – Localização geográfica do local de estudo, em Portugal (a) e fotografia aérea da albufeira de S. Domingos (b).

No Quadro 6 encontram-se representadas as características hidrológicas da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos, disponíveis no sítio do SNIRH.

Quadro 6 – Características hidrológicas da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos (excerto das cartas militares 337 e 349 do IGeoE) (SNIRH, 2010).

Bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos		
Área (km ²)	39,43	
Precipitação média anual (mm)	781	
Caudal integral médio anual (dam ³)	3900	
Período de retorno (anos)	1000	
Caudal de cheia (m ³ /s)	224,4	
Declive médio (%)	5,4	
Comprimento da linha de água principal (km)	11,8	
Declive do curso de água (%)	1,3	

4.2. Caracterização dos usos do solo

Com o objectivo de identificar as fontes de poluição locais, fez-se a caracterização dos usos do solo da bacia hidrográfica da Albufeira de S. Domingos através do ArcGis v.9 (Harlow *et al.*, 2006), uma ferramenta de SIG. A partir de uma *layer* produzida para todo o território nacional, Corine 2006 (Caetano *et al.*, 2009), os diferentes usos foram corrigidos através de ortofotomapas do local, disponíveis *online*, garantindo assim a sua actualidade. A *layer* da rede hidrográfica da bacia foi também corrigida e construiu-se uma nova *layer* para o IP6.

A bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga foi desenhada no ArcGIS recorrendo à topografia da carta militar 337 do Instituto Geográfico do Exército e aos ortofotomapas. A informação referente às características da bacia hidrográfica da Albufeira de S. Domingos foi obtida através da base de dados do SNIRH.

Na Figura 5 estão esquematizados os usos do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos e no Quadro 7 constam as suas percentagens.

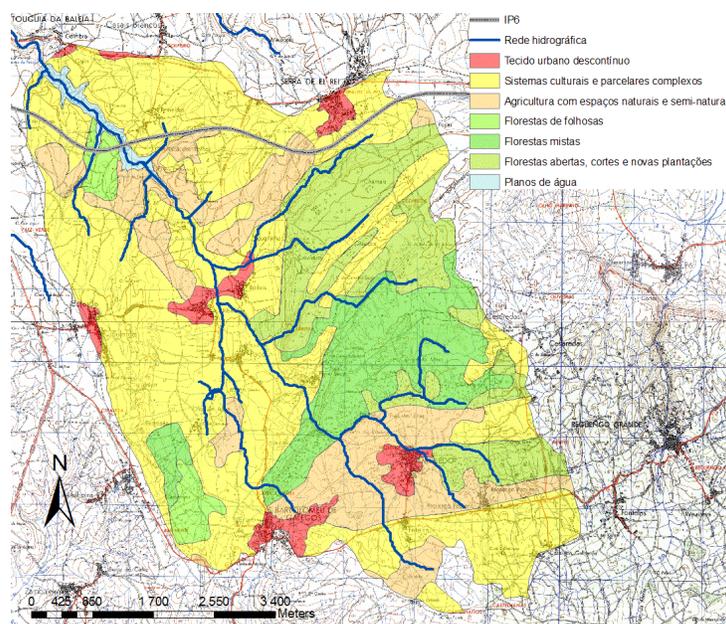


Figura 5 – Usos do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos. Representação feita através de SIG, utilizando o programa ArcGis.

Quadro 7 – Percentagens de ocupação do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos.

% de ocupação do solo na bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos			
Tecido urbano descontínuo		1,4 %	
Sistemas culturais e parcelares complexos	85,3 %	}	Agricultura (89,8 %)
Agricultura com espaços naturais e seminaturais	4,5 %		
Florestas de folhosas	0,5 %		
Florestas mistas	2,6 %	}	Floresta (8,6 %)
Florestas abertas, cortes e novas plantações	5,5 %		
Planos de água		0,2 %	

4.3. Precipitação e escoamento na bacia

O regime de precipitação do local de estudo foi analisado recorrendo aos dados do SNIRH da estação meteorológica de Moledo (referência 18B/01UG), na localidade de Moledo, a cerca de 6 km da albufeira de S. Domingos. A sua localização da estação e a sua distância ao local de estudo estão representadas na Figura 6.

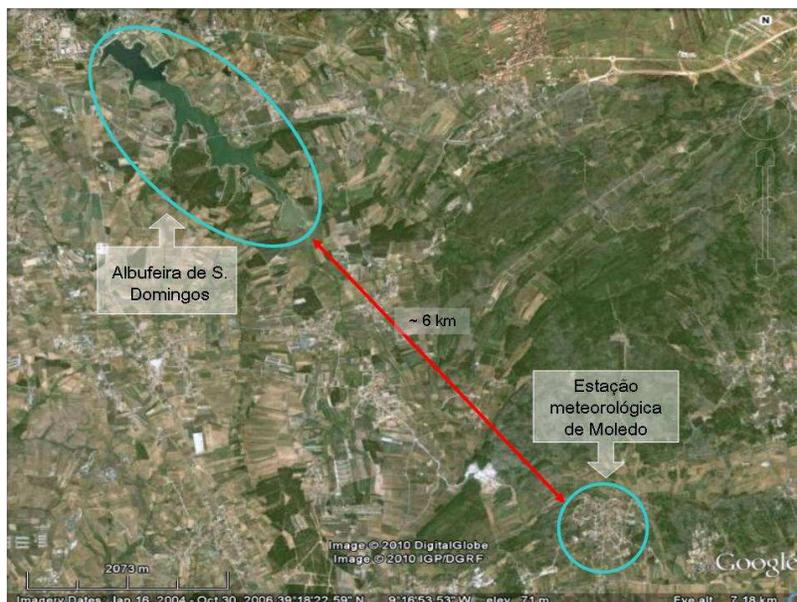


Figura 6 – Localização da estação meteorológica de Moledo e distância à albufeira de S. Domingos.

A precipitação anual é apresentada na Figura 7 para o período entre 2002 e 2008. O facto de não existirem no SNIRH dados anteriores a 2002 impossibilitou a análise a partir de 1999.

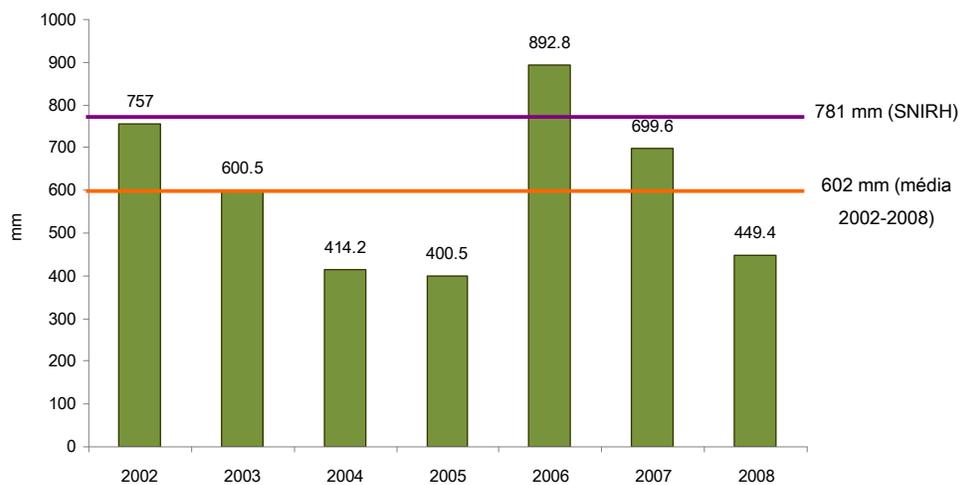


Figura 7 – Precipitação anual entre 2002 e 2008 na estação meteorológica de Moledo (SNIRH, 2010).

As características da albufeira e da barragem de S. Domingos estão representadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Características da albufeira e da barragem de S. Domingos (SNIRH, 2010; DRA-LVT, 2001).

Albufeira de S. Domingos	
Capacidade total (dam ³)	7900
Capacidade útil (dam ³)	7548
Volume morto (dam ³)	352
Cota do nível de pleno armazenamento – NPA (m)	42,5
Cota do nível de máxima cheia – NMC (m)	44,76
Cota do nível mínimo de exploração – NmE (m)	22
Superfície inundável ao NPA (ha)	96
Folga em relação ao NMC (m)	1,24
Folga em relação ao NPA (m)	3,5
Tempo de concentração (h)	2,8
Tempo de atraso (h)	1,7
Número de escoamento	83,3

4.4. Caracterização da rede hidrográfica

A bacia da albufeira de S. Domingos é constituída por uma rede hidrográfica com um total de cerca 35 km, cuja linha de água principal é o rio S. Domingos com cerca de 11,8 km (SNIRH, 2010). Na Figura 8 apresenta-se a rede hidrográfica da bacia fornecida através da *layer* do Plano de Bacia Hidrográfica para as Ribeiras do Oeste.

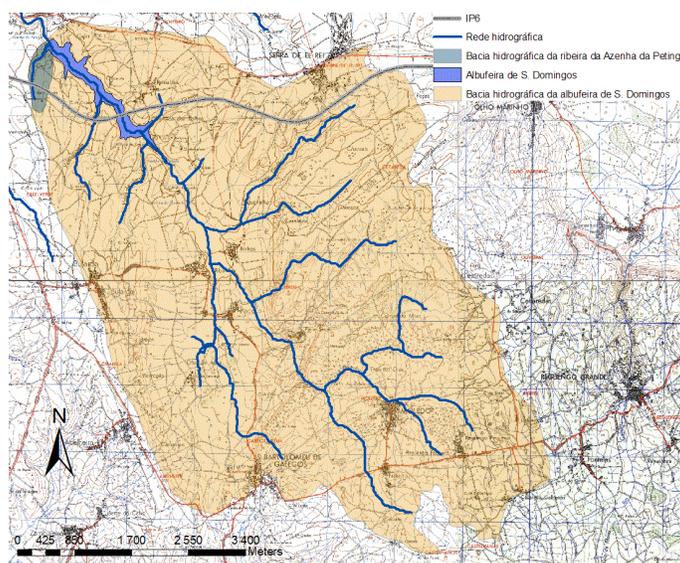


Figura 8 – Rede hidrográfica da bacia da albufeira de S. Domingos. Representação feita através de SIG, utilizando o programa ArcGis.

