

IX-074 - AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE UMA BACIA DE DETENÇÃO PARA A REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE ESCORRÊNCIAS RODOVIÁRIAS

Paulo Belizário⁽¹⁾

Prof. Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Portugal.

Paulo Sérgio Scalize⁽²⁾

Prof. Adjunto, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

António Albuquerque⁽¹⁾

Prof. Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Portugal.

Endereço⁽¹⁾: Edifício 2 das Engenharias – Calçada Fonte do Lameiro – 6200-001 Covilhã - Portugal - Tel: +351 (275) 319700 - e-mail: belizario.fap@gmail.com , ajca@ubi.pt

Endereço⁽²⁾: Avenida T15, 1399, apto 504 - Goiânia - GO - CEP: 74230-010 - Brasil - Tel: 62 3209-6257 - e-mail: pscalize.ufg@gmail.com

RESUMO

As águas de escorrência de estradas (AEE) quando descarregadas intensivamente em massa de água ou no solo podem causar impactos ambientais negativos significativos nos seus usos. Uma extensa monitorização foi realizada numa bacia de retenção localizada no acesso à autoestrada A23 (Covilhã, Portugal) durante um ano, envolvendo a medição de vazão e a coleta de amostras para análise de DQO e metais pesados durante 8 eventos de precipitação, com diferentes intensidades e durações. As concentrações e cargas mássicas da generalidade dos poluentes analisados apresentaram variação entre precipitações, que esteve associado ao diferente uso do solo, regime de precipitação, tempo seco entre e características do tráfego. Em 4 das precipitações, com intensidades superiores a 29,4 mm e durações entre 3 h e 7 h, observou-se a entrada da totalidade da carga poluente em menos de 50% do volume acumulado na lagoa e para tempos de retenção inferiores ao mínimo desejável para haver uma adequada remoção de poluentes, tendo havido descarga de cargas poluentes no meio receptor. No entanto, as concentrações observadas no efluente foram inferiores aos limites de descarga permitidos pela legislação europeia. Este trabalho demonstra a importância da inclusão deste tipo de estudos em Planos de Monitorização Ambiental de estradas, não só para permitir uma boa caracterização das AEE produzidos nas estradas e sua envolvente, como também para avaliar a eficiência das estruturas de tratamento e eventuais impactos ambientais decorrentes da descarga de efluentes em meios receptores.

PALAVRAS-CHAVE: Bacias de retenção, escorrências de estradas, precipitação, remoção de metais.

INTRODUÇÃO

Durante a vida útil de uma estrada são produzidos compostos passíveis de contaminar o ambiente, originados pelos materiais constituintes da via, área envolvente e a circulação rodoviária. O tipo e concentração de poluentes dependem de fatores como o tipo e tamanho do veículo, combustível utilizado, características da estrada, pavimento e sua envolvente e intensidade e duração das precipitações.

Os compostos poluentes produzidos provêm da utilização do combustível (libertação de subprodutos da combustão), desgaste dos componentes do veículo e componentes da via, degradação da superfície da estrada, fugas de lubrificantes através de sistemas hidráulicos, aplicação de químicos em operações de manutenção ou reparação da via e na zona envolvente, ou ainda provenientes de acidentes envolvendo o transporte de substâncias tóxicas ou perigosas. Estes compostos são dissolvidos na águas das chuvas sempre que há precipitação e é produzido escoamento superficial, formando as águas de escorrências de estradas (AEE). Entre os compostos que mais causam preocupação estão os metais pesados (*p.e.* Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni e Zn) que podem provocar impactos ambientais negativos significativos no solo e água e nos seus usos. As AEE são emissões intermitentes, sendo a poluição causada por estas descargas do tipo difusa.

A quantificação das cargas poluentes que contribuem para as características das AEE é difícil de efetuar, uma vez que agrega contribuições da via e da zona envolvente, podendo esta última ter origem agrícola, industrial e de outras ocupações do solo. As contribuições da via podem ter características diferentes, até para a mesma via em períodos diferentes, porque depende do estado dos materiais que a constituem e dos veículos que circulam (Barbosa, 2007).

Para controlar os efeitos negativos da descarga de AEE no ambiente, existem vários sistemas de detenção e tratamento, destacando-se as bacias de detenção ou armazenamento, bacias de tratamento, bacias de infiltração, sistemas com vegetação (*p.e.* canais com vegetação e leitos de macrófitas) e leitos filtrantes (*p.e.* filtros de areia, filtros reativos e trincheiras filtrantes) (Barbosa, 1999; Jones, 2012). Estas opções tecnológicas podem também ter associadas à opção de reutilização das AEE tratadas para usos tais como a rega agrícola, irrigação de espaços verdes, lavagem de equipamentos, viaturas e pavimentos, sendo necessário manter uma qualidade mínima de acordo com o uso, tal como referido em Marecos do Monte e Albuquerque (2010). No entanto, a avaliação do funcionamento destes sistemas não tem sido muito estudada porque só pode ser feita durante o decorrer da precipitação.

O objetivo principal deste estudo foi a avaliação da capacidade de uma bacia de detenção para remover Cr, Cu, Zn e DQO de AEE, durante uma monitorização que durou um ano. Foram analisadas 8 eventos com precipitações entre 16 mm e 103 mm que poderiam ter provocado um mau funcionamento da estrutura e ter originado impacto ambiental considerável no meio líquido receptor.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização e características da bacia de detenção

No acesso Covilhã Norte à autoestrada A23 foram construídas 4 bacias de detenção para o tratamento de AEE provenientes da estrada e da zona envolvente, tendo uma das bacias sido alvo de uma extensa monitorização ao longo de um ano.

