



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

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

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS
Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
Unidade de Biologia da Conservação

Proc. 0607/01/15892

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS IMPLEMENTADAS EM PORTUGAL

3.º Relatório

Estudo realizado para a Estradas de Portugal, E.P.E.

Lisboa • Novembro de 2007

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 316/2007 – NAS

Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal

RESUMO

Apresenta-se o 3.º relatório do Estudo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, em curso no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e na Universidade de Évora para a Estradas de Portugal, E.P.E. (adiante designada por EP, E.P.E.).

O relatório foi estruturado no seguinte conjunto de capítulos: Capítulo 1 - Introdução; Capítulo 2 - Minimização do impacte das águas de escorrência; Capítulo 3 - Monitorização de recursos hídricos e solos; Capítulo 4 - Minimização e monitorização do ruído; Capítulo 5 - Minimização e monitorização da fauna.

Dentro de cada um dos capítulos do 2 a 5, das várias temáticas tratadas, é efectuada uma sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países; a análise e interpretação dos resultados dos programas de monitorização de sistemas de minimização em Portugal e a identificação preliminar das causas subjacentes à maior ou menor eficácia dos sistemas. No final de cada um dos capítulos é, ainda, efectuada uma síntese e conclusões dos temas abordados para cada temática.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se às Eng.^{as} Luísa Vales Almeida e Cidalisa Patrício da Estradas de Portugal, E.P.E. todo o apoio dado às equipas do LNEC e da Universidade de Évora na identificação e separação dos volumes dos projectos relevantes para consulta no âmbito deste Estudo.

Agradece-se ao Prof. Manuel Oliveira da Silva e ao Eng. Pedro Santos Coelho a disponibilização, em suporte digital, dos dados de monitorização da A2, durante a fase de construção, relativos aos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, respectivamente.

Agradece-se ao Eng.º Davide Santos da EAHS a amabilidade com que disponibilizou os ficheiros digitais correspondentes ao relatório de monitorização da A22/IC4 – Via do Infante de Sagres.

À Sr.^a D. Cristina Alves, Sr. Fernando Mateus e Sr. José Manuel Carvalho agradece-se a sua prestação na introdução de toda a informação sobre o ruído na base de dados.

Os autores sentem-se gratos pela grande disponibilidade e gentileza das diferentes entidades, tanto no que respeita à disponibilização de informação, como no apoio ao trabalho de campo para avaliação "in loco" dos sistemas de tratamento. À Euroscut agradece-se à Eng.^a Jessica Calião e ao Eng.º Pedro Dias Pinto. À Brisa agradece-se ao Eng.º José Ferreira Poças e à Eng.^a Margarida Braga. À Operscut agradece-se ao Eng.º Rui Pintado e ao Sr. Miguel. À Euroscutnorte agradece-se ao Eng.º Fernando Pinto. Sem este apoio não teria sido possível desenvolver o trabalho aqui apresentado. À Aenor agradece-se ao Eng. Luís Silva.

Um particular agradecimento ao Eng.º Rui Pintado e à sua equipa pela disponibilidade e prontidão no acompanhamento da saída de campo para observação das passagens de fauna implementadas na A24/IP3.

ÍNDICE DO TEXTO

Capítulo 1:	Introdução	1
Capítulo 2:	Minimização do impacte das águas de escorrência	3
2.1	Sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países	3
2.1.1	Introdução	3
2.1.2	Informações sobre a prática dos EUA	4
2.1.3	Indicações de custos de construção e horas de manutenção na Califórnia	7
2.1.4	Informações sobre a prática em França	8
2.1.5	Comentários gerais sobre os sistemas de tratamento utilizados internacionalmente	13
2.2	Estradas analisadas	13
2.3	Avaliação da eficácia de vários sistemas de tratamento nacionais	16
2.3.1	Introdução	16
2.3.2	A1, Bacia de Fátima	16
2.3.3	A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA	18
2.3.4	A6, Nó de Borba	20
2.3.5	A22/IC4, Alcantarilha - Guia	22
2.3.6	A23/IP2, Ligação à Covilhã	24
2.3.7	A24/IP3 Vila Real-Régua (IP4), Falperra- Pedras Salgadas, Pedras Salgadas- EN103 e EN103- Chaves (Fronteira) 26	
2.3.8	IP4, Vila Real - Vila Verde	33
2.3.9	IP6, Peniche-IC1	36
2.3.10	A27/IP9 Nogueira-Estorãos e Estorãos-Ponte de Lima	38
2.4	Análise dos resultados de programas de monitorização	41
2.4.1	Enquadramento	41
2.4.2	A1, Bacia de Fátima	42
2.4.3	A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	44
2.4.4	A6, Nó de Borba	46
2.4.5	A22/IC4, Via Infante de Sagres	48
2.4.6	A23/IP2, Ligação à Covilhã	49
2.4.7	IP4, Vila Real - Vila Verde	51
2.4.8	IP6, Peniche-IC1	54
2.5	Síntese da avaliação efectuada aos sistemas de tratamento nacionais	55
Capítulo 3:	Monitorização de recursos hídricos e de solos	61
3.1	Metodologia adoptada e estradas analisadas	61
3.2	Análise dos resultados de programas de monitorização de águas subterrâneas e solos	63
3.2.1	A1, Bacia de Fátima	63
3.2.2	A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA	67
3.2.3	A6, Nó de Borba	75
3.2.4	A23/IP2, Ligação à Covilhã	81
3.2.5	IP4, Vila Real – Vila Verde	83
3.2.6	EN10, Recta do Cabo	84
3.3	Análise dos resultados de programas de monitorização de águas superficiais	87
3.3.1	A2, Almodôvar - São Bartolomeu de Messines	87
3.3.2	A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	92

3.3.3	A2, Castro Verde - Almodôvar	96
3.3.4	A6, Nó de Borba	101
3.3.5	A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos	104
3.3.6	A22/IC4, Alcantarilha - Guia	106
3.3.7	A23/IP2, Ligação à Covilhã	107
3.3.8	A24/IP3, Vila Real - Régua (IP4)	107
3.4	Síntese e conclusões da avaliação efectuada aos programas de monitorização de recursos hídricos e solos	111
Capítulo 4:	Minimização e monitorização do ruído	113
4.1	Metodologia adoptada e estradas analisadas	113
4.2	Sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países	115
4.3	Avaliação da eficácia das medidas nacionais de minimização de ruído	116
4.4	Análise dos resultados de programas de monitorização	123
Capítulo 5:	Minimização e monitorização da fauna	125
5.1	Introdução	125
5.1.1	Considerações gerais	125
5.1.2	Fragmentação e efeito barreira	125
5.1.3	Passagens de fauna	126
5.2	Sistemas usados em outros países e proposta de directrizes para a orientação de medidas de minimização	128
5.2.1	Introdução	128
5.2.2	Passagens de fauna como parte do conceito da permeabilidade da paisagem	128
5.2.3	Reduzindo o efeito de barreira: passagens superiores	133
5.2.4	Reduzindo o efeito de barreira: passagens inferiores	138
5.2.5	Prevenir e evitar o atropelamento de animais	149
5.3	Avaliação da eficácia dos sistemas	153
5.3.1	Pesquisa bibliográfica de artigos científicos	153
5.3.2	Espécies e factores que influenciam o uso das passagens	154
5.3.3	Eficácia das estruturas e a sua relação com a mortalidade por atropelamento	157
5.4	Análise dos resultados de programas de monitorização	158
5.4.1	Estradas analisadas	158
5.4.2	Acerca da permeabilidade das estradas analisadas	160
5.4.3	A2, Castro Verde - Almodôvar, Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines e S. Bartolomeu de Messines - VLA	163
5.4.4	IC27, Monte Francisco – Odeleite	164
5.4.5	Outros trabalhos em curso	169
5.5	Síntese e conclusões da avaliação efectuada	171
BIBLIOGRAFIA		175

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Exemplos de diferentes MEG estruturais implementadas nos EUA. Imagens extraídas de Taylor e Barret (1999)	6
Fig. 2 - Exemplo de recolha de águas de escorrência ao longo de toda a extensão do viaduto, para protecção de um vale sensível. Após tratamento as escorrências são lançadas no ambiente de forma controlada	9
Fig. 3 - A66 entre Toulouse e Pamiers (fotografia de 2004). Utilização do Enkamat® A20	10
Fig. 4 - Ilustração da aplicação do material	10
Fig. 5 - Exemplo de uma bacia de detenção com um sistema para retenção de óleos, baseado num processo manual. Estrada no Sul de França, arredores de Toulouse	11
Fig. 6 - Fotografias de um sistema da auto-estrada A20 que atravessa zonas muito sensíveis: áreas cársicas das <i>Causses du Quercy</i>	12
Fig. 7 - Variação do nível de água na bacia de Borba	21
Fig. 8 - Foto de uma das 3 bacias da A6, que apresenta entradas de água sub-superficial e subterrânea (Janeiro de 2002)	21
Fig. 9 - Leito filtrante da bacia designada BTA ao km 40+200 da A22/IC4, Alcantarilha – Guia	22
Fig. 10 - Bacia de infiltração do sistema designado BTA ao km 38+656, A22/IC4, Alcantarilha – Guia	22
Fig. 11 - Medições com sonda multiparamétrica na bacia de retenção BTA-8 (Lanço Alcantarilha - Guia)	23
Fig. 12 - Alteração do posicionamento do órgão de descarga da bacia, após obras de reabilitação	25
Fig. 13 - Sistema ao km 4+000, A24/IP3, Vila Real - Régua (8 de Maio de 2007)	29
Fig. 14 - Sistema ao km 3+300, A24/IP3, Vila Real - Régua (8 de Maio de 2007)	29
Fig. 15 - Bacia ao km 2+200, A24/IP3, Falperra - Pedras Salgadas (8 de Maio de 2007)	29
Fig. 16 - Bacia ao km 25+550, A24/IP3, Pedras Salgadas/EN103 (8 de Maio de 2007)	31
Fig. 17 - Sistema de drenagem e by-pass do viaduto para a bacia ao km 25+550, A24/IP3, Pedras Salgadas/EN103 (8 de Maio de 2007)	31
Fig. 18 - Aspecto da vala relvada da A24/IP3, EN103/Chaves (Fronteira) (8 de Maio de 2007)	32
Fig. 19 - Caixa de visita à saída da vala relvada da A24/IP3, EN103/Chaves com válvula de fecho e controlo de óleos e gorduras	32
Fig. 20 - Fotografias das 3 bacias do IP4, Vila Real -Vila Verde, poucos meses após a sua entrada em exploração, como atesta o estado dos terrenos (Março 1996)	35
Fig. 21 - Fotos tiradas em Maio de 2007, às bacias 2 e 3. São visíveis os colectores no primeiro caso. A bacia 3 é localizável apenas por comparação com a Fig. 20	36
Fig. 22 - Aspectos construtivos	38
Fig. 23 - Aspecto dos colectores de descarga na bacia de tratamento em terra (Etapa 2)	38
Fig. 24 - Aspecto do sistema localizado ao km 1+500 da A27/IP9, Nogueira-Estorãos em Maio de 2007. Medições com sonda multiparamétrica	39
Fig. 25 - Aspecto da caixa com seixo, à saída do sistema localizado ao km 1+030, na A27/IP9, Nogueira-Estorãos	40
Fig. 26 - Aspecto do escoamento sub-superficial de água para a bacia localizada ao km 1+200, A27/IP9, Estorãos e Ponte de Lima	41
Fig. 27- Metais pesados e textura ao longo dum perfil de solo da bacia do IP 4. Evidências da variação da textura e do transporte de metais em profundidade (adaptado de Barbosa, 1999)	53

Fig. 28 - Cobertura aerofotográfica da zona envolvente da A1, bacia de Fátima (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	63
Fig. 29 - Concentração em metais pesados nos solos da zona do Covão do Coelho junto à A1, bacia de Fátima (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	67
Fig. 30 - Localização dos pontos água subterrânea e das estações de tratamento, relativamente ao sistema aquífero Querença-Silves, junto ao troço da A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA	69
Fig. 31 - Síntese estatística da concentração em metais pesados e em hidrocarbonetos totais nas águas subterrâneas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	71
Fig. 32 - Concentração em Cd, Zn, hidrocarbonetos totais, Fe e Cu em amostras de águas subterrâneas monitorizados recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	72
Fig. 33 - Concentração em Zn em amostras de águas subterrâneas monitorizados recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	73
Fig. 34 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas subterrâneas monitorizados recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA	73
Fig. 35 - Ortofotomapa de 1995 com a localização dos pontos de amostragem junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	76
Fig. 36 - Enquadramento geográfico dos sistemas aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim (INAG, 1999)	76
Fig. 37 - Locais de amostragem de águas subterrâneas junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	78
Fig. 38 - Concentração em metais pesados nos solos junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005)	80
Fig. 39 - Localização dos pontos de monitorização de águas junto à A23/IP2, ligação à Covilhã (Albuquerque <i>et al.</i> , 2006)	82
Fig. 40 - Localização do ponto de amostragem de águas subterrâneas no IP4, Vila Real – Vila Verde	83
Fig. 41 - Esquema geral do plano de monitorização na EN10, Recta do Cabo (Diamantino <i>et al.</i> 2004)	85
Fig. 42 - Síntese estatística das concentrações em sólidos suspensos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	89
Fig. 43 - Concentração em hidrocarbonetos totais e cádmio em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	89
Fig. 44 - Síntese estatística das concentrações em hidrocarbonetos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	90
Fig. 45 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas na ribeira de Odelouca, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	90
Fig. 46 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas no rio Arade, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines	91
Fig. 47 - Fotos ilustrativas de perturbações induzidas pelas acções associadas à obra da A2 (fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)	92
Fig. 48 - Variação da condutividade eléctrica e dos sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA	94
Fig. 49 - Concentração em CBO5 e sólidos suspensos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA	94
Fig. 50 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA	95
Fig. 51 - Ribeira de Mora, a montante, em diversos períodos de amostragem durante a construção (fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)	97
Fig. 52 - Variação da condutividade eléctrica em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde – Almodôvar	99
Fig. 53 - Concentração em sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar	99

Fig. 54 - Concentração em Cd, Zn e Cu em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar _____	100
Fig. 55 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar _____	100
Fig. 56 - Localização dos pontos de amostragem de água, de solos e da bacia junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005) _____	102
Fig. 57 - Concentração em Cu, Pb, Zn, e Fe na linha de água junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005) _____	103
Fig. 58 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos (COBA, 2005) _____	105
Fig. 59 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial na A22/IC4, Alcantarilha - Guia (adaptado de EuroScut/EAHS/UAlg, 2004) _____	106
Fig. 60 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua (NORINTER / EGI Ambiente, 2004) _____	108
Fig. 61 - Concentração em hidrocarbonetos totais e em metais pesados em amostras de águas superficiais recolhidas junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua _____	109
Fig. 62 - Caudal nas águas superficiais medido junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua _____	110
Fig. 63 - Exemplos de problemas de deficiente selagem _____	118
Fig. 64 - Exemplos de problemas de deficiente união entre estruturas _____	118
Fig. 65 - Exemplos de barreiras acústicas do tipo "natural" _____	119
Fig. 66 - Exemplos de ausência de programas de manutenção adequados _____	120
Fig. 67 - Exemplos de aspectos de segurança a ter em conta no planeamento de barreiras acústicas _____	120
Fig. 68 - Exemplos de sombreamento em habitações provocados por barreiras acústicas _____	121
Fig. 69 - Exemplos de implantação geométrica barreira-receptor de reduzida eficácia _____	121
Fig. 70 - Passagem superior na A24/IP3 _____	136
Fig. 71 - Viaduto da A24/IP3 _____	139
Fig. 72 - Passagem inferior na A24/IP3 _____	141
Fig. 73 - Passagem inferior na A24/IP3 – pormenor de material para abrigo de espécies mais pequenas _____	143
Fig. 74 - Vedações para pequenos animais na A24/IP3 _____	152
Fig. 75 - Ordenação dos troços de estrada analisados, de acordo com o índice de permeabilidade (ver texto) _____	161
Fig. 76 - Exemplo de uma câmara fotográfica colocada na passagem hidráulica (A), pormenor da máquina colocada a 30 cm do chão (B) _____	165
Fig. 77 - Exemplos de passagem de veículos, pessoas e cães na passagem de fauna do IC27 _____	165

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Custos relativos de construção e manutenção de sistemas de tratamento de águas de escorrência, na Califórnia, EUA.....	7
Quadro 2 - Datas das visitas para avaliação local de sistemas de tratamento	13
Quadro 3 - Estradas com projecto de sistema de minimização das águas de escorrência, objecto de visitas de avaliação.....	14
Quadro 4 - Sistemas de tratamento objecto de outros estudos	15
Quadro 5 - Características físicas e hidráulicas da bacia de Fátima.....	17
Quadro 6 - Dimensionamento da bacia de Fátima para dois volumes (Vieira e Oliveira, 2001)	18
Quadro 7 - Esquema de apresentação das estações de tratamento da A2, S. Bartolomeu de Messines-VLA.....	18
Quadro 8 - Comparação entre os sistemas projectados e os construídos para a A24/IP3	27
Quadro 9 - Valores de parâmetros indicadores de qualidade medidos em 8 de Maio de 2007 em vários sistemas da A24/IP3.....	27
Quadro 10 - Valores de parâmetros indicadores de qualidade medidos em 9 de Maio de 2007 no sistema da A27/IP9, Estorãos – Ponte de Lima, ao km 1+500.....	40
Quadro 11 - Resultados das análises de solos da bacia de Fátima.....	42
Quadro 12 - Resultados a análises de 2005 a afluentes e efluentes das ET da A2 S. Bartolomeu de Messines-VLA.....	44
Quadro 13 - Resultados a análises de 2006 a afluentes e efluentes das ET da A2 S. Bartolomeu de Messines-VLA.....	45
Quadro 14 - Resultados das análises de solos e de sedimentos associados à bacia de Borba	47
Quadro 15 - Comparação de concentrações médias para tempos de amostragem idênticos, para os parâmetros analisados, para cada campanha e diferentes pontos de amostragem.....	50
Quadro 16 - Características do solo existente na bacia de detenção/infiltração do IP 4, determinadas em amostras provenientes da área de estudo (Barbosa, 1999)	52
Quadro 17 - Registos da sonda multiparamétrica YSI556MPS efectuados em 4 pontos do sistema de tratamento, em Fevereiro de 2006.....	55
Quadro 18 - Comparação da qualidade duma amostra após tratamento no desengordurador, com a qualidade média das escorrências do IP6	55
Quadro 19 - Síntese da avaliação efectuada aos sistemas de tratamento	59
Quadro 20 - Informação existente sobre a monitorização de recursos hídricos para análise de poluição de estradas.....	62
Quadro 21 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A1, bacia de Fátima	66
Quadro 22 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA.....	70
Quadro 23 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A6, nó de Borba (Leitão <i>et al.</i> , 2005).....	78
Quadro 24 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines	87
Quadro 25 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA.....	93

Quadro 26 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Castro Verde - Almodôvar.....	96
Quadro 27 - Localização dos pontos de água superficial da rede de amostragem na fase de exploração no troço da A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos	104
Quadro 28 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto ao A24/IP3, Vila Real - Régua	108
Quadro 29 - Calendarização das visitas de campo efectuadas	113
Quadro 30 - Estradas com projecto de medidas de minimização do ruído, objecto de visitas de avaliação	114
Quadro 31 - Ordenação cronológica dos diferentes trabalhos científicos que abordam que espécies usam as passagens e os factores que influenciam o seu uso	153
Quadro 32 - Ordenação cronológica dos diferentes trabalhos e artigos que abordam a relação da mortalidade por atropelamento com a presença de passagens e/ou a eficácia das estruturas....	154
Quadro 33 - Taxa detectados como utilizadores das passagens de fauna referidas nos estudos realizados na Península Ibérica (Ref.: 1, 2, 11, 12, 13 e 18). Para as espécies é indicado o nome científico. Ref. – referência do trabalho consultado onde o taxon foi detectado (ver Quadro 32).	155
Quadro 34 - Número de PHs com perfil potencial para serem convertidas em passagens de fauna inferiores.....	158
Quadro 35 - Resultados da monitorização realizada a passagens de fauna em três troços da A2, Castro Verde - Almodôvar (24 PHs), Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines (16 PHs) e S. Bartolomeu de Messines - VLA (12 PHs).....	163
Quadro 36 - Número de atravessamentos por espécie e por época no total das PHs.....	166
Quadro 37 - Número de indícios de presença por espécie de carnívoro no IC27 e nas áreas com controlo	167

Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal

Relatório do 3.º Ano

Capítulo 1: Introdução

Teresa F. Leitão

O presente relatório é o terceiro de um conjunto de documentos a elaborar para a Estradas de Portugal, E.P.E. (adiante designada por EP, E.P.E.), no âmbito do protocolo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, celebrado entre a EP, E.P.E. e o LNEC, com a colaboração da Universidade de Évora, em curso entre Maio de 2005 e Maio de 2008.

Os objectos principais de estudo deste relatório são a análise e a interpretação da informação introduzida na Base de Dados MIA.mdb bem como da demais documentação existente, relativa à monitorização do meio ambiente envolvente à estrada (recursos hídricos, solos, fauna e ruído) ou à eficácia dos sistemas de minimização de impactes ambientais implementados. Com base no conjunto de dados e de informações disponíveis procedeu-se, até onde estes mesmos dados o permitiram, à identificação das causas subjacentes à maior ou menor eficácia dos sistemas (de minimização de impactes). Um segundo aspecto relevante que consta deste relatório é a sistematização das medidas de minimização de impactes ambientais implementadas noutros países e a análise da sua adequação à realidade portuguesa.

Além da presente introdução, este relatório encontra-se estruturado em quatro capítulos sobre as diferentes temáticas abordadas: águas de escorrência; recursos hídricos e solos; fauna e ruído. Dadas as especificidades dos temas abordados optou-se por apresentar separadamente, no final de cada capítulo, a síntese e as conclusões da avaliação efectuada

para esse tema.

O desenvolvimento deste relatório está em sintonia com o programado no cronograma de actividades do projecto, embora se tenha dado preferência à conclusão da análise dos resultados de programas de monitorização e da respectiva identificação da causa da maior ou menor eficácia dos sistemas em detrimento do início da breve análise custo-eficácia das medidas implementadas. A componente relativa ao ruído foi menos elaborada face ao inicialmente proposto, pelo que esta actividade será detalhada no último relatório global do projecto, cujo conteúdo será relativo a todas as matérias desenvolvidas neste estudo.

Capítulo 2: Minimização do impacte das águas de escorrência

*Ana Estela Barbosa
João N. Fernandes*

2.1 Sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países

2.1.1 Introdução

Entende-se que a sistematização das medidas de minimização a ser efectuada consiste em traçar o quadro geral das mesmas, pois uma pesquisa exaustiva não se enquadra no âmbito de actividade deste estudo, além de não trazer consequências para a prática nacional.

Os processos mais habituais para tomar conhecimento com as práticas de minimização de impactes utilizadas noutros países são a pesquisa bibliográfica (livros e actas de encontros) e a Internet. Uma terceira possibilidade é a visita a outros países e o contacto directo com essa realidade.

Este capítulo do estudo baseia-se numa publicação de Barbosa (2005) que teve por objectivo abordar os métodos do controlo da poluição das águas de escorrência de estradas em diferentes países, nomeadamente nos EUA e a França, além de Portugal. O referido trabalho teve por base a pesquisa bibliográfica e uma viagem técnica efectuada a França, contemplando também visitas a sistemas de tratamento franceses e o contacto com projectistas, concessionárias e a administração Francesa. Os dados aqui apresentados serão exemplificativos e não exaustivos de toda a prática nacional de cada um destes países.

Os EUA, pela sua longa experiência, é um dos países com mais material escrito divulgado e que mais pode contribuir para apoiar a prática em países menos experientes na matéria. Por outro lado, a França além de ser outro exemplo, apresenta zonas com clima mediterrânico com o qual Portugal se identifica. Curiosamente, em termos da literatura técnica e científica, estes dois países que apresentam uma boa experiência nesta área, encontram-se nos extremos em termos de publicação e divulgação dos seus trabalhos, sendo os do EUA amplamente divulgados, ao contrário dos franceses.

Cumprе ainda referir que esta área do conhecimento, como outras, se encontra em permanente desenvolvimento, sendo as actividades de projecto, manutenção e monitorização que conduzem a uma boa prática.

As condicionantes ao projecto e os custos de construção e de manutenção são variáveis importantes a ponderar na decisão de implementação ou não de determinada estratégia de controlo de poluição.

2.1.2 Informações sobre a prática dos EUA

Desde os anos 80 que os EUA têm vindo a desenvolver muitos estudos relacionados com a gestão e o tratamento das águas de escorrência de estradas. Existe muita bibliografia publicada e de fácil acesso, incluindo relatórios, directrizes de orientação, artigos científicos, etc. Por exemplo, alguns documentos publicados pela *Federal Highway Administration* podem ser descarregados através da Internet ou pedidos, sem encargos. Relatórios tais como o FHWA (1996) apresentam um enquadramento bastante completo das características das águas de escorrência de estradas e de procedimentos de gestão.

Existem ferramentas de modelação (por exemplo, da Agência de Protecção Ambiental dos EUA) e bases de dados com Concentrações Médias do Evento (CME). Estas CME são utilizadas pelos gestores ambientais para estimar cargas poluentes de estradas e para avaliar a eficácia das Melhores Estratégias de Gestão (Smullen *et al.*, 1999).

Analisando a literatura disponível, observam-se diferentes concepções para os sistemas de tratamento e controlo, implementados em diferentes estados ou locais. Uma ênfase importante é colocada na adequação dos sistemas às características do local e aos requisitos ambientais (por exemplo, da qualidade da água a descarregar no meio).

Algumas abordagens interessantes praticadas nos EUA são a avaliação de impactes com base nas características químicas dos corpos de água receptores. Por exemplo, em águas macias, com baixo pH, os metais pesados tendem a existir sobretudo em formas solúveis. Consequentemente, nessas águas os limites de toxicidade para os metais pesados provenientes de escorrências rodoviárias são mais baixos que os praticados em águas mais duras.

Existem quadros que apresentam os limites de toxicidade para os metais pesados em função da dureza dos meios hídricos receptores. Estes limites podem variar consideravelmente: uma concentração de Pb permitida pode variar de 0,001 mg Pb/l (para uma água com dureza de 50 mg CaCO₃/l) para uma concentração de Pb 10 vezes superior caso a dureza da água seja apenas 5 vezes superior (250 mg CaCO₃/l) (Baseado em Burton e Pitt, 2002).

Os impactes da bioacumulação podem ser directos, causando a mortalidade das espécies ou afectando o seu crescimento e reprodução, ou indirectos, quando provocam acumulações e

transferências de poluentes tóxicos na cadeia trófica. Estes factores são tidos em consideração na abordagem norte-americana, visto nesse país se distinguir a toxicidade crónica da aguda. Para ilustrar, tome-se como exemplo a toxicidade aguda do cobre que ocorre quando a sua concentração nas águas de escorrência se encontra entre os 17 $\mu\text{g/l}$ e os 10 mg/l (quando a dureza total é de 50 $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$). Já a gama de concentrações que define a toxicidade crónica é muito inferior, sendo estabelecida no intervalo compreendido entre os valores 3,9 $\mu\text{g/l}$ e 60 $\mu\text{g/l}$ (Burton e Pitt, 2002).

As medidas de minimização ou Melhores Estratégias de Gestão (MEG) podem ser medidas estruturais ou não-estruturais, ou combinações destas, concebidas para funcionar como medidas práticas e concretas de minimização de impactes nos recursos hídricos (FHWA, 1996).

As MEG estruturais são utilizadas para tratar as águas de escorrência, no local onde estas são geradas, próximo da descarga nas águas receptoras ou no sistema de drenagem pluvial urbano. O seu funcionamento baseia-se na intercepção e da detenção das escorrências até que os poluentes indesejáveis se depositem ou sejam filtrados. Exemplos deste tipo de sistemas são bacias de detenção extensas, bacias húmidas, trincheiras de infiltração, bacias de infiltração, filtros de areias, valas relvadas, áreas húmidas construídas, etc. A Fig. 1 ilustra alguns sistemas de tratamento construídos nos EUA.

Muitas MEG exigem áreas mínimas de terreno disponível onde localizar a estrutura do sistema de tratamento e assegurar um processo óptimo. Em zonas densamente urbanizadas as restrições de espaço tornam-se um problema e alterar os sistemas existentes e equipar as áreas com as MEG típicas pode não ser exequível. Para este tipo de zonas, têm sido desenvolvidos e testados projectos inovadores, que permitem o tratamento das águas de escorrência com requisitos de terreno mínimos. As opções nestes casos são, entre outras, alternativas de filtros de areia, áreas de bioretenção e sistemas de filtros nas caixas de visita, (FHWA, 1996).

MEG não-estruturais são sistemas ou práticas concebidos para minimizar a acumulação de poluentes e reduzir a sua concentração inicial nas águas de escorrência. Estas práticas podem ser, por exemplo, a limpeza de ruas, o controlo da aplicação de fertilizantes, a implementação de áreas vegetadas para absorverem parte da poluição e o planeamento do uso do solo. Geralmente estas práticas são utilizadas em conjugação com as medidas estruturais (FHWA, 1996).

Nos EUA existem uma série de sistemas de tratamento de uso comum, porém raramente são monitorizados. É o caso das trincheiras de infiltração, das bacias de infiltração e dos biofiltros. A razão para tal tem muito a ver com a dificuldade em fazer amostragens à entrada e saída destes sistemas, único processo de avaliar a percentagem de poluentes removida. Também se registou nos EUA que os sistemas mais inovadores e originais raramente são

monitorizados, o que se compreenderá pelas novas situações e dificuldades que estas estruturas possam criar face às metodologias de monitorização já conhecidas.



Bacia de detenção extensa



Sistema de infiltração em área urbana



Biofiltros



Bacia húmida

Fig. 1 - Exemplos de diferentes MEG estruturais implementadas nos EUA. Imagens extraídas de Taylor e Barret (1999)

2.1.3 Indicações de custos de construção e horas de manutenção na Califórnia

Numa publicação consultada, relativa a uma avaliação efectuada pelo Departamento de Transportes da Califórnia (Taylor e Barret, 1999), são apresentados custos de construção e o número de horas gastas na manutenção dos diferentes sistemas implementados naquele estado. Os custos não podem ser tomados como absolutos, devido à data do estudo e às diferentes condições verificadas nos EUA. No entanto, pensa-se que estes dados são interessantes em termos comparativos das diferentes MEG estruturais. Este mesmo trabalho apresenta o número de horas gastas em média para a manutenção dos diferentes tipos de sistemas de tratamento. Ambas as informações são apresentadas no Quadro 1.

Os custos do Quadro 1 foram convertidos de dólares para custos relativos¹, possibilitando a comparação entre os diferentes tipos de sistemas de tratamento. Conforme se pode observar, as bacias de retenção em série constituem dos sistemas mais baratos, seguidos pelas bacias de infiltração. No outro extremo, os sistemas mais caros são os filtros de areia e os meios filtrantes.

É interessante verificar que as bacias húmidas (tipologia que, desde logo, não se adequará à realidade climática nacional) são as estruturas com maior exigência de manutenção e que cerca de 94% das horas são utilizadas na manutenção da vegetação. Aliás esta acção é, para os sistemas que apresentam vegetação como as valas e as bacias de retenção, a que consome mais horas de trabalho.

Quadro 1 - Custos relativos de construção e manutenção de sistemas de tratamento de águas de escorrência, na Califórnia, EUA

Tipo de sistema	Custo/m³ da chuvada de dimensionamento	Manutenção média anual (horas)
Filtro de areia	10,0	49
Meios filtrantes	8,1	220
Bacias húmidas	7,5	500
Bacias de retenção em série	1,0	80
Bacias de retenção	2,5	80
Valas (relvadas)	2,0	116
Bacias de infiltração	1,8	89

Baseado em Taylor e Barret (1999)

A avaliação global das diferentes MEG estruturais efectuada por Taylor e Barret (1999), conjugando os custos e a eficácia, concluiu que os sistemas mais positivos são as valas relvadas (biofiltros) pois são relativamente baratos, eficazes para muitos constituintes e não

¹ Dividiram-se todos os valores pelo custo do sistema mais barato.

requerem manutenção especializada. A estas seguem-se as bacias de detenção extensas, pois apresentam custos moderados, flexibilidade na inserção no local, funcionamento moderado e baixa necessidade de manutenção.

Finalmente, em terceiro lugar foram classificados dois tipos de sistemas, os sistemas de infiltração e os filtros de areia. Os primeiros são muito eficazes, com custos moderados, no entanto apresentando restrições significativas na escolha do local e potenciais riscos de impactes nas águas subterrâneas. Os filtros de areia são dispendiosos, muito eficazes, exigem requisitos de entrada significativos e precisam de uma manutenção moderada.

2.1.4 Informações sobre a prática em França

A informação aqui apresentada baseia-se em visitas técnicas e reuniões com as “*Autouroutes du Sud de la France*”, com o “*Département Environnement*” da empresa SCETAUROUTE e ainda com um organismo da administração francesa, o SETRA (*Service d’Études Techniques des Routes et Autoroutes*).

Em França a Lei da Água, visando a protecção dos recursos hídricos foi publicada a 3 de Janeiro de 1992, dando lugar a estratégias de gestão da água mais equilibradas. Até àquela data o enfoque incidia essencialmente na protecção dos corpos de água como origem de água para abastecimento.

A 21 de Abril de 2004, foi publicada a Lei n.º2004-338, transpondo para o direito interno francês a Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (Directiva-Quadro da Água).

O SETRA é um serviço técnico do Ministério que tutela o Equipamento e os Transportes. Tem como função a elaboração de guias, metodologias, livros de Boas Práticas, etc. Entre 1993 e 1999, o SETRA publicou uma colecção de Guias intitulada “*L’Eau et la Route*”. O Volume VII desta série tem por tema os “*Dispositifs de Traitement des Eaux Pluviales*”. Foi publicado recentemente (Agosto de 2007) o Guia técnico intitulado “*Pollution d’origine routière. Conception des ouvrages de traitement des eaux*” que contém metodologias para avaliar a vulnerabilidade de sistemas hídricos e para orientar a escolha dos melhores sistemas de tratamento, em função da vulnerabilidade do meio, entre outras matérias (<http://www.setra.equipement.gouv.fr/Pollution-d-origine-routiere.html>).

Na avaliação dos impactes das estradas na qualidade da água, os franceses consideram 3 tipos de poluição (Habasque, 2005):

- Poluição crónica, da qual 80% é associada às partículas.
- Poluição sazonal, causada pela aplicação de sal no pavimento da Estrada e pela aplicação de químicos nos taludes vegetados.
- Poluição acidental.

As medidas adoptadas para proteger os recursos hídricos das escorrências de estradas são decididas pela equipa de projectistas e pelos responsáveis pela protecção do ambiente, podendo ser sintetizadas em 4 abordagens (Habasque, 2005 e Beaudu, 2005):

- I. Separar a drenagem da plataforma rodoviária e a dos taludes (e terrenos) envolventes, de forma a evitar a mistura de escoamentos com diferentes características e a dispersão de poluentes. Esta estratégia contribui ainda para reduzir a dimensão dos sistemas de tratamento.
- II. No caso de viadutos que atravessam áreas sensíveis procede-se à recolha contínua da drenagem ao longo da plataforma da ponte e ao controlo da descarga, efectuada onde não cause danos ambientais. Esta abordagem é ilustrada na Fig. 2.



Fig. 2 - Exemplo de recolha de águas de escorrência ao longo de toda a extensão do viaduto, para protecção de um vale sensível. Após tratamento as escorrências são lançadas no ambiente de forma controlada

- III. Outras práticas francesas consistem na substituição de valetas ou meias canas em betão por sistemas de drenagem relvados. Esta medida previne o aumento da velocidade do escoamento e a concentração de sólidos e ainda faculta um pré-tratamento da poluição crónica. Hornung *et al.* (2002) referem que este tipo de valetas proporciona uma redução entre 60 a 70% de poluentes e o decréscimo do transporte da poluição acidental num factor de 3. Quando o declive longitudinal é grande e a velocidade da água é superior a 2 m/s, apresentando risco de erosão, coloca-se um geotextil tridimensional sobre o solo natural e cobre-se aquele com cascalho com revestimento betuminoso.

Esta última medida foi implementada na auto-estrada A66, entre Toulouse e Pamiers, tendo sido aplicado um total de 6000 m² de Enkamat® A20 (*cf.* Fig. 3). De acordo com Hornung *et al.* (2002) o Enkamat® A20 é um geotextil perene, que pode ser preenchido com cascalho com revestimento betuminoso, permitindo o crescimento da vegetação através de si e sem necessidade de colocação de solo vegetal no topo do sistema. Graças ao ligando betuminoso, esta estrutura absorve o calor e mantém a humidade, essenciais para a sobrevivência da vegetação. A escolha de sementes é um factor importante, bem como a época do ano da plantação, que deverá ser o Outono ou a Primavera. A mais valia estética desta solução é

reconhecida, bem como o facto dos seus custos serem semelhantes aos das caleiras em betume (Hornung *et al.*, 2002).



Fig. 3 - A66 entre Toulouse e Pamiers (fotografia de 2004). Utilização do Enkamat® A20



Extraída de <http://www.maccaferri.co.uk/PAGES00349.html> (Julho de 2007)

Fig. 4 - Ilustração da aplicação do material

IV. A utilização de medidas de “protecção pesada” em zonas classificadas como sensíveis. Estas zonas podem ser sensíveis devido à presença de águas subterrâneas, superficiais, ou de áreas com valor ecológico, ou ainda pela necessidade de proteger usos específicos da água. Estas medidas de “protecção pesada” consistem na construção de sistemas para decantar partículas e separadores de óleos, bacias para o tratamento das escorrências (conforme ilustrado pelos exemplos apresentados na Fig. 5 e Fig. 6), trincheiras vegetadas e outros sistemas similares.



Entrada do sistema



Bacia com elevada razão C:L

Fig. 5 - Exemplo de uma bacia de detenção com um sistema para retenção de óleos, baseado num processo manual. Estrada no Sul de França, arredores de Toulouse



Vista geral: bons acessos



Possibilidade de fechar o fluxo na direcção da bacia após chegada de derrame acidental, evitando o refluxo de poluentes e a contaminação do meio hídrico



Separador de óleos inserido no órgão de saída

Fig. 6 - Fotografias de um sistema da auto-estrada A20 que atravessa zonas muito sensíveis: áreas cársicas das *Causses du Quercy*

2.1.5 Comentários gerais sobre os sistemas de tratamento utilizados internacionalmente

As soluções adoptadas em diferentes países baseiam-se, essencialmente, em processos naturais. Embora os processos físicos, químicos e biológicos de base sejam os mesmos, as configurações dos sistemas são diferentes, conforme as figuras aqui contidas ilustram. É importante adaptar as soluções às condições específicas de cada local, tais como o espaço disponível, os declives do terreno, o clima (em particular a precipitação), o solo, a geologia e a existência de outras construções. Caso não se atendam a estes aspectos de forma integrada, os objectivos pretendidos com a construção do sistema podem ser inviabilizados ou prejudicados.

Consideram-se como factores cruciais a correcta construção, manutenção e monitorização, em particular de novas soluções e nos primeiros anos de operação de cada novo sistema.

2.2 Estradas analisadas

No âmbito deste estudo, pretendia-se fazer uma avaliação de 20 sistemas de tratamento nacionais. Após a angariação de informação e o preenchimento da base de dados, constituiu-se um conjunto de informação suficiente para a avaliação dos sistemas, em termos da consistência do projecto e das operações de tratamento preconizadas.

No relatório anterior do presente estudo foi apresentado um quadro síntese com as estradas com projectos de sistemas de tratamento consultados na fase inicial deste trabalho.

Nesta segunda fase, com base naquela informação, procedeu-se a um planeamento de visitas aos locais, para reuniões com as concessionárias, angariação de informação empírica ou documental sobre o funcionamento dos sistemas e observação “*in loco*” dos mesmos. A calendarização das visitas é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Datas das visitas para avaliação local de sistemas de tratamento

Estrada e lanço	Data da visita
A2 S. Bartolomeu de Messines – VLA	Março de 2007
A22/IC4 Guia-Alcantarilha	Março de 2007
A24/IP3 Vila Real-Réguas (IP4)/ Falperra- Pedras Salgadas, Pedras Salgadas- EN103 e EN103- Chaves (Fronteira)	Maio de 2007
IP4 Vila Real-Vila Verde	Maio de 2007
A27/IP9 Nogueira-Estorãos e Estorãos-Ponte de Lima	Maio de 2007
A23/IP2 Ligação à Covilhã	Julho de 2007

Em algumas situações, nomeadamente na A2 e na A22, por motivos de ordem prática, não se viu a totalidade dos sistemas para um mesmo lanço ou lanços consecutivos, por estes apresentarem a mesma tipologia. A visita foi documentada com fotos e, sempre que a existência de água no sistema em avaliação o permitia, efectuaram-se medições indicativas com uma sonda multiparamétrica de qualidade da água.

O Quadro 3 apresenta, para as estradas cujos projectos se consultaram e que foram objecto da referida visita de avaliação, a identificação de situações de alterações ao projecto, tanto pela inclusão de sistemas não previstos como pelo inverso. Note-se que a A10 Carregado (A1)-Benavente (A13), por se encontrar em fase de obra aquando da realização desta análise, acabou por não ser considerada no estudo (o seu projecto preconiza 3 tanques de separação de hidrocarbonetos e de sedimentos).

Quadro 3 - Estradas com projecto de sistema de minimização das águas de escorrência, objecto de visitas de avaliação

Estrada	Troço da estrada	Tipo de sistema	N.º de sistemas	Alterações ao projecto
A2	S. Bartolomeu de Messines - VLA	Estações de tratamento	6	Não
A23/IP2	Ligação à Covilhã	Bacias de decantação	4	Não (Reabilitação)
	Vila Real - Régua (IP4)	Bacia multifuncional	1	Sim: 2 bacias
A24/IP3	Falperra - Pedras Salgadas	Bacias de decantação associadas a tanques de separação de óleos	5	Não
	Pedras Salgadas - EN103	(Sem projecto consultado)		Sim: 3 bacias
	EN103 - Chaves (Fronteira)	Valas relvadas e bacia de retenção	6+1	Sim: 1 vala relvada
A27/IP9	Nogueira - Estorãos	Sistema de contenção de risco	2	Não
	Estorãos - Ponte de Lima		2	Não
A22/ IC4	Alcantarilha - Guia	4 Bacias de retenção e de infiltração e 1 bacia de retenção e leito filtrante	5	Sim: estava prevista 1 bacia

Alguns sistemas de tratamento nacionais foram avaliados no passado, no âmbito doutros estudos, encontrando-se os resultados publicados. Esses estudos apresentam cariz diverso, incluindo trabalhos académicos, ao nível do projecto de conclusão de licenciatura, dissertação de mestrado e tese de doutoramento. A avaliação abarcou aspectos de avaliação do projecto, da construção e da monitorização do funcionamento dos sistemas. Os sistemas nesta situação são os seguintes:

- Sistema de tratamento da A1 junto a Fátima. Os resultados encontram-se reportados em SEIA (1995), Matos *et al.* (1999); Vieira e Oliveira (2001), Leitão *et al.* (2002) e Leitão *et al.* (2005).

- Sistemas de tratamento do Nó de Borba da A6. Os resultados encontram-se reportados em Leitão *et al.* (2005).
- Sistema de tratamento do IP4 Vila Real-Vila Verde. Os resultados encontram-se reportados em Barbosa (2000); Barbosa (1999); Barbosa e Hvitved-Jacobsen (1996), entre outras publicações.
- Sistema de tratamento do IP6 Peniche-IC1. Os resultados encontram-se reportados em Barbosa *et al.* (2006).
- Sistema de tratamento da A23/IP2 Ligação à Covilhã. Os resultados encontram-se reportados em Albuquerque (2006) e Albuquerque *et al.* (2006).

No Quadro 4 apresenta-se este outro conjunto de estradas/sistemas de tratamento: os que já foram objecto destes outros estudos. Algumas estradas que constam deste quadro também se encontram referidas no Quadro 3. A equipa responsável por este estudo participou directamente em 7 dos estudos relatados no Quadro 4. Aqui também se incluíram resultados de monitorizações solicitadas pelas concessionárias a empresas e/ou universidades.

Quadro 4 - Sistemas de tratamento objecto de outros estudos

Estrada	Troço da estrada	Tipo de sistema	N.º de sistemas	Estudos
A1	Torres Novas - Fátima	Bacia de retenção	1	Seia (1995); Matos <i>et al.</i> (1999); Projecto fim de licenciatura: Vieira e Oliveira (2001); Estudo para o INAG: Leitão <i>et al.</i> (2005)
A2	São Bartolomeu de Messines -VLA	Estações de tratamento	6	Dados de análises ao afluente e efluente de alguns sistemas, facultados pela BRISA
A6	Nó de Borba	Bacias de pré-tratamento	3	Estudo para o INAG: Leitão <i>et al.</i> (2005)
IP4	Vila Real – Vila Verde	Bacias de detenção	3	Visita no âmbito deste estudo. Tese de doutoramento (Barbosa, 1999)
A23/IP2	Ligação à Covilhã	Bacias de decantação	4	Tese de mestrado (Albuquerque, 2006)
IP6	Peniche – IC1	Separador de hidrocarbonetos e bacia de detenção em terra	3	Avaliado por Barbosa <i>et al.</i> (2006)
A22/IC4	Lagos - Lagoa	Bacias de retenção e de infiltração	3	Monitorização efectuada para a Euroscut por Santos e Aguilera (2004)
	Lagoa - Alcantarilha		1	
	Guia - Alcantarilha	4 bacias de retenção e de infiltração e 1 bacia de retenção com leito filtrante	5	

Em termos específicos pode-se dizer que, no âmbito deste estudo, foram avaliados directamente 27 sistemas de tratamento diferentes. Todavia, tendo em consideração que muitos dos sistemas não avaliados de *per si* são idênticos (dimensionamento e concepção do projecto, construção, etc.) aos avaliados directamente, considera-se que foram avaliados 39 sistemas de tratamento e um total de 13 tipologias diferentes.

2.3 Avaliação da eficácia de vários sistemas de tratamento nacionais

2.3.1 Introdução

Os sub-capítulos seguintes apresentam uma síntese do trabalho desenvolvido no âmbito do presente estudo, tendo em conta o que já se encontra reportado e no que respeita à avaliação do projecto dos sistemas de tratamento e avaliação *in loco* dos mesmos. Desta forma, o nível de detalhe e profundidade da apreciação não pode ser idêntico para todos os casos, sendo que o nível mais simples de avaliação contou sempre com pelo menos uma visita ao local por parte da equipa de trabalho, bem como uma reunião com a concessionária.

2.3.2 A1, Bacia de Fátima

Este sistema apresenta a particularidade de ter sido o primeiro sistema de tratamento de escoamentos rodoviários em Portugal, datando a sua construção de 1990. Acrescidamente serve a auto-estrada com maior tráfego médio diário do país.

Conforme já referido, este sistema de tratamento foi avaliado no âmbito de diversos estudos, efectuados desde 1995, incluindo um estudo que o LNEC executou para o Instituto da Água. A informação aqui reportada deriva dos mesmos.

A bacia de Fátima situa-se ao km 113+100, a oeste da A1 perto da cidade de Fátima. Recebe as águas de escoamento da extensão de faixa de rodagem do km 108+150 ao km 109+100. Estas drenagens provêm das duas faixas de rodagem bem como do separador central, correspondentes a um perfil transversal de 28,0 m de largura total, constituindo uma área de 26600 m² (950 m de extensão). A bacia de drenagem natural que escoar para o sistema de tratamento apresenta uma área de 38000 m².

No âmbito das medidas de minimização dos impactes ambientais induzidos pelo funcionamento da A1, preconizou-se, no projecto de execução, "impermeabilizar valetas e construir uma bacia de decantação experimental" como forma de evitar lançar directamente no meio cársico as águas de escoamento da A1. A selecção do local para a implantação da bacia "resultou de 2 factores: por um lado servir uma área de drenagem relevante e, por outro, a bacia incluir um trecho de auto-estrada perto da povoação de Fátima onde a deposição de

poluentes é elevada".

A bacia de decantação de Fátima apresenta forma rectangular, com entrada lateral do efluente através de uma tubagem de 800 mm de diâmetro, para uma câmara, existindo uma descarga de superfície localizada na diagonal oposta. A bacia foi projectada para uma capacidade de 9148 m³, "admitindo a afluência do caudal de ponta máximo, para um período de retorno de 10 anos, avaliado em 779 l/s e um tempo de retenção correspondente na bacia de cerca de 3 horas" (Matos *et al.*, 1999). As características da bacia de decantação estão referidas no Quadro 5, de acordo com o seu projecto.

Quadro 5 - Características físicas e hidráulicas da bacia de Fátima

Volume	9148 m ³
Altura máxima	1,8 m
Comprimento	100 m
Largura	40 m
Caudal de ponta de cheia	0,779 m ³ /s
Tempo de retenção	3h16 min

Fonte: SEIA (1995)

O processo de tratamento consiste na sedimentação dos poluentes que drenam para a bacia que é impermeabilizada nas bases e taludes laterais. A água pode ir evaporando e, no caso de enchimento da capacidade da bacia, que corresponde a 1,8 m de altura máxima de água, o efluente será descarregado no meio receptor, do lado oposto à entrada.

Matos *et al.* (1999) efectuaram cálculos de verificação hidráulica e confirmaram que o colector de 800 mm (com capacidade para escoar 940 l/s a secção cheia, com uma velocidade correspondente de 1,86 m/s) se encontra adequadamente dimensionado.

Do estudo de Matos *et al.* (1999) resultaram recomendações que foram implementadas em 2002, tais como a reparação do órgão de descarga de fundo da bacia, que vertia água, a instalação de novos dispositivos de intercepção de águas pluviais e a reposição do material argilosos e a substituição da tela GEONIL (G350). O estudo recomendou a alteração do sumidouro existente, de forma a aumentar a sua capacidade de intercepção, evitando que escorrências pluviais não recolhidas acabem por drenar para a bacia, de forma não controlada, provocando a ocorrência de situações de erosão no talude da bacia. Note-se que esta situação ocorre no caso dos caudais máximos de ponta afluentes.

Tendo por base o estudo de Matos *et al.* (1999), Vieira e Oliveira (2001), num projecto de conclusão de licenciatura, conceptualizaram uma bacia de 646 m³ de capacidade e uma altura máxima da lâmina líquida e a razão comprimento/largura idênticas às da bacia de Fátima. As autoras, com base num programa que utilizou séries de precipitações locais, de 1990 a 1993, avaliaram o comportamento desta bacia teórica e compararam-no com o da bacia de Fátima (ver Quadro 6).

Quadro 6 - Dimensionamento da bacia de Fátima para dois volumes (Vieira e Oliveira, 2001)

Parâmetro	Bacia de Fátima	Bacia idealizada
Volume (m ³)	9148	646
Altura máxima da lâmina líquida (m)	1,8	1,8
Comprimento (m)	100	25
Largura (m)	40	10
Área (m ²)	4000	250
Volume útil (m ³)	7200	450

Concluíram que a eficiência média é similar nos dois casos, não se justificando um volume de dimensionamento que é 14 vezes superior, no caso da bacia construída em Fátima, o qual permite armazenar (e tratar) uma parte das escorrências dos eventos de maior dimensão que apresentará concentrações pouco significativas de poluentes.

2.3.3 A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA

Além dos documentos do projecto, constituíram elementos de análise uma visita efectuada às Estações de Tratamento (ET) da A2 no dia 5 de Março de 2007, com acompanhamento da BRISA. Esta visita permitiu perceber melhor a concepção e funcionamento das estações, uma vez que as informações de projecto a que se teve acesso não permitiram compreender na totalidade.

Neste troço foram construídas 6 ET, 5 das quais são similares, diferindo apenas no dimensionamento do Tanque Pulmão, que é função das áreas drenantes. As ET encontram-se numeradas de 1 a 6, no sentido de Norte para Sul, de acordo com o esquema apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 - Esquema de apresentação das estações de tratamento da A2, S. Bartolomeu de Messines-VLA

Direcção e localização da ET			Características da área drenada	
S. Bartolomeu de Messines	km	Lado da estrada	Área total drenada (m ²)	% Área impermeabilizada
ET 2	4+260	Direito	83990	41
ET 3	5+420	Direito	49705	46
ET 4	6+670	Esquerdo	30978	76
ET 5	8+640	Esquerdo	159726	49
ET 6	9+780	Direito	52969	38
VLA				

A ET 5 é a maior deste conjunto, apresentando algumas funções de controlo específicas. A

partir desta podem ser controladas remotamente algumas funções mecânicas nas restantes ET. É também a ET 5 que trata (por desidratação) as lamas recolhidas em todas as 6 ET, visto as restantes 5 ET apenas apresentarem um contentor cilíndrico para armazenamento de lamas enquanto a ET 5 possui um tanque em betão com funções mistas de armazenamento e tratamento.

Os processos de tratamento são físicos, envolvendo meios mecânicos (por exemplo, a raspagem superficial para remoção de óleos e gorduras) e químicos, envolvendo a adição de cloreto férrico para precipitação dos metais pesados.

Empiricamente, com base nas taxas de acumulação de lamas, infere-se que os sistemas se encontram sobredimensionados. Por exemplo, a ET 6 após 3 anos de funcionamento, apresenta apenas cerca de metade da capacidade de armazenamento do seu tanque de armazenamento repleta de lamas. Desde o Inverno de 2006 até 5 de Março de 2007 as ET funcionaram somente 2 vezes.

Aquando da visita, a equipa do LNEC efectuou medições de parâmetros indicadores de qualidade com uma sonda multiparamétrica YSI556MPS no Tanque Pulmão da ET 5, que apresentava cerca de 1,30 m de altura de água. Constataram-se valores de pH consideravelmente básicos (9,5), condutividade da ordem dos 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, salinidade de 0,07 ppt e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) de 0,091 g/l. Pensa-se que esta água estaria no sistema já há algumas semanas.

A empresa encarregue da manutenção das ET tem um plano anual de manutenção e lubrificação que se apresenta bastante pormenorizado. Aí discriminam-se as componentes do equipamento e as suas diferentes partes, bem como quais as acções a desenvolver para cada uma e quando deverão ser executadas.

Solicitou-se à BRISA valores do consumo de cloreto férrico nos diferentes sistemas. Os dados facultados, referentes ao período entre Dezembro de 2004 e Agosto de 2006 foram os seguintes:

- ET 1: 45 litros;
- ET 2: 70 litros;
- ET 3: 60 litros;
- ET 4: 25 litros;
- ET 5: 90 litros;
- ET 6: 60 litros.

A BRISA facultou os custos totais de construção e manutenção das 6 ET. Por uma questão de avaliação global, traduziram-se estes em custos médios (embora seja óbvio que, por exemplo a ET 5 terá tido um custo superior às restantes). Assim, cada ET terá custado cerca de 932 000 € e apresenta um custo médio anual de manutenção de 3333 €.

Em termos gerais, pode-se dizer que as ET foram construídas de acordo com o projecto e que a sua exploração e manutenção está a ser bem cuidada. Saliente-se, todavia, que opções por sistemas passivos e naturais costumam ser mais usuais para tratar as águas de escorrência de estradas, com bons resultados e custos de construção e exploração significativamente mais reduzidos.

2.3.4 A6, Nó de Borba

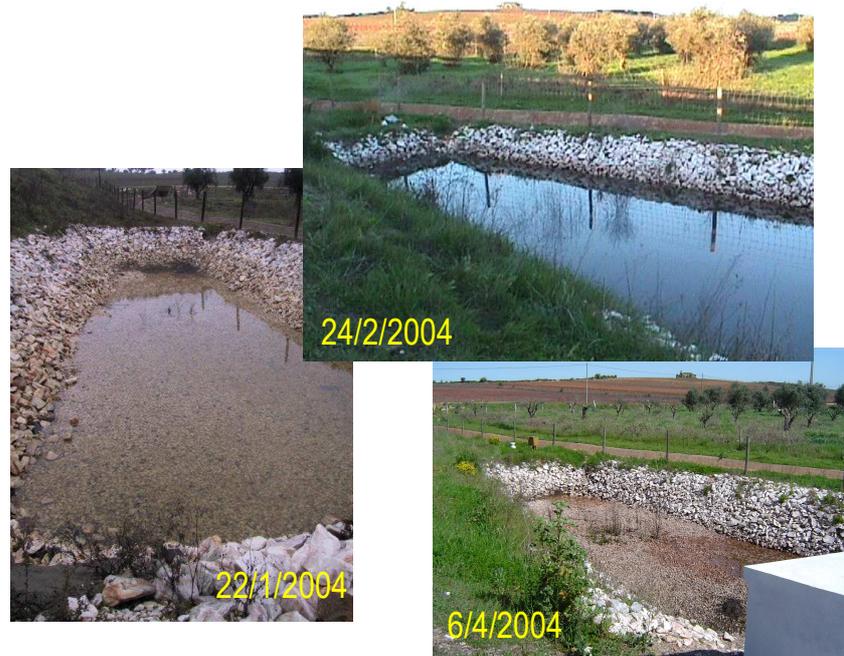
De acordo com o Estudo de Impacte Ambiental, foram construídas na zona de Borba três bacias de pré-tratamento, com o objectivo de fazer uma depuração (não um tratamento completo) das águas de escorrência da A6 antes de as lançar no meio ambiente. Uma das principais preocupações era a preservação das vinhas de Borba, classificadas como Vinhas de Qualidade Produzidas em Região Demarcada (VQPRD). Esta medida foi do tipo preventivo, dado que, para o nível de utilização prevista, associavam-se a esta estrada concentrações de poluentes relativamente baixas.

