



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS DA CIDADE DE FARO

Nuno Miguel Pires Veloso

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Prof.^a Doutora Manuela Moreira da Silva
Eng.º Paulo Cruz

2015

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS DA CIDADE DE FARO

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.



Copyright © Nuno Miguel Pires Veloso. A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	8
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
OBJETIVOS.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 A Gestão Sustentável da Água nas Cidades.....	15
1.2 Impacte das Alterações Climáticas.....	19
1.3 Caracterização de Águas Pluviais Urbanas.....	23
1.4 Toxicidade dos Poluentes Associados às Águas Pluviais Urbanas.....	27
1.4.1 Metais Pesados.....	27
1.4.2 Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos.....	33
1.4.3 Parâmetros Indicadores de Poluição.....	34
1.5 Enquadramento Legal.....	36
1.6 Caso de Estudo – Cidade de Faro.....	37
1.6.1 Sócio – Economia.....	37
1.6.2 Clima.....	37
1.6.3 Gestão das Águas Pluviais.....	38
1.6.4 Ria Formosa.....	40
1.7 Objetivos.....	42
2. METODOLOGIA.....	43
2.1 Previsão Meteorológica e Programação da Amostragem.....	43
2.2 Seleção dos Locais de Amostragem.....	44
2.2.1 Acessibilidade.....	46
2.2.2 Representatividade.....	46
2.2.3 Segurança.....	46
2.3 Planificação Temporal da Amostragem.....	47
2.4 Parâmetros Monitorizados.....	49
2.5 Tratamento de Dados.....	51
3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	55
3.1 Campanha em Época Seca.....	55
3.2 Campanhas em Época Húmida.....	57

3.2.1 Sub-bacia 6 em 26 de novembro de 2014	57
3.2.2 Sub-bacia 7 em 15 de janeiro e 17 de março de 2015.....	63
4. Considerações Finais e Perspetivas Futuras.....	83
5. CONCLUSÕES.....	85
BIBLIOGRAFIA	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Infoográfico das consequências das alterações climáticas a nível europeu.....	20
Figura 1.2 Potencial de impacte económico das alterações climáticas na Europa.....	21
Figura 1.3 Origens de poluentes e seu trajeto no ciclo urbano da água.	25
Figura 1.4 Rede de escoamento de águas pluviais da cidade de Faro	39
Figura 1.5 Sub-bacias do perímetro urbano (de 1 a 7)	39
Figura 2.1 Esquema para programação de amostragem com base na previsão meteorológica	43
Figura 2.2 Fotografias de diversos pontos de descarga / amostragem.....	45
Figura 2.3 Fotografias de momentos de amostragem nas SB 6 e SB 7.....	49
Figura 3.1 Evolução temporal da precipitação no evento de 26 de novembro de 2014.	57
Figura 3.2 Variação temporal dos SST, CQO e CBO ₅ no evento de 26 de novembro de 2014.....	59
Figura 3.3 Variação temporal de NT e PT no evento de 26 de novembro de 2014.	60
Figura 3.4 Variação temporal da Condutividade no evento de 26 de novembro de 2014.....	61
Figura 3.5 Variação temporal do Cd, Ni e Pb no evento de 26 de novembro de 2014.	61
Figura 3.6 Evolução temporal da precipitação nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.	63
Figura 3.7 Evolução temporal de SST, CQO e CBO ₅ nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.	69
Figura 3.8 Evolução temporal de NT, PT e E.coli nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.	71
Figura 3.9 Evolução temporal de Condutividade nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.	73
Figura 3.10 Evolução temporal de Cd, Ni, Pb e Zn nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 Riscos para a água e outros sectores da sociedade com origem nas alterações climáticas.	22
Tabela 2.1 Localização relativa e em coordenadas GPS decimais dos pontos de descarga das sub bacias de Faro.....	45
Tabela 2.2 Métodos analíticos.....	50
Tabela 3.1 Resultados obtidos em época seca a 18 de setembro de 2014. .	56
Tabela 3.2 Cargas médias de evento, Cargas mássicas e Cargas por unidade de área no evento de 26 de novembro de 2014.	62
Tabela 3.3 Resultados obtidos em época húmida em 15 de janeiro e 17 de março de 2015	65
Tabela 3.4 Coeficiente de correlação tau de Kendall obtido para os diversos parâmetros (exceto HT) no evento de 15 de janeiro de 2015.....	77
Tabela 3.5 Coeficiente de correlação tau de Kendall obtido para os diversos parâmetros (exceto HT) no evento de 17 de março de 2015.....	78
Tabela 3.6 Cargas médias de evento, Cargas mássicas e Cargas por unidade de área nos eventos de 15 de janeiro e de 17 de março de 2015.....	79

