

Caracterização da qualidade das escorrências da A22 Via Infante de Sagres, na zona de Alcantarilha

Ana Estela BARBOSA

Ph.D. e European Doctorate Degree em Biotecnologia e Engenharia do Ambiente, Investigadora Auxiliar, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, aestela@lnec.pt

João Nuno FERNANDES

Eng.º Civil, Bolseiro de doutoramento, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, jfernandes@lnec.pt

RESUMO

Uma das tarefas do projecto G-Terra, "Directrizes para a gestão integrada da poluição das escorrências de estradas em Portugal" é a monitorização de escorrências em estradas nacionais, de forma a alargar o conhecimento actual. Esta comunicação apresenta resultados do caso de estudo do Algarve, a A22 Via do Infante de Sagres, cujas de escorrência foram monitorizadas pelo LNEC com o apoio da concessionária Euroscut. Recolheram-se 76 amostras relativas a 10 chuvadas, próximo do Nó de Alcantarilha. Utilizou-se um equipamento automático; os dados de precipitação e escoamento foram registados cada 5 minutos e as amostras recolhidas de acordo com uma programação. O volume médio dos eventos monitorizados foi de 23 m³. As amostras foram analisadas para um conjunto de 18 parâmetros. As médias e extremos de concentrações, bem como as Concentrações Médias do Evento (CME) e do Lugar (CML) são apresentadas. Verificou-se que uma amostra de CQO excedeu o Valores Limite de Emissão (VLE) para a descarga de águas residuais (Decreto-Lei n.º236/98), enquanto 30% e 41% das amostras de SST e Fe, respectivamente, evidenciaram concentrações superiores aos VLE. Não se verificou a habitual relação de grandezas na presença de metais pesados, observando-se na A22 concentrações de Cu da mesma ordem de grandeza das de Pb, portanto reduzidas. As CML de SST, Zn, Cu e Pb da A22, comparativamente com outras estradas nacionais, aproximam-se das do IP5 (Aveiro) e A6 (Peniche). Os resultados serão, no futuro próximo, sujeitos a análises estatísticas adicionais, pesquisando-se também a existência de tendências e padrões entre diferentes estradas nacionais.

Palavras-chave: escorrências de estradas; poluição; monitorização; G-Terra; Algarve.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projecto G-Terra, "Directrizes para a gestão integrada da poluição das escorrências de estradas em Portugal", que teve início em 2008. O G-Terra tem a participação de várias instituições, nomeadamente o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, a Universidade do Minho, a Escola Superior de Tecnologia de Viseu e o Instituto da Água. Conta ainda com a colaboração das Estradas de Portugal e de um consultor externo da *Highways Agency*, do Reino Unido. (BARBOSA *et al.*, 2008).

Este estudo pretende angariar um conjunto de dados nacional, caracterizando as escorrências de 5 estradas para um grande leque de poluentes. Estes dados, bem como todo o restante conhecimento nacional, será processado no âmbito do G-Terra, usando ferramentas analíticas estatísticas de forma a melhor compreender a informação e a encontrar relações entre os poluentes e entre estes e as características das estradas e do clima do local. Os resultados desta análise serão utilizados para o estabelecimento de metodologias para o controlo da poluição em Portugal, as quais serão apresentadas num livro, no final do estudo. (BARBOSA *et al.*, 2008).

Estudos de monitorização de escorrências de estradas realizados em Portugal (*e.g.*: BARBOSA *et al.*, 2006; ANTUNES e BARBOSA, 2005) assinalaram concentrações de Sólidos Suspensos Totais (SST) e de Carência Química de Oxigénio (CQO) que ultrapassam o Valor Limite de Emissão (VLE) para a descarga de águas residuais (vide Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º236/98 de 1 de Agosto) em 15% e 50% das amostras para o CQO e 62% das amostras de SST¹. Este é um dos aspectos cuja frequência de ocorrência será interessante pesquisar.

Por outro lado, o conhecimento de Concentrações Médias do Lugar (CML) para mais estradas permitirá validar a importância relativa dos diferentes poluentes monitorizados e dar mais consistência ao PREQUALE, modelo de previsão de CML em estradas nacionais desenvolvido no âmbito dum estudo que o LNEC efectuou para a Estradas de Portugal (*e.g.*: BARBOSA *et al.*, 2009). O Quadro 1 sumaria estes dados.

Quadro 1 – Síntese das CML para as 6 estradas nacionais que fundamentaram o PREQUALE. (BARBOSA *et al.*, 2009)

CML e Estrada	A1	A2	A6	IP 5	IP4	IP6
SST (mg/l)	84,5	7,4	19,6	44,7	8,1	224,7
Zn (mg/l)	0,159	0,208	0,346	0,205	0,308	0,076
Cu (mg/l)	0,034	0,033	0,008	0,014	0,024	0,032
Pb (mg/l)	0,012	0,004	0,002	0,005	0,012	0,009

Um dos critérios presentes na escolha dos casos de estudo foi disponibilizar dados doutras regiões climáticas de Portugal continental. Assim, um dos locais que se impunha era o Algarve onde, além da escassez de precipitação, ocorre uma marcada sazonalidade nesta e no tráfego, factor interessante na análise destes fenómenos.

A estrada escolhida foi a A22, Via do Infante de Sagres. As águas de escorrência desta auto-estrada foram monitorizadas pelo LNEC com o apoio da Euroscut, Sociedade Concessionária da Scut do

¹ Os VLE são 150 mg/l para a CQO e 60 mg/l para os SST.

Algarve, S.A., indispensável dada a distância do local de monitorização, tendo sido estabelecido um protocolo para o efeito.

