

O efeito da deposição salina nas escorrências rodoviárias em zonas costeiras

*Pedro Antunes^{a *}, Paulo Ramísio^b*

^a Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Campus Politécnico, 3505-504 Viseu, Portugal

^b Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

RESUMO

As escorrências rodoviárias são uma fonte de poluição difusa linear que podem originar impactos ambientais significativos no meio recetor. Níveis elevados de deposição salina em áreas costeiras podem ter um efeito relevante nas escorrências rodoviárias. Para investigar este fenómeno um estudo de monitorização intensivo, com a recolha de mais de 200 amostras em 3 anos, foi conduzido numa autoestrada portuguesa próxima do mar, no âmbito de uma tese de doutoramento. A análise de resultados baseou-se em tratamentos estatísticos, em análise exploratória de dados e na modelação do fenómeno, tendo sido incluídas variáveis associadas à meteorologia, ao troço de estrada e à deposição salina. O estudo confirma algumas especificidades das escorrências rodoviárias produzidas em áreas costeiras, como a salinidade elevada e a sua correlação com outros parâmetros. Estas características correlacionam-se com variáveis independentes associadas às condições meteorológicas, salientando-se o período seco antecedente aos eventos de precipitação e a velocidade média do vento nesse período. A modelação do fenómeno permitiu a identificação das condições associadas à maior concentração de poluentes, contribuindo deste modo para a conceção de sistemas eficazes de controlo da poluição associada a escorrências rodoviárias em zonas costeiras.

Palavras Chave – Águas de Escorrência Rodoviárias; Áreas Costeiras; Deposição Salina; Monitorização.

doi: 10.22181/aer.2016.0103

* Autor para correspondência

E-mail: baila@estgv.ipv.pt (Prof. P. Antunes)

The effect of salt deposition in road runoff in coastal zones

*Pedro Antunes^{a *}, Paulo Ramísio^b*

^aEscola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Campus Politécnico, 3505-504 Viseu, Portugal

^bDepartamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

ABSTRACT

Road runoff is a diffuse source of pollution that can cause significant impacts in the receiving environment. High levels of salt deposition in coastal areas can have a relevant effect in road runoff. To investigate this phenomenon an intensive monitoring study was carried out in a Portuguese highway near the sea, collecting more than 200 samples over 3 years, as part of a PhD thesis. The results were analyzed through statistical treatments in exploratory data analysis and modeling of the phenomenon, including variables associated with meteorological and traffic parameters and salt deposition. The study confirms the specificity of road runoff produced in coastal areas, such as high salinity and its correlation with other parameters. These characteristics are correlated with independent variables associated with weather conditions, highlighting the dry period prior to precipitation events and the average wind speed in that period. The modeling of the phenomenon allowed the identification of the conditions associated with the higher concentration of pollutants, thereby contributing to the design of effective pollution control systems associated with road runoff in coastal areas.

Keywords – Road runoff; coastal areas; salt deposition; monitoring.

doi: 10.22181/aer.2016.0103

* *Corresponding author*

E-mail: baila@estgv.ipv.pt (Prof. P. Antunes)

1 INTRODUÇÃO

As escorrências rodoviárias são uma fonte linear de poluição que podem causar impactes ambientais significativos (Luker e Montague 1994, Opher e Friedler 2010). Durante os eventos de precipitação, verifica-se um processo de lavagem da bacia de drenagem das estradas, resultando na drenagem dos poluentes acumulados na plataforma e dos materiais resultantes da degradação da infraestrutura.

Investigações em escorrências rodoviárias de duas secções de estrada, localizadas em áreas costeiras portuguesas, detetaram níveis elevados de salinidade, cloretos e matéria orgânica (Antunes e Barbosa 2005). Estas evidências foram associadas à proximidade do mar e respetivos aerossóis marinhos, já que as estradas portuguesas não costeiras não apresentam este padrão (Barbosa *et al.* 2006).