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 2-1 CME - Concentração Médiado Evento	51
Equação 2-2 Massa descarregada	51
Equação 2-3 Volume escoado.....	52
Equação 2-4 Coeficiente de escoamento	52
Equação 2-5 Carga mássica.....	53
Equação 2-6 Carga mássica da bacia total.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS

SIGLA	DESCRIÇÃO
CBO₅	Carência Bioquímica de Oxigênio durante 5 dias a 20 °C
Cd	Cádmio
CME	Concentração Médio do Evento
CQO	Carência Química de Oxigênio
DQA	Diretiva Quadro da Água
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ETA	Estação de Tratamento de Águas
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
HAPs	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HT	Hidrocarbonetos Totais
LQ	Limite de Quantificação
Ni	Níquel
NQA	Normas de qualidade ambiental
NT	Azoto Total
OIMF	Organismos Indicadores de Matéria Fecal
Pb	Chumbo
PT	Fósforo Total
RU	Reino Unido
SB	Sub-bacia
SST	Sólidos Suspensos Totais
VLE	Valor Limite de Emissão
Zn	Zinco

RESUMO

Numa cidade mediterrânica como a cidade de Faro, a gestão integrada dos recursos hídricos assume particular importância. A cidade está sujeita a inundações urbanas provocadas por fenómenos de forte precipitação, ocorrências que se prevê que aumentem em frequência e intensidade, nomeadamente num cenário de alterações climáticas. Nestas situações, mais do que nos cenários de precipitação normal, a poluição difusa daí decorrente pode constituir uma importante ameaça para os ecossistemas naturais envolventes das cidades, neste caso o Parque Natural da Ria Formosa.

A Diretiva 2000/60/CE vigente no espaço europeu para a gestão da água, realça a importância da tomada de ações potenciadoras da proteção dos ecossistemas e da melhoria do seu estado de conservação. Num ambiente urbano a poluição associada às águas pluviais será, neste sentido, da maior relevância. Neste trabalho pretendeu-se monitorizar as águas pluviais durante o ciclo hidrológico de 2014/2015 na cidade de Faro. Os dados de precipitação foram recolhidos numa estação meteorológica situada na cidade. A metodologia utilizada baseou-se na recolha de amostras de águas pluviais em várias fases do ciclo hidrológico, em locais de descarga representativos das principais bacias de escoamento da cidade, e após eventos de precipitação suficientemente intensos para que exista arrastamento de poluentes. A monitorização da qualidade das águas pluviais foi efetuada através da quantificação de SST, CQO, CBO₅, NT, PT, pH, Condutividade, Ni, Cd, Pb, Zn, Hidrocarbonetos Totais e *E. Coli*.

A informação recolhida foi sujeita a análise e tratamento estatístico, permitindo obter conclusões que se consideram importantes.

Palavras-chave: Águas Pluviais Urbanas, Poluição Urbana, Poluição da Água, Alterações Climáticas, Metais Pesados, CME.

ABSTRACT

In a Mediterranean city as Faro, the integrated management of water resources is of special importance. The city is vulnerable to urban flooding caused by extreme precipitation, which is predicted to increase in frequency and intensity, namely in a climate change scenario. In these situations, more than in normal rainfall scenarios, the resulting diffuse pollution can be a major threat to the natural ecosystems around the city, in this case the Ria Formosa Natural Park.