As três bacias localizam-se na envolvente do Nó de Borba. Os pressupostos do projecto indicam que a extensão média drenada para cada bacia é de 450 m de estrada e de 10 m² de taludes. O projecto preconizou bacias de secção circular, de 15 m de diâmetro, com capacidade máxima para 265 m³. Para melhorar a retenção de poluentes e reduzir fenómenos erosivos, preconizou-se o revestimento do fundo da bacia com solo orgânico e a introdução de gravilha grosseira na parte superior.

Um destes sistemas de tratamento foi avaliado no âmbito de um estudo que o LNEC efectuou para o Instituto da Água, pelo que a informação aqui reportada deriva dos documentos produzidos à data, nomeadamente Leitão *et al.* (2005).

A bacia seleccionada recebe a drenagem da extensão de pavimento compreendida sensivelmente entre os km 10+795 e 11+250, num comprimento total de 455 m das faixas correspondentes ao sentido Elvas-Borba. Assim, a área de pavimento drenado para a bacia é de cerca de 5460 m² (12 m de extensão transversal correspondentes à faixa de rodagem e às duas bermas).

Constatou-se que o sistema funciona essencialmente como uma bacia de infiltração, uma vez que a sua base não é impermeável, permitindo a infiltração gradual dessas águas para as águas subterrâneas subjacentes. Durante a monitorização que decorreu entre Janeiro e Abril de 2004, nunca se observou qualquer descarga para o exterior. Verificaram-se oscilações acentuadas do nível de água na bacia ao longo de todo o período de monitorização (*cf.* Fig. 7). Conforme se observa nas imagens, todo o sistema se encontra cheio de pedras arrumadas, conforme indicação do projecto. Existe uma camada de solo orgânico colocada sobre o solo local, de forma a potenciar a retenção de metais pesados.



Fonte: Leitão et al. (2005)

Fig. 7 - Variação do nível de água na bacia de Borba

Faz-se ainda uma referência aos outros dois sistemas de tratamento da A6, cujo projecto e construção são idênticos ao da bacia avaliada pelo LNEC. Estes sistemas foram visitados em Janeiro de 2002 pela equipa de trabalho do LNEC, acompanhados de elementos do INAG e da BRISA. Observações locais e informações da BRISA (que conduziram à selecção da bacia monitorizada) evidenciaram que os outros dois sistemas de tratamento apresentam uma altura de água considerável durante todo o ano, a qual será proveniente de fluxos sub-superficiais e/ou ressurgências subterrâneas. A Fig. 8 apresenta um destes sistemas, visivelmente cheio de água.



Fig. 8 - Foto de uma das 3 bacias da A6, que apresenta entradas de água sub-superficial e subterrânea (Janeiro de 2002)

2.3.5 A22/IC4, Alcantarilha - Guia

Verificou-se que no lanço Alcantarilha - Guia (anteriormente designado por Guia – Alcantarilha) existem 5 sistemas de tratamento das águas de escorrência da A22/IC4, enquanto o projecto consultado preconizava apenas 1. Esta informação foi prestada pela EUROSCUT, aquando da visita que o LNEC efectuou a alguns deste sistemas, no dia 6 de Março de 2007. Dos 4 sistemas de tratamento adicionais, 3 apresentam uma tipologia idêntica (bacia de retenção e bacia de tratamento por aspersão e infiltração) e o último diferencia-se por a segunda etapa ser num leito filtrante. As Fig. 9 e Fig. 10 ilustram este aspecto. As bacias de retenção são designadas pela EUROSCUT por BTA, nomenclatura que aqui se adopta. A EUROSCUT facultou ao LNEC algumas das telas finais dos desenhos de implantação das bacias bem como das plantas e perfis destas.



Fig. 9 - Leito filtrante da bacia designada BTA ao km 40+200 da A22/IC4, Alcantarilha – Guia



Fig. 10 - Bacia de infiltração do sistema designado BTA ao km 38+656, A22/IC4, Alcantarilha – Guia

Aquando da visita do LNEC foram efectuadas medições de parâmetros indicadores de qualidade com uma sonda multiparamétrica YSI556MPS na bacia de retenção da BTA ao km 38+656, que apresentava uma altura média de água de 0,5 m (cf. Fig. 11). Estas indicaram um pH de 10,41, salinidade de 0,10 ppt, condutividade de 206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) de 0,134 g/l. Esta água, ou parte dela, estaria no sistema há uns 2 dias.



Fig. 11 - Medições com sonda multiparamétrica na bacia de retenção BTA-8 (Lanço Alcantarilha - Guia)

Em termos sintéticos, a avaliação destes sistemas pode ser feita do seguinte modo:

- Os princípios e acções utilizados são adequados. Tendo em conta o objectivo de protecção das águas subterrâneas seria necessário investigar se os poluentes ficam retidos no solo das bacias.
- No lanço Alcantarilha-Guia foram construídos 5 sistemas de tratamento supondo-se que o sistema localizado ao km 0+700 seja o correspondente ao do km 0+580 projectado. Supõe-se que a avaliação deste sistema seja semelhante à dos lanços Lagos-Lagoa e Lagoa- Alcantarilha.

A manutenção do sistema envolve acções de limpeza e desmatção que se traduz numa equipa de 4 pessoas a trabalharem 1 mês/ano. Geralmente a actividade decorre em Junho (antes do Verão) de modo a que os sistemas estejam preparados para as primeiras chuvadas.

Esta operação tem um custo médio de 5253 €/ano, para as 12 BTA que a EUROSCUT gere (este valor global inclui dois sistemas da ligação da A22 a Lagos).

2.3.6 A23/IP2, Ligação à Covilhã

Albuquerque (2006) apresenta, no âmbito duma dissertação de mestrado, o estudo do funcionamento de uma das 4 bacias de tratamento da ligação norte da auto-estrada A23 – Ligação à Covilhã. Os resultados deste trabalho encontram-se também apresentados em Albuquerque *et al.* (2006). O estudo desenvolveu-se com base na avaliação do projecto, avaliação “in loco” da construção e funcionamento das estruturas hidráulicas e monitorização de 3 eventos (em Janeiro, Maio e Novembro de 2006). Os resultados da monitorização são apresentados em 2.4.6.

A ligação Covilhã Norte – Auto-estrada A23/IP2 engloba dois troços de via, com cerca de 2,0 km e 4,2 km de extensão. O primeiro troço faz a ligação entre a zona do Hospital e uma rotunda; o segundo entre esta e a auto-estrada A23/IP2. Neste último troço, existe um viaduto em betão armado sobre a ribeira de Corges (afluente do rio Zêzere), com ligação em aterro a montante e a jusante.

As bacias são caracterizadas por apresentarem duas zonas principais: o desengordurador e a zona de decantação.

O dimensionamento das quatro bacias teve como objectivo captar, reter e tratar por decantação os poluentes presentes nas águas de escorrência do troço de estrada referido, para um período mínimo de 3 h e para uma chuvada média de 41 mm, podendo, ainda, acumular volumes de líquido entre chuvadas consecutivas.

A análise crítica do dimensionamento permitiu identificar que as áreas pavimentadas e de taludes efectivamente drenadas para a bacia não correspondem às do projecto. A bacia recebe uma contribuição de cerca de 2800 m² da faixa de rodagem (contra 1410 m² do projecto) e de 1200 m² de taludes, que no projecto ascendiam a 5493 m². O dimensionamento do projecto, que apresenta premissas e raciocínios não adequados, resultou num volume de 143 m³ quando se estimou que cerca de 74 m³ seriam suficientes e adequados. Todavia, aspectos de concepção inadequados fazem com que o volume de 143 m³ não constitua na totalidade um volume útil. A relação comprimento:largura é de quase 1:1 quando deveria ser de 4:1 e os taludes laterais da bacia também não apresentam a inclinação desejável (Albuquerque, 2006).

Relativamente à construção e concepção, as sucessivas observações durante o estudo de Albuquerque (2006) possibilitaram a identificação dos seguintes aspectos:

- A bacia não apresenta um caminho de acesso adequado para pessoas e veículos.
- O descarregador de saída do desengordurador, abertura de geometria quadrática de 20 cm de largura, encontra-se localizado a cerca de 50 cm acima do fundo da bacia, permitindo apenas a retenção de um volume parcial das escorrências

afluentes.

- Verificou-se que a tela impermeabilizadora se encontrava descolada em alguns pontos de contacto com elementos de betão armado, permitindo a infiltração de volumes retidos naqueles pontos.
- Detectaram-se problemas de fissuração da estrutura, quer no desgordurador, quer no órgão de saída.
- Observou-se o assoreamento parcial do desgordurador, que se julga ser devido ao arrastamento de elevadas quantidades de material sólido dos taludes e valas de drenagem que não se encontravam totalmente consolidadas, como é normal em obras de vias recentemente executadas.
- O sistema de transporte das escorrências desenvolve-se em meia cana aberta e apresenta mudanças de direcção bruscas, levando a que, em alguns pontos, as águas saíssem do sistema de drenagem. Estes volumes infiltram-se em áreas próximas da via, podendo contribuir para a erosão da estrutura onde assenta o pavimento.
- Verificou-se não ser uniforme a saída da água do desgordurador para a bacia de decantação, por meio das três descargas, projectadas para a mesma altura. Observou-se que a descarga ocorria maioritariamente por uma das caixas, estando as restantes desniveladas, provavelmente devido à ocorrência dos assentamentos.



Fig. 12 - Alteração do posicionamento do órgão de descarga da bacia, após obras de reabilitação

Estes problemas foram objecto de discussão com a entidade gestora, durante a execução da dissertação de mestrado. Verificou-se, aquando duma visita efectuada ao local em 6 de Julho de 2007, que eram visíveis obras de reabilitação das bacias. Entre outras, conforme se pode comprovar pela observação da Fig. 12, efectuou-se a muito necessária elevação da altura do descarregador, que assim permite um maior volume de armazenamento da bacia, com consequências positivas no tempo de retenção e no tratamento do afluente.

Observa-se igualmente a introdução de escadas para melhor acesso às caixas em betão,

comentando-se todavia que o facto das mesmas serem metálicas deverá ser tido em conta nas monitorizações posteriores da qualidade da água, visto que este material poderá ser responsável pela introdução de metais pesados, como o zinco.

Considera-se este caso como um exemplo positivo de aplicação dos resultados da monitorização na reabilitação de sistemas de tratamento de escorrências rodoviárias.

2.3.7 A24/IP3 Vila Real-Régua (IP4), Falperra- Pedras Salgadas, Pedras Salgadas-EN103 e EN103- Chaves (Fronteira)

Aquando da consulta dos projectos identificou-se um total de 13 sistemas na A24/IP3. Na reunião com a Operscut e na visita aos sistemas (em 8 de Maio de 2007) foi-se confrontado com alterações ao projecto dos sistemas de tratamento em dois lanços (**Vila Real-Régua e EN 103-Chaves**) e ainda a informação de que o lanço **Pedras Salgadas-EN 103** apresenta 3 bacias de tratamento, destinadas a proteger o Perímetro Alargado de Protecção das Águas Minerais de Campilho. O Quadro 8 apresenta um resumo destes dados.

Na visita efectuada encontrou-se água nos sistemas o que possibilitou a medição de parâmetros indicadores de qualidade com uma sonda multiparamétrica YSI556MPS. A água em causa terá resultado de eventos de precipitação ocorridos cerca de 1 semana antes e ainda água que poderia estar no sistema há mais tempo, tanto proveniente do pavimento como de nascentes. Com efeito, em alguns sistemas verifica-se uma entrada constante de água natural, que terá origem nas múltiplas nascentes de que a região é pródiga. Por este motivo os sistemas contêm água quase o ano inteiro, podendo haver excepções na época seca que também tem temperaturas ambientes muito elevadas.

Assim, o Quadro 9 apresenta os resultados das medições referidas, assinalando quais os sistemas a ter um fluxo de entrada de águas naturais. As medições foram efectuadas na base dos sistemas. O pH é levemente ácido, com excepção da água da vala relvada (do lanço EN 103-Chaves (Fronteira)). Coloca-se a hipótese desta acidez poder potenciar a solubilização e infiltração de metais pesados, o que representa um risco para as águas subterrâneas. Estudos como o de Barbosa (1999) comprovam como as características do solo (acidez, porosidade e heterogeneidade) conduzem à infiltração de metais pesados e contaminação de águas subterrâneas. No presente caso, seria importante analisar as características do solo das bacias e com base nestas calcular o potencial de migração de metais pesados, nomeadamente do zinco que se encontra entre os metais mais solúveis.

Quadro 8 - Comparação entre os sistemas projectados e os construídos para a A24/IP3

Lanço do A24/IP3	Sistemas projectados	Sistemas construídos
Vila Real/ Régua	1 bacia multifuncional ao km 4+000	2 bacias multifuncionais (km 3+300, lado direito e 4+000 lado esquerdo)
Falperra/ Pedras Salgadas	5 bacias com separadores de hidrocarbonetos	5 bacias com separadores de hidrocarbonetos
Pedras Salgadas/EN 103	Nenhum?	3 bacias de tratamento: km 7+175 (lado esquerdo); km 8+250 e km 8+500 (ambos sob viaduto da Riba de Oura)
EN 103/ Chaves (Fronteira)	6 valas relvadas e 1 bacia de tratamento	1 vala relvada em forma de "U", localizada na extensão entre os km14+100 e 14+250 (lado direito)

Quadro 9 - Valores de parâmetros indicadores de qualidade medidos em 8 de Maio de 2007 em vários sistemas da A24/IP3

Lanço do A24/IP3	Sistema Km	pH	Cond. (µS/cm)	Sal. (ppt)	T(°C)	OD (%)	SDT (g/l)	Potencial Redox (mV)	
V.Real/Régua	3+300(1)	6,62	56	0,03	20,8	82	0,037	192	
	2+200(1)	6,17	85	0,04	17,9	84	0,055	345	
	3+025	6,54	71	0,03	18,6	88	0,047	353	
	Falperra/P. Salgadas	3+950(1)	6,36	71	0,03	17,9	80	0,047	310
		4+400	6,21	86	0,04	16,8	86	0,055	353
		7+755	5,93	74	0,03	15,9	89	0,048	355
P. Salgadas/ EN 103	24+500	6,53	134	0,06	16,2	49	0,086	-40	
	25+550	6,31	256	0,12	17,2	73	0,165	-120	
	25+800(1)	7,21	328	0,16	20,5	80	0,213	204	
EN 103/ Chaves (Front)	14+100 ao 14+250(2)	8,53	69	0,03	28,0	115	0,044	318	

OD= Oxigénio Dissolvido

(1) O sistema apresenta um fluxo de água natural que entra no mesmo

(2) Esta medição refere-se à água próxima da saída da vala relvada

Verificam-se algumas condições mais redutoras em dois sistemas do lanço Pedras Salgadas-EN 103. Estes valores servirão de referência e poderão ser comentados quando se possuir dados sobre as origens e características das águas de entrada, bem como dos solos subjacentes.

Foi reportado pela concessionária a aplicação de sal no pavimento da estrada, em determinados locais sujeitos a gelo. Este aspecto é da maior relevância no estudo das características das escorrências e no seu próprio tratamento. O sal introduzido traduzirá valores de condutividade e salinidade mais elevados, condicionando também os processos físico-químicos que envolvem os poluentes típicos presentes.

De referir que não se mediu a qualidade da água no sistema ao km 4+000 do lanço **Vila Real-Régua** devido à reduzida quantidade de água e ao seu (mau) aspecto (cf. Fig. 13). Nestes sistemas, cujo projecto se desconhece, chama a atenção a descarga de fundo (cf. Fig. 14) sempre aberta, que controla o nível máximo de água no sistema. Pensa-se que a intervenção, em caso de derrame acidental terá que ser imediata, para fechar a comporta existente na caixa de visita, a jusante da saída – embora não se tenha visto nenhuma referência a esta acção no projecto. Este aspecto coloca riscos à eficácia de funcionamento, face a derrames acidentais. Também se observou que apesar de existirem vedações, não se colocou nenhum portão de acesso (cf. Fig. 14).

Estes sistemas apresentavam, aquando da visita, alguma necessidade de limpeza de resíduos de origem urbana (lixos).

Na base de dados não se efectuou qualquer avaliação comparativa do projecto com a obra construída, visto se desconhecer o projecto e a relação que possa existir entre ele e a construção.

A Operscut (Pintado, 2007) informou que no período de Verão por vezes a descarga de fundo destas bacias é fechada, de forma ter uma reserva de água para lavagens, entre outras utilizações.

Qualquer dos sistemas apresentava vegetação no seu interior, caniços como se costuma observar em zonas húmidas (tipo do género *Typha* ou *Phragmites*), que se pensa terá sido plantada com o objectivo de concretizar o tratamento biológico preconizado. Coloca-se a questão da manutenção e remoção de sólidos acumulados, uma vez que estes se aglomeram no fundo, misturando-se com a vegetação e com a camada de solo que se supõe tenha sido colocada para sustentar a plantação.

As 5 bacias do lanço da A24/IP3 **Falperra Pedras Salgadas** são sistemas recentes, pelo que apresentam fraca cobertura vegetal no solo (cf. Fig. 15). Todas elas têm vedação e portões de acesso, além de caminhos paralelos e/ou acessos através da própria estrada. Os caminhos de acesso em terra batida não são viáveis para viaturas ligeiras e alguns deles poderão não ser transitáveis durante o Inverno. A água que se observou nas bacias - não só com origem nas escorrências do pavimento, conforme referido - tinha uma altura média estimada de menos de 1 m no sistema ao km 2+200 e um pouco mais de 1 m nos restantes.



Fig. 13 - Sistema ao km 4+000, A24/IP3, Vila Real - Régua (8 de Maio de 2007)



Fig. 14 - Sistema ao km 3+300, A24/IP3, Vila Real - Régua (8 de Maio de 2007)



Fig. 15 - Bacia ao km 2+200, A24/IP3, Falperra - Pedras Salgadas (8 de Maio de 2007)

A Operscut referiu a aplicação de sal, no Inverno, neste lanço. Este facto irá condicionar as características das águas de escorrência e, visto estar em curso um programa de monitorização da qualidade das águas de escorrência e da eficácia dos sistemas de tratamento, pensa-se que seria interessante determinar o parâmetro cloretos como forma de averiguar da sua presença e melhor compreender outros processos físico-químicos que ocorrerão nas águas e com os outros poluentes.

Seria igualmente interessante poder fazer-se uma estimativa do caudal de água natural afluente às bacias e determinar nesta, alguns parâmetros indicadores, como condutividade, pH, salinidade, uma vez que estes dados serão relevantes para a compreensão do funcionamento dos sistemas e interpretação dos resultados da monitorização.

Observou-se alguma acumulação de sólidos sob o colector de entrada das bacias, o que é expectável, pois após o primeiro Inverno ocorre uma contribuição de sólidos superior ao normal, resultante dos taludes ainda não estarem estabilizados bem como os terrenos envolventes à obra terem sido mexidos e o solo se encontrar descoberto. Este tipo de observação sublinha a importância de se prever, na exploração de estradas com sistemas de tratamento, uma manutenção especial após a primeira época pluviosa, com vista à remoção destes sedimentos.

Os 3 sistemas do lanço **Pedras Salgadas-EN 103**, únicos cujo projecto se desconhecia, apresentam um volume significativo. Um documento facultado pela Operscut discrimina os volumes e alturas respectivas, que são os seguintes:

- Bacia km 24+500: $V=2020 \text{ m}^3$ e $h=2,50 \text{ m}$;
- Bacia km 25+550: $V=2350 \text{ m}^3$ e $h=3,00 \text{ m}$;
- Bacia km 25+800: $V=843 \text{ m}^3$ e $h=2,20 \text{ m}$.

Além do volume e altura de água, pensa-se que, por duas delas se localizarem sob o viaduto, têm condições de protecção face às intempéries que poderão potenciar habitats para organismos aquáticos. Encontraram-se sapos e, no caso da bacia 3, peixes que, naturalmente, terão sido lá colocados.

A Fig. 16 ilustra uma das bacias sob o viaduto e a Fig. 17 os sistema de colectores em PVC que encaminham as águas de escorrência da plataforma para a bacia, com um sistema de by-pass apoiado numa comporta.



Fig. 16 - Bacia ao km 25+550, A24/IP3, Pedras Salgadas/EN103 (8 de Maio de 2007)



Fig. 17 - Sistema de drenagem e by-pass do viaduto para a bacia ao km 25+550, A24/IP3, Pedras Salgadas/EN103 (8 de Maio de 2007)

Finalmente, no que respeita ao lanço entre a **EN 103 e Chaves (Fronteira)**, a situação encontrada foi a mais díspar de todas, comparativamente ao preconizado no projecto. Para este facto solicitou-se uma explicação à OPERSCUT que, até à data, ainda não foi facultada. Assim, foi construída uma vala relvada bastante grande (de dimensões desconhecidas) com a forma de um “U” (cf. Fig. 18) e com um sistema de desengorduramento e válvulas de fecho na caixa de visita a jusante da descarga da vala (cf. Fig. 19).



Fig. 18 - Aspecto da vala relvada da A24/IP3, EN103/Chaves (Fronteira) (8 de Maio de 2007)



Fig. 19 - Caixa de visita à saída da vala relvada da A24/IP3, EN103/Chaves com válvula de fecho e controlo de óleos e gorduras

A Operscut informou que a manutenção dos sistemas passa por uma inspeção mensal dum equipa de duas pessoas.

Relativamente aos custos de construção e de exploração, foram solicitados pelo LNEC à Operscut que, até à data, não os facultou.

Foi contratada uma empresa para implementar todo um plano de monitorização que contempla as escorrências de diferentes lanços da A24/IP3 e ainda águas superficiais e subterrâneas. No que respeita aos sistemas de tratamento também se preconizam várias

campanhas (em média, 3 por ano) e amostragens à entrada e à saída dos sistemas. Os parâmetros a monitorizar nos sistemas de tratamento são: aparência; pH; temperatura; oxigénio dissolvido; CQO; CBO₅; óleos e gorduras; sólidos suspensos totais; cádmio, cobre, zinco e crómio (dissolvidos e totais); hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e sedimentos. A primeira campanha terá tido lugar durante Maio de 2007, não sendo conhecidos os resultados da mesma.

2.3.8 IP4, Vila Real - Vila Verde

O lanço do IP4 Vila Real - Vila Verde apresenta 3 bacias de tratamento de águas de escorrência, localizadas a cerca de 10-12 km a leste de Vila Real, sendo que a bacia 3 se localiza exactamente no interior de um dos ramos do Nó de Vila Verde. Estes sistemas foram construídos em 1994/95 e serão os mais antigos de Portugal, a seguir à bacia de Fátima (que data de 1990).

Um dos três sistemas foi objecto de estudo de uma tese de doutoramento (Barbosa, 1999) e de um projecto europeu (Lehmann *et al.*, 1998 e Leitão *et al.*, 1999), pelo que se pode dizer que existe um conhecimento bom e uma análise conclusiva sobre a eficácia destes sistemas, visto terem sido estudados aspectos de tratamento, dimensionamento e concepção que são comuns aos 3 sistemas.

Cada sistema consiste em dois compartimentos rectangulares e alongados, escavados no solo local e com dimensões calculadas de acordo com as áreas drenadas respectivas. O primeiro compartimento, destinado ao pré-tratamento (decantação), apresenta-se com dimensões idênticas para os 3 casos (200 m³) (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 1996 e Barbosa, 2000).

A Fig. 20 apresenta fotografias destes 3 sistemas, tiradas em Março de 1996, poucos meses após a sua construção. Esta construção nunca foi finalizada, faltando entre outros aspectos a impermeabilização dos sistemas, visto que estes pretendiam proteger a ribeira de Justes e as águas subterrâneas locais.

Os caudais de dimensionamento de projecto foram estimados a partir do valor médio de precipitação para 72 horas, do mês mais chuvoso, correspondendo a 7,5 mm. Os volumes do segundo compartimento das bacias são de 611 m³ para as bacias 1 e 3 e de 412 m³, para a bacia 2 (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 1996).

No que respeita à bacia 2, a mais estudada, apresenta-se em seguida uma síntese das conclusões mais importantes, com base em Barbosa (1999) e Barbosa (2000):

“Verificou-se que, apesar do sistema ter sido projectado como uma bacia com água

permanente, está a funcionar como uma bacia de infiltração. Uma das razões para este facto é que a construção não foi executada conforme o projecto e não se instalou a geomembrana. O primeiro compartimento da bacia é suficiente para captar a totalidade das escorrências recebidas. Simulações em computador, com base em séries de (6 anos) de precipitação horária de Vila Real, demonstraram que uma bacia (de infiltração) com uma capacidade total de 82 m³ seria suficiente para tratar a totalidade das escorrências produzidas.

..., o estudo revelou que a bacia do IP 4 está a contaminar as águas subterrâneas subjacentes e a razão deste facto é o solo local possuir um pH ácido (4,2) e, ainda, apresentar uma elevada heterogeneidade na textura. Esta situação facilita a migração das fracções dissolvida e coloidal dos poluentes através do solo até ao lençol freático. Simultaneamente, os poluentes na forma particulada depositam-se no fundo da bacia e formam uma camada de sedimentos que vai aumentando, com o tempo.”

Em Maio de 2007 a equipa de trabalho do LNEC deslocou-se a Vila Real, para observação do estado destes 3 sistemas. A primeira das bacias revelou-se impossível de localizar, não sendo visíveis nem os seus taludes nem os colectores. Sendo os outros dois sistemas mais fáceis de localizar, a sua observação permitiu constatar que não têm sido objecto de manutenção e que vegetação de todo o tipo os invadiu. Observou-se que esta vegetação estará também a comprometer a drenagem de águas de escorrência nas valas adjacentes.

Localizou-se a bacia 2 por ainda ser possível visualizar alguns dos seus colectores e o abrigo que foi construído para a sua monitorização, sendo ainda possível inferir da localização da bacia 3 por comparação com as fotos antigas e tendo a referência da configuração do Nó (cf. Fig. 21).

Em termos gerais, estes 3 sistemas deverão ser objecto de limpeza e obras de reabilitação, pois neste momento poderão estar a causar mais problemas ambientais que a resolvê-los, como se pretendia que estivessem.



Fig. 20 - Fotografias das 3 bacias do IP4, Vila Real -Vila Verde, poucos meses após a sua entrada em exploração, como atesta o estado dos terrenos (Março 1996)



Fig. 21 - Fotos tiradas em Maio de 2007, às bacias 2 e 3. São visíveis os colectores no primeiro caso. A bacia 3 é localizável apenas por comparação com a Fig. 20

2.3.9 IP6, Peniche-IC1

Estes sistemas foram caracterizados e avaliados, a título exemplificativo, numa fase inicial do presente estudo. Um dos sistemas, localizado próximo do km 13+875, do lado esquerdo do lanço do IP6 Peniche-IC1 foi utilizado como local de monitorização de águas de escorrência, num estudo que o LNEC também efectuou para as Estradas de Portugal. Os resultados desta monitorização permitiram também uma avaliação do funcionamento do sistema de tratamento pela oportunidade de o observar em diferentes circunstâncias, ao longo do período de chuvas, entre Setembro e Outubro de 2005 e em Fevereiro de 2006 (Barbosa *et al.*, 2006).

Como se referiu, o sistema de tratamento em estudo neste trabalho é constituído por duas

bacias que permitem fazer a retenção das águas com carga poluentes e o respectivo tratamento.

Entende-se que o projecto está duma maneira geral bem concebido, quanto aos sistemas escolhidos e operações de tratamento preconizadas. Relativamente à concepção do sistema:

- Considera-se como um ponto fraco na concepção do sistema a referência à necessidade de manutenção permanente, mesmo nos períodos de Verão de um determinado volume de água na bacia em betão, para que esta cumpra a sua função.
- Considera-se que a segunda bacia de retenção está sobredimensionada.
- Deveria haver um desnível mínimo de 5 cm entre a entrada (mais elevada) e a saída (cota inferior à da entrada). Efectivamente, observou-se, durante um período pluvioso em que a primeira bacia encheu e começou a descarregar para a segunda bacia, que os colectores de entrada e saída se encontram colocados à mesma altura, o que não é favorável e pode gerar processos de refluxo de água.
- A colocação das descargas de fundo poderiam ser evitadas uma vez que a limpeza destes sistemas deverá ser feita por meios mecânicos a seco e deverá evitar-se o esvaziamento que provocaria a introdução de sólidos e poluentes associados nos meios hídricos locais que se pretende proteger.
- O projecto inclui um *by-pass* à entrada da primeira bacia permitindo o escoamento das águas de escorrência directamente para o meio hídrico. Tendo em conta as duas etapas do sistema projectado, seria mais adequado o *by-pass* estar instalado à saída desta primeira bacia, evitando o escoamento directo para o meio hídrico a proteger.

Relativamente à construção registaram-se alguns aspectos negativos no funcionamento da obra. Dentro destes aspectos destacam-se os ilustrados na Fig. 22, nomeadamente a colocação inadequada do geotêxtil na segunda bacia que induz a infiltração das águas a tratar nesses pontos e a existência de assentamentos das estruturas de betão apoiadas no terreno, o que provocou a existência de alguns colectores partidos.

Os acessos e vedações poderiam ter sido concebidos de forma mais adequada, considerando a necessidade de fazer deslocações em tempo de chuva, quando os caminhos em terra se encontram alagados, bem como a possibilidade de transportar equipamento de monitorização para o local. As portas basculantes instaladas na vedação e que pretendem permitir o acesso a pessoas encontram-se instaladas em locais de difícil acesso e rodeadas de vegetação densa, pelo que não cumprem a sua função.



Fig. 22 - Aspectos construtivos

Também junto de algumas das caixas de visita se encontrou assentamentos de terra. Na Fig. 23 apresenta-se um desses casos.



Fig. 23 - Aspecto dos colectores de descarga na bacia de tratamento em terra (Etapa 2)

2.3.10 A27/IP9 Nogueira-Estorãos e Estorãos-Ponte de Lima

O LNEC efectuou uma visita aos 4 sistemas de contenção de risco do IP9 (agora designado de A27/IP9) dos lanços referidos no dia 9 de Maio de 2007, tendo sido acompanhado por um representante da Euroscutnorte.

Os 4 sistemas de tratamento apresentam uma tipologia idêntica 2 a 2, ou seja para o mesmo lanço. A Euroscutnorte facultou as telas finais do projecto dos sistemas, as quais contemplam algumas alterações face ao projecto consultado.

No caso da A27/IP9 entre **Nogueira e Estorãos** as telas finais datam de Julho de 2005, contendo correcções no que respeita à geometria das bacias. Houve a introdução de um septo que divide cada sistema em dois compartimentos consecutivos, que apenas comunicam por passagem da água pelo topo do septo (*cf.* Fig. 24). Considera-se que esta alteração traduz uma compreensão equivocada no que respeita ao princípio de funcionamento dos septos em separadores de óleos e gorduras, os quais pretendem manter a comunicação na parte inferior do sistema, potenciando a descarga de água e mantendo os líquidos mais leves que aquela no seu interior. Apesar desta alteração, mantém-se o volume do projecto inicial. Outra modificação efectuada ao projecto inicial foi a eliminação do desnível existente no fundo do sistema, o qual potenciaria a acumulação de sólidos junto à entrada.

Também não é clara a função da pequena caixa cheia com seixo que a água encontra no seu percurso, à saída do sistema (*cf.* Fig. 25).

A Fig. 24 mostra o sistema em Maio de 2007, cheio de águas de escorrência de uma chuvada ocorrida uns dias antes, evidenciando a falta de capacidade para abarcar novo volume resultante de um derrame acidental de um líquido menos denso que a água, quando o sistema se encontra cheio, pelo que haveria uma descarga imediata desse líquido para o exterior (para o meio que se pretendia proteger, nomeadamente, o rio Seixo).



Fig. 24 - Aspecto do sistema localizado ao km 1+500 da A27/IP9, Nogueira-Estorãos em Maio de 2007. Medições com sonda multiparamétrica

Aquando da visita do LNEC foram efectuadas medições de parâmetros indicadores de qualidade com uma sonda multiparamétrica YSI556MPS no sistema localizado ao km 1+500, que se apresentava cheio (ver Fig. 24). Estima-se que aquela água se encontrava no sistema há cerca de 1 semana e os resultados das medições atestam valores idênticos para os parâmetros de qualidade, para os dois tanques ou compartimentos.

Quadro 10 - Valores de parâmetros indicadores de qualidade medidos em 9 de Maio de 2007 no sistema da A27/IP9, Estorãos – Ponte de Lima, ao km 1+500

Bacia Km 1+500	pH	Cond. Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Salinidade (ppt)	T ($^{\circ}\text{C}$)	SDT (g/l)	Potencial Redox (mV)
1.º tanque	7,10	66	0,03	14,9	0,044	350
2.º tanque	7,85	66	0,03	14,8	0,042	303



Fig. 25 - Aspecto da caixa com seixo, à saída do sistema localizado ao km 1+030, na A27/IP9, Nogueira-Estorãos

No que respeita ao sublanço da A27/IP9 entre **Estorãos e Ponte de Lima** as telas finais são datadas de Julho de 2005, contendo correcções no que respeita à:

- Localização das bacias (planta e perfil) - concretamente houve alteração no caso da bacia 1;
- Geometria das bacias;
- Armadura das bacias.

Com base nestes desenhos estima-se que o volume de cada sistema seja de cerca de 59 m³, em vez dos 36 m³ do projecto consultado. Um dos sistemas (localizado junto ao encontro oeste do viaduto sobre o rio Estorãos, km 1+200) tem uma entrada permanente de

água natural de origem sub-superficial (Fig. 26) que faz com que o nível de água no sistema esteja sempre no máximo da sua capacidade o que, naturalmente, compromete a sua função.

O custo médio de construção, estimado pela Euroscutnorte para cada sistema, é de 10 000 €. Por outro lado, a manutenção anual de cada sistema foi estimada como sendo de 625 €.



Fig. 26 - Aspecto do escoamento sub-superficial de água para a bacia localizada ao km 1+200, A27/IP9, Estorãos e Ponte de Lima

A manutenção ordinária dos sistemas de qualquer destes sublanços consiste na limpeza dos órgãos de drenagem e da vegetação. Relativamente ao funcionamento destes sistemas, sabe-se que, até Maio de 2007, nunca ocorreu um derrame acidental (Pinto, 2007).

2.4 Análise dos resultados de programas de monitorização

2.4.1 Enquadramento

Os dados aqui sintetizados respeitam à monitorização efectuada pelas concessionárias das estradas (ou por empresas de engenharia ou universidades, contratadas pelas primeiras) e aos trabalhos de âmbito académico ou de investigação já referidos em 2.3.1.

Desta forma, mais uma vez a situação não é idêntica para os vários casos, havendo distintos níveis de estudo e monitorização. Aqui procurou-se sintetizar os aspectos mais importantes, comentando-os quando necessário.

2.4.2 A1, Bacia de Fátima

A bacia de Fátima funciona como uma bacia de retenção, na medida em que tem uma base impermeável e, como está sobredimensionada, tem capacidade para armazenar todo o volume de água que recebe.

Com base nas características do solo do fundo da bacia e dos valores de acumulação de poluentes, bem como resultados dum estudo de acumulação de metais pesados em solos portugueses, Matos *et al.* (1999) estimaram que a bacia de Fátima se encontrava a 50% da sua capacidade máxima de adsorção de Zn e a 12,5% da sua capacidade de adsorção para o Pb.

Matos *et al.* (1999) recomendaram que a situação fosse controlada, com base em estudos de campo, admitindo que no espaço de 5 a 10 anos viesse a existir a necessidade de remoção e substituição do actual solo.

Mais recentemente, Leitão *et al.* (2005) utilizaram uma metodologia similar para avaliar a mesma bacia. Foram efectuadas recolhas de solo do fundo do sistema, que se processaram em 5 de Março de 2002 e em 27 de Junho de 2002. A análise da qualidade dos solos da bacia teve como finalidade confirmar se o objectivo para que foi feita a bacia, i.e. acumular poluentes nos seus solos, se estava, de facto, a verificar. O Quadro 11 apresenta os resultados obtidos, excepto para o metal pesado cádmio, cujos resultados (amostras A a E) se revelaram sempre inferiores ao limite de quantificação (1,7 mg/kg).

Quadro 11 - Resultados das análises de solos da bacia de Fátima

Amostras de solos	pH	Eh mV	Mat. orgânica %	CTC cmol/kg	Óleos e gorduras g/kg	Carbonatos mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
A (0-5 cm)	7,9	41	31,89	1305,5	26,8	199,9	189	307	1620
B (5-10 cm)	8,2	26	26,61	685,4	55,6	314,6	150	442	1380
C (0-5 cm)	8,2	17	1,16	568,6	5,9	9,6	27	27	115
D (5-10 cm)	8,3	17	0,64	495,2	4,2	9,5	24	18	93
E (0-1 cm)	7,4	16	25,11	1122	8,8	9,1	60	83	362
K (0-5 cm)	-	-	-	-	-	-	39	93	232
L (5-10 cm)	-	-	-	-	-	-	28	27	104
Mínimo	7,4	16	0,64	495,2	4,2	9,1	24	18	93
Máximo	8,3	41	31,89	1305,5	55,6	314,6	189	442	1620
Média	-	23,4	17,1	835,3	20,3	108,5	73,9	142,4	558,0
Mediana	-	17	25,11	685,4	8,8	9,6	39	83	232

Adaptado de Leitão *et al.* (2005). Notar que a amostra A e B, bem como C e D, e K e L representam o mesmo local, a profundidades diferentes. K e L são solo idêntico ao da base da bacia que nunca recebeu escorrências da A1 (funcionam como referência do estado inicial do solo). A e B foram retiradas muito próximo da entrada da bacia, as outras amostras a distâncias maiores, na direcção da descarga para o exterior.

Concluiu-se que as concentrações dos metais Zn, Pb e Cu nos solos da bacia de Fátima da A1 expressam valores elevados, resultantes do contacto com as águas de escorrência periodicamente armazenadas na bacia.

Em quase todas as amostras, a concentração em Zn é maior que a de Pb que, por sua vez, é maior que a de Cu. Barbosa (2003) refere para as águas de escorrência em Portugal um padrão para estes 3 metais pesados com a seguinte relação: Zn >> Cu > Pb, correspondendo também ao observado nas águas de escorrência de Fátima (Leitão *et al.*, 2005). Todavia, a concentração relativa observada nos solos entre o Cu e o Pb é inversa à encontrada para as águas de escorrência. Esta circunstância deve-se, muito possivelmente, ao facto de os solos já acumularem as águas de escorrência desde 1990, tendo retido as elevadas concentrações em Pb que essas águas então tinham derivadas do uso da gasolina com chumbo, ainda utilizada no início da década de 90 (Leitão *et al.*, 2005).

Em termos comparativos com o estudo de Matos *et al.* (1999), tendo em atenção que as amostras não foram recolhidas exactamente nos mesmos locais, concluiu-se:

- A gama de valores observada em 2002 é sensivelmente a mesma que a registada 3 anos antes.
- Os valores de concentração na 1.ª camada de solo são bastante superiores ao valor médio registado em 1999, em especial para os metais Pb e Zn, confirmando a continuação dos processos de acumulação de metais nos solos da bacia, como se pôde observar nos resultados globais das diversas campanhas.

Outras características detectadas nos solos analisados, como o elevado teor em carbonatos, em matéria orgânica e o pH básico dos solos recolhidos à entrada da bacia, nas duas profundidades (pontos A e B), favorecem a capacidade de troca catiónica (CTC) do solo neste local e, portanto, a capacidade de retenção dos metais nos solos, evitando a sua migração para áreas mais afastadas da entrada da bacia. Os solos mais superficiais correspondem àqueles onde os teores em carbonatos e em matéria orgânica são mais elevados e também onde o material do solo é mais fino, possivelmente contendo maior teor em argilas, aspectos que, no seu conjunto, são responsáveis pela sua maior CTC (Leitão *et al.*, 2005).

Leitão *et al.* (2005) concluíram que os resultados obtidos traduzem uma diminuição relativa da capacidade de retenção de poluentes dos solos mais próximos da entrada. Não obstante, existe ainda muita capacidade de retenção de poluentes nos solos localizados nas zonas mais afastadas. Seria, contudo, importante confirmar, com alguma periodicidade as suas condições de impermeabilização de forma a confirmar a inexistência de migração de poluentes para as águas subterrâneas subjacentes através de uma tela eventualmente danificada (por exemplo através de árvores com algum porte encontradas na bacia em Outubro de 2003).

2.4.3 A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Foram facultadas pela BRISA resultados de análises efectuadas ao afluente e ao efluente de algumas das estações de tratamento da A2. Os dados reportam-se a amostras efectuadas a 7 de Novembro de 2005 e a 3 de Novembro de 2006. Nesta última data os boletins referem tratarem-se de amostras compostas.

Uma análise do Quadro 12 e do Quadro 13 evidencia desde logo o elevado número de amostras a revelarem, à entrada e saída, concentrações abaixo do limite de quantificação analítico, o que inviabiliza qualquer hipótese de avaliação da eficácia do tratamento. De facto, é muito importante que os limites de detecção e quantificação analíticos sejam discutidos com o laboratório, antes de se iniciar qualquer programa de monitorização. Observam-se ainda algumas situações singulares, em que a concentração no efluente é superior à do afluente. Em algumas destas situações, relativas ao Pb e Cr, as concentrações são próximas do limite de quantificação. Já no caso do Zn a situação é diferente, porém como este metal é bastante ubíquo no meio e várias componentes das ET apresentam partes metálicas, esta análise merece alguma reserva.

Quadro 12 - Resultados a análises de 2005 a afluentes e efluentes das ET da A2 S. Bartolomeu de Messines-VLA

Parâmetro	Unidades	Identificação da Estação de Tratamento					
		ET2		ET3		ET6	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
CQO	mg/L O ₂	48	14	74	27	< 10	< 10
SST	mg/L	2300	< 5	800	25	160	< 5
Óleos e gord.	mg/L	8	< 5	< 10	< 10	6	< 5
Hidroc. totais	mg/L	< 0,1	a)	7,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Pb	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Zn	mg/L	0,47	0,22	< 0,10	0,24	< 0,10	< 0,10
Cd	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cu	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cr	mg/L	0,13	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10

a) Sem resultado

Situação em que a concentração do efluente é superior à do afluente

Situação em que à entrada e à saída do sistema os valores são inferiores ao limite de quantificação

Quadro 13 - Resultados a análises de 2006 a afluentes e efluentes das ET da A2 S. Bartolomeu de Messines-VLA

Parâmetro	Unid.	Identificação da Estação de Tratamento									
		ET2		ET3		ET4		ET5		ET6	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
CQO	mg/L O2	13	< 10	< 10	< 10	11	< 10	16	< 10	22	< 10
SST	mg/L	410	< 5	42	< 5	45	< 5	390	5	620	24
Óleos e gord.	mg/L	15	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	12	< 5	11	< 5
Hidrocarb. totais	mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Pb	mg/L	0,008	< 0,007	0,009	< 0,007	0,016	< 0,007	< 0,007	0,01	< 0,007	< 0,007
Zn	mg/L	< 0,013	< 0,013	0,016	0,028	0,03	< 0,013	< 0,013	< 0,013	0,023	< 0,013
Cd	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cu	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Cr	mg/L	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0,019	< 0,015	< 0,015

Situação em que a concentração do efluente é superior à do afluente

Situação em que à entrada e à saída do sistema os valores são inferiores ao limite de quantificação

Relativamente ao CQO, SST e óleos e gorduras, as ET aparentam uma boa eficiência de tratamento. Todavia, chama-se a atenção para o facto destes parâmetros deverem ser removidos através das operações físicas das ET (desengorduramento e decantação/sedimentação) pelo que se questiona a necessidade de tratamento químico, o qual por sua vez está a introduzir novos compostos na água que é lançada no meio ambiente.

Propõe-se que esta questão venha a ser avaliada pela BRISA e que nas próximas monitorizações se possa analisar também o Fe no afluente e efluente, pois uma vez que se efectua um tratamento químico com adição de cloreto férrico, há que aferir em quanto se está a acrescentar este metal ao tratar as águas de escorrência. Este é um efeito negativo dos tratamentos químicos, apesar do Fe não apresentar os mesmos perigos ambientais e para a saúde pública que os metais pesados.

Uma outra sugestão é que se analise também a dureza total do efluente e do afluente. Este parâmetro, além de ser um indicador do estado da água, tem uma relação muito próxima com a especiação dos metais pesados. Eventualmente, existe a possibilidade dos iões da dureza assegurarem a precipitação dos metais pesados como carbonatos. Notar que as medições efectuadas pelo LNEC no tanque pulmão da ET 5 evidenciam uma água muito básica, factor esse que também contribui para a precipitação dos metais pesados. Desta forma, este seria um argumento adicional para reduzir ou até eliminar a adição actual de cloreto férrico.

Finalmente, também deveria ser equacionado, nas próximas campanhas de monitorização, a medição de parâmetros indicadores de qualidade da água, tais como o pH e a condutividade.

2.4.4 A6, Nó de Borba

Os dados aqui apresentados foram extraídos do relatório final produzido no estudo que o LNEC efectuou para o INAG (Leitão *et al.*, 2005), no qual se incluiu a monitorização desta bacia de pré-tratamento.

A bacia funcionou, durante o período de monitorização (Janeiro a Abril de 2004) como um sistema de infiltração, apesar de acumular água até a um nível próximo da descarga. A análise do comportamento da bacia baseou-se muito em resultados de amostras retiradas ao solo do fundo da bacia e da comparação dos valores obtidos com o conhecimento das características das águas de escorrência, monitorizadas à entrada da bacia. Também se efectuaram recolhas da água em permanência no interior da bacia, mais próximo da entrada e na extremidade oposta, junto ao local de descarga.

A recolha das amostras foi efectuada no dia 19 de Abril de 2004. Recolheram-se amostras a diversas profundidades, próximo da entrada e da saída da bacia, e uma amostra dos sedimentos acumulados no sistema de drenagem, antes da descarga na bacia (amostra A). As amostras B e C correspondem a solo orgânico (retiradas próximo da entrada, de 0-10 e de 10-20 cm), e as amostras D a G aos solos locais, subjacentes ao solo orgânico colocado no local (retiradas dos 20-25 cm e dos 25-30 cm). Estas últimas amostras apresentavam características macroscopicamente distintas das restantes. O Quadro 14 apresenta os resultados obtidos, excepto para o metal pesado cádmio, cujos resultados para todas as amostras se revelaram sempre inferiores ao limite de quantificação (0,5 mg/kg).

Relativamente à água em tratamento, foram efectuados amostragens entre 27 de Janeiro e 6 de Abril de 2004, utilizando o sistema de balde e corda, lançando sempre o primeiro de forma a minimizar a turbulência. Algumas amostras foram apenas objecto de determinação com sonda, outras foram enviadas para o laboratório, para análise.

Analisando o tipo de solo ou material (*cf.* Quadro 14), é óbvio que as amostras B e C, correspondendo ao solo orgânico instalado na bacia, são as que apresentam maior teor em matéria orgânica, devendo esta ser responsável pela capacidade de troca catiónica (CTC) associada. Outras características dos solos analisados são o elevado teor em carbonatos e o pH básico. Estas características são acentuadas nas amostras mais profundas de solos, uma vez que são solos de um maciço carbonatado (e a própria gravilha colocada na bacia são calcários), caracterizados justamente pelo elevado teor em carbonatos e elevado pH. Os elevados pH, CTC e teor em carbonatos apresentadas pelos solos (amostras mais profundas) favorecem a capacidade de retenção dos metais. As diferenças verificadas entre os teores de matéria orgânica, carbonatos, etc., entre as amostras D a G, serão certamente devidas à conhecida heterogeneidade do solo, com reflexos mesmo em áreas pequenas (Leitão *et al.*, 2005).

A amostra A apresenta alguma matéria orgânica, mas reduzida CTC e carbonatos. Estes sedimentos deverão ser arrastados do pavimento da estrada essencialmente pelas águas de escorrência da A6, e terão um tempo de permanência no local onde foram recolhidos que será função do caudal e velocidade de escoamento. Aqui determinou-se a presença dos poluentes óleos e gorduras, Zn e Cu. A ausência de teores mensuráveis em Pb e Cd deverá dever-se à mais reduzida concentração destes metais nas águas de escorrência da A6 (Leitão *et al.*, 2005).

Quadro 14 - Resultados das análises de solos e de sedimentos associados à bacia de Borba

Solos da bacia de Borba	pH	Eh mV	Matéria orgânica %	CTC cmol/kg	Carbonatos mg/kg	Óleos e gorduras g/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg
A (sedimentos)	7,5	216	1,82	26,5	40,5	7,7	140	5,8	< 5
B (entrada 0-10 cm)	7,3	56	5,44	61,3	46,7	14,3	690	29	17
C (entrada 10-20 cm)	7,6	104	4,65	67,7	178	13,5	600	38	18
D (entrada 20-25 cm)	8	121	2,19	72,6	150	2,5	140	15	5,9
E (entrada 25-30 cm)	8,1	125	1,2	35,8	350	1,7	62	12	< 5
F (fim 20-25 cm)	8	134	1,36	70	95,7	0,6	91	32	43
G (fim 25-30 cm)	8	212	1,33	76,3	106	0,9	95	45	32

Adaptado de Leitão *et al.* (2005)

No local próximo da saída da bacia verificou-se que a quantidade de solo orgânico entre as pedras é muito pouca, pelo que apenas foi possível recolher amostras do solo nesse local à mesma profundidade a que tinham sido recolhidas as amostras D e E.

Os resultados obtidos permitiram verificar uma apreciável capacidade dos solos em reter metais pesados, bem como os óleos e gorduras das águas de escorrência da A6 recebidas na bacia. Contudo, uma vez que este sistema de tratamento além de permitir reter temporariamente as águas de escorrência permite também a sua infiltração há que assegurar que não há contaminação de águas subterrâneas.

Os resultados das medições *in situ* efectuadas na água da bacia e Borba, entre 27 de Janeiro e 6 de Abril de 2004, indicam que os valores de pH têm tendência para aumentar, a partir da entrada e com a permanência na bacia. Pode-se também constatar que os valores de condutividade, que podem ser tomados como indicadores da presença de metais pesados, são mais elevados quanto mais próximo da entrada se está (Leitão *et al.*, 2005).

Comparando os resultados das análises físico-químicas efectuadas nas águas da bacia com as CML das águas de escorrência à entrada, observou-se que os valores de Zn, Fe e SST são significativamente inferiores na água em tratamento, comparada com o afluente à entrada. Os restantes parâmetros (Cu e óleos e gorduras) são ligeiramente inferiores na água em tratamento e o Pb não se pode comparar devidamente por causa do limite de detecção

analítica. A menor concentração de poluentes na água da bacia relativamente à concentração no efluente de entrada deve-se à retenção dos poluentes no solo da bacia e à sua infiltração. Poderá, ainda, haver alguma diluição da água da chuva, embora dada a reduzida área da bacia, esta diluição não deva ser significativa (Leitão *et al.*, 2005).

2.4.5 A22/IC4, Via Infante de Sagres

A qualidade das águas de escorrência da A22/IC4 bem como de algumas linhas de água do meio receptor foram monitorizadas e os resultados são apresentados em Santos e Aguilera (2004). A consulta deste documento permite observar, comparando a qualidade das águas de escorrência da A22/IC4 à entrada e à saída da bacia de retenção (dados existentes para 9 BTA, para um evento), que ocorre geralmente uma remoção de SST e Zn, por vezes associada à remoção de Pb. Observa-se igualmente que nem sempre há redução de CQO e CBO₅ e, em algumas bacias, ocorre inclusive um incremento num destes parâmetros ou nos dois. Todavia esta comparação é susceptível de não expressar a eficácia de tratamento. É muito possível que a amostra retirada no ponto intermédio da BTA corresponda a uma água dum evento anterior ou mistura de águas, não sendo por isso comparável com a de entrada. Apenas um balanço de massas e uma monitorização contínua permitiria esta avaliação.

Observou-se que as concentrações de Cu se encontravam sempre abaixo do limite de quantificação analítico, de 0,050 mg/l, que se considera elevado, para este tipo de efluente e para o metal pesado em causa.

Santos e Aguilera (2004) registam que os SST e CQO de algumas amostras excederam os VLE (Valores Limite de Emissão) para as águas residuais, de acordo com o Anexo do Dec.-Lei n.º236/98. Este facto é interessante por ser similar ao verificado noutras estradas nacionais por exemplo, no IP5 ou A25, junto a Aveiro (Antunes e Barbosa, 2005) e no IP6, próximo de Peniche (Barbosa *et al.*, 2006). Os autores referem ainda que a relação CBO₅/CQO é de 0,12, indicando um efluente pouco biodegradável.

Santos e Aguilera (2004) não comentam os elevados valores de pH obtidos (entre os 7,6 e 9,9). Julga-se que estes pH básicos se deverão aos carbonatos que certamente existem nas águas, em virtude das características do solo da envolvente. De idêntica forma, seria interessante fazer a análise dos processos químicos que um pH elevado e elevada dureza (da qual seria interessante possuir valores analíticos) potenciam, nomeadamente a facilidade de sedimentação dos metais pesados, por se encontrarem na forma de carbonatos e outras formas sólidas.

No relatório da monitorização refere-se que o número reduzido de amostras não permite tirar conclusões seguras. Julga-se que, de facto, esta será uma das fragilidades dum estudo de monitorização com muitos pontos de amostragem em que, necessariamente, condicionantes

materiais limitam o número de amostras por local. Assim sendo, e como se está a lidar com águas pluviais com uma variação muito grande de concentrações (os coeficientes de variação podem chegar a 2) este padrão de monitorização limita muito a avaliação dos resultados, visto não se saber se os resultados representam valores médios ou se aproximam de um dos extremos.

Aliás, os próprios autores do relatório de monitorização de 2003/2004 referem na Introdução que a metodologia utilizada não é a melhor, mas a economicamente mais viável. Referem ainda a possibilidade de seleccionar o ponto mais representativo, de forma a, posteriormente, se poder fazer nesse ponto uma análise exaustiva e automatizada. Pensa-se que esta seria uma alternativa com grandes mais-valias.

Julga-se ser importante que o próximo programa de monitorização das águas de escorrência inclua também medições da condutividade e determinações da dureza total, bem como a redução do limite de quantificação analítica do Cu (para 0,005 mg/l, pelo menos). Recomenda-se ainda que hidrocarbonetos aromáticos totais sejam substituídos por hidrocarbonetos totais e óleos e gorduras, que são mais abrangentes e assim têm mais possibilidade de facultar valores acima do limite de detecção analítico. Notar que os óleos e gorduras e, em particular, os hidrocarbonetos sofrem vários processos de transformação no meio ambiente, tais como a volatilização, a fotólise e a biodegradação, que reduzem os valores medidos face aos emitidos.

Seria igualmente interessante medir os cloretos e avaliar se a sua presença, fruto da influência de massas de ar oceânicas, estará a determinar a presença de SST e CQO (conforme hipótese apresentada por Antunes e Barbosa, 2005).

2.4.6 A23/IP2, Ligação à Covilhã

A monitorização do sistema de tratamento foi efectuada para 3 eventos diferentes ocorridos, respectivamente, em Janeiro, Maio e Novembro de 2006. As amostras foram recolhidas em três locais do sistema de tratamento: à entrada (afluente), na descarga do desengordurador (ponto intermédio do tratamento) e no órgão de descarga para o exterior (efluente final). Apenas no caso da 3ª campanha foi possível efectuar medições de caudal.

Os parágrafos seguintes, extraídos de Albuquerque (2006), comentam os resultados apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Comparação de concentrações médias para tempos de amostragem idênticos, para os parâmetros analisados, para cada campanha e diferentes pontos de amostragem

Campanha de amostragem	Parâmetro	Unidades	Afluente à bacia	Efluente do desengordurador	Efluente da bacia
1ª (15 de Janeiro de 2006)	SST	mg/L	10,00	15,00	12,50
	CQO	mg/L	13,85	30,40	25,55
	Amónia	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02
	Nitratos	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10
	Cu	mg/L	0,006	0,008	0,016
	Cr	mg/L	0,003	0,003	0,004
	Zn	mg/L	0,26	0,20	< 0,10
	OeG	mg/L	0,26	0,25	0,43
	HAP	µg /L	0,18	0,17	0,45
2ª (3 de Maio de 2006)	SST	mg/L	145,00	36,67	60,00
	CQO	mg/L	451,67	293,33	383,67
	Amónia	mg/L	2,45	1,17	1,48
	Nitratos	mg/L	31,13	17,77	21,70
	Cu	mg/L	0,02	0,01	0,01
	Cr	mg/L	0,02	0,01	0,01
	Zn	mg/L	0,78	0,20	0,04
	OeG	mg/L	0,98	0,72	0,69
	HAP	µg /L	0,37	0,41	0,85
3ª (15 de Novembro de 2006)	SST	mg/L	180,00	56,67	43,33
	CQO	mg/L	180,67	79,00	51,33
	Amónia	mg/L	1,06	0,62	0,60
	Nitratos	mg/L	14,67	2,70	5,10
	Cu	mg/L	0,013	0,002	0,002
	Cr	mg/L	0,006	0,001	0,003
	Zn	mg/L	0,66	0,23	0,12
	OeG	mg/L	---	---	---
	HAP	µg/L	0,48	0,21	<0,20

Fonte: Adaptado de Albuquerque (2006)

“Os resultados obtidos na primeira campanha indicam uma redução geral (excepto para o Zn) da qualidade da água com a passagem pelo sistema, que poderá estar associado a problemas estruturais que se identificaram ao longo do período de exploração”.