A maior ribeira afluente do rio S. Domingos é a da Azenha da Pimpolha com 1,75 km de comprimento e a mais pequena mede cerca de 0,3 km. Existem 4 ribeiras afluente, todas de pequena dimensão, com cerca de 0,76 kms de comprimento.

4.5. Qualidade da água e fontes poluentes

4.5.1. Fontes poluentes

Como foi referido no sub-capítulo 4.2, 90% do solo da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos é ocupado com actividades agrícolas extensivas como recomendado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º39/2009 de 14 Maio que define o Plano de Ordenamento da albufeira de S. Domingos. O facto da água da albufeira ser utilizada para consumo humano impõe um controlo rigoroso e restringe actividades que possam pôr em causa a sua qualidade.

Na Figura 9, estão representadas as fontes de poluição pontual na bacia hidrográfica, presentes na *layer* de fontes de poluição do Plano de Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste.

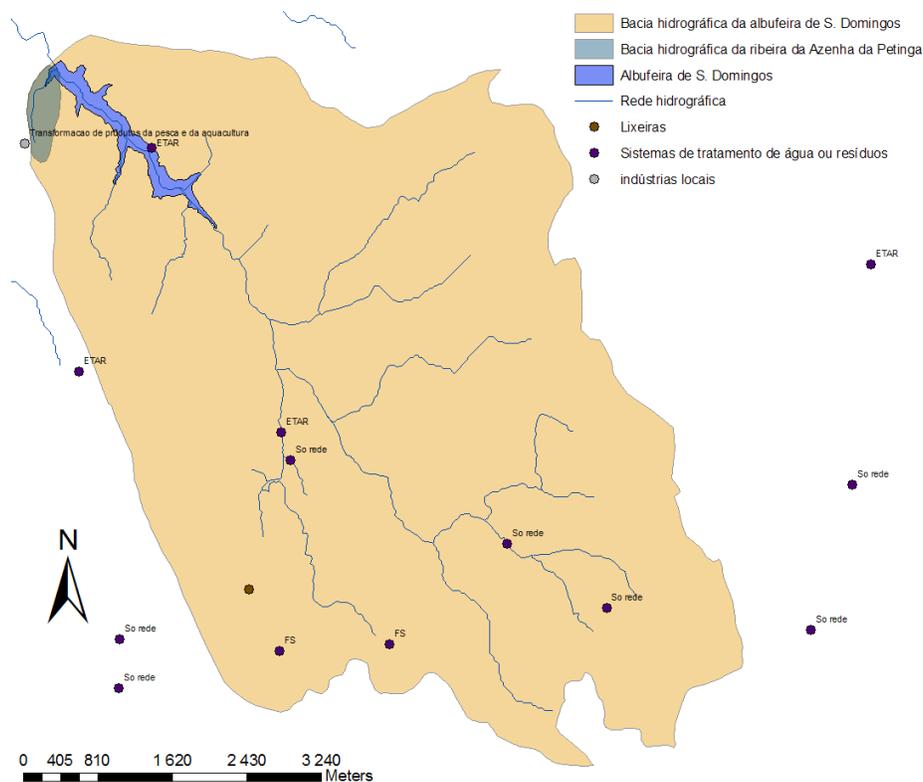


Figura 9 – Fontes de poluição na bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos presentes na *layer* de fontes de poluição do Plano de Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste.

Junto à albufeira apenas está referenciada uma ETAR e junto à ribeira da Azenha da Petinga, uma indústria transformadora de produtos de pesca e aquacultura. A montante da albufeira existem mais 6 estruturas de saneamento e uma lixeira, no entanto a distância mínima destes focos de poluição à albufeira é de 2,5 km, prevendo-se por isso um impacto pouco significativo na qualidade da água.

4.5.2. Qualidade da água da albufeira

Para caracterizar a qualidade da água na albufeira de S. Domingos e avaliar a sua evolução nos últimos anos, fez-se a recolha no SNIRH de dados de qualidade para o período de 1999 a 2009 (estação 18B/01). Fez-se uma análise temporal dos parâmetros de qualidade da água da albufeira da última década para procurar identificar alguma eventual alteração no seu padrão que pudesse estar associada à construção e/ou exploração do IP6. Os parâmetros seleccionados para esta análise foram a CQO, a CBO₅, o Cu, o NO₃, os SST e os cloretos por serem os que apresentavam mais dados disponibilizados e serem também indicadores de poluição rodoviária (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b). Na Figura 10 representa-se a evolução das concentrações médias anuais. É possível identificar um aumento pronunciado da CQO a partir de 2006, o que corresponde ao início da exploração do IP6.

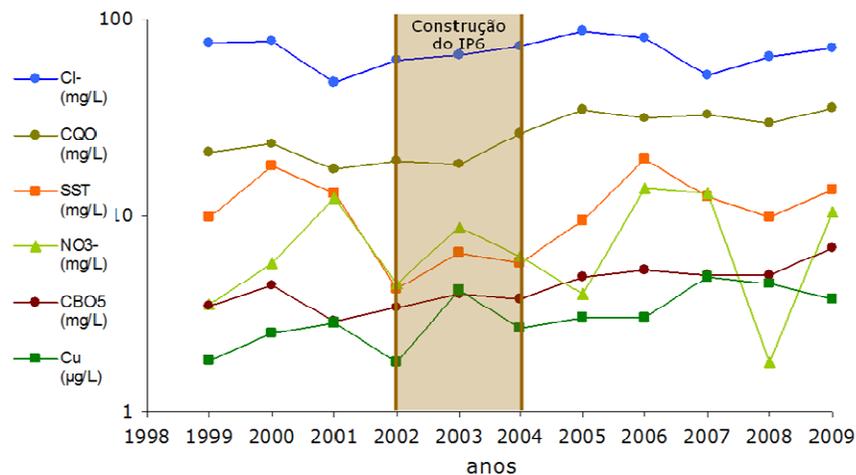


Figura 10 – Concentrações de Cl⁻, CQO, SST, NO₃⁻, CBO₅ e Cu na estação de monitorização da albufeira de S. Domingos de 1999 a 2009 (SNIRH, 2010).

A Figura 11 apresenta em dois gráficos, devido às diferentes gamas de valores, as concentrações médias de parâmetros indicadores de poluição rodoviária, diferenciando os períodos: antes da existência do IP6, durante a sua construção e após o início da sua exploração.

Além de alguns dos compostos analisados anteriormente (CQO, SST, CBO₅ e Cu), foram acrescentados os metais pesados Pb e Cd porque como neste caso os períodos analisados abrangem mais do que um ano, foi possível adicionar mais elementos cuja informação disponível era insuficiente ser representada na Figura 10.

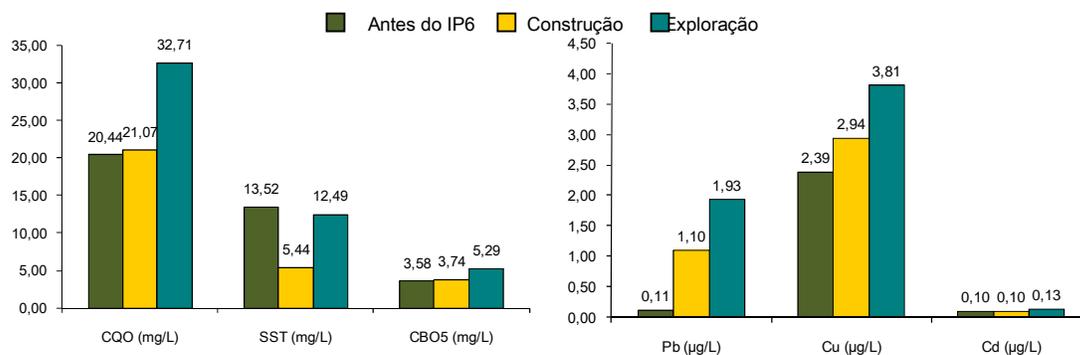


Figura 11 – Concentrações de CQO, SST, CBO₅, Pb, Cu e Cd na estação de monitorização da albufeira de S. Domingos antes da existência do IP6 (1999 a 2002), durante a sua construção (2002 e 2003) e na sua exploração (2004-2009) (SNIRH, 2010).

Existe um aumento significativo nas concentrações de CQO, Pb e Cu a partir do início da exploração do IP6, o que evidencia algum impacto causado pela construção da estrada na qualidade da água da albufeira, sem no entanto existirem valores acima dos Valores Máximos Recomendados (VMR) do Anexo I do D.L. n.º236/98 de 1 de Agosto (*cf.* Anexo II do presente relatório).

4.6. Definição e caracterização da sub-bacia hidrográfica a estudar

Uma vez que as escorrências de 16,7% da área pavimentada do IP6 que integra a bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos são sujeitas a tratamento, interessava estudar uma sub-bacia que recebesse escorrências rodoviárias sem qualquer tratamento prévio. Assim, depois de analisar o projecto de drenagem do IP6 (COBA, 2001), foi identificada uma extensão de 290 m, correspondente a uma área pavimentada de 4350 m², que drena sem tratamento prévio para uma linha de água afluenta à albufeira, a ribeira da Azenha da Petinga (*cf.* Figura 12).

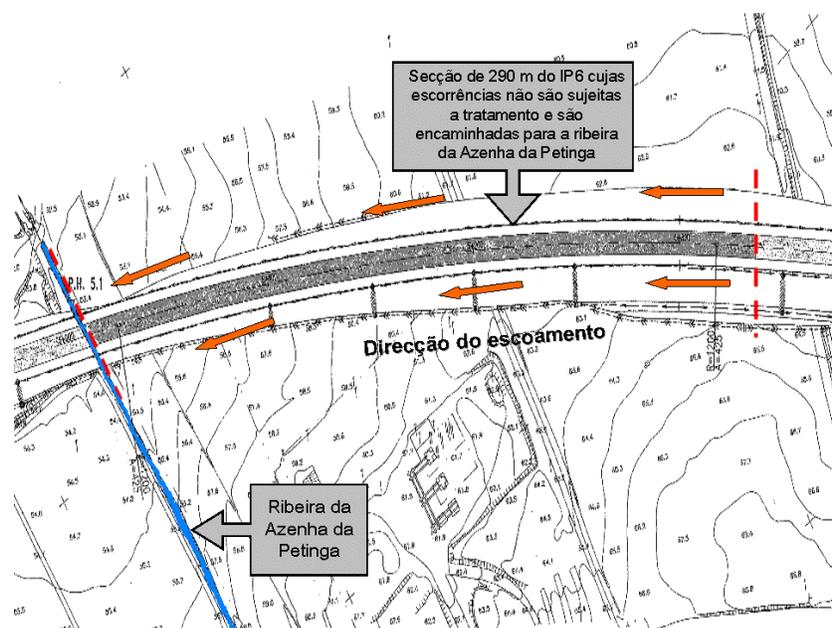


Figura 12 – Excerto da planta do projecto de drenagem do IP6 com realce para a ribeira da Azenha da Petinga que recebe escorrências da estrada (COBA, 2001).

A bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga é uma das mais pequenas da albufeira de S. Domingos (representa 0,72% da sua área), apresenta uma ocupação do solo totalmente agrícola. Esta ribeira é intermitente e está representada na Figura 13.



Figura 13 – Bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga.

No Quadro 9 caracteriza-se a bacia hidrográfica e a ribeira da Azenha da Petinga.

Quadro 9 – Características da bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga. Dados extraídos de COBA (2001) e do SIG.

Bacia hidrográfica da ribeira da Azenha da Petinga	
Área (ha)	28,49
Comprimento da ribeira (m)	500
Área pavimentada do IP6 que drena para a bacia (m ²)	4350
Comprimento do troço do IP6 que drena para a bacia (m)	290
% da área correspondente à área do IP6	1,53
% da área correspondente à bacia da albufeira de S. Domingos	0,72

4.7. Angariação e sistematização de dados caracterizados

4.7.1. IP6

Os dados de qualidade de escorrências do IP6 foram recolhidos em Setembro e Outubro de 2005 e em Fevereiro de 2006 no âmbito de um estudo para a empresa Estradas de Portugal S.A. (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b) e estão sintetizados no Quadro 10. Resultaram de monitorizações automáticas, realizadas no local e que envolveram 8 eventos de precipitação.

Quadro 10 – Resultados das análises feitas às águas de escorrência do IP6 numa campanha de amostragem feita em Setembro e Outubro de 2005 e em Fevereiro de 2006 (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b).

Parâmetros	n.º de análises	min	máx	média	desvio padrão
pH, 25°C	47	4,43	7,52	6,5	0,68
Conductividade (µS/cm)	47	132,0	722,0	384,3	145,5
CQO (mgO ₂ /L)	47	4,0	690,0	173,3	179,7
SST (mg/L)	47	11,0	1800,0	235,6	358,4
SDT (g/L)	47	0,1	0,5	0,3	0,1
Salinidade (mg/L)	47	19,0	350,0	182,7	75,4
Óleos e gorduras (mg/L)	8	0,0	1,0	0,5	0,4
Hidrocarbonetos totais (mg/L)	6	0,1	0,7	0,3	0,3
Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	47	71,0	569,0	159,2	80,7
Cloretos (mgCl/L)	47	4,2	53,0	35,0	14,0
NO ₃ ²⁻ (mg/L)	30	0,3	9,0	4,8	2,3
CBO ₅ (mg/L)	20	1,0	20,0	8,1	5,6
Zn (µg/L)	47	6,7	510,0	77,0	80,4
Cu (µg/L)	47	3,0	137,0	32,0	26,4
Pb (µg/L)	47	1,0	17,2	9,5	17,2
Cd (µg/L)	30	<3	7	1	1
Cr (µg/L)	30	<10	13	8	13

4.7.2. Campanha de campo

No dia 8 de Março de 2010 fez-se uma campanha de campo com o objectivo de confirmar dados do uso do solo e recolher amostras na zona da albufeira que recebe as escorrências do IP6 através da ribeira da Azenha da Petinga. Foi feita a recolha de uma amostra de água em três pontos da ribeira e um na margem da albufeira de S. Domingos. Para facilitar a leitura dos resultados, definiu-se como R1, o ponto na ribeira que recebe a drenagem do IP6, R2 o ponto localizado num canal de rega e R3 o ponto de confluência de R1 e R2. O mapa com a localização desses pontos de amostragem está representado na Figura 14.



Figura 14 – a) Localização dos 3 pontos de amostragem da campanha do dia 8 de Março de 2010 na ribeira da Azenha da Petinga (extraído da Carta Militar 337 do Instituto Geográfico do Exército). b) Fotografia da campanha com os pontos de recolha indicados. c) Pormenor do ponto R1 no leito da ribeira (8 de Março de 2010).

Com uma sonda multiparamétrica da Yellow Springs (YSI556MPS), mediram-se vários parâmetros indicadores de qualidade como o pH, a temperatura, a condutividade, os sólidos dissolvidos totais (SDT), a salinidade e o oxigénio dissolvido (OD). As amostras de água recolhidas foram colocadas em garrações, refrigeradas e enviadas para um laboratório contratado onde foram analisados os seguintes parâmetros: Dureza total, SST, cloretos, CQO, óleos e gorduras, hidrocarbonetos totais, P total, carbono orgânico total (COT) e N Kjeldahl. Uma quantidade mais reduzida de cada amostra (cerca de 150 ml) foi conservada (acidificada e refrigerada a 4°C) e posteriormente enviada à Escola Superior de Tecnologia de Viseu, participante do Projecto G-Terra, para análise dos seguintes elementos metálicos: Pb, Cr, Cu, Cd, Zn e Fe.

Os dados recolhidos são apresentados no Quadro 11, estes caracterizam a qualidade da ribeira, afluente à albufeira, no dia da amostragem.

Quadro 11 – Resultados da campanha de amostragem de 8 de Março de 2010.

Parâmetros	Pontos de amostragem			
	R1	R2	R3	Albufeira
pH, 25°C	7,94	8,19	8,07	8,28
Temperatura (°C)	12,98	13,31	13,03	12,89
Condutividade (µS/cm)	1964	2328	1976	527,5
Oxigénio Dissolvido (%)	72,8	95	106	86,85
CQO (mgO ₂ /L)	34	93	<30	<30
SST (mg/L)	2.60E+02	25	26	23
SDT (g/L)	1,657	1,948	1,665	0,446
Salinidade (ppt)	1,32	1,57	1,33	0,335
Óleos e gorduras (mg/L)	<2	<2	<2	<2
Hidrocarbonetos totais (mg/L)	<2	<2	<2	<2
P total (mgP/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	622	485	626	198
Cloretos (mgCl ⁻ /L)	3,70E+02	3,20E+02	3,40E+02	63
COT (mgC/L)	16	16	14	14
Azoto Kjeldahl (mgN/L)	2,3	4,5	2,9	1,5
Zn (mg/L)	<0,081	ND	<0,081	ND
Cu (mg/L)	<0,015	<0,015	<0,015	ND
Pb (mg/L)	0,071	0,067	0,073	0,019
Cd (µg/L)	1,528	1,307	1,324	<0,586
Cr (mg/L)	ND	ND	ND	ND
Fe (mg/L)	7,409	1,197	2,976	0,747

A medição do caudal da ribeira foi feita utilizando traçadores (no caso, cascas de laranja), fita métrica e um cronómetro. Estimou-se a velocidade contabilizando o tempo que os traçadores demoraram a percorrer um metro e mediu-se a altura da água e largura da ribeira no ponto R3. Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 12.

Quadro 12 – Medições referentes à ribeira da Azenha da Petinga efectuadas na campanha de campo de dia 8 de Março de 2010.

Parâmetros	Valor estimado no campo
Altura da água (m)	0,06
Largura (m)	0,49
Área de escoamento (m ²)	0,0252
Velocidade (m/s)	0,126
Caudal (L/s)	2,92

O facto de, à data da elaboração deste relatório, ainda não estarem disponível no SNIRH dados de precipitação diária para o ano de 2010, impossibilitou o cálculo aproximado da contribuição das escorrências do IP6 para o caudal da ribeira no dia da campanha.

4.8. Avaliação do potencial impacte das escorrências do IP6 na albufeira de S. Domingos

Com o objectivo de investigar o papel dos processos de lavagem e remoção dos poluentes na bacia em estudo, fez-se uma análise de correlações lineares simples entre os valores de precipitação e os parâmetros de qualidade da albufeira. Uma vez que os fenómenos hidrológicos podem demorar algum tempo até produzirem efeitos na massa de água, colocou-se a hipótese da qualidade da água da albufeira ser resultado da precipitação ocorrida nos dias anteriores à amostragem. Considerou-se que as precipitações dos 2 e dos 5 dias anteriores poderia ser importante para o estudo e assim utilizaram-se arbitrariamente as seguintes variáveis de precipitação:

- Precipitação acumulada dos 5 dias anteriores à medição de qualidade (Pp.t 5d);
- Precipitação acumulada dos 2 dias anteriores à medição de qualidade (Pp.t 2d);
- Precipitação média dos 5 dias anteriores à medição de qualidade (Pp.m 5d);
- Precipitação média dos 2 dias anteriores à medição de qualidade (Pp.m 2d);
- Precipitação total do dia de medição de qualidade (Pp. d);

Foram vários os parâmetros de qualidade utilizados na análise preliminar; no entanto foi dada uma maior relevância ao estudo dos parâmetros CQO, CBO₅, Cu, NO₃ e SST por existirem mais dados disponíveis.

A correlação obtida foi avaliada através dos coeficientes de determinação (R²) que estão representados no Quadro 13. Verifica-se que os valores de R² não são significativos, apesar da existência de alguma correlação entre o parâmetro CBO₅ e a precipitação registada 5 dias antes da amostragem (R² de cerca 0,7). Os coeficientes de determinação obtidos para os valores médios e para os acumulados de precipitação foram os mesmos.

Quadro 13 – Coeficiente de determinação (R²) obtido entre os valores de precipitação médios registados nos 5 (Pp.m 5d) e 2 (Pp.m 2d) dias anteriores à campanha de monitorização de qualidade e no próprio dia da amostragem (Pp. d) e os valores de CQO, CBO₅, Cu, NO₃⁻ e SST registados (SNIRH, 2010).