Directive 2000/60/EC, valid in the European space for water management, focus the importance of actions that enhance the protection of ecosystems and the improvement of their conservation state. In an urban environment, diffuse pollution associated with storm water is of the utmost importance. In this project we monitored storm water during the 2014/2015 hydrological cycle in the city of Faro. The rainfall data was obtained from a weather station located in the city. The methodology was based on collecting rainwater samples at various stages of the water cycle in representative discharge sites of the main drainage basins of the city, after sufficiently intense precipitation events for the existence of pollutants wash off. Monitoring the quality of rainwater was performed by quantifying TSS, COD, BOD₅, TN, TP, pH, Conductivity, Ni, Cd, Pb, Zn, TH and *E. coli*.

The obtained data was subject to analysis and statistical treatment, which lead to conclusions considered important.

Keywords: Urban Storm Water, Urban Pollution, Water Pollution, Climate Change, Heavy Metals, EMC.

OBJETIVOS

Pretendeu-se com este trabalho desenvolver uma primeira abordagem sobre a caracterização das águas pluviais da cidade de Faro, de forma a recolher informação que possa ser integrada na gestão sustentável da água na cidade. Para isso foi definido um plano de monitorização das águas pluviais, tendo em conta as características das 7 sub-bacias de drenagem da cidade, a pluviosidade e a quantificação de vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos indicadores de poluição urbana. Considera-se este estudo como preliminar, motivador de esforços futuros na recolha de mais informação sobre a caracterização detalhada de eventos pluviométricos e das possíveis consequências das descargas de pluviais, em termos ambientais e de saúde pública.

1. INTRODUÇÃO

1.1 A Gestão Sustentável da Água nas Cidades

A água é essencial à vida na Terra e assume um papel relevante em diversos aspetos fundamentais para as sociedades. Qualquer sociedade depende da disponibilidade de água, energia e alimento, intimamente relacionados entre si e com os ecossistemas que suportam essa sociedade [1]. Atualmente estima-se que em todo o planeta, 768 milhões de pessoas vivam sem acesso a água potável e aproximadamente 2 bilhões sem sistemas de saneamento [2]. Cerca de um bilhão de pessoas não dispõem de alimento em quantidade suficiente [3] e 1,4 bilhões não têm acesso a eletricidade [4].

Esta é a primeira década na história da humanidade em que mais de 50% da população mundial se encontra a viver em zonas urbanas [1]. Os consumos crescentes, a intensificação do uso dos recursos naturais (onde a água se inclui), e a produção de resíduos, são desafios a enfrentar, atendendo a que a grande concentração de pessoas e de infraestruturas transforma as cidades. Esta transformação pode ter maior impacte em zonas particularmente vulneráveis às alterações climáticas [1].

Na presente realidade em que a sustentabilidade é vista como o motor para o futuro do desenvolvimento humano, a água tem-se tornado num tema central, particularmente a nível urbano, em que o foco no *green design* se tem transformado em *blue green design* (em alusão à inclusão da água no conceito) [5]. Esta mudança de perceção advém da crescente urgência na criação de mecanismos que solucionem os problemas que a crise global da água apresenta. Esta crise tem diversas dimensões, sendo que uma é a falta de acesso à água segura. O conceito de água segura baseia-se na disponibilidade de acesso, e com segurança, à água por parte das populações, seja para consumo,