Esta comunicação descreve a monitorização efectuada entre Novembro de 2008 e Março de 2009 e faz uma análise dos resultados a nível de quantidade e qualidade das escorrências da A22.

Em 2004 e no âmbito do cumprimento da Declaração de Impacto Ambiental, a qualidade das águas de escorrência da A22 foi monitorizada por SANTOS e AGUILEIRA (2004). Nesse caso a metodologia foi distinta da que se adopta em estudos científicos, como o G-Terra. Entre outras situações, foram efectuadas recolhas das escorrências da A22 em garrações colocados à entrada de caixas de visita que antecedem as bacias de tratamento, recebendo directamente a água do colector. O Quadro 2 apresenta um resumo dos dados em causa. Os próprios autores deste relatório de monitorização referem que a metodologia utilizada não sendo a melhor, foi a economicamente mais viável.

Quadro 2 – Valores médios mínimos e máximos em amostras à entrada de sistemas de tratamento da A22, reportados por SANTOS e AGUILEIRA (2004)

Parâmetro	N.º amostras	Média	Mínimo	Máximo
SST (mg/l)	19	445,1	32,0	2370,0
CQO (mg/l)	18	89,4	11,0	318,0
CBO ₅ (mg/l)	19	11,1	1,0	31,0
Zn (mg/l)	19	0,277	0,053	0,727
Cu (mg/l)	1	0,053	-	-

SANTOS e AGUILEIRA (2004) registam que os SST e CQO de algumas amostras excederam os VLE para as águas residuais. Este facto é interessante por ser similar ao verificado noutras estradas nacionais, conforme exposto anteriormente. Os autores referem ainda que a relação CBO₅/CQO é de 0,12, indicando um efluente pouco biodegradável.

SANTOS e AGUILEIRA (2004) reportam mas 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.

BARBOSA e FERNANDES (2008), comentando o relatório de SANTOS e AGUILEIRA (2004), referem ser importante que um 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, que foi de 0,050 mg/l no estudo, valor muito elevado para o tipo de efluente em questão.

2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

2.1 Localização e caracterização da estrada

A selecção do local foi efectuada em coordenação com a Euroscut e seguindo os habituais critérios de representatividade da área drenada, facilidade e segurança no acesso e possibilidade de instalação de um abrigo. O perfil transversal tipo da A22 apresenta duas vias por sentido, tendo cada uma 3,75 m de largura; a berma esquerda tem 1,00 m enquanto a direita apresenta 2,60 m de largura. O separador central consiste em 0,60 m de *New-Jersey* em betão armado. Nesta secção o pavimento é de tipo flexível (SANTOS e AGUILEIRA, 2004)

O local seleccionado (Figura 1) encontra-se junto ao Nó de Alcantarilha, no lado Norte (sentido de Lagos). O colector de 500 mm seleccionado para a medição do caudal e para a amostragem é o que se localiza à entrada da primeira caixa de visita, a qual encaminha as escorrências para a bacia de tratamento BTA-6 da A22.

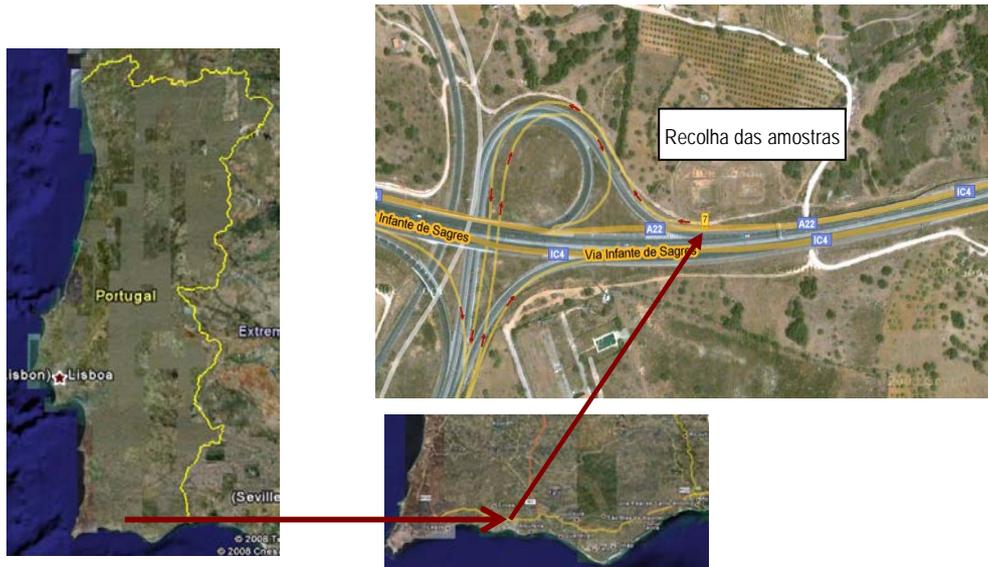


Figura 1– Localização da estrada e ponto de monitorização.

Esta bacia recebe escorrências de parte do trecho que antecede o Nó de Alcantarilha e do próprio Nó (localizado ao km 38+114 da A22), conforme ilustra a Figura 2. A extensão do trecho que drena para o ponto de monitorização é de cerca de 612 m. A área de drenagem total é de 15422 m² dos quais 13159 m² são impermeáveis. Esta área encontra-se marcada a azul na Figura 2.