Para Lopes e Pio (1999) as brisas marítimas são provavelmente as condições meteorológicas com maior impacto na qualidade do ar em áreas costeiras portuguesas. Referem ainda que durante a ocorrência deste fenómeno de transporte, o sal marinho é arrastado para o interior do território nacional. A distância percorrida pelos aerossóis desde o mar depende da massa das partículas, características do vento, presença de obstáculos na sua trajetória, humidade relativa e precipitação (Fitzgerald 1991). Em áreas costeiras, sais marinhos transportados pela atmosfera são depositados e permanecem no pavimento da estrada entre eventos de precipitação. Apesar desta realidade, as investigações que mencionam salinidade em escorrências rodoviárias são principalmente as que se referem a locais onde sais de degelo são aplicados no inverno (Waller e Hart 1986, Merrikhpour e Jalali 2013). Esse é porém um fenómeno diferente, o Quadro 1 apresenta as principais diferenças.

Quadro 1. Diferenças da salinidade em escorrências rodoviárias

Aplicação	Origem nos Sais de degelo	Origem Marinha
	Antropogénica	Natural
Período de Ocorrência	Inverno	De acordo com a variação da geração-transporte de aerossóis marinhos
Compostos	Acetatos ou cloretos	Cloreto de Sódio e outros iões da água do mar
Impactos dos sais no ambiente recetor	O meio ambiente recetor não está sujeito a esta salinidade, podendo ocorrer assim impactos significativos	Como o pavimento, o meio ambiente envolvente do troço de estrada está sujeito à salinidade, verificando-se a adaptação do ambiente natural
Outros poluentes	Resíduos nos sais de degelo e matéria orgânica	Para além da salinidade e parâmetros relacionados, possivelmente matéria orgânica e mais efeitos nos metais pesados, pela sua maior solubilidade e mobilidade

Quais são as características particulares das escorrências rodoviárias em áreas costeiras? Fornecer uma resposta consistente a esta questão foi uma das tarefas do Projeto G-Terra “Diretrizes para a Gestão Integrada das Escorrências Rodoviárias em Portugal” (Barbosa *et al.* 2011) e, em particular, da tese de doutoramento de Antunes (2015).

2 Materiais e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A secção da autoestrada A25 monitorizada por Antunes e Barbosa (2005), a menos de 6 km do mar, foi escolhida como caso de estudo piloto. Esta secção de autoestrada atravessa a Ria de Aveiro (salinidade elevada) que comunica com o Oceano Atlântico. A reduzida elevação (5 m) e a ausência de barreiras significativas entre o local monitorizado e o oceano potencia a ação de vento e o efeito da deposição salina (Fitzgerald 1991, Morcillo *et al.* 2000). Os ventos dominantes são de sudeste (outono-inverno) e de noroeste (primavera-verão), com uma velocidade média de 9,2 m/s (TMUA 2014). O Quadro 2 apresenta as principais características da secção de estrada monitorizada.

Quadro 2. Características do trecho da autoestrada A25 monitorizado

Distância do mar	5,6 km
Área da bacia de drenagem monitorizada	287,5 m ² (totalmente impermeável)
Características da secção de estrada	Pavimento de betume asfáltico; barreiras de segurança pré-fabricadas em betão armado (80cm), tipo New-Jersey; reduzida inclinação longitudinal 2,5 % declive transversal; largura 11,5 m (uma direção com 2 faixas de rodagem)
Tráfego Médio Diário Anual	31779 veículos (2008); 32765 (2009); 33830 (2010); no verão o tráfego aumenta 40 % devido ao acesso das praias
Principais ocupações do solo	Lagoa; oceano; porto de pescado e indústria; área de esteiros e marinhas; agricultura e floresta; praias; cidade de Aveiro (60000 habitantes)

2.2 Estação de monitorização

De acordo com uma metodologia comum na monitorização de escorrências rodoviárias (Ramísio e Vieira 2011), no local de estudo foi instalada uma estação de monitorização, incluindo os seguintes equipamentos, operando em sincronização: um amostrador automático (ISCO 6700), um caudalímetro (do tipo borbulhador ISCO 730 associado a um descarregador *Thel-mar*) e um udómetro.

Uma das inovações relativamente à monitorização de escorrências rodoviárias foi a adição de um dispositivo de vela húmida. Esta metodologia, seguindo a norma ASTM G-240 (2002), foi selecionada para medir a Taxa de Deposição Salina (TDS). Um segundo dispositivo de vela húmida foi colocado na Estação Meteorológica da Universidade de Aveiro, localizada aproximadamente a 2 km a este da secção de estrada da A25. Neste local foram também registados os dados meteorológicos e atmosféricos.