uso doméstico, produção agrícola ou para fins recreativos [6], [7], [8]. Estima-se que, a nível global, cerca de 1,8 biliões de pessoas vivam com acesso a água para consumo contaminada [8], e que na Europa, 120 milhões de pessoas não tenham acesso a água potável, com um número superior a não ter acesso a saneamento básico, provocando a contaminação dos recursos hídricos e a disseminação de doenças associadas ao consumo ou ao contacto com água contaminada [9]. Sempre que o armazenamento e o tratamento de água são inadequados, a saúde humana pode estar em risco. Prevê-se que nas próximas décadas a escassez de água, resultante da diminuição da quantidade de água disponível ou da sua disponibilidade com qualidade desadequada, constituirá um grave problema para 80% da população mundial [10]. A falta de segurança da água está assim a aumentar, potenciada pelo contexto de sobre-exploração em países industrializados [8], [11]. As soluções para a crise global da água não serão obrigatoriamente implementadas a nível global, mas sim a nível de bacia hidrográfica ou a nível local [12]. O crescimento da população mundial de 7 biliões, em 2012, para 9,5 biliões, em 2050 [13] e a crescente urbanização (população urbana mundial de 34% em 1960 para 54% em 2014 e com a previsão de 66% em 2050), [14], [15] resultará em maiores cidades, sendo estas um dos principais focos de poluição da água e de insegurança da mesma. Estes fatores fazem com que exista uma concentração de esforços na criação de soluções em relação à área urbana por parte dos intervenientes interessados em resolver a crise global da água. Segundo [12] as cidades são ambas o problema e a solução para os desafios da sustentabilidade num mundo cada vez mais urbanizado. O conceito atual mais inovador é, neste sentido, o *water nexus*. O *water nexus* é um consórcio que pressupõe uma interdependência e interligação dos conceitos de água, energia, alimentação e território [16], [17]. Este conceito está a evoluir de um sistema de trocas em que o somatório da troca de recursos (energia por melhor qualidade da água, por exemplo) é zero, para um conceito de

sinergia, em que sistemas que melhorem simultaneamente a água e a energia (neste exemplo) são utilizados [18], [19]. Este será um dos caminhos para solucionar a crise global da água.

Neste sentido, urge garantir uma gestão sustentável da água nas cidades, integrando todas as fases do seu ciclo urbano [5], [20], [21]. Este ciclo é tradicionalmente decomposto em seis componentes principais [22]:

- **Origem:** as fontes de água doce encontram-se maioritariamente em aquíferos ou em águas superficiais como lagos, rios ou barragens. Podem ainda encontrar-se no estado sólido, na forma de gelo. A sua exploração por parte da sociedade depende de fatores como a disponibilidade, a qualidade, a quantidade e a legislação.
- **Tratamento de água para consumo:** após a sua captação na origem, a água deverá ser tratada, sempre que necessário, por processos físico-químicos para que possa ser utilizada com segurança. Nos países mais desenvolvidos este processo é maioritariamente feito em Estações de Tratamento de Água (ETA), existindo porém outras alternativas dependentes da localização geográfica e recursos disponíveis.
- **Distribuição da água:** após tratamento, é importante que a água chegue às populações em segurança e ininterruptamente. Para isso é necessário um sistema de distribuição, que apresenta regularmente, entre várias soluções disponíveis, um sistema de distribuição em baixa pressão, reservatórios e um sistema de distribuição em alta pressão que encaminha até à torneira do consumidor final.
- **Uso:** a água tratada é utilizada por toda a sociedade com diversas funções, desde o consumo humano, à limpeza e utilização industrial para produção de bens. Este é um dos pontos em que é necessária uma atuação integrada,

nomeadamente na reutilização de águas não tratadas, ou tratadas mas que não apresentam qualidade suficiente para serem consumidas pelo ser humano.

- **Recolha da água residual:** após a utilização por parte da sociedade, a água poderá conter várias substâncias que impossibilitem a sua reutilização ou descarga direta no ecossistema. Por esta razão deverá ser recolhida. Existem vários tipos de sistemas, dependendo do nível de desenvolvimento do país e questões culturais associadas. Estes sistemas podem ser unitários, separativos, mistos, descobertos ou confinados, entre outros.
- **Tratamento da água residual:** após a sua recolha, a água residual deverá ser precedida de um tratamento antes de ser descarregada no ecossistema. Nos países mais desenvolvidos, este tratamento dá-se em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), nas quais após vários processos físico-químicos e biológicos, a água pode ser descarregada no meio recetor.