Esta auto-estrada apresenta uma marcada sazonalidade na variação do volume de tráfego², sendo Agosto o mês com maior volume de tráfego. Por exemplo, o TMDA em Agosto de 2008 foi de 41335 e 42264, respectivamente para o lanço Lagoa/Silves-Alcantarilha e Alcantarilha-Algoz. Os valores para os dois troços são semelhantes pelo que no estudo se optou por fazer a média destes, para os meses de monitorização, uma vez que a área drenada abarca o primeiro lanço e o Nó de Alcantarilha. Assim, para os efeitos das amostras recolhidas, interessam os meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2009, os quais apresentaram um TMDA de 19201, correspondendo 5% a viaturas pesadas.

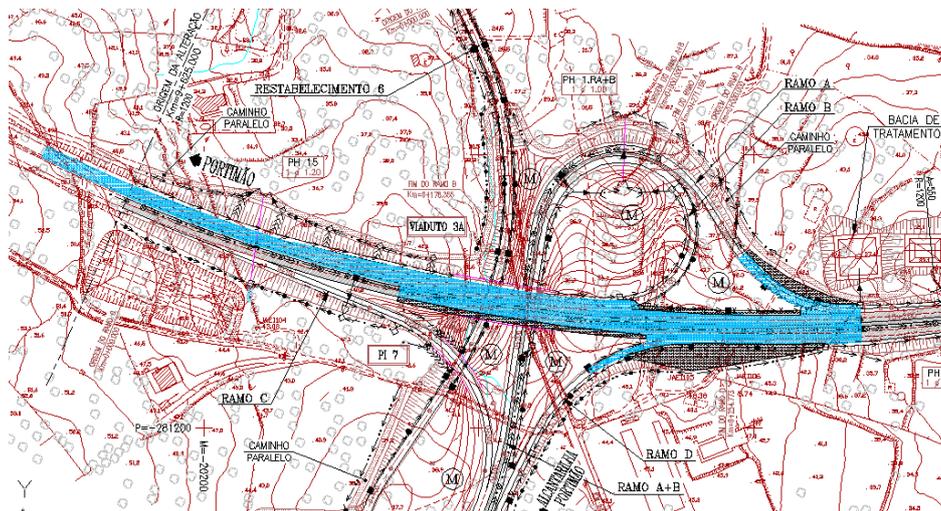


Figura 2 – Excerto da planta do projecto de drenagem da A22 na zona em estudo, assinalando-se as áreas que drenam para o ponto de monitorização.

² Dados de tráfego facultados pela Euroscut.

Uma vez que SANTOS e AGUILEIRA (2004) efectuaram duas recolhas de escorrências da plataforma da A22 exactamente no ponto seleccionado para esta monitorização, apresentam-se no Quadro 3 os resultados por eles obtidos.

Quadro 3 – Concentrações determinadas à entrada da bacia BTA-6 (SANTOS e AGUILEIRA, 2004).

Parâmetro e datas das amostragens	10.11.2003	30.01.2004
Temperatura (°C)	23,1	22,4
pH	7,8	7,8
SST (mg/l)	224	166
CQO (mg/l)	65	38
CBO ₅ (mg/l)	3	8
Zn (mg/l)	0,297	0,241
Cu (mg/l)	< 0,050	< 0,050
Pb (mg/l)	0,013	0,006
Cd (mg/l)	< 0,001	< 0,001

2.2 Instalação do equipamento e período de monitorização

A Euroscut construiu um abrigo (Figura 3) para protecção do equipamento, tendo este sido instalado a 3 de Novembro de 2008, à entrada da bacia de tratamento junto ao Nó de Alcantarilha. Devido a questões técnicas e à ausência de precipitação, as amostras foram angariadas entre 13 de Janeiro e 2 de Março de 2009, tendo-se recolhido um total de 76 amostras, relativas a 10 chuvadas.

O equipamento consistiu num amostrador automático da ISCO, com 8 garrafas de vidro borosilicato, com 1,8 L cada; num medidor de caudal; num descarregador e num udómetro. Foi ainda instalado no topo do abrigo um sistema de vela húmida, para a determinação de cloretos atmosféricos.



Figura 3 – Descarregador The-Mar instalado no colector e abrigo com o restante equipamento.

3 METODOLOGIA

O equipamento de monitorização consistiu em 3 componentes principais, conforme já referido. O caudal foi medido pelo módulo ISCO 730 *Bubbler*, colocado num descarregador *The-Mar*. Este foi instalado, com um adaptador, no colector de 500 mm, à entrada da caixa de visita que antecede a bacia. Foi necessário usar massa de vidraceiro para melhorar o ajuste do descarregador ao colector

(Figura 3). As amostras de águas de escorrência foram recolhidas pelo amostrador automático 6700 da ISCO. Colocou-se um medidor de precipitação no topo do abrigo. Os registos de caudal e precipitação foram programados para serem efectuados em cada 5 minutos.

Foi efectuado um *upgrade* ao equipamento, com o qual já se trabalha há vários anos, tendo sido incorporado um módulo GSM no amostrador ISCO com base num modem e um cartão de telemóvel activo. A nova funcionalidade permite o envio dum SMS, sempre que é executada uma amostra, para um número de telemóvel definido.

Apesar de existirem 8 garrafas no amostrador, nem sempre estas se encontravam cheias devido a variações temporais no escoamento (*e.g.* Figura 4). Nos 5 primeiros monitorizados a programação abarcava amostras intervaladas durante 2 horas. Tendo-se posteriormente verificado, pela consulta dos registos de precipitação e escoamento do *data logger*, que a duração dos eventos na zona frequentemente chegava ou excedia as 3 horas (apesar de haver as referidas alterações de volume de escoamento ao longo do tempo), alterou-se a programação para a amostragem ficar mais espaçada, cobrindo 3 horas e possibilitando assim caracterizar qualitativamente toda a ocorrência.