A bacia de detenção escolhida para o estudo localiza-se junto ao viaduto da ligação de acesso à autoestrada A23 na cidade de Covilhã (Portugal), que atravessa a ribeira de Corges, numa zona classificada de sensível pelo Estudo de Impacto Ambiental da autoestrada. A área de drenagem contributiva para a bacia foi medida após visita local, tendo sido apurado que recebe escoamento superficial de solo agrícola e de taludes contíguos à estrada (10 097 m²) e do sistema de drenagem de águas (valetas) provenientes da estrada (4 275 m²) (Figura 1-a). Tendo em atenção os coeficientes de drenagem apresentados por Chow *et al.* (1988), 0,9 para estradas e 0,4 para solos agrícolas, as áreas efetivas de escoamento são de 3 847 m² e 4 038 m² respetivamente.

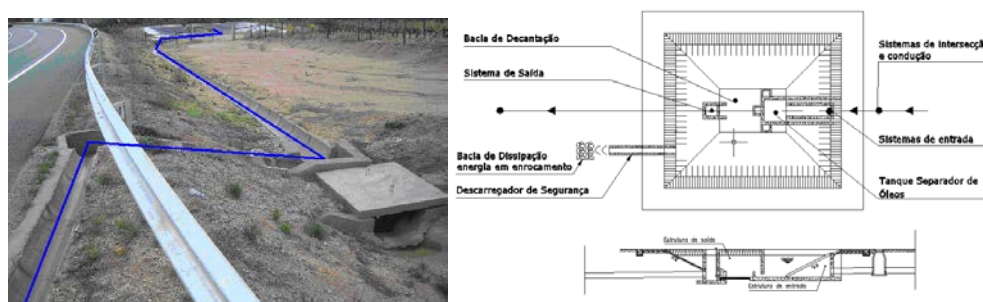


Figura 1: a) Sistema de drenagem rodoviário; b) Bacia de detenção para escoamentos rodoviários.

A bacia (Figura 1-b) tem uma altura total de 2,35 m, estando o descarregador de saída localizado a 2 m e o de emergência a 2,35m da sua altura. A área líquida máxima é de 172,6 m² e o volume útil de 232 m³, sendo as áreas correspondentes ao desengordurador e obra de saída de 4,82 m² e 2,3 m². Esta estrutura foi dimensionada para um mínimo de 3 horas de detenção, o que significa que para atender escoamentos inferiores a 21,5 L/s. De acordo com cálculos de Belizário (2014), a bacia poderá reter a totalidade do escoamento de precipitações até 29,4 mm e com duração inferior a 6h (*i.e.* retém todo o escoamento inferior a 232 m³).

Plano de monitorização

O estudo envolveu a monitorização de cerca de duas dezenas de precipitações com intensidade superior a 20 mm e duração superior a 3 horas, tendo sido consideradas apenas as 8 maiores (com precipitações entre 16 mm e 103 mm). Foram efetuadas medições de nível para determinação da vazão afluyente à bacia e coletadas amostras de AEE à entrada e saída da estrutura, para os períodos de tempo 0; 0,17; 0,33; 0,5; 0,67; 0,92; 1,17; 1,67; 2,17; 3,17; 4,17; 5,17; 6,17; e 7,17 horas após o início de cada precipitação.

Para a medição de nível, instalou-se um medidor de nível ultrassônico HydroRanger Plus com um sistema de aquisição de dados DAS 8000 sobre um descarregador do tipo Bazin, instalado numa valeta de 0,6 m de diâmetro (caixa de concreto visualizada na Figura 1-a. Foi utilizada a lei de vazão do descarregador do tipo Bazin para estimar a vazão a partir das medições de nível, tal como apresentado em Quintela (2000). As amostras de água foram utilizadas para determinação dos seguintes parâmetros de qualidade: condutividade elétrica (CE), pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), crómio (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn), de acordo com os métodos definidos em APHA-AWWA-WEF (1999). O pH, temperatura da amostra, condutividade elétrica e OD foram medidos localmente através das sondas Sentix 41, Oxycal SL e TetraCon 325 ligados a um medidor multiparamétrico Multiline P4 (todos da WTW).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os registos de vazão provocada por cada precipitação mostram que, em 4 eventos (19 de fevereiro, 24 de março, 25 de outubro e 16 de novembro), o valor médio foi de 25,8 L/s, 34,8 L/s, 33,7 L/s e 33,6 L/s, superiores ao valor médio de referencia para a retenção de poluentes na bacia, que é de 21,5 L/s. O valor máximo de vazão previsto no projeto foi ultrapassado em 6 dos eventos (16 de janeiro, 19 de fevereiro, 24 de março, 22 de abril, 4 de maio e 16 de novembro) aos 30 minutos de medição, enquanto nas precipitações de 23 de setembro e 25 de outubro foi registado aos 55 minutos e 1h 40min, respetivamente.

Verifica-se que das 8 precipitações monitorizadas, que são as de maior intensidade, em 4 houve risco de o efluente ser descarregado para a ribeira de Corges durante o evento. Os tempos médios de detenção nestes 4 eventos foram de 2,5; 1,85; 1,91 e 1,92 horas, que são TDH inferiores aos valores referidos internacionalmente (Barbosa, 1999) como adequados a uma boa remoção de metais.

Para melhor avaliar a possibilidade de descarga do efluente no meio receptor durante as precipitações, determinou-se o volume acumulado que entrou na bacia após cada precipitação. Verificou-se que o volume acumulado que entrou na bacia, para os 4 eventos referidos, excedeu a sua capacidade ao fim de 1h 40min. Tendo em atenção que as precipitações tiveram uma duração de, pelo menos, 6h 10min, 5h 10min, 7h 10min e 3h 10min em fevereiro, março, outubro e novembro, respetivamente, o risco de descarga de poluentes no meio receptor foi elevado. Sendo assim, para eventos com precipitação superior a 29,4 mm (*i.e.* intensidades de precipitação superior a 8,15 mm/h) e duração entre 3h e 7h, a bacia não apresenta capacidade de detenção para o volume escoado, podendo descarregar poluentes no meio receptor.