Com a crescente pressão urbanística, e consequente impermeabilização dos solos, verificou-se a necessidade de alargar o espectro de estudo do ciclo urbano da água à sua componente pluvial. Devido a essa impermeabilização, quando um fenómeno de precipitação é suficientemente intenso, este faz com que exista uma lavagem de substâncias que se encontram depositadas nos pavimentos, e que podem apresentar impactes no meio recetor, como as águas superficiais [23]. Pode também existir um arrastamento de substâncias que se encontram em suspensão no ar, para os pavimentos, e que entrarão, consequentemente no ciclo urbano da água [24]. A crise global da água e a necessidade de otimização de recursos e sustentabilidade das zonas urbanas, veio apresentar a reutilização como uma das soluções a considerar. A reutilização é central para uma gestão sustentável da água porque permite que a água permaneça no

sistema e seja preservada para usos futuros, enquanto suprime as necessidades atuais [13]. Denota-se neste sentido a multidisciplinaridade do tema em questão, em que o estudo e caracterização das águas pluviais urbanas se apresenta assim como de extrema importância, seja para a descarga no ecossistema, seja para a sua reutilização.

1.2 Impacte das Alterações Climáticas

Apesar de existirem numerosas opiniões sobre as alterações climáticas, muitas delas contraditórias entre si, é indiscutível que se tem verificado um aumento da temperatura à superfície da Terra, principalmente associado às emissões de gases com efeito de estufa, que pode corresponder a mais 4° C em 2100 [25].

Estes estudos assumem uma importância ainda maior quando somos confrontados com a crescente frequência de eventos extremos potenciados pelas alterações climáticas. Estas estão a exercer pressões crescentes sobre os recursos hídricos disponíveis, levando a uma cada vez maior competição entre os diversos usos. Estas pressões atingem uma particular relevância em zonas geográficas sujeitas a fenómenos de inundações e de secas, agravando-as ao longo do tempo [26]. A região do Mediterrâneo em geral, e do Algarve em concreto, estão particularmente expostas a estes agravamentos, tendo sido frequentemente expostas nos últimos anos, a situações de seca, de ondas de calor e de inundações [27]. Segundo [28] e [29], no sul da Europa, os dados indicam um agravamento da frequência de episódios de altas temperaturas e de secas (Figura 1.1).



Figura 1.1 Infográfico das consequências das alterações climáticas a nível europeu. Adaptado de [29]

Nesta região já vulnerável pelo clima quente e seco, assiste-se a uma disponibilidade de água cada vez menor, que acarreta consequências variadas como a diminuição do potencial hidroelétrico, o impacto negativo no turismo de Verão, e a perda de produtividade das culturas agrícolas. As alterações climáticas agudizarão também os riscos para a saúde pública por efeito das ondas de calor e da frequência de incêndios não controlados [28]. O aumento dos eventos de seca e consequente escassez de água têm um impacto direto nos cidadãos e nos sectores económicos, com consequências efetivas para diversas zonas da Europa (Figura 1.2) [29].