Figura 4 – Amostras recolhidas na A22: evento de 10 de Fevereiro de 2009.

Nem todos os parâmetros foram determinados no total das amostras, por se prever que duas amostras consecutivas teriam concentração idêntica; por se ter verificado que a concentração do parâmetro estaria abaixo do limite de quantificação (por ex., caso da CBO_5), ou ainda por limitações do volume para a determinação do conjunto total de parâmetros pretendidos, tendo-se estabelecido prioridades.

Foi efectuado um contrato de aquisição de serviços com o Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da Universidade do Algarve, com o qual se discutiram as especificidades deste trabalho, as exigências em termos de limites de detecção analítica, bem como as restrições impostas pelo volume de cada amostra, reduzido para o número de parâmetros solicitados. Exceptuando os metais pesados, todos os parâmetros foram medidos ou analisados no LES.

As amostras para a determinação dos metais pesados foram conservadas, de acordo com o *Standard Methods* (APHA *et al.*, 1998) e enviadas à Escola Superior de Tecnologia de Viseu, participante no projecto G-Terra, onde foram analisados.

Os parâmetros determinados foram os seguintes: pH, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), dureza total, cloretos, azoto Kjeldahl (N-Kjd), fósforo total (P-Tot), Carência Química de Oxigénio (CQO) e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5), óleos e gorduras, zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), cádmio (Cd), crómio (Cr) e ferro (Fe).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Resultados e pressupostos no tratamento da informação

É relevante no tratamento de dados o estabelecimento dum método para lidar com os valores não quantificados analiticamente. Nesta comunicação, entende-se por limite de quantificação (LQ) o valor numérico que a técnica analítica permite precisar; abaixo deste valor, a técnica pode identificar a presença do parâmetro em determinação, porém não o consegue quantificar. Há ainda uma última situação, em que não é detectada a presença do parâmetro em determinação (não detectado, ND) pelo que se assume que a sua concentração é nula. Na nomenclatura anglo-saxónica os valores abaixo do limite de quantificação são designados por "*non detects*", por vezes traduzidos para português como "não detectados", o que pode gerar mal-entendidos.

No âmbito do G-Terra (*e.g.* BARBOSA *et al.*, 2010) estudaram-se vários métodos utilizados internacionalmente para lidar com o tratamento estatístico de conjuntos dados com variáveis que podem assumir valores abaixo do LQ. O objectivo era estabelecer, fundamentando, uma metodologia que pudesse ser utilizada na análise de concentrações em escorrências de estradas, dado ser frequente a obtenção de resultados abaixo do LQ, na sequência de estudos de monitorização exigentes, em termos humanos e materiais. Uma amostra com valor abaixo do LQ apresenta um determinado nível de informação, pois sabe-se que é um valor baixo e inferior ao LQ, contribuindo para explicar a população amostrada. As técnicas geralmente utilizadas para lidar com esses casos são a substituição por uma constante (*e.g.* zero ou LQ/2) ou um método que tente reproduzir as concentrações não quantificadas, tendo em conta a distribuição estatística dos dados quantificados. Sabe-se que uma má opção na substituição dos valores abaixo do LQ pode induzir em enviesamentos da análise de resultados (*e.g.* HELSEL, 2006)

O Quadro 4 apresenta, para a monitorização da A22, uma síntese do número de amostras analisadas para cada parâmetro de qualidade, o número de amostras com concentrações não detectadas (ND) e o número de amostras com concentrações abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Não foi detectada a presença do elemento em análise em todas as amostras no caso do Cd, em 65 amostras para o Cr e, no caso do Pb, em 4 amostras.

A metodologia para tratamento de dados estabelecida no G-Terra (BARBOSA *et al.*, 2010) indica que, quando os <LQ excedem 80% da amostra, não é possível efectuar nenhum tipo de substituição (caso da CBO₅ e Cr). Quando os <LQ são inferiores a 5% do total (caso dos SST, N-Kjeldahl e cloretos, no que respeita aos resultados em análise) utiliza-se a técnica de substituição destes pelo LQ/2. Nos restantes casos, utiliza-se o método "*Regression on Order Statistics*" (ROS) (parâmetros assinalados a sombreado no Quadro 4.

Para a aplicação do ROS há que determinar se a distribuição dos valores quantificados da amostra se aproxima duma distribuição normal ou log-normal, as que geralmente caracterizam as concentrações em escorrências rodoviárias (*e.g.* HVITVED-JACOBSEN e VOLLERTSEN, 2003). Para o efeito utilizou-se o programa STATISTICA® e os histogramas e testes estatísticos apontaram para a não rejeição da hipótese das variáveis terem uma distribuição log-normal. Assim, foi utilizado o método correspondente e substituídas as variáveis com valores abaixo do LQ. Foi este novo conjunto de dados, em que os valores abaixo do LQ foram substituídos, que foi utilizado nos cálculos que se apresentam nesta comunicação, nomeadamente médias, máximos e mínimos, desvios padrão, Concentrações Médias do Evento (CME) e do Lugar (CML) e cargas poluentes.

A CBO₅ evidenciou no início da monitorização uma elevada ou total percentagem de determinações abaixo do limite de quantificação. Por esse motivo e sendo difícil gerir os volumes de amostras para tantas determinações, optou-se por eliminar este parâmetro da lista de determinações.