De fevereiro de 2008 a abril de 2011 foram realizadas três campanhas de monitorização, compreendendo 30 eventos de precipitação e 215 amostras discretas de escorrências, recolhidas em diferentes condições climáticas, de tráfego e de TDS. Em cada evento oito amostras discretas, ou menos em eventos de precipitação de curta duração, foram recolhidas em frascos de borosilicato. O programa de monitorização, com um tempo total de 2 h, tinha intervalos de tempo iniciais de 10 minutos, que eram incrementados para 20 minutos depois da terceira amostra discreta ser recolhida. Isto permitia uma melhor caracterização da escorrência inicial para avaliar a ocorrência do fenómeno do primeiro fluxo (Gupta e Saul 1996, Furumai *et al.* 2002, Kayhanian *et al.* 2012), período onde a poluição tende a estar mais

concentrada, quando comparada com o restante escoamento do evento, particularmente para Períodos Secos Antecedentes (PSA) significativos.

2.3 Métodos analíticos

Os procedimentos de amostragem, preparação, preservação e procedimentos de análise foram conduzidos de acordo com procedimentos *standard* internacionais, observando um plano de Garantia e Controlo da Qualidade estabelecido pelo Projeto G-Terra, baseado em Caltrans (2003) e APHA *et al.* (1998).

2.4 Tratamento de dados

Para tratar a variabilidade da concentração das escoências rodoviárias no decorrer dos eventos de precipitação, foi considerada a Concentração Média por Evento (CME), representando a concentração média de um parâmetro analítico num evento, ponderada pelo volume de escoência. A Concentração Média do Lugar (CML) de um parâmetro analítico específico representa a média dos diversos CME nos eventos monitorizados.

Para cada poluente foi usada estatística descritiva para analisar as características estatísticas e distributivas da qualidade das escoências rodoviárias, incluindo a verificação da ocorrência do primeiro fluxo.

A estimativa dos parâmetros relacionados com as condições do mar foi realizada com base num modelo numérico LAM (European Shelf Model) do European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) num ponto a oeste da praia da Barra, a aproximadamente 8 km da secção de estrada monitorizada.

Dados relativos aos vários eventos de precipitação monitorizados foram recolhidos e processados, conforme sumarizado no Quadro 3.

Quadro 3. Dados recolhidos associados aos vários eventos monitorizados

Fatores associados à amostragem	Data e início da recolha de amostras e outros dados de amostragem para interpretar os resultados
Precipitação, volumes e caudais no evento	Dados armazenados no <i>data logger</i> (precipitação e caudal); intensidade de precipitação; estimativa do coeficiente de escoamento; volumes parciais entre a recolha de amostras discretas; hidrogramas
Outros dados relacionados com o evento de precipitação e o PSA	Duração do evento; PSA; duração, intensidade e volume do evento de precipitação antecedente
Concentrações e cargas poluentes	Concentração nas amostras discretas; média, mediana, percentis, máximos, mínimos, desvio padrão, carga e CME do poluente por evento; CML; polutogramas
Análise da ocorrência do primeiro fluxo	Gráficos: massa relativa acumulada vs. volume relativo acumulado de escoência

2.5 Análise estatística multivariada e modelação

Para conhecer a relação entre as principais variáveis e para suportar o entendimento dos processos associados, foi realizada uma análise exploratória dos dados entre os CME e entre estes e variáveis independentes dos seguintes grupos: condições do evento de precipitação; especificidades da secção de estrada monitorizada; transporte de massas de ar e outros processos relacionados com a TDS, incluindo a dependência destes com as características climáticas antecedentes. Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson e ainda aplicadas as técnicas estatísticas como a Análise de Clusters e Análise dos Componentes Principais.

Realizaram-se modelações estatísticas das concentrações dos principais poluentes, aplicando a Regressão Linear Multivariada (RLM) e considerando três grupos de variáveis independentes: os parâmetros associados à meteorologia, ao troço de estrada e à deposição salina. Posteriormente foram incluídos igualmente alguns poluentes como variáveis independentes, tendo-se conseguido aumentar os coeficientes de determinação dos modelos. Foram também realizados testes à modelação e sua validação interna, incluindo a aplicação da técnica de validação cruzada.