“...Os resultados da segunda e terceira campanhas revelam uma melhoria da qualidade entre o afluente e o efluente ao sistema de tratamento, embora se observe, por vezes, um incremento no valor de alguns parâmetros, entre a saída do desengordurador e a descarga final. Só uma campanha de amostragem mais alargada no tempo (por exemplo, com um ano de duração) e com maior número de eventos, poderá permitir avaliar de forma mais cabal as condições de tratamento do sistema analisado”.

“Comparando os valores de parâmetros para amostras afluentes à bacia de tratamento com os mesmos valores de parâmetros para o efluente do desgordurador, pode dizer-se que existe alguma remoção de poluentes, notória nos SST e óleos e gorduras. A remoção de metais pesados e hidrocarbonetos que se verifica entre estes dois pontos de amostragem, pode dever-se à retenção de SST no desgordurador, visto aqueles poluentes estarem frequentemente associados às partículas sólidas...”

“Comparando a qualidade do efluente do desgordurador, com a do efluente descarregado pela bacia de tratamento, verifica-se, para a maioria dos poluentes que as concentrações pouco ou nada se alteram, existindo, inclusive para alguns poluentes (e.g. SST, nitratos e amónia), um acréscimo da sua concentração. Este facto pode estar ligado à ressuspensão de material (SST) ou à lavagem dos taludes da bacia de tratamento, onde se podem ter depositado nitratos e amónia.”

Aquele estudo concluiu, no que respeita ao desempenho global da bacia de tratamento, que será o desgordurador o responsável pelo tratamento verificado, nomeadamente pela remoção de poluentes como os SST, óleos e gorduras e metais pesados. Relativamente ao tratamento após saída do desgordurador, *“não se registaram grandes variações das concentrações de poluentes, tendo-se até, para alguns casos, verificado aumentos das mesmas. Os baixos valores de tempos de retenção no interior da bacia e o facto da descarga se situar no fundo da mesma pode, estar na origem destes aspectos”* (Albuquerque, 2006).

Assim sendo, seria desejável efectuar monitorizações adicionais num futuro próximo, sendo de esperar que o desempenho da bacia tenha melhorado com a intervenção referida em 2.3.6, a qual proporciona agora ao sistema um maior tempo de retenção e a ausência de fenómenos de ressuspensão, pela baixa altura do descarregador face ao fundo do sistema.

2.4.7 IP4, Vila Real - Vila Verde

Este sistema de tratamento, uma bacia de retenção que se comprovou funcionar como sendo de infiltração, foi monitorizado durante o período de 1996 a 1998. Apesar de neste momento as questões levantadas por aquela monitorização se encontrarem já alteradas e agravadas pelo abandono a que a estrutura foi votada (evidenciado nas fotos da Fig. 20 e Fig. 21) far-se-á aqui uma síntese dos resultados da mesma. Estes foram publicados, por exemplo, em Barbosa, 2000; Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000 e Barbosa, 1999. Um estudo efectuado pelo LNEC para o INAG apresentou também um resumo da situação relativa a este sistema de tratamento (Leitão *et al.*, 2005).

Conforme já referido, o trabalho de campo, levado a cabo durante vários meses entre 1996 e princípio de 1998, permitiu notar que a bacia se comporta como uma estrutura de infiltração, devido à alta permeabilidade do solo e à ausência de geomembrana. Observações locais demonstraram a elevada velocidade do caudal à entrada da bacia e ainda a quantidade

considerável de solo que é erodido dos taludes envolventes e transportado para a bacia. O tráfego médio diário (TMD) da estrada era de 6 000 à data da monitorização.

O nível da água subterrânea encontrava-se 1 m abaixo da superfície em Maio de 1998, após um Inverno invulgarmente chuvoso. Medições em finais de Fevereiro e em Setembro/Outubro de 1998 indicaram valores próximos dos 2 m ou um pouco mais (Leitão *et al.*, 2000).

Foram feitas amostragens de 10 eventos, à entrada da bacia. As amostras foram num total de cerca de 134, tendo-se analisado metais pesados (Zn, Cu, Pb, Cd e Cr), além da dureza, sólidos suspensos totais e medições de pH, temperatura e condutividade.

Uma vez que não ocorria descarga de água tratada para o exterior da bacia (conforme preconizado no projecto) a avaliação do comportamento do sistema envolveu a amostragem de perfis inteiros do solo do fundo da mesma, bem como duma caracterização de amostras do solo local, idêntico ao existente na bacia. O Quadro 16 revela os resultados da caracterização geral do solo existente na bacia do IP4, com base em duas amostras de solo, A e B, retiradas na envolvente do sistema, em duas ocasiões distintas.

Quadro 16 - Características do solo existente na bacia de detenção/infiltração do IP 4, determinadas em amostras provenientes da área de estudo (Barbosa, 1999)

Parâmetro	Amostra A	Amostra B
Humidade (%)	-	1,78
pH (H ₂ O)	4,20	4,60
Matéria orgânica (%)	1,40	1,95
Areia grossa: 0,5-0,2 cm (%)	27,5	27,6
Areia: 0,2-0,02 cm (%)	50,1	48,4
Limo: 0,02 – 0,002 cm (%)	16,7	16,4
Argila: < 0,002 cm (%)	5,7	7,6
CaCO ₃ (%)	nd	nd
CTC (meq/100g)	10,44	9,37
Zn (mg/kg)	nd	4,0
Cu (mg/kg)	nd	nd
Pb (mg/kg)	1,4	1,5

Nota: nd = não detectado

As amostras foram retiradas com cilindros de acrílico, tendo 20 a 30 cm de profundidade. Os resultados das determinações de metais nestas amostras (efectuadas a diferentes níveis de profundidade) evidenciaram valores muito variáveis, tanto entre os vários perfis como em cada perfil. A título exemplificativo, a Fig. 27 apresenta valores de concentrações de metais e a percentagem da fracção do solo inferior a 5 mm (indicação da textura) num perfil de solo retirado do fundo da bacia. Durante a monitorização foram retiradas amostras em 5 locais do fundo da bacia que infiltra as águas de escorrência do IP 4.

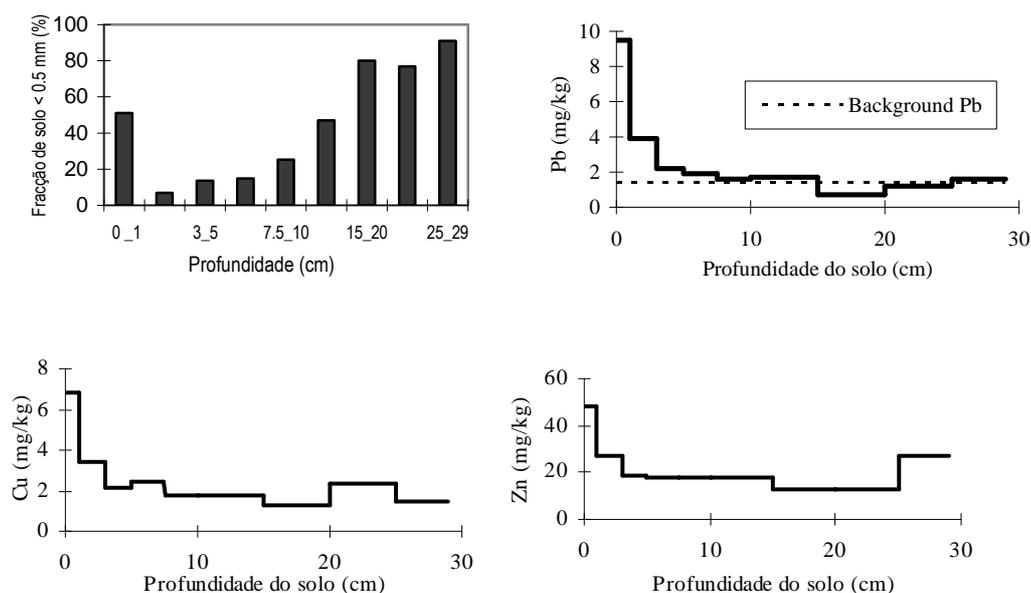


Fig. 27- Metais pesados e textura ao longo dum perfil de solo da bacia do IP 4. Evidências da variação da textura e do transporte de metais em profundidade (adaptado de Barbosa, 1999)

As concentrações em metais na camada de 0-1 cm variaram entre os seguintes valores, para cada metal: 48-117 $\mu\text{g Zn/g}$; 9,1- 50,4 $\mu\text{g Pb/g}$ e 4,3-23,8 $\mu\text{g Cu/g}$. O decréscimo das concentrações com a profundidade, geralmente observado, foi claro apenas nas amostras 4 e 5. Em alguns casos, mesmo a profundidades de 10-15 cm foram detectadas concentrações similares às determinadas na camada superficial (0-1 cm).

Este estudo revelou a importância das frações dissolvidas de metais pesados nas águas de escorrência, principalmente de Zn e Cu. Este dado vem enfatizar a importância de uma escolha adequada do solo para a retenção de metais. De acordo com Barbosa e Hvitved-Jacobsen (1998) e Barbosa (1999), o tipo de solo existente na bacia parece ser capaz de acumular os três metais mais importantes nas águas de escorrência das estradas - Zn, Cu e Pb - o que o faz ser adequado para o uso em sistemas de infiltração. Os resultados indicaram ainda que as concentrações muito mais elevadas de Zn, comparadas com as de Cu, nas águas de escorrência não impedem a retenção de Cu. Este resultado experimental foi importante pelo facto do Cu ser muito mais tóxico que o Zn e estes dois metais poderem competir por locais de troca e ligação no solo. No entanto, determinações de metais pesados em amostras de perfis de solo da bacia do IP 4 evidenciaram não ser claro o habitual decréscimo das concentrações de metais com a profundidade. Uma das possíveis explicações é a heterogeneidade e o pH baixo do solo.

Em termos conclusivos, a bacia do IP 4 esteve e estará a contaminar as águas subterrâneas subjacentes e a razão para tal tem por base o pH ácido (4,2) do solo local e, ainda, a elevada

heterogeneidade da sua textura. Esta situação facilita a migração das fracções dissolvida e coloidal dos poluentes através do solo até ao lençol freático. Os poluentes na forma particulada depositam-se no fundo da bacia e vão formando uma camada de sedimentos que vai aumentando, com o tempo.

Tendo em consideração o estado deste sistema, observado em Maio de 2007, tudo leva a supor a existência de uma situação delicada, em termos de afectação de recursos hídricos.

2.4.8 IP6, Peniche-IC1

No Tomo 06 - Programas de Monitorização, do Estudo de Impacte Ambiental do IP6 Peniche/ IC1 (Nó com a variante das Caldas da Rainha), da autoria da COBA, datado de 2001, apenas se refere a “importância da monitorização das operações das bacias de retenção”, sem se caracterizar ou dar directrizes para a mesma. Este documento recomenda (e é correcto) a verificação regular do estado geral de conservação das bacias, incluindo aspectos da cobertura vegetal e da impermeabilização, e ainda a limpeza regular das bacias.

Os dados a seguir apresentados foram extraídos de Barbosa *et al.* (2006).

Durante o período entre Setembro e Outubro de 2005 e em Fevereiro de 2006, e nas diversas visitas efectuadas ao local, verificou-se uma altura média de água de 20 cm na bacia em terra, nunca se tendo observado descarga de água desta bacia para o exterior. Este comportamento está também directamente relacionado com o volume do desgordurador, que se julga deveria representar cerca de 10 a 15 % do da segunda bacia. Se tivesse sido seguido este critério a primeira bacia poderia ter um volume muito mais reduzido do que o considerado no projecto.

Salienta-se o facto de a maior cheia verificada no período de análise ter um volume igual a cerca de 170 m³, cerca de metade do volume total projectado para a primeira bacia.

O Quadro 17 apresenta os valores medidos mínimos e máximos determinados em diferentes locais do sistema de tratamento, em várias datas de Fevereiro de 2006. Os parâmetros medidos próximo da entrada (Betão 1) e da saída (Betão 2) do separador de óleos e gorduras, são no geral, muito próximos, decrescendo de forma mais visível na bacia em terra, quando se comparam os valores medidos próximo da entrada (Terra 1) e da saída (Terra 2) desta. Este facto parece evidenciar uma diminuição da poluição na segunda fase de tratamento.

O Quadro 18 compara a qualidade média das águas de escorrência do IP6 com a amostra efectuada no dia 21 de Outubro de 2005, à entrada da bacia em terra (após tratamento no desgordurador). Exceptuando os óleos e gorduras os restantes parâmetros (em particular os

SST, CQO e Zn) evidenciam alguma redução na sua concentração, após passagem pelo desengordurador que funciona como bacia de sedimentação com capacidade de reter poluentes.

Em termos sintéticos, o sistema evidencia uma redução da poluição entre o efluente à entrada do desengordurador e as águas no seio da bacia em terra. Para os eventos analisados no referido estudo do LNEC, um volume 130 m³, correspondente a 18 mm, seria suficiente para tratar, por exemplo, cerca de 80% do CQO e do Cu. Durante o estudo nunca se observou qualquer descarga de água para o exterior. Estes dados práticos, embora limitados vêm corroborar a análise teórica que indica o sobredimensionamento do sistema.

Quadro 17 - Registos da sonda multiparamétrica YSI556MPS efectuados em 4 pontos do sistema de tratamento, em Fevereiro de 2006

Local de medição	T (°C)		Cond (uS/cm)		pH		SDT (g/l)		Sal. (mg/l)		OD (%)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Betão 1	8,2	12,9	395	407	7,4	8,7	0,257	0,265	190	200	101	113
Betão 2	7,9	12,8	398	409	7,6	8,5	0,259	0,265	190	200	104	108
Terra 1	9,2	17,1	312	335	7,5	8,6	0,203	0,218	150	160	80	95
Terra 2	9,8	17,0	296	336	7,5	8,4	0,192	0,218	140	160	79	94

Quadro 18 - Comparação da qualidade duma amostra após tratamento no desengordurador, com a qualidade média das escorrências do IP6

Parâmetro	Unidade	Valores médios das escorrências do IP6	Descarga na bacia terra
pH	Escala Sorensen	6,5	7,0
Cond.	µS/cm	384	367
Salinidade	mg/L	183	180
SDT	g/L	0,3	0,2
SST	mg/L	236	140
Dureza	mg/L CaCO ₃	159	134
Cloretos	mg/L	35	33
NO ₂ -3	mg/L	5	1
CQO	mg/L	173	43
CBO ₅	mg/L	8	7
Óleos e Gord.	mg/L	0,5	0,7
Zn	µg/L	77	33
Cu	µg/L	32	30
Pb	µg/L	10	3

2.5 Síntese da avaliação efectuada aos sistemas de tratamento nacionais

Esta secção apresenta a síntese e as conclusões apenas sobre a análise dos sistemas de

tratamento de águas de escorrência, correspondendo à súmula anunciada para o final de cada um dos temas tratados. A síntese e conclusões das outras componentes do estudo são apresentadas nas secções 3.4, 4.4 e 5.5.

De forma a facilitar a análise global dos sistemas de tratamento nacionais, sintetizaram-se no Quadro 19 os principais aspectos relativos aos sistemas de tratamento avaliados.

Constatou-se a existência de um número significativo de alterações ao projecto dos sistemas de tratamento, efectuadas durante a fase de construção e sem documentação que fundamente claramente as causas das alterações e as descreva.

Relativamente ao projecto, os aspectos mais relevantes identificados foram uma elevada tendência para o sobredimensionamento dos sistemas, bem como a opção por operações de tratamento desadequadas.

O sobredimensionamento será devido à adopção de premissas incorrectas relativas ao volume de água a reter para tratamento – por exemplo, continua a ver-se cálculos baseados em chuvadas com elevado período de retorno, quando o que se pretende é tratar eventos médios de ocorrência frequente e o primeiro volume dos eventos com maior período de retorno. Este erro tem consequências ao nível dos custos de expropriação de terrenos, de construção e de manutenção do sistema sobredimensionado, podendo potenciar uma visão negativa dos sistemas de tratamento das escorrências de estradas.

Por exemplo, no caso da bacia de Fátima, concluiu-se que a eficiência média é similar no caso da bacia construída e para uma bacia hipotética similar, com um volume de dimensionamento 14 vezes inferior. No caso da bacia do IP4, considerando o seu funcionamento como sistema de infiltração, também se verifica um sobredimensionamento.

No que respeita à opção por determinada(s) tipologia(s) e/ou operações de tratamento, também se observam opções menos adequadas ou mesmo incorrectas. No caso da A27/IP9, os sistemas de controlo de derrames acidentais encontram-se inadequadamente concebidos.

Por outro lado, no caso da A2 (S. Bartolomeu de Messines-VLA), pode-se dizer que as estações de tratamento (ET) deveriam ter sido preteridas, a favor de sistemas passivos e naturais, mais usuais para tratar as águas de escorrência de estradas, com bons resultados e custos de construção e exploração significativamente mais reduzidos. Além disso, as ET utilizam um aditivo para o tratamento químico (cloreto férrico) o qual acrescenta constituintes ao efluente tratado. O estudo de monitorização deverá integrar esta avaliação nos próximos programas de amostragem e de análise laboratorial.

Todavia, numa maneira geral a opção de tratamento das escorrências foi por sistemas naturais, por vezes integrado com obras em betão. Note-se que o aspecto de integração

paisagística do resultado final deveria também ser tido em conta. Este facto é muito notório no caso dos sistemas da Ligação da A23/IP2 à Covilhã, em que as obras em betão e a tela preta se tornam elementos visualmente muito intrusivos.

Na sequência das alterações ao projecto verificadas, constatou-se que as telas finais não se encontravam disponíveis em muitos dos casos. Por exemplo, no caso do IP4 e da ligação da A23/IP2 à Covilhã, apenas o trabalho de monitorização e a avaliação local permitiram identificar alterações ao projecto (ou o seu incumprimento) as quais, aparentemente, nunca foram relatadas nos documentos próprios.

Relativamente à monitorização, apenas a A1, a A2 e a A22/IC4 (à data de realização deste estudo) apresentam relatórios ou dados de monitorização efectuadas a mando das concessionárias. As conclusões do presente trabalho ficariam muito diminuídas se não se pudesse contar com os outros estudos, de âmbito diverso, que contemplaram a monitorização de sistemas de tratamento nacionais.

Relativamente à componente analítica que a monitorização envolve, ficou clara a importância que os limites de detecção e de quantificação analíticos têm para a avaliação da informação obtida. As características particulares das escorrências de estradas, com baixas concentrações de poluentes devido ao efeito de diluição, tornam-nas distintas de uma água residual pelo que as técnicas para a detecção de concentrações devem ser ajustadas. Assim, recomenda-se que os limites de quantificação e detecção sejam discutidos com o laboratório contratado, fornecendo como referências as concentrações observadas noutras estradas nacionais. A componente laboratorial representa uma percentagem importante dos custos totais de um estudo de monitorização pelo que a sua utilização deve ser feita com rigor e racionalização tendo em vista o não desperdício de recursos, nomeadamente financeiros.

Verificou-se também que os sistemas de infiltração não apresentam monitorização - com excepção da bacia do IP4 e, parcialmente, duma bacia da A6.

Nos EUA constatou-se que os sistemas mais inovadores e originais raramente são monitorizados. Pensa-se que este facto se deve às dificuldades que se colocam quando não existem metodologias ou práticas de monitorização bem conhecidas. Além disso, se se trata de sistemas de infiltração, aumenta a dificuldade da monitorização e geralmente os custos desta. Estes aspectos devem constituir motivo de reflexão na prática nacional portuguesa, pois verificou-se a existência de um largo leque de diferentes tipologias de tratamento – o que, de *per si*, não é negativo. Todavia há que ponderar se não será de se optar por sistemas que se conhecem bem e, se for o caso, introduzir alterações sobre esta tipologia conhecida, de forma a melhorar aspectos específicos do seu funcionamento.

Outra recomendação que se faz é que, ao projectar um sistema, se reflecta desde logo sobre os métodos que podem ser utilizados na sua monitorização e, caso necessário, se inclua no

projecto a construção de algum tipo de mecanismo ou estrutura que permita uma monitorização eficaz. Por exemplo, no caso dos sistemas de infiltração, poder-se-ia reflectir sobre a construção de um ou mais drenos no subsolo que conduzam parte da água infiltrada (tratada) para pequenas estruturas impermeabilizadas onde se possa fazer a recolha de água. O recurso a métodos como a introdução de cápsulas para recolha da água intersticial do solo é uma possibilidade que deverá ser ponderada, pois poderá representar uma perturbação no sistema.

Para ilustrar o atrás mencionado, exemplifica-se o caso da A22/IC4 cujos sistemas de tratamento se apresentam adequados. Todavia, tendo em conta o objectivo de protecção das águas subterrâneas seria necessário investigar se os poluentes ficam retidos no solo das bacias de infiltração, o que não foi efectuado no programa de monitorização implementado por Santos e Aguilera (2004).

Outro factor que deverá merecer uma melhor atenção por parte dos projectistas e fiscalização da obra e a existência de vedações e portões (com funções de abertura adequadas) para cada sistema de tratamento, bem como a adequação dos caminhos de acesso, tanto a pessoas como a viaturas e em tempo seco e húmido. Para esta última situação há que considerar os declives em causa e as características do solo local, podendo ser necessário a sua cobertura por materiais que lhe confirmam maior segurança à circulação de viaturas.

No caso do lanço Vila Real-Régua da A24/IP3, apesar de existirem vedações, não se colocou nenhum portão de acesso, o que é naturalmente inconveniente. No caso do IP6, observou-se que os acessos e vedações poderiam ter sido concebidos de forma mais adequada, considerando a necessidade de fazer deslocações em tempo de chuva, quando os caminhos em terra se encontram alagados, bem como a possibilidade de transportar equipamento de monitorização para o local.

Finalmente, merece um destaque pela negativa, o total abandono que se verificou ter sido votado aos sistemas de tratamento do IP4 Vila Real-Vila Verde, que necessitam de uma reabilitação urgente. De forma idêntica os sistemas de controlo de derrames acidentais da A27/IP9 deveriam ser objecto urgente de novo projecto e de substituição das estruturas actuais.

Como aspecto positivo realça-se a rapidez com que as conclusões da monitorização efectuada no âmbito do trabalho de mestrado de Albuquerque (2006) foram implementadas pela concessionária, representando um significativo “*upgrade*” dos sistemas.

Tendo em conta a falta de meios que muitas vezes são sentidos, crê-se que seria de mais-valia que as concessionárias identificassem temas de estudo no âmbito da engenharia e ciências afins, valorizando apoios colaterais à avaliação e à monitorização dos sistemas de tratamento que lhes compete gerir.

Quadro 19 - Síntese da avaliação efectuada aos sistemas de tratamento

Estrada	N.º Sistemas	Tipo de sistemas	Ano de construção	Avaliação			Avaliação geral	Observações
				Ano	Nível ⁽¹⁾	N.º Sistemas		
A1	1	Bacia de detenção	1990	1999 2002	++ ++	1 1	Sobredimensionada. Bom comportamento: retenção de poluentes nos solos e evapotranspiração	Apenas uma vez nos passados 17 anos ocorreu descarga de escorrências. O sistema já foi objecto de reabilitação.
A2	6	Estação de tratamento	2002	2005 2006 2007	++ ++ +	3 5 1-3	Escolha de processos inadequada para escorrências de estradas	O tratamento químico poderá ser desnecessário e adiciona contaminantes ao efluente. As estações apresentam custos muito elevados de construção e operação.
A6	3	Bacia de retenção	1999	2004		1	Evidências da capacidade dos solos em reter poluentes dissolvidos.	Dificuldade geral na avaliação da eficácia de sistemas de infiltração.
A22/IC4	9	8 bacias de sedimentação + bacias de infiltração; 1 leito de infiltração	2002-2003	2003/2004 2007	++ +	5 2	Bom projecto e construção. Apenas foi avaliada a eficácia da operação de sedimentação.	Boa eficiência na remoção de SST e Zn; alguma remoção de Pb, CQO e CBO ₅ . Dificuldade geral na avaliação da eficácia de sistemas de infiltração.
A23/IP2	4	Separador de óleos e gorduras + bacia de decantação	2005	2006 2007	+++ +	1 2	O separador de óleos funciona bem. Escolhas de projecto erradas para a bacia de decantação.	Problemas identificados no projecto e na construção foram recentemente corrigidos pela concessionária.
A24/IP3	11	2 bacias multifuncionais; 8 bacias de detenção; 1 vala relvada	1997-2006	2007	+	11	Problemas nas bacias multifuncionais.	Necessidade de monitorização e/ou de algumas correcções (por ex.: acessos, vedação e portão).
A27/IP9	4	Sistemas de controlo de derrames acidentais	2005?	2007	+	4	Projecto deficiente.	Necessidade urgente de reabilitação.
IP4	3	3 bacias de sedimentação + bacias de infiltração	1995	1995-1998 2007	++++ +	1 2	Contaminação das águas subterrâneas devido a erros de construção.	Os sistemas apresentam manutenção nula. Necessidade urgente de reabilitação.
IP6	3	Separador de óleos e gorduras + bacia de detenção	2004/5	2005-2006	++	1	Alguns problemas. O separador de óleos permite um bom tratamento primário.	Aparenta sobredimensionamento. Dificuldade de avaliar a eficácia global pela ausência de descargas para o exterior.

(1) Diferentes acções tiveram lugar: cada nível de avaliação inclui as actividades indicadas para o nível anterior:

- + Estudo do projecto; inspecção visual no local; 1 medição com sonda multiparamétrica quando água presente no sistema; informação facultada pelas concessionárias;
- ++ Monitorização em mais de 1 ocasião, incluindo amostragem manual da água e/ou de sedimentos/solo da base dos sistema e análises efectuadas em laboratório;
- +++ Avaliação efectuada no âmbito de uma dissertação de mestrado (Albuquerque, 2006);
- ++++ Avaliação efectuada no âmbito de uma dissertação de doutoramento (Barbosa, 1999).

Capítulo 3: Monitorização de recursos hídricos e de solos

*Teresa E. Leitão
Maria José Henriques*

3.1 Metodologia adoptada e estradas analisadas

Este capítulo é dedicado à avaliação da eficácia das medidas de minimização de impactes ambientais implementadas em Portugal no domínio da redução da poluição proveniente das águas de escorrência de estradas, efectuada por meio de uma apreciação indirecta através da análise da evolução da qualidade da água no ambiente envolvente.

Paralelamente, pretende-se que este capítulo constitua um repositório do conhecimento nacional sobre os resultados da monitorização de recursos hídricos subterrâneos e superficiais em áreas envolventes a estradas em funcionamento e, assim, da análise do efeito da poluição de estradas na qualidade dos meios hídricos envolventes. Esta análise abrange, deste modo, não só as estradas onde foram implementadas medidas de minimização, mas também as estradas sem sistemas de minimização, até para poder analisar eventuais diferenças de tendências entre ambas.

Para o desenvolvimento da análise acima referida foi efectuada uma recolha, junto da EP, E.P.E., de toda a informação existente nos seus arquivos, em 2006, sobre a caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos junto a auto-estradas e a Itinerários Principais, tanto para a fase de construção como para a fase de exploração. Além dessa informação, inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para este estudo, foi ainda analisada a informação disponível em trabalhos publicados em Portugal sobre os efeitos da poluição de estradas nacionais, em exploração, na qualidade dos recursos hídricos da área envolvente.

O Quadro 20 apresenta a síntese da informação existente e o tipo de sistemas de tratamento a ela associados. Da análise do referido quadro constata-se haver 12 estradas para as quais existe informação sobre a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e/ou dos superficiais.

Quadro 20 - Informação existente sobre a monitorização de recursos hídricos para análise de poluição de estradas

Designação da estrada	Designação do troço da estrada	Pontos de água monitorizados				Sistema de tratamento	
		Construção		Exploração		n.º	Tipo
		Subterrâneo	Superficial	Subterrâneo	Superficial		
A1	Fátima	-	-	2	-	1	Bacia de decantação
A2	Almodôvar -- S. Bartolomeu de Messines	-	12	-	14	-	-
A2	S. Bartolomeu de Messines -- VLA	18	12	11	12	6	Estações de tratamento
A2	Castro Verde -- Almodôvar	-	12	-	4	-	-
A6	Nó de Borba	-	-	4	3	3	Bacias pré-tratamento
A7/IC5	Basto -- Ribeira de Pena	47	3	-	-	-	Projecto não disponível
A10	Bucelas -- Arruda dos Vinhos	-	-	-	11	-	-
A13	Almeirim -- Salvaterra de Magos	2	-	-	-	-	-
A22/IC4	Alcantarilha -- Guia	-	-	-	2	3+1	Bacias de retenção e tratamento
A23/IP2	Ligação à Covilhã	-	-	2	1	4	Bacias de tratamento
A24/IP3	IP5 -- Castro D'Aire Sul	3	12	-	-	-	-
A24/IP3	Vila Real -- Régua (IP4)	-	4	-	4	2	Bacia multifuncional
A24/IP3	EN103 -- Chaves (Fronteira)	6	13	-	-	1	Vala relvada
IP4	Vila Real -- Vila Verde	-	-	1	-	3	Bacias de tratamento
A27/IP9	Nogueira -- Estorãos	2	4	-	-	2	Sistemas de contenção de risco
A27/IP9	Estorãos -- Ponte de Lima	7	5	-	-	2	Sistemas de contenção de risco
EN10	Recta do Cabo	-	-	2	-	-	-

Neste capítulo analisa-se em pormenor a informação dos troços de estrada para os quais há informação na fase de exploração, efectuando nesses casos uma análise de todos os dados desde a fase de construção. Assim, as duas últimas colunas do Quadro 20 correspondem aos troços analisados neste capítulo: (1) seis troços com informação sobre as águas subterrâneas, cinco dos quais associados a sistemas de tratamento e (2) oito troços com informação sobre as águas superficiais, cinco dos quais associados a sistemas de tratamento.

De referir que, não obstante não ser apresentada uma análise das estradas para as quais apenas há informação na fase da construção, atendendo a que o objectivo do estudo é a análise dos efeitos de poluição de estradas em funcionamento, todos os dados dessas estradas (*cf.* Quadro 20) foram carregados na Base de Dados MIA.mdb para poderem vir a ser analisados mais tarde quando houver informação da fase de exploração. Em alguns casos a informação é só de quantidade, como o caso da A7/IC5, Basto - Ribeira de Pena cujos dados correspondem a 47 pontos de água com dados de quantidade (caudais de nascentes e profundidade ao nível de poços e furos).

Para se poder ter um valor de referência sobre a qualidade das águas monitorizadas, os resultados obtidos são analisados à luz aos valores definidos na Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano.

3.2 Análise dos resultados de programas de monitorização de águas subterrâneas e solos

3.2.1 A1, Bacia de Fátima

3.2.1.1 Caracterização da envolvente

A informação que se apresenta para este troço resulta de um estudo que o LNEC realizou para o Instituto da Água (Leitão *et al.*, 2005) sobre os avaliação e gestão ambiental de águas de escorrência de estradas e de outros estudos anteriores designadamente SEIA (1995).

Do ponto de vista hidrológico, a área estudada localiza-se sobre o maciço calcário jurássico, predominando os relevos cársticos com preenchimentos argilosos nas zonas morfologicamente deprimidas. A zona envolvente ao troço apresenta características essencialmente rurais onde predominam pinhais e eucaliptais e, ainda, urbanas através da presença da cidade de Fátima e de outras pequenas povoações (Fig. 28) que, no seu conjunto, representam fontes adicionais de poluição além da proveniente das estradas.



Fonte: adaptado de <http://ortos.cnig.pt/ortofotos/index.html>

Fig. 28 - Cobertura aerofotográfica da zona envolvente da A1, bacia de Fátima (Leitão *et al.*, 2005)

Por forma a compreender a circulação de águas subterrâneas neste meio, designadamente

de uma água de escorrência da estrada que entre no maciço através de recarga, o texto do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo (Oliveira *et al.* 2000) refere que este aquífero cársico é muito heterogéneo e bastante complexo, com elevado grau de organização da drenagem subterrânea (INAG, 1997). De acordo com Crispim (1995 *in* INAG, 1997) a drenagem superficial é quase inexistente, demonstrando o elevado grau de organização da drenagem subterrânea, controlada pela fracturação, litologia e morfologia do maciço. Este maciço apresenta uma extensa faixa de circulação vertical – com cerca de 400 m de espessura (Manuppella *et al.*, 1985).

As águas infiltradas dão origem a importantes recursos hídricos subterrâneos que surgem em diversas nascentes localizadas no sopé da Serra de Aire. Costa Almeida (comunicação pessoal) assinala que a delimitação das áreas de alimentação de cada nascente apresenta grandes dificuldades devido ao padrão altamente complexo do escoamento em meios cársicos.

Pelo facto de as águas subterrâneas do Maciço Calcário Estremenho se desenvolverem em rochas carbonatadas de elevada carsificação, apresentam elevada vulnerabilidade à poluição (Oliveira *et al.*, 2000). A elevada fracturação e elevado grau de carsificação são aspectos que se traduzem na rápida infiltração das águas da chuva, sendo por isso uma zona de recarga preferencial. Os mesmos autores estimam que a recarga global do aquífero seja 44% do valor da precipitação. Estes processos têm como resultado a escassez de linhas de água superficiais, facto que confere à paisagem aspecto de aridez observável nalgumas zonas.

Não obstante a elevada presença de águas nestes maciços, uma característica comum dos maciços cársicos desenvolvidos é a dificuldade de captar água através de furos, pois na maioria dos casos estes são pouco produtivos ou mesmo improdutivo, dado que a água circula essencialmente através de galerias cársicas, por vezes de grande capacidade, inseridas em maciços rochosos de permeabilidade muito mais baixa; esta dificuldade de captar água neste tipo de meios é bem demonstrada no Maciço Calcário Estremenho onde os dados referentes a sondagens realizadas no seu interior, embora escassos, indicam caudais em geral fracos ou nulos (Costa Almeida, comunicação pessoal, *in* Oliveira *et al.* 2000).

As rochas carbonatadas atravessadas durante as sondagens mecânicas efectuadas para a definição do projecto geotécnico da auto-estrada apresentaram valores de elevada permeabilidade. Contudo, estas rochas apresentam baixa capacidade de armazenamento à superfície. De facto, segundo um levantamento efectuado pelo LNEC a 27 de Junho de 2002 (Leitão *et al.*, 2005), aquando da recolha dos solos, a população local referiu utilizar este recurso para abastecimento, sendo que os furos são profundos, quase sempre abaixo dos 100 m. SEIA (1995), refere a existência de aquíferos de características livres a profundidades muito pequenas (1 a 4-5 m) mas certamente a sua existência será esporádica e sem sustentabilidade de exploração, pelo que não se encontraram furos a este nível.

Leitão *et al.* (2000b) apresentam, no âmbito do Plano de Bacia do rio Tejo, uma

caracterização da qualidade das águas subterrâneas com base em 65 análises químicas efectuadas em 40 captações, entre o período de 1971 e 1998. As águas subterrâneas do maciço calcário Estremenho são classificadas como bicarbonatadas cálcicas. Concluiu-se que a qualidade bacteriológica das águas deste sistema é deficiente por ocorrerem valores muito superiores aos admissíveis para coliformes fecais e totais, estreptococos e salmonelas. Contudo, as águas são geralmente, do ponto de vista químico, de boa qualidade. Uma pequena percentagem das amostras apresenta valores em nitratos e ferro superiores ao VMA.

O mesmo estudo refere que a elevada vulnerabilidade à poluição destas formações associada ao deficiente saneamento básico em algumas zonas da região são os factores apontados como responsáveis pelo aparecimento esporádico de valores elevados em hidrocarbonetos e alguns metais pesados.

3.2.1.2 Informação analisada

O efeito da poluição das estradas nos recursos hídricos foi essencialmente estudado em três trabalhos (Impacto2000, 1990; SEIA, 1995 e Leitão *et al.*, 2005). Todos esses estudos incidiram apenas na análise dos efeitos de poluição nas águas subterrâneas, visto não haver quaisquer cursos de água perenes devido à grande facilidade de infiltração da água no maciço.

Nos dois primeiros trabalhos (SEIA, 1995) foram efectuadas campanhas de monitorização da água, ao longo de um ano, em 12 pontos de água que incluíram furos e nascentes localizados nos sublanços Torres Novas – Fátima e Pombal - Condeixa. Os parâmetros analisados foram o cádmio, o chumbo, o cobre e o zinco.

Em Leitão *et al.* (2005) foram realizadas recolhas em dois pontos de água: um furo de baixa profundidade (7,5 m) localizado em Lameira, a cerca de 1,5 a 2 km da A1, e na Gruta da Moeda, a cerca de 500 m da A1. Os dois pontos de águas subterrâneas encontram-se um de cada lado da A1. Esse estudo foi complementado com uma análise de solos naturais envolventes à estrada à saída de caleiras de drenagem da estrada e de uma Passagem Hidráulica, às distâncias de 0; 0,5 e 1 m, à profundidade 0 - 5 cm que aqui é brevemente referida uma vez que auxilia nas conclusões sobre o efeito da poluição das águas de escorrência de estradas nos meios hídricos.

3.2.1.3 Análise dos resultados

Em SEIA (1995) apresenta-se uma comparação entre as análises realizadas para o Estudo de Impacte Ambiental (período de construção, Impacto2000, 1990) e as análises durante a fase da exploração. Os resultados obtidos referem que "a concentração de poluentes detectada (Pb e Zn) foi geralmente baixa estando, na maior parte dos casos, abaixo dos limites estabelecidos para água para consumo humano". O mesmo trabalho conclui que não se detectaram

variações significativas dos resultados nos dois períodos. Crê-se, no entanto, que a profundidade dos furos monitorizados (entre 100 e 314 m de profundidade) conjugada com a distância à estrada de vários km será excessiva para se poder tirar elações sobre o efeito da poluição gerada pelas águas de escorrência, podendo ser esta uma das razões pela qual o estudo de SEIA (1995) não permitiu estabelecer uma relação causa efeito.

Em Leitão *et al.* (2005) procurou-se efectuar amostragens em locais mais próximos e a captar a menor profundidade, cujas características são apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A1, bacia de Fátima

Designação	M (m)	P (m)	Tipo de ponto	Distância à estrada (m); lado da estrada
Lameira	155650	294675	Furo	1500 a 2000; Lado de Fátima
Moeda	150850	295250	Gruta	500; Lado oposto a Fátima

Os resultados das concentrações nos parâmetros químicos analisados apresentam concentrações inferiores ao VMR (ou VMA na ausência de VMR definido) da água destinada à produção de água para consumo humano (Anexo I do DL 236/98) quando estes estão definidos. Em termos da presença de metais pesados apenas o Zn e o Pb apresentam valores superiores ao limite de detecção, embora surjam em concentrações bastante baixas. Não se detectam, portanto, quaisquer sinais de influência das águas de escorrência da A1 naqueles locais, embora estas conclusões se reportem a apenas um período de amostragem e a locais, também eles, a distância significativa da estrada não permitindo concretamente avaliar a eficácia da bacia de Fátima.

A influência da poluição de estradas no ambiente foi, ainda, analisada em Leitão *et al.* (2005) através dos resultados obtidos para a concentração de metais pesados nos solos que permitiram registar a presença de Zn, Pb e Cu nas várias amostras analisadas. A Fig. 29 permite observar que o Zn ultrapassa o valor de intervenção, definido nas normas holandesas, nos sedimentos mais próximos da saída de uma caleira que drena águas de escorrência da estrada e da passagem hidráulica. Os valores guia para o Zn, o Cu e o Pb (140, 36 e 85 mg/kg, respectivamente) são ultrapassados em todas as amostras a distâncias inferiores a 2 m da descarga de águas de escorrência e superiores ao valor de intervenção para o caso do Zn. Para distâncias superiores a 2 m dos locais de descarga das águas de escorrência, os valores nos 3 metais pesados são já inferiores aos respectivos valores guia, registando-se uma rápida diminuição da concentração de poluentes nos solos com a maior distância à estrada. É natural que situações semelhantes se observem para as zonas da A1 com susceptibilidades equivalentes.

A relação $Zn \gg Pb > Cu$ é a mais frequentemente encontrada nos solos naturais analisados, de modo equivalente ao que se passa nos solos da bacia e, obviamente, como resultado das concentrações nas águas de escorrência da A1. No entanto, a concentração

relativa entre o Pb e o Cu é por vezes invertida, surgindo o Cu em maiores concentrações. Este facto pode ter origem na diminuição drástica do Pb nas águas de escorrência, na década de 90, e pode também resultar de processos de adsorção selectiva de um metal em detrimento de outro. O Cd apenas foi encontrado nalguns solos onde o limite de detecção utilizado foi menor; a sua concentração é sempre inferior ao valor guia holandês de 0,8 mg/kg (Norma Holandesa, 1994), sendo o valor mais elevado correspondente aos solos situados à saída da PH.

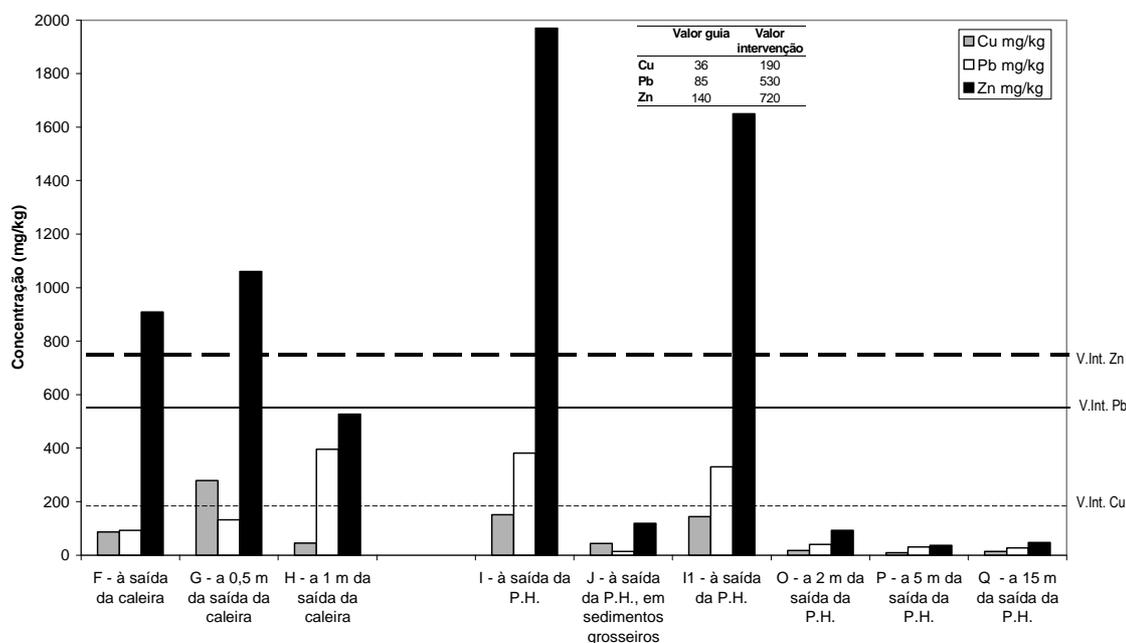


Fig. 29 - Concentração em metais pesados nos solos da zona do Covão do Coelho junto à A1, bacia de Fátima (Leitão *et al.*, 2005)

Em síntese, embora não tenha sido detectada a influência da poluição de estradas nas águas subterrâneas, a poluição encontrada nos solos naturais e nos sedimentos e águas da bacia de Fátima é suficiente para concluir da necessidade de proteger as águas do maciço calcário de elevada vulnerabilidade através sistemas de tratamento adequadamente dimensionados (ver secção 2.3.2). A distância a que se encontram os pontos de amostragem de águas subterrâneas da estrada e do sistema de tratamento não permitem detectar poluição ou avaliar a eficácia das medidas de minimização, dados os complexos sistemas de circulação da água subterrânea.

3.2.2 A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA

3.2.2.1 Caracterização da envolvente

O troço da A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA atravessa, em cerca de 7 km do seu percurso, o sistema aquífero Querença-Silves que constitui uma das principais reservas de

água para abastecimento ao Algarve. Este facto conduziu à construção das 6 estações de tratamento, referidas na secção 2.3.3, destinadas a proteger a qualidade da água deste importante e vulnerável sistema. Trata-se de um sistema aquífero cársico livre a confinado que apresenta elevada vulnerabilidade à poluição.

O sistema aquífero Querença-Silves (M5), caracterizado em Almeida *et al.* (2000) (cf. <http://www.snirh.pt/>), reveste-se de grande importância para a região do Algarve em termos quantitativos e qualitativos, sendo explorado para consumo humano e para rega. Segundo Reis (2006), este sistema constitui uma das principais origens de água para abastecimento ao Barlavento Algarvio, sendo explorado pela empresa Águas do Algarve, cujas captações se situam na zona do Vale da Vila. Encontram-se ainda em funcionamento outras captações públicas dos concelhos de Silves, Albufeira e Loulé e um elevado número de captações particulares utilizadas para a rega e/ou para consumo humano.

O sistema aquífero ocupa uma área de 318 km², estendendo-se desde Querença, onde se localiza a principal região de recarga (Nave do Barão, Nave dos Cordeiros) até às nascentes de Estômbar que constituem a principal zona de descarga. A recarga faz-se essencialmente por infiltração directa da precipitação sob as formações carbonatadas carsificadas aflorantes e através das linhas de água (bacias hidrográficas do rio Arade e ribeiras do Sotavento) que atravessam o sistema. De um modo geral, o fluxo subterrâneo dá-se para Oeste, variando entre as direcções N-S e E-W (Monteiro *et al.*, 2007). A A2 atravessa o sistema de forma perpendicular ao sentido do fluxo subterrâneo que, como atrás se refere, se faz preferencialmente de Este para Oeste.

A Fig. 30 apresenta o enquadramento geral das principais formações litológicas sobre as quais incidem os impactes ambientais resultantes da construção e da exploração da A2 e a localização das estações de tratamento (ET_x) e pontos de águas subterrâneas (P_x). O troço em análise atravessa os dolomitos e calcários da formação de Picavessa.

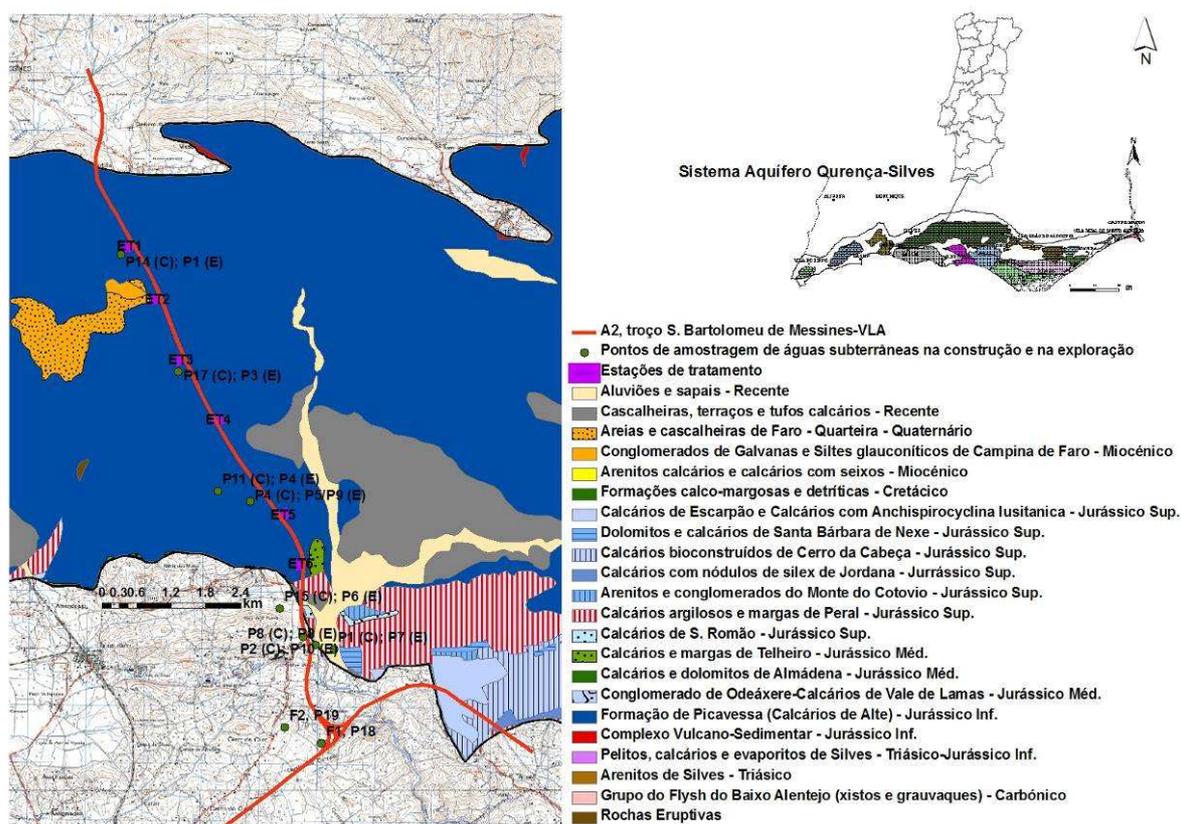


Fig. 30 - Localização dos pontos água subterrânea e das estações de tratamento, relativamente ao sistema aquífero Querença-Silves, junto ao troço da A2, S. Bartolomeu de Messines – VLA

Em termos de qualidade, a água deste sistema é influenciada pelos processos de dissolução de carbonatos, apresentando uma dureza elevada e concentração elevada em cálcio e magnésio. A fácies da água deste sistema é essencialmente bicarbonatada cálcica (Almeida *et al.*, 2000).

3.2.2.2 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para este estudo.

No Quadro 22 apresenta-se a localização dos pontos em termos de coordenadas militares, bem como o lado e a distância à estrada. Inicialmente previu-se uma rede de amostragem de 19 pontos de água subterrânea para as fases de construção e de exploração. Contudo, desses 19 pontos, apenas dez (oito furos, um poço e a nascente de Paderne) foram efectivamente monitorizados em ambas as fases, tendo sido acrescentado um novo furo na fase de exploração, o P2 (exploração) (*cf.* Quadro 22). São esses 10 pontos os analisados nesta

secção, uma vez que só eles permitem a análise da evolução da qualidade da água antes e depois do funcionamento da estrada.

Os pontos de água da rede de amostragem localizam-se nas proximidades da via, e estão maioritariamente situados a Oeste do traçado da A2, i.e. a jusante, tendo em conta a direcção principal do fluxo subterrâneo regional (*cf.* Fig. 30). A Fig. 30 apresenta os pontos comuns a ambas as fases e a sua localização relativamente aos 6 sistemas de minimização implementados.

Quadro 22 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Designação	M (m)	P (m)	Tipo de ponto	Distância à estrada (m); lado da estrada	Fase analisada
F1; P18	192970	20820	Furo	103; direito	C, E
F2; P19	192340	21100	Furo	580; direito	C, E
P1 (construção); P7 (exploração)	193181	22457	Nascente	460; esquerdo	C, E
P10 (construção)	192666	22189	Poço	75; direito	C
P11 (construção); P4 (exploração)	191178	25208	Furo	600; direito	C, E
P12 (construção)	191604	25908	Furo	125; esquerdo	C
P14 (construção); P1 (exploração)	189502	29332	Furo	160; direito	C, E
P15 (construção); P6 (exploração)	192241	23169	Furo	360; direito	C, E
P16 (construção)	189070	31695	Furo	100; direito	C
P17 (construção); P3 (exploração)	190501	27291	Furo	150; direito	C, E
P2 (construção); P10 (exploração)	192654	22667	Furo	67; direito	C, E
P2 (exploração)	190393	28804	Furo	275; esquerdo	E
P3 (construção)	191482	25202	Furo	350; direito	C
P4 (construção); P5/P9 (exploração)	191744	25025	Furo	200; direito	C, E
P5 (construção)	191695	24422	Furo	650; direito	C
P6 (construção)	191811	26164	Furo	425; esquerdo	C
P7 (construção)	190264	27900	Furo	175; direito	C
P8 (construção); P8 (exploração)	192863	22526	Poço	100; esquerdo	C, E
P9 (construção)	189886	28583	Poço	275; direito	C

Os parâmetros analisados foram variando ao longo das campanhas e sendo seleccionados de acordo com os resultados analíticos obtidos, tendo em conta o conhecimento existente da geometria do modelo de funcionamento do sistema aquífero (UNL, 2002a). O programa incluiu a análise dos seguintes parâmetros: pH, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, oxidabilidade, sulfatos, nitratos, cloretos, bicarbonato, cálcio, sódio, magnésio, potássio, flúor, fósforo total, silício, Fe, Cd, Zn, Cu e hidrocarbonetos.

A frequência da amostragem inicialmente estabelecida foi bimestral tendo sofrido ajustamentos ao longo do tempo de vigência dos trabalhos. Na fase de construção, a monitorização realizou-se no período entre 2001 e 2002, num total de cinco campanhas. Na fase de exploração realizaram-se 3 campanhas em 2004 e uma em 2005. A amostragem

realizada em 2005 incidiu em apenas 4 pontos de água (foram excluídos os pontos de água situados a norte e a sul do traçado) com análises apenas para o Fe, Cd, Zn, Cu e hidrocarbonetos.

3.2.2.3 Análise dos resultados

A Fig. 31 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para a qualidade das águas subterrâneas neste troço da A2, em relação a alguns dos parâmetros ligados à poluição das estradas (metais pesados e hidrocarbonetos totais), para as fases de construção e de exploração.

Numa primeira observação comparativa entre as duas fases, e para os dois parâmetros que permitem uma comparação directa (Zn e hidrocarbonetos totais) observam-se valores mais elevados de HT nas amostras recolhidas durante o período da exploração da estrada. Pelo contrário, as concentrações em zinco apresentam valores mais elevados na fase de construção. Também se observam valores ligeiramente mais elevados na fase de exploração de outros parâmetros como a condutividade eléctrica da água, cloretos e nitratos, não apresentados na figura nem tratados neste relatório dado não estarem directamente relacionados com a poluição de estradas.

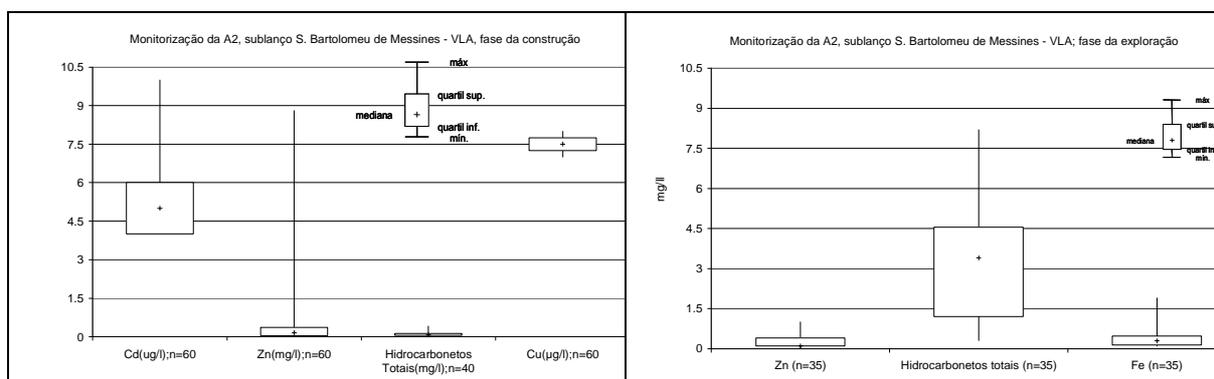
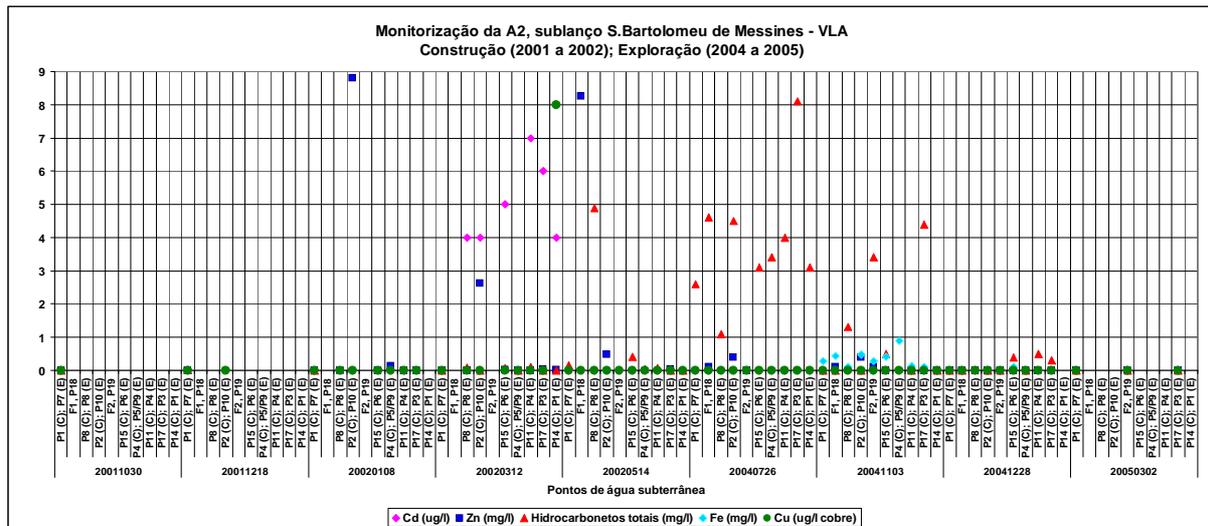


Fig. 31 - Síntese estatística da concentração em metais pesados e em hidrocarbonetos totais nas águas subterrâneas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

De referir que na fase de construção a concentração em Fe, Pb e Cr não foi analisada. Na fase de exploração, as concentrações em Ni, Cd, Cr e Cu na água apresentam valores abaixo do limite de detecção do método analítico e o Pb não foi analisado. As concentrações dos parâmetros Fe, Cd, Zn, Cu e hidrocarbonetos totais para os 4 pontos de água analisados em 2005 apresentaram sempre valores inferiores ao limite de detecção dos métodos analíticos utilizados.