Quadro 4 – Resumo do número de amostras processado para cada parâmetro de qualidade e caracterização dos valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ)

Parâmetro	N.º amostras analisadas	Nº amostras ND	Nº amostras < LQ	% valores não quantificados
pH	76	0	0	0
Cond (20° C)	76	0	0	0
SDT (mg/l)	76	0	0	0
COO (mg/l)	75	0	21	28
CBO ₅ (mg/l)	12	0	11	92
Dur.Tot. (mg CaCO ₃ /l)	67	0	0	0
SST (mg/l)	65	0	1	1,5
N Kjeldahl (mg/l)	65	0	1	1,5
P Tot (mg/l)	67	0	38	57
COT (mg/l)	66	0	0	0
Cloretos (mg/l)	67	0	1	1,5
Óleos e Gord (mg/l)	57	0	0	-
Fe	76	1	7	9
Zn	76	0	14	19
Cu	76	0	19	25
Pb	76	4	22	31
Cr	76	65	9	82
Cd	76	76	0	0

4.2 Dados de precipitação-escoamento

Como se referiu anteriormente, os equipamentos de monitorização foram instalados no local de amostragem no dia 3 de Novembro de 2008. Desta forma, desde esse dia até ao fim do período de monitorização estão disponíveis, para cada 5 minutos, os registos de precipitação e de nível de água no descarregador medidos, respectivamente, através do udómetro e do *bubbler*.

O caudal que é escoado na conduta pode, através das medições de nível, ser estimado mediante a relação fornecida pelo fabricante do descarregador (*The-Mar Co.*, facultada através do representante da ISCO em Portugal).

Assim, os resultados da precipitação e do escoamento foram sintetizados na Figura 5 na qual se apresenta todo o período de monitorização. Na mesma figura apresenta-se a indicação do início dos 10 eventos alvo de amostragem.

Relativamente às relações entre a precipitação e ao caudal escoado na conduta efectuou-se uma análise aos volumes de cada componente. Por um lado, calculou-se o volume de água precipitado (V_{prec}) através da medição da precipitação (P) no udómetro e da área que contribui para o escoamento³ (A). O volume escoado pela conduta (V_{esc}) foi calculado pela integração no tempo (t) dos caudais medidos (Q). Como se referiu, as variáveis precipitação e caudal foram medidos com um intervalo de 5 minutos.

Importa referir que esta análise não está isenta de erros. Entre esses erros encontra-se o facto da medição da precipitação ser apenas num ponto, assumindo-se a uniformidade da precipitação em toda a área da bacia. A discretização temporal pode ser importante numa bacia pequena uma vez que nos 5

³ A área que contribui para o escoamento corresponde a aplicar um coeficiente de escoamento igual a 1 para as áreas impermeáveis e igual a 0,5 para as áreas permeáveis.

minutos pode haver um pico de caudal “não apanhado” pelas medições efectuadas. Além disso, factores como a orientação dos ventos ou da área que realmente contribui para o escoamento podem enviesar os resultados.

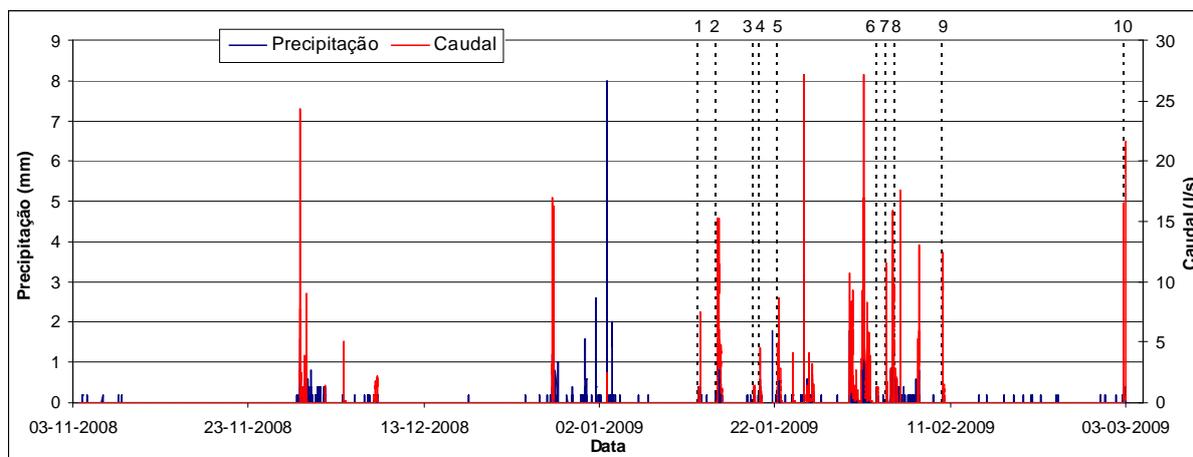


Figura 5 – Precipitação e caudal na conduta ao longo de toda a campanha de monitorização

Os resultados da análise aos volumes escoados e precipitados são apresentados no Quadro 5, bem como o período seco antecedente e, para cada evento, a percentagem do escoamento que foi caracterizada qualitativamente (sujeita a amostragem).