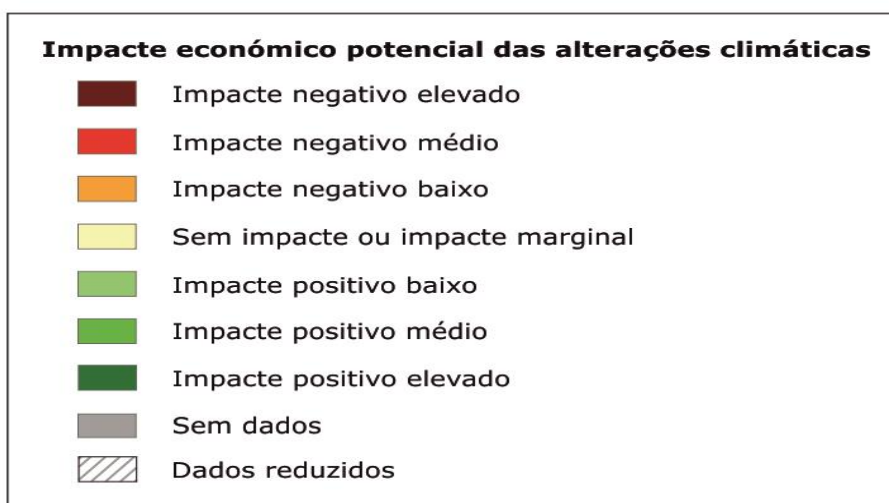
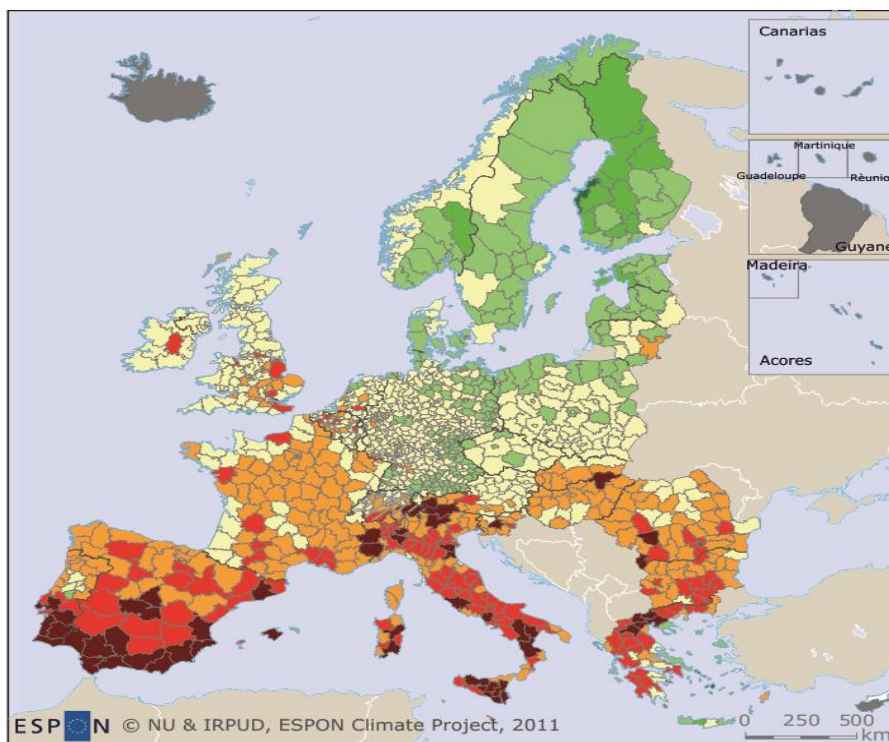


Figura 1.2 Potencial de impacte económico das alterações climáticas na Europa. Adaptado de [29]

A diversidade de fenómenos potenciados pelas alterações climáticas afetam de diferentes maneiras os vários setores da sociedade, tal como se apresenta na Tabela 1.1. Entre 1976 e 2006 na UE, a área e o número de pessoas afetadas por estes eventos extremos, duplicaram [26].

Tabela 1.1 Riscos para a água e outros sectores da sociedade com origem nas alterações climáticas. Adaptado de [30], com base em [31]