3 Resultados e Discussão

A TDS tende a diminuir exponencialmente com a distância confirmando os resultados obtidos por Hossain e Easa (2011). Na secção monitorizada a TDS foi significativa, apresentando uma média de $55 \text{ mgCl}^-/\text{m}^2$, com uma reduzida variação ao longo do ano (vd. Figura 1). A TDS apresentou 2 picos, um em janeiro/dezembro e outro em maio. Neste período iniciam-se os ventos mais favoráveis e a geração de aerossóis decorrente da ondulação ainda é significativa. De facto, com base no estudo realizado, a TDS parece apresentar uma correlação elevada com a direção e velocidade do vento, mas sobretudo com a ondulação, sendo assim inferior no verão, apesar da direção favorável no caso de estudo. A distância ao mar, a topografia, os obstáculos no solo e a altitude da plataforma da estrada também são relevantes.

Os eventos monitorizados representam um largo espectro de características da precipitação e das escorrências rodoviárias. A média de precipitação dos eventos foi de 5,2 mm. A média da intensidade de precipitação foi de 0,047 mm/min, com um máximo de 1,02 mm/min. Verificou-se um PSA médio de 95,6 h, com um mínimo de 6,7 h e um máximo de 299,3 h.

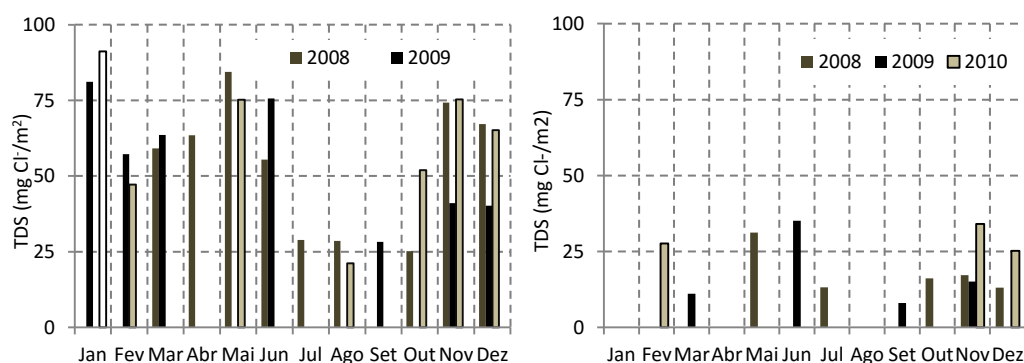


Figura 1. Variação da TDS ao longo do ano: a) estação de monitorização; b) estação meteorológica

O Quadro 4 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros de qualidade de água considerados relevantes para o presente estudo. O Quadro 5 apresenta a matriz dos coeficientes de correlação de Pearson entre os CME mais relevantes.

A análise destes dados evidencia uma correlação forte entre a salinidade e a condutividade ($r > 0,9$). Relativamente a estes dois parâmetros os cloretos tiveram uma correlação de $r \sim 0,8$. A dureza, significativa da água do mar, no presente estudo demonstrou uma correlação reduzida com a salinidade. Isto parece estar relacionado com a geologia e os solos da área envolvente. Já o pH teve valores similares à água do mar, com um coeficiente de variação muito reduzido.

Uma análise da Matriz dos Coeficientes de Pearson evidencia uma correlação da matéria orgânica e os parâmetros associados com a salinidade. Foi relevante que as concentrações mais elevadas de CQO e COT coincidem com níveis elevados de salinidade.

O Cu, com concentrações ligeiramente mais elevadas que outras investigações sobre escorrências rodoviárias, demonstrou uma correlação relativamente significativa com a matéria orgânica e mesmo a salinidade. As concentrações de Cu desviam-se de outros metais pesados, como o Zn e o Fe. Estes últimos apresentaram as concentrações comuns detetadas em escorrências rodoviárias e a sua característica correlação elevada com os SST.