R ²	Pp.m 5d (mm)	Pp.m 2d (mm)	Pp. d (mm)
CQO (mg/L)	0,1382	0,0246	0,0757
CBO ₅ (mg/L)	0,6505	0,3884	0,4716
Cu (µg/L)	0,0295	0,0011	0,0181
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,1105	0,1736	0,0913
SST (mg/L)	0,1414	0,0588	0,0338

Os dados de qualidade de escorrências do IP6 foram recolhidos entre Setembro de 2005 e Fevereiro de 2006 (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b) e os da ribeira da Azenha da Petinga em Março de 2010. Assim, para comparação destes dados com os da albufeira de S. Domingos, foram utilizadas médias dos dados do SNIRH entre Setembro e Março de 2005 a 2009. Esta escolha teve por objectivo eliminar a época seca

e ter em conta o período em que foram feitas as campanhas de campo. Assumiu-se que os valores médios de qualidade da água serão os mais apropriados para esta análise comparativa.

Apresentam-se no Quadro 14 os valores médios das concentrações de NO_3^- , CQO, CBO_5 , Cu, SST e cloretos para a fonte poluente (IP6), para a ribeira receptora das escorrências e que descarrega na albufeira (ribeira da Azenha da Petinga) e para a própria albufeira de S. Domingos. Na Figura 15 estes dados são apresentados de forma gráfica para melhor visualização dos resultados.

Quadro 14 – Concentrações de CQO, Cu, SST e cloretos nas águas de escorrência do IP6 (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b), na ribeira da Azenha da Petinga e na albufeira de S. Domingos (SNIRH, 2010).

	Escorrência do IP6		Ribeira A. Petinga		Albufeira de S. Domingos		
	n.º de amostras	média	n.º de amostras	média	SNIRH		8 Março 2010
					n.º de amostras	média	
SST (mg/L)	47	235,6	3	103,7	39	13,4	23
CQO (mg/L)	47	173,3	2	63,5	35	30,5	< 30
CBO_5 (mg/L)	20	8,1	---	---	39	4,7	---
NO_3^- (mg/L)	30	4,8	---	---	24	8,0	---
Cu ($\mu\text{g/L}$)	47	32,0	3	< 15	19	3,7	---
Cl^- (mg/L)	47	35,0	3	343,3	34	72,2	63

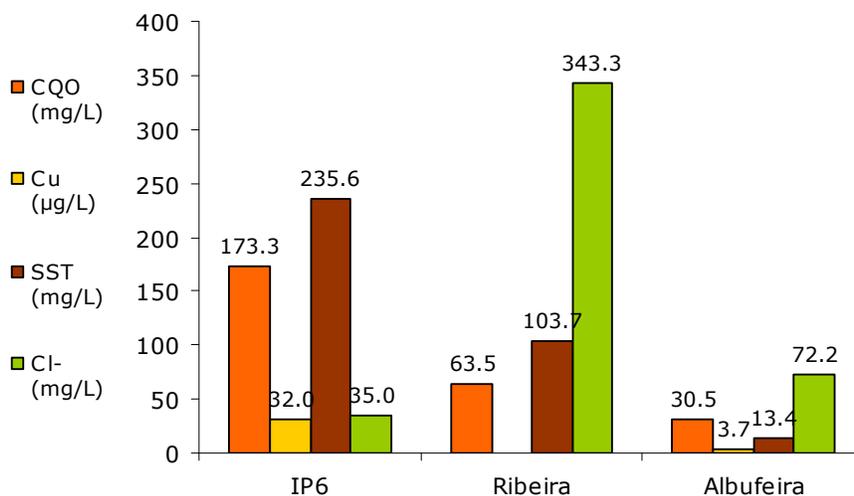


Figura 15 – Concentrações médias de CQO, Cu, SST e cloretos nas escorrências do IP6, na ribeira e na albufeira de S. Domingos (Barbosa *et al.*, 2006a e 2006b e SNIRH, 2010).

5. APLICAÇÃO DOS MODELOS AO CASO DE ESTUDO

5.1. Selecção dos modelos a aplicar

Com o objectivo de seleccionar modelos que pudessem ser aplicados neste caso de estudo, tendo em conta o conhecimento da bacia em causa, nomeadamente os 80% de solo agrícola e as dimensões da bacia de 39 km², fez-se uma pesquisa em diversos centros de investigação, universidades e organismos públicos internacionais. A busca debruçou-se sobre modelos de bacias hidrográficas, pois tendo em conta a abordagem integradora que se pretendia dar ao impacte das águas de escorrência de estradas no meio hídrico, este é o tipo de modelo mais adequado.

Os principais critérios de selecção dos modelos foram os seguintes:

- Acessibilidade gratuita (por este motivo a pesquisa foi feita essencialmente em entidades públicas);
- Dimensões da bacia hidrográfica relativamente pequenas;
- Simulação de fontes de poluição difusa incluindo áreas pavimentadas e poluentes típicos de estradas, como metais pesados.

Analisaram-se mais de 20 modelos (Anexo I) e chegou-se a uma selecção de 5 que reuniam as características pretendidas, sendo estes os seguintes:

- BASINS (*Better Assessment Science Integrating Point and nonpoint Sources*)
- WARMF (*Watershed Analysis Risk Management Framework*)
- EPDRiv1
- SIMGRO
- SWAT (*Soil & Water Assessment Tool*)

Depois de analisar estes modelos quanto à sua facilidade de utilização, volume de dados requerido e/ou exigência de processador, restaram apenas o BASINS e o WARMF por terem uma utilização aparentemente mais acessível.

Além dos modelos acima referidos, decidiu-se usar também a metodologia HAWRAT (*Highways Agency Water Risk Assessment Tool*), uma ferramenta de gestão da qualidade específica para águas de escorrência de estradas que foi recentemente desenvolvida no Reino Unido pela *Highways Agency* e pela *Environmental Agency* (Whitehead, 2009).

5.2. Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS)

O BASINS é um modelo desenvolvido pela EPA-EUA em 2007 com 3 objectivos principais: facilitar a selecção de informação ambiental, apoiar a análise de sistemas ambientais e fornecer uma base de trabalho para selecção de alternativas de gestão (AquaTerra Consultants, 2004). O seu sistema foi preparado para analisar e integrar fontes de poluição pontuais e difusas na modelação de bacias hidrográficas e da qualidade da água. Funciona também com um sistema de apoio ao desenvolvimento de Valores Limite de Emissão (VLE) para parâmetros que não cumpram a legislação referente à qualidade da água.

O modelo tem uma estrutura de SIG integrada que permite a organização da informação espacial na forma de mapas, gráficos ou tabelas e é adequado para utilização em bacias hidrográficas de grandes e médias dimensões (superiores a 26 km²). Possui também uma série de ferramentas e módulos que permitem ao utilizador inúmeras funcionalidades na gestão dos dados e das simulações.

O BASINS inclui uma variedade de bases de dados referentes aos EUA extraídas e formatadas para facilitar a modelação e permite a simulação de parâmetros físico-químicos associados a fontes de poluição difusa, essencialmente agrícolas. Contem também uma componente de avaliação que permite aos utilizadores avaliar rapidamente áreas seleccionadas, organizar informação e apresentar resultados.

São necessários inúmeros dados de *input*, já inseridos nas bases de dados do modelo, como dados físicos (por exemplo caudal máximo e mínimo, comprimento, declive ou profundidade) ou de qualidade (metais pesados, nutrientes, parâmetros de qualidade, etc.) (AquaTerra Consultants, 2004).

5.3. Watershed Analysis Risk Management Framework (WARMF)

O WARMF foi concebido pelo Electric Power Research Institute (EPRI) dos EUA em 2005 e tem como principal finalidade o planeamento e gestão de bacias hidrográficas, funcionando com um suporte de decisão através de ferramentas que permitem calcular os VLE para vários parâmetros (Herr *et al.*, 2001). O modelo está organizado em cinco módulos:

- *Engineering*, o módulo baseado em SIG que permite o cálculo de escoamentos e simulações de fenómenos hidrológicos e qualidade de uma bacia hidrográfica.
- *Data*, que contém os dados iniciais utilizados nas simulações, como dados meteorológicos, de qualidade do ar, fontes de poluição pontual ou dados hidrológicos.
- *Knowledge*, que tem como função o armazenamento de dados suplementares da bacia em estudo.
- *Consensus*, que fornece, por cada etapa, informação científica aos utilizadores como ajuda à resolução de eventuais problemas ou alternativas relativamente à gestão e planeamento da bacia. Este módulo apresenta *ouputs* sob a forma de gráficos ou tabelas.

- *TMDL*, neste módulo são efectuados os cálculos na direcção montante-jusante, a partir dos quais são feitas as simulações.

O modelo inclui modelos integrados, uma base de dados relativa a bacias dos EUA e software gráfico numa ferramenta que dispensa a utilização de SIG. Tal como o BASINS, permite a modelação de bacias hidrográficas de dimensões variáveis (de 28 a 42 km²).

É necessário um volume considerável de dados para se efectuar as simulações, que vão desde dados físicos da bacia até dados de usos do solo, sistemas de tratamento, compostos aplicados no solo, irrigação ou medidas já aplicadas de gestão da bacia. No entanto, no caso dos EUA, toda esta informação já está presente na base de dados do próprio modelo (Herr *et al.*, 2001).

5.4. Highways Agency Water Risk Assessment Tool (HAWRAT)

A ferramenta HAWRAT foi desenvolvida no Reino Unido entre 2002 e 2009 no âmbito de um projecto conduzido pela *Highways Agency* e a *Environmental Agency* com o objectivo de gerar metodologias para controlar os impactes ambientais causados pelas águas de escorrência de estradas e, assim, responder aos requisitos de impostos pela DQA em termos de protecção e reabilitação da qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O projecto foi constituído por 5 etapas, as 3 primeiras referentes à identificação e caracterização dos principais poluentes presentes nas águas de escorrência de estradas e ao seu impacte ecológico nas massas de água. As últimas tarefas do projecto foram a concepção e avaliação da HAWRAT, uma ferramenta de modelação empírica que, baseada nas relações estatísticas (regressões lineares múltiplas) das diversas variáveis monitorizadas e dos dados angariados, permite prever a concentração de poluentes nas águas de escorrência de estradas e o seu impacte no meio hídrico (Whitehead, 2009).

Não é necessário um grande volume de dados de *input*, apenas informações sobre o local como regime de precipitação, caudal ou comprimento da estrada e características da estrada, como o TMDA, área de impermeabilização ou informação sobre a existência de tratamento das escorrências da estrada.