A Fig. 31 permite observar a evolução da qualidade das águas subterrâneas nos dez pontos de água para os parâmetros em que há dados nas duas situações e para os poluentes

potencialmente associados à poluição de estradas.



Nota: as unidades utilizadas para os diferentes parâmetros não são as mesmas; p.f. atender à legenda da figura.

Fig. 32 - Concentração em Cd, Zn, hidrocarbonetos totais, Fe e Cu em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

A análise da Fig. 32 permite constatar a ocorrência de Cd apenas nas amostras recolhidas em 6 pontos de água subterrânea em Março de 2002, cujas concentrações variam entre 4 e 7 µg/l, i.e. ultrapassam por vezes o VMA de 5 µg/l estabelecido para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98. Os valores de Cd analisados nas restantes amostras recolhidas antes e depois desta campanha encontram-se abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado (4 µg/l).

O zinco é um metal que surge acima do limite de detecção usado (2 µg/l) (cf. Fig. 32 e Fig. 33), embora em concentrações baixas tendo em conta o VMA de 3000 µg/l definido na Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98. As maiores concentrações de zinco foram observadas nos pontos de água situados a sul, fora do limite do sistema aquífero. É possível que a origem do Zn esteja ligada ao revestimento dos furos galvanizados com este metal.

Verificou-se que as concentrações em cobre nas amostras analisadas são todas inferiores ao limite de detecção do método analítico, à excepção de uma amostra recolhida em Março de 2002, no ponto P14 (C); P1 (E).

Segundo Reis (2006), a presença de alguns metais pesados, inclusive em pontos mais distantes da estrada quer a jusante quer a montante do escoamento subterrâneo, poderá resultar de origem natural uma vez que na base do aquífero existe o complexo vulcano-sedimentar, cujas formações litológicas contêm minerais com alguns dos metais analisados.

Em relação aos hidrocarbonetos totais (cf. Fig. 32 e Fig. 34) verifica-se o aparecimento de concentrações muito elevadas (da ordem de mg/l!) na água a partir de Maio de 2002, embora seja no período após o início da exploração que estas concentrações ocorrem em quase todos os pontos de água. Observa-se a tendência para a diminuição de hidrocarbonetos, nos mesmos locais amostrados, em períodos posteriores.

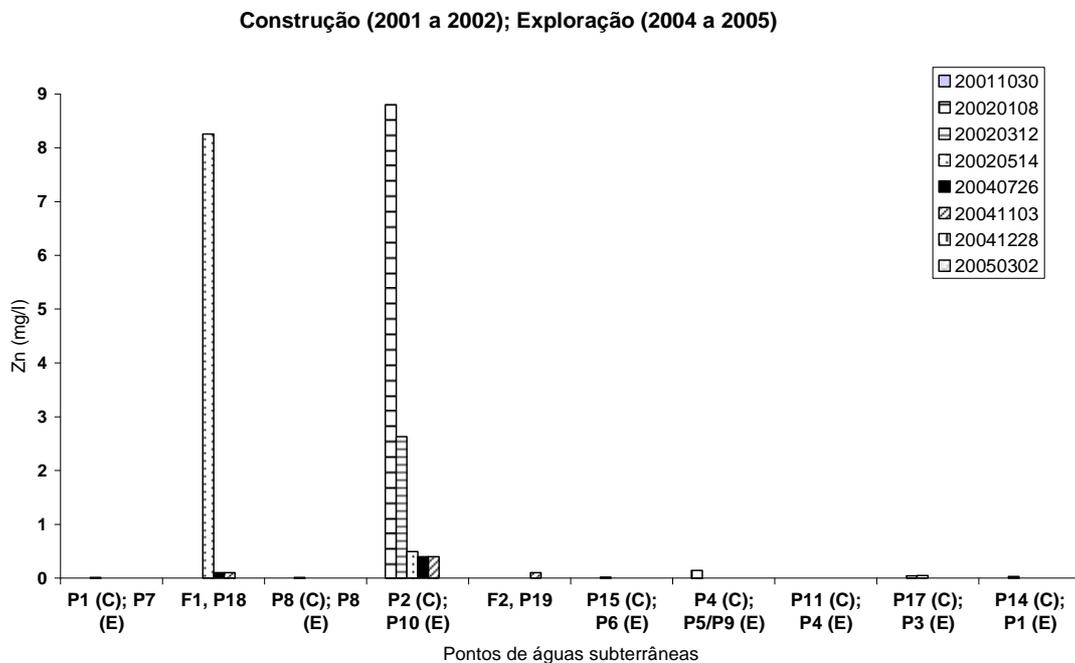


Fig. 33 - Concentração em Zn em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

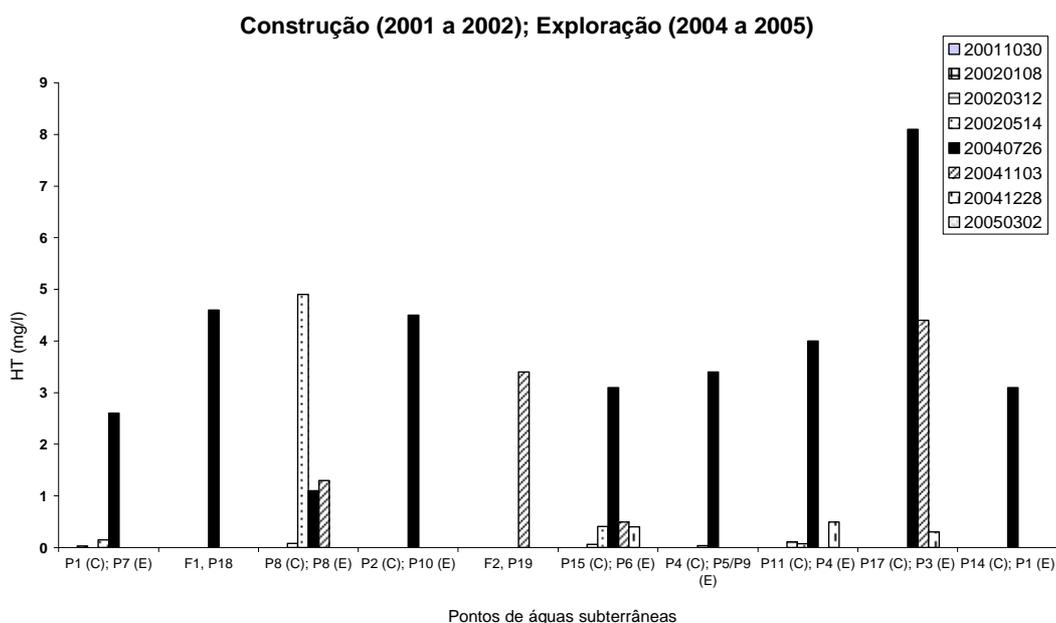


Fig. 34 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas subterrâneas monitorizadas recolhidas junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Um outro aspecto que sobressai da análise da Fig. 34 é o facto de haver uma dispersão espacial do processo de contaminação, uma vez que os HT foram detectados em todos os pontos monitorizados e essencialmente para um mesmo período de tempo. Um efeito desta natureza faz supor que a origem de poluição seja ela própria também espacialmente distribuída em toda a extensão de montante dos pontos amostrados, na medida em que localmente o escoamento subterrâneo se processa perpendicularmente à estrada. Caso se tratasse de uma poluição de natureza pontual (p.e. uma bomba de gasolina localizada nas proximidades) teria como efeito uma chegada ao longo do tempo dos poluentes aos pontos de amostragem e não numa mesma data.

É possível que esta poluição por hidrocarbonetos possa ter tido origem ainda antes da fase de exploração e de operação da estrada e que a sua chegada tardia aos furos se deva ao tempo de percolação dos poluentes até aos mesmos. Por exemplo se um contaminante fosse vertido na estrada teria que atravessar verticalmente uma zona não-saturada de cerca de 20 m (no período de Setembro de 2004, a superfície piezométrica no local encontrava-se entre os 15 e 20 m de profundidade, segundo Lopes *et al.*, 2005) até atingir a zona saturada, local onde os valores de condutividade hidráulica do aquífero para o sector em causa são de cerca de 1 m/d (Lopes *et al.*, 2005).

Apesar da inegável relevância destes dados, os conhecimentos de que se dispõe não permitem uma interpretação e explicação cabal destas ocorrências. Várias hipóteses poderão estar na origem da contaminação encontrada. Por exemplo, poderá ser um problema gerado num acidente de grande extensão espacial no IC1, localizado a cerca de 3 km a leste da A2; poderá ser um problema gerado nas actividades de construção da A2 e poderá ser um acidente na fase de exploração da A2. Também não é de eliminar a hipótese de haver um erro analítico laboratorial ou da monitorização ter sido efectuada com técnicas desadequadas, embora estas suspeitas sejam reduzidas devido aos elevados valores encontrados (não se trata de uma pequena contaminação que pudesse ter surgido por deficiente lavagem de frascos) e ao facto de, quer as amostragens quer as análises químicas, terem sido efectuadas por duas equipas e dois laboratórios distintos ao longo das amostragens.

De referir que um estudo anterior sobre poluição de estradas realizado para o IC1, com dados recolhidos entre 1998 e 2004 (Reis, 2006), identificou a presença de Zn, Cu, Pb, Cr, Fe e hidrocarbonetos nas águas de escorrência da estrada em diferentes períodos e secções. Não obstante, em relação às águas subterrâneas, o mesmo estudo concluiu que a maioria das concentrações em metais pesados se encontravam abaixo do limite de potabilidade, à excepção do Fe e Zn. Os hidrocarbonetos encontravam-se abaixo do limite de detecção, aspecto que não está em sintonia com os resultados agora obtidos, embora as datas não sejam coincidentes e a estrada seja outra.

A investigação das hipóteses acima colocadas implica que se procure manter o programa de monitorização delineado para avaliar a evolução da qualidade da água para um período de

tempo mais significativo. Por outro lado, a amostragem de solos ao longo da estrada e a diferentes distâncias da mesma poderá ajudar a encontrar a(s) origem(ns) e o percurso subjacentes a esta poluição, designadamente avaliar a eventual ocorrência de um derrame acidental.

Em síntese, a presença de metais pesados é restrita e apenas o Cd aparece em valores acima do VMA. Em relação aos outros metais analisados, que aparecem com valores superiores aos respectivos limites de detecção em várias amostras, Reis (2006) refere que a sua presença também poderá resultar de origem natural uma vez que na base do aquífero existe o complexo vulcano-sedimentar, cujas formações litológicas contêm minerais com alguns dos metais analisados.

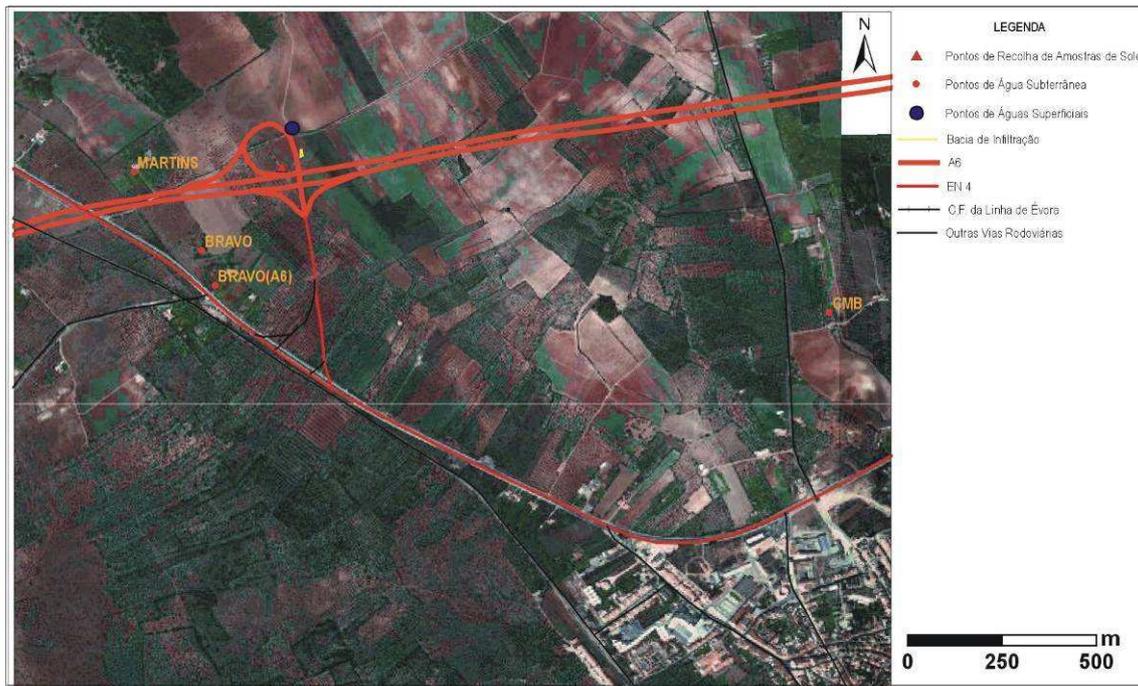
Em relação aos hidrocarbonetos totais verifica-se o aparecimento de concentrações muito elevadas na água em todos os pontos monitorizados entre Julho e Novembro de 2004, período a seguir ao qual se observa a tendência para a sua diminuição. É possível que esta poluição por hidrocarbonetos possa ter tido origem ainda antes da fase de exploração e de operação da estrada. Há um conjunto de hipóteses que podem estar na origem da contaminação encontrada e apenas a angariação de mais dados no âmbito da monitorização de solos e de águas subterrâneas poderá avançar com explicações mais conclusivas.

3.2.3 A6, Nó de Borba

3.2.3.1 Caracterização da envolvente

A informação que aqui se apresenta resulta de um estudo que o LNEC realizou para o Instituto da Água cujos resultados finais se encontram publicados em Leitão *et al.* (2005).

A área da A6 estudada localiza-se na zona envolvente ao nó de Borba que se situa a noroeste da cidade com o mesmo nome, distando dela cerca de 1,5 km em linha recta (*cf.* Fig. 35).



Fonte: adaptado de <http://ortos.cniq.pt/ortofotos/indexp.html>

Fig. 35 - Ortofotomapa de 1995 com a localização dos pontos de amostragem junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, o troço da A6 analisado localiza-se sobre o sistema aquífero Estremoz-Cano, sector Estremoz, um dos sistemas carbonatados de importância estratégica da região Alentejo (*cf.* Fig. 36), do qual depende o abastecimento público de água a aproximadamente 37 000 habitantes residentes nos concelhos de Sousel, Estremoz, Borba, Vila Viçosa e Alandroal (INAG, 1999).



Fig. 36 - Enquadramento geográfico dos sistemas aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim (INAG, 1999)

Este aquífero é constituído por formações carbonatadas paleozóicas, assumindo características de aquífero cársico livre. A circulação realiza-se através das fracturas e estruturas cársicas constituindo-se uma rede de circulação que se pode dividir em dois sub-sistemas (Carvalhosa *et al.*, 1987): (1) sub-sistema das grandes aberturas cársicas; (2) sub-sistema das microfracturas. De acordo com Vieira da Silva (1991), o sector de Estremoz está dividido em dois sectores:

- sector SE, do Alandroal a Estremoz, engloba várias pequenas bacias hidrogeológicas (onde se localiza a área de estudo de Borba);
- sector NW, entre Estremoz e Sousel, tem uma orientação do fluxo subterrâneo de SE para NW, havendo uma extracção permanente de grandes caudais no extremo NW.

Os mesmos autores apontam também para a existência de barreiras impermeáveis que compartimentam o sistema e criam áreas de produtividades consideravelmente inferiores às que tradicionalmente se apontam para este sistema.

O aquífero foi classificado como livre, cársico e poroso, de alta produtividade (8,5 l/s de valor de mediana) e com elevada vulnerabilidade à poluição (Oliveira *et al.*, 2000). Cupeto (1991) refere que este maciço tem um fraco poder regulador, registando um rápido período de resposta entre eventos de precipitação e consequentes descargas das nascentes. De acordo com INAG (1999), a produtividade neste sistema aquífero aumenta de E para W, o que indicia a existência de um fluxo nesse sentido. No entanto na zona mais a sul verifica-se o escoamento em sentido oposto.

Do ponto de vista da caracterização hidroquímica estas águas são duras medianamente mineralizadas e bicarbonatadas cálcicas a calco-magnésiana. As águas deste sistema são caracterizadas por elevada condutividade eléctrica, entre 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2138 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentando um valor médio de 726 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas são neutras a básicas com valores de pH entre 7,1 e 8,2. Carvalho *et al.* (1998) refere que, em termos qualitativos a composição química da água no sistema aquífero de Estremoz-Cano, entre 1991 e 1997, não sofreu oscilações significativas.

De interesse para a análise da poluição de estradas, há a assinalar que os valores dos metais pesados Cu, Pb e Zn em todas as amostras de água analisadas para o Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo (*cf.* Leitão *et al.* 2000b) foram inferiores aos respectivos VMR (Cu = 20 $\mu\text{g}/\text{l}$; Zn = 500 $\mu\text{g}/\text{l}$) e VMA (Pb = 50 $\mu\text{g}/\text{l}$), definidos para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, sendo a maioria inferior ao limite de detecção. Os valores encontrados para as 87 determinações deste sistema aquífero foram os seguintes: $0,66 < \text{Cu} < 14,7 \mu\text{g}/\text{l}$; $1,62 < \text{Pb} < 4,4 \mu\text{g}/\text{l}$ e $1 < \text{Zn} < 500 \mu\text{g}/\text{l}$.

3.2.3.2 Informação analisada

A informação analisada relativa à fase de construção foi a disponibilizada pela Câmara Municipal de Borba (CMB) e refere-se a um furo da sua propriedade. A informação respeitante à fase de exploração resulta de duas campanhas de monitorização efectuadas no âmbito do estudo publicado em Leitão e tal (2005). As águas subterrâneas foram amostradas em 4 pontos, 3 dos quais situados em herdades privadas a menos de 250 m de distância da estrada, e o quarto a cerca de 650 m de distância em linha recta à estrada, propriedade da CMB, (cf. Fig. 35). A Fig. 37 mostra alguns dos pontos de águas subterrâneas.



Fig. 37 - Locais de amostragem de águas subterrâneas junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

No Quadro 23 apresenta-se uma síntese das características dos locais de amostragem de águas subterrâneas analisados por Leitão *et al.* (2005). Os furos analisados são pouco profundos, i.e. entre 9,6 e 20,3 m. As medições dos níveis piezométricos permitem verificar que localmente o escoamento se processa para SE.

Quadro 23 - Características dos pontos de água subterrâneas amostrados junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Designação	M (m)	P (m)	Tipo de ponto	Distância à estrada (m); lado da estrada	Fase analisada
Furo Sr. Bravo	256948,4	205448,5	Furo	< 250; direito	E
Poço Sr. Bravo	256910,3	205541,8	Poço	< 250; direito	E
Furo Sr. Martins	256734,3	205753,6	Furo	< 250; esquerdo	E
Furo CMB	258577,2	205376,0	Furo	< 650; direito	C, E

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, potencial redox, condutividade eléctrica, cloretos, sulfatos, bicarbonatos, cálcio, sódio, potássio,

nitratos, sólidos suspensos totais, óleos e gorduras, cobre, cádmio, chumbo, zinco, ferro total e HAP. Apenas os directamente ligados à poluição de estradas foram analisados em ambas as fases: cádmio, cobre, zinco e hidrocarbonetos totais. Estes parâmetros referem-se à fase de exploração uma vez que a Câmara Municipal de Borba não efectuou a análise dos parâmetros que poderiam ter relação com a poluição da A6.

No estudo referido foi, ainda, efectuada a recolha de solos naturais, i.e. que recebem directamente águas de escorrência da plataforma, no centro da área do nó de Borba, a oeste da bacia (*cf.* Fig. 35). As amostras foram recolhidas junto à descida do talude, às distâncias de 0, 2 e 5 m e a duas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm.

3.2.3.3 Análise dos resultados

As águas analisadas apresentam fácies bicarbonatada cálcica a calco-magnésiana. Todas as águas apresentam valores de pH neutro. Os valores de condutividade eléctrica são muito próximos, com oscilações entre 680 e 743 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes valores enquadram-se dentro dos valores médios do sistema aquífero referidos em Carvalho *et al.* (1998).

Em relação a parâmetros que pudessem indiciar a contaminação da A6, há a registar que não se observou a presença de Cd. O Pb foi encontrado apenas na amostra do poço e apresenta valores claramente abaixo do VMA definido para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, no valor de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. Contudo, as concentrações em Cu estão acima do VMA (50 $\mu\text{g}/\text{l}$) em todas as amostras de furos. Os valores de Zn, embora se encontrem acima do VMR (500 $\mu\text{g}/\text{l}$) em dois dos casos, estão abaixo do VMA (3000 $\mu\text{g}/\text{l}$). A origem do Cu e Zn nestas águas, com concentrações mais elevadas nos furos localizados a jusante da A6, pode ter influência da poluição das águas de escorrência, embora possa haver outras origens.

Relativamente à presença de HAP e óleos e gorduras, foi detectada a sua presença em apenas uma análise, em baixas concentrações, i.e. 0,003 $\mu\text{g}/\text{l}$ e 5 mg/l , respectivamente.

A análise da concentração de metais pesados efectuada nos solos naturais da zona do nó de Borba, cuja síntese é apresentada na Fig. 38 permite verificar a presença de Zn, Pb e Cu nos vários solos analisados, embora abaixo do limite de intervenção holandês, e a ausência de Cd acima dos limites de detecção.

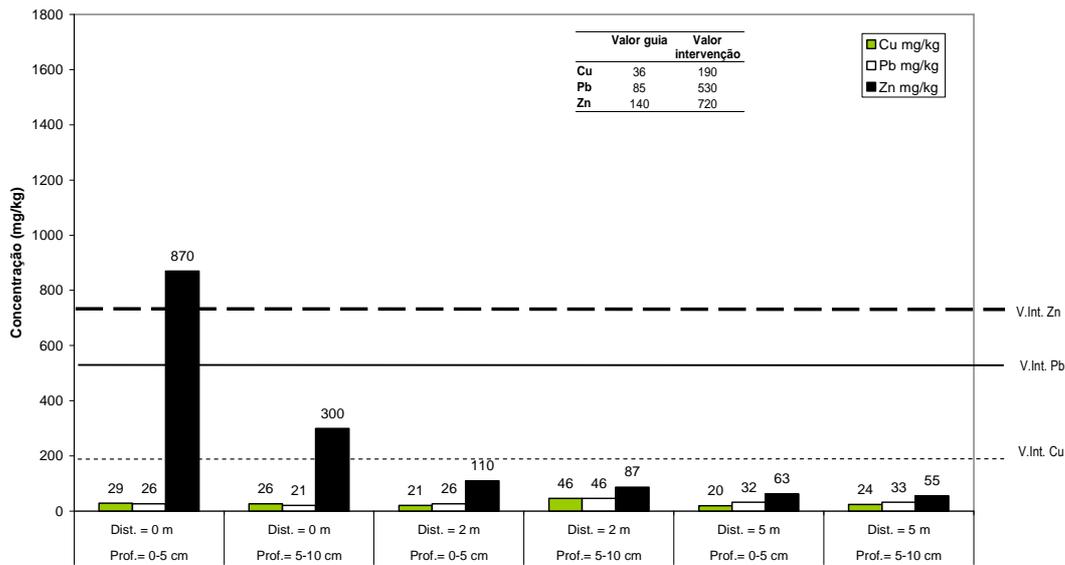


Fig. 38 - Concentração em metais pesados nos solos junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Destaca-se uma rápida diminuição da concentração em metais pesados nos solos com a distância à estrada e em profundidade, aspectos que corroboram a capacidade natural dos solos em reter poluentes. A análise da Fig. 38 permite, ainda, verificar que o Zn é o metal pesado que surge em concentrações mais elevadas nos solos à saída da caleira. A presença de Cu e Pb, embora em baixas concentrações, denota uma poluição cumulativa. O Cu apenas se apresenta acima do valor guia numa amostra. A concentração em Pb nos solos apresenta sempre valores inferiores ao valor guia. Solos com maiores CTC e conteúdo em matéria orgânica são também aqueles onde se registam as maiores concentrações em Zn. O padrão de concentração nos outros dois metais pesados não está bem demarcado.

Por outro lado, a apreciável capacidade dos solos da bacia em reter metais pesados, bem como óleos e gorduras das águas de escorrência (referida na secção 2.3.4), evitaria a migração para as águas subterrâneas subjacentes. Não obstante as boas características dos solos na retenção de poluentes, o facto de as águas de escorrência serem lançadas numa bacia que é de infiltração impõe que esta capacidade seja mantida e assegurada ao longo do tempo de forma a evitar a contaminação localizada de águas subterrâneas.

Por comparação com o caso de estudo de Fátima, os valores de concentração em metais pesados é inferior em Borba, o que seria sempre expectável, dado o período de exploração de cada sistema (Fátima desde 1990 e Borba desde 1999) e o TMD muito superior na A1, Fátima. Recorda-se que para Fátima: os valores guia para o Zn, o Cu e o Pb (140, 36 e 85 mg/kg, respectivamente) são ultrapassados em todas as amostras a distâncias inferiores a 2 m da descarga de águas de escorrência. Para distâncias superiores a 2 m dos locais de descarga das águas de escorrência, os valores nos 3 metais pesados são já inferiores aos respectivos

valores guia.

Em síntese, os valores de concentração em metais pesados medidos em águas subterrâneas encontram-se praticamente todos abaixo dos respectivos VMA definidos para águas destinadas à produção para consumo humano, embora com concentrações acima dos limites de detecção. A única excepção foi encontrada para as análises de Cu cujas concentrações estão acima do VMA (50 µg/l) na maioria das amostras. Relativamente à presença de HAP e óleos e gorduras, foi detectada a sua presença em apenas uma análise, em baixas concentrações.

Os dados obtidos permitem observar a presença de metais pesados e de hidrocarbonetos em baixas concentrações que poderão resultar de influências negativas de poluição da A6, entre outras possibilidades. A apreciável capacidade dos solos naturais e dos sedimentos da bacia em reter metais pesados, bem como óleos e gorduras das águas de escorrência (referida na secção 2.3.4), poderá contribuir para evitar a migração de poluentes para as águas subterrâneas sobrejacentes. Não obstante as boas características dos solos na retenção de poluentes, o facto de as águas de escorrência serem lançadas numa bacia que é de infiltração impõe que esta capacidade seja mantida e assegurada ao longo do tempo de forma a evitar a contaminação localizada de águas subterrâneas.

3.2.4 A23/IP2, Ligação à Covilhã

3.2.4.1 Informação analisada

A informação analisada resulta das duas campanhas de monitorização efectuadas no âmbito do Plano de Monitorização Ambiental da A23/IP2 (Albuquerque e Carvalho, 2005a e 2005b, *in* Albuquerque, 2006) que foram posteriormente objecto de trabalhos desenvolvidos no âmbito de uma dissertação de mestrado apresentada no Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior (Albuquerque, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006).

No âmbito da análise da qualidade dos meios hídricos envolventes ao local de estudo foram amostrados dois pontos de águas subterrâneas, dois poços (*cf.* Fig. 39), tendo sido analisados nas duas campanhas os parâmetros: pH, temperatura, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, carência química de oxigénio, amónia, nitratos, cobre, crómio, zinco e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

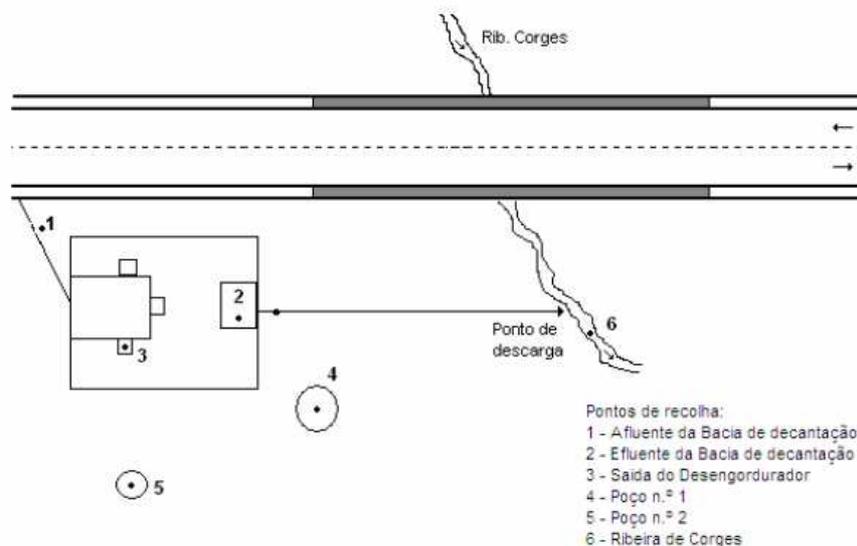


Fig. 39 - Localização dos pontos de monitorização de águas junto à A23/IP2, ligação à Covilhã (Albuquerque *et al.*, 2006)

3.2.4.2 Análise dos resultados

Os valores medidos encontram-se dentro da gama usual de qualidade de água de circulação num meio granítico e não apresentam variações assinaláveis entre as duas amostragens. Os autores referem que, dos três metais pesados analisados, apenas o Zn surge sempre em concentrações inferiores ao limite de detecção (100 µg/l). A concentração em Cu e Cr foi por vezes superiores ao limite de detecção comum, de 1 µg/l, mas em ambos os casos com valores bastante baixos, i.e. 2 µg/l, quando comparado com o VMA destes dois elementos de 50 µg/l e com os limites de detecção utilizados em outros troços de estrada referidos neste relatório. A concentração em HAP foi inferior ao limite de detecção de 0,2 µg/l.

Os resultados existentes são escassos para se poderem retirar conclusões acerca da eficácia dos sistemas de tratamento (cf. secção 2.3.6), na medida em que apenas incidem sobre dois pontos de amostragem, analisados na fase inicial da exploração da estrada insuficiente, portanto, para permitir a chegada de poluentes aos pontos de amostragem atendo à complexidade de circulação de água no meio. Conforme é referido em Albuquerque *et al.* (2006) é necessário prosseguir um plano de monitorização ambiental que permita avaliar eventuais variações na qualidade das águas envolventes e a sua relação com a exploração da via e a eficácia dos sistemas de tratamento.

3.2.5 IP4, Vila Real – Vila Verde

3.2.5.1 Informação analisada

A informação que se apresenta foi obtida no âmbito do Projecto Europeu POLMIT - *Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*, desenvolvido para o 4.º Programa Quadro de Investigação sobre Transportes, entre Agosto de 1997 e Março de 2000 que contou com a colaboração do LNEC/DHA/NAS, além de outros seis laboratórios de Estados Membros da União Europeia.

A informação existente aqui apresentada foi publicada em Lehmann *et al.* (1998) e em Leitão *et al.* (1999). A componente das águas subterrâneas é relativa a apenas um furo (Fig. 40) localizado a 24 m da estrada, monitorizado ao longo de um ano em quatro campanhas, uma por estação do ano. Os parâmetros analisados foram os seguintes: Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Na, Cl, CE, HAP, HT.



Fig. 40 - Localização do ponto de amostragem de águas subterrâneas no IP4, Vila Real – Vila Verde

3.2.5.2 Análise dos resultados

Os resultados obtidos para as águas subterrâneas apresentaram concentrações abaixo dos valores de intervenção especificamente definidos para o projecto POLMIT, com excepção dos cloretos e hidrocarbonetos totais. Contudo, o Cr, Pb, Zn e alguns HAP surgiram em concentrações acima do valor de referência. O conteúdo em hidrocarbonetos totais na água encontrava-se muito acima dos valores de intervenção, com valores entre 0,18 e 35,3 mg/l.

Embora a presença de metais pesados e de HAP na água tenha sido baixa, a elevada concentração em HT evidencia já poluição de águas subterrâneas, possivelmente proveniente da estrada, embora os dados sejam apenas relativos a um ponto amostrado. Por outro lado, o elevado conteúdo em Zn nas águas de escorrência constituem também um potencial poluente das águas subterrâneas. Também a presença de Cr e Pb nos solos naturais amostrados

durante o projecto POLMIT junto à estrada e na própria bacia de infiltração (Barbosa, 2000) poderão vir a contaminar as águas subterrâneas na medida em que os solos apresentam condições que favorecem a migração destes metais: baixo pH e conteúdo em matéria orgânica e um meio geológico granítico com elevada fissuração. Finalmente, o facto de se tratar de uma bacia de infiltração (e não uma bacia de retenção como projectada) não funciona a favor da protecção do meio hídrico subterrâneo.

3.2.6 EN10, Recta do Cabo

3.2.6.1 Informação analisada

A informação apresentada nesta secção está fora da tipologia deste estudo, onde são analisadas auto-estradas, IC e IP. Não obstante, dado haver um conjunto muito restrito de informação disponível sobre a poluição de águas e solos e uma vez que existe informação de interesse sobre esta estrada nacional, pareceu-nos oportuno apresentá-la, completando assim o panorama nacional da informação neste domínio.

A informação que se apresenta foi obtida no âmbito do Projecto Europeu POLMIT - *Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*, desenvolvido para o 4.º Programa Quadro de Investigação sobre Transportes, entre Agosto de 1997 e Março de 2000, e de uma dissertação de Mestrado (Diamantino, 2002, 2003). A informação apresentada foi publicada em Lehmann *et al.* (1998), Leitão *et al.* (1999), Diamantino (2002, 2003) e Diamantino *et al.* (2004).

A monitorização das águas subterrâneas foi efectuada em dois piezómetros de PVC instalados um de cada lado da estrada e a cerca de 8,3 metros de distância à sua berma, que se designaram por RC1 (do lado direito da Recta do Cabo, na direcção a Porto Alto – a sul da estrada) e RC2 (do lado esquerdo da Recta do Cabo, na direcção a Porto Alto – a norte da estrada) (*cf.* Fig. 41).

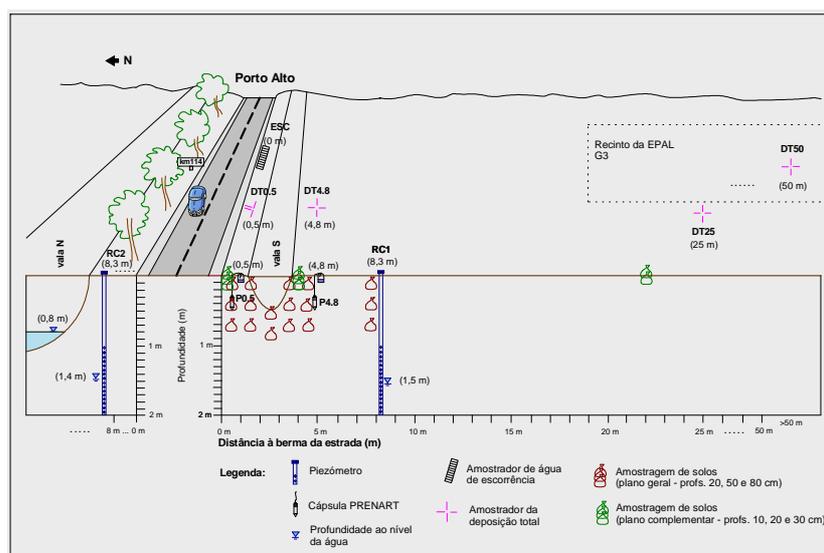


Fig. 41 - Esquema geral do plano de monitorização na EN10, Recta do Cabo (Diamantino *et al.* 2004)

Foi efectuada a medição mensal do nível piezométrico e foram recolhidas 4 amostras representativas de águas subterrâneas, durante o ano de monitorização. Os parâmetros físico-químicos medidos *in situ* foram: temperatura, pH, condutividade eléctrica e potencial redox. Os elementos químicos determinados foram os seguintes: metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb e Zn), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), hidrocarbonetos totais e óleos e gorduras. Foram, ainda, analisados os aniões maiores (Cl e SO₄) e os catiões maiores (Ca, K, Mg e Na).

3.2.6.2 Resultados obtidos

Foram analisados os resultados de 7 análises químicas relativas aos piezómetros RC1 e RC2. Os valores de pH obtidos variam entre 5,71 e 7,83, pelo que se tratam de águas neutras a ligeiramente ácidas. Os valores de condutividade eléctrica obtidos são muito elevados, com valores médios de 19 311 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 35 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para o piezómetro RC1 e RC2, respectivamente. São igualmente águas de dureza muito elevada (variação de valores entre 1797 mg/l e 4174 mg/l). Tratam-se de águas cloretadas sódicas, cuja composição foi influenciada pelo contacto com o estuário do Tejo. Em Diamantino (2002 e 2003) são referidas com maior detalhe as causas da qualidade da água subterrânea observada, no que refere à sua salinidade.

Relativamente aos metais pesados presentes nas águas subterrâneas foi concluído o seguinte (*cf.* Diamantino *et al.*, 2004, neste documento apresentado com algumas alterações por forma a analisar estes valores com base na mesma referência em todo o relatório, i.e. Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98):

- cádmio: não foi possível concluir acerca da sua presença uma vez que foram utilizados limites de detecção elevados (< 10 e $< 20 \mu\text{g}/\text{l}$) superiores ao valor máximo admissível

(VMA) para este metal, de 5 µg/l, definido na Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano;

- crómio: foi detectada a sua presença em quatro amostras, duas delas com concentrações relativamente elevadas, uma referente ao piezómetro RC1, de 200 µg/l e outra referente ao piezómetro RC2, de 120 µg/l; estas concentrações são superiores ao VMA para o Cr, de 50 µg/l. Nas restantes 3 amostras não foi detectada a presença deste metal;
- cobre: foi observado apenas um valor acima do VMA de 50 µg/l, no piezómetro RC1, que corresponde a 170 µg/l; esta concentração elevada refere-se à mesma amostra onde também se detectou a maior concentração de Cr; nas restantes seis análises os valores obtidos situam-se abaixo do VMR;
- chumbo: das sete amostras obtidas registaram-se dois valores abaixo do VMA, de 50 µg/l, que se referem a uma amostragem realizada na mesma data em ambos os piezómetros, relativamente às restantes análises não foi possível concluir acerca da presença deste metal uma vez os limites de detecção foram novamente elevados (< 100 e < 300 µg/l);
- zinco: foi detectada a sua presença em duas amostras, com concentrações elevadas, uma relativa ao piezómetro RC1, de 680 µg/l e outra relativa ao piezómetro RC2, de 280 µg/l; estas concentrações são inferiores ao VMA para o Zn, de 3000 µg/l. Nas restantes amostras obtiveram-se concentrações mais baixas, mas acima dos limites de detecção.

Em síntese, os metais pesados são os principais poluentes resultantes do tráfego rodoviário na Recta do Cabo. Dos cinco metais estudados (Cd, Cr, Cu, Pb e Zn) apenas um, o Cd, não foi detectado em concentrações importantes nem nos meios de dispersão, nem nos meios receptores subterrâneos. A presença de Cu, Cr e Zn nas águas subterrâneas alerta para o facto de que uma parte destes metais poder adquirir condições de mobilidade, sob determinadas características do solo, não sendo por isso totalmente retidos por este meio. O Pb, pelo contrário, permanece mais concentrado no solo. O Cu é o metal com maior mobilidade no solo comparativamente com o Pb e o Zn, não se encontrando em concentrações tão elevadas no solo apesar de se verificar a sua presença quer nos meios de dispersão de poluentes quer nas águas subterrâneas.

Relativamente aos compostos orgânicos, não se detectaram concentrações importantes em HAP. Pelo contrário, foi detectada a presença, em ambos os piezómetros, de hidrocarbonetos dissolvidos e de óleos e gorduras, com concentrações significativas, tendo os valores máximos atingido os 60 µg/l e os 200 µg/l, respectivamente. O primeiro valor excede o VMA de 50 µg/l, para os hidrocarbonetos dissolvidos, referido no anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98.

A existência de poluição das águas subterrâneas nos pontos amostrados dever-se-á ao facto da estrada estar em funcionamento já há várias décadas sem que haja sistemas de

tratamento das águas de escorrência. Estas águas são conduzidas para valas de drenagem existentes na berma ao longo da estrada, valas essas que estão em contacto com a água salobra do estuário do Tejo, o que potencia a mobilização dos metais pesados devido à formação de complexos metálicos com os cloretos. De referir que a proximidade dos pontos à estrada (8,3 m) evidenciará a situação mais extremada de poluição.

3.3 Análise dos resultados de programas de monitorização de águas superficiais

3.3.1 A2, Almodôvar - São Bartolomeu de Messines

3.3.1.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para o estudo em curso no LNEC para as EP, E.P.E..

Os referidos relatórios mencionam uma rede de amostragem constituída por 20 pontos de água, sendo apenas seis deles coincidentes nas duas fases de construção e de exploração (Quadro 24). Os pontos de amostragem situam-se a distâncias variáveis da estrada entre os 50 e os 1000 m e estão localizados em linhas de água atravessadas pelo traçado da via.

Quadro 24 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines

Designação	Distância à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira de Odelouca/M - P5 (constr.); P9 (expl.)	250	Montante	C, E
Ribeira de Odelouca/J - P6 (constr.); P9 (expl.)	10	Jusante	C, E
Ribeira de Odelouca/J - P7 (construção)	200	Jusante	C
Ribeira de Odelouca/J - P8 (construção)	400	Jusante	C
Ribeira de Odelouca/J - P9 (construção)	1000	Jusante	C
Rio Arade/M - P10 (Constr.); P12 (expl.)	125	Montante	C, E
Rio Arade/J - P11 (Constr.); P12 (expl.)	100	Jusante	C, E
Rio Arade - P12 (construção)	500	Jusante	C
Rio Arade - P13 (construção)	750	Jusante	C
Rio Arade - P14 (construção)	1000	Jusante	C
Barranco do Sambro/M - P7 (exploração)	1000	Montante	E
Barranco do Sambro/J - P7 (exploração)	1000	Jusante	E
Ribeira da Azilheira/M - P18 (constr.); P8 (expl.)	300	Montante	C, E
Ribeira da Azilheira/J - P19 (constr.); P8 (expl.)	150	Jusante	C, E
Ribeira de Água Velha/M - P10 (exploração)	200	Montante	E
Ribeira de Água Velha/J - P10 (exploração)	200	Jusante	E
Ribeira de Perna Seca/M - P11 (exploração)	50	Montante	E

Designação	Distância à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira de Perna Seca/J - P11 (exploração)	50	Jusante	E
Ribeira do Gavião/M - P13 (exploração)	50	Montante	E
Ribeira do Gavião/J - P13 (exploração)	50	Jusante	E

A monitorização da qualidade da água da fase da construção decorreu entre 2001 e 2002 com uma periodicidade mensal, para os 12 pontos de colheita referidos no Quadro 24. Na fase de exploração, realizou-se apenas uma amostragem, em Dezembro de 2004, nos 14 locais mencionados no Quadro 24. Esta última campanha englobou quatro linhas de água adicionais, também mencionadas no quadro.

Salienta-se que em UNL (2002a) refere-se a não representatividade de algumas amostras devido às fracas condições de escoamento das linhas de água o que, por vezes, não permitiu a colheita de amostras por este se apresentar reduzido ou mesmo nulo. Nalguns casos, só foi possível proceder à amostragem em "depressões dos leitos (pegos) onde a água permanecia estagnada, não correspondendo a verdadeiras condições de escoamento superficial".

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, sólidos dissolvidos totais, nitratos, azoto amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, sólidos suspensos totais, oxidabilidade, cobre, cádmio, zinco e hidrocarbonetos totais. Apenas os seguintes parâmetros directamente ligados à poluição de estradas foram analisados em ambas as fases: cádmio, cobre, zinco e hidrocarbonetos totais. Foram, ainda, analisados os sólidos suspensos totais que auxiliam a análise de uma potencial degradação da qualidade da água.

3.3.1.2 Análise dos resultados

Em termos globais comparativos sobre a evolução da qualidade da água, o gráfico da Fig. 42 permite observar que os valores da concentração em sólidos suspensos totais aumentam na fase de exploração, em termos de valor mediano e do percentil 25 e 75, embora os valores máximos tenham sido registados na fase de construção. De facto, a 18 de Dezembro de 2001 registou-se a concentração de 3609 mg/l em sólidos suspensos totais, numa amostra recolhida na ribeira de Odelouca, a jusante da estrada. Para não enviesar a análise que se apresenta na figura, retirou-se do conjunto de dados essa amostra de concentrações anormalmente elevadas (*cf.* Fig. 42).

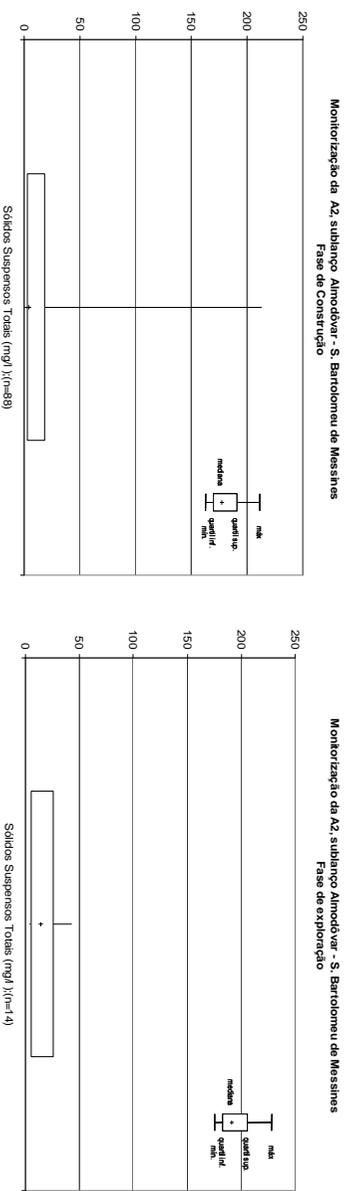


Fig. 42 - Síntese estatística das concentrações em sólidos suspensos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Em relação aos metais pesados que possam estar associados à poluição de estradas, verificou-se apenas a ocorrência de cádmio nas amostragens realizadas em Janeiro e em Abril de 2002, cujos valores variaram entre 4 a 7 µg/l (Fig. 43). Os restantes metais pesados apresentaram-se inferiores aos respectivos limites de detecção (Cu variou entre 6 e 20 µg/l, o Zn entre 2 e 100 µg/l e Cd < 4 µg/l). Salienta-se, contudo, que os limites de detecção utilizados para o Cu e o Cd são iguais ou superiores aos respectivos VMR (Cu = 20 µg/l e Cd = 1 µg/l) definido para a Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano, pelo que a eventual presença de concentrações abaixo destes limites não pôde ser detectada.

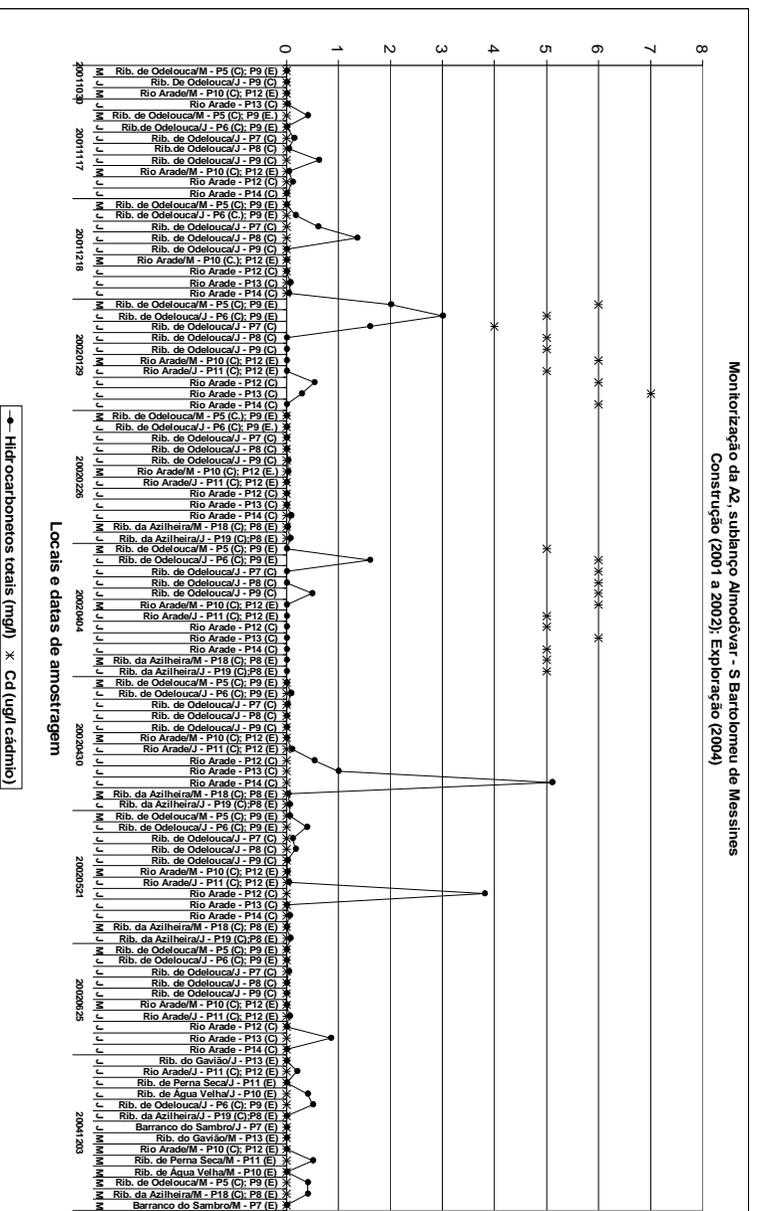


Fig. 43 - Concentração em hidrocarbonetos totais e cádmio em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Verificou-se a ocorrência de hidrocarbonetos totais em concentrações muito elevadas, da ordem de alguns mg/l, quer na fase de construção quer na fase de exploração. O gráfico da Fig. 44 mostra que, embora o valor máximo registado tenha ocorrido na fase de construção, o valor da mediana da concentração em hidrocarbonetos totais é superior na fase de exploração.

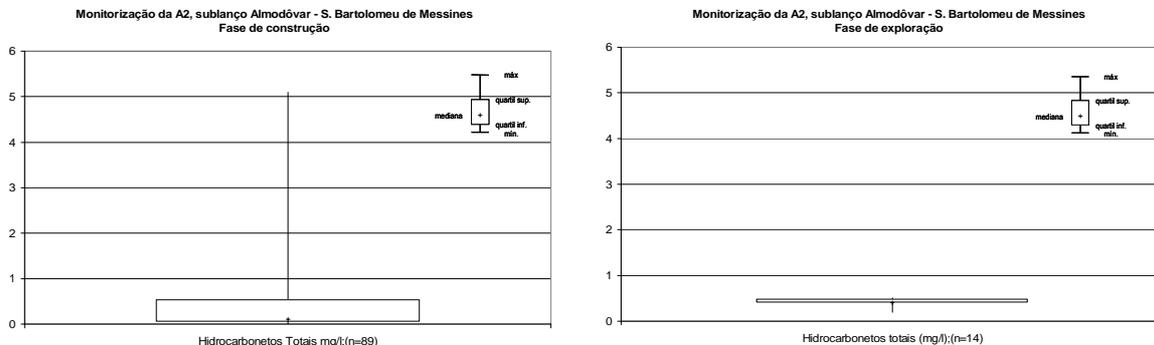


Fig. 44 - Síntese estatística das concentrações em hidrocarbonetos totais nas águas superficiais monitorizadas na A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Uma análise mais detalhada da variação de hidrocarbonetos totais apresentada na Fig. 43 permite constatar a presença de valores elevados de concentrações na maioria dos locais de amostragem e em datas diferentes. A Fig. 45 apresenta a informação apenas relativa à ribeira de Odelouca, para o ponto de montante e nos quatro pontos de jusante, onde é possível evidenciar que não existe um padrão de comportamento tipo. Há ocasiões em que não se verifica presença de HT a montante, mas verifica-se a jusante (2001-12-18 e 2002-04-04) parecendo evidenciar poluição da estrada, mas há outras ocasiões em que também a montante há concentrações em HT (2002-01-29 e 2002-05-21). As concentrações, embora menores, também ocorrem na fase de exploração da estrada.

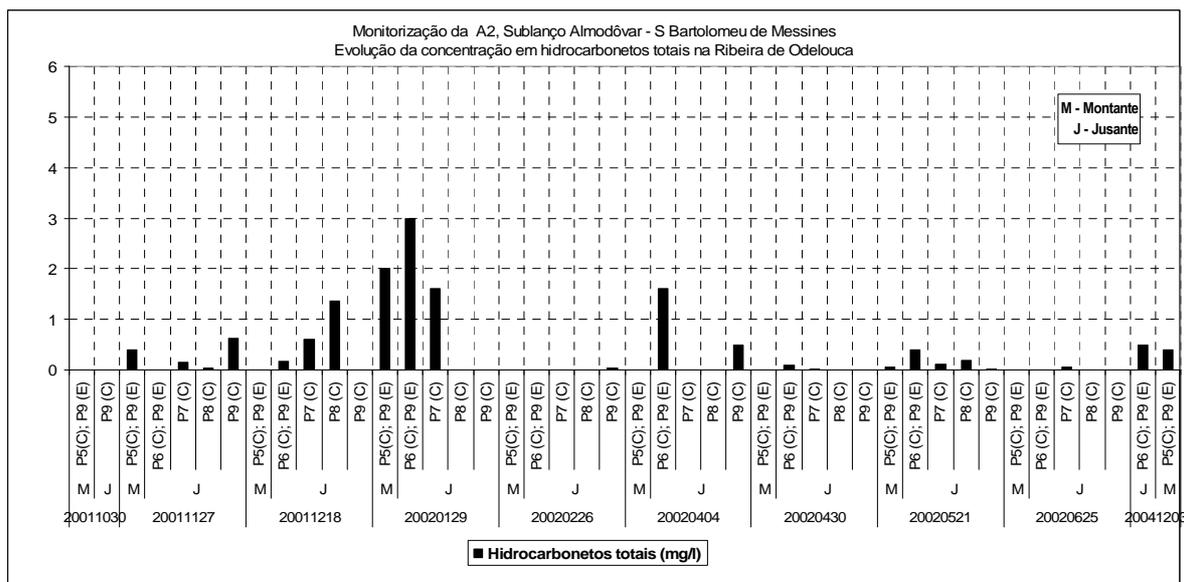


Fig. 45 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas na ribeira de Odelouca, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Já para o rio Arade, a presença de HT verifica-se essencialmente a jusante, tal como mostra a Fig. 46.

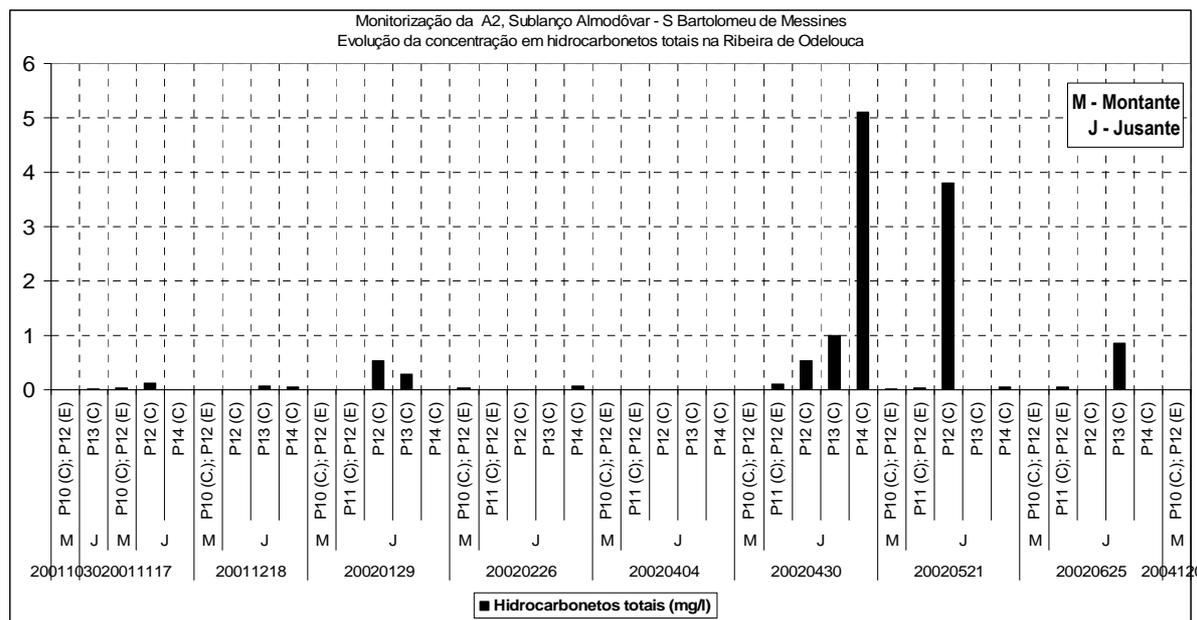


Fig. 46 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas no rio Arade, junto à A2, Almodôvar – S. Bartolomeu de Messines

Em síntese, de entre os metais pesados analisados nas águas superficiais, apenas se verificou a ocorrência de cádmio. Os restantes metais pesados apresentaram concentrações inferiores aos respectivos limites de detecção embora estes sejam, em alguns casos, muito elevados, não permitindo detectar a eventual presença de concentrações significativas que se situem abaixo destes limites.