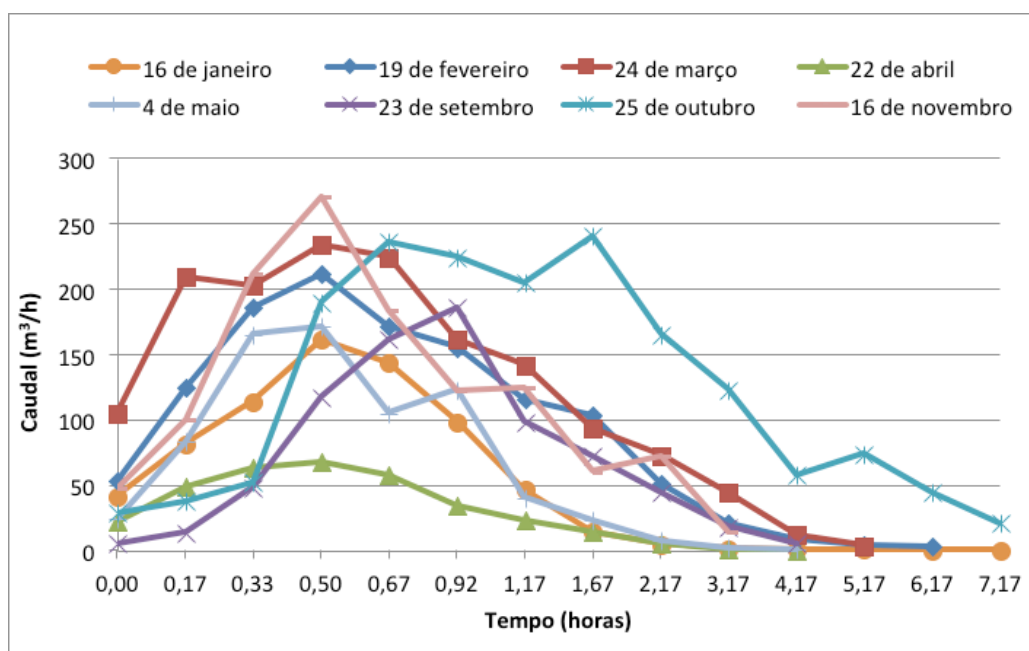


Figura 2: Variação da vazão à entrada da bacia nas 8 precipitações.

Os resultados relativos às análises das amostras de águas são apresentados na Tabela 1. Tratam-se de valores médios para iguais tempos de amostragem obtidos nas AEE originadas pelas 8 precipitações.

Tabela 1: Concentrações médias nas AEE afluentes à bacia, para tempos de amostragem idênticos e comuns às 8 precipitações

Tempo	pH	Temp. (°C)	CE (mS/cm)	DQO (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Zn (mg/L)
t = 0	7,14 ± 0,1	13,10 ± 1,08	143,38 ± 68,5	204,61 ± 140,8	0,02 ± 0,01	0,010 ± 0,01	0,49 ± 0,2
t = 10	7,13 ± 0,1	12,77 ± 1,06	142,00 ± 69,6	183,18 ± 93,1	0,02 ± 0,01	0,006 ± 0,00	0,60 ± 0,2
t = 20	7,14 ± 0,1	13,20 ± 2,0	136,13 ± 54,0	164,25 ± 77,9	0,02 ± 0,01	0,009 ± 0,01	0,50 ± 0,1
t = 30	7,16 ± 0,1	12,00 ± 1,3	131,33 ± 68,2	124,38 ± 59,2	0,02 ± 0,01	0,004 ± 0,00	0,34 ± 0,2
t = 40	7,11 ± 0,1	13,17 ± 1,9	124,17 ± 54,0	153,25 ± 58,8	0,01 ± 0,01	0,010 ± 0,01	0,34 ± 0,1
t = 55	7,09 ± 0,2	12,56 ± 1,6	108,80 ± 67,9	96,28 ± 51,6	0,01 ± 0,00	0,002 ± 0,00	0,31 ± 0,2
t = 1h10	7,13 ± 0,1	12,69 ± 1,7	104,14 ± 55,6	95,12 ± 41,0	0,01 ± 0,01	0,003 ± 0,01	0,17 ± 0,1
t = 1h40	7,28 ± 0,2	13,63 ± 1,9	92,86 ± 56,8	65,83 ± 42,6	0,01 ± 0,01	0,007 ± 0,00	0,14 ± 0,1
t = 2h10	7,29 ± 0,2	11,66 ± 1,4	93,80 ± 59,8	119,00 ± 87,2	0,02 ± 0,0	0,005 ± 0,01	0,40 ± 0,0
t = 3h10	7,16 ± 0,1	11,75 ± 1,5	91,50 ± 65,0	26,70 ± 1,6	0,01 ± 0,0	0,002 ± 0,00	0,40 ± 0,0

Nota: Temp.: temperatura amostra; CE: condutividade elétrica; Valores médios +/- intervalo de confiança (considerando um intervalo de confiança de 95% e 8 amostras)

Nas Figuras 3 a 6 mostra-se a variação de DQO, Cr, Cu e Zn ao longo do tempo nas 8 precipitações. Os valores de DQO variaram entre os 11,7 mg/L e os 639 mg/L, com valores mais elevados nas AEE das precipitações de maio, setembro e novembro. Na precipitação de maio registaram-se valores de DQO muito mais elevados que nas restantes, o que pode ter estado relacionado com a dissolução de matéria orgânica de origem vegetal ou animal oriunda do solo. Na AEE da precipitação de setembro também se observaram valores elevados, neste caso porque se realizou no final do verão, tendo tido períodos de tempo seco anteriores mais longos.