5.5. Aplicação dos modelos seleccionados à área definida

5.5.1. BASINS

O primeiro modelo aplicado foi o BASINS. Depois da análise dos tutoriais tentou-se a utilização directa no modelo das *layers* usadas no ArcGIS para a bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos. No entanto, no ambiente do BASINS as *layers* desconfiguravam, perdendo a sua informação. Este facto pode ser consequência do modelo estar preparado para os dados provenientes da própria EPA ou de outras organizações dos EUA que têm uma configuração específica.

No entanto, para averiguar a sensibilidade do modelo a alterações do uso do solo, trabalhou-se com uma bacia contida na sua base de dados, de dimensões semelhantes à bacia da albufeira de S. Domingos. Verificaram-se grandes dificuldades na alteração dos usos definidos inicialmente pelo modelo e foi perceptível a necessidade de mais tempo para que a utilização do BASINS neste caso de estudo fosse possível.

Na Figura 16 apresenta-se a interface gráfica do modelo que é muito semelhante à do ArcGIS, pelo que um utilizador habituado a trabalhar neste programa de SIG terá, à partida, alguma facilidade na utilização do BASINS.

Outra limitação encontrada são alguns dos dados iniciais que são necessários e que são inexistentes para o caso de estudo nacional.

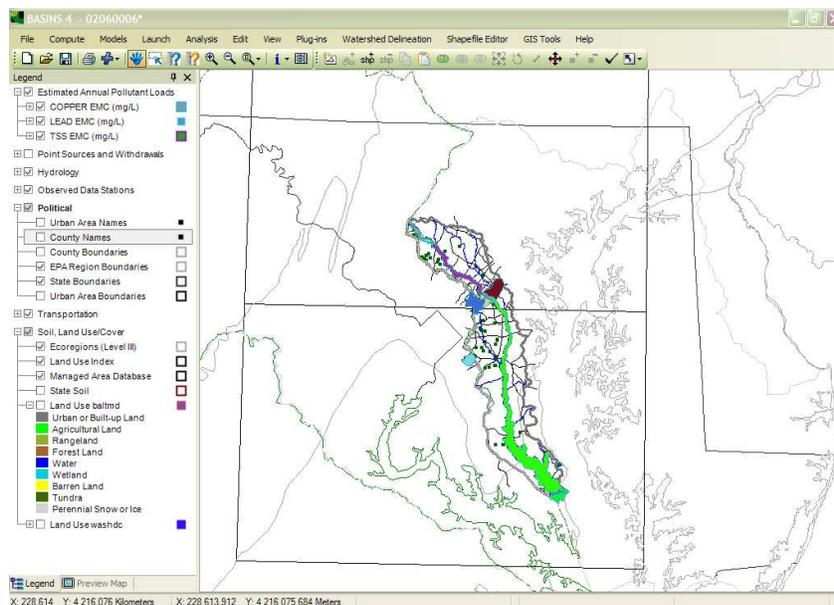


Figura 16 – Interface gráfica do modelo BASINS v4.

5.5.2. WARMF

À semelhança do modelo BASINS, o facto do WARMF estar configurado para as bases de dados dos EUA condiciona a sua utilização noutros países uma vez que é necessário construir a bacia hidrográfica de início e inserir todos os dados de entrada, cujo volume é relativamente elevado.

No entanto, o modelo contém uma interface gráfica, representada na Figura 17, intuitiva para o utilizador e com comandos acessíveis. O factor limitante para a utilização do WARMF neste estudo foi a necessidade de configuração de toda a bacia hidrográfica, tarefa que exigiria algum tempo, podendo chegar a alguns meses e colocando em causa o cronograma de trabalhos para os 12 meses.

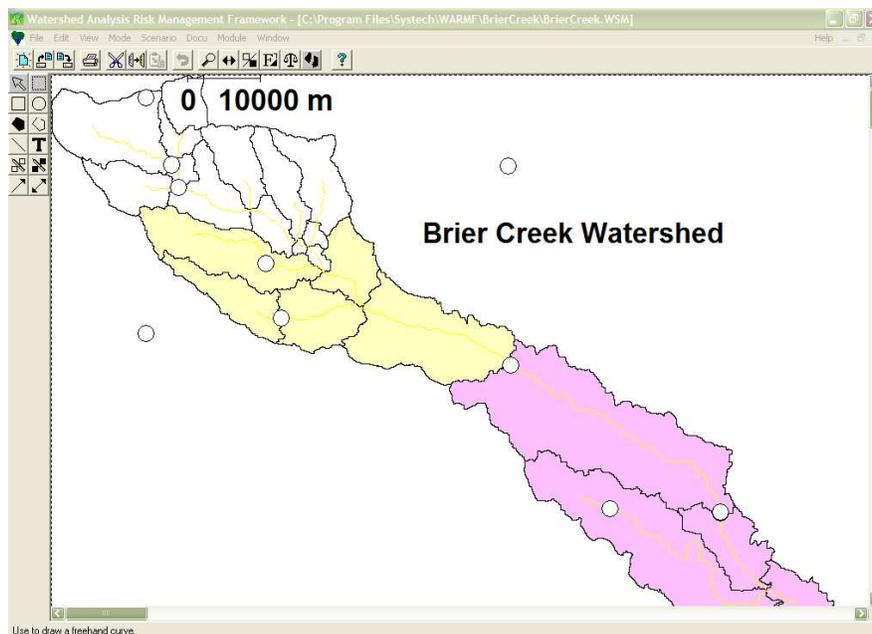


Figura 17 – Interface gráfica do modelo WARMF.

5.5.3. HAWRAT

A ferramenta de modelação HAWRAT está inserida numa folha do programa Excel®, o que facilita a sua utilização e, na perspectiva do utilizador, apresenta uma interface gráfica simples e intuitiva como se verifica na Figura 18.

A geração de resultados é simples e clara, utilizando a cor vermelha para indicar um impacte significativo ou perigoso ou uma incerteza de resultados e conseqüente necessidade de uma análise mais específica. A cor verde indica a ausência de impactes danosos ou o facto de não ser necessário efectuar mais análises. Os resultados discriminam impactes agudos provocados por poluentes dissolvidos (Cu, Zn e HAP) e impactes crónicos causados por poluentes particulados (Cu, Zn, Cd e HAP).

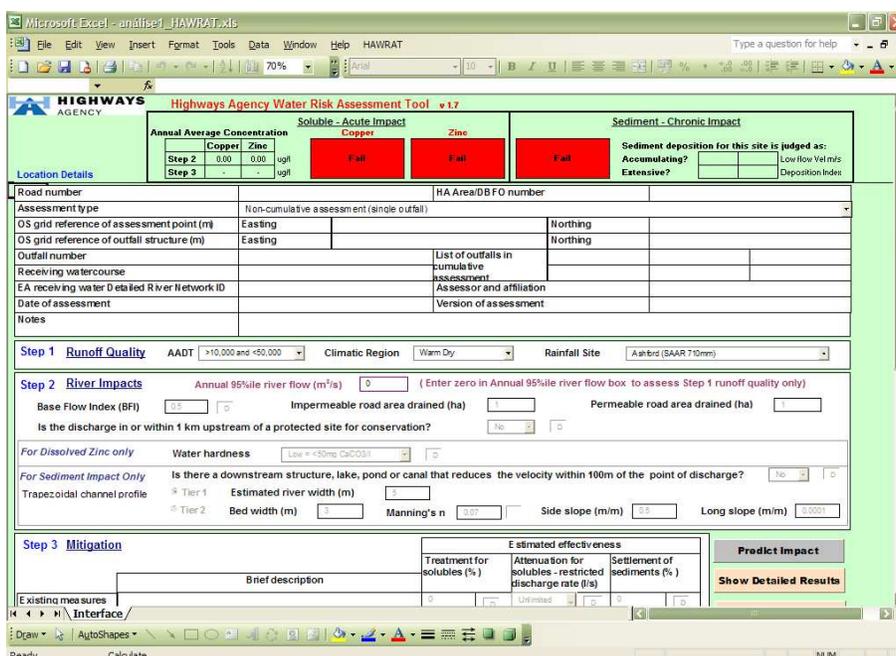


Figura 18 – Interface gráfica, na perspectiva do utilizador, da ferramenta de modelação HAWRAT.

Não é possível aplicar a HAWRAT à albufeira de S. Domingos porque a ferramenta está preparada para que o meio receptor seja um rio. Sabe-se que, no futuro, virá a dispor de funções para lagos, entre outras. Assim, foi feita a aplicação à ribeira da Azenha da Petinga utilizando como dados de *input* a área pavimentada que drena para a ribeira, a dureza da água, o comprimento, caudal anual e a profundidade da ribeira e ainda o TMDA do IP6. Os resultados indicam impactes insignificantes ou inexistentes, indicados pela cor verde como se demonstra na Figura 19. No entanto estes resultados não podem ser considerados como representativos de todas as condições hidrológicas, uma vez que os dados inseridos baseiam-se em medições feitas numa única campanha de campo efectuada a 8 de Março de 2010.

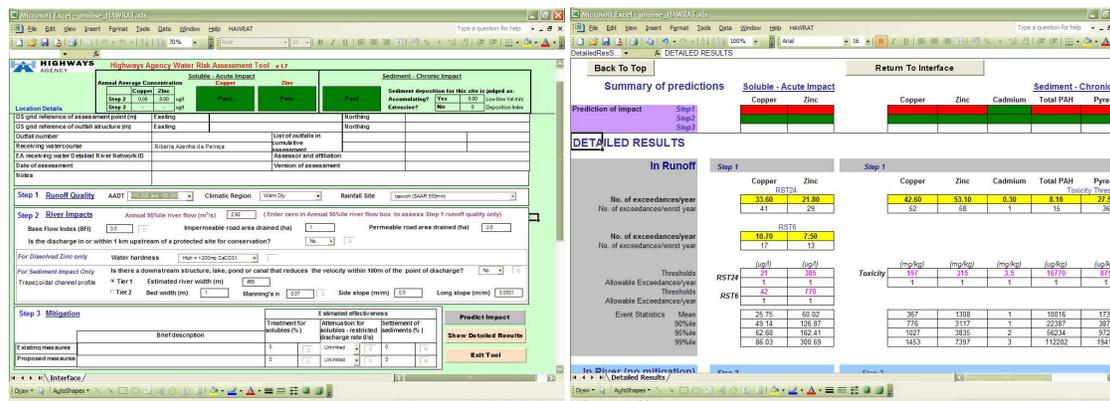


Figura 19 – Resultados da HAWRAT para a previsão de impactes da descarga de escorrências do IP6 na ribeira da Azenha da Petinga.