Quadro 4. Estatística descritiva das CME monitorizados

	pH	Cond	Sal	Turv	TSS	Dureza	Cl ⁻	CQO	COT	CBO ₅	Fe	Zn	Cu
		(μS/cm)	(g/L)	(UNT)	(mg/L)	(mgCaCO ₃ /L)	(mg/L)	(mgO ₂ /L)	(mgC/L)	(mgO ₂ /L)	(μg/L)	(μg/L)	(μg/L)
n.º amostras	215	215	215	215	215	215	207	215	204	144	211	211	211
média (CML)	7,2	339,0	0,2	30,0	57,9	76,7	68,5	85,6	21,6	10,1	1858,0	139,7	86,9
med.	7,2	261,7	0,1	23,6	44,3	72,1	47,3	74,1	14,8	6,4	1348,8	124,1	61,2
min.	6,1	101,4	0,1	1,8	2,2	15,7	2,2	11,8	1,4	0,0	35,4	30,2	5,5
max.	8,9	953,7	0,5	74,6	207,3	170,5	285,1	304,6	97,4	33,6	7352,2	406,9	655,8
DP	0,6	219,6	0,1	20,0	48,0	37,6	70,1	58,5	20,5	11,1	1635,2	76,3	116,6
CV	8 %	65 %	66 %	67 %	83 %	49 %	102 %	68 %	88 %	110 %	88 %	55 %	132 %

Cond = condutividade; Sal = Salinidade; Turv = Turvação; CQO = Carência Química de Oxigénio; CBO₅ = Carência Bioquímica de Oxigénio aos 5 dias; max. = máximo; med. = mediana; min. = mínimo; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação

Quadro 5. Matriz dos coeficientes de Pearson e respetiva significância nos parâmetros de qualidade da água relevantes

	Cond	Sal	Turv	TSS	Dureza	Cl ⁻	CQO	COT	CBO ₅	Fe	Zn	Cu
Cond		0,979**	0,140	0,080	0,392*	0,797**	0,660**	0,834**	0,706**	0,120	0,287	0,538**
Sal			0,145	0,130	0,405*	0,805**	0,691**	0,845**	0,695**	0,144	0,304	0,542**
Turv				0,699**	0,019	0,276	0,439*	0,241	0,152	0,870**	0,672**	0,121
SST					-0,130	0,234	0,397*	0,171	0,124	0,865**	0,783**	0,268
Dureza						0,397*	0,079	-0,000	-0,290	-0,060	-0,110	-0,160
Cl ⁻							0,430*	0,503**	0,646**	0,403*	0,316	0,151
CQO								0,882**	0,565*	0,342	0,550**	0,783**
COT									0,725**	0,187	0,467*	0,837**
CBO ₅										0,232	0,480*	0,538*
Fe											0,780**	0,120
Zn												0,525**
Cu												

* p-valor < 0,05; ** p-valor < 0,001

De facto, a análise estatística de dados, sendo a Análise de Clusters mais relevante para o efeito, confirmou que os parâmetros de qualidade de água podem ser divididos em dois grupos baseados nas suas correlações com (1) condutividade (geralmente na fase dissolvida da água) ou (2) SST (associados com partículas). No primeiro grupo encontra-se a Salinidade, cloretos, CQO, COT, CBO₅, enquanto no segundo grupo apresenta-se a Turvação, Fe, Zn.

O Quadro 6 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre poluentes relevantes no estudo e variáveis independentes associadas à meteorologia e à secção da estrada.

Os coeficientes de correlação da altura de precipitação e intensidade média de precipitação são negativos, enquanto o PSA é positivo para todos os

poluentes. Isto parece indicar que o efeito de diluição induzida por precipitação intensa diminui as CME dos poluentes, incluindo a salinidade.

Como foi referido em vários estudos (e.g. Kayhanian *et al.* 2007, Opher *et al.* 2009), o PSA tem várias correlações significativas com os poluentes, sobretudo aqueles associados à matéria dissolvida e coloidal. Os veículos durante o PSA (VPSA) estão fortemente correlacionados com o PSA, e isso pode explicar o seu padrão de correlação similar.

A velocidade média do vento durante o PSA (vVPSA), parâmetro raramente considerado em estudos sobre escorrências rodoviárias, parece influenciar inversamente a salinidade, a condutividade e a matéria orgânica, demonstrando uma correlação maior do que a precipitação (P) relativamente a alguns poluentes. A duração do evento (DE) correlaciona-se inversamente com os poluentes associados à salinidade.