Quadro 5 – Resumo dos eventos da A22

Evento	Data de início	Período seco antecedente		$V_{prec} = A \times P$ (m ³)	$V_{esc} = Q \times t$ (m ³)	V_{prec} / V_{esc}	% do escoamento com amostragem
		(horas)	(dias)				
1	13-01-2009 9:10	252	10,5	42,1	12,8	3,3	94
2	15-01-2009 9:30	45	1,9	31,6	4,3	7,3	100
3	19-01-2009 16:25	86	3,6	13,2	3,9	3,4	100
4	20-01-2009 7:35	15	0,6	31,6	10,4	3,0	6
5	22-01-2009 8:30	43	1,8	129,0	70,7	1,8	35
6	02-02-2009 17:10	16	0,7	18,4	3,2	5,7	100
7	03-02-2009 17:05	21	0,9	105,3	43,3	2,4	74
8	04-02-2009 20:50	5	0,2	10,5	7,4	1,4	97
9	10-02-2009 5:00	65	2,7	18,4	40,6	0,5	100
10	02-03-2009 19:40	490	20,4	42,1	41,1	1,0	100

4.3 Caracterização da qualidade das águas de escorrência da A22

O Quadro 6 apresenta um resumo das concentrações médias, máxima e mínima, bem como o desvio padrão para os parâmetros determinados e quantificados, no conjunto da amostra com tratamento de ROS efectuado aos valores abaixo do limite de quantificação (LQ) para a CQO, P-Total, Fe, Zn, Cu e Pb. No caso dos SST, N-Kjeldahl e cloretos, os valores abaixo do LQ foram substituídos por LQ/2.

Quadro 6 – Resumo dos dados de qualidade das escorrências da A22

Parâmetro	N.º Amostras	Média	Mínimo	Máximo	Desv. Padrão
pH	76	7,9	7,2	8,3	0,2
Cond (20° C)	76	209,6	85,0	355,0	59,7
SDT (mg/l)	76	164,6	66,0	275,0	46,7
CQO (mg/l)	75	39,7	6,3	226,0	31,4
CBO ₅ (mg/l) ⁽¹⁾	1	-	-	-	-
Dur.Tot. (mg CaCO ₃ /l)	67	94,4	50,0	158,0	25,3
SST (mg/l)	65	58,8	2,5	220,0	42,2
N Kjeldahl (mg/l)	65	3,2	0,5	10,0	1,9
P Tot (mg/l)	67	0,14	0,02	0,6	0,1
COT (mg/l)	66	18,5	6,0	38,0	6,5
Cloretos (mg/l)	67	25,3	4,0	90,0	17,5
Óleos e Gord (mg/l)	57	1,7	0,3	3,9	1,0
Fe (mg/l)	76	1,950	0,280	6,627	1,257
Zn (mg/l)	76	0,167	0,044	0,464	0,084
Cu (mg/l)	76	0,023	0,009	0,046	0,007
Pb (mg/l)	76	0,023	0,009	0,049	0,008
Cr (mg/l)	2	-	0,017	0,057	-

(1) O único valor de CBO₅ quantificado foi de 11 mg/l

(2) O Cd não foi detectado em nenhuma das 76 amostras analisadas.

Comparando os resultados com os Valores Limite de Emissão (VLE) para a descarga de águas residuais (Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º236/98), verificou-se que 1 amostra de CQO (1,3%) excedeu o VLE, enquanto 30% e 41% das amostras evidenciaram concentrações de SST e Fe, respectivamente, superiores aos VLE.

4.4 Cálculo das CME, CML e cargas poluentes anuais

Os cálculos das Concentrações Médias de cada Evento para cada parâmetro (apresentados no Quadro 7) permitem a posterior determinação das Concentrações Médias do Lugar (da estrada). No caso em estudo, verificou-se que as amostras correspondentes ao evento 4, devido a uma programação desadequada não capturaram o início do escoamento, mas sim a parte final deste. Assim, este evento não foi utilizado no cálculo das CML da A22, que se apresentam no Quadro 8.

O evento 4 consistiu na amostragem da parte final (6% do volume) dum escoamento com um total de 10,4 m³. Considerando que a precipitação anterior (monitorizada no evento 3) tinha ocorrido cerca de 15 horas antes e que as concentrações medidas nas amostras recolhidas nesta “cauda” de escoamento se apresentam muito homogéneas, coloca-se a hipótese destes valores se poderem aproximar duma “poluição de fundo”.

Quadro 7 – Concentrações Médias dos Eventos (CME) monitorizados

Evento	CQO (mg/l)	SST (mg/l)	N Kjell (mg/l)	P Tot (mg/l)	COT (mg/l)	Clor (mg/l)	O&Gord (mg/l)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)
1	39,6	40,6	1,00	0,23	22,4	11,8	2,4	0,01	0,03	0,10	2,4
2	44,0	50,0	2,31	0,12	19,4	22,1	2,4	0,02	0,03	0,10	2,8
3	63,4	82,4	7,00	0,15	19,7	43,4	3,0	0,02	0,02	0,20	2,2
4	16,5	9,4	2,92	0,09	11,7	27,2	0,8	0,02	0,02	0,10	1,1
5	34,6	88,0	2,63	0,10	13,0	19,5	1,6	0,02	0,02	0,19	1,8
6	42,7	79,5	3,00	0,16	18,6	35,3	0,9	0,03	0,03	0,26	3,3
7	21,3	32,1	1,86	2,60	9,6	16,1	0,8	0,02	0,02	0,15	1,2
8	28,6	47,9	1,72	0,69	12,0	35,7	0,9	0,03	0,02	0,18	2,1
9	20,9	25,7	2,62	0,45	20,6	10,6	0,6	0,03	0,02	0,14	0,9
10	49,8	25,8	2,23	2,18	29,8	15,3	1,9	0,03	0,03	0,13	0,7