Os resultados obtidos para os metais pesados indicam que o poluente que maior concentração apresentou ao longo dos eventos monitorizados foi o Zn, apresentado valores máximos próximos do 1 mg/L, enquanto no

caso do Cu e Cr os valores máximos registados foram de aproximadamente 0,04 mg/L. Estes valores estão dentro dos intervalos registados por Barbosa (1999) e Antunes e Barbosa (2005) em algumas campanhas realizadas em estradas nacionais, onde se observaram concentrações de Zn de 2 a 6 mg/L, onde o TMD foi muito superior e as condições de drenagem, área de drenagem contributiva e regime de precipitações foram diferentes. As concentrações dos 3 metais diminuíram a partir dos primeiros 20 minutos (0,33 horas) na maioria das AEE provocadas pelas precipitações.

Os resultados da Tabela 1 mostram que os valores médios dos poluentes nas AEE afluentes à bacia, na sua maioria, apresentam concentrações mais elevadas até aos primeiros 20 minutos de entrada. No entanto, o pico de entrada de carga mássica de poluentes (designado por *primeiro fluxo* de poluentes) pode não ter passado naquele período. Assim, para melhor avaliar a quantidade, em massa, de poluentes que entrou na bacia ao longo da precipitação e no total do evento (*i.e.*, acumuladas ao longo da precipitação), calculou-se a sua carga mássica média entre cada duas amostragens sucessivas, utilizando a Eq.(1), correspondendo estes valores às massas que entraram na bacia em cada intervalo de tempo (Belizário, 2014).

$$CM_{i(n,n+1)} = \left(\frac{C_{i(n)} \times Q_n + C_{i(n+1)} \times Q_{(n+1)}}{2} \right) \times \Delta t_{(n,n+1)} \quad (1)$$

$CM_{i(n,n+1)}$ - Carga mássica do parâmetro i no intervalo de tempo $\Delta t_{(n,n+1)}$ (g)

$C_{i(n)}$ - Concentração do parâmetro i no período de amostragem n (g/m³)

Q_n - Caudal no período de amostragem (n) (m³/minutos)

$Q_{(n+1)}$ - Caudal no período de amostragem ($n+1$) (m³/minutos)

$C_{i(n+1)}$ - Concentração do parâmetro i no período de amostragem ($n+1$) (g/m³)

$\Delta t_{(n,n+1)}$ - Intervalo de tempo entre as amostragens nos períodos n e ($n+1$) (minutos)

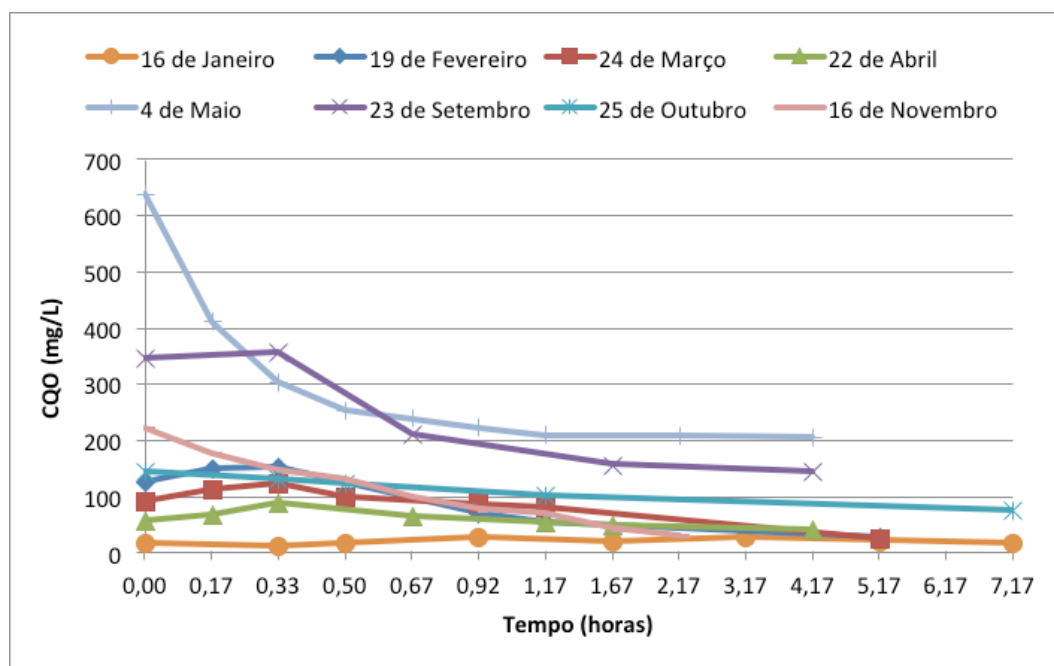


Figura 3: Variação de DQO à entrada da bacia nas 8 precipitações.