6. SÍNTESE E ANÁLISE CRÍTICA DAS TAREFAS DESENVOLVIDAS

Considerando o cronograma de tarefas inicialmente proposto neste estudo, elaboraram-se algumas considerações finais, enumeradas em seguida de acordo com os objectivos enunciados no Capítulo 2 deste trabalho.

1) Utilização de ferramentas de modelação

No tempo disponível, os modelos de bacia hidrográfica seleccionados, BASINS e WARMF, revelaram-se inadequados para aplicação neste estudo dadas as suas características, porque ambos estão direccionadas para bacias hidrográficas dos EUA, apresentando nas suas bases de dados informação referente apenas aos recursos hídricos daquele país. Por este motivo, a utilização destes modelos na bacia hidrográfica da albufeira de São Domingos não foi viável no contexto deste estudo. No entanto, com mais tempo para adaptar a informação disponível aos modelos, a sua utilização possivelmente seria viável.

A ferramenta de modelação HAWRAT foi a que mais se adequou a este estudo uma vez que foi concebida especificamente para determinar o impacte das águas de escorrência de estradas no meio hídrico. Como foi criada para a utilização de rios como meio receptor, foi utilizada para a previsão dos possíveis impactes na ribeira da Azenha da Petinga; os resultados obtidos indicaram impactes pouco significativos sobre esta ribeira. No entanto, seria necessário aprofundar mais a aplicação da HAWRAT em ribeiras intermitentes, já que a ferramenta foi desenvolvida no Reino Unido, país onde o regime de precipitação não é tão variável como o de Portugal. Um resultado de impacte significativo poderia eventualmente ter sido obtido, caso se introduzisse um caudal típico de fim de Primavera.

Os resultados desta tarefa confirmaram as considerações de diversos estudos que defendem que para bacias hidrográficas de pequenas ou médias dimensões e com poucos dados disponíveis, a melhor solução de modelação passa por modelos conceptuais ou empíricos, que usam relações estatísticas simples permitindo uma compreensão mais clara dos impactes (Santos, 2000; Ghafouri e Swain, 2005; Leitão *et al.*, 2010; Wium-Andersen *et al.*, 2010).

2) Caracterização dos usos do solo na bacia hidrográfica

Uma vez que o uso do solo mais relevante da bacia hidrográfica da albufeira de S. Domingos é a actividade agrícola (cerca de 90% de ocupação), é esta fonte de poluição difusa a que mais pode contribuir para eventuais impactes na qualidade da água da albufeira. O pavimento do IP6 constitui 0,25% da área desta bacia, sendo que as escorrências de 0,10% são alvo de tratamento, pelo que não poderão contribuir para o decaimento da qualidade da água na albufeira.

3) Caracterização da qualidade da água da albufeira de S. Domingos

A exploração do IP6 começou em 2004 e, a partir desta data, verifica-se alguma tendência para o aumento das concentrações de CQO, CBO₅ e Cu na albufeira de S. Domingos, que pode estar associada ao tráfego rodoviário.

Deve-se salientar o facto de que durante o período de construção há movimentação de terras e circulação de viaturas, não estando ainda a funcionar as bacias de tratamento. Como é habitual nestes casos, terão havido medidas na obra para reduzir estes impactes, mas poderão ter causado repercussões temporárias na qualidade da água.

4) Definição da sub-bacia hidrográfica ocupada pelo IP6 e caracterização da qualidade da água

A ribeira da Azenha da Petinga não tem caudal na época seca, pelo que apresenta uma grande sensibilidade à poluição. As amostras colhidas na campanha de campo de 8 de Março de 2010 evidenciam elevados níveis de SST, principalmente no troço que recebe contribuição das escorrências do IP6. Estas concentrações poderão estar associadas à recepção de drenagens do IP6, numa área de 4350 m² não sujeita a tratamento e, também, ao facto da erosão gerada pela passagem deste caudal provocar a movimentação de sedimentos do leito da ribeira. Esta hipótese pode ser validada pela elevada concentração de Fe verificada neste ponto de monitorização, relativamente aos demais.

Nos dois pontos da ribeira analisados (R1 e R3), os níveis de cloretos foram muito altos, o que pode indicar, além da proximidade ao oceano, a presença de contaminação por esgotos domésticos, nomeadamente através de fossas sépticas, ou eventuais fontes desconhecidas.

5) Análise dos dados disponíveis de qualidade das águas de escorrência do IP6

As águas de escorrência do IP6 evidenciam altos índices de condutividade e salinidade, bem como a presença de cloretos. Estes dados indicam reduzida distância do oceano (cerca de 4,5 km) ao local de monitorização da estrada, facto referido no estudo de monitorização (Barbosa *et al.*, 2006b). Verificaram-se também, concentrações elevadas de SST e Cu, poluentes associados ao tráfego rodoviário.

6) Análise dos dados e correlações com o objectivo de identificar o impacte da construção do IP6 na qualidade da água da albufeira de S. Domingos

A pesquisa de correlações lineares simples entre a precipitação acumulada diária de 1, 2 e 5 dias e a qualidade da água da albufeira não resultou em correlações significativas, o que indicará que a precipitação não é o único factor determinante para explicar a qualidade da água da albufeira. A mais relevante foi obtida entre a precipitação média dos 5 dias antes da amostragem e a CBO₅. No entanto tendo em conta o facto do volume da albufeira ser muito superior em relação ao volume de precipitação acumulada ao fim de 5 dias, esta análise deveria ter sido feita usando um período de tempo mais alargado como por exemplo, um mês.

Como espectável, o volume da albufeira potencia a diluição dos poluentes, por isso apresenta as concentrações mais baixas, praticamente para todos os parâmetros, à excepção dos cloretos, cujo nível é superior ao registado nas águas de escorrência. A ribeira da Azenha da Petinga registou a concentração mais elevada de cloretos, respectivamente cerca de 10 e 5 vezes maiores aos das escorrências do IP6 e da albufeira.

Comparando estes resultados com os obtidos num estudo de âmbito semelhante da República Checa, verifica-se algum paralelismo, sobretudo na impossibilidade de confirmar os efeitos concretos das escorrências de estrada na massa de água sem a existência de mais dados temporais e espaciais. No

referido estudo não se confirmou a diminuição da qualidade da massa da água associada à estrada existente, registando-se apenas um aumento de alguns metais pesados, nomeadamente o Cu, na bacia hidrográfica de maiores dimensões, de 134,85 km² (Nabelkova, *et al.*, 2010). Esta bacia não é comparável à da Albufeira de S. Domingos que tem uma área muito inferior, 39 km², além da análise de Nabelkova *et al.* (2010) se debruçar sobre rios e não sobre lagos ou albufeiras.

Além do presente relatório, também resultou deste trabalho um poster apresentado no 14º Encontro de Saneamento Básico (ENaSB) e Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA) realizado de 26 a 29 de Outubro de 2010 no Porto, que se apresenta no Anexo III. Está ainda a ser preparado um artigo científico que se pretende submeter em 2011 a uma revista internacional.

7. CONCLUSÕES DO PROJECTO

As conclusões angariadas nesta investigação permitem a extrapolação de algumas reflexões que podem ser úteis em trabalhos semelhantes com o objectivo de identificar impactes das águas de escorrências de uma estrada na qualidade da água de um dado meio hídrico receptor. Assim, apresentam-se na seguinte tabela, algumas etapas que podem ser consideradas e que resultam da experiência aqui relatada:

Objectivo	Descrição sumária das acções	Potenciais fontes de informação
Identificação das fontes de poluição na bacia hidrográfica	Caracterização do uso do solo da bacia hidrográfica.	<i>Layer</i> Corine 2006 para SIG, planos de bacia hidrográfica
Identificação das condições de drenagem da bacia e da massa de água receptora das escorrências	Caracterização hidrológica da bacia e da massa de água receptora das escorrências, tendo em conta o tempo de concentração e o número de escorrência.	SNIRH, planos de bacia hidrográfica
Caracterização da qualidade da água do meio hídrico receptor e sua evolução temporal	Verificar, através do projecto de drenagem da estrada, qual a massa de água a receber as escorrências sem tratamento prévio e monitorizar a sua qualidade em períodos sazonais diferentes. Análise da qualidade da água do meio receptor considerando o período antes da existência da estrada, durante a sua construção e no período de exploração.	SNIRH, estudos publicados
Caracterização da qualidade da água das águas de escorrência da estrada em estudo	Caso seja possível e necessário, efectuar monitorizações em diferentes eventos de precipitação.	Estudos publicados, campanhas de campo
Identificação de possíveis impactes causados pelas escorrências rodoviárias	Análise estatística e pesquisa de correlações entre a qualidade da água da massa de água antes e após o início da descarga das escorrências da estrada. Utilização da ferramenta de modelação HAWRAT utilizando como dados de entrada a informação angariada.	Dados hidrológicos, de uso do solo e de qualidade da água angariados ao longo do estudo

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrantes, J.G. e Pimpão, A.N. (2006). *Modelos de qualidade da água: Um estudo prospectivo de aplicação nacional de modelos da EPA-USA*. Relatório final da licenciatura em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Albuquerque, M. (2006). *Estudo do funcionamento hidráulico/sanitário de uma bacia de tratamento da ligação Norte da auto-estrada A23 à Covilhã*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia Ambiental. Universidade da Beira Interior.

Altum, A., Filiz, Z. e Iscen, C.F. (2009) *Assessment of seasonal variations of surface water quality characteristics for Porsuk Stream*. Environmental Monitoring Assessment, 158, pp. 51-65

Antunes, P.A. e Barbosa, A. E. (2005) *Águas de Escorrência de Estradas – Características específicas detectadas em Portugal*. 7º SILUSBA, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Évora, 30 Maio a 2 de Junho, pp. 15.

AquaTerra Consultants (2004). *BASINS v.4 Tutorials – Lectures & Appendix*. Environmental Protection Agency, Estados Unidos da América.

Barbosa, A.E. e Hvitved-Jacobsen, T. (1996). *The Importance of Non-point Pollution Impacts – Stormwater and Highway Runoff. An Approach to the State-of-the-Art*. 16th Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment, Estoril, 20-23 Junho, pp. 715-720.