Quadro 8 – Concentração Média do Local (CML) e cargas poluentes da A22

Parâmetro	Nº eventos	CML (mg/l)	Desvio padrão	Coef. variação	Cargas poluentes (kg/ha/ano)
CQO	9	38,3	0,014	0,4	178,4
SST	9	52,4	0,025	0,5	244,1
N Kjell	9	2,7	0,002	0,6	12,6
P Tot	9	0,74	0,001	1,29	3,5
COT	9	18,4	0,006	0,33	85,4
Cloretos	9	23,3	0,012	0,51	108,5
Óleos e Gord	9	1,6	0,0009	0,5	7,5
Pb	9	0,02	0,00001	0,31	0,11
Cu	9	0,03	0,00000	0,18	0,12
Zn	9	0,16	0,00005	0,33	0,75
Fe	9	1,9	0,0009	0,4	9,0

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados apresentados relativos aos volumes dos eventos monitorizados permitiu verificar que, com excepção do evento 9, em todas as situações o volume precipitado é superior ao volume escoado na conduta. Esse resultado, condicionado pelos erros que se apresentaram, é o esperado uma vez que do volume precipitado uma componente importante é perdido, principalmente devido à infiltração nos solos e poros do pavimento rodoviário.

O caso que se verificou na amostragem 9 deverá ter sido resultado de um erro de medição do udómetro ou do medidor de caudal (poderia estar coberto de detritos, por exemplo).

Verifica-se que, para a maioria dos casos, as amostras foram efectuadas ao longo de todo o evento de escoamento (percentagens perto de 100%).

O facto de existirem concentrações a excederem os VLE para a CQO, SST e Fe, vem corroborar para os dois primeiros casos a importância destes parâmetros – e do seu controlo – em escorrências de estradas em Portugal. No caso do Fe, este não é geralmente um metal que apresente uma grande perigosidade a baixas concentrações e não costuma ser apontado como um poluente-chave em escorrências de estradas, pelo que este dado necessita de futura análise e comparação com resultados de outros estudo. Recorde-se que a A22 tem a jusante do ponto monitorizado um sistema

de tratamento que garantirá a redução destas concentrações, sendo plenamente justificada a sua construção.

Curiosamente, as concentrações de Pb e de Cu são ambas baixas e muito próximas, não se verificando o que é habitual no padrão nacional: valores de Pb sensivelmente metade dos de Cu. Por outro lado o Zn evidencia concentrações bem superiores aos outros dois metais pesados, o que se tem observado em todas as estradas nacionais.

Comparando as médias das concentrações e os extremos (Quadro 6) com os resultados gerais de SANTOS e AGUILEIRA (2004) verifica-se que os valores agora obtidos são mais baixos para os SST, CQO e Zn. No caso da CBO₅ o único valor quantificado agora é idêntico à média das concentrações obtidas por SANTOS e AGUILEIRA (2004), embora inferior aos valores medidos por estes à entrada da BTA-6 (Quadro 3). No que respeita ao Cu, cujo limite de quantificação era excessivamente alto na monitorização pontual de 2004, verifica-se que o único valor quantificado (0,053 mg/l) se aproxima do valor máximo agora obtido (0,049 mg/l). Estas comparações têm um peso relativo, dadas as diferentes metodologias utilizadas neste estudo face às de SANTOS e AGUILEIRA (2004), conforme já referido.

Continuam a verificar-se valores de pH básicos. No que se refere à CBO₅, esta foi determinada em apenas 12 amostras no presente estudo. No entanto, tendo em conta os baixos valores obtidos (quase todos abaixo do LQ, 5mg/l) é provável que se verifique uma baixa relação CBO₅/CQO, conforme reportado por SANTOS e AGUILEIRA (2004).

As CML reportadas referem-se a eventos monitorizados durante o Inverno, considerando-se serem representativas da maior parte do período húmido. O volume médio dos eventos monitorizados foi de cerca de 23 m³. Se se comparar as CME (Quadro 7) com os períodos secos antecedentes (Quadro 5), observa-se a ausência de correlação directa das concentrações com estes, em parte explicadas pelo volume do escoamento que dilui os poluentes.

As CML da A22 comparativamente com outras estradas nacionais (Quadro 1) aproximam-se das do IP5 e A6, embora nenhuma estrada tenha evidenciado uma CML de Cu tão baixa como a que se verificou na A22.

Comparando o Quadro 8 com as CME relativas ao evento 4 (Quadro 7) observa-se que o que se considera poder ser representativo da poluição de fundo desta secção da A22 se aproxima de metade da CML, exceptuando para o caso do N-Kjeldahl, cloretos, Pb e Cu cujas concentrações são próximas das CML.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

O estudo aqui apresentado consistiu na primeira monitorização automatizada realizada no sul do país, na zona de Alcantarilha. Comprovou-se a dificuldade acrescida na monitorização do escoamento rodoviário numa região com baixa pluviosidade. Este foi um dos motivos que conduziu à desmontagem da estação de monitorização no princípio de Março de 2009, quando teria sido desejável angariar dados para mais uma chuvada, visto o evento 4 não ter ficado completamente caracterizado. Todavia, considerou-se que a caracterização dos restantes 9 eventos foi muito consistente, não se justificando a reinstalação do equipamento no início da época húmida seguinte somente para obter mais um evento. Foi relevante para a equipa poder dispor de do sistema de aviso, por SMS, de que existem amostras para serem recolhidas. Esta funcionalidade reduziu o número de deslocações ao campo, tendo ainda o benefício acrescido de ser um indicador da carga da bateria, visto o GSM enviar um SMS diariamente, deixando de o fazer quando a bateria já não tem carga.

O padrão habitual nacional de relação de concentração dos três metais pesados mais relevantes é: Zn >> Cu > Pb. Verificou-se que as escorrências da A22 não correspondem a esta relação de grandezas, apresentando concentrações de Cu bastantes reduzidas e da mesma ordem de grandeza das de Pb. As CML de SST, Zn, Cu e Pb da A22 comparativamente com outras estradas nacionais aproximam-se

das do IP5 (Aveiro) e A6 (Peniche), embora nenhuma estrada tenha evidenciado uma CML de Cu tão baixa como a que se observou na A22.