Quadro 6. Coeficientes de Pearson correlacionando os parâmetros de qualidade e as variáveis independentes

	Cond	Salt	Turv	SST	Dureza	Cl ⁻	CQO	COT	CBO ₅	Fe	Zn	Cu	Pb
DE	-0,411*	-0,423*	-0,106	-0,034	-0,231	-0,581**	-0,158	-0,118	-0,031	-0,093	-0,137	0,0755	-0,303
P	-0,384*	-0,343	-0,046	0,221	0,0823	-0,26	-0,308	-0,371*	-0,248	0,0998	-0,053	-0,216	-0,126
IMP	-0,207	-0,161	-0,011	0,2511	0,1824	-0,053	-0,238	-0,347	-0,229	0,1312	-0,004	-0,241	-0,026
IMaxP	-0,064	-0,001	0,0474	0,619**	-0,092	-0,092	0,1574	0,0042	-0,103	0,3126	0,3593	0,2633	-0,213
VE	-0,413*	-0,425*	-0,138	-0,071	-0,239	-0,587*	-0,181	-0,140	-0,023	-0,123	-0,163	0,0702	-0,330
PSA	0,562*	0,552*	0,252	0,0975	0,2359	0,521*	0,425*	0,426*	0,606*	0,251	0,3448	0,2427	0,248
VPSA	0,553*	0,541*	0,2481	0,0925	0,229	0,507*	0,414*	0,412*	0,597*	0,2448	0,3325	0,2394	0,2372
IPPSA	-0,130	-0,139	0,0937	-0,132	-0,145	-0,153	-0,034	-0,166	-0,075	-0,027	-0,019	-0,076	-0,168
vVPSA	-0,490*	-0,473*	-0,129	0,0896	-0,214	-0,195	-0,42	-0,355	-0,119	0,0636	-0,117	-0,316	-0,316

* p-valor < 0,05; DE = Duração do Evento; P = Precipitação; IMP = Intensidade Média de Precipitação; MAXI = Precipitação Máxima; VE = Veículos durante o evento; VPSA = Veículos durante o PSA; IPPSA = Intensidade de precipitação durante o PSA; vVPSA = Velocidade média do vento durante o PSA

A intensidade máxima de precipitação (IMaxP) apresenta uma correlação importante com os poluentes associados a partículas, especialmente SST. Outras variáveis - tais como a IMP e a IPPSA - não mostram uma grande correlação com os poluentes.

No presente estudo as concentrações mais elevadas de poluentes tendem a ocorrer quando, após um PSA longo, os primeiros momentos do evento são de intensidade elevada de precipitação, inflacionando o fenómeno do primeiro fluxo. Porém, a partir de um determinado PSA não ocorre um aumento muito mais significativo na poluição.

4 CONCLUSÕES

Baseado num caso de estudo, foram investigadas as características e os padrões específicos das escorrências rodoviárias em áreas costeiras. Ao longo de 3 anos, um programa de monitorização intensivo foi implementado numa secção de estrada próxima do mar. Foram realizadas medidas de vários parâmetros relacionados com a meteorologia, hidrologia das escorrências rodoviárias e deposição salina, aspeto inovador neste tipo de estudos.

A Taxa de Deposição Salina parece seguir um padrão ao longo do ano, num compromisso entre a agitação marítima e a velocidade e a direção do vento.

Confirmou-se uma salinidade – e parâmetros associados – muito significativa nestas escorrências rodoviárias; correlacionando-se esta com a matéria orgânica, contrariamente à dureza.

As técnicas exploratórias de dados – umas mais efetivas que outras – permitiram revelar correlações entre os poluentes principais e entre estes e variáveis independentes.

A maior concentração de poluentes parece ocorrer após um longo Período Seco Antecedente, com uma velocidade do vento reduzida e com uma intensidade de precipitação elevada ao início do evento.

Este facto, conjuntamente com os valores característicos obtidos para cada parâmetro de qualidade de água analisado, e as respetivas Concentração Média por Evento, apresentam-se como um contributo para a conceção de sistemas de controlo da poluição associada a escorrências rodoviárias em zonas costeiras.