A análise da concentração de hidrocarbonetos totais permite constatar a presença de valores elevados na maioria dos locais de amostragem e em datas diferentes, em especial para o período de construção, anterior portanto à entrada em funcionamento das estações de tratamento. Não é possível encontrar um padrão de comportamento tipo em relação à maior ou menor concentração nos pontos de montante e de jusante ou com a sua distância à estrada. Segundo UNL (2002c), as concentrações mais elevadas de hidrocarbonetos e sólidos suspensos totais observadas em alguns locais de amostragem poderão ter origem nas actividades associadas à obra, nomeadamente, o atravessamento das linhas de água a vau por veículos, a bombagem e a lavagem de equipamentos e veículos nas linhas de água (cf. Fig. 47). Note-se, contudo, que o posterior aparecimento de concentrações, ainda que bem menos elevadas, na fase de exploração poderá dever-se a resquícios que ficaram da fase de construção mas também se poderá dever a poluição na fase de exploração.



Fig. 47 - Fotos ilustrativas de perturbações induzidas pelas acções associadas à obra da A2 (fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

3.3.2 A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

3.3.2.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para o estudo em curso no LNEC para as EP, E.P.E..

Os relatórios acima mencionados referem uma rede de amostragem constituída por 12 pontos de amostragem (todos introduzidos na base de dados), embora a efectiva rede de amostragem utilizada para a monitorização da qualidade dos recursos hídricos superficiais deste sublanço seja constituída por apenas três pontos monitorizados durante as fases de construção e de exploração da estrada: dois localizados no ribeiro Meirinho, a montante e a jusante da estrada, e o terceiro ponto localizado na ribeira de Quarteira, a jusante da estrada. No conjunto de pontos previstos estavam, à priori, definidos oito pontos na ribeira de Quarteira, embora sete deles nunca tenham sido monitorizados por ausência de água e dois pontos na ribeira de Mouricão que foram eliminados.

A informação inserida na base de dados diz respeito aos resultados de 14 amostragens efectuadas no decorrer da construção da via (2001 a 2002) e apenas uma amostragem realizada na fase de exploração (2004), para os três pontos acima referidos (Quadro 25).

Quadro 25 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, S. Bartolomeu de Messines - VLA

Designação	Distância à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeiro Meirinho - P15 (constr.); P14 (expl.)	30	Montante	C, E
Ribeiro Meirinho - P16 (constr.); P14 (expl.)	500	Jusante	C, E
Ribeira da Quarteira – P1 (constr.); P16D (expl.)	250	Este (água parada)	C, E

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, oxidabilidade, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, nitratos, azoto amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, cobre cádmio, zinco e hidrocarbonetos totais. Embora apenas os quatro últimos parâmetros tenham a ver directamente com a poluição de estradas, foi considerado necessário analisar os restantes parâmetros por forma a despistar a ocorrência de potenciais situações de degradação da qualidade da água.

3.3.2.2 Análise dos resultados

A análise dos resultados obtidos para os três pontos de observação, atendendo a que o último ponto referido não é claro quanto à sua localização, permite observar algumas diferenças entre as amostras recolhidas no ribeiro de Meirinho, a montante e a jusante da estrada. Não obstante, essas diferenças não apresentam um padrão consistente ao longo do tempo, i.e. há amostragens em que os pontos a jusante apresentam maiores concentrações de parâmetros na água e outras em que se verifica o inverso. A Fig. 48 e a Fig. 49 apresentam exemplos do que foi dito para os valores de condutividade eléctrica e de sólidos dissolvidos totais e para os CBO5 e os sólidos suspensos totais, respectivamente.

UNL (2002c) refere que "os valores da concentração de SST foram, na maioria dos casos, mais elevados a jusante do que a montante. Embora à partida se possa pensar, sobretudo se se atender ao tipo de parâmetro em questão, que essa situação poderá de algum modo estar associada à obra de construção da rodovia, terá também de se levar em linha de conta a reduzida capacidade de transporte dessa linha de água, devido aos seus reduzidos caudais, o que colocará interrogações à validade dessa explicação".

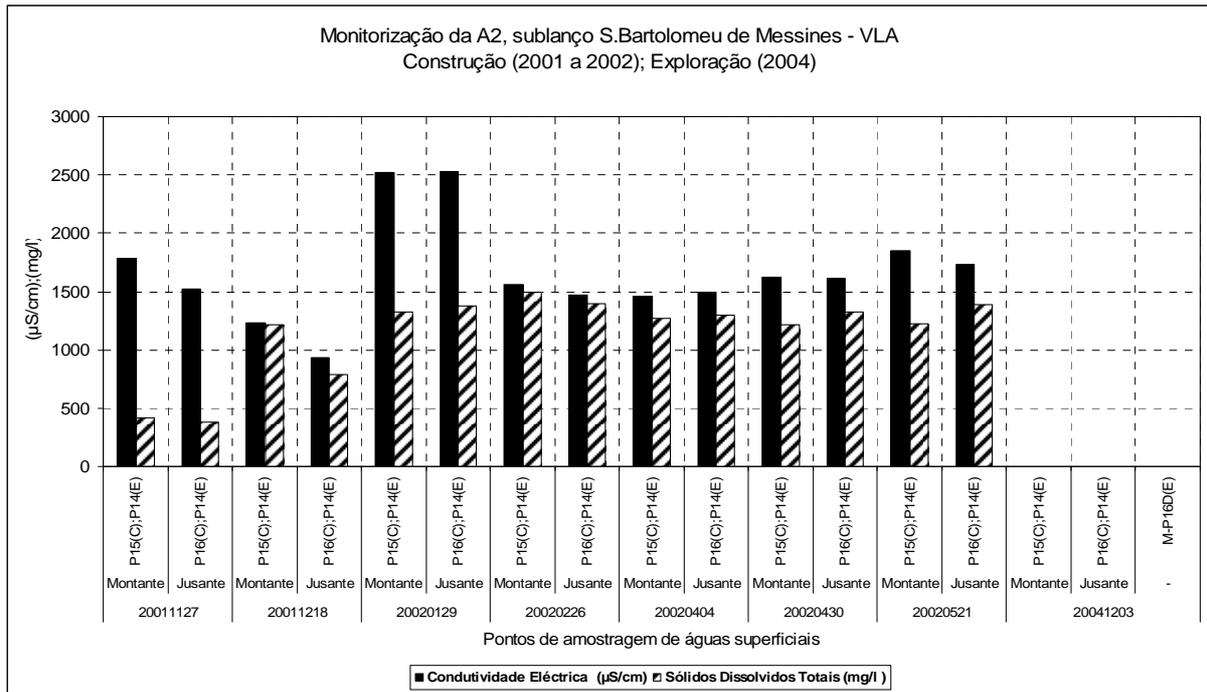


Fig. 48 - Variação da condutividade eléctrica e dos sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA

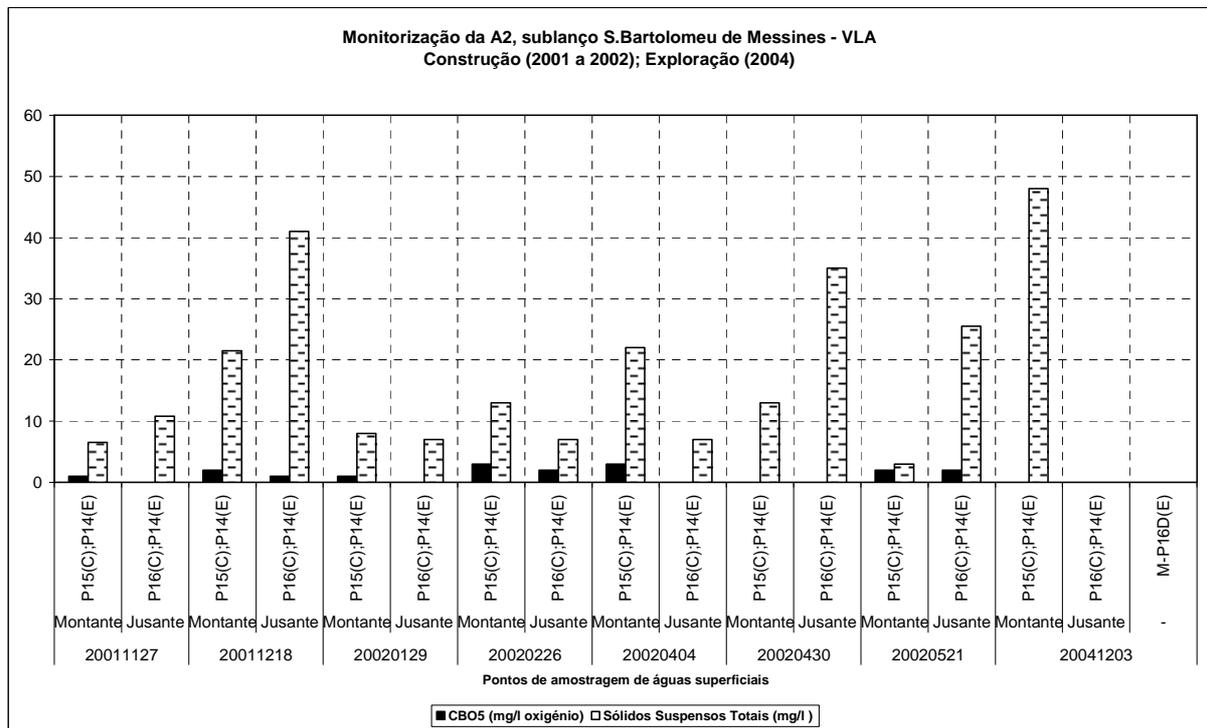


Fig. 49 - Concentração em CBO5 e sólidos suspensos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA

Em relação aos parâmetros mais directamente implicados com a poluição de estradas, foram analisados os metais pesados Cu, Cd e Zn. Os resultados analíticos para o zinco e cobre apresentam, em todas as amostras recolhidas nas 15 campanhas de monitorização, valores inferiores ao limite de detecção dos métodos analíticos utilizados pelo laboratório responsável. Chama-se, contudo e novamente, a atenção para o facto de os limites de detecção analíticos não terem sido constantes ao longo do tempo (Cu variou entre 6 e 20 µg/l e o Zn entre 2 e 100 µg/l). Relativamente às concentrações em Cd na água observaram-se em dois períodos diferentes concentrações elevadas de 7 e 8 µg/l (superiores ao VMA da Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98), valores esses que foram idênticos a montante e a jusante.

A concentração em hidrocarbonetos totais (HT) ao longo do tempo é apresentada na Fig. 50. É possível observar a presença de concentrações assinaláveis em determinados períodos, tal como observado também das águas subterrâneas junto a este troço da A2 (*cf.* Fig. 34), denotando muito possivelmente contaminação a partir da estrada, o que ocorreu no período de construção e/ou talvez também exploração. Os valores para as águas subterrâneas são muito superiores aos encontrados para as águas superficiais onde o efeito de diluição será mais pronunciado. UNL (2002c) refere que esta situação, aliás comuns a todos os troços da A2 analisados, poderia ser explicada também pelo "frequente atravessamento das linhas de água a vau por diferentes veículos, a captação de água por bombagem para uso na obra e a lavagem de equipamentos e veículos".

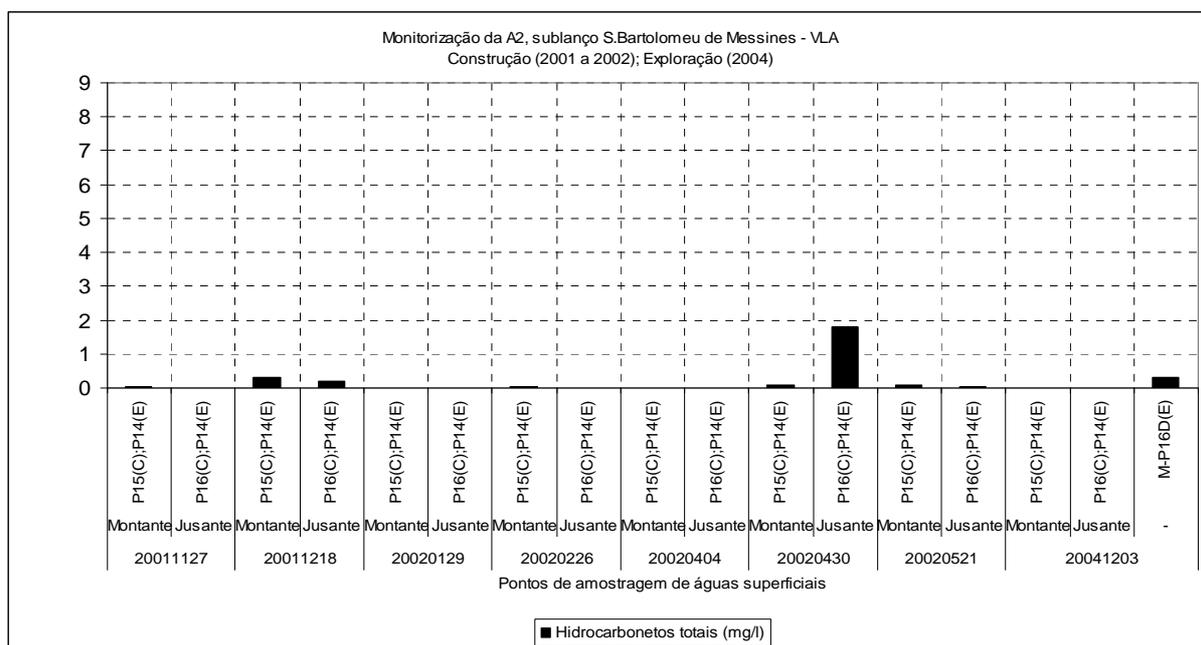


Fig. 50 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, São Bartolomeu de Messines - VLA

Em síntese, embora não seja possível estabelecer uma relação directa entre os resultados da monitorização e as variações de qualidade da água, é provável que as concentrações mais

elevadas de hidrocarbonetos e de sólidos suspensos totais observadas tenham origem em perturbações induzidas pelas acções associadas à obra (atravessamento e a lavagem de equipamentos e veículos nas linhas de água, Fig. 47) bem como várias outras hipóteses já sugeridas na secção 3.2.2.3.

Em relação aos metais pesados Cu, Cd e Zn, apenas o Cd apresenta concentrações de 7 e 8 µg/l, portanto acima do limite de detecção e do VMA. Os resultados analíticos para o zinco e cobre apresentam valores inferiores ao limite de detecção do método analítico nas 15 campanhas de monitorização.

A baixa representatividade de muitas das amostras devido às condições de reduzido ou mesmo nulo caudal é um aspecto que condiciona em parte as conclusões acima expostas. Importa continuar o programa de monitorização para avaliar a evolução desta situação.

3.3.3 A2, Castro Verde - Almodôvar

3.3.3.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada nos relatórios da UNL (2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b) e COBA (2005a, 2005b). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para o estudo em curso no LNEC para as EP, E.P.E..

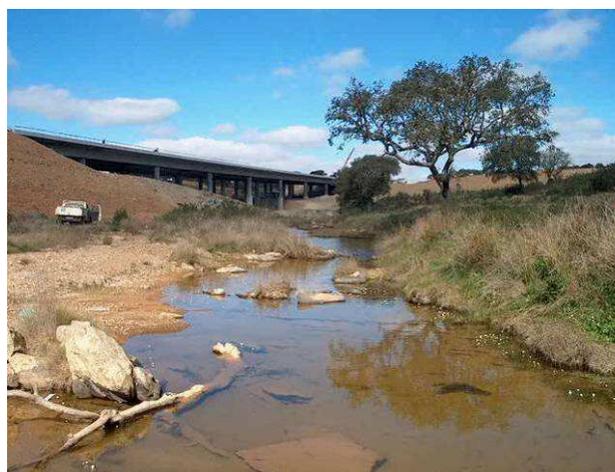
Os relatórios acima mencionados referem uma rede de amostragem constituída por 12 pontos de amostragem, apenas quatro deles coincidentes nas duas fases de construção e de exploração, tal como vem apresentado no Quadro 26.

Quadro 26 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

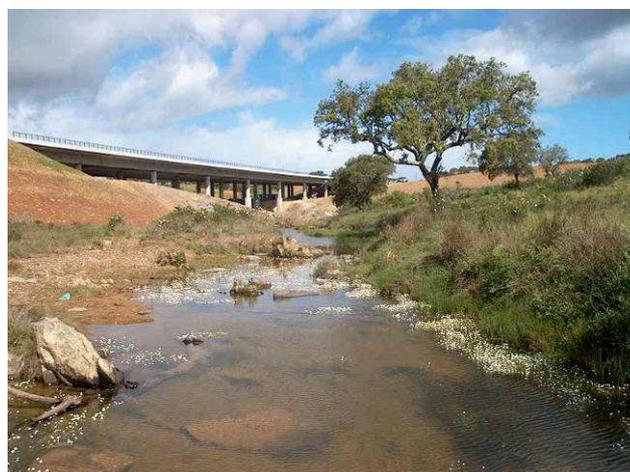
Designação	Distância aproximada à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira de Mora - P1 (construção); P4 (exploração)	50	Montante	C, E
Ribeira de Mora - P2 (construção)	75	Jusante	C, E
Rio Mira - P3 (construção); P5 (exploração)	50	Montante	C, E
Rio Mira - P4 (construção); P5 (exploração)	75	Jusante	C, E
Ribeira de Zambujeira/M - P1 (exploração)	800	Montante	E
Ribeira de Zambujeira/J - P1 (exploração)	800	Jusante	E
Ribeira de Touris/M - P2 (exploração)	450	Montante	E
Ribeira de Touris/J - P2 (exploração)	450	Jusante	E
Ribeira de Perna Seca/M - P3 (exploração)	500	Montante	E
Ribeira de Perna Seca/J - P3 (exploração)	500	Jusante	E
Barranco do Cadavaio/M - P6 (exploração)	750	Montante	E
Barranco do Cadavaio/J - P6 (exploração)	750	Jusante	E

No decurso da construção da via recolheram-se 34 amostras em quatro locais de amostragem situados a montante e a jusante da Ribeira de Mora e do Rio Mira. Na fase de exploração, recolheram-se mais 10 amostras a montante e a jusante de cinco locais, amostras essas recolhidas numa mesma campanha de amostragem.

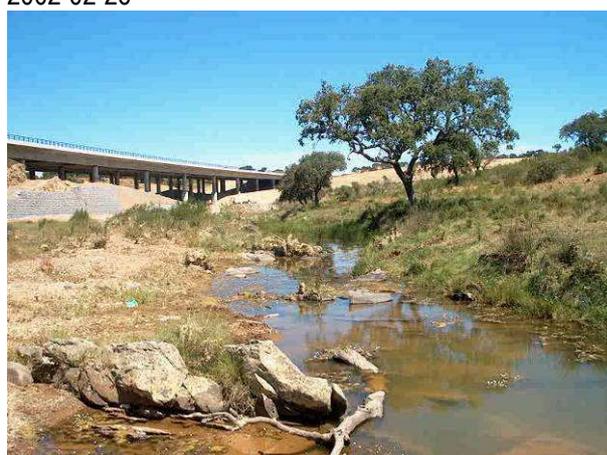
Importa referir que as equipas responsáveis pela monitorização referem a baixa representatividade de muitas das amostragens, com muitos casos em que as amostras foram recolhidas em pequenas depressões, devido ao reduzido ou mesmo nulo caudal (*cf.* Fig. 51), não correspondendo a verdadeiras condições de escoamento superficial (UNL, 2002a), bem como o facto de se tratarem de anos hidrológicos atípicos, em condições de seca o que, por um lado favorece a concentração de poluentes, mas por outro não proporciona a lavagem do pavimento (COBA, 2005a).



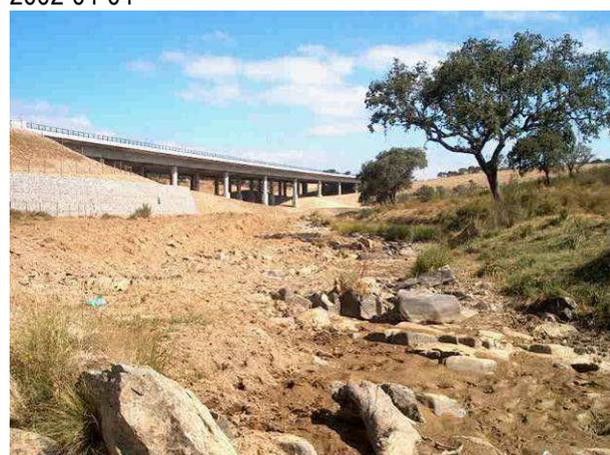
2002-02-26



2002-04-04



2002-05-20



2002-06-24

Fig. 51 - Ribeira de Mora, a montante, em diversos períodos de amostragem durante a construção (fotos gentilmente cedidas pela UNL/FCT/DCEA)

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, oxidabilidade, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, nitratos, azoto amoniacal, ortofosfatos, fósforo total, cobre, cádmio, zinco e hidrocarbonetos totais.

3.3.3.2 Análise dos resultados

As amostragens de água foram realizadas por equipas diferentes no período de construção e de exploração, pelo que os parâmetros analisados nem sempre foram os mesmos, aspecto que dificulta uma análise da sua evolução. Os parâmetros coincidentes foram as medições de campo (T, pH, SST, SDT, oxigénio dissolvido), os metais pesados (Cd, Cu, Zn) e os hidrocarbonetos totais.

A Fig. 52 apresenta uma projecção dos valores de condutividade eléctrica medidos nas águas superficiais amostradas durante a fase de construção, na ribeira de Mora e no rio Mira, onde é possível observar maiores valores de condutividade nas amostras de jusante relativamente às de montante. De forma consistente, na Fig. 53 também é possível observar concentrações em SDT nas águas da ribeira de Mora recolhidas a jusante, mas o mesmo já não é evidenciado em algumas das amostras recolhidas no rio Mira.

Em relação à presença de metais pesados durante a construção da via, registaram-se concentrações em cádmio em 7 amostras de águas amostradas tanto a montante como a jusante, em dois períodos de amostragem distintos, cujos valores variaram entre 4 a 7 µg/l (cf. Fig. 54). Nas restantes amostras as concentrações em Cd estavam abaixo do limite de detecção. As concentrações em zinco e cobre apresentaram valores inferiores ao limite de detecção do método analítico em todas as amostras analisadas. Tal como para o caso do troço de São Bartolomeu de Messines – VLA, chama-se, também, a atenção para o facto de os limites de detecção analíticos não terem sido constantes ao longo do tempo (Cu variou entre 6 e 20 µg/l e o Zn entre 2 e 100 µg/l).

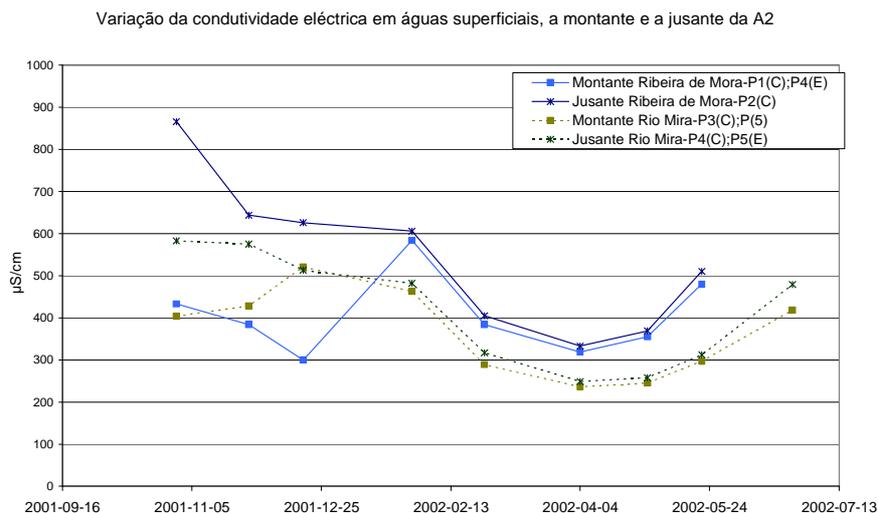


Fig. 52 - Variação da condutividade eléctrica em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde – Almodôvar

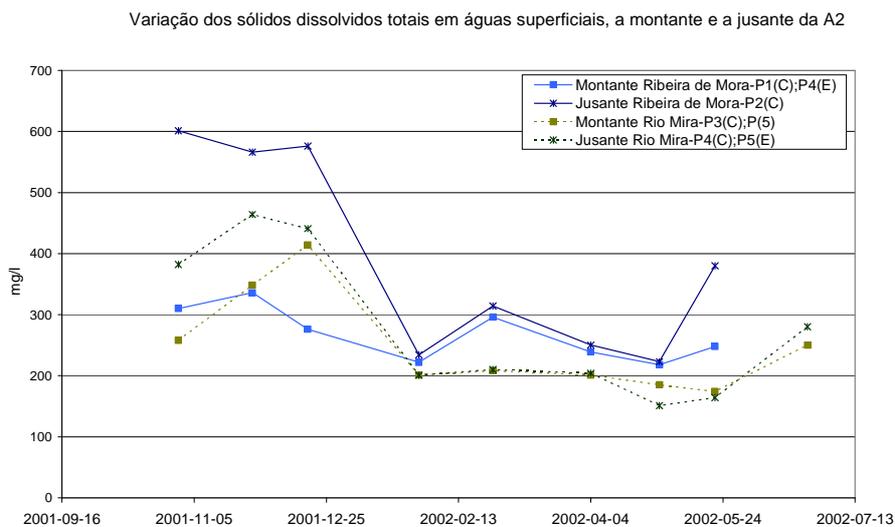


Fig. 53 - Concentração em sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

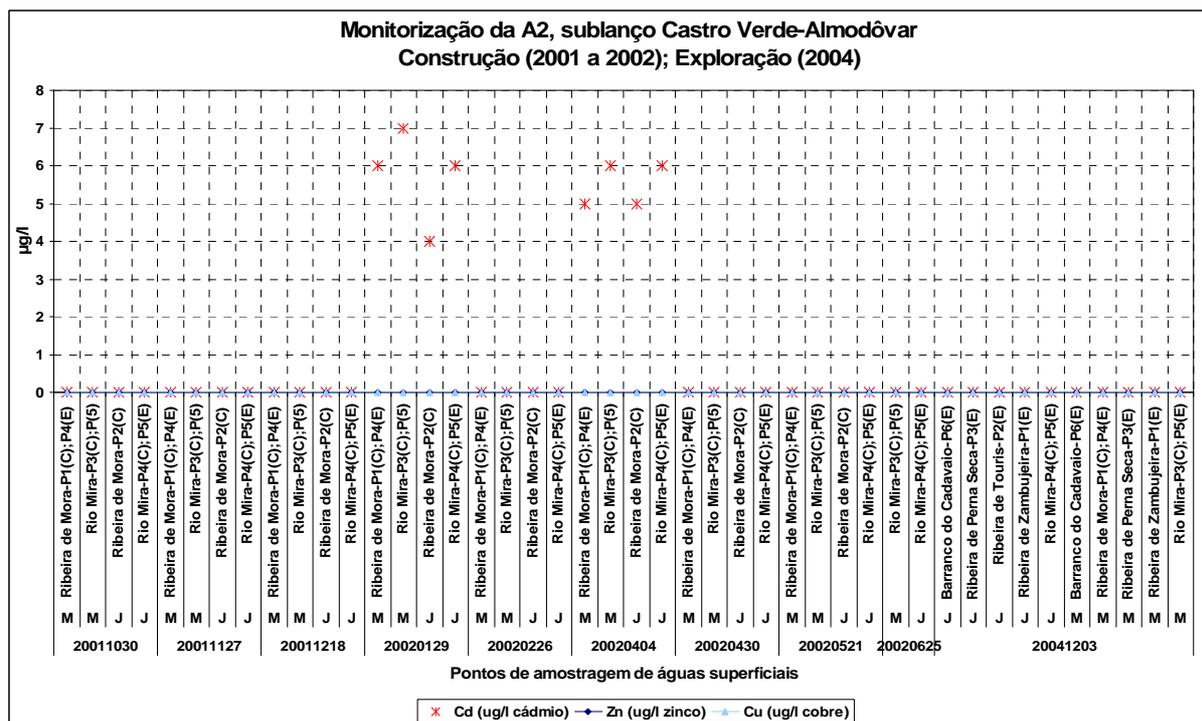


Fig. 54 - Concentração em Cd, Zn e Cu em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

Finalmente em relação à presença de hidrocarbonetos totais é clara a ocorrência de concentrações elevadas, tanto no período de construção como no de exploração (Fig. 55), em mais do que um local. Esta informação é consistente com o verificado para outros sublanços da A2 analisados neste relatório e com o aparecimento de HT nas águas subterrâneas.

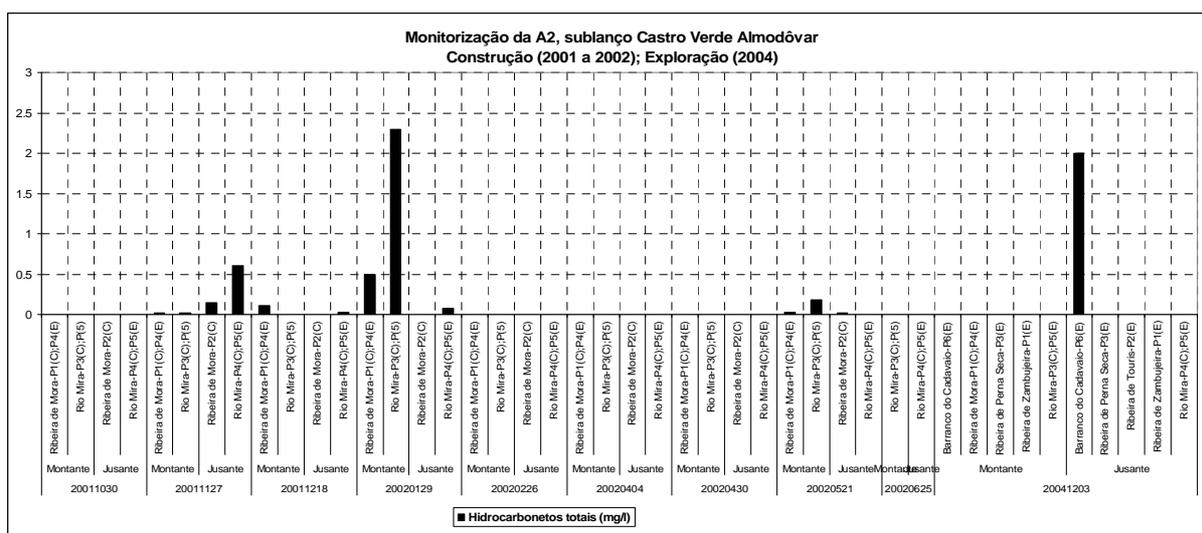


Fig. 55 - Concentração em hidrocarbonetos totais em amostras de águas superficiais recolhidas junto à A2, Castro Verde - Almodôvar

Em síntese, em termos de análise global dos resultados é provável que as concentrações mais elevadas de hidrocarbonetos tenham origem em perturbações induzidas pelas acções associadas à obra (atravessamento e a lavagem de equipamentos e veículos nas linhas de água, *cf.* Fig. 47) em todos os troços da A2 analisados.

Em relação à presença de metais pesados na água, apenas se registaram concentrações em Cd, durante a construção da via, em dois períodos de amostragem distintos. As concentrações em zinco e cobre apresentaram valores inferiores ao limite de detecção do método analítico em todas as amostras analisadas.

As condições pouco representativas das amostras recolhidas referidas pelos autores dos trabalhos analisados e a falta de dados sobre as águas de escorrência até 2005 não permitem que haja conclusões mais específicas, nomeadamente sobre a eficácia das medidas de minimização implementadas.

3.3.4 A6, Nó de Borba

3.3.4.1 Informação analisada

A informação existente sobre esta área que se reporta é relativa ao estudo que o LNEC executou para o Instituto da Água, publicada em Leitão *et al.* (2005). Nesse estudo procurou-se analisar o efeito das águas de escorrência da A6 na qualidade do meio hídrico superficial envolvente, num local o mais próximo possível da bacia de pré-tratamento estudada (Fig. 35 e Fig. 56). Conforme é possível analisar na planta do local, as águas de escorrência da A6, além de serem em parte directamente drenadas para a referida bacia, são também canalizadas para um conjunto de PH envolvendo o nó de Borba. As referidas PH recebem assim a contribuição das águas de escorrência da A6, da água proveniente da praça da portagem e, também, da água dos terrenos envolventes (*cf.* Fig. 56). As análises efectuadas permitem caracterizar a qualidade das águas de uma das PH e, com isso, a sua contribuição em termos de qualidade para o meio hídrico receptor localizado a jusante.

Efectuou-se a recolha de amostras em três dois pontos distintos (*cf.* Fig. 56): à saída da PH (R12C.2), e cerca de 10 m a montante e 10 m a jusante daquele ponto. A amostragem de águas foi efectuada no mês de Fevereiro de 2004, no único período do mês em que se registou escoamento superficial.

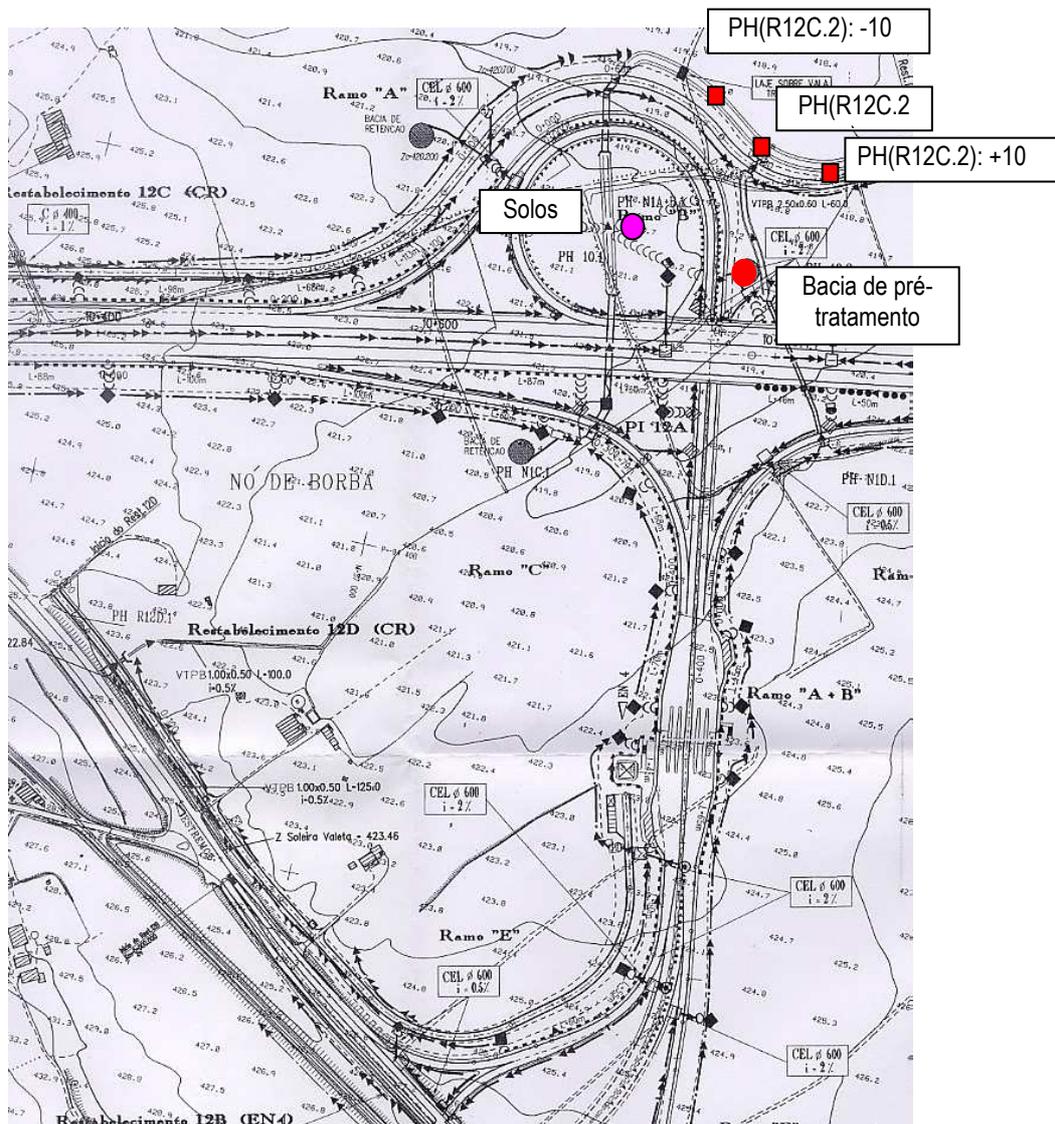


Fig. 56 - Localização dos pontos de amostragem de água, de solos e da bacia junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Os parâmetros analisados para a qualidade da água foram os seguintes: temperatura, pH, potencial redox, condutividade eléctrica, sólidos suspensos totais, óleos e gorduras, cobre, cádmio, chumbo, zinco, ferro total e HAP.

3.3.4.2 Análise dos resultados

Na região em apreço não existem cursos de água de dimensões assinaláveis devido aos rápidos processos de infiltração das águas pluviais para o meio cársico subjacente. Apenas se regista a presença de caudais efémeros nas horas seguintes a eventos de precipitação intensos. A recolha de água superficial foi efectuada numa linha de água que recebe contribuição das águas de escorrência da A6, da água proveniente da praça da portagem e, também, da água dos terrenos envolventes. Esta análise não permite aferir directamente a

eficácia da bacia de infiltração implantada no local, uma vez que esta só descarrega para a PH em situações esporádicas que se desconhece se terão alguma vez ocorrido.

Os resultados obtidos permitem verificar que se tratam de águas pouco mineralizadas, o que, de alguma forma, reflecte a sua recente origem através da água da precipitação. Assim, os valores de condutividade eléctrica são relativamente baixos, com valores entre 92 e 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O pH é neutro a básico. Observa-se que a quantidade de sólidos suspensos totais é elevada, facto aliás que era possível observar durante a recolha de amostras. Regista-se a ausência de HAP.

Em relação aos resultados obtidos para a concentração em metais pesados nas águas amostradas, apresenta-se na Fig. 57 uma projecção dos resultados obtidos em Leitão *et al.* (2005).

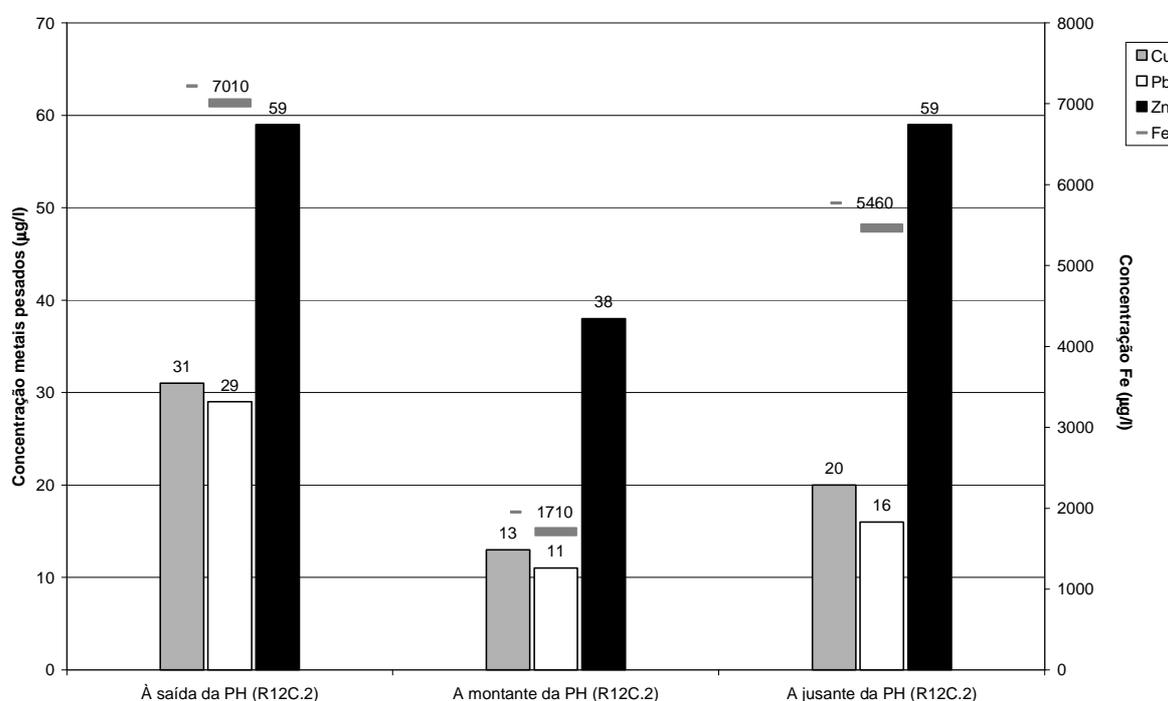


Fig. 57 - Concentração em Cu, Pb, Zn, e Fe na linha de água junto à A6, nó de Borba (Leitão *et al.*, 2005)

Em síntese, os resultados obtidos evidenciam a contribuição dos poluentes provenientes das águas de escorrência da estrada na qualidade da água da PH R 12C.2 (*cf.* Fig. 57). Observa-se que, para todos os metais à excepção do Zn, a água de jusante apresenta uma qualidade que comprova ser resultante da mistura entre as outras duas águas, embora não haja registos dos caudais à saída da PH e da água a montante que permitam aferir a percentagem de contribuição de cada um.

Os resultados obtidos permitem fornecer uma ideia da contribuição das águas de

escorrência sem tratamento para as linhas de água de jusante naquela área. A análise dos efeitos continuados desta contribuição implicaria a recolha de amostras de água em diversos períodos e para diversos eventos de precipitação. Esta análise não permite aferir directamente a eficácia da bacia de infiltração implantada no local, uma vez que esta só descarrega para a PH em situações esporádicas que se desconhece se terão alguma vez ocorrido.

3.3.5 A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos

3.3.5.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada nos relatórios da Tecninvest (2001) e COBA (2005). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para o estudo em curso no LNEC para as EP, E.P.E..

A rede de amostragem inclui 11 locais situados a montante e a jusante de cinco linhas de água que se desenvolvem na envolvente ao traçado da via (Quadro 27 e Fig. 58). Havia outros dois locais assinalados na Fig. 58 como 2M2 e 4M2 que nunca chegaram a ter água durante o período de monitorização. Introduziram-se 105 registos correspondentes a 3 campanhas de monitorização que decorreram entre Março e Outubro de 2004, com periodicidade trimestral, durante a fase de exploração. Os elementos analisados foram apenas cinco: Cd, Cu, Zn, hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados e sólidos suspensos totais.

Quadro 27 - Localização dos pontos de água superficial da rede de amostragem na fase de exploração no troço da A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos

Designação	Distância aproximada à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Ribeira da A-dos-Potes - 1J	350	Jusante	E
Ribeira A-do-Potes - 1M	350	Montante	E
Ribeira da Laje - 5J	200	Jusante	E
Ribeira da Laje - 5M	1000	Montante	E
Ribeira da Quinta Nova - 2J	850	Jusante	E
Ribeira da Quinta Nova - 2M1	< 100	Montante	E
Ribeira do Loreiro - 3J	750	Jusante	E
Ribeira do Loreiro - 3M1	< 100	Montante	E
Ribeira do Loreiro - 3M2	< 100	Montante	E
Rio das Silveiras - 4J	1050	Jusante	E
Rio das Silveiras - 4M1	< 100	Montante	E

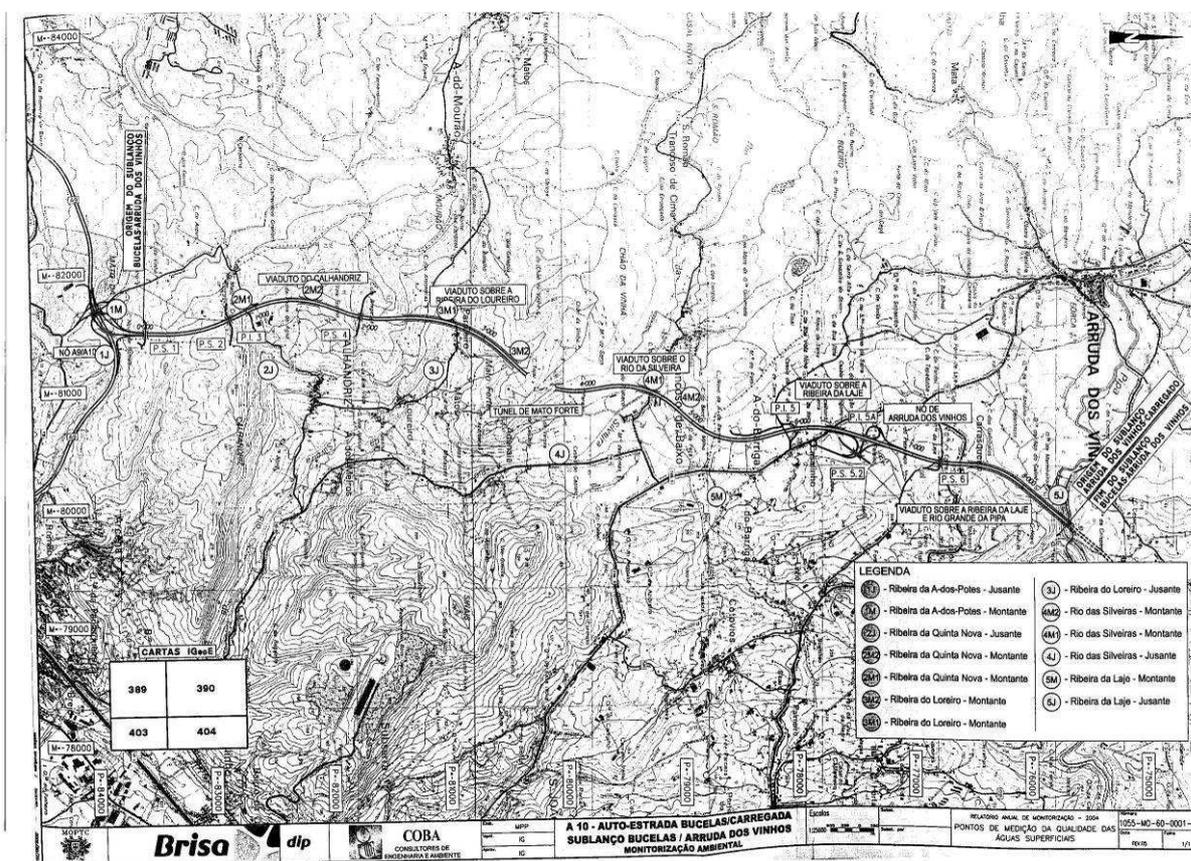


Fig. 58 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto à A10, Bucelas - Arruda dos Vinhos (COBA, 2005)

3.3.5.2 Análise dos resultados

Os resultados obtidos nas três campanhas realizadas em 2004 permitem observar que os hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados e os metais pesados apresentam valores inferiores ao limite de deteção do método utilizado, à excepção do zinco que apresenta três valores iguais ao próprio limite. Uma vez mais, os limites de deteção analíticos foram relativamente elevados para os metais ($Cd = 4 \mu\text{g/l}$; $Cu = 20 \mu\text{g/l}$ e o $Zn = 100 \mu\text{g/l}$).

Em relação aos sólidos suspensos totais os valores oscilaram entre 2 e 29 mg/l, com uma mediana de 5 mg/l. São valores que se podem considerar muito baixos.

Em síntese, os resultados obtidos ao fim de três campanhas de amostragem realizadas no mesmo ano de 2004, um ano hidrológico particularmente seco e o primeiro ano de exploração da estrada, não evidenciam a afectação da qualidade das águas superficiais pela estrada, embora os limites de deteção utilizados sejam relativamente elevados.

3.3.6 A22/IC4, Alcantarilha - Guia

3.3.6.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada no relatório da Sociedade Concessionária da SCUT do Algarve – Euroscut, tendo sido elaborado por Santos *et al.* (2004). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para o estudo em curso.

A rede de amostragem inclui dois pontos situados ao km 41,942 da A22/IC4, localizados na ribeira de Espiche (Fig. 59), a montante e a jusante do atravessamento da via e nas imediações do viaduto designado por V15 em Santos *et al.* (2004).



Fig. 59 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial na A22/IC4, Alcantarilha - Guia (adaptado de EuroScut/EAHS/UAlg, 2004)

Introduziram-se na base de dados, os resultados das duas amostras recolhidas na campanha de monitorização que decorreu no dia 9 de Dezembro de 2003, durante a fase de exploração. Os parâmetros analisados foram os seguintes: temperatura, pH, CQO, CBO5, sólidos suspensos totais, cobre, zinco, cádmio, chumbo e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

3.3.6.2 Análise dos resultados

As concentrações dos parâmetros ligados à poluição de estradas apresentaram, para as duas amostras, valores inferiores ao limite de detecção dos métodos utilizados pelo laboratório responsável. Os limites de detecção definidos foram os seguintes: < 50 µg/l, < 20 µg/l, < 1 µg/l, < 3 µg/l e < 2.9 µg/l, para o cobre, zinco, cádmio, chumbo e HAP, respectivamente. Salienta-se

que o limite de detecção do Cu é elevado, i.e. igual ao VMA da Classe A1 do Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 que regula a qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano.

Em síntese, os dados existentes incluem apenas os resultados de uma amostragem realizada no decurso da exploração da estrada, num local a montante e outro a jusante da via. Nessas condições os valores medidos foram baixos e não foram detectadas quaisquer alterações significativas da qualidade da água. Esta escassa informação não permite avaliar a eficácia das medidas de minimização adoptadas para aquele troço.

3.3.7 A23/IP2, Ligação à Covilhã

3.3.7.1 Informação analisada

A informação analisada resulta de duas campanhas de monitorização efectuadas no âmbito do Plano de Monitorização Ambiental da A23/IP2 (Albuquerque e Carvalho, 2005a e 2005b, *in* Albuquerque, 2006) que foram posteriormente objecto de um trabalho desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado apresentada no Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior (Albuquerque, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006).

Apenas foi amostrado um ponto de águas superficiais, localizado no rio Corges, onde foram analisados os seguintes parâmetros nas duas campanhas: pH, temperatura, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, carência química de oxigénio, amónia, nitratos, cobre, crómio, zinco e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

3.3.7.2 Análise dos resultados

Os escassos resultados de monitorização existentes reportam-se apenas a um período inicial da exploração da estrada. Nessas condições os valores medidos foram baixos e não foram detectadas quaisquer alterações significativas da qualidade da água. Importa, pois, que se prossiga a monitorização para avaliar a evolução da qualidade ao longo de um período de tempo de exploração da estrada que seja mais significativo.

3.3.8 A24/IP3, Vila Real - Régua (IP4)

3.3.8.1 Informação analisada

A informação analisada para este troço foi a disponibilizada pela EP, E.P.E. e encontra-se publicada no relatório NORINTER/EGI Ambiente (2004). Essa informação foi inserida na Base de Dados MIA.mdb construída para o estudo em curso no LNEC para as EP, E.P.E..

Os dados dizem respeito a quatro pontos de água amostrados na fase de construção e de exploração (Fig. 60 e Quadro 28). Os dados correspondem a 3 campanhas de monitorização que decorreram entre Janeiro de 2001 e Setembro de 2003. Os parâmetros analisados foram: caudal, temperatura de campo, pH, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, CQO, CBO5, hidrocarbonetos totais, cádmio, cobre, chumbo e zinco.

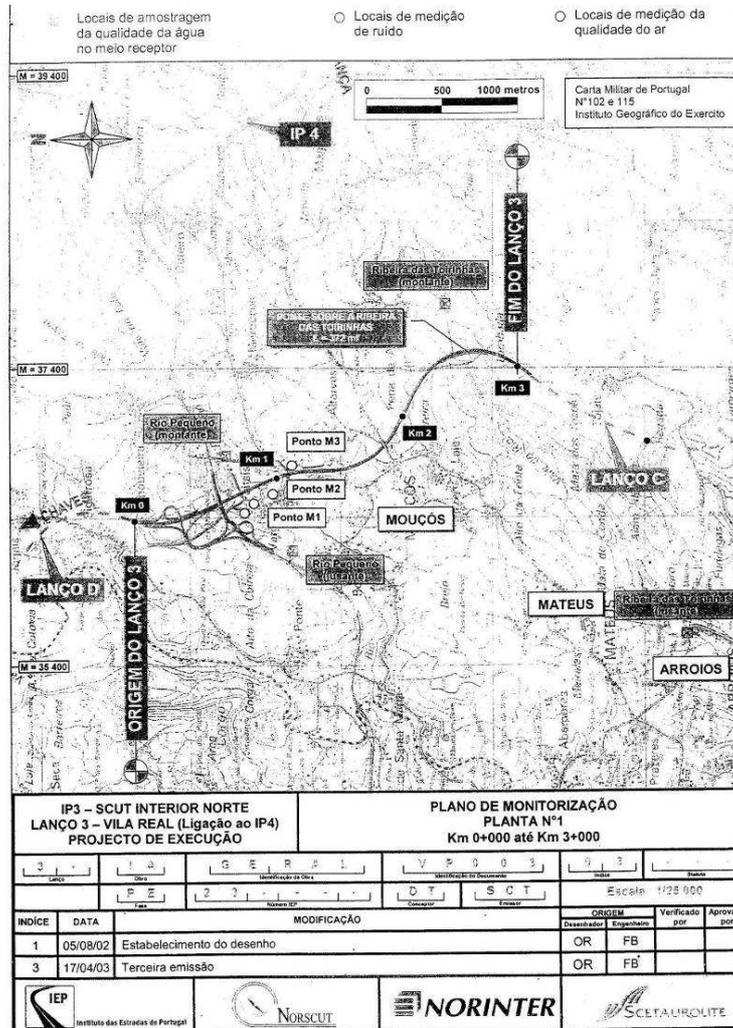


Fig. 60 - Localização dos pontos de monitorização de água superficial junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua (NORINTER / EGI Ambiente, 2004)

Quadro 28 - Características dos pontos de água superficial amostrados junto ao A24/IP3, Vila Real - Régua

Designação	Distância aproximada à estrada (m)	Posição relativa à estrada	Fase analisada
Rio Pequeno - P6	250	Montante	C, E
Rio Pequeno - P7	500	Jusante	C, E
Ribeira das Toirinhas - P8	325	Montante	C, E
Ribeira das Toirinhas - P9	1250	Jusante	C, E

3.3.8.2 Análise dos resultados

Do conjunto de parâmetros analisados começam por se apresentar os resultados directamente relacionados com a poluição de estradas, i.e. cádmio, cobre, chumbo, zinco e hidrocarbonetos totais.

Em relação às concentrações em metais pesados na água, observa-se que nas duas primeiras campanhas apenas foi encontrado cobre numa amostra, tal como pode ser observado na Fig. 61. Todos os restantes metais se encontravam abaixo dos respectivos limites de detecção. O cobre voltou a surgir acima dos limites de detecção usados (5 e 10 µg/l) em mais uma amostra de água, das restantes 12 análises efectuadas. De salientar que uma das análises em que se detectou Cu, o seu valor (7 µg/l) era inferior ao limite de detecção usado nalgumas outras campanhas (10 µg/l).

Relativamente à concentração em Cd, os valores encontraram-se quase sempre abaixo do limite de detecção (0,5 µg/l) excepto em duas amostras (P9 e P6, *cf.* Fig. 61) com concentrações de 1 µg/l, correspondentes a águas recolhidas em 2003-09-11, que se localizam a montante e a jusante do A24/IP3.