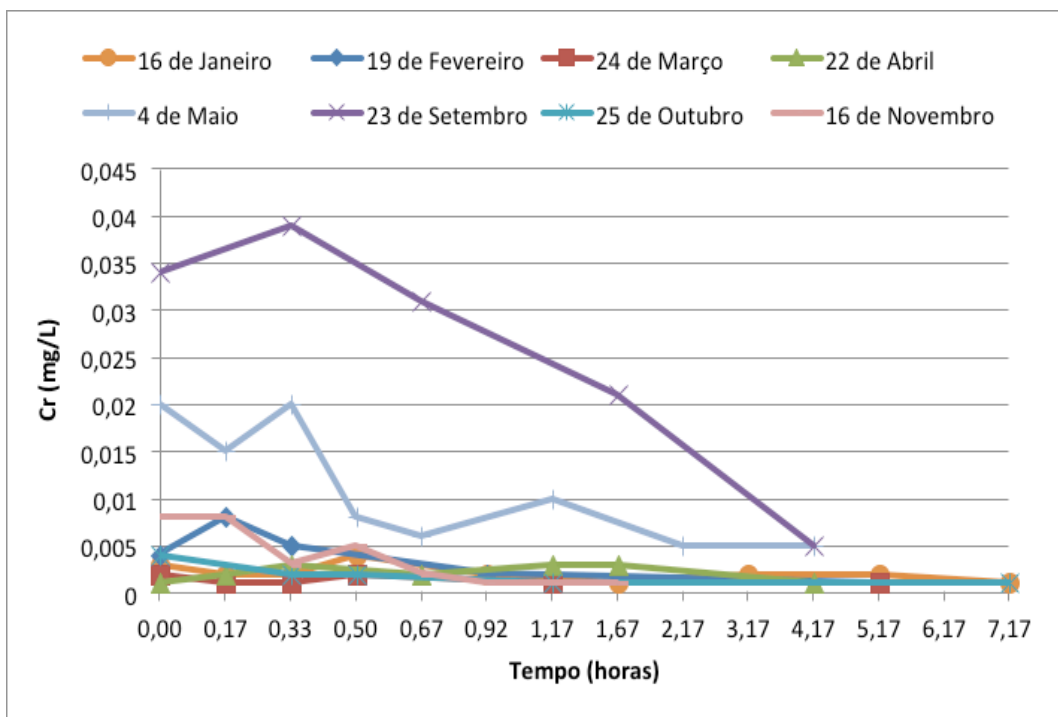


Figura 4: Variação de Cr à entrada da bacia nas 8 precipitações.

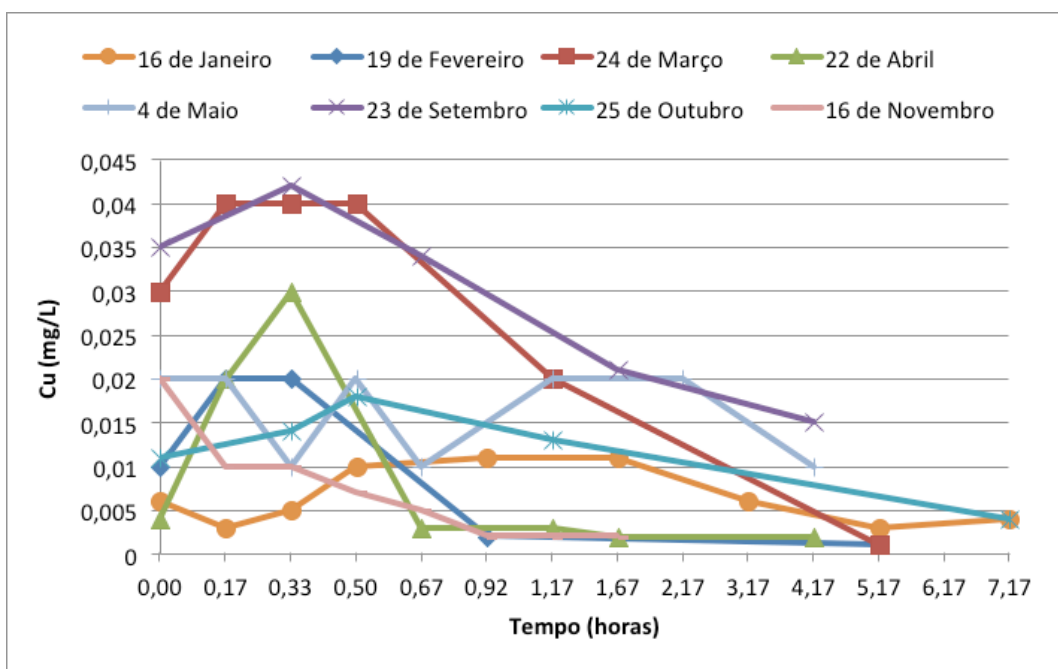


Figura 5: Variação de Cu à entrada da bacia nas 8 precipitações.

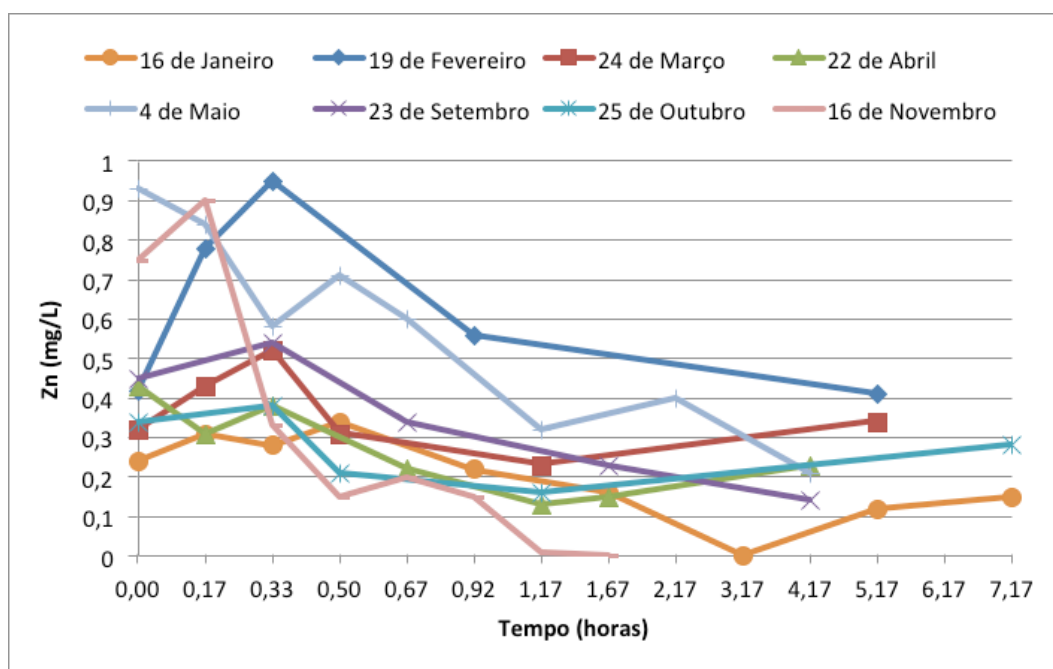


Figura 6: Variação de Zn à entrada da bacia nas 8 precipitações.