REFERÊNCIAS

- Antunes P., Barbosa A. (2005). Highway runoff characteristics in coastal areas - A case study in Aveiro, Portugal. *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhaga, Dinamarca
- Antunes P. (2015). *O Efeito da deposição salina nas características das escorrências rodoviárias em zonas costeiras*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Braga, Portugal
- APHA, AWWA, WEF (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington D.C., EUA
- ASTM (2002). *Standard test method for determining atmospheric chloride deposition rate by wet candle method*. ASTM G140-02. American Society for Testing and Materials. ASTM International, West Conshohocken PA, EUA
- Barbosa A. E., Henriques M. J., Fernandes J. (2006). Quality of highway runoff in coastal areas: special cases? *8th Highway and Urban Environment Symposium*, Nicósia, Chipre
- Barbosa A. E., Almeida L. V., Antunes P. B., Baguinho R., Fernandes J. N., Jessica C., Ramísio P. J., Vieira J., Whitehead M., Telhado A. (2011) *Directrizes para a gestão integrada das águas de escorrência de estradas em Portugal*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal
- Caltrans (2003). *Caltrans comprehensive protocols guidance manual*. California Department of Transportation. EUA
- Fitzgerald J. W. (1991). Marine aerosols: A review. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 25(3-4) 533-545. doi: 10.1016/0960-1686(91)90050-H
- Furumai H., Balmer H., Boller M. (2002). Dynamic behavior of suspended pollutants and particle size distribution in highway runoff. *Water Science and Technology* 46(11-12) 413-418
- Gupta K., Saul A. J. (1996). Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research* 30(5), 1244-1252. doi: 10.1016/0043-1354(95)00282-0

- Hossain K. M. A., Easa S. M. (2011). Spatial distribution of marine salts in coastal region using wet candle sensors. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences* 7(3) 228-235
- Kayhanian M., Fruchtman B. D., Gulliver J. S., Montanaro C., Ranieri E., Wuertz S. (2012). Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications. *Water Research*, 46(20), 6609-6624. doi: 10.1016/j.watres.2012.07.026
- Kayhanian M., Suverkropp C., Ruby A., Tsay K. (2007). Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *Journal of Environmental Management* 85(2) 279-295. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.09.024
- Lopes D. A., Pio C. A. (1999). Mecanismo de interacção entre o HNO₃ e os aerossóis marinhos, durante os períodos de brisa. *6.ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, Lisboa, Portugal
- Luker M., Montague K. (1994). *Control of pollution from highway drainage discharges*. CIRIA Report. London: Construction Industry Research & Information Association
- Merrikhpour H., Jalali M. (2013). The effects of road salt application on the accumulation and speciation of cations and anions in an urban environment. *Water and Environment Journal* 27(4) 524-534. doi: 10.1111/j.1747-6593.2012.00371.x
- Morcillo M., Chico B., Mariaca L., Otero E. (2000). Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site. *Corrosion Science* 42(1) 91-104. doi: 10.1016/S0010-938X(99)00048-7
- Opher T., Ostfeld A., Friedler E. (2009). Modeling highway runoff pollutant levels using a data driven model. *Water Science and Technology* 60(1) 19-28. doi: 10.2166/wst.2009.289
- Opher T., Friedler E. (2010). Factors affecting highway runoff quality. *Urban Water Journal* 7(3) 155-172. doi: 10.1080/15730621003782339
- Ramísio P. J., Vieira J. M. P. (2011). Characterization of road runoff: A case study on the A3 Portuguese Highway. In *Urban Environment - Proceedings of the 10th Urban Environment Symposium*. S. Rauch & G. M. Morrison & (Eds.). Dordrecht, Springer, 285-295
- TMUA (2014). *O Clima de Aveiro*. Torre Meteorológica da Universidade de Aveiro. <http://torre.fis.ua.pt/Aveiroclimate.asp>, acedido a 7 de maio de 2014
- Waller D. H., Hart W. C. (1986). Solids, nutrients, and chlorides in urban runoff. In *Urban Runoff Pollution*. H.C. Torno, J. Marsalek & M. Desbordes (Eds.). Berlin, Springer, 59-85