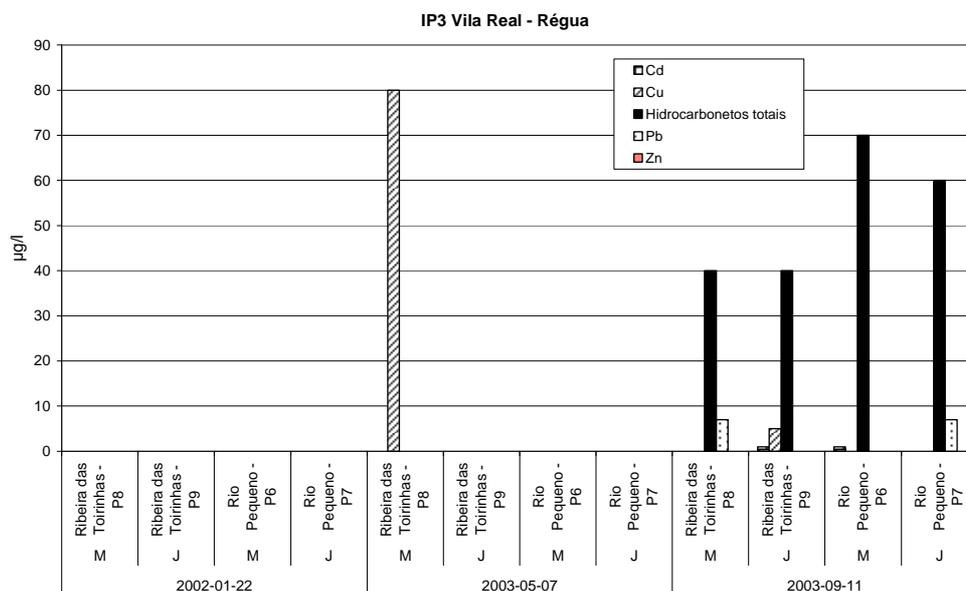


Fig. 61 - Concentração em hidrocarbonetos totais e em metais pesados em amostras de águas superficiais recolhidas junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua

A concentração em chumbo encontrou-se abaixo dos limites de detecção (1 e 5 µg/l) para as amostras recolhidas nas duas primeiras campanhas e igual a 7 µg/l em dois pontos da última campanha, a montante e a jusante da estrada.

Não foi detectada a presença de zinco em concentrações superiores aos limites de detecção utilizados (5 e 10 µg/l).

A concentração em hidrocarbonetos totais foi inferior ao limite de detecção usado para todas as amostras dos dois primeiros períodos de amostragem, embora para um limite de detecção muito elevado (< 10 mg/l ou < 30 mg/l!) que não permite detectar uma eventual poluição abaixo daquele valor. Não obstante, nas quatro amostras recolhidas tanto a montante como a jusante da estrada, a 11 de Setembro de 2003, observaram-se elevadas concentrações em hidrocarbonetos, com valores entre 40 e 70 mg/l.

Em síntese, a análise da Fig. 61 e os comentários anteriormente referidos permitem concluir ter havido um período (Setembro de 2003) onde se detectaram concentrações significativas de vários parâmetros, tanto a montante como a jusante do A24/IP3, embora para os metais pesados os valores tenham sido muito baixos (abaixo do VMR, quando existe e abaixo dos limites de detecção usados em muitos dos troços analisados neste texto). De referir que esses valores foram registados num período de baixo caudal (cf. Fig. 62), onde os processos de diluição são menos pronunciados.

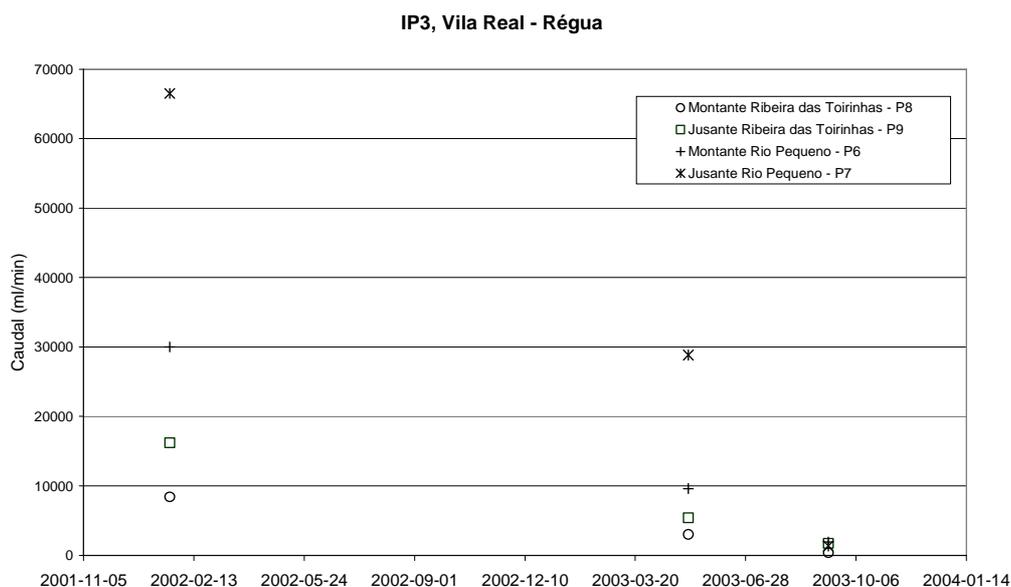


Fig. 62 - Caudal nas águas superficiais medido junto ao A24/IP3, Vila Real – Régua

A presença de concentrações em HT nas águas de superfície amostradas a montante e a jusante da via poderão ter uma eventual origem na estrada mas também em outras fontes de poluição. Contudo, o curto período de monitorização não permite ser conclusivo quanto à confirmação dessa poluição nem à sua possível origem de poluição e menos ainda avaliar a eficácia da bacia multifuncional. Para esse efeito, importa continuar a monitorização por um período mais alongado no tempo e em várias épocas do ano.

3.4 Síntese e conclusões da avaliação efectuada aos programas de monitorização de recursos hídricos e solos

Esta secção apresenta a síntese e as conclusões apenas sobre a análise dos programas de monitorização de recursos hídricos e de solos, correspondendo à súmula anunciada para o final de cada um dos temas tratados. A síntese e conclusões das outras componentes do estudo são apresentadas nas secções 2.5, 4.4 e 5.5.

A importância da poluição de estradas nos recursos hídricos é uma temática que tem sido objecto de vários estudos na Europa e Estados Unidos da América nas últimas décadas, e em Portugal desde a década de 90. Os diferentes estudos permitiram obter e analisar informação sobre emissões e processos de dispersão de poluentes provenientes da estrada, tendo sido identificada a sua importância relativamente a outro tipo de poluições bem como os processos mais adequados à sua minimização, através de diversos casos de estudo.

Apesar do reconhecimento da existência de poluição de estradas, medida nas suas águas de escorrência, em muitos casos a influência dessa poluição nos meios hídricos não pode ser inequivocamente atribuída àquela origem e há situações em que a presença de poluentes não é evidenciada nos meios hídricos. De facto, na grande maioria das situações há várias outras fontes próximas da estrada que poderão estar na origem da poluição encontrada.

Em relação à presença de poluentes nos meios hídricos, há que ter em conta que o seu aparecimento nos pontos monitorizados depende da distância a que se encontram da origem e da dinâmica de escoamento e de transporte desse meio. É sabido que os meios hídricos superficiais têm uma maior dinâmica que a maioria dos meios hídricos subterrâneos pelo que são mais vulneráveis mas, por outro lado, também é mais fácil a poluição ser removida em fases posteriores. Por outro lado, o meio receptor das águas de escorrência, solos e águas, tem uma capacidade natural de remoção de poluentes (até eventualmente atingir um ponto de saturação) que é muito variável de meio para meio e que constitui uma primeira barreira à dispersão de poluentes. Uma vez ultrapassada essa capacidade, os poluentes são transportados em dissolução para os meios hídricos superficiais e subterrâneos mas todo este processo de transporte até ao ponto de monitorização geralmente não ocorre nos primeiros anos de funcionamento de uma estrada, pelo que importa ter dados de monitorização por prolongados períodos de tempo.

Em Portugal, e atendendo aos casos analisados neste relatório, observa-se a contribuição potencial de outras fontes de poluição nos locais de recolha de dados onde foi detectada poluição e regista-se que muitos dos programas de monitorização são realizados com infra-estruturas desadequadas (p.e. furos captando a profundidades muito elevadas e/ou longe da estrada; equipamento do furo em liga metálica, etc.). Acresce que os poucos resultados que existem não abrangem, em muitos casos, as duas fases - de construção e de exploração - e, ainda, muitas das análises químicas da água são efectuadas utilizando limites de detecção de parâmetros demasiado elevados, inviabilizando a detecção de eventuais elementos presentes

em concentrações apreciáveis. Por este motivo, torna-se imperioso que os programas de monitorização sejam adequados e que, sempre que possível, funcionem durante os períodos de construção e de exploração, para que essa monitorização a longo prazo permita ser conclusiva sobre os potenciais efeitos da poluição de estradas nos recursos hídricos.

Por outro lado, é fundamental manter uma gestão adequada das infra-estruturas de minimização da poluição de águas de escorrência de estradas construídas ou futuras. Esta premência deve-se ao facto de poder haver uma inversão dos objectivos para que foram projectadas as medidas de minimização, i.e. poder passar a haver uma concentração de poluentes susceptíveis de serem libertados para os meios hídricos envolventes, caso os processos de retenção, tratamento, ou mesmo infiltração para que foram concebidos não estejam a desempenhar adequadamente a sua função.

Capítulo 4: Minimização e monitorização do ruído

*Sónia Monteiro Antunes
Jorge V. Patrício*

4.1 Metodologia adoptada e estradas analisadas

Este capítulo é dedicado à avaliação da eficácia das medidas de minimização de impactes ambientais na componente acústica do ambiente, efectuada a partir de uma recolha da informação relativa a medidas de minimização de impactes ambientais e respectivos programas de monitorização, existente nos arquivos da EP, E.P.E, efectuada em 2006. Foi realizada uma análise sistemática da informação consultada, tendo os aspectos mais importantes sido introduzidos na Base de Dados MIA.mdb.

No 2.º relatório do presente estudo (Leitão *et al.*, 2006) foi apresentado um quadro síntese com os dados consultados. Nesta fase, e com base na informação recolhida, realizaram-se algumas visitas de campo, as quais eram usualmente antecedidas de reuniões com as concessionárias. No Quadro 29 apresenta-se a calendarização das visitas realizadas.

Quadro 29 - Calendarização das visitas de campo efectuadas

Estrada e lanço	Data da visita
A24/IP3 Vila Real-Régua (IP4)/Falperra-Pedras Salgadas, Pedras Salgadas-EN103 e EN103 - Chaves (Fronteira)	Junho de 2007
A27/IP9 Nogueira-Estorãos e Estorãos-Ponte de Lima	Setembro de 2007
A7 Calvos- Fafe Sul/ Fafe-Ribeira da Pena/ Ribeira da Pena- Vila Pouca de Aguiar	Junho de 2007
A11 Braga – Guimarães, Felgueiras, Lousada	Junho de 2007
A22/IC4 Guia-Alcantarilha – Lagoa-Lagos	Setembro de 2007

As visitas foram usualmente documentadas com fotos, e, sempre que possível, realizaram-se medições de níveis sonoros, de modo a determinar a perda por inserção de barreiras, ou a estabelecer a eficácia acústica de pavimentos. Neste último caso, para a realização de ensaios em diferentes tipos de pavimentos, recorreu-se a um modelo único de veículo ligeiro (marca Ford Focus). Por questões circunstanciais, optou-se por apresentar os resultados das medições efectuadas em relatório a elaborar proximamente, em conjunto com directrizes para o estabelecimento de programas de monitorização.

O Quadro 30 apresenta as estradas para as quais se consultaram os projectos de execução de medidas de minimização do ruído, e que foram objecto de visitas durante esta fase.

Quadro 30 - Estradas com projecto de medidas de minimização do ruído, objecto de visitas de avaliação

Estrada	Troço da estrada	Tipo de medida
A11	Calvos Vizela - Vizela Felgueiras	Camada de desgaste: Betão betuminoso drenante
	Felgueiras Lousada	Barreira acústica artificial
A24/IP3	IP4 - Fortunho	Barreira acústica natural
		Barreira acústica artificial
		Camada de desgaste: Micro betão betuminoso
	Fortunho - Falperra	Camada de desgaste: Micro betão betuminoso
A27/IP9	Pedras Salgadas - EN103	Barreira acústica artificial
		Barreira acústica natural
		Camada de desgaste: Micro betão betuminoso
A22/IC4	EN103 - Chaves (Fronteira)	Barreira acústica natural
		Nogueira - Estorãos
A27/IP9	Estorãos - Ponte de Lima	Barreira Acústica artificial
		Lagos - Lagoa

Na primeira parte deste capítulo, apresenta-se uma síntese sobre experiências efectuadas em diferentes países europeus para os quais as medidas de minimização de ruído utilizadas em auto-estradas são mais avançadas. Estas medidas de minimização são constituídas essencialmente por pavimentos com características absorventes sonoras e por barreiras acústicas.

Na segunda parte deste capítulo apresenta-se uma síntese metodológica relativa à avaliação da eficácia das medidas de minimização de ruído, resultante da análise sistemática da informação consultada e das visitas efectuadas.

De seguida é efectuada uma síntese dos programas de monitorização consultados. Relativamente a este último tema, referem-se dois aspectos importantes. O primeiro diz respeito ao número limitado de programas de monitorização consultados, pois somente a A1, a A2 e a A22 apresentavam relatórios ou dados de monitorização, à data de realização das consultas efectuadas no âmbito deste projecto. O segundo aspecto relaciona-se com a publicação de um novo acervo legislativo, constituído por dois decretos-lei, o DL n.º 146/2006, de 31 de Julho, que transpõe para a legislação portuguesa a directiva europeia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente (Directiva 2002/49/CE) e o DL n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o novo regime de prevenção e controlo da poluição sonora, designado por Regulamento Geral do Ruído. Este novo enquadramento legal, estabeleceu algumas

alterações na metodologia a utilizar aquando do estabelecimento de programas de monitorização de ruído, designadamente no que diz respeito à utilização de novos descritores de ruído (Lden, indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno e Ln, indicador de ruído nocturno), reportados ao período de um ano, à utilização de três períodos de referência (o diurno das 7h às 20 h, o entardecer, das 20 h às 23 h, e o nocturno, das 23 h às 7h), e ao estabelecimento de novos valores limites.

4.2 Sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países

A sistematização das medidas de minimização a efectuar seguirá uma abordagem geral desta temática, apresentando-se uma síntese das experiências efectuadas em outros países europeus, não pretendendo constituir uma pesquisa exaustiva de toda uma prática nacional. Os dados recolhidos resultam de uma pesquisa bibliográfica (livros e actas de congressos) e de pesquisa na Internet em curso.

Relativamente às medidas de minimização de ruído em auto-estradas, a pesquisa realizada foi direccionada para a utilização de pavimentos com características absorventes sonoras e barreiras acústicas, uma vez que outro tipo de medidas, como por exemplo a redução do ruído produzido pelo funcionamento dos motores de veículos, é estabelecida a partir de directivas europeias. Por outro lado, a utilização de medidas de minimização de ruído no receptor, usualmente constituídas pelo reforço de isolamento sonoro das fachadas, estão muito ligadas às práticas construtivas de cada país, pelo que se optou pela sua não inclusão neste relatório.

O FEHRL é um fórum de laboratórios de investigação nacionais europeus no domínio das infra-estruturas de transporte rodoviário. Tem como função, entre outras, a promoção de actividades de investigação relacionadas as infra-estruturas rodoviárias. Em 2006, na sequência do projecto de investigação *SILVIA*, publicou um Guia técnico intitulado "*Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*". O capítulo 4 desta publicação contém uma síntese dos vários pavimentos com características de absorção sonoras construídos na Europa, apresentando igualmente uma caracterização dos materiais que constituem cada tipo de pavimento e respectivas propriedades, principais vantagens e desvantagens na utilização de cada solução, assim como dados referentes ao respectivo desempenho acústico (http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/silvia_guidance_manual.pdf).

No que respeita às experiências nacionais de cada um dos países europeus, refira-se o facto de a Holanda ser um dos países na Europa onde a rede rodoviária é das mais densas em paralelo com uma elevada densidade populacional. Na sequência destes dois factores, e tendo como objectivo a redução do ruído de tráfego rodoviário, os ministérios holandeses dos transportes e do ambiente, apoiam desde 1979 um dos programas de investigação europeus mais expressivos, o *Noise Innovation Program* (IPG), no âmbito do desenvolvimento de novas abordagens para a redução do ruído, promoção de conhecimento em áreas onde existem

lacunas e desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. De igual modo, outros países europeus como a Dinamarca, França e Reino Unido têm desenvolvido muitos trabalhos e experiências nesta área. A síntese destas diversas experiências nacionais será apresentada no próximo relatório, dando especial destaque à experiência holandesa.

4.3 Avaliação da eficácia das medidas nacionais de minimização de ruído

A caracterização do impacte ambiental relacionado com o descritor ruído, para infra-estruturas de transporte, engloba a previsão dos níveis sonoros directamente relacionados com o tráfego rodoviário e a avaliação da correspondente influência (ruído estabelecido) nos locais de ocupação sensível, como por exemplo, nas habitações, escolas e hospitais.

A adopção de medidas de minimização é focalizada nos receptores sensíveis e depende da verificação da conformidade dos níveis sonoros exteriores com valores máximos permitidos pela legislação portuguesa. Dado que a informação consultada, no âmbito deste projecto, se reportava, na maior parte dos casos, a anos anteriores a 2006, os estudos foram todos realizados de acordo com o enquadramento legislativo do ruído ambiente anteriormente em vigor, designadamente o Regulamento Geral sobre o Ruído (aprovado pelo Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho, e válido até Novembro de 2000) e posteriormente o Regime Legal de Poluição Sonora (aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro de 2000), que preconizavam para a fase de exploração de uma infra-estrutura de transporte, as seguintes disposições:

- No caso do Regulamento Geral sobre o Ruído, o artigo 28.º estabelecia que as entidades responsáveis pelo planeamento de vias de tráfego rodoviário ou ferroviário deveriam ter em conta a necessidade de evitar que o ruído decorrente da sua utilização viesse a prejudicar as utilizações existentes ou previstas para as zonas envolventes (evitando a alteração da classificação dos locais em estudo) e, se necessário, promover a adopção de medidas adequadas de protecção. Para efeitos deste Regulamento, os locais para implantação de edifícios eram classificados como pouco ruidosos, ruidosos e muito ruidosos, de acordo com os valores do nível sonoro do ruído ambiente, que eram excedidos, num período de referência (período diurno, das 7h às 22 h e período nocturno, das 22h às 7h) em 50% da duração deste (LA50), verificando-se: para os locais pouco ruidosos $LA50 \leq 65$ dB(A) no período diurno e $LA50 \leq 55$ dB(A) no período nocturno; nos locais ruidosos $LA50 \leq 75$ dB(A) no período diurno e $LA50 \leq 65$ dB(A) no período nocturno, aos locais que não estão contemplados na definição de locais pouco ruidosos e de locais ruidosos era-lhes atribuída a classificação de locais muito ruidosos.

- No caso do Regime Legal de Poluição Sonora, o artigo 15.º respeitante às infra-estruturas de transporte, estabelecia que as entidades responsáveis pelo planeamento ou pelo projecto das novas infra-estruturas de transporte deviam adoptar as medidas necessárias para que a exposição da população ao ruído no exterior não ultrapassasse os níveis sonoros estabelecidos no critério de exposição máxima, para as zonas sensíveis e mistas. Este critério preconizava que nas zonas sensíveis (definidas no âmbito do referido regulamento como áreas vocacionadas para usos habitacionais, existentes ou previstos, escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer) o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, LAeq do ruído ambiente exterior, não pudesse ser superior a 55 dB(A) no período diurno (7h às 22h) e 45 dB(A) no período nocturno (22h às 7h), e as zonas mistas (definidas como áreas cuja ocupação era afectada a outras utilizações, para além das referidas na definição de zonas sensíveis, nomeadamente a comércio e serviços) não pudessem ficar expostas a um nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, LAeq, do ruído ambiente exterior, superior a 65 dB(A) no período diurno e 55 dB(A) no período nocturno. Esta legislação estabelecia, ainda, um prazo de dois anos para que as infra-estruturas de transporte já existentes respeitassem o novo regime jurídico e, sempre que fossem identificadas situações de ultrapassagem dos níveis sonoros expressos no critério de exposição máxima, a obrigatoriedade de elaboração de planos de monitorização e redução de ruído.

Deste modo, e de um ponto de vista de enquadramento legislativo, a avaliação da eficácia de uma medida de minimização de ruído está directamente ligada com a monitorização dos receptores sensíveis para a qual foi dimensionada, de modo a verificar-se o cumprimento dos limites legais preconizados. No entanto, e para barreiras acústicas, existem documentos normativos que estabelecem procedimentos de medição da perda por inserção de uma barreira, que se define como a diferença entre os níveis de pressão sonora medidos num determinado ponto receptor, antes e depois da sua instalação, desde que a fonte de ruído, a topografia do terreno, eventuais obstruções à propagação e superfícies reflectoras, entre a fonte e o ponto receptor, assim como as condições meteorológicas e o solo, não tenham sofrido alterações. No caso de barreiras acústicas, para a avaliação da respectiva eficácia, e tendo em atenção que este tipo de medida de minimização de ruído pode provocar um efeito de intrusão visual (ao contrário de uma opção por um pavimento com características de absorção sonora), pode considerar-se a seguinte metodologia simplificada de actuação, dividida em três fases.

Na primeira fase, e tendo como princípio uma observação no campo, logo após a construção da medida, deve-se verificar se a medida de minimização instalada cumpre na totalidade, parcialmente, ou não cumpre de todo, o estabelecido no estudo de impacte ambiental e no projecto de execução, comparando-se, por exemplo, o grau de concordância entre os aspectos técnicos e processuais de medidas propostas com a respectiva implementação. Aos desvios encontrados deve ser atribuída uma escala de avaliação ponderada. Por exemplo, o grau de eficácia de uma barreira vai depender, não só das

propriedades acústicas dos materiais, dos painéis que a constituem e do correcto dimensionamento para o fim a que se destina, mas também dos elementos e sistemas de construção utilizados (união entre estruturas, juntas de dilatação, elementos de apoio, etc.). Por exemplo, a existência de espaçamentos entre painéis ou o seu incorrecto assentamento à estrutura de suporte, como também a existência de aberturas para drenagem de águas, incorrectamente localizadas, reduz o desempenho global de uma barreira acústica, permitindo a propagação das ondas sonoras.

As figuras seguintes apresentam fotografias de alguns problemas encontrados nas visitas de campo, referentes a deficiente selagem (Fig. 63) e a deficiente união entre os painéis da barreira e a estrutura de suporte (Fig. 64).



Fig. 63 - Exemplos de problemas de deficiente selagem

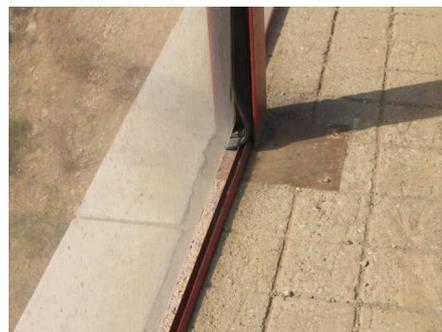


Fig. 64 - Exemplos de problemas de deficiente união entre estruturas

Numa segunda fase (tendo também como base a observação em campo, logo após a construção da medida de minimização) deverão ser considerados aspectos de apreciação de natureza qualitativa, tais como:

- Integração da medida de minimização no ambiente exterior, tendo em atenção, por exemplo, o tipo de barreira acústica a utilizar, bem como os materiais propostos, que

devem ser adaptados a diferentes formas, cores, texturas, etc., de modo a permitir concepções estéticas e arquitectónicas nas mesmas, viabilizando uma integração com as cores, tons, texturas dos elementos naturais e artificiais que compõem a paisagem envolvente. Esta perspectiva privilegia a selecção de barreiras do tipo natural, em zonas de natureza essencialmente rural. Um exemplo deste tipo de actuação consiste na utilização de obstáculos formados por amontoamentos de terra com grande espessura na base, geralmente cobertos com terra vegetal e outros elementos para facilitar a revegetação e crescimento de plantas. A Fig. 65 apresenta dois exemplos deste tipo de barreiras, utilizados em Portugal.



Fig. 65 - Exemplos de barreiras acústicas do tipo "natural"

- Aspectos relacionados com processos de manutenção da medida de minimização durante o respectivo ciclo de vida, como por exemplo, verificar se os materiais constituintes da barreira são capazes de fornecer uma impressão visual agradável a partir de uma manutenção regular, ou qual a periodicidade indicada para a substituição dos elementos constituintes, assim como a adequabilidade do plano de manutenção previsto. Na Fig. 66 apresentam-se fotografias que demonstram o resultado de um deficiente programa de manutenção.

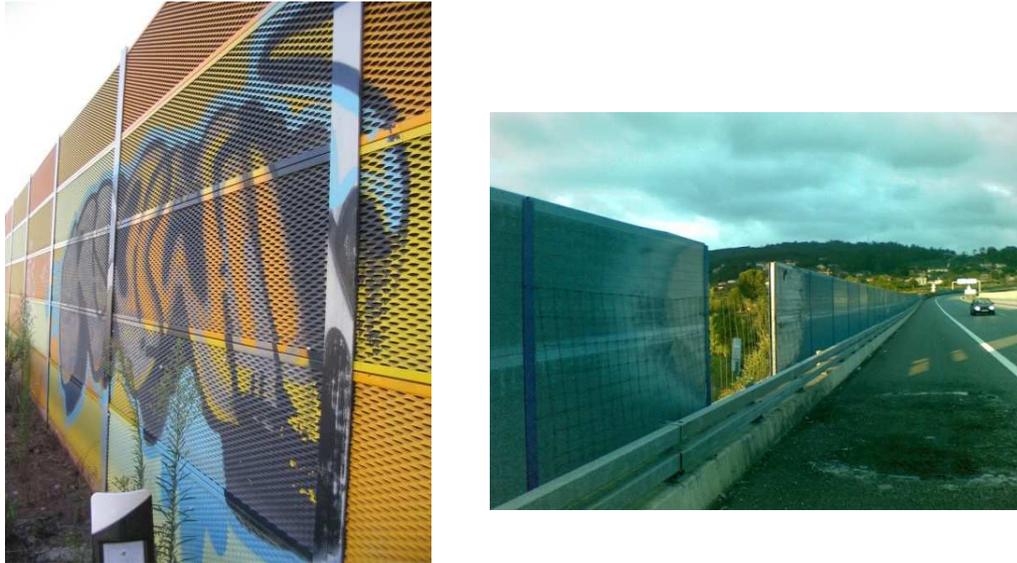


Fig. 66 - Exemplos de ausência de programas de manutenção adequados

- Aspectos relacionados com a segurança, como por exemplo, se a estrutura obstrui acessos em caso de emergência ou de incêndio, com o adequado planeamento de portas de segurança (fotografia do lado esquerdo da Fig. 67), ou então a utilização de estampagens em barreiras transparentes, com a finalidade de evitar o choque de aves (fotografia do lado direito da Fig. 67).

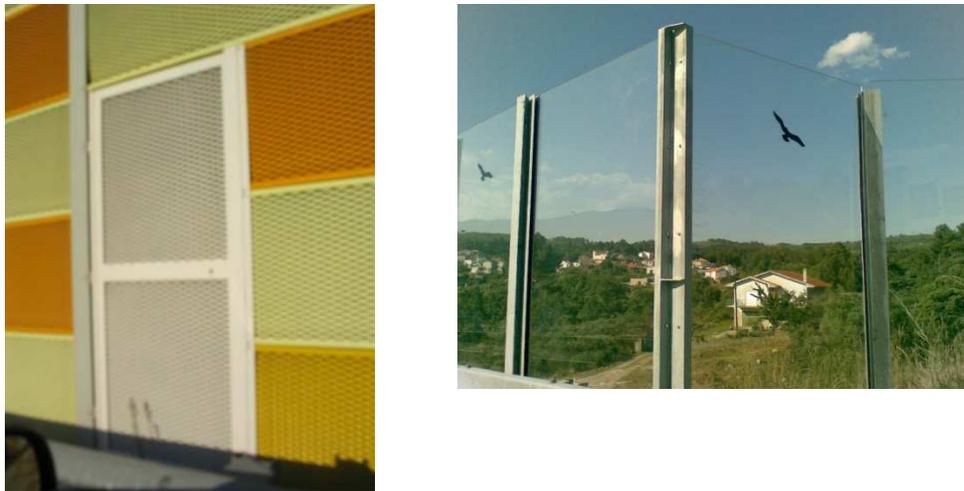


Fig. 67 - Exemplos de aspectos de segurança a ter em conta no planeamento de barreiras acústicas



Fig. 68 - Exemplos de sombreamento em habitações provocados por barreiras acústicas



Fig. 69 - Exemplos de implantação geométrica barreira-receptor de reduzida eficácia

- Aspectos relacionados com a colocação da barreira relativamente ao receptor a proteger, como por exemplo, verificar se existe espaço suficiente entre a barreira e as habitações a proteger de modo a permitir a iluminação natural nos compartimentos da habitação (na Fig. 68 apresentam-se duas fotografias onde este aspecto não foi tido em consideração). Deve-se também ter em conta os aspectos relacionados com a adequação da geometria de implantação da barreira. Sabe-se que, para se obter um melhor desempenho na instalação de uma barreira, é na generalidade aconselhável que esta seja colocada o mais próximo da estrada, desde que a fonte e o receptor estejam ao mesmo nível, ou que a estrada esteja elevada relativamente ao receptor. Na Fig. 70 apresenta-se uma fotografia ilustrativa de uma configuração geométrica barreira-receptor, onde a eficácia é reduzida. Saliente-se, também, a importância da identificação dos receptores para os quais a medida de minimização foi dimensionada (por exemplo a partir da utilização de ortofotomapas), pois a possível implantação de novas habitações junto à infra-estrutura poderá originar reclamações no futuro próximo, que nada têm a haver com a eficácia da medida de minimização em avaliação.
- Aspectos referentes à aceitação das populações relativamente às medidas de minimização propostas no EIA-PE (antes da respectiva implementação), e posteriormente, durante a pós-avaliação com a monitorização das percepções das

populações relativamente à implementação da estrada e das medidas de minimização associadas.

Finalmente há que ter em conta aspectos de natureza quantitativa, como por exemplo, a perda por inserção de uma barreira, considerando-se que o seu desempenho será considerado eficiente se a respectiva perda pela sua inserção for positiva, e insuficiente, se tal não suceder. A norma ISO 10847:1997 "Acústica. - Determinação *in situ* da perda por inserção barreiras exteriores de todos os tipos", especifica dois métodos para esta determinação, o método directo, que se refere a medições dos níveis sonoros antes e depois da instalação das barreiras (definindo-se para efeitos da sua aplicação as posições do receptor e de referência, correspondendo a última a um ponto onde o ruído proveniente da fonte não é minimamente influenciado pela presença da barreira) e o método indirecto, que é aplicado em locais onde não existe a possibilidade de realização de medições antes da instalação da barreira. Neste caso, para a caracterização da situação "antes da barreira" devem ser realizadas medições num local substituto equivalente (em perfil e condições de terreno, fontes sonoras e condições atmosféricas), relativamente ao local onde se instalou a barreira. A posição de referência e a posição do receptor são as mesmas que as do método de medição directa.

A partir da comparação dos valores dos níveis sonoros prospectivados no EIA-PE (antes da instalação da barreira) e dos relatórios de monitorização, para um determinado ano horizonte e para um receptor localizado na "região sombra" de uma determinada barreira acústica, será possível ter uma estimativa indirecta da respectiva perda por inserção, desde que os dados de entrada utilizados no modelo de previsão continuem a ser válidos, designadamente os dados referentes ao fluxo e composição do tráfego, e que as medições tenham sido efectuadas com as condições meteorológicas contempladas no modelo de previsão (esta condição assume particular importância para receptores localizados a distâncias superiores a 200 metros da rodovia), para além da não existência, durante as medições, de contribuições significativas de outras fontes sonoras, não contempladas no modelo de previsão.

Uma metodologia idêntica, do tipo comparação dos valores prospectivados com os resultados das monitorizações efectuadas, para a avaliação da eficácia de outras medidas de minimização, desde que os dados de entrada do modelo de previsão continuem válidos, e tenham sido aferidos para as medidas de minimização utilizadas em Portugal, pode ser também utilizada. Se tal não for o caso, dever-se-á proceder a um ajuste do modelo de previsão, com a introdução de dados relativos ao fluxo de tráfego, respectiva composição e velocidades, mais adequados aos valores encontrados durante as campanhas de monitorização e, no caso dos receptores mais afastados da rodovia, um estudo da representatividade das condições meteorológicas consideradas.

Refira-se, contudo, que este tipo de avaliação indirecta possui também um grau de subjectividade, ligado sobretudo às incertezas associadas ao modelo de previsão do ruído e à medição dos níveis sonoros.

4.4 Análise dos resultados de programas de monitorização

As informações aqui descritas dizem respeito à monitorização efectuada pelas concessionárias das estradas (ou por empresas de consultadoria em engenharia ou universidades, contratadas pelas primeiras), que se pode sintetizar no conjunto de procedimentos operativos a seguir referidos, tendo em conta que os estudos consultados foram todos realizados no âmbito dos anteriores enquadramentos legislativos para o ruído ambiente.

O parâmetro avaliado é o nível sonoro médio de longa duração, $L_{Aeq,LT}$, obtido a partir da evolução do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, ao longo de séries de intervalos de tempo de referência (períodos diurno ou nocturno), nos receptores identificados no EIA como alvo de medidas de minimização, nos receptores para os quais foram previstos níveis sonoros próximos dos valores regulamentares e outros eventualmente referidos no relatório da Comissão de Avaliação (DGA, 2001). A monitorização pode ser efectuada recorrendo a medições acústicas, as quais devem ser realizadas de acordo com os procedimentos descritos na Norma Portuguesa NP 1730-1 de 1996 "Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente". (equivalente à norma ISO 1996 de 1982).

Regra geral, as medições abrangiam os dois períodos de referência (diurno – 7h às 22h e nocturno – 22h às 7h), sendo realizadas duas campanhas por ano, uma no período do Inverno e outra no período do Verão, correspondendo a primeira ao ano de abertura da infra-estrutura, enquanto que as seguintes eram realizadas aproximadamente de cinco em cinco anos, caso não existissem alterações significativas dos factores que determinassem a emissão e propagação de ruído (IA, 2003a), nem a constatação da necessidade de se implantarem novas medidas de minimização ou o reforço das existentes. Saliente-se o facto de, em alguns casos, as acções de monitorização poderem ficar condicionadas aos resultados das primeiras campanhas e à existência de eventuais reclamações.

De facto, o principal objectivo deste processo de pós-avaliação consiste na avaliação dos impactes ambientais ocorridos e da eficácia das medidas de minimização preconizadas, possibilitando também a aferição sobre a necessidade de medidas complementares ou o reforço das existentes. Assim, caso fossem detectadas situações de incumprimento das disposições legais deveriam ser adoptadas novas medidas para minimizar ou compensar os impactes negativos encontrados. Para as medições a efectuar, os pontos de medição deviam localizar-se junto dos receptores sensíveis identificados no EIA e para os quais o ruído ambiente é superior às disposições regulamentares, devendo-se, numa primeira fase, seleccionar os receptores considerados mais expostos e caso sejam detectados valores acima dos regulamentares, monitorizar-se os receptores seguintes (IA, 2003a).

Para receptores protegidos por barreiras acústicas deveriam ser seleccionados os mais próximos dos extremos das barreiras, e caso se tivessem detectado valores superiores ao valor estabelecido, e para o qual se baseou o dimensionamento da barreira, dever-se-ia monitorizar

o receptor seguinte no sentido da zona que previsivelmente esteja mais protegida (a zona mais central da barreira), e no caso de edifícios de dois ou mais pisos, caso se detectassem, ao nível do rés-do-chão, valores superiores aos valor objectivo, dever-se-ia monitorizar-se, sempre que possível, o piso superior (IA, 2003a).

Na selecção dos pontos de medição dever-se-á ter em conta a minimização da contribuição de outras fontes sonoras próximas, no nível sonoro obtido. Para a realização de medições poderão ser utilizadas técnicas de amostragem, desde que respeitem no mínimo as seguintes condições (IA, 2003a): em cada ponto de medição, e em dois dias típicos de tráfego (considerado como um dia em que o tráfego se aproxima do tráfego médio diário anual) deverão ser efectuadas duas medições em horas de tráfego normal e para os dois períodos de referência; em caso de ocorrerem flutuações significativas de tráfego (diárias, semanais, ou sazonais) devem ser realizadas medições para a sua caracterização; cada medição deve ter, no mínimo, uma duração média de 30 minutos, ou então uma duração temporal até que se obtenha a estabilização do sinal sonoro (LAeq,T). Durante as medições, deveriam também ser registados parâmetros complementares, como por exemplo, os volumes de tráfego e percentagem de pesados, a velocidade média de circulação dos veículos ligeiros e pesados e as condições meteorológicas. Em alternativa à realização de uma campanha de monitorização baseada em medições, poder-se-ia recorrer a modelos de previsão do ruído de tráfego rodoviário, reportados a um período temporal de previsão de um ano.

Em caso da infra-estrutura rodoviária apresentar marcadas flutuações sazonais de tráfego, deverá ser efectuada uma previsão adicional, reportada ao mês mais crítico. Esta metodologia é considerada preferencial para troços rodoviários extensos e com volumes de tráfego (TMDA) superiores a 16500 veículos, e/ou com muitos receptores e em situações de exposição diversas (IA, 2003a). Neste caso, é sempre necessária a realização de validações do modelo de previsão, em determinados pontos, os quais deveriam preferencialmente estar localizados junto dos receptores sensíveis, ou em pontos onde as previsões estivessem próximas dos limites das disposições legais.

Capítulo 5: Minimização e monitorização da fauna

*Fernando Ascensão
António Mira*

5.1 Introdução

5.1.1 Considerações gerais

O presente capítulo pertence à componente de Fauna no âmbito do estudo *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*, realizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil e pela Universidade de Évora para a Estradas de Portugal, E.P.E. Das medidas implementadas para minimizar os impactes das rodovias sobre a fauna, a referida componente do presente projecto refere-se apenas a passagens de fauna. Estas estruturas, que podem ser especificamente construídas ou resultar da adaptação/uso de outras estruturas (passagens hidráulicas, passagens superiores e inferiores, pontes e viadutos), visam mitigar os dois principais impactes na fauna que são a *mortalidade por atropelamento* e o *efeito de barreira* aos normais movimentos das várias espécies.

Este relatório compreende uma análise da informação obtida dos planos de estradas consultados na EP e inserida na base de dados relativamente: ao levantamento e caracterização das passagens de fauna; a uma sistematização das medidas de minimização utilizadas em diferentes países integrando directrizes que permitam orientar para as medidas de minimização; a uma análise da eficácia dos sistemas; e uma análise dos resultados de programas de monitorização a decorrer em Portugal.

5.1.2 Fragmentação e efeito barreira

Como resultado da fragmentação dos habitats, um dos impactes mais importantes nas populações animais é o efeito de barreira. Este processo não é facilmente visível e quantificável, mas tem consequências que poderão ser bastante graves para a manutenção das populações. Uma vez que as extinções locais ocorrem na natureza, por acção humana ou

não, a sobrevivência das espécies está interligada com a sua capacidade de dispersão e recolonização das manchas de habitat que experimentaram essas extinções. Deste modo, as diferentes populações encontram-se em contacto, englobadas numa metapopulação, e não verdadeiramente isoladas, o que lhes seria prejudicial. De facto, o isolamento das populações é reconhecido como uma das causas mais comuns para as extinções locais (Fahrig e Merriam, 1994). No entanto, o sucesso da (re)colonização depende da disponibilidade de indivíduos dispersantes e da facilidade de deslocação que a paisagem permite. Por sua vez, este processo depende da estrutura espacial da paisagem e em particular da presença de potenciais obstáculos naturais ou artificiais (St.Clair, 2003). Se a estrutura espacial da paisagem restringe a movimentação entre manchas isoladas, então a área necessária para a sobrevivência de uma espécie, o número de manchas de habitat e o tamanho das populações têm de ser necessariamente maiores (Fahrig e Merriam, 1994).

Para além da actividade agrícola em larga escala e das grandes áreas urbanas, um dos agentes que mais contribui para o incremento exponencial da fragmentação e destruição dos habitats é a expansão, a nível mundial, da rede rodoviária. Particularmente intenso nas regiões mais desenvolvidas do globo, a Europa e a América do Norte, o ritmo de crescimento da rede rodoviária no séc. XX permitiu o seu alargamento até às mais remotas áreas naturais remanescentes e atingiu dimensões que poderão pôr em causa a integridade das populações de diversas espécies (Bekker, 2002; Trocmé *et al.*, 2003). Esta expansão generalizada da rede rodoviária tem com consequência um incremento exponencial dos impactes na biodiversidade (Forman *et al.*, 2002). Deste modo, o estudo do impacte do tráfego e das vias rodoviárias nas populações animais reveste-se de uma importância global, onde a grande necessidade de conhecimento e de soluções contrasta com os trabalhos e investimentos realizados. Mais, em Portugal foram escassos os trabalhos realizados sobre esta temática, particularmente em mortalidade de vertebrados por atropelamento, conhecendo-se apenas o trabalho de Brito e Álvares (2004) como publicação científica. Assim, o crescente conflito entre a necessidade de mais espaço para satisfazer a expansão das rodovias e a conservação da natureza, exige a tomada de medidas urgentes num futuro próximo, a nível das políticas, dos planos e dos projectos, que permitam conciliar estas dimensões aparentemente antagónicas.

5.1.3 Passagens de fauna

Diversos estudos têm demonstrado que a presença das estradas é prejudicial tanto às movimentações como à sobrevivência dos vários grupos animais, sejam invertebrados (e.g. Haskell, 2001), anfíbios (e.g. Carr e Fahrig, 2001), répteis (e.g. Gibbs e Shriver, 2002), aves (e.g. Kuitunen *et al.*, 1998) ou mamíferos (e.g. Philcox *et al.*, 1999). As estradas e o tráfego automóvel podem actuar como uma autêntica barreira que impede ou dificulta fortemente a mobilidade dos animais. Este efeito de barreira pode manifestar-se na incapacidade dos animais ultrapassarem o obstáculo (Mader, 1984), na mortalidade por atropelamento (Clevenger *et al.*, 2003) ou em reacções de certas espécies com fraca tolerância à perturbação,

que tendem a afastar-se das estradas (Reijnen *et al.*, 1995). Deste modo, a limitação nos deslocamentos dos animais, diários ou sazonais, pode levar à diminuição da conectividade entre as populações de vertebrados. Daqui pode resultar uma perda na diversidade genética, aumento da consanguinidade e maior vulnerabilidade das populações a fenómenos estocásticos que podem levar à sua extinção local (van der Zande *et al.*, 1980).

Como foi referido, a quebra na conectividade entre populações constitui um dos factores mais significativos que contribuem para a fragmentação da paisagem e das populações animais. Estando já demonstrado em diversos trabalhos a acção negativa das estradas e tráfego rodoviário em populações animais, nomeadamente a fragmentação dos habitats e das populações (Forman *et al.*, 2002), é necessário investir na procura de soluções que facilitem a conectividade entre as manchas de habitat e as diferentes populações e, simultaneamente, diminuam o risco de atropelamento. Uma das medidas mais importantes é o estabelecimento de estruturas para a passagem de fauna que sejam eficazes e garantam o cruzamento das rodovias em segurança. No entanto, como refere Luell *et al.* (2003), estas medidas não devem ser consideradas isoladamente, mas sim enquadradas numa perspectiva holística do problema, integradas num conceito geral de permeabilidade das estradas. Deste modo, devem ser considerados diversos factores para a localização destas estruturas, nomeadamente a distribuição espacial das manchas de habitat e das populações, a distância entre as manchas e as estradas, entre outras características da paisagem. Assim, as passagens para a fauna constituem apenas pequenos elementos na resolução do problema, mas com uma importância central para o seu sucesso.

Deste modo, determinar as características das passagens que favorecem o seu uso pelos vertebrados reveste-se de uma grande importância. Dado que a actividade humana e o tráfego intenso podem exercer uma influência negativa significativa na tolerância e aproximação de alguns animais (Rodriguez *et al.*, 1996), interessa avaliar a influência destas variáveis através do estudo de diferentes tipos de vias rodoviárias, com níveis distintos de tráfego rodoviário. Para o sucesso deste processo interessa também perceber quais as características da paisagem que encaminham os animais para estes pontos de passagem. Uma das soluções que tem vindo a ser apontada por alguns autores é o estabelecimento de corredores ecológicos em comunicação com as passagens hidráulicas existentes ao longo das vias rodoviárias. Estes corredores poderiam direccionar os animais para as manilhas das passagens hidráulicas e, deste modo, garantir o cruzamento da via rodoviária sem o risco de atropelamento, diminuindo assim o efeito de barreira.

5.2 Sistemas usados em outros países e proposta de directrizes para a orientação de medidas de minimização

5.2.1 Introdução

A falta de experiência e conhecimentos em Portugal relativamente à implementação de passagens de fauna levou-nos a pesquisar informação sobre as medidas de minimização adoptadas em outros países, pesquisa aliás já prevista no próprio programa de trabalhos deste Estudo. Nesta pesquisa os documentos de Luell *et al.* (2003) e Goosem (2005), documentos que agregam muita informação disponível no mundo inteiro, serviram de base essencial à informação apresentada. Este capítulo reúne a informação sobre as medidas adoptadas em outros países bem como directrizes que permitem orientar as medidas de minimização e suas características essenciais.

5.2.2 Passagens de fauna como parte do conceito da permeabilidade da paisagem

As passagens de fauna e outras estruturas usadas para o cruzamento de vias rodoviárias por animais não devem ser consideradas isoladamente. Devem fazer parte de um conceito geral de permeabilidade, onde o objectivo é manter a conectividade dentro e entre as populações de animais. Este conceito enfatiza a necessidade de estabelecer a conectividade entre habitats pelo menos ao nível regional, e considera não apenas as vias rodoviárias, mas também a distribuição dos habitats e de outras potenciais barreiras, como as áreas urbanas.

As passagens de fauna podem ser vistas como um pequeno mas importante elemento na ligação dos habitats, ao permitir as movimentações dos animais, diárias e/ou sazonais através das vias rodoviárias. Todos os elementos que permitem a passagem de animais, como os túneis, viadutos, estradas sobrelevadas, passagens sob ribeiras e rios, passagens hidráulicas, ou passagens desenhadas especificamente para determinados taxa, devem ser integrados neste conceito de permeabilidade. O primeiro objectivo deve ser manter a permeabilidade das vias rodoviárias para a fauna, de modo a garantir a conectividade entre habitats a uma larga escala.

5.2.2.1 Quando implementar passagens de fauna?

As medidas mitigadoras, em particular as passagens de fauna, são necessárias quando uma via rodoviária atravessa parcelas de habitats importantes para a conservação e/ou cria barreiras às rotas de migração ou aos normais deslocamentos diários dos animais. As passagens propositadamente construídas para o uso exclusivo pela fauna devem ser implementadas quando:

- A presença de uma estrada resulte num significativo dano ou perda de habitats importantes, comunidades ou espécies.
- A estrada tem efeitos negativos em espécies particularmente sensíveis ao efeito de barreira e mortalidade por atropelamento.
- A permeabilidade da paisagem, i.e. a conectividade entre habitats, é significativamente prejudicada pela construção da estrada.
- A implementação destas estruturas é uma solução adequada para a mitigação do efeito de barreira no contexto específico.
- Outras medidas menos onerosas são pouco efectivas.
- A estrada é cercada nas bermas em todo o seu comprimento, impossibilitando o seu cruzamento por pelo menos uma espécie-alvo.

5.2.2.2 A escolha de medidas de mitigação

As passagens de fauna, assim como outras estruturas que permitam o cruzamento da estrada pelos animais em segurança, são as medidas mais importantes na mitigação da fragmentação dos habitats. No entanto, diversos princípios devem ser considerados. Por exemplo o tipo, a localização e o número de passagens a implementar.

Tipo de passagens

A escolha do tipo de passagem mais apropriado deve considerar a especificidade da paisagem, habitats e espécies-alvo. A importância dos habitats e espécies deve ser avaliada ao nível local, regional, nacional e internacional, como parte do Estudo de Impacte Ambiental (EIA). De uma forma geral, quanto mais importante para um dado *taxon* for a conectividade dos habitats, mais elaborado deve ser o estudo sobre as medidas a aplicar. Assim, no caso de uma estrada seccionar um corredor importante, a nível internacional, para a movimentação de animais de média/grande dimensão, e se essa estrada não puder ser desviada, uma ou mais pontes de grandes dimensões devem ser equacionadas na implementação das medidas de mitigação. Pelo contrário, as PHs podem ser suficientes para manter a conectividade de populações das espécies mais pequenas e abundantes. Na prática é rara a situação onde a implementação de uma única medida é suficiente para reduzir eficazmente a fragmentação dos habitats. Ao invés, uma série de medidas é normalmente necessária para responder a problemas específicos para cada situação. Assim, a combinação de diversas medidas adequadas para diferentes grupos faunísticos poderá ser na maioria dos casos a melhor solução.

Passagens superiores versus passagens inferiores

Existem algumas regras que devem ser atendidas na escolha entre passagens superiores (PS) e inferiores (PI). Em terrenos mais acidentados, tanto as PS como as PI são fáceis de construir, enquanto que em terrenos planos, as PI poderão ser mais difíceis de implementar, no caso de haver muita água nos níveis superiores do solo. As PS têm a vantagem de fornecer micro-habitats mais diversos, uma vez que a vegetação aqui pode crescer mais

abundantemente, relativamente às PI. Um maior número de espécies pode assim usufruir das PS. Por outro lado, a humidade é maior nas PI, o que favorece o uso por espécies que necessitem ambientes húmidos, como os anfíbios.

Espécie-alvo

Qualquer espécie nativa de uma região pode ser uma espécie-alvo para as PFs. Espécies não nativas não devem ser espécies-alvo uma vez que não fazem parte do ecossistema "natural" e a sua dispersão não deve ser estimulada. Na prática, o projecto e construção de PFs pressupõe que a prioridade será dada a espécies com importância a nível regional ou nacional.

A identificação de espécies-alvo é um passo importante no planeamento da PF, sendo que a sua localização e projecto são em larga medida determinados pela localização e padrões de deslocamentos dessas espécies. A identificação de espécies-alvo é também importante no delineamento do processo de monitorização da PF, para avaliar a sua eficácia.

Embora a presença de espécies-alvo seja importante na decisão sobre se a PF deve ser implementada e onde, a concepção da PF não deve ser eficaz apenas para uma única espécie-alvo.

5.2.2.3 Número e localização das passagens

Número de passagens

A densidade de passagens necessária para manter efectivamente a conectividade entre os habitats é uma decisão de grande importância no planeamento de medidas de mitigação. A decisão no número e tipo de passagens depende das espécies-alvo e a distribuição dos habitats mais importantes numa dada área. Em alguns casos, uma ou mais passagens mais largas deverão ser mais apropriadas, enquanto que para outras espécies um maior número de passagens mais estreitas será a melhor solução.

De modo a determinar o número de PF necessário, o comportamento das espécies-alvo pode ser usado como indicador. Para a maioria dos invertebrados a influência de uma passagem não deve exceder os 200-300 m, enquanto que para animais de maiores dimensões o tamanho das áreas vitais poderão dar uma indicação sobre a distância entre cada passagem. De uma forma geral, a densidade de passagens deve ser superior em áreas "naturais", e.g. florestas, zonas húmidas, áreas de práticas agrícolas tradicionais, relativamente a áreas com maior pressão urbana ou com práticas agrícolas intensivas. No entanto, em áreas com muitas barreiras artificiais, estradas e zonas urbanas, as PF podem ser fulcrais na manutenção da permeabilidade da paisagem.

Infelizmente o estudo sobre qual a densidade ideal de passagens para atingir os objectivos da conservação tem merecido pouca atenção, sendo necessário investir neste campo de

investigação.

Localização das passagens

A localização das passagens tem de ser escolhida com base no conhecimento adquirido sobre as movimentações dos animais, e a distribuição dos habitats mais importantes. Na presença de trilhos de animais, as passagens devem ser implementadas o mais próximo possível destes. Muitas vezes a topografia e a estrutura da paisagem podem ser indicadoras das rotas mais prováveis de migração, como os vales encaixados, ribeiras, caminhos limítrofes de propriedades, ou manchas contínuas de floresta. Nos casos onde o objectivo da aplicação de uma dada PF é o de restabelecer conectividade entre manchas particulares de habitat, essa PF deve ser implementada de forma a permitir a ligação entre manchas presentes em cada lado da via rodoviária.

Outras potenciais barreiras presentes nas zonas envolventes devem também ser consideradas. O acesso à passagem deve ser assegurado a longo prazo. Assim, deve-se garantir que as passagens são colocadas em pontos de menor conflito, nomeadamente entre proprietários.

Integração na paisagem

As passagens de fauna devem estar integradas na paisagem envolvente, nomeadamente pela presença de corredores que encaminham os animais para as PF. A probabilidade de um animal encontrar uma passagem pode ser aumentada com a colocação de estruturas guia que o encaminhem para a passagem. As potenciais barreiras que impedem ou dificultam o acesso dos animais às passagens devem ser removidas. Na presença de outras infra-estruturas lineares na proximidade, as passagens devem ser colocadas de forma a haver uma continuidade dos corredores.

5.2.2.4 Adaptação de estruturas para o uso por animais

As passagens presentes nas vias rodoviárias servem, normalmente, um dos três objectivos: passagem de tráfego rodoviário e pessoas, drenagem das águas e a passagem de animais. As PSs, Pls e PHs podem não ser as passagens mais intensamente utilizadas pela fauna, uma vez que muitas destas estruturas não permitem o seu uso pelos animais. No entanto, pela aplicação de algumas alterações ao seu projecto, estas passagens podem tornar-se compatíveis com as necessidades de várias espécies.

Para viadutos e outras grandes passagens, normalmente não são necessárias grandes alterações para serem consideradas PF. No entanto, em áreas mais sensíveis, ou na presença de espécies com elevada importância para a conservação, pode ser imperativo a colocação de passagens específicas ou modificações profundas nas estruturas presentes. De realçar que pequenas modificações em estruturas como as PHs poderão servir para aumentar significativamente a permeabilidade das estradas, com um custo relativamente reduzido.

As directrizes hoje existentes para o projecto de vias rodoviárias focam fundamentalmente questões relacionadas com a drenagem, segurança rodoviária e temas relacionados. No entanto, na maioria dos casos, as alterações das estruturas (PH, PS, PI) com vista a serem usadas pelos animais não comprometem tais aspectos. O planeamento destas estruturas deve ser acompanhado tanto por especialistas de fauna como por engenheiros. A integração das necessidades da fauna no projecto das passagens, durante a fase do planeamento, é a melhor via para desenvolver acções com a melhor relação custo/benefício, embora devam sempre ser consideradas melhorias no terreno, após a construção das passagens.

Alguns princípios relacionados com passagens de fauna específicas devem ser equacionados na aplicação de estruturas modificadas:

- Ambas as necessidades ecológicas e de engenharia devem ser conhecidas, identificando os potenciais “conflitos”.
- Passagens de grandes dimensões facilitam o multiuso (fauna, pessoas, drenagem).
- A circulação de pessoas e animais deve, tanto quanto possível, estar separada.
- A colocação de abrigos para os animais pode reduzir o nível de perturbação por humanos, aumentando o uso pela fauna.
- A diminuição de tráfego, permanentemente ou em certos períodos (e.g. noite) podem aumentar o uso das passagens pelos animais.

5.2.2.5 Resolução de problemas em estradas já existentes

Muito antes de haver a percepção dos potenciais impactes das estradas na fauna, foram construídos milhares de quilómetros de estrada em toda a Europa. A necessidade de adaptar estruturas como locais de passagem surge com a detecção e observação de pontos com elevados índices de mortalidade por atropelamento. A presença de um elevado número de atropelamentos e a consequente premência em restabelecer os corredores de movimentações entre populações pode levar à intervenção de acções mitigadores numa estrada em uso. Assim, devem ser considerados uma série de princípios nesta intervenção, nomeadamente:

- A construção de novas obras de engenharia – passagens inferiores ou superiores – podem ser as melhores soluções.
- A adaptação de estruturas existentes, desenhadas para outros fins como as PHs. Pode não ser a melhor solução, mas é na generalidade a menos dispendiosa. Um grande número de passagens adaptadas pode, inclusivamente, ser mais eficaz do que a construção de uma única grande passagem.
- Uma manutenção adequada a estas estruturas pode melhorar a sua eficácia.

5.2.2.6 Manutenção e monitorização de estruturas mitigadoras

Todas as estruturas mitigadoras devem ser regularmente inspeccionadas e sujeitas a manutenção, para assegurar a sua funcionalidade a longo prazo. A manutenção, incluindo os aspectos económicos, deve ser planeada a nível do projecto. O planeamento deve definir o tipo, frequência e a organização responsável pelo processo de manutenção. Na maioria dos casos, a manutenção deve ser delegada a equipas de conservação das vias rodoviárias mas, em certas situações, tais responsabilidades podem/devem ficar a cargo de organizações de conservação da natureza.

A manutenção e monitorização destas estruturas estão interligadas. Os processos de monitorização servem, basicamente, para avaliar a eficácia de uma certa medida mitigadora, mas ao mesmo tempo podem fornecer informações sobre a necessidade de manutenção. A monitorização necessita que haja uma clara definição dos objectivos das medidas aplicadas, e o seu programa deve ser planeado em paralelo com a concepção das próprias medidas.