Os resultados mostram que, apesar dos valores médios das concentrações (Tabela 1) indicarem que o primeiro fluxo passou nos primeiros 10 minutos (0,17 horas) de precipitação, após a análise das cargas mássicas afluentes, verifica-se que o primeiro fluxo, na realidade, na maioria das AEE, e para a generalidade dos poluentes, passou entre os 10 e os 30 minutos (0,17 e 0,5 horas nas Figuras 7 a 10).

Observou-se uma redução significativa da quantidade de DQO afluente à bacia a partir dos 30 minutos (0,5 horas), embora em algumas precipitações se observa entrada de carga significativa até aos 45 minutos (0,67 horas). Não existe uma variação significativa nas quantidades mássicas de Cr e Cu afluentes, com exceção da precipitação de setembro, onde se registaram valores sensivelmente 6 vezes superiores aos obtidos durante os restantes eventos. O Zn apresenta uma variação mássica que se prolonga pelas precipitações, com vários picos, o que pressupõe que não é um composto maioritariamente arrastado no primeiro fluxo, continuando a ser removido do asfalto ao longo da precipitação.

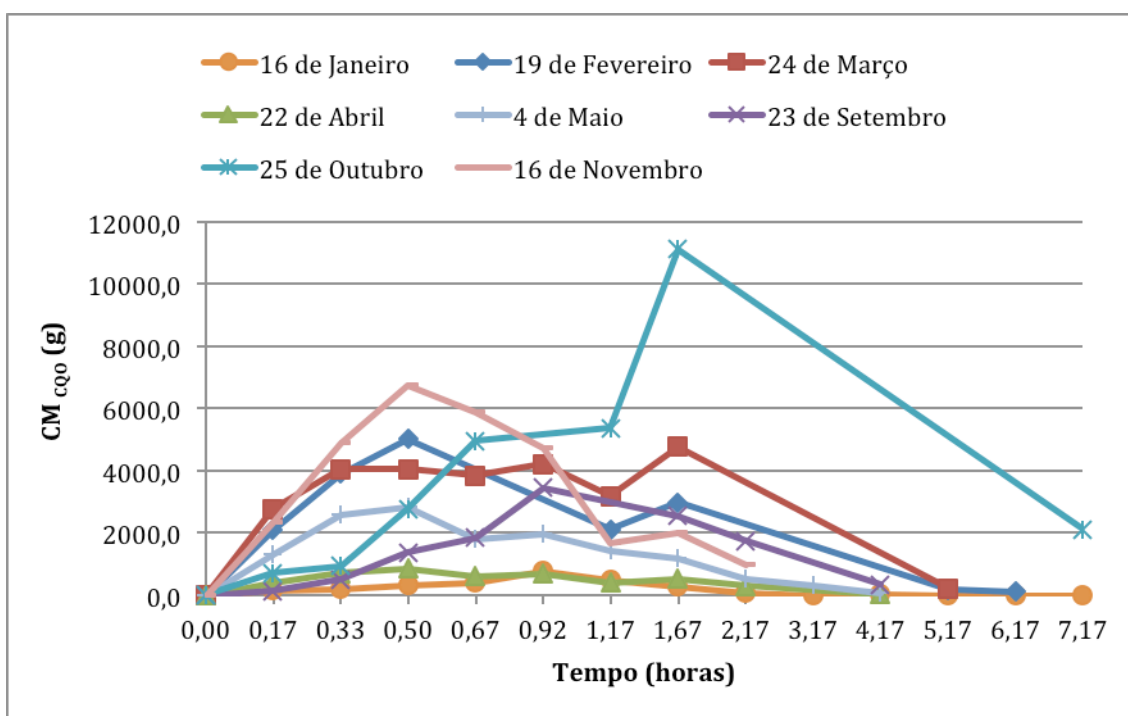


Figura 7: Variação da carga mássica de DQO ao longo do período de amostragem nas 8 precipitações.

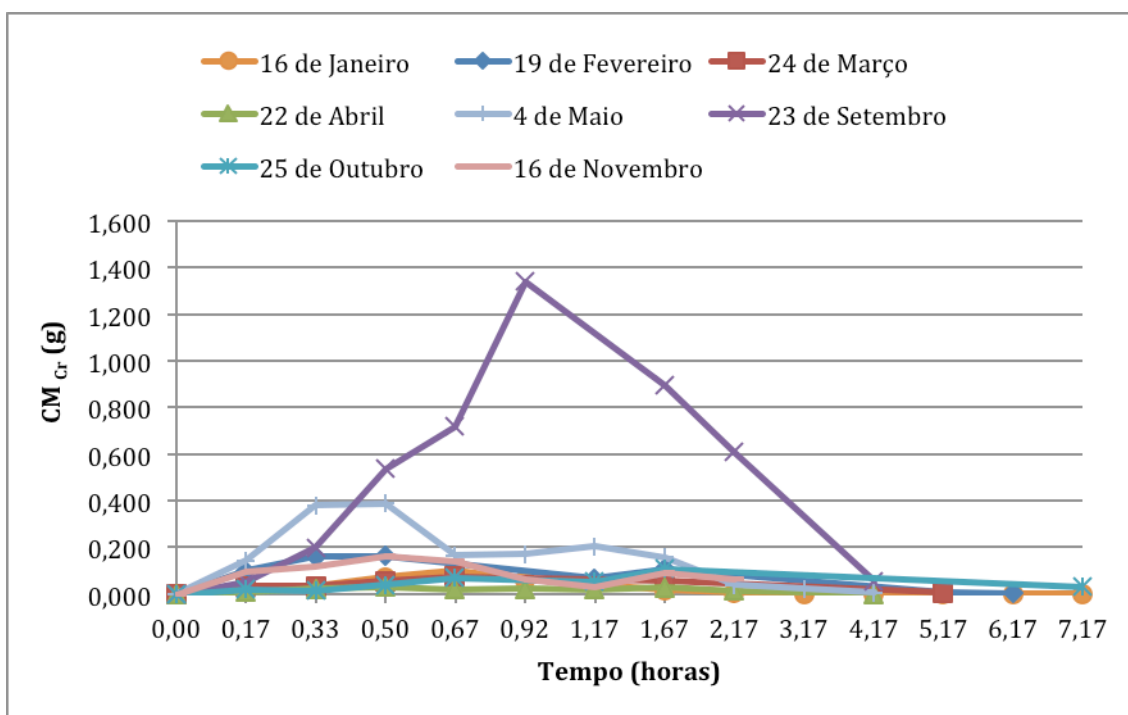


Figura 8: Variação da carga mássica de Cr ao longo do período de amostragem nas 8 precipitações.