Por outro lado, voltou a verificar-se a tendência, observada noutras estradas, para as concentrações de SST excederem o VLE para descarga de águas residuais (Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º236/98). No caso da A22, essa ocorrência foi verificada também para o Fe. Estas observações reportam para uma provável necessidade de tratamento. Uma vez que existe um sistema de tratamento a jusante do ponto monitorizado, estes dados vêm confirmar a acuidade dos estudos efectuados aquando do projecto da A22, nomeadamente do Estudo de Impacte Ambiental e medidas de minimização.

Os resultados angariados na A22 estão ainda a ser processadas, não tendo sido totalmente apresentados nesta comunicação. Serão, no futuro próximo, sujeitos a diversas análises estatísticas, não só para melhor compreender e caracterizar este local mas também para pesquisar a existência de tendências e padrões entre diferentes estradas nacionais. Um dos aspectos a averiguar é exactamente o papel da precipitação como agente de remoção, transporte e diluição dos poluentes rodoviários.

O Algarve é uma das regiões nacionais com pluviosidade mais baixa. Apresenta também uma manifesta tendência para uma variação no TMDA, sendo os meses de Julho, Agosto e Setembro marcados por um volume de tráfego significativamente mais elevado. No caso do trecho da A22 monitorizado a razão entre o TMDA mensal entre Agosto e Janeiro é de mais de 2. Por outro lado, como a precipitação se concentra nos meses de Inverno, quando a intensidade de tráfego é mais baixa, coloca-se a hipótese dos poluentes durante o estio sofrerem processos de dispersão/ remoção controlados por fenómenos atmosféricos. Análises preliminares da acumulação de poluentes na A22 por dia de período seco antecedente, apontam para inconstância nos valores para os vários eventos, sugerindo a ausência duma relação directa entre a massa de poluentes e o tempo de acumulação.

Outra vertente de pesquisa do projecto G-Terra que aqui não foi explorada é a presença de cloretos nas escorrências, o seu transporte atmosférico, bem como o eventual papel que pode desempenhar em estradas próximas do mar. O dispositivo de vela húmida instalado no topo do abrigo permitiu determinar os cloretos transportados para o local da A22 monitorizado por via atmosférica; este dado será analisado e comparado com os homólogos obtidos noutros casos de estudo do G-Terra.

Finalmente, é importante referir que apenas foi possível efectuar este trabalho de campo graças a uma cooperação muito profícua que foi estabelecida com a Euroscut, sendo esta a primeira experiência do LNEC deste tipo. Exigiu um esforço considerável de ambas as partes, tendo o resultado atingido as expectativas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (Projecto PTDC/AMB/64953/2006). Agradece-se à Euroscut - Sociedade Concessionária da Scut do Algarve, S.A. e, em particular, à Eng.^a Jessica Caliço todo o apoio concedido, sem o qual teria sido impossível concretizar a monitorização da A22. Agradece-se à Dr.^a Rita Paquete e Eng.^a Cristina Pimentel do Laboratório de Engenharia Sanitária da Universidade do Algarve a difícil coordenação do rigor analítico, com os baixos limites de detecção e volumes reduzidos de amostras.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, P.A.; BARBOSA, A.E. (2005) "Highway Runoff Characteristics in Coastal Areas – A case Study in Aveiro, Portugal", in 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 Aug., 6 pp

APHA; AWWA; WEF (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edition.

BARBOSA, A. E., FERNANDES, J. N. e DODKINS, I. (2010) "Directrizes para a Gestão Integrada das Águas de Escorrência de Estradas em Portugal. Relatório das tarefas executadas pelo LNEC em 2008-2009" (em preparação).

BARBOSA, A.E.; ESCARAMEIA, M.; FERNANDES, J.; CARVALHO, C. (2009) "Águas de Escorrência de Estradas. Sistemas para Minimização de Impactes. Relatório Síntese". Relatório 330/2009, Outubro de 2009, 29 pp.

BARBOSA, A.E.; ANTUNES, P.B.; RAMÍSIO, P. (2008) "Directrizes para a Gestão Integrada da Poluição das Escorrências de Estradas em Portugal: G-TERRA", 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico (13º ENaSB), 14-17 de Outubro, Covilhã, APESB, 13 pp.

BARBOSA, A.E.; FERNANDES, J.; 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 2006, Cascais, APESB, 15 pp.

BARBOSA, A.E.; FERNANDES, J. (2008) "Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. Sistemas de Tratamento de Águas de Escorrência. Relatório Final Sectorial". Relatório 187/2008 – NRE, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Maio de 2008, 89 pp.

HELSEL, D.R. (2006) Fabricating data: "How substituting values for nondetects can ruin results, and what can be done about it". *Chemosphere* 2006, 65, 2434-2439.

HVITVED-JACOBSEN, T.; VOLLERTSEN, J. (2003) "Pollutants from road runoff", pp. 1-22, in *Curso Sobre Características de Águas de Escorrência de Estradas em Portugal e Minimização dos seus Impactes*, eds., A.E. Barbosa, T. Leitão, T. Hvitved-Jacobsen e F. Bank, LNEC, Portugal, 176 pp.

SANTOS, D. e AGUILEIRA, A. (2004) *Monitorização da Qualidade da Água da A22 – Via do Infante*, Euroscut, Sociedade Concessionária da SCUT do Algarve, 39 pp.