5.2.3 Reduzindo o efeito de barreira: passagens superiores

5.2.3.1 Introdução

As passagens superiores incluem todas as passagens que cruzam as estradas acima do nível do tráfego automóvel, e incluem as grandes passagens, desenhadas para promover a conectividade ao nível das populações/metapopulações, e as de menor dimensão, ao nível da conectividade entre habitats.

5.2.3.2 Passagens de fauna superiores

Descrição geral e objectivos

As passagens de fauna superiores (PFS) são estruturas propositadamente construídas para cruzar vias rodoviárias, normalmente as de alta velocidade com muitas faixas e elevado tráfego. Têm um custo de construção elevado mas revelam-se bastante eficazes na minimização dos efeitos da fragmentação derivada da infra-estrutura, pelo menos a nível local, para todos os grupos animais.

A largura, desenho e vegetação dependem largamente das espécies-alvo, que são geralmente animais de grandes dimensões ou com estatuto de conservação importante. Para pequenos animais, a ponte deve ter largura suficiente em toda a sua extensão para funcionar eficazmente como um corredor. Para grandes espécies, a largura e localização das PFS são mais importantes que pormenores do projecto, substrato ou vegetação. As passagens superiores têm também um papel como linha condutora para o cruzamento seguro de aves, morcegos e borboletas.

Dado o seu elevado custo económico, a construção de PFS deve ter em vista a capacidade de estabelecer a conectividade ao nível do ecossistema. Isto requer o conhecimento e a capacidade de simular os habitats presentes, ao nível do projecto, assim como outras condicionantes, como o tipo de solo, humidade, temperatura, luminosidade, etc. Por exemplo, para estabelecer a ligação entre manchas de montado, as passagens devem incluir elementos como troncos e arbustos deste biótopo.

Localização

A localização das PFS deve ser orientada consoante a ocorrência e comportamento das espécies-alvo. Assim:

- Para espécies grandes, a PFS deve ser localizada no prolongamento dos trilhos tradicionalmente usados. Os trilhos devem ser detectados ao longo dos trabalhos de campo de inventariação das espécies, e.g. detecção de pegadas, faroladas, censos de atropelamentos, questionários, etc.
- Devem ser evitadas áreas com grande actividade humana.
- A localização deve ser escolhida considerando a probabilidade de os animais usarem as estruturas.
- Em casos onde a espécie-alvo reside num habitat particular, a passagem e o habitat devem estar ao alcance dos animais.

Recomendações gerais

Dimensões

A largura da passagem é aqui utilizada da perspectiva dos utilizadores das PFS (animais). Os construtores de estradas costumam denominar o comprimento da passagem, ou seja, o segmento da estrada que é coberto pela passagem superior, pelo que devem ser clarificados os termos quando em discussão com os diferentes intervenientes na elaboração/construção da passagem.

De uma forma geral, espécies de maiores dimensões requerem a presença de passagens maiores do que espécies mais pequenas. Por outro lado, para espécies pequenas, a qualidade de habitat presente ao longo da passagem é mais importante, o que geralmente só pode ser obtido com passagens mais largas.

- Uma largura padrão de 40-50 m é a recomendada. Esta largura pode ser diminuída a um mínimo de 20 m nos casos onde o objectivo é apenas fornecer um corredor de passagem para espécies menos sensíveis à perturbação pelo tráfego automóvel.
- Uma largura inferior a 20 m não é recomendada. O conhecimento adquirido revela que os animais presentes na área em estudo podem usar passagens mais estreitas, mas a frequência de uso é significativamente menor que em passagens mais largas. Por outro lado, não sabemos como animais recém chegados, juvenis ou dispersantes, reagem a passagens mais estreitas.

- A largura requerida aumenta com o comprimento da PSF, i.e. uma passagem que atravessa uma auto-estrada com seis faixas deve ser mais larga do que uma estrada com 2 faixas. O *ratio* mínimo entre a largura e o comprimento deve ser 0,8.

Vegetação

O objectivo é direccionar as espécies-alvo e o maior número de espécies para a PFS.

- A vegetação da PFS deve reflectir o habitat adjacente em ambos os lados da passagem.
- Devem ser usadas apenas espécies vegetais nativas da área a intervir.
- A sementeira de espécies herbáceas pode não ser fundamental. As espécies espontâneas podem gerar bons resultados.
- Em alternativa a usar misturas de sementes (oneroso), podem transferir-se por exemplo as camadas superiores do solo de áreas adjacentes para a PFS.
- As PFS devem conter estruturas de vegetação que sirvam de guia, abrigo e protecção à luz e ruído do tráfego.
- Em áreas de maior densidade de pequenos vertebrados, a vegetação deve ser aplicada de forma a ser semelhante à das áreas adjacentes, formando um corredor.

Substrato

- O substrato da passagem é um pré-requisito para a vegetação, pelo que a sua profundidade depende das espécies e habitats a recriar.
- A profundidade recomendada é de 0,3 m para herbáceas; 0,6 m para arbustos; e 1,5 m para árvores.

Viseiras de protecção

As viseiras de protecção servem para reduzir a perturbação das luzes e ruídos das estradas e tráfego automóvel. Estas barreiras são mais importantes em passagens estreitas. Passagens com larguras superiores a 50 m podem ser marginadas apenas por linhas de sebes ou arbustos com cerca de 2 m. Outras recomendações incluem:

- PFS com dimensões inferiores a 20 m não devem ter barreiras muito altas dado que podem dar uma falsa sensação de túnel, para os animais.
- As viseiras são mais importantes em áreas onde a única fonte de luz nocturna são os faróis.
- Para maximizar a largura das PFS, as viseiras devem ser colocadas nas bermas exteriores da passagem.
- As viseiras devem estar interligadas com outras estruturas de redução do ruído, presentes ao longo da estrada.

Vedações

- As vedações são necessárias numa PFS e devem servir para conduzir os animais para e ao longo das PFS.

- Estas vedações devem estar no prolongamento das cercas colocadas ao longo das estradas.

Projecto

Existem muitos tipos de estruturas disponíveis. A escolha no tipo de passagem a aplicar depende essencialmente da topografia, tipos e estabilidade dos solos, custo, e características estéticas. As indicações seguintes pretendem fornecer ideias a engenheiros biofísicos. Não tencionam fornecer detalhes técnicos, mas sim realçar características que são importantes para assegurar a eficácia das passagens. Estes princípios incluem:

- Uma estrada que circule por uma falha do terreno, permite a construção de uma passagem nivelada com os biótopos adjacentes.
- Quando o nível das PFS é mais elevado do que as áreas adjacentes, as rampas de acesso não devem ser muito inclinadas, estando bem integradas no ambiente envolvente. Até à data, no entanto, não existem dados sobre a tolerância dos animais à inclinação das rampas.
- A forma e materiais devem garantir que as características necessárias do tipo de solo e vegetação ao longo da PFS sejam possíveis.
- Em estradas já construídas e em uso, a aplicação de passagens pré-fabricadas reduzem significativamente os custos.



Fig. 70 - Passagem superior na A24/IP3

5.2.3.3 Passagens superiores multifuncionais

Descrição geral e objectivos

Existe um grande número de pontes sobre as estradas, para servirem estradas secundárias, ou caminhos florestais e agrícolas. São normalmente pavimentadas e podem constituir uma

passagem para algumas espécies de maiores dimensões e mais rápidas. No entanto, se for acrescentando uma faixa coberta de solo e vegetação ao longo da passagem, esta pode servir um número significativamente superior de espécies. Esta faixa poderá ser usada por invertebrados, pequenos vertebrados, carnívoros ou mesmo ungulados, favorecendo a dispersão dos animais. Embora não sejam alternativas a passagens de fauna específicas, podem constituir uma medida adicional para incrementar a permeabilidade das estradas.

Se estas pontes, particularmente aquelas localizadas fora das áreas urbanas, forem equipadas com estas faixas de solo e vegetação, a mitigação do efeito de barreira será bastante superior, com um custo económico relativamente baixo. No entanto o tráfego nestas passagens deve ser reduzido de modo a permitir o seu uso pela fauna.

Projecto

Pontes com faixa de vegetação

- Para a faixa de vegetação é recomendado um mínimo de 1 m de largura.
- A profundidade do solo não tem de ser superior a 0,3 m.
- Na maior parte dos casos a vegetação espontânea pode ser suficiente pelo que não é necessário a sementeira destas faixas.
- A superfície das pontes não deve ser pavimentada.
- A modificação das pontes apenas é aconselhada quando o tráfego é reduzido.

5.2.3.4 Passagens entre árvores

Descrição geral e objectivos

Para animais trepadores, passagens especiais poderão ter de ser implementadas. Esquilos, fuinhas e genetas, por exemplo, atravessam facilmente as estradas e as barreiras ou vedações não constituem um obstáculo significativo. Em estradas com elevada intensidade de tráfego, este comportamento pode resultar numa elevada mortalidade por atropelamento.

Deste modo, passagens projectadas e adaptadas para permitirem que espécies arborícolas atravessem as estradas por cima da linha de tráfego, ligando as copas das árvores, podem constituir uma boa alternativa para reduzir o número de atropelamentos. Em alguns países estas passagens entre árvores foram recentemente implementadas ou estão em fase de planeamento. Até agora tem havido pouca investigação sobre a sua eficácia, mas os primeiros dados sugerem que podem ser usadas por diversas espécies.

Localização

Estas passagens entre árvores devem ser consideradas quando:

- Estamos perante uma importante área florestal, com importantes populações de espécies arborícolas.
- A mortalidade de espécies arborícolas está concentrada em certos pontos.

Requisitos especiais

As passagens:

- Devem ser estáveis para permitir a locomoção segura dos animais.
- Não devem permitir a presença de predadores emboscados.
- Devem incorporar refúgios para pequenos animais se esconderem.
- Deve haver uma boa conexão entre as árvores e arbustos de ambos os lados das estradas.
- Devem ser isoladas da presença humana.

Projecto

O projecto destas passagens depende do tipo de estrada. Em estradas locais as copas das árvores estão muitas vezes suficientemente próximas para permitir a circulação dos animais. Quando a distância é grande, uma estrutura de corda, em forma de escada ou outro formato, permite a passagem dos animais de uma forma segura. Em situações onde a distância é muito grande, como em auto-estradas, a passagem pode necessitar de uma maior estabilidade. Neste caso têm sido utilizados cabos de aço com uma pequena plataforma no meio, e um terceiro cabo em cima para evitar o ataque de rapinas a animais mais pequenos. As dimensões devem, no entanto, ser ajustadas às espécies-alvo, variando entre 4 a 30 cm a largura da passagem. Em grandes auto-estradas, as estruturas metálicas que suportam sinais luminosos e placas sinalizadoras, podem ser adaptadas facilmente para permitir a circulação dos animais em segurança.

5.2.4 Reduzindo o efeito de barreira: passagens inferiores

5.2.4.1 Introdução

As passagens inferiores para fauna incluem todos os tipos de passagens localizadas num nível inferior da linha de tráfego. Muitas passagens são construídas com diferentes propósitos, e.g. passagens hidráulicas (PHs), passagens agrícolas, etc.

Com pequenas alterações, estas passagens podem funcionar como passagens de fauna embora os casos sejam bastante diferentes, consoante a passagem em foco. Por exemplo, os grandes viadutos permitem uma permeabilidade praticamente total para todas as espécies (em termos de quebra do efeito de barreira física), enquanto que algumas PHs sem adaptações poderão ser usadas por um número muito reduzido de espécies.

5.2.4.2 Viadutos e pontes sobre rios

Descrição geral e objectivos

Em zonas mais declivosas os viadutos constituem geralmente a melhor solução no projecto

de vias rodoviárias. Por outro lado os fundos dos vales são caminhos preferenciais para diversas espécies, em especial quando são acompanhados por uma galeria ripícola. Nestes casos, as medidas de mitigação apenas têm de assegurar que os corredores existentes previamente à construção da estrutura são mantidos. Quando uma estrada atravessa um vale, um viaduto é sempre preferível a um aterro. Um viaduto pode permitir a conservação de uma série de espécies, desde invertebrados que raramente usam passagens desprovidas de cobertura vegetativa, até animais de maiores dimensões com necessidade de deslocamentos superior.



Fig. 71 - Viaduto da A24/IP3

De um ponto de vista económico, os aterros são tendencialmente preferidos, particularmente quando existe um excedente de materiais de outras zonas da obra. No entanto, a implementação de viadutos permite a conservação de corredores e com eles a conectividade entre populações, o que supera grandemente os benefícios económicos resultantes do uso de aterros.

Localização

- Os viadutos podem ser construídos virtualmente em todos os sítios onde a paisagem esteja num desnível inferior à linha de tráfego. São particularmente recomendados em situações de cruzamento com um curso de água.
- As zonas húmidas apenas devem ser atravessadas em casos onde não podem ser evitadas, e nesta situação o cruzamento deve ser preferencialmente feito por meio de viaduto em detrimento de aterro.

Projecto

- De uma forma geral, a área sob o viaduto deve ser restaurada de modo a se aproximar tanto quanto possível do meio natural.

- Deve ser dada especial atenção à vegetação das galerias ripícolas. A vegetação deve ser contínua entre as margens do viaduto, quer em termos aquáticos, quer na zona terrestre da galeria.
- Para permitir a continuidade da vegetação, o viaduto deve ter um mínimo de 5 m de altura. Em áreas florestais esta medida não deve ser inferior a 10 m.
- Os viadutos podem ter um comprimento de várias centenas de metros.
- Em locais de cruzamento de rios, o comprimento do viaduto deve incluir um mínimo de 10 m de margem em cada lado do rio, para permitir o desenvolvimento da vegetação.
- Zonas naturais de cheia devem ser totalmente cruzadas pelo viaduto.
- Em casos de estradas muito largas, com diversas faixas, uma separação entre os tabuleiros de cada sentido de circulação permite um incremento significativo de luz natural na área sob a estrutura.
- A falta de luz e água podem limitar o crescimento de vegetação, pelo que a área sob o viaduto deve preferencialmente ser coberta por solo igual ao das áreas adjacentes.
- Para animais de maiores dimensões devem ser criados corredores abertos e desobstruídos para facilitar a passagem.
- Os cursos de água sob o viaduto devem ser conservados num estado o mais natural possível, incluindo as margens, de modo a facilitar as deslocações de espécies semiaquáticas, como a lontra.
- Estradas que circulem por baixo do viaduto devem ser isoladas por meio de painéis de modo a reduzir a perturbação.
- Linhas de árvores velhas caídas no solo e pilhas de ramos e material vegetal podem fornecer abrigo a espécies de menores dimensões, funcionando como ligação entre o coberto arbustivo das áreas adjacentes.

Manutenção

Devem ser feitas inspeções regulares às áreas sob o viaduto, de modo a verificar que a passagem não está obstruída ou com um uso diferente daquele para que foi concebido.

Outros aspectos relevantes

- A área sob o viaduto não pode ser usada para armazenar equipamento ou bloqueada por máquinas agrícolas, estacionamento de carros, etc. A colocação de grandes blocos de pedra ajuda a inibir o seu uso por pessoas.
- A conectividade às áreas adjacentes deve ser garantida por um longo período de tempo.

5.2.4.3 Passagens inferiores para animais de grande e média dimensão

Descrição geral e objectivos

As passagens inferiores para animais de grandes dimensões são direccionadas para as

maiores espécies de mamíferos, como o veado, javali e grandes carnívoros (lince-ibérico e lobo), embora espécies de menores dimensões também as usem. Constituem uma boa solução, principalmente em zonas declivosas e onde a estrada assenta em aterro.



Fig. 72 - Passagem inferior na A24/IP3

Localização

- As passagens inferiores devem estar localizadas no prolongamento de trilhos tradicionalmente utilizados pelas espécies alvo. A identificação desses trilhos deve ser parte integrante do estudo de impacte ambiental.
- Nas zonas onde não é possível colocar as passagens directamente nos trilhos dos animais, devem ser implementadas estruturas que interliguem as passagens e os trilhos.
- As passagens devem ser colocadas em sítios onde a topografia do local conduza naturalmente os animais para a passagem.
- Áreas de grande actividade humana devem ser evitadas para a implementação destas estruturas.

Dimensões

A dimensão de uma passagem inferior é definida pela largura, altura e comprimento. O comprimento basicamente corresponde à largura da estrada e é por isso fixo. No entanto a largura e a altura podem ser definidas de acordo com os requisitos da espécie alvo. Para uma descrição das dimensões de uma passagem um índice da "abertura" (do inglês *openness*) é normalmente calculado (ver secção 5.4.2, eq.2 e eq.3). No entanto, a abertura relativa não deve ser usada isoladamente. Por exemplo, uma passagem com 12 m x 4 m / 25 m tem a

mesma abertura (1,9) que uma passagem com 57 m x 2 m / 60 m. Estudos realizados em passagens de fauna indicam que os mamíferos de médio e grande porte podem aprender a usar as passagens localizadas dentro da sua área vital. Animais jovens em dispersão, inexperientes, que usam passagens pontualmente, podem ser muito sensíveis às dimensões da passagem. Existe uma reduzida investigação relativamente ao comportamento destes animais relativamente às passagens, uma vez que a maioria dos estudos concentram-se nos animais residentes na vizinhança das passagens.

As dimensões aqui recomendadas tomam em conta este grau de incerteza:

- Largura mínima \approx 15 m
- Altura mínima \approx 4 m
- Índice de abertura $>$ 1,5 m

Vegetação e tipo de piso

- O piso no interior da passagem deve ser o mais natural possível, coberto com solo semelhante ao das áreas adjacentes.
- Devido à falta de luz e água não existe normalmente vegetação dentro da passagem, mas sempre que possível o desenvolvimento deste deve ser estimulado.
- A vegetação na entrada das passagens deve ser atractiva para as espécies-alvo.
- Arbustos na proximidade das entradas podem ser plantados de modo a guiar os animais para as passagens e também para servirem de protecção contra as luzes e ruído do tráfego.

Vedações

- Segmentos de estrada com passagens inferiores para grandes mamíferos devem ser ladeadas de vedações.
- Estas vedações devem servir para conduzir os animais em direcção às passagens.

Outros aspectos relevantes

- Em regra, recomenda-se que existam passagens inferiores para uso exclusivo da fauna.
- Nos casos onde as passagens sejam usadas por animais, pessoas ou veículos, estas devem ter o mínimo de tráfego e perturbação.
- A presença de um curso de água que atravesse a passagem pode ser benéfico para encaminhar e estimular o seu uso pela fauna, no entanto deverá assegurar-se a existência permanente de um corredor não alagado.
- A caça deve ser proibida na vizinhança da passagem, particularmente se se encontrar no prolongamento de um importante corredor de deslocamento. Existe um fraco conhecimento sobre a área aconselhada para a zona de não caça, mas uma distancia de 0,5 a 2 km pode ser o mais apropriado, dependendo das situações.
- As passagens não podem ser utilizadas para armazenar material.
- O acesso das passagens deve estar nivelado com o terreno circundante e livre de

obstáculos para animais mais pequenos.

- O desenho e materiais usados na construção da passagem devem garantir que as águas de escorrência não ficam acumuladas dentro da passagem.
- A presença de abrigos de troncos e rochas dentro da passagem pode incentivar o seu uso por animais mais pequenos (Fig. 73).

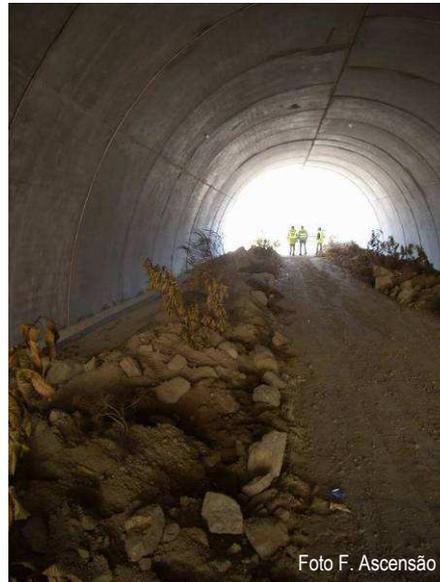


Fig. 73 - Passagem inferior na A24/IP3 – pormenor de material para abrigo de espécies mais pequenas

Manutenção

A responsabilidade da manutenção deve ser organizada e garantida na fase do planeamento da construção da via rodoviária e passagem de fauna. Nos casos onde a manutenção da passagem é entregue a pessoas ou organizações que não estiveram envolvidas no planeamento (e.g. agricultores, proprietários florestais, organizações de conservação da natureza, ONGs, etc.) deve ser garantida uma estreita colaboração com o pessoal encarregue da manutenção da estrada. Deve atender-se ao seguinte conjunto de aspectos:

- O pessoal encarregue da manutenção deve ser apropriadamente instruído. Devem estar conscientes do propósito da presença da passagem e o protocolo de manutenção deve ser elaborado com a sua colaboração.
- A deposição de lixo e materiais inertes deve ser removida em intervalos regulares.
- Deve ser dada atenção à drenagem da passagem: mesmo depois de chuva forte o interior da passagem não deve ficar alagado.
- Deve ser evitado que a passagem seja usada para outros propósitos, e.g. guardar material agrícola, estacionamento de maquinaria, etc.
- A vegetação nas entradas da passagem deve ser mantida em concordância com o propósito da passagem, guiando os animais para as suas entradas.

5.2.4.4 Passagens inferiores modificadas e multifuncionais

Uma passagem multifuncional (para uso de animais, de pedestres e de tráfego automóvel) deve ter uma largura mínima de 10 m. No entanto, podem também ser feitas algumas alterações em passagens mais estreitas e com um comprimento inferior a 25-30 m, de modo a torná-las mais atractivas para diversas espécies. Com o multiuso, o potencial de perturbação é superior, pelo que espécies mais sensíveis como os ungulados poderão evitar o seu uso devido ao tráfego e luzes dos faróis.

Por outro lado, passagens normalmente usadas por humanos podem ser melhoradas de modo a aumentar o seu cruzamento por animais. O número de passagens ao longo das estradas é frequentemente elevado, e com simples adaptações poder-se-ia incrementar a permeabilidade das estradas a uma larga escala.

Projecto

- A adaptação de passagens inferiores apenas deve ser considerada em locais com reduzido tráfego.
- Passagens com cursos de água são particularmente ideais para serem adaptadas.
- O interior da passagem não deve ser pavimentado. Uma faixa de solo ao longo de toda a passagem pode melhorar as deslocações dos animais.
- A presença de abrigos de troncos e rochas dentro da passagem pode incentivar o seu uso por animais mais pequenos.
- As entradas da passagem poderão ter de ser redesenhadas de modo a facilitar o seu uso pelos animais.

5.2.4.5 Passagens inferiores para animais de menores dimensões

Descrição geral e objectivos

As passagens inferiores para animais de pequenas dimensões consistem em túneis com secção quadrangular ou circular, normalmente com uma largura/diâmetro de 0,4/2 m. Contrariamente às PHs, construídas com o propósito de possibilitar a drenagem da água por baixo da estrada, estas passagens são construídas com o objectivo primário de servirem como passagens para animais como os Mustelídeos (e.g. doninha, toirão, fuinha, marta, texugo), mas também para espécies de menores dimensões como anfíbios e répteis. No entanto, existem formas de combinar as duas funções (drenagem e passagem), diminuindo substancialmente os custos inerentes à aplicação de diferentes tipos de estruturas.

Uma vez que as PHs são colocadas em intervalos frequentes e regulares, a solução mais apropriada e económica é o melhoramento do projecto daquelas estruturas de modo a serem passíveis de uma utilização habitual pela fauna. Em troços onde não é necessária a colocação de PHs devem ser acrescentadas estas passagens de fauna para incrementar a permeabilidade da estrada. As passagens específicas podem também ser necessárias em

troços onde os animais cruzem regularmente a estrada e sejam vítimas de um grande número de atropelamentos.

Localização

- Os túneis para animais de menores dimensões são apropriados em situações em que a estrada construída em aterro atravessa uma área natural. Podem no entanto ser igualmente implementadas em estradas niveladas com a paisagem adjacente.
- São particularmente importantes em áreas de grande diversidade específica.
- Se as espécies-alvo usam claramente trilhos definidos, estas passagens devem ser colocadas no seu prolongamento.

Dimensões

- Um diâmetro de 1,5 m para as passagens de secção circular, ou 1-1,5 m de largura para as passagens rectangulares é o mais adequado para a maioria destas espécies. De referir que a manutenção é tanto mais difícil de efectuar quanto mais estreita for a passagem.

Projecto

- Os túneis rectangulares são preferidos para anfíbios e possivelmente para outras espécies, uma vez que as paredes verticais podem proporcionar uma melhor condução ao longo da passagem.
- As passagens tubulares são normalmente mais baratas e mais simples de aplicar em estradas já existentes.
- O betão pode ser um material apropriado, desde que os diferentes elementos estejam suavemente interligados, sem degraus.
- Tubos de betão ou metal podem ser usados, mas a superfície metálica ondulada pode retrair o uso por algumas espécies, e.g. lagomorfos e alguns carnívoros.
- O piso das passagens deve permitir uma boa movimentação pelos animais.
- O projecto da passagem não deve possibilitar a acumulação de água no seu interior. Um mínimo de inclinação de 1% permite a fluidez das águas normalmente.
- O nível do piso da passagem deve estar sempre acima do nível das águas adjacentes.
- As entradas do túnel devem estar livres de perturbação humana.
- As entradas do túnel devem estar conectadas com as vedações da estrada, de modo a conduzir os animais para o seu interior.
- As entradas não podem nunca ter caixas de recolha.

Outros aspectos relevantes

- O túnel deve estar preparado para ser inspeccionado.
- A acessibilidade do túnel pelos animais deve ser totalmente desobstruída.
- As entradas devem estar no lado exterior a qualquer tipo de vedação ao longo da estrada.

- Não devem ser construídas estradas paralelas à via principal de maneira a interromper a conectividade da passagem com a área envolvente.

Manutenção

- A inspecção dos túneis e vedações à volta da passagem deve ser efectuada no mínimo 2 vezes por ano.
- A manutenção adequada é vital para garantir a eficácia da passagem a longo prazo.
- A vegetação adjacente às entradas da passagem deve também ser alvo de manutenção.

5.2.4.6 Passagens hidráulicas modificadas para o uso de animais

As passagens hidráulicas (PHs) são desenhadas para permitir o fluxo das águas sob as estradas, podendo levar água todo o ano. Quando as PHs estão secas, dependendo do seu projecto, uma grande diversidade de espécies pode usá-las para atravessar as estradas. Ligeiras alterações no desenho destas estruturas podem possibilitar o seu uso por um número significativamente superior de indivíduos e espécies.

Em PHs que levam água todo o ano, normalmente é necessário a instalação de um degrau que funcione como um caminho, seco, ao longo da passagem. A modificação de passagens tem demonstrado ser uma boa solução, por exemplo, para o uso de micromamíferos e pequenos carnívoros. Em situações onde a PH é larga o suficiente e está seca grande parte do ano, serve igualmente como passagem para animais de maiores dimensões. As PHs que ligam linhas de água permanentes devem permitir igualmente a circulação de peixes e outras espécies aquáticas.

Adaptação das estruturas de drenagem

- Nos locais onde as PHs são implementadas para drenar uma linha de água debaixo da estrada, todo o ecossistema deve ser integrado ao longo da passagem, na medida do possível, de modo a evitar descontinuidades.
- Nas passagens metálicas com a superfície ondulada, o piso deve ser preenchido com cimento ou outro material que permita uma fácil deslocação dos animais pela passagem.
- A colocação de pequenos canais no piso da passagem pode fornecer um guia para a condução de micromamíferos através da passagem.
- Se a passagem tiver um fluxo de água muito frequente, parte do piso deve ser sobrelevado, criando um degrau ao longo da passagem, de modo a haver uma faixa sempre seca.
- Idealmente poderão ser desenhados novos tipos de PHs rectangulares, pré-fabricadas, integrando um rebordo ou degrau em todo o seu comprimento.

Saídas das PHs

As PHs têm frequentemente caixas colectoras nas suas saídas para reduzir a força erosiva das águas no solo adjacente. Estas estruturas podem funcionar como armadilhas, e devem ser modificadas com estruturas que reduzam a profundidade destas caixas. Podem ser aplicados diferentes tipos de modificações, colocando por exemplo uma rampa que permita a saída dos animais. De salientar que estas rampas devem ter uma inclinação máxima de 45° e uma superfície rugosa de modo a permitir a aderência dos animais.

5.2.4.7 Túneis de anfíbios

Descrição geral e objectivos

A maioria das espécies de anfíbios necessita da presença de massas de água para a reprodução, embora nos períodos de não reprodução possam viver dentro e fora de água, consoante a biologia de cada espécie. Deste modo muitas espécies migram sazonalmente entre diferentes tipos de habitats.

Na Primavera os adultos migram dos seus habitats de Inverno para os seus locais de reprodução, as massas de água, que posteriormente abandonam para voltar ao habitat terrestre. Durante o Outono, depois da metamorfose, os juvenis migram para os habitats terrestres. Algumas espécies regressam ao seu charco de nascença, ano após ano, enquanto que outras usam charcos temporários para a reprodução. A concentração dos movimentos em direcção aos locais de postura requer medidas específicas para garantir o cruzamento das estradas em segurança, como a implementação de túneis e barreiras.

Estes túneis e barreiras têm os seguintes objectivos:

- Impedir o acesso à estrada e prevenir o atropelamento.
- Permitir o cruzamento da estrada em segurança enquanto se deslocam de e para os locais de reprodução.

Os anfíbios não necessitam de estruturas especiais para cruzarem a estrada. As PHs podem servir como pontos de passagem para estes animais. No entanto devem ser considerados algumas questões:

- É importante a existência de barreiras que conduzam os animais para as PHs.
- Os anfíbios são sensíveis à seca, particularmente os juvenis, pelo que longos túneis totalmente secos podem ser pouco apropriados.

Localização

Os túneis de anfíbios devem ser colocados em segmentos de estrada com um elevado número de atropelamentos de anfíbios, ou com a presença de espécies ameaçadas na proximidade da estrada. De acordo trabalhos de investigação que têm vindo a ser desenvolvidos (e.g. Ascensão *et al.*, 2006), sugere-se que troços com uma proximidade de 200-400 m de massas de água sejam alvo destas medidas de mitigação.

Estruturas temporárias

Barreiras e recipientes

Podem ser implementadas barreiras temporárias que impeçam a chegada dos anfíbios às estradas, e conduzam os animais a recipientes de recolha, enterrados no solo. Os animais são depois recolhidos e colocados no outro lado da estrada. Este sistema é normalmente usado quando existe um número significativo de voluntários para verificar os recipientes e transportar os animais. Deve atender-se aos seguintes aspectos:

- As barreiras não devem ser constituídas por vedações de arame.
- As barreiras devem servir para guiar os animais para locais de passagem, e.g. PHs ou locais de recolha.
- A altura da barreira deve ser de pelo menos 40 cm. Na presença de relas nas áreas adjacentes, devem ter uma altura de 60 cm.
- A barreira deve estar enterrada e evitar que os animais consigam galgar por cima.
- Não devem ser usados materiais magnéticos que podem desorientar os anfíbios.
- Os baldes devem ter pelo menos 30-40 cm de profundidade.
- O bordo dos baldes deve estar nivelado com o solo.
- A distância entre cada balde não deve exceder os 10 m.
- Durante o pico de migração os baldes devem ser verificados frequentemente. A frequência depende no número de animais presentes: desde 1-3 vezes por dia a intervalos de 30 minutos.
- Os baldes não devem acumular água para evitar o afogamento de outros animais.
- É aconselhável que os baldes tenham um rebordo de modo a evitar que tritões e relas consigam trepar pelas paredes dos baldes.
- A colocação de um ramo de árvore fino permite a saída de micromamíferos que tenham sido apanhados nos baldes.

Estruturas permanentes

As instalações permanentes consistem em barreiras ligadas a túneis. As primeiras encaminham os animais para o túnel que lhes permite atravessar em segurança as estradas. As barreiras não devem impedir os movimentos dos animais que se deslocam na estrada. Os túneis devem estar posicionados no prolongamento de rotas de migração.

Se as barreiras estiverem paralelas às estradas, a distância aconselhada entre túneis é de 60 m. Se estiverem colocadas em forma de V, com o vértice no túnel, as passagens poderão estar a 100 m. Nos locais com cursos de água permanentes, a PH associada deve ter um degrau, sempre seco, de modo a poder ser usado por outras espécies, nomeadamente micromamíferos que irão igualmente beneficiar da presença destas estruturas.

Barreiras-guia

- As barreiras devem estar na vertical e fazer um ângulo de 90º com o solo. Barreiras

arredondadas não proporcionam uma orientação adequada.

- As extremidades das barreiras devem ser em forma de U, para não deixar os animais sair das barreiras, na direcção contrária ao túnel.
- A altura da barreira deve ser de 40 cm (60 cm na presença de relas).
- O topo da barreira deve estar dobrado de modo a impedir que os animais trepem por cima.
- A superfície de deslocação deve ser livre de vegetação, devendo esta, no entanto, estar próximo para proporcionar abrigo e protecção.
- As barreiras devem estar posicionadas o mais próximo possível do limite da estrada.
- Na ligação das barreiras ao túnel, não deve haver cantos ou quaisquer elementos que destabilizem a deslocação dos animais.

Túneis

- Os túneis de secção rectangular são preferidos aos tubulares, devido ao maior comprimento da base. É também mais simples fixar as barreiras a estas passagens.
- Caso sejam utilizadas passagens circulares, a base deve levar uma camada de betão de modo a aumentar a área plana do piso, e assim facilitar o deslocamento.
- O uso de betão é preferível ao do aço, plástico ou outros materiais.
- Se os túneis de anfíbios forem também usados para drenagem (PHs), é necessário acrescentar um degrau que fique sempre seco.
- A água deve drenar facilmente dos túneis.

5.2.5 Prevenir e evitar o atropelamento de animais

A colisão entre animais de maiores dimensões e os veículos é o efeito negativo mais visível e observável associado às estradas e tráfego. No entanto, muitos animais de menores dimensões (anfíbios, répteis, micromamíferos ou passeriformes) são mortos nas estradas em muito maior número. Este capítulo refere-se às estruturas sem as quais as passagens de fauna poderão ter uma eficácia reduzida – as vedações – cuja colocação deve obedecer a uma série de critérios, inclusive se a sua presença é ou não necessária.

5.2.5.1 Vedações

Descrição geral e objectivos

As vedações são erguidas para prevenir o acesso dos animais às estradas. São construídas principalmente para evitar a colisão entre animais de maiores dimensões e veículos, mas também para reduzir o número de animais mais pequenos que atravessam a estrada pelo pavimento.

A desvantagem das vedações é o facto de incrementarem o efeito de barreira. Nos locais onde são colocadas vedações, deve ser assegurado que os animais têm um número suficiente e adequado de alternativas para atravessar a estrada. Na maioria dos casos as vedações devem ser combinadas com a presença de passagens de fauna. Nestes casos, têm um papel muito importante na orientação dos animais para as passagens. As vedações devem ser erguidas nas estradas onde a mortalidade da fauna é muito elevada ou é esperado que o venha a ser (para novas vias). Caso contrário, e nos casos onde a segurança rodoviária não está em causa, as vedações e o efeito de barreira podem constituir um problema maior do que a ocorrência de atropelamentos, pelo que a sua aplicação deve ser bem ponderada.

Localização

As vedações devem ser erguidas nos locais onde ocorre um número elevado de atropelamentos, ou existe um risco elevado de acidentes para as pessoas. Este é o caso das auto-estradas e vias de maior tráfego. Em estradas com reduzido volume de tráfego, as vedações (ligadas a passagens de fauna) devem apenas ser erguidas em locais de maior número de cruzamentos/mortalidade.

A paisagem envolvente deve ser inspeccionada de modo a verificar a presença de outras vedações. O número de vedações paralelas deve ser evitado de modo a não “encurrular” os animais.

As vedações devem sempre ser erguidas nas duas bermas da estrada. Os limites das vedações podem ser locais problemáticos: os animais podem contornar as vedações e dirigir-se para as estradas. Deste modo as extremidades das vedações devem ligar a pontes ou viadutos.

Nas áreas onde o habitat "natural" foi reduzido a pequenas manchas, todas as manchas devem estar acessíveis aos animais. Deste modo, a vedação deve estar próxima do pavimento, de modo a que as bermas possam ser usadas como locais de dispersão.

Nos segmentos onde a estrada segue em aterro, com grande inclinação, é preferível colocar a vedação no topo, junto ao pavimento, do que no fundo do aterro. O mesmo acontece quando a estrada segue em escavação.

As vedações não devem nunca bloquear as entradas de passagens de fauna ou outras estruturas (e.g. PHs) usadas pelos animais. Devem sim encaminhar os animais para estas passagens.

Projecto

As vedações normais das passagens de fauna consistem em redes de arame seguras por estacas. A altura e a malha da rede dependem da espécie-alvo. De modo a ser uma barreira eficaz, a vedação deve seguir os seguintes requerimentos:

- A altura deve ser suficiente para impedir que os animais saltem ou trepem por cima.
- A malha deve impedir que os animais passem pelas aberturas.
- A rede deve estar fixa, de preferência enterrada, de maneira a que os animais não passem por baixo.
- As redes eléctricas são muito caras e precisam de uma manutenção frequente, pelo que não são uma opção para segmentos muito longos. Podem ser usadas localmente onde existe um elevado risco de atropelamento para uma espécie protegida, e pode ser usada temporariamente para ensinar os animais a atravessar as estradas nas passagens de fauna, quando uma nova estrada é construída.

Altura

- A altura é determinada pelas espécies alvo. Por exemplo, em áreas com a presença de veado, a altura mínima deve ser de 2,2 m; com a presença de javali o mínimo deverá ser 1,5 m.
- A altura deve ser ajustada ao terreno e tendo em conta o lado de aproximação do animal. Nos casos em que o animal se aproxima do lado descendente, esta altura deve ser incrementada.
- Em áreas onde é frequente nevar, a altura deve ser tal que os mínimos se mantêm mesmo no Inverno.

Malha

- Para as vedações normais de passagens de fauna, é recomendado que o primeiro terço ou primeira metade da vedação tenha uma malha mais fina. A distância entre arames horizontais deve ser de 50-150 mm na base e 150-200 mm no topo; a distância entre arames verticais deve ser de 150 mm.
- Os arames devem ter um diâmetro de 2,5 mm no mínimo, e devem ser antioxidantes.
- A base da vedação deve acompanhar o nível do solo, e deve ser enterrada 20-40 cm de modo a evitar que os animais passem por baixo. Nos casos onde o solo é irregular, este deve ser nivelado para evitar a presença de aberturas, principalmente nos locais onde existem canais de drenagem ligados às PHs.
- A rede deve ser fixada no lado exterior das estacas, ou seja do lado oposto à estrada, de modo a prevenir que seja derrubada quando os animais de maior porte se encostam.

Estacas

- Podem ser usadas estacas de madeira ou de metal.
- Os postes devem suficientemente fortes para aguentar o impacte dum animal em corrida contra a vedação.
- Os postes devem estar bem firmes e enterrados no solo, pelo menos 70 cm.
- Em áreas com presença de javali, os postes devem ter uma distância entre si, no máximo, de 4 m.

Saídas

Nos casos onde há o perigo de animais ficarem encurralados na estrada, nomeadamente quando a estrada não é vedada em todo o seu comprimento, devem ser colocadas escapatórias constituídas por portas de abertura num só sentido (da estrada para o meio circundante) para permitir que os animais escapem da rodovia.

Considerações adicionais para pequenos animais

As vedações para pequenos animais (anfíbios, répteis, micromamíferos) devem apenas ser colocadas em conjunto com passagens. Estes animais não devem ser mantidos afastados das bermas uma vez que estas podem constituir bons habitats para estas espécies, particularmente como corredores de deslocamento.



Fig. 74 - Vedações para pequenos animais na A24/IP3

Para impedir o acesso destes pequenos animais ao asfalto, uma rede adicional pode ser fixada à rede standard (*cf.* Fig. 74). Dependendo da espécie, a rede não deve ter uma malha superior a 2 x 2 a 4 x 4 cm. A altura desta rede deve ser de 40-60 cm. Para prevenir que os animais consigam trepar, o topo desta rede deve ser dobrado para o exterior e para baixo.

Manutenção

As vedações devem ser inspeccionadas regularmente como parte da inspecção periódica da estrada, pelo menos uma vez por ano.

Deve ser dada especial atenção à presença de aberturas, a fixação da rede aos postes, a fixação ao chão, a sinais de passagem de animais por baixo da rede e a estragos causados por veículos ou animais.

5.3 Avaliação da eficácia dos sistemas

5.3.1 Pesquisa bibliográfica de artigos científicos

Este capítulo pretende dar uma visão global dos estudos científicos que decorreram em diversos países, incluindo Portugal, referentes ao uso e eficácia de passagens pelos animais. Foi feita uma pesquisa na base bibliográfica da Unidade de Biologia da Conservação, Universidade de Évora, de artigos publicados em revistas científicas indexadas, usando as palavras-chave: *crossing structures*, *passages* e *culverts*.

Dos artigos encontrados foram seleccionados pela sua relevância 19 trabalhos, os quais dividimos em dois grandes temas: artigos que abordam que espécies usam as passagens e os factores que influenciam o seu uso (13 artigos) e artigos que relacionam a mortalidade por atropelamento com a presença de passagens e/ou a eficácia das estruturas (6 artigos). Os trabalhos consultados encontram-se listados na Quadro 31 e Quadro 32.

Neste capítulo, e para maior comodidade da leitura, optou-se por indicar no texto as referências bibliográficas listadas no Quadro 31 e no Quadro 32 pela referência indicada na respectiva coluna ("Ref. ").

Quadro 31 - Ordenação cronológica dos diferentes trabalhos científicos que abordam que espécies usam as passagens e os factores que influenciam o seu uso

Estudo	Ref.	Método de inventariação	Nº de passagens	País
Yanes <i>et al.</i> (1995) ^{§£}	1	Pegadas	17 PH	Espanha
Rodriguez <i>et al.</i> (1996) [£]	2	Pegadas	17 PH	Espanha
Clevenger e Waltho (2000) [§]	3	Pegadas	11 PI	Canadá
Clevenger <i>et al.</i> (2001a) [§]	4	Pegadas	36 PH	Canadá
Gloyne e Clevenger (2001) [§]	5	Câmaras fotográficas, Pegadas	7 PF inferiores, 3 Pontes; 10 PH, 2 PF superiores	Canadá
Cain <i>et al.</i> (2003) [§]	6	Câmaras fotográficas, Pegadas	4 Pontes, 5 PH modificadas, 9 PH	EUA
Taylor e Goldingay (2003) [§]	7	Pegadas, Armadilhas	9 PH	Austrália
McDonald e StClair (2004) [§]	8	Armadilhas	PS, PI e PH	Canadá
Ng <i>et al.</i> (2004) [§]	9	Câmaras fotográficas, Pegadas	11 PH e 4 PI	EUA
Clevenger e Waltho (2005) [§]	10	Câmaras fotográficas, Pegadas	13 PF inferiores	Canadá
Mata <i>et al.</i> (2005) [§]	11	Câmaras fotográficas, Pegadas	33 PH, 10 PH modificadas, 14 PI, 7 PFI, 16 PS, 2 PF superiores	Espanha
Ascensão e Mira (2006) [§]	12	Pegadas	34 PH	Portugal

Nota: § Passagens em estradas, £ passagens em caminhos-de-ferro. Ref. – referência do estudo; PH – passagem hidráulica; PF – passagem de fauna; PS – passagem superior; PI – passagem inferior.

Quadro 32 - Ordenação cronológica dos diferentes trabalhos e artigos que abordam a relação da mortalidade por atropelamento com a presença de passagens e/ou a eficácia das estruturas

Estudo	Ref.	Taxa alvo do estudo	País da área de estudo
Philcox <i>et al.</i> (1999)	13	Lontra (<i>lutra lutra</i>)	Inglaterra
Clevenger <i>et al.</i> (2001b)	14	Vertebrados	Canadá
Clevenger <i>et al.</i> (2003)	15	Vertebrados	Canadá
Dodd <i>et al.</i> (2004)	16	Vertebrados	EUA
Blanco <i>et al.</i> (2005)	17	Lobo (<i>Canis lupus</i>)	Espanha
Aresco <i>et al.</i> (2005)	18	Herpetofauna	EUA

Ref. – referência do estudo

5.3.2 Espécies e factores que influenciam o uso das passagens

5.3.2.1 Espécies detectadas nas passagens

A consulta dos diversos trabalhos referentes aos factores que influenciam o uso das passagens por diferentes espécies permitiu inventariar um grande número de *taxa* que usam as passagens. Na Quadro 33 encontra-se a lista dos *taxa* detectados nos estudos efectuados na Península Ibérica [referências 1, 2, 11, 12 e 17 dos Quadro 31 e Quadro 32].

Como se pode observar pelo Quadro 33, no decorrer dos vários trabalhos efectuados na Península Ibérica foram detectados diversos *taxa* como utilizadores das passagens. De realçar a presença de espécies com elevado estatuto de conservação, com o lince-ibérico, lobo, gato-bravo. No entanto, estes resultados devem ser analisados com precaução, uma vez que nos casos do lince-ibérico e gato-bravo os trabalhos remontam a 1995-1996 e desde então mais nenhum registo foi descrito nos trabalhos posteriores consultados. No caso do toirão, um carnívoro cuja população nacional se encontra ainda muito pouco estudada, nenhum dos trabalhos consultados e realizados na Europa referem a sua utilização de passagens. Existem no entanto observações de espécimes que atravessaram passagens, inclusive de auto-estradas (Clara Grilo, Cristina Mata, comunicação pessoal; dados pessoais não publicados). Não sendo uma espécie com densidades tão baixas como as duas primeiras, o toirão pode ter alguma relutância em usar certas passagens, pelo que o efeito de barreira das estradas poderá ser mais intenso para este animal. Dado o seu interesse para a conservação (espécie classificada como DD – Informação Insuficiente, Cabral *et al.*, 2005), o estudo do seu comportamento relativamente ao uso das diferentes passagens deve ser intensificado. No âmbito do Projecto MOVE, da Unidade de Biologia da Conservação da Universidade de Évora, tem sido ensaiada a captura e radio-seguimento desta e de outras espécies de mustelídeos com vista ao estudo do seu comportamento e movimentos na envolvência de rodovias.

Quadro 33 - Taxa detectados como utilizadores das passagens de fauna referidas nos estudos realizados na Península Ibérica (Ref.: 1, 2, 11, 12, 13 e 18). Para as espécies é indicado o nome científico. Ref. – referência do trabalho consultado onde o taxon foi detectado (ver Quadro 32)

Grupo	Nome comum	Nome científico	Ref.
Anfíbios			1,11
Répteis			1,12
	Lagartos		11
	Sardão	<i>Lacerta lepida</i>	1
	Serpentes		11
Micromamíferos			1,2,11,12
	Rato-do-campo	<i>Apodemus sylvaticus</i>	1
	Musaranhos	<i>Sorex spp.</i>	1
	Ratazana	<i>Rattus sp.</i>	11
	Rato-d'água	<i>Arvicola spp.</i>	11
	Esquilo	<i>Sciurus vulgaris</i>	11
	Leirão	<i>Eliomys quercinus</i>	11
	Ouriço-cacheiro	<i>Erinaceus europaeus</i>	11,12
Lagomorfos			11,12
	Coelho-bravo	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	1,2
	Lebre	<i>Lepus granatensis</i>	2
Carnívoros			
	Lince-ibérico	<i>Lynx pardinus</i>	2
	Pequenos mustelídeos		11
	Doninha	<i>Mustela nivalis</i>	12
	Texugo	<i>Meles meles</i>	11,12
	Geneta	<i>Genetta genetta</i>	1,2,11,12
	Fuinha	<i>Martes foina</i>	12
	Lontra	<i>Lutra lutra</i>	12
	Sacarrabos	<i>Hepstes ichneumon</i>	12
	Canídeos		11
	Raposa	<i>Vulpes vulpes</i>	1,2,11,12
	Lobo	<i>Canis lupus</i>	17
	Gato-bravo	<i>Felis silvestris</i>	1,2
	Gato sp.		11
	Cão doméstico	<i>Canis familiaris</i>	1,12
	Gato doméstico	<i>Felis catus</i>	1,12
Ungulados	Veado	<i>Cervus elaphus</i>	11

Por outro lado, nenhum trabalho refere o uso das diferentes passagens pelo javali, e em apenas um é referido o uso pelo veado (Mata *et al.*, 2005). Embora haja registos da passagem de javali em passagens, por exemplo na monitorização em curso do IC27, Mte Francisco – Odeleite (dados pessoais não publicados), o seu uso poderá ser raro e pontual.

5.3.2.2 Factores que influenciam o uso das passagens

A consulta dos trabalhos acima referidos permitiu recolher diversas informações acerca dos principais factores que influenciam o uso das passagens (ver Quadro 31 e Quadro 32). Embora

muitos dos trabalhos consultados tenham sido elaborados noutros países ou continentes, com espécies bastante distintas, existem factores e variáveis biofísicas que, sendo transversais a todas as estradas, poderão ter um efeito relativamente generalizável para *taxa* semelhantes. São aqui apresentadas diversas conclusões recolhidas dos estudos consultados, muitas das quais comuns entre trabalhos distintos.

Dimensões e características da passagem

De acordo com os trabalhos consultados, existe uma influência negativa do comprimento da passagem para micromamíferos, coelhos e alguns carnívoros [1]. A largura e abertura da passagem têm influência variável de acordo com o *taxon* e o estudo consultado. Por exemplo, de acordo com a bibliografia, a influência da largura e abertura em micromamíferos é positiva em [1] e negativa em [4,8]. *Lepus americanus* e *Martes americana* [4], *Ursus actos*, *Canis lupus* e ungulados [10] preferem passagens mais largas; tendo o contrário sido verificado para doninha [4], *Ursus americanus* e *Puma concolor* [10]. Outros autores afirmam que o uso das PHs pela fauna está positivamente relacionado com a abertura [3,6] e presença de vegetação na proximidade das entradas [4,6]. Deste modo, os resultados obtidos pelos diferentes estudos vêm suportar a tese de que é necessário colocar diferentes passagens distribuídas pelos diferentes habitats [4,7,8,10,11], sendo que o número de passagens deve depender das áreas vitais da espécie alvo [8].

Aparentemente as auto-estradas não constituem barreiras para o lobo, uma vez que esta espécie pode usar regularmente as passagens superiores [17].

É importante realçar que os ungulados parecem evitar usar as PHs, mesmo as de grandes dimensões [2,11], embora possam usar as passagens sob viaduto ou com uma grande largura [9]. Igualmente relevante é a concordância nos trabalhos do facto de existir uma influência negativa da presença de caixa de recolha nas PHs [1,12].

Perturbação – tráfego e ruído

A perturbação parece ter efeitos diferentes de acordo com a espécie. De facto, de acordo com [4], *Canis latrans* tende a usar passagens em estradas com menos tráfego, enquanto que para *Martes americana*, *Lepus americanus* e *Tamiasciurus hudsonicus* o efeito do nível de tráfego é inverso. Relativamente ao ruído, o seu aumento parece influenciar negativamente *Canis latrans*, *Lepus americanus* e *Tamiasciurus hudsonicus* [4,10].

A influência da presença humana, seja pela proximidade a núcleos urbanos, seja pelo uso das passagens, parece ser variável, podendo diminuir significativamente o seu uso pelos animais [3] ou não [5].

Área envolvente

Relativamente aos biótopos existentes nas áreas adjacentes às passagens, o maior uso das passagens parece estar relacionado com a distribuição e área de habitat de "qualidade"

próximo à passagem [5,9], havendo uma influência negativa de áreas abertas na adjacência da passagem no seu uso por micromamíferos [1].

Também a influência positiva da vegetação perto das entradas das PHs foi descrita para vários *taxa*: micromamíferos [8], carnívoros [2,10], *Mustela erminea* e *M. frenata*, *Lepus americanus*, *Canis latrans* [4] e ungulados [10]. Por outro lado, os carnívoros tendem a usar passagens perto de linhas de água, enquanto que os ungulados não [3].

Vedações

Quanto à importância das vedações, os trabalhos consultados suportam que a colocação de vedações ligando as PHs parece aumentar o uso de passagens [6,7], podendo reduzir até 80% o número de atropelamentos [14].

5.3.3 Eficácia das estruturas e a sua relação com a mortalidade por atropelamento

A presença de PHs não modificadas pode não ser suficiente para garantir a mitigação dos atropelamentos. De facto, a grande maioria dos atropelamentos em lontra ocorre em locais onde a estrada cruza um curso de água, pelo que as estruturas de drenagem devem ser adaptadas ao uso destes animais de modo a evitar que cruzem a estrada pelo asfalto [13]. É aconselhado o uso de pontes sobre rios e ribeiras, ou PHs de grandes dimensões com um degrau que se mantenha sempre seco, para evitar os atropelamentos de lontra. Também se sugere a aplicação de redes de exclusão com ligação às passagens ou em troços de estrada que estejam muito perto e paralelos a um curso de água [13].

Por outro lado, a densidade de estruturas deve ser suficiente para que os animais encontrem facilmente uma passagem. De facto, existe uma relação directa entre o número de atropelamentos de mamíferos e a distância a PHs e a PFs [15].

A ligação das passagens a sistemas de exclusão, que impeçam o acesso dos animais à estrada, pode ser um método bastante eficaz na diminuição da mortalidade. Este processo levou à diminuição em 65% o número de atropelamentos (2411 para 158 animais) e aumentou substancialmente o uso das PHs num troço de estrada [17]. Noutro exemplo [19], uma vedação de exclusão colocada para impedir o acesso de herpetofauna a uma auto-estrada diminuiu igualmente a mortalidade e incrementou o uso das PHs por estes animais.

5.4 Análise dos resultados de programas de monitorização

5.4.1 Estradas analisadas

Durante a consulta realizada aos vários troços em estudo, constatou-se que um número reduzido de passagens pertence à classe "Passagens de fauna", estruturas propositadamente construídas com o objectivo de minorar os impactes negativos das estradas e tráfego automóvel, nomeadamente a mortalidade por atropelamento e o efeito de barreira. No entanto, detectou-se a existência de PHs cujos perfis transversais e longitudinais se equiparavam aos de uma PF. De facto, no nosso entender, passagens com aberturas da manilha simples (sem caixas de recolha), sem degraus ao longo do seu perfil longitudinal, e com uma secção superior a 2,5 m x 2,5 m, poderão ser usadas por todas ou praticamente todas as espécies terrestres presentes em Portugal, pelo que poderão ser consideradas passagens de fauna (embora no caso dos ungulados a bibliografia aponte para dimensões maiores, ver secções seguintes).

No entanto, o uso destas estruturas pelos animais poderá ser reduzido quando estas se encontrem em zonas próximas de aglomerados urbanos ou quando encharcadas pelas águas de escorrência, pelo que a sua classificação como PF deverá ser avaliada em cada caso, considerando a sua localização, biótopos envolventes, dimensões, espécie-alvo, etc. (ver secções seguintes). A conversão destas PHs em PFs deverá ser acompanhada por um especialista em ecologia, preferencialmente em Ecologia de Estradas, uma vez que estas poderão necessitar de ajustamentos de ordem biofísica de modo a permitir uma circulação eficaz por um maior número de espécies. Como exemplos podem referir-se medidas como a aplicação de um degrau de modo a haver uma faixa sempre seca, a colocação de troncos e pedras que sirvam de abrigo, plantação de arbustos perto das aberturas, etc. Foram detectadas 88 PHs que se enquadram nesta situação, listadas na Quadro 34.

Por outro lado, existem diversas passagens superiores, inferiores e passagens agrícolas que, pela reduzida perturbação humana e distância a núcleos urbanos, podem igualmente funcionar como passagens de fauna. Através da aplicação de algumas medidas de mitigação, em geral muito simples e relativamente baratas, pode criar-se um corredor atractivo nestas estruturas para serem usadas por número elevado de espécies.