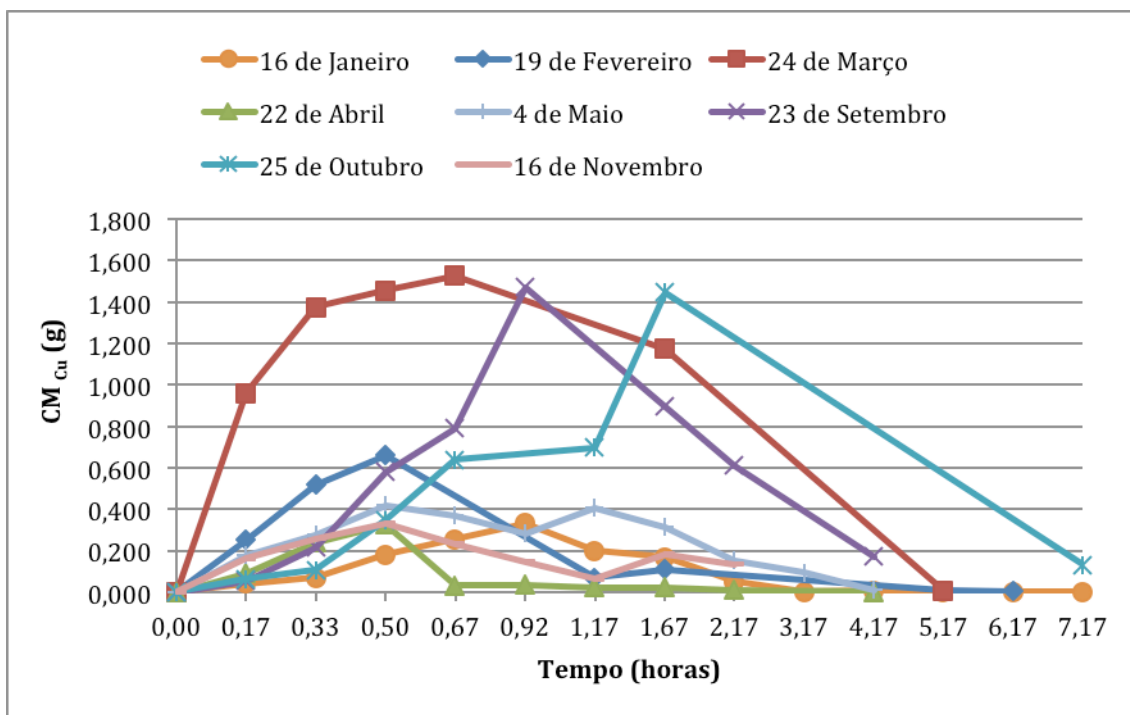


Figura 9: Variação da carga mássica de Cu ao longo do período de amostragem nas 8 precipitações.

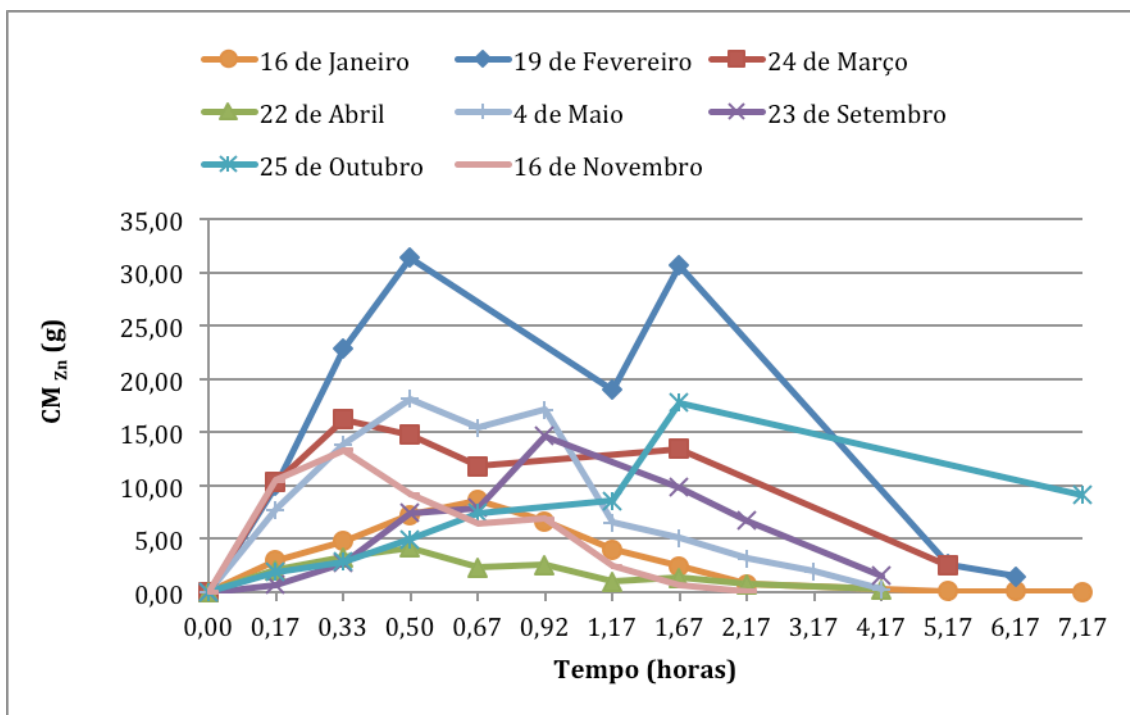


Figura 10: Variação da carga mássica de Zn ao longo do período de amostragem nas 8 precipitações.