Barbosa, A.E. (1999). *Highway Runoff Pollution and Design of Infiltration Ponds for Pollutant Retention in Semi-Arid Climates*. Tese de Doutoramento, Environmental Engineering Laboratory, Aalborg University, Denmark.

Barbosa, A.E. (2002). *Gestão Ambiental das Escorrências Pluviais de Estradas em Portugal - Presente e Futuro*. 10º Encontro Nacional de Saneamento Básico (10º ENaSB) e SILUBESA, Braga, 16-19 Setembro, pp. 15.

Barbosa, A.E. e Antunes P.B. (2004). *Águas de Escorrência de Estradas. Sistemas para Minimização de Impactes*. 2º Relatório, Relatório 128/04-NRE/DHA, Abril de 2004, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Barbosa, A.E. (2004). *Escorrências de estradas e poluição da água - Estudos em Portugal*. 2º Seminário de Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Sector Editorial dos SDE, ISSN: 972-669-628-3, pp. 10.

Barbosa, A.E., Henriques, M.J., Fernandes, J. (2006a). *Águas de Escorrência de Estradas: Sistemas para Minimização de Impactes – 4º Relatório*. Relatório 333/2006-NRE, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 27.

Barbosa, A.E, Fernandes, J. e Henriques, M.J. (2006b). *Características poluentes numa estrada costeira e avaliação do sistema de tratamento das suas escorrências*. 12º Encontro Nacional de Saneamento Básico (12º ENaSB), Cascais, 24-27 de Outubro, pp. 15.

Barbosa, A.E. e Fernandes, J. (2008). *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. Sistemas de Tratamento de Águas de Escorrência*. Relatório Final Sectorial. Relatório 187/2008-NRE/DHA, Maio de 2008, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 89.

Barbosa, A.E., Antunes, P.B. e Ramísio, P. (2008). *Directrizes para a Gestão Integrada da Poluição das Escorrências de Estradas em Portugal: G-TERRA*. 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico (13º ENaSB), Covilhã, 14-17 Outubro, pp. 13.

Barbosa, A.E., Escarameia, M., Fernandes, J. e Carvalho, C. (2009). *Águas de Escorrência de Estradas. Sistemas para Minimização de Impactes*. Relatório Síntese. Relatório 330/2009-NRE/DHA, Outubro de 2009, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 29.

Barbosa, A.E., Fernandes, J.N. e Dodkins, I. (2010). *Directrizes para a Gestão Integrada das Águas de Escorrência de Estradas em Portugal*. Relatório de Actividades do LNEC em 2008 e 2009, Relatório 96/2010-NRE, Março de 2010, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 60.

Barbosa, A.E. e Fernandes, J.N. (2010). *Comparison of the pollutant potential of two portuguese highways located in different climatic regions*. 10th Urban Environment Symposium, Gutemburgo, Suécia, 9-11 Junho, pp. 10.

Barbosa, A.E. *et al.* (2011). *Directrizes para a Gestão Integrada das escorrências de estradas em Portugal*. pp.80 (em preparação).

Brencic, M., Barbosa, A.E. e Leitão, T.E. (2010). *Identification of water bodies sensitive to pollution from road runoff. A new methodology based on the practices of Slovenia and Portugal*. 10th Urban Environment Symposium, Gutemburgo, Suécia, 9-11 Junho, pp. 10.

Brito, A., Machado, A., Sá, S., Mamede, J., Martins, I. e Alonso J. (2010). *Os Sistemas de Informação Geográfica no planeamento dos recursos hídricos: Estudo de caso (O SI.ADD no PGRH-Norte)*. 14º Encontro Nacional de Saneamento Básico (14º ENaSB) e Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (Silubesa), Porto, 26-29 de Outubro, pp. 2.

Burton, G.A. e Pitt, R.E. (2002). *Stormwater Effects Handbook – A Toolbox for Watershed Managers, Scientists, and Engineers*. Lewis Publishers, 911 pp.

Caetano, M., Nunes, V. e Nunes, A. (2009). *Corine Land Cover 2006 for Continental Portugal*. Agência Portuguesa de Ambiente, pp. 97.

CCDR Algarve (2006). *Impacte das Vias Rodoviárias do Algarve (IC1 e A2) na Qualidade da Água*. pp. 78.

COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente (2001). *IP6 – Peniche/IC1 (Nó com a variante das Caldas da Rainha) – Estudo de Impacte Ambiental*. Tomo 01 – Relatório Final; Tomo 06 – Programas de Monitorização.

- Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulicos (1981). *Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água de Portugal*. Lisboa, Ministério da Habitação e Obras Públicas.
- Direcção Regional do Ambiente de Lisboa e Vale do Tejo (2001). *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação de Referência. Anexo 11 – Situações Hidrológicas Extremas. Tomo 11B – Cheias*. Julho de 2001, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Drapper, D., Tomlinson, R. e Williams, P. (2000). *Pollutant concentrations in road runoff: Southeast Queensland case study*. Journal of Environmental Engineering, 126(4), pp. 313-320.
- FHWA. (1996). *Evaluation and Management of Highway Runoff Water Quality*. Publicação da Federal Highway Administration n.º FHWA-PD-96-032, U.S. Department of Transportation, Washington, pp. 457.
- Ghafouri, M. e Swain, C.E. (2005). *Spatial Analysis of Urban Stormwater Quality*. Journal of Spatial Hydrology, 5(1), pp. 33-46.
- Harlow, M., Jones, C. e Tucker, C. (2006). *ArcGIS 9 – Geoprocessing Commands Quick Reference Guide*. Environmental Systems Research Institute (ESRI), pp.192.
- He, B., Oki, K., Wang, Y. e Oki, T. (2009) Using remotely sensed imagery to estimate potential annual pollutant loads in river basins. *Water Science & Technology*, 60(8), pp. 2009-2015.
- Herr, J., Weintarub, L. e Chen, C.W. (2001). *User's Guide to WARMF – Documentation of Graphical User Interface*. Relatório Final, Outubro de 2001, Electric Power Research Institute (EPRI), pp. 147.
- Leitão, P.C., Almeida, C., Neves, R., Cayrol, P., Timóteo G. e Coelho H. (2010). *Quantificação do impacto da agricultura na qualidade da água do Umbeluzi (Moçambique) usando modelos e imagens de satélite*. 14º Encontro Nacional de Saneamento Básico (14º ENaSB) e Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (Silubesa), Porto, 26-29 de Outubro, pp. 13.
- Leitão, T.E., Barbosa, A.E., Henriques, M.J., Ikävalko, V. e Menezes, J.T.M. (2005). *Avaliação e Gestão Ambiental das Águas de Escorrência de Estradas, Relatório Final*. Relatório 109/05-NAS, Abril de 2005, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 243.
- Malhadas, M.S., Brito, D.C., Neves, R.J., Carvalho, S.M. e Alves, C.P. (2010). *Quantificação e definição da origem dos nutrientes afluentes à Lagoa de Óbidos: Aplicação das guidelines da Oskar*. 14º Encontro Nacional de Saneamento Básico (14º ENaSB) e Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (Silubesa), Porto, 26-29 de Outubro, pp. 17.
- Meland, S., Borgstrom, R., Heier, L.S., Rosslund, B.O., Lindholm, O. e Salbu, B. (2010). *Chemical and ecological effects of contaminated tunnel wash water runoff to a small Norwegian stream*. Science of Total Environment, 408, pp. 4107-4117.
- Nabelkova, J., Stastna, G. e Kominkova, D. (2005). *Flood impact on water quality of small urban streams*. Water Science and Technology, 52(12), pp. 267-274.
- Nabelkova, J. e Kominkova, D. (2008) *Hazard assessment of specific pollutants in the bed sediments of urban streams*. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Escócia.

Nabelkova, J., Kominkova, D., Jirak, J. (2010) *Highway runoff impact on chemical status of small urban streams*. Apresentação de PowerPoint em 10th Urban Environment Symposium, Gotenburgo, Suécia, 9-11 de Junho.

Novotny, V. (2003) *Water Quality – Diffuse Pollution and Watershed Management*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 864.

Pitt, R. (2001) *Stormwater management for highways projects*. Symposium on the Pollution of Water Sources from Road Run-Off, Tel Aviv, Israel, 19 de Março.

Sansalone, J.J. e Buchberger, S.G. (1997). *Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water*. J. Environmental Engineering, 123(2), pp. 134-143.

Santos, D. (2000). *Modelação da Poluição Difusa em Águas Superficiais*. Tese de Mestrado em Engenharia Sanitária, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Santos, D.M.G e Lima, M. (2003). *Águas pluviais e poluição difusa em meios urbanos*. Tecnovia – Faro, Escola Superior de Tecnologia, pp. 27-29.

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2010). <http://snirh.pt/> (consultado entre Fevereiro e Outubro de 2010).

Whitehead, M. (2009). *Reducing the environmental impact of highway runoff*. Apresentação de PowerPoint em Diffuse Pollution From Road Runoff, Environmental Agency and Highways Agency, Londres, Reino Unido, 12 Maio.

Wium-Andersen, T., Nielsen, A.H., Hvitved-Jacobsen, T e Vollertsen, J. (2010). *Modelling nutrient and pollutant removal in three wet detention ponds*. 10th Urban Environment Symposium, Gutenburgo, Suécia, 9-11 Junho, pp. 10.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil,

Dezembro de 2010

VISTOS



João Soromenho Rocha

Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas
Hidráulicas

AUTORIAS

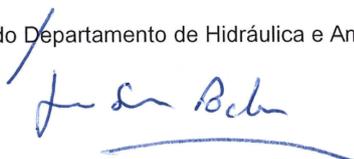


Ana Rute Vieira

MSc em Diagnósticos Médicos e Eng.^a Biotecnóloga
Bolsreira de Projecto FCT
Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Rafaela de Saldanha Matos

Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente



Este trabalho foi orientado pela Eng.^a Ana Estela Barbosa e teve a colaboração do Eng.º João Fernandes.