Quadro 34 - Número de PHs com perfil potencial para serem convertidas em passagens de fauna inferiores

Código da estrada	Código da passagem	Largura (m)	Altura (m)
100201	1002015001498	2,5	2,5
	1002015014131	4	3
	1002015018440	2,5	2,5
	1002015019282	3	3
	1002015020520	3	3
100202	1002025000572	3	3
	1002025009364	2,5	2,5

Código da estrada	Código da passagem	Largura (m)	Altura (m)
100203	1002035000339	4	3
	1002035001793	5	3
	1002035007988	3	3
	1002035013154	3	3
	1002035015746	2,7	2,5
	1002035018981	2,5	2,5
100205	1002055000143	4	4
	1002055000816	3	3
	1002055003275	3	3
	1002055005493	5	5
	1002055009550	4	4
	1002055010200	3	3
	1002055011780	2,5	2,5
100602	1006025004730	2,5	2,5
	1006025005181	2,5	2,5
100603	1006035002358	2,5	2,5
	1006035003167	2,5	2,5
	1006035015890	2,5	2,5
	1006035016410	4	4
	1006035016958	4	4
	1006035019168	2,5	2,5
	1006035022425	3,5	3,5
	1006035022950	2,5	2,5
	1006035030385	3,5	3,5
	100604	1006045007367	3,5
1006045009725		4	4
1006045012202		4	3,5
1006045012384		3	3
1006045013418		3	3
1006045014494		4	3,5
1006045015266		3	3
1006045021092		3,5	3
1006045021580		4	4
1006045024507		5	5
100605	1006055002254	3,5	3
	1006055008217	3,5	3
	1006055010702	4	3
100606	1006065004168	2,5	2,5
	1006065009947	2,5	2,5
	1006065011593	3,5	3
	1006065018900	3	3
100701	1007015001458	4	2,5
	1007015002719	3	3
	1007015004143	3,5	3,5
100703	1007035002413	3	2,5
	1007035003175	3	2,5
101301	1013015002460	2,5	2,5
	1013015003823	2,5	2,5
	1013015004096	2,5	2,5
101303	1013035019285	2,5	2,5

Código da estrada	Código da passagem	Largura (m)	Altura (m)
	1013035020500	3,5	3,5
101304	1013045000830	3	3
	1013045004680	2,5	2,5
	1013045009118	2,5	2,5
101401	1014015009545	2,5	2,5
102502	1025025009010	2,5	2,5
102503	1025035003365	2,5	2,5
	1025035005225	2,5	2,5
	1025035011478	2,5	2,5
102504	1025045015876	4	4
200202	2002025012150	2,5	2,5
	2002025014450	2,5	2,5
200203	2002035009420	2,5	2,5
	2002035017465	2,5	2,5
200306	2003065005508	5	2,5
200308	2003085006075	4	3,5
	2003085009757	5	3
	2003085011145	5	3
	2003085015812	7	5
200901	2009015000910	3	3
	2009015002918	3	3
	2009015002994	3	3
	2009015003614	3	3
302701	3027015002187	2,5	2,5
	3027015004735	2,5	2,5
	3027015008250	2,5	2,5
302702	3027025006550	2,5	2,5
	3027025007438	2,5	2,5
	3027025009403	2,5	2,5
	3027025010618	2,5	2,5
	3027025010861	2,5	2,5

5.4.2 Acerca da permeabilidade das estradas analisadas

Uma das questões mais prementes em Ecologia de Estradas é saber qual a permeabilidade das estradas às movimentações diárias e sazonais dos animais. Assim, interessa saber qual é a permeabilidade potencial das estradas, particularmente ao nível da concepção do projecto. Uma vez definido com critérios objectivos um limiar a partir do qual se considera que a estrada terá uma permeabilidade reduzida, rapidamente poderá ser sugerida uma alteração ao projecto de modo a incrementar essa permeabilidade. Da mesma forma uma avaliação a uma estrada já construída pode elucidar sobre a necessidade ou não de uma intervenção a nível das passagens.

Foi elaborado um índice, muito simplificado, tendo como base a largura das estruturas de passagem presentes ao longo dos troços. A equação da permeabilidade potencial (p),

considerando apenas a largura das estruturas, resulta de:

$$\rho = \frac{L}{Comp_a} \quad (\text{eq.1})$$

onde L é igual à soma da largura de todas as passagens no troço a e $Comp_a$ o comprimento do troço a . A ordenação dos troços de acordo com o índice de permeabilidade encontra-se na Fig. 75.

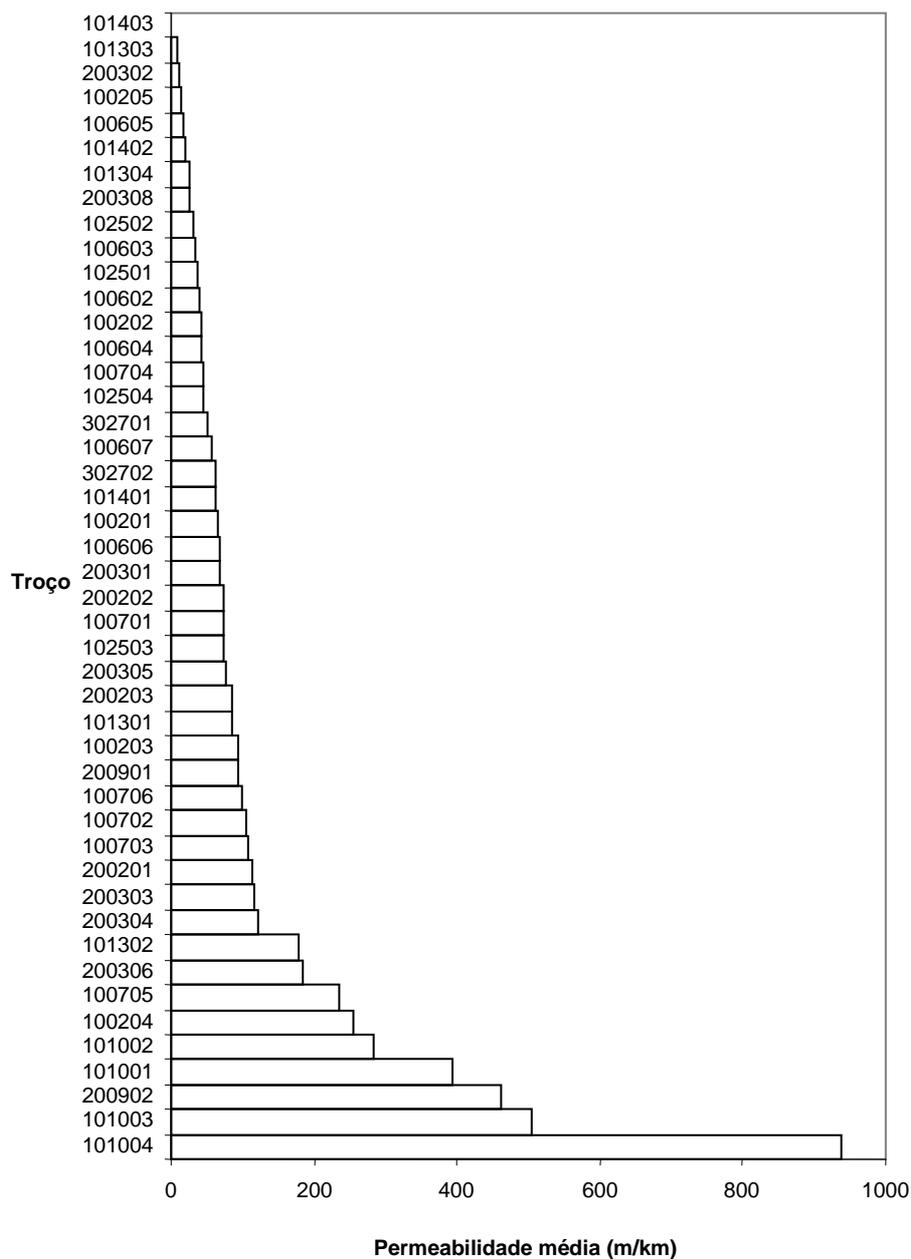


Fig. 75 - Ordenação dos troços de estrada analisados, de acordo com o índice de permeabilidade (ver texto)

Como podemos observar, a permeabilidade potencial dos troços teve uma grande variabilidade. Contudo, existe uma lacuna no conhecimento científico para avaliar o grau de permeabilidade mínimo para garantir a conectividade entre populações o que impossibilita uma avaliação realista dos resultados apresentados na Fig. 75. Julgamos que é necessário um estudo mais aprofundado de modo a podermos aferir com algum rigor a partir de que valor é que as estradas apresentam uma permeabilidade deficiente ou ideal.

A ordenação dos troços, de acordo com a sua permeabilidade potencial, poderá ajudar na elaboração/correção de planos de estrada, bem como direccionar os esforços de medidas de mitigação para estradas onde o efeito de barreira seja maior. De referir que, embora este índice possa já funcionar como um indicador sobre a permeabilidade dos vários troços, é necessário um desenvolvimento mais aprofundado, dado existirem outros parâmetros que podem ser integrados no seu cálculo com por exemplo a existência e tipo de vedações. Além disso, na elaboração do índice não foram consideradas as várias tipologias de passagem. Esta opção poderá ser revista, uma vez que as PSs e Pls mais usadas pelo tráfego e outras actividades humanas poderão ser utilizadas por um menor número de espécies e/ou indivíduos dada a sua maior perturbação (ver secções seguintes). Por outro lado, existem certamente diferenças significativas no volume de tráfego entre as diversas PSs e Pls, entre estradas e dentro da mesma estrada. Deste modo, a integração do volume de tráfego nestas estruturas no índice poderia dar uma aproximação mais real da permeabilidade potencial. É de salientar também que um elevado número das PHs tinha pelo menos uma das aberturas em forma de recipiente (46%) e/ou com degrau(s) igual(is) ou maior(es) que um metro de altura no seu desenho longitudinal (48%). Estas passagens não são passíveis de ser usadas por um elevado número de espécies, podendo funcionar como armadilhas e assim incrementar o efeito de barreira e de mortalidade associada à infra-estrutura.

Deste modo, a integração desta informação dará também um contributo fundamental à aproximação da permeabilidade real do troço. Propomos que o cálculo da permeabilidade real do troço seja depois integrado na avaliação do custo benefício das passagens de fauna, secção desenvolvida também neste relatório. De facto, a avaliação da permeabilidade pode ser um factor importante na análise custo benefício, dado que para estradas pouco permeáveis ao deslocamento de certas espécies o custo da construção de uma passagem de fauna será minorado; enquanto que para estradas com diversas passagens de uso generalizado pela fauna, a implementação de uma passagem de fauna levará a custos acrescidos e provavelmente desnecessários.

Com base no que foi sugerido por outros autores (Reed e Ward, 1985 *in* Rodriguez *et al.*, 1996), poderão ser aplicadas as seguintes fórmulas, respectivamente para PHs ou Pls (eq.2) e Viadutos (eq.3):

$$\rho = \frac{AxL}{C} / Comp_a \quad (\text{eq.2})$$

$$\rho = \frac{\sqrt{AxL}}{C} / Comp_a \text{ (eq.3)}$$

onde A – altura da passagem, L - largura da passagem, C – comprimento da passagem e Comp – extensão do troço.

De referir que foi integrado o comprimento e a altura das passagens, dimensões relevantes uma vez que uma PH com 100 m de comprimento poderá ter uma menor permeabilidade do que uma PH com 50 m de comprimento, considerando passagens com igual secção (ver eq.2 e 3). Assim, propomos que este índice seja um ponto de partida para uma reflexão mais aprofundada sobre a sua elaboração e qual o "peso" dos seus diferentes componentes, trabalho a desenvolver futuramente em colaboração com as Estradas de Portugal, E.P.E.

5.4.3 A2, Castro Verde - Almodôvar, Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines e S. Bartolomeu de Messines - VLA

Foram consultados os relatórios referentes às monitorizações das passagens de três troços da A2, nomeadamente: Castro Verde - Almodôvar (n=24), Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines (n=16) e S. Bartolomeu de Messines - VLA (n=12).

De acordo com os relatórios disponíveis, foram realizadas amostragens em Agosto (3 visitas), Outubro (3 visitas) e Dezembro (3 visitas) de 2004. O método utilizado foi o de tapetes de pó-de-pedra. Os resultados desta monitorização estão resumidos no Quadro 35.

Quadro 35 - Resultados da monitorização realizada a passagens de fauna em três troços da A2, Castro Verde - Almodôvar (24 PHs), Almodôvar - S. Bartolomeu de Messines (16 PHs) e S. Bartolomeu de Messines - VLA (12 PHs)

Nome científico	Nome comum	A2			IC27
		100203	100204	100205	302702
Lacertidae			1	3	
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz		1		
Motacillidae		20	10	6	
<i>Erinaceus europaeus</i>	Ouriço-cacheiro	9		1	3
<i>Rattus</i> sp	Ratazana	1	1	1	
Rodentia		25	13	6	
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Coelho-o-bravo	18	1	9	18
<i>Martes foina</i>	Fuinha	1			3
<i>Mustela putorius/Martes foina</i>	Toirão/Fuinha		1		
<i>Mustela nivalis</i>	Doninha		2		1
<i>Lutra lutra</i>	Lontra	13	2	4	3
<i>Meles meles</i>	Texugo	7	2	2	1

Nome científico	Nome comum	A2			IC27
		100203	100204	100205	302702
<i>Genetta genetta</i>	Geneta	5	1		22
<i>Herpestes ichneumon</i>	Sacarranos	22	9	18	18
<i>Vulpes vulpes</i>	Raposa	10	3	5	12
<i>Sus Scrofa</i>	Javali	4	1		
<i>Felis sp</i>			1	9	
<i>Canis familiaris</i>	Cão-doméstico	24	3	14	13
	Gado	6	1	5	
	Não identificado	7	5	5	
	Presença humana			5	

Podemos observar que uma variedade de *taxa* foi detectada nestas passagens destacando-se, pelo seu valor conservacionista, as espécies de mamíferos carnívoros. Os resultados demonstraram que, no seguimento da bibliografia publicada (ver secções anteriores), diversas espécies usam frequentemente estas estruturas, podendo estas minimizar assim os impactes negativos das estradas e tráfego automóvel, nomeadamente a mortalidade por atropelamento e o efeito de barreira.

5.4.4 IC27, Monte Francisco – Odeleite

5.4.4.1 Introdução

Este programa pertence ao projecto "Programa de Monitorização da Flora e da Fauna. IC27-Monte Francisco/Odeleite" das entidades ERENA, Unidade de Biologia da Conservação da Universidade de Évora e Fundação Luís de Molina, e estará a decorrer até 2009. Assim, todos os resultados e análises aqui apresentados são preliminares e referem-se apenas aos inventários realizados até final de 2006.

Foi consultado o relatório referente à monitorização de 14 passagens hidráulicas e uma passagem de fauna do troço do IC27, Monte Francisco – Odeleite. Foram realizadas amostragens em três períodos do ano de 2005, Janeiro, Maio e Outubro (a passagem de fauna apenas foi amostrada em Maio e Outubro devido a constrangimentos logísticos). No total, foram monitorizadas 9 passagens de secção circular (oito com 0,8 m de diâmetro e uma com 1,2 m de diâmetro), cinco passagens de secção quadrangular com 2,5 m de lado e a passagem para fauna de secção semicircular com cerca de 7 m de largura. Para o estudo do uso das passagens recorreu-se a tapetes de pó-de-pedra e a máquinas fotográficas. Na passagem para a fauna e numa passagem hidráulica adjacente de secção quadrangular, foram colocadas 4 câmaras (duas em cada passagem) com mecanismo de disparo automático junto de cada uma das entradas, a 30 cm do solo.



Fig. 76 - Exemplo de uma câmara fotográfica colocada na passagem hidráulica (A), pormenor da máquina colocada a 30 cm do chão (B)

Relativamente à passagem para fauna do IC27 deve ser realçado que a presença humana regular no uso da passagem poderá estar a prejudicar a sua eficácia, sugerindo-se a implementação de medidas que conduzam a uma diminuição do seu uso pelo Homem e que impeçam, por exemplo, a circulação de máquinas e tractores (Fig. 77).



Fig. 77 - Exemplos de passagem de veículos, pessoas e cães na passagem de fauna do IC27

Apresenta-se de seguida a compilação e discussão dos resultados globais obtidos para os carnívoros, grupo para o qual a informação específica relativamente ao uso das PHs é particularmente relevante. Esta monitorização inclui espécies silvestres e domésticas. Discutem-se os resultados relativos à monitorização das passagens hidráulicas realizada em 2005 e a abundância relativa das espécies com base na pesquisa de indícios de presença em transectos efectuados em 2005 e 2006.

Foram assinalados 80 atravessamentos completos de carnívoros nas três épocas de amostragem (Quadro 36).

Quadro 36 - Número de atravessamentos por espécie e por época no total das PHs

Espécie		Atravessamentos			
Nome comum	Nome científico	Janeiro	Maior	Outubro	Total
Cão doméstico	<i>Canis familiaris</i>	5	2	1	8
Gato doméstico	<i>Felis catus</i>	8	11	1	20
Geneta	<i>Genetta genetta</i>	7	10	2	19
Sacarrabos	<i>Herpestes ichneumon</i>	3	11	3	17
Lontra	<i>Lutra lutra</i>	2	1	0	3
Fuinha	<i>Martes foina</i>	2	1	0	3
Texugo	<i>Meles meles</i>	0	1	0	1
Doninha	<i>Mustela nivalis</i>	1	0	0	1
Raposa	<i>Vulpes vulpes</i>	4	3	1	8
Total		32	40	8	80

Verifica-se para a generalidade das espécies um aumento na taxa de utilização das passagens de Janeiro para Maio, particularmente evidente em sacarrabos, geneta e gato doméstico. A amostragem de Outubro foi mais reduzida uma vez que o pó-de-pedra ficou ilegível em várias ocasiões devido às fortes chuvadas que se fizeram sentir na altura. O número médio de espécies detectadas em cada passagem para o total anual situou-se entre $3,07 \pm 1,44$ variando este entre 1 e 5.

Verificou-se uma tendência para que um maior número de espécies usasse as passagens maiores e com secção quadrangular ($4,20 \pm 0,84$) do que as passagens menores de secção circular ($2,44 \pm 1,33$). Porém, a forma das passagens poderá não ser o factor principal que condiciona a sua utilização por parte dos carnívoros. Outras variáveis como a vegetação perto das entradas, presença humana ou topografia também deverão contribuir para diferenças nesta utilização. Registou-se que o número de espécies que usa as seis passagens situadas a mais de 5 m de profundidade ($4,17 \pm 0,75$) é superior às que usam as passagens menos profundas e mais próximas do asfalto ($2,25 \pm 1,28$). Todas as passagens situadas a mais de 5 m de profundidade (mais isoladas relativamente à estrada) correspondem, na sua maioria, a passagens de forma quadrangular. Acresce também o facto de estas passagens estarem localizadas em sulcos ou vales encaixados, frequentemente com galerias ripícolas, onde a vegetação arbustiva apresenta percentagens de cobertura.

Globalmente, também se revela nos resultados deste estudo que as passagens localizadas na continuidade de corredores ripícolas e na envolvimento de zonas de matos são usadas por um maior número de espécies o que está de acordo com o observado por outros autores em Espanha (Rodriguez *et al.*, 1996).

Neste estudo analisou-se também o uso das passagens em função do "Índice de Abertura". Esta variável, que está directamente relacionada com o comprimento e a área de secção transversal, tem sido considerada por muitos autores como um descritor importante para explicar o uso das passagens pelos vertebrados (Yanes *et al.*, 1995; Rodriguez *et al.*, 1996;

Clevenger *et al.*, 2001; Taylor e Goldingay, 2003, Clevenger e Waltho, 2005). Verificou-se que um aumento do índice de abertura se traduziu numa tendência para um aumento do número de espécies que utilizaram as passagens.

Para além dos registos dos carnívoros, observaram-se também pegadas de micromamíferos (53 registos), aves (26 registos), répteis (3 registos) e anfíbios (3 registos). Todos indícios foram obtidos nos tapetes de pó-de-pedra, não tendo sido obtidos quaisquer registos com as máquinas fotográficas para além de cães de caça.

5.4.4.2 Abundância das espécies

Realizaram-se 12 transectos para avaliação da abundância relativa de mamíferos carnívoros em áreas junto ao IC27 (6 transectos) e em áreas controlo (6 transectos), com características semelhantes, para obter uma estimativa das abundâncias das várias espécies no conjunto da área de estudo.

Em cada ano (2005 e 2006) foram realizadas duas épocas de amostragem. A prospecção teve a duração de uma hora e meia em cada um dos seis sectores da área controlo e do IC27, previamente escolhidos. Deu-se prioridade à prospecção de caminhos, linhas de água, zonas junto a vedações, afloramentos rochosos, árvores grandes e/ou velhas, etc.

Após os dois primeiros anos de pesquisa de indícios de presença, foram identificados no total 90 indícios de presença de carnívoros correspondendo maioritariamente a dejectos e pegadas. Os indícios encontrados pertencem a oito espécies, sete carnívoros silvestres e o cão. A espécie silvestre mais comum foi a raposa. A geneta e o sacarrabos e fuinha também foram frequentes na AE. Globalmente, verificou-se um maior número de indícios junto ao IC27 do que na área controlo para a generalidade das espécies à excepção da doninha, cujo único indício encontrado se localizou numa área controlo (Quadro 37).

Quadro 37 - Número de indícios de presença por espécie de carnívoro no IC27 e nas áreas com controlo

Espécie		Número de Indícios					
		2005			2006		
Nome comum	Nome científico	IC27	Controlo	Total	IC27	Controlo	Total
Cão doméstico	<i>Canis familiaris</i>	1	0	1	7	4	11
Sacarrabos	<i>Herpestes</i>	1	1	2	2	1	3
Geneta	<i>Genetta genetta</i>	2	0	2	3	0	3
Lontra	<i>Lutra lutra</i>	2	0	2	0	0	0
Fuinha	<i>Martes foina</i>	3	0	3	2	0	2
Texugo	<i>Meles meles</i>	1	1	2	1	0	1
Doninha	<i>Mustela nivalis</i>	0	1	1	0	0	0
Raposa	<i>Vulpes vulpes</i>	11	7	18	12	1	13
Total		21	10	31	27	6	33

Uma análise sumária do cruzamento dos resultados relativos à abundância das espécies e ao uso das passagens mostra que gato doméstico, geneta e sacarrabos parecem usar proporcionalmente mais as passagens do que é sugerido pela sua abundância, avaliada com base em indícios de presença. Contudo, os comportamentos de marcação e a facilidade de detecção de indícios das várias espécies são distintos o que poderá influenciar os resultados.

5.4.4.3 Mortalidade de carnívoros por atropelamento

Em 2005 e 2006 foram realizadas cinco campanhas de amostragem, totalizando 37 dias de monitorização de mortalidade rodoviária. As campanhas consistiram numa prospecção sistemática de cadáveres, percorrendo o troço com um veículo motor a uma velocidade nunca superior a 25 km/h. Os percursos foram realizados sempre de dia preferencialmente de manhã.

Foram observados 37 cadáveres de carnívoros. Destes, a grande maioria eram domésticos destacando-se o cão com 19 atropelamentos. Contabilizaram-se também 11 gatos domésticos e 4 cadáveres que não se conseguiram identificar para além da classe. No que se refere à fauna selvagem apenas foram encontrados uma geneta e duas raposas. A elevada incidência de animais domésticos mortos neste troço reflecte uma vez mais a proximidade de inúmeras aldeias e pequenos montes habitados nas imediações do troço.

Os dois cadáveres de raposa foram encontrados em 2006 no quilómetro dois. Tendo em conta que os resultados das passagens hidráulicas apontam para um uso relativamente baixo destas estruturas pelas raposas, e a elevada abundância relativa de raposa nas áreas adjacentes, seria de esperar uma maior mortalidade. A presença de cercas poderá ter sido um factor importante nestes resultados. Com efeito, a raposa não tem grandes capacidades trepadoras e portanto, ser-lhe-á mais difícil transpor as cercas. De facto, os dois indivíduos mortos foram encontrados numa zona onde a cerca se encontrava tombada. Além disso, durante a prospecção de indícios nos sectores do IC27, foi encontrada nas proximidades uma toca activa desta espécie, pelo que é possível que os dois cadáveres encontrados possam pertencer ao grupo social residente nessa toca.

A geneta foi encontrada em 2005 ao quilómetro seis numa zona próxima de duas PHs quadrangulares, também monitorizadas, onde esta espécie apresentou uma utilização elevada destas estruturas considerável. Porém, dadas as suas capacidades trepadoras facilmente trepa as cercas, pelo que as passagens parecem não impedir que seja vítima do tráfego rodoviário.

5.4.5 Outros trabalhos em curso

5.4.5.1 Introdução

Embora não estejam ainda publicados, nem sejam à data da entrega deste relatório do domínio público, optámos por apresentar aqui um conjunto de trabalhos que estão neste momento em curso, relativos a monitorizações efectuadas ou trabalhos académicos sobre a temática aqui desenvolvida. Os dados dos trabalhos aqui divulgados têm o consentimento dos autores. No entanto, e porque ainda não estão publicados, apenas é feito um breve resumo sobre a metodologia utilizada, dados recolhidos e principais resultados e conclusões.

Julgamos que a referência destes trabalhos poderá ser útil não só pela informação da existência dos mesmos, mas também por actualizar até certo ponto o conhecimento adquirido em trabalhos realizados em Portugal sobre permeabilidade de estradas e passagens de fauna.

Estes trabalhos foram/estão a ser realizados pelas universidades de Lisboa (FCUL) e de Évora (EU), respectivamente pelos grupos de trabalho da Prof. Margarida Reis e Prof. António Mira.

5.4.5.2 Estudos realizados pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL)

Response of carnivores to culverts and underpasses

Trabalho desenvolvido por Clara Grilo no âmbito de tese de doutoramento (em preparação), cujo objectivo é determinar que características das passagens influenciam o seu uso pelos mamíferos carnívoros. Neste trabalho foram monitorizadas 57 passagens (44 PHs e 13 passagens inferiores), distribuídas ao longo de 252 km das auto-estradas A2 e A6, no Alentejo, num esforço total de amostragem de 2330 passagem.dia⁻¹. O método de amostragem consistiu em tapetes de pó no interior das passagens.

Observou-se um uso frequente das passagens por raposa, fuinha, texugo, geneta e sacarrabos. No entanto, para toirão, lontra e gato-bravo o uso foi residual ou nulo. De acordo com os resultados, o maior uso destas estruturas esteve positivamente relacionado com a dimensão da passagem, presença de vegetação na entrada, presença de habitat favorável nas áreas adjacentes e fraca perturbação humana.

Comparação dos métodos de vídeo-vigilância e pó-de-mármore na avaliação da utilização das passagens hidráulicas pelos carnívoros

Este estudo foi realizado no âmbito da dissertação de mestrado de Ana Rita Mateus (em preparação) e pretendeu comparar a eficácia do pó de mármore e da vídeo vigilância no registo da passagem de carnívoros em PHs. Para tal foram monitorizadas 15 passagens hidráulicas ao longo das auto-estradas A2 e A6, no Alentejo. Cada passagem foi filmada durante 10 noites consecutivas na Primavera e no Verão de 2006, sendo igualmente colocado pó de mármore

dentro de cada estrutura durante o mesmo período de tempo. A durabilidade do pó e as diferenças reais entre métodos foram avaliadas ao longo de um período de cinco dias. No pó o período de três dias entre visitas revelou-se o intervalo de tempo mais eficaz, detectando em média 97% do total de passagem de carnívoros. Quanto à eficácia de detecção, o vídeo revelou um maior número de registos relativamente ao pó, sendo que a diferença de registos mais significativa foi verificada para a geneta. No entanto, apesar da vídeo vigilância apresentar uma maior eficiência na detecção dos indivíduos, quando foi analisada a relação custo/benefício dos dois métodos, o pó-de-mármore revelou ser o mais adequado para este tipo de estudos.

Efeito da presença de água e galeria ripícola na utilização de passagens hidráulicas por carnívoros em auto-estradas

Este trabalho foi realizado por Ana Marta Cantarino Serronha, no âmbito da tese de fim de curso (em preparação). Este estudo teve como principal objectivo analisar o grau de permeabilidade das auto-estradas na época de chuvas para os carnívoros, através da avaliação do efeito da presença de água e galeria ripícola na utilização das PHs por estas espécies. Foram monitorizadas 15 passagens hidráulicas ao longo das auto-estradas A2 e A6, no Alentejo em Outubro e Novembro de 2005. À excepção de doninha, toirão e gato-bravo, todos os mamíferos carnívoros potencialmente ocorrentes na área usaram as PHs.

Foram detectadas diferenças significativas no uso das PHs com presença de água para fuinha, texugo, geneta e lontra, em que as três primeiras espécies apresentam preferência pelo uso das PHs que não tenham água em toda a base, e a lontra apresenta preferência pelas PHs que tenham água em toda a base. Quanto à influência da galeria ripícola, registaram-se diferenças significativas para texugo e para a lontra onde o texugo utiliza significativamente mais PHs com ausência de galeria ripícola, e a lontra PHs com galeria ripícola de um ou em ambos os lados.

5.4.5.3 Estudos realizados pela Universidade de Évora (UE)

Projecto MOVE – Acção 3. Evaluation of road-killings and culvert use by vertebrates in roads of southern Portugal.

Este projecto é da responsabilidade da Unidade de Biologia da Conservação e, uma vez que ainda está em desenvolvimento, são apresentados apenas resultados preliminares (não publicados) ou integrantes de trabalhos de fim de curso (Varela, 2007; Correia, 2007), e apenas referentes ao ano de 2005. De referir que os trabalhos de campo a decorrer em 2007, utilizando outras metodologias para avaliar a abundância/uso do espaço de alguns carnívoros e cujos resultados (não apresentados) estão integrados em três dissertações de Mestrado a finalizar em 2008, não confirmam integralmente algumas conclusões sugeridas pelas dados de 2005.

Os objectivos desta componente do projecto são: i) quantificar a utilização de passagem

hidráulicas por mamíferos carnívoros e determinar quais as características das passagens e da paisagem envolvente que mais influenciam o uso por estes animais; ii) avaliar o uso das passagens em função da abundância das espécies; iii) determinar a eficácia das passagens na redução da mortalidade por atropelamento.

Foram monitorizadas 69 PHs em cerca de 75 km de estradas de diferentes tipos e com diferentes volumes de tráfego (EN4, EN114, EN370 e A6), localizadas nos concelhos de Évora, Arraiolos e Montemor-o-Novo, nos meses de Julho e Agosto de 2005. O método usado para monitorizar o uso das passagens hidráulicas foi a instalação de tapetes de pó de pedra no interior das passagens onde posteriormente se recolheram impressões das pegadas. O esforço total de amostragem foi de 828 passagem.dia⁻¹. Para obter uma estimativa da abundância de cada espécie, no Outono do mesmo ano, foram amostradas 39 parcelas circulares com uma área de 19,6 hectares para pesquisa de indícios de presença de carnívoros. O centro de 19 destes locais situou-se em rodovias da área de estudo e as restantes vinte a mais de 1000 metros de qualquer estrada pavimentada. Tentou-se ainda que as parcelas amostradas fossem homogéneas ao nível dos usos do solo e que estes estivessem representados na amostragem numa proporção semelhante à da sua ocorrência na área de estudo.

O censo de mortalidade de carnívoros por atropelamento em 37,3 km das rodovias monitorizadas foi efectuado diariamente ao longo do ano de 2005, percorrendo estas vias todas as manhãs, em veículo motorizado, a uma velocidade não superior a 30 km/h.

Nos censos de abundância e nas monitorizações do uso das passagens e da mortalidade por atropelamento foram detectadas todas as espécies de mamíferos carnívoros potencialmente ocorrentes na área de estudo, excepto o gato-bravo. De acordo com os resultados, parece existir uma tendência para o uso das passagens aumentar com o incremento da abundância/frequência de cada espécie nas áreas adjacentes. Contudo esta relação não é estatisticamente significativa. Por outro lado, para o conjunto das várias espécies, parece não haver uma relação entre a mortalidade por atropelamento e o uso das PHs. Os resultados sugerem também que o uso da passagem por um maior número de espécies está positivamente relacionado com um maior índice de abertura. Em relação ao número médio de espécies de carnívoros selvagens que atravessaram PHs com e sem caixas colectoras, este é significativamente superior nas passagens sem caixas colectoras.

5.5 Síntese e conclusões da avaliação efectuada

Esta secção apresenta a síntese e as conclusões apenas sobre a análise da componente da fauna, correspondendo à súmula anunciada para o final de cada um dos temas tratados. A síntese e conclusões das outras componentes do estudo são apresentadas nas secções 2.5, 3.4 e 4.4.

Uma das mais graves ameaças à sobrevivência da biodiversidade a nível mundial é a fragmentação da outrora contínua paisagem natural ou semi-natural. A fragmentação cria parcelas de menor tamanho e mais isoladas de habitat favorável, embebidas numa matriz mais adversa (Saunders *et al.*, 1991), dificultando ou impossibilitando o estabelecimento de espécies ou comunidades sensíveis a esta fragmentação. Para além da actividade agrícola em larga escala e desenvolvimento das grandes áreas urbanas, um dos agentes que mais contribui para o incremento exponencial da fragmentação e destruição dos habitats é a expansão, a nível mundial, da rede rodoviária.

Existem diversas soluções para a construção de pontos de passagens especialmente desenhadas para a fauna (luell *et al.*, 2003). Uma vez que a aplicação generalizada destas estruturas pode envolver custos acrescidos consideráveis, vários autores têm sugerido uma intervenção complementar nas passagens hidráulicas, de maneira a torná-las mais atractivas aos animais, como forma de se obter melhores resultados. Os trabalhos de ecologia consultados, realizados especificamente sobre passagens hidráulicas, demonstram que estas estruturas podem ser usadas por um elevado número de espécies, embora não existam ainda dados conclusivos sobre os factores que determinam a sua utilização pelos diferentes vertebrados.

O elevado número destas estruturas presentes nas vias rodoviárias e o reduzido custo necessário para realizar algumas alterações de carácter biofísico, tornam esta intervenção bastante atractiva, nomeadamente para os decisores de projectos rodoviários. Assim, as passagens hidráulicas, cujo propósito inicial é a condução de águas de escorrência, parecem ser estruturas que podem funcionar como pontos de passagem com um sucesso significativo para um considerável número de espécies.

A criação de uma base de dados que integre toda a informação referente aos sistemas de minimização e em particular às passagens de fauna, vem dar um salto qualitativo muito importante na análise da permeabilidade das estradas, efeito de barreira e conectividade entre populações de animais selvagens. De facto, centralizando toda esta informação numa base informática de fácil e rápida consulta, e relacionando-a com os respectivos programas de monitorização, os decisores e em especial o Departamento de Ambiente das Estradas de Portugal, E.P.E. poderão acompanhar com muito maior detalhe a eficácia das medidas implementadas. No entanto, deve ser feito um esforço significativo no sentido de normalizar os métodos de amostragem, de forma a permitir uma comparação objectiva e robusta dos resultados obtidos em diferentes troços e programas. Sugere-se que, no momento de lançamento de concursos para monitorização de troços de estrada e passagens de fauna, as Estradas de Portugal, E.P.E. apresentem um "manual de boas práticas" que deve ser posto em prática por quem for responsável pela monitorização.

Este manual deverá ser redigido por investigadores nacionais e estrangeiros em Ecologia de Estradas em conjunto com as Estradas de Portugal, E.P.E., beneficiando assim do

conhecimento empírico e experiência profissional de quem exerce a investigação no terreno. A informação recolhida e descrita no presente relatório, relativa aos sistemas utilizados em outros países e a sua eficácia bem como a relativa a metodologias de amostragem e monitorização, poderá servir como ponto de partida na elaboração desse manual de boas práticas. De facto, para a avaliação correcta dos impactes das rodovias e o sucesso das medidas de mitigação, é indispensável a aplicação de métodos de amostragem adequados para os grupos alvo em estudo. Só assim será possível obter uma base de informação fiável onde se possa relacionar a presença/ausência, padrões de distribuição, níveis de abundância, capacidade de dispersão, presença de corredores naturais, e outras características da paisagem com a presença das estradas e tráfego rodoviário.

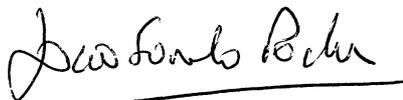
É importante referir que, na realização deste trabalho, se constatou que o número de estudos científicos em Ecologia de Estradas realizados em Portugal é ainda muito escasso, pelo que deve ser amplamente incentivado de forma a ser possível obter informação de base que permita uma correcta avaliação dos impactes das rodovias na biodiversidade.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
 Novembro de 2007

VISTOS



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
 Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas



João S. Rocha
 Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas



João Carlos Viegas
 Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações



Rafaela de Saldanha Matos
 Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

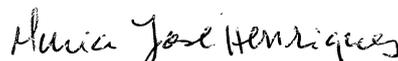


José Vasconcelos Paiva
 Director do Departamento de Edifícios

AUTORIAS



Teresa E. Leitão
 Doutora em Hidrogeologia
 Investigadora Principal do LNEC
 Núcleo de Águas Subterrâneas



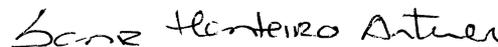
Maria José Henriques
 Geóloga
 Técnica Superior Estagiária do LNEC
 Núcleo de Águas Subterrâneas



Ana Estela Barbosa
 Ph.D. em Biotecnologia e Engenharia do Ambiente
 Investigadora Auxiliar do LNEC
 Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas



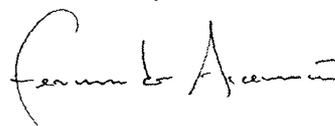
João Fernandes
 Engenheiro Civil
 Bolseiro de Investigação do LNEC
 Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas



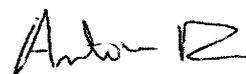
Sónia Monteiro Antunes
 Física Tecnológica, Mestre em Engenharia Física
 Assistente de Investigação do LNEC
 Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações



Jorge V. Patrício
 Doutor em Engenharia Civil
 Investigador Principal do LNEC
 Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações



Fernando Ascensão
 Bolseiro da Universidade de Évora
 Unidade de Biologia da Conservação



António Mira
 Doutoramento em Ecologia e Biossistemática
 Professor Auxiliar da Universidade de Évora
 Unidade de Biologia da Conservação

BIBLIOGRAFIA

Albuquerque, M., 2006 - *Estudo do funcionamento hidráulico-sanitário de uma bacia de tratamento da ligação Norte da Auto-estrada A23 – Ligação à Covilhã*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Geotecnia Ambiental. Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Covilhã, Dezembro de 2006, 110 pp.

Albuquerque, M., Barbosa, A.E. e Albuquerque, A., 2006 - *Avaliação do funcionamento de um sistema de tratamento da A23 – Ligação Covilhã (Norte)*, 12.º Encontro Nacional de Saneamento Básico (12.º ENaSB), 24-27 de Outubro, Cascais, APESB, 15 pp.

Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., 2000 – *Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal*, Centro de Geologia do INAG, 2000, <http://www.snirh.pt/>.

Antunes, P.A. e Barbosa, A. E., 2005 - *Highway Runoff Characteristics in Coastal Areas – A case Study in Aveiro, Portugal*, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August, 6 pp.

Antunes, S. e Patrício, J. – *Estrutura de uma base de dados de medidas de minimização de impactes ambientais devidos ao ruído*, a ser publicado in proceedings de Tecniacustica 2006, Gandia, Outubro de 2006.

Aresco M.J., 2005 - *Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake*. Journal of Wildlife Management 59:549-560.

Ascensão F. e Mira A., 2006 - *Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal*. Ecological Research.

Ascensão F., Baptista N., Sá Sousa P., Mira A., 2006 - *Predicting amphibian road-crossing hot-spots: a case study in southern Portugal* in Book of abstracts, 1st European Congress of Conservation Biology. Eger, Hungria.

Barbosa, A. E. e Hvitved-Jacobsen, T., 1996 - *Impactes das Estradas nos Recursos Hídricos – Redução da Poluição através de Sistemas de Detenção. Um Caso de Estudo no Norte de Portugal*, 3º Congresso da Água, 25-29 Março, Lisboa, 15 pp.

Barbosa, A. E. e Hvitved-Jacobsen, T., 2000 - *Projectar Bacias de Infiltração para a Gestão de Águas Pluviais*. 5.º Congresso da Água, 25-29 de Setembro, Lisboa, APRH, 15 pp.; in Recursos Hídricos, 21 (3), pp.125-132.

Barbosa, A. E., 2000 - *O Projecto Rodoviário e a Protecção dos Recursos Hídricos. Projectar Bacias de Infiltração em Portugal – Um Novo Método*, 1.º Congresso Rodoviário Português, 28-30 Novembro, Lisboa, Centro Rodoviário Nacional, Vol. I, pp. 53-66.

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

Barbosa, A.E. e Fernandes, J., 2005 - *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. Sistema de Tratamento de Águas de Escorrência*. Relatório 424/05 – NRE, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Dezembro de 2005, 39 pp..

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, ISBN 87-90033-19-1.

Barbosa, A.E., 2003 - *Modelos para a previsão da qualidade das águas de escorrência de estradas em Portugal*, pp. 93-107, in "Curso Sobre Características de Águas de Escorrência de Estradas em Portugal e Minimização dos seus Impactes", 13-15 de Outubro de 2003, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 176 pp.

Barbosa, A.E., 2005 - *Mitigation Methods for Stormwater and Highway Runoff Control. Examples from Portugal, France and the USA*, 22 pp., in documentação do curso "Process Engineering of Urban and Highway Runoff", Sewer Processes and Network Group (SPN-Group), Universidade de Aalborg, Dinamarca.

Beaudu, F., 2005 - *Autouroutes du Sud de la France*, Comunicação pessoal, February 2005, France.

Bekker G.J., 2002 - Introduction. In: Trocmé, M.; Cahill, S.; De Vries, J.G.; Farrall, H.; Folkson, L.; Fry, G.; Hicks, C. and Peymen, J. (Eds.) COST 341 - Habitat Fragmentation due to transportation infrastructure: The European Review. pp. 15-17.

Blanco J.C., Cortés Y., Virgós E., 2005 - *Wolf response to two kinds of barriers in an agricultural habitat in Spain*. Can. J. Zool. 83: 312–323.

Brito J.C. e Álvares F., 2004 - *Patterns of road mortality in Vipera latastei and V. seoanei from northern Portugal*. Amphibia-Reptilia 25: 459-465.

Burton Jr., G.A. e Pitt, R. E., 2002 - *Stormwater Effects Handbook*. Lewis Publishers, Inc., 911 pp.

Cain A., Tuovila V., Hewitt D., Tewes M., 2003 - *Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in Southern Texas*. Biological Conservation 114:189-197.

Carr L.W., Fahrig L., 2001 - *Effect of road traffic on two amphibian species of differing vagility*. Conservation Biology 15: 1071-1078

Carvalho, S., Midões, C., Duarte, P., Orlando, M., Pais Quina, A., Simões Duarte, R., Cupeto, C., Almeida, C., Oliveira da Silva, M., 1998 – *Sistemas Aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. Lisboa, Comunicação apresentada ao 4º Congresso da Água "A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento", pp. 16.

Carvalhosa, A., Gonçalves, F., Oliveira, V. 1987 - *Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 36-D: Redondo*. Serviços Geológicos de Portugal, pp. 63.

Chruszcz, B., Clevenger, A. Gunson, K. and Gibeau, M., 2003 - *Relationships among grizzly bears, highways and habitat in the Bow Valley, Alberta, Canada*. Canadian Journal of Zoology 81: 1378-1391.

Clevenger A.P., Chruszcz B. e Gunson K.E., 2003 - *Spatial patterns and factors influencing small vertebrate road-kill aggregations*. Biological Conservation 109: 15-26.

Clevenger A.P., Chruszcz B., Gunson K., 2001 - *Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals*. Journal of Applied Ecology 38:1340-1349.

Clevenger A.P., Chruszcz B., Gunson K., 2001b - *Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions*. Wildlife society. Bulletin 9:646-653.

Clevenger A.P., Waltho N., 2000 - *Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada*. Conservation Biology 14:47-56

Clevenger A.P., Waltho N., 2005 - *Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large animals*. Biological Conservation 121:453-464.

COBA, 2005 – *A 10 Auto-estrada Bucelas – Carregado – Sublanço Bucelas – Arruda dos Vinhos – Prestação de Serviços de Monitorização do Ambiente, Relatório Anual de Monitorização 2004*, Abril de 2005.

COBA, 2005a – *A2 Auto-estradas do Sul - Prestação de Serviços de Monitorização do Ambiente*, Nota Técnica, Janeiro de 2005.

COBA, 2005b - *A2 Auto-estradas do Sul - Prestação de Serviços de Monitorização do Ambiente, Relatório Anual de Monitorização 2004*, Junho de 2005.

Correia A.F., 2007 - *O efeito de estradas com diferentes intensidades de tráfego na abundância de mamíferos carnívoros. Um caso de estudo no Sul de Portugal*. Trabalho de Fim de Curso de Biologia. Universidade de Évora.

Cupeto, C.A., 1991 – *Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Maciço Calcário de Estremoz (Cano-Sousel)*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, pp. 180.

DGA, 2001 - *Notas para Avaliação de Ruído em AIA e em Licenciamento*. Setembro de 2001.

DGA, 2001a - *Notas para Avaliação de Ruído em AIA e em Licenciamento*, Direcção-Geral do Ambiente, Setembro de 2001, <http://www.iambiente.pt/>.

Diamantino, C., 2002, 2003 - *Poluição Causada pelo Tráfego Rodoviário nos Solos e nas Águas Subterrâneas. Um caso de estudo na EN10 – Recta do Cabo*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de mestre em Geologia Económica e Aplicada, 2002 e Edição Teses de Mestrado LNEC - TM 7 (2003). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 227 pp.

Diamantino, C., Leitão, T.E. e Silva, M.O., 2004 - *Estudo da Poluição causada pelo Tráfego*

Rodoviário nos Solos e nas Águas Subterrâneas, realizado na EN10 - Recta do Cabo. 7.º Congresso da Água, organizado pela APRH, Lisboa, 8 a 12 de Março de 2004, 16 pp.

Dodd Jr. C.K., Barichivich W.J., Smith L.L., 2004 - *Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily travelled highway in Florida*. *Biological Conservation* 118:619-631.

Fahrig L. e Merriam G., 1994 - *Conservation of Fragmented Populations*. *Conservation Biology* 8: 50-59.

Fahrig L., Pedlar J.H., Pope S.E., Taylor P.D., Wegner J.F., 1995 - *Effect of road traffic on amphibian density*. *Biological Conservation* 73:177-182

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, 457 pp.

Forman R.T.T., Sperling D., Bissonette J., Clevenger A., Cutshall C., Dale V., Fahrig L., France R., Goldman C., Heanue K., Jones J., Swanson F., Turrentine T., Winter T. (eds), 2002 - *Road ecology: science and solutions*. Island Press, Washington, DC.

Franco I., 2000 - *Aspectos ecológicos da mortalidade de vertebrados em rodovias do interior alentejano*. Relatório de estágio para obtenção da Licenciatura em Biologia Aplicada aos Recursos Animais – Variante Terrestres. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Gibbs J.P., Shriver G., 2002 - *Estimating the effects of road mortality on turtle populations*. *Conservation Biology* 16: 1647-1652.

Gjessing, E.; Lygren, E.; Bergling, L., Gulbrandsen, T. e Skaane, R., 1984 - *Effect of highway runoff on lake water quality*. *The Science of the Total Environment*, 33, pp. 245-257.

Gloyne C.C. e Clevenger A.P., 2001 - *Cougar Puma concolor use of wildlife crossing structures on the Trans-Canada highway in Banff National Park, Alberta*. *Wildl. Biol.* 7:117-124.

Goosem M.W., 2005 - *Wildlife Surveillance Assessment Compton Road Upgrade 2005: Review of Contemporary Remote and Direct Surveillance Options for Monitoring*. Report to the Brisbane City Council. Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management. Rainforest CRC, Cairns. Unpublished report.

Habasque, G., 2005 - *Département Environnement, SCETAUROUTE*, Comunicação pessoal, February 2005, France.

Haskell D., 2001 - *Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the Southern Appalachian Mountains*. *Conservation Biology* 14: 57-63.

Hornung, R., Habasque, G. e Hérault, A., 2002 - *L'utilisation des géonattes tridimensionnelles sur l'autoroute A66 entre Toulouse et Pamiers*. *Travaux*, n.º 786, Mai, pp 53-55 <http://www.setra.equipement.gouv.fr/Pollution-d-origine-routiere.html>

Huijser M.P. e Bergers P.J.M., 2000 - *The effect of roads and traffic on hedgehog populations*. *Biological Conservation* 95:111-116.

Hurtvent, J., 2005 - *Techniques de Construction et d'Entretien/ CETE Méditerranée*. Comunicação pessoal, February 2005, France.

IA, 2003a - *Directrizes para a Elaboração de Planos de Monitorização de Ruído de Infra-Estruturas Rodoviárias e Ferroviárias*. Fevereiro de 2003.

IA, 2003b - *Procedimentos Específicos de Medição de Ruído Ambiente*. Abril de 2003, <http://www.iambiente.pt/>

IMPACTO 2000, 1990 – A1 - *Auto-estrada do Norte, Sublanço Torres Novas/Fátima: Estudo para aprofundamento de aspectos relacionados com a geologia e a hidrogeologia*, 90 pp.

INAG, 1997 - *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Estudo coordenado pelo Prof. Costa Almeida, Faculdade de Ciências de Lisboa, para o Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos, 236 pp.

INAG, 1999 - *Sistemas Aquíferos. Estremoz-Cano (A4) e Elvas-Vila Boim (A5)*. Folheto do Plano Nacional de Protecção e Gestão de águas Subterrâneas. MAOT.

Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlavác V., Keller V.B., Rosell C., Sangwine T., Tørsløv N., Wandall B. le Maire (Eds.), 2003 - *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*.

Kuitunen M., Rossi E., Stenroos A., - 1998 - *Do highways influence density of landbirds?* Environmental Management 22: 297-302.

Lehmann, N., Holm, P., Leitão, T.E., Lobo Ferreira, J.P.C. e Van Beek, C., 1998 - *WP2-WP4 - Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*, VKI e LNEC, Dezembro de 1998, 28 pp.

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, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Abril de 2005, 243 pp..

Leitão, T. E., Barbosa, A. E., Ikävalko, V., Menezes, J. T. e Zakharova, T. V., 2002 - *Avaliação e Gestão Ambiental das Águas de Escorrência de Estradas*, 2.º Relatório, Relatório 205/02 – GIAS, Agosto de 2002, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 61 pp.

Leitão, T.E., Lehmann, N., Smets, S., Lobo Ferreira, J.P.C. Holm, P., 2000a - *WP2/4 Pollution from Roads and Vehicles and Dispersal to the Local Environment: Mass Flux and Mass Balance Calculations; Assessment of Pollution of Groundwater and Soils by Road and Traffic Sources*. LNEC e VKI, 47 pp.

Leitão, T.E., Lobo Ferreira, J.P.C. e Diamantino, C., 1999 - *POLMIT - Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: Dispersal Mechanisms, Pathways and Mitigation Measures*. 2.º Relatório de Progresso 230/99 - GIAS/DH, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Outubro de 1999, 97 pp.

Leitão, T.E., Moreira, P., Lobo Ferreira, J.P.C., Oliveira, M.M., Moinante, M.J. e Henriques,

M. J., 2000b - *Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área Abrangida pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. Anexo Temático 10 - Qualidade dos Meios Hídricos. Tomo B - Qualidade das Águas Subterrâneas. Relatório Final da Fase 1.* Maio de 2000, 139 pp.

Leitão, T.E., Oliveira, M.M., Barbosa, A. E., Fernandes, J., Antunes, S., Patrício, J., Ascensão, F. e Mira, A., 2006 - *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. 2.º Relatório 322/06 - NAS, LNEC, 2006.*

Lopes, A., Rodrigues, R., Orlando, M., 2005 – *O Aproveitamento Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Sistema Aquífero Querença-Silves na Seca de 2004/2005.* Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, pp. 28.

Mader H.J., 1984 - *Animal habitat isolation by roads and agricultural fields.* Biological Conservation 29:81-96

Manuppella, G., Balacó, J.C., Graça e Costa, J.R., Crispim, J.A., 1985 – *Calcários e Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho.* Lisboa, Direcção Geral de Geologia e Minas, Estudos Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro, Tomo 27, pp. 3-48.

Mata C., Hervás I., Herranz J., Suárez F. e Malo J., 2005 - *Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway.* Biological Conservation 124:397-405.

Matos, J., Portela, M. e Mourato, S., 1999 - *Reabilitação da Bacia de Decantação de Fátima,* Parecer Técnico, IST- BRISA, Lisboa, 58 pp.

McDonald W., StClair C.C., 2004 - *Elements that promote highway crossing structure use by small mammals in Banff National Park.* Journal of Applied Ecology 41:82-93.

Monteiro, J.P., Silva, J.M., Guerreiro, P., Martins, J. e Reis, E., 2007 - *Modelação de Relações entre Águas Superficiais e Subterrâneas nos Aquíferos do Algarve Central.* Comunicação apresentada ao Seminário sobre Águas Subterrâneas, organizado pela APRH, Lisboa, 1 e 2 de Março de 2007, 16 pp.

Ng S.J., Dole J.W., Sauvajot R.M., Riley S.P.D., Valone T.J., 2004 - *Use of highway undercrossings by wildlife in southern California.* Biological Conservation 115:499-507.

NORINTER/EGI Ambiente, 2004 – *IP3 - Scut Interior Norte – Projecto de Execução, Lanço C Vila Real/Régua,* Abril de 2003.

Norma Holandesa, 1994 – *Intervention Values and Target values, Soil Quality Standards,* Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Directorate-General for Environment Protection, Department of Soil Protection, 1994.

Oliveira, M. M., Novo, M.E., Lobo Ferreira, J. P., Moinante, M. J., 2000 – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo – 1.ª Fase – Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos, Tomo A - Caracterização do Balanço Hídrico Subterrâneo.* Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa – Consultores para Estudos e Projectos Lda., Relatório PBH - Tejo Proc. 607/1/13022 – LNEC.DH.GIAS, Lisboa, Maio 2000,

379 pp.

Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Moinante, M.J., Barbosa, A. E., Fernandes, J., Antunes, S., Patrício, J. e Mira, A., 2005 - *Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal*. Relatório 376/05 - NAS, LNEC, 2005.

Philcox C.K., Grogan A.L. e MacDonald D.W., 1999 - *Patterns of Otter *Lutra lutra* road mortality in Britain*. *Journal of Applied Ecology* 36: 748-762.

Pintado, R., 2007 - Comunicação pessoal em Maio de 2007 (Operscut).

Pinto, F., 2007 - Comunicação pessoal em Maio de 2007 (Euroscutnorte).

Reijnen R., Foppen R., Ter Braak C., Thissen J., 1995 - *The effects of car traffic on breeding bird populations in Woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads*. *Journal of Applied Ecology* 32: 187-202.

Reis, E., 2006 – *Impacte das Vias Rodoviárias do Algarve (IC1 e A2) na Qualidade da Água*, Abril de 2006.

Rodriguez A., Crema G. e Delibes M., 1996 - *Use of non-wildlife passages across a high-speed railway by terrestrial vertebrates*. *Journal of Applied Ecology* 33: 1527-1540.

Santos, D., Aguilera, A., 2004 – *Monitorização Ambiental, Ano 2003/2004, Qualidade da Água, Relatório Final*, elaborado pela UAlgarve, EAHS, para a EuroScut, Outubro de 2004.

Saunders D.A., Hobbs R.J. e Margules C.R., 1991 - *Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review*. *Conservation Biology* 5:18-31.

SEIA, 1995 - *Programas de Monitorização das Águas de Escorrência e Subterrâneas*. Relatório Final para a BRISA, 51 pp.

Smullen, J.T., Shallcross, A.L. e Cave, K.A., 1999 – *Updating the U.S. Nationwide Urban Runoff Quality Data Base*. *Wat. Sci. Tech.*, 39 (12), pp. 9-16.

St. Clair C.C., 2003 - *Comparative Permeability of Roads, Rivers, and Meadows to Songbirds in Banff National Park*. *Conservation Biology* 17: 1151-1160.

Taylor B.D., Goldingay R.L., 2003 - *Cutting the carnage: wildlife usage of road culverts in north-eastern New South Wales*. *Wildlife Research* 30:529/ 537.

Taylor, S. e Barret, M., 1999 - *Caltrans BMP Retrofit Program*.

TECNINVEST, 2001 – *A 10 – Auto-estrada Bucelas / Carregado - Sublanço Bucelas / Arruda dos Vinhos – Relatório Complementar ao Estudo de Impacte Ambiental – Relatório Técnico*, Fevereiro de 2001.

Trocme, M., Cahill, S., de Vries, J.G., Farrall, H., Folkson, L.G., Hichks, C. e Peymen, J. (eds), 2003 - *COST 341 - Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure: The European Review*. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg

UNL, 2001 – *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Setembro de 2001.

UNL, 2002a – *Plano Geral de Monitorização do Ambiente – A2 – Auto-estrada do Sul – Fase de Exploração*, Novembro de 2002.

UNL, 2002b - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – 1.º Relatório de Progresso, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Janeiro de 2002.

UNL, 2002c - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – 2.º Relatório de Progresso, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Maio de 2002.

UNL, 2002d - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – 3.º Relatório de Progresso, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Agosto de 2002.

UNL, 2003a - *Plano Geral de Monitorização do Ambiente - Adenda – A2 – Auto-estrada do Sul – Fase de Exploração*, Junho de 2003.

UNL, 2003b - *Programa de Monitorização de Impactes Ambientais – Relatório Final, A2 – Auto-estrada do Sul, Fase de Construção*, Dezembro de 2003.

van der Zande, A.N., W.J. Keurs e W.J. Weijden, 1980 - *The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat - evidence of long-distance effect*. Biological Conservation 18: 299-321.

Varela N.A., 2007 - *Uso de passagens hidráulicas por carnívoros em estradas do Alentejo*. Trabalho de Fim de Curso de Biologia. Universidade de Évora.

Vieira da Silva, A.M., 1991 - *Hidrogeologia de uma Área do Sistema Aquífero de Elvas-Vila Boim*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, pp. 224.

Vieira, A.R. e Oliveira, R.I.M., 2001 – *Qualidade da Água e Controlo da Poluição de Escorrências Pluviais de Infra-estruturas Rodoviárias*, Trabalho final de curso, Instituto Superior Técnico.

Yanes M., Velasco J. e Suárez F., 1995 - *Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts*. Biological Conservation 71:217-222.