Durante a monitorização foi prevista a coleta de amostras líquidas à saída da bacia, por forma a avaliar o rendimento da remoção de poluentes. No entanto, por questões técnicas relacionadas com o ponto de amostragem à saída (localizado na caixa de saída), só foi possível coletar algumas amostras. Verificou-se que o descarregador de saída estava fechado, não permitindo a coleta de volume na caixa de saída. Assim, apenas foi possível coletar amostras nas primeiras amostragens, apresentando-se na Tabela 2 os intervalos de valores

obtidos para todos os parâmetros nas 8 campanhas. Apresentam-se ainda os valores limites de emissão (VLE) previstos no Decreto-Lei nº 236/98 e na legislação europeia.

Tabela 2: Intervalo de resultados obtidos para o efluente da bacia nas 8 precipitações.

Parâmetro	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	setembro	outubro	novembro	VLE
pH	7,12 - 7,13	7,01 - 7,05	7,19 - 7,21	7,21 - 7,28	7,15 - 7,19	7,08 - 7,12	7,21 - 7,25	7,21 - 7,26	6 - 9
Temp. (°C)	9 - 9,12	11,2 - 11,3	12,2 - 12,6	12,2 - 13,7	11,4 - 11,6	15,4 - 15,6	10,1 - 10,4	15,6 - 15,9	+3
CE (mS/cm)	41 - 44	33 - 42	45 - 48	45 - 67	440 - 487	51 - 54	56 - 64	35 - 41	-
DQO (mg/L)	21,3 - 29,8	33,5 - 38,2	12,5 - 21,3	12,5 - 67,3	356 - 411	43 - 38	23,4 - 33,5	36 - 63	150
Cu (mg/L)	0,015 - 0,016	0,001	0,001	0,001 - 0,002	0,006 - 0,009	0,001 - 0,003	0,001 - 0,002	0,001 - 0,002	1
Cr (mg/L)	0,003 - 0,004	0,001 - 0,002	0,000 - 0,001	0,000 - 0,001	0,006 - 0,010	0,001 - 0,004	0,001 - 0,002	0	2
Zn (mg/L)	< 0,10	0,16 - 0,21	< 0,10	0,01 - 0,02	< 0,12	< 0,10	< 0,10	0,10 - 0,16	-

Nota: Temp.: temperatura da amostra; CE: condutividade elétrica; VLE: valor limite de emissão.

Os resultados mostram que, apenas para a precipitação de maio, se obtiveram valores de DQO na descarga superiores aos VLE, que não foi um dos meses onde se verificou a descarga continua de volumes para o meio receptor. Nos eventos com descarga de efluente durante a precipitação (fevereiro, março, outubro e novembro), os valores dos parâmetros foram sempre inferiores aos VLE, embora não tenha havido amostragens para os tempos finais da precipitação, onde terá ocorrido descarga continua da bacia.

Assim, a bacia mostrou boa capacidade de retenção da maioria da carga mássica, com remoção de metais e DQO acima dos 95%, tendo as concentrações de metais, à saída, sido inferiores aos VLE impostos pela legislação europeia vigente. Apenas nas AEE da precipitação de maio se observaram valores de DQO superiores ao VLE.

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram avaliar as características das AEE afluentes a uma bacia de detenção, tendo sido observado que poderá haver risco de descarga de poluentes para o meio receptor nas precipitações com intensidade superior a 29,4 mm ou duração superior a 6 horas. No entanto, a bacia mostrou boa capacidade para remover a generalidade dos poluentes monitorados para precipitações de intensidade entre 15 mm e 103 mm. Este tipo de monitorização deve ser previsto nos Planos de Monitorização Ambiental das estradas porque, além de permitir um conhecimento aprofundado da origem dos poluentes e dos fatores que afetam a sua variação, permite também avaliar a eficácia dos sistemas de tratamento e prevenir o eventual impacto de descargas nos meios receptores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTUNES P., BARBOSA A. E. Effects of Atmospheric Salt Deposition on Highway Runoff Characteristics. Relatório técnico. Hydraulics and Environment Department. LNEC e EST-IPV, Lisboa, Portugal, 2005.
2. APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20ª Edição. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation, Washington DC, EUA, 1999.
3. BARBOSA A. E. Highway Runoff Pollution and Design of Infiltration Ponds for Pollutant Retention in Semi-arid Climates. Tese de Doutoramento. Environmental Engineering Laboratory, Aalborg University, Dinamarca, 1999.
4. BELIZÁRIO P. Avaliação da Capacidade de Tratamento de Uma Bacia de Detenção do Acesso Norte à Autoestrada A23. Dissertação de Mestrado. UBI, Covilhã, Portugal, 2014.
5. CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYES, L. W. Applied Hydrology. McGraw-Hill International. Student Edition, Singapura, 498 pp., 1988.

6. Decreto-Lei no 236/98 sobre “Qualidade da Água para Diferentes Usos”, Lisboa, Portugal, 1998.
7. JONES D. Development and Evaluation of Best Management Practices (BMPS) for Highway Runoff Pollution control. Dissertação de Mestrado. Universidade de Nebraska, Lincoln, EUA, 171 p., 2012.
8. MARECOS DO MONTE M., ALBUQUERQUE A. Reutilização de Águas Residuais. Guia Técnico Nº 14. ERSAR, Lisboa, Portugal, 319 p., 2010.
9. QUINTELA, A. C. Hidráulica. Fundação Calouste Gulbenkian, 7ª edição, Lisboa, Portugal, 2000.