ANEXO I

Modelos analisados para possível aplicação ao caso de estudo

NOME	ORIGEM	OBSERVAÇÕES	DECISÃO
BAISINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)	USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)	Adequado, embora aparentemente não mencione estradas como fonte de poluição difusa.	Sim
WCS (Watershed Characterization System)	USEPA	Não dá grande relevância a poluição difusa.	Não
C++ - LSPC (Loading Simulation Program in C++)	USEPA	Linguagem complicada e enaltece mais fontes de poluição pontuais.	Não
WAM (Watershed Assessment Model)	USEPA	Necessita de muitos dados e aplica-se mais ao estado da Florida.	Não
SWMM (Strom Water Management Model)	USEPA	Enaltece apenas as escorrências pluviais e nunca menciona as estradas.	Não
WARMF (Watershed Analysis Risk Management Framework)	Electric Power Research Institute	O problema pode ser a escala, parece ser adequado a bacias e não sub-bacias.	Sim
WASP (Water quality Analysis Simulation Program)	USEPA	Mais direcionado a impactes provocados por causas naturais.	Não
QUAL2K	USEPA	Não menciona fontes de poluição difusa.	Não
EPDRiv1	USEPA	Adequado, mas não menciona as estradas como fonte de poluição difusa	Sim
SIMGRO	Wageningen University, NL	Gestão integrada a uma escala regional. Inclui poluição difusa mas não menciona estradas.	Sim
WMS (Watershed Modeling System)	USACE (U.S. Army Corps of Engineers)	Não é gratuito.	Não
SMS (Surface Water Modeling System)	Aquaveo	Não é gratuito.	Não
HydroCAD	HydroCAD Software Solutions LLC	Não é gratuito.	Não
SWAT (Soil & Water Assessment Tool)	USDA Agricultural Research Service	Adequado, embora a escala possa ser um problema, bem como o destaque à agricultura.	Sim
Gen Scn (GENeration and analysis of model simulation SceNarios)	AQUA TERRA & USGS (U.S. Geological Survey)	Tem de se confirmar a escala e os tipos de poluição que engloba	Sim
DR₃M (Distributed Routing Rainfall-Runoff Model)	USGS	Não é um modelo de qualidade mas sim de eficiência de drenagem	Não
HEC-HMS (Hydrological Engineering Center – Hydrologic Modeling System)	USACE & HEC (Hydrologic Engineering Center)	Não é um modelo de qualidade	Não
TOPMODEL	Lancaster University, UK	Simula interacções entre águas	Não

		superficiais e subterrâneas. Não menciona qualidade	
HSPF (Hydrological Simulating Program-Fortran)	USEPA	Não conta com metais na qualidade da água e é mais apropriado para simular o fluxo da água da chuva e neve.	Não
MIKE SHE	Danish Hydraulic Institute	Não é gratuito.	Não
PRMS (Precipitation-Runoff Modeling System)	USGS	Só tem em conta o fluxo da água proveniente da chuva e da neve, além de só estudar sedimentos na qualidade da água.	Não
MMS (Modular Modeling System)	USGS & CADSWES (Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems)	Prevê alternativas a situações indesejadas mas não tem em conta diferentes tipos de fontes.	Não

ANEXO II

Resumo dos dados de qualidade da albufeira de S. Domingos, da ribeira da Azenha da Petinga e das escorrências do IP6 e valores de referência dos Anexos I e XVIII do D.L. n.º236/98 de 1 de Agosto

Parâmetros	Albufeira de S. Domingos		Ribeira da Azenha da Petinga	Valor Máximo Admitido	Escorrências do IP6	Valor Limite de Emissão
	SNIRH (1999-2009)	8 de Março 2010	8 de Março de 2010	Anexo I do D.L. n.º236/98	Barbosa <i>et al.</i> , 2006	Anexo XVIII do D.L. n.º236/98
pH	8.08	8.275	8.07	6,5 - 8,5 *	6.5	6.0 - 9.0
Condutividade (µS/cm)	608.8	527.5	2089.3	1000 *	384.3	nd
SST (mg/L)	10.9	23	103.7	25 *	235.6	60
SDT (g/L)	—	0.446	1.757	nd	0.3	nd
Salinidade (mg/L)	—	0.335	—	nd	182.2	nd
Dureza (mg/L)	193	198	577.7	nd	159.2	nd
Cloretos (mg/L)	68.7	63	343.3	200 *	35	35
CQO (mg/L)	26.1	< 30	63.5	—	173.3	150
CBO ₅ (mg/L)	4.45	—	—	3	8.1	40
COT (mg/L)	8.11	14	15.33	—	—	nd
Óleos e Gorduras (mg/L)	0.486	< 2	< 2	nd	0.5	15
Hidrocarbonetos totais (mg/L)	0.085	< 2	< 2	0.05	0.3	nd
Cu (µg/L)	3.19	ND	< 15	50	32	1000
Cd (µg/L)	0.116	< 0.586	1.386	5	1	200
Pb (µg/L)	1.21	19	70.33	50	9.5	1000
Cr (µg/L)	6.676	ND	ND	50	8	2000
Fe (mg/L)	0.126	0.747	3.861	0.3	—	nd
Zn (µg/L)	—	ND	< 81	3000	77	nd
Oxigénio Dissolvido (%)	112.84	86.85	59.47	70 *	—	nd
N Kjeldahl (mg/L)	1.53	1.5	3.23	1	—	15
NO ₃ ⁻ (mg/L)	7.45	—	—	50	4.8	50

* Valores Máximos Recomendados (os VMA não estavam referidos).

nd – O parâmetro não está definido no D.L. 236/98 de 1 de Agosto.

ANEXO III

Poster apresentado no 14º Encontro Nacional de Saneamento Básico (ENaSB) e Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA) realizado de 26 a 29 de Outubro de 2010 no Porto



AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DO IP6 NA QUALIDADE DA ÁGUA DA ALBUFEIRA DE S. DOMINGOS

Rute VIEIRA*, Ana Estela BARBOSA, João FERNANDES

NRE, DHA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

*arvieira@lnec.pt

Trabalho realizado no âmbito do Projecto G-Terra, financiado pela FCT (PTDC/AMB/64953/2006)

14º ENASB | SiuBesa 2010 - Porto, Portugal

ENQUADRAMENTO

A compreensão dos impactes relativos das escorrências de estradas numa massa de água é importante para o controlo da poluição. Estudos deste tipo começam a ser feitos em vários países (Nabelkova *et al.*, 2010).

BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DA AZENHA DA PETINGA



OBJECTIVO

Identificar metodologias que permitam avaliar o impacte relativo da descarga das escorrências rodoviárias do IP6 na Albufeira de S. Domingos.

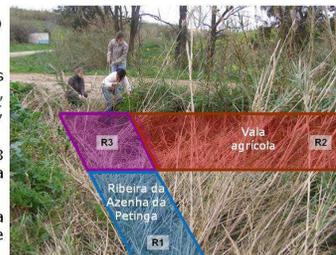
METODOLOGIA

Caracterização do local

- Caracterização da bacia hidrográfica da Albufeira de S. Domingos através de SIG.
- Recolha no SNIRH dos dados de precipitação e qualidade da água entre 1999 e 2009 na Albufeira de S. Domingos (estação 18B/01).
- Os parâmetros seleccionados foram: NO₃⁻, CQO, CBO₅, Cu, SST e Cl⁻.

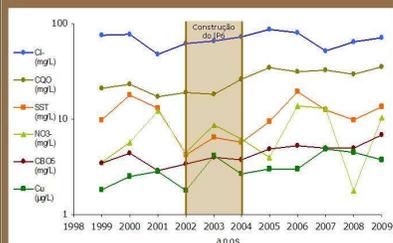
Campanha de campo (08.03.2010)

- Confirmação da ocupação do solo.
- Medição no local de parâmetros indicadores de qualidade: pH, temperatura, condutividade, SDT, salinidade e OD.
- Recolha de amostras de água em 3 pontos relativos à ribeira e na margem da albufeira.
- Análise de metais pesados, dureza total, SST, Cl⁻, CQO HC, óleos e gorduras e N total.



RESULTADOS

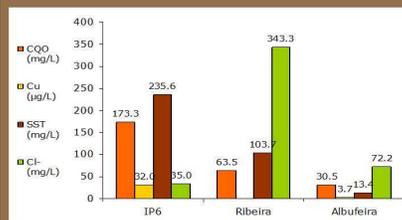
Evolução da qualidade da água da Albufeira de S. Domingos



• Durante a fase de construção há movimentação de terras e circulação de viaturas, que resultam num acréscimo de poluição no meio hídrico (e.g. SST).

• A partir de 2004 verifica-se alguma tendência para o aumento das concentrações de CQO, SST, CBO₅ e Cu, o que pode estar associada ao tráfego rodoviário do IP6.

IP6, Ribeira & Albufeira



• As escorrência do IP6 evidenciam a presença de cloretos, o que indica a proximidade do oceano. Verificaram-se níveis elevados de SST e Cu, poluentes associados ao tráfego rodoviário. Alguns valores de SST e CQO excederam o VLE do D.L. N.º236/98, Anexo XVIII (Barbosa *et al.*, 2006).

• Na Ribeira da Azenha da Petinga registou-se a concentração mais elevada de cloretos (343,3 mg/L), possivelmente devido à existência de fossas sépticas. Observaram-se também elevados níveis de SST, que poderão estar associadas ao caudal do IP6 e à mobilização de sedimentos do leito da ribeira.

• O volume da albufeira (média de 352 dam³) potencia a diluição dos poluentes, por isso apresenta as concentrações mais baixas para todos os parâmetros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

• A campanha de 8 de Março revelou-se muito útil na compreensão dos aspectos de qualidade da água e processos hidrológicos na bacia hidrográfica da ribeira. A análise efectuada parece indicar que o IP6 terá algum impacte na qualidade da água da Albufeira de S. Domingos, no entanto as limitações de dados, bem como o elevado volume da albufeira face ao escoamento de uma área pavimentada de 4350 m², condicionam esta análise.

• Comparando com um estudo semelhante efectuado na República Checa (Nabelkova *et al.*, 2010), confirma-se a necessidade de maior volume de dados para avaliar os efeitos concretos duma estrada no meio hídrico receptor.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, A.E, Fernandes, J, e Henriques, M.J. (2006). *Características poluentes duma estrada costeira e avaliação do sistema de tratamento das suas escorrências*. 12º Encontro Nacional de Saneamento Básico (12º ENASB), Cascais, 24-27 de Outubro, pp. 15.
- Itabekova, J., Kominkova, D., Jirak, J. (2010) *Highway runoff impact on chemical status of small urban streams*. 10th Urban Environment Symposium, Gotenburgo, Suécia, 9-11 de Junho.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (<http://snirh.pt>)