FENÓMENO	IMPACTES POR SECTOR			
	Recursos Hídricos	Agricultura Ecosistemas	Saúde Pública	Indústria Sociedade
Eventos de precipitação intensa	<ul style="list-style-type: none"> - Inundações - Efeitos adversos na qualidade de águas superficiais e subterrâneas devido a transbordo de águas residuais - Contaminação da distribuição de água - A escassez de água pode ser minorada 	<ul style="list-style-type: none"> - Danos nas colheitas - Erosão dos solos - Impossibilidade de cultivo em solos saturados 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do risco de, morte, infeções em geral, patologias respiratórias e dermatológicas - Risco de alterações psicológicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruição de aglomerados habitacionais, de espaços comerciais, vias de comunicação, aumento da migração populacional - Pressões nas estruturas urbanas e rurais - Perda de propriedade
Maior variabilidade de precipitação, incluindo aumento de secas	<ul style="list-style-type: none"> - Alterações nas escurências da água - Aumento da área de stress hídrico - Aumento da concentração de poluentes na água, nomeadamente de, nutrientes, carbono orgânico dissolvido, agentes patogénicos, pesticidas e sal, assim como poluição térmica - Salinização dos aquíferos costeiros 	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação do solo - Danos nas culturas - Aumento da mortalidade na pecuária - Aumento do risco de incêndios 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do risco de inundações e escassez de água - Aumento do risco de subnutrição - Aumento do risco de patologias vinculadas pela água e/ou alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Escassez de água para os usos urbanos, industriais e outros - Redução do potencial de geração hidroelétrica - Aumento da migração populacional

Tabela 1.1 (continuação) Riscos para a água e outros sectores da sociedade com origem nas alterações climáticas. Adaptado de [30], com base em [31]

FENÓMENO	IMPACTES POR SECTOR			
	Recursos Hídricos	Agricultura Ecosistemas	Saúde Pública	Indústria Sociedade
Aumento de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da temperatura da água - Aumento da evapotranspiração - Antecipação da fusão da neve - Fusão do permafrost - Estratificação prolongada dos lagos, com diminuição na camada superficial da concentração de nutrientes e depleção prolongada do oxigénio nas camadas mais profundas - Aumento do crescimento da massa algal, reduzindo os níveis de oxigénio nas massas de água, levando à eutrofização e daí à mortalidade da comunidade biótica nomeadamente da piscícola - Alteração dos padrões de mistura e de autodepuração 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor quantidade de água disponível para agricultura, maior necessidade de rega - Alteração da produtividade das culturas - Alteração nas épocas de maturação - Alteração na composição das comunidades, em termos de espécies e de abundância de organismos 	<ul style="list-style-type: none"> - Alterações epidemiológicas de doenças transmitidas por vetores associados à água - Aumento da morbidade e da mortalidade devido a ondas de calor, e diminuição da produtividade - Aumento do risco de patologias respiratórias e dermatológicas devido ao ozono e pólen 	<ul style="list-style-type: none"> - Risco para estruturas construídas sobre o permafrost - Detioração da qualidade da água

1.3 Caracterização de Águas Pluviais Urbanas

Os primeiros estudos sobre a qualidade das águas pluviais estiveram associados à presença de pesticidas oriundos da lixiviação de terrenos agrícolas. Os Estados Unidos da América foram pioneiros em estudos de caracterização de águas pluviais urbanas, iniciadas com o *Clean Water Act* [32]. No melhor conhecimento do autor, em Portugal não existe um programa sistematizado de monitorização de águas pluviais implementado.

No contexto urbano, a maior parte dos poluentes nas águas pluviais são de origem antrópica, associados às diversas atividades humanas, que libertam substâncias (em diversos estados físicos) passíveis de causar danos ambientais. Os diversos poluentes presentes no ar, adsorvidos a partículas finas e poeiras, depositam-se nas superfícies impermeáveis das cidades, principalmente nas rodovias e nos telhados. Por outro lado as vias rodoviárias constituem a principal fonte de poluentes para os sistemas de recolha de águas pluviais das cidades, devido à passagem de veículos automóveis [33]. Desta forma funcionam como uma fonte permanente de poluição, graças aos processos de combustão, e ao desgaste dos materiais dos veículos que nelas circulam. Por outro lado funcionam também como fontes de poluição sazonal/pontual devido às atividades de manutenção e reabilitação de que são periodicamente alvo, bem como de acidentes com derrame de substâncias indesejáveis [34]. A constituição das águas de escorrência das estradas, é influenciada por diversos fatores como o tipo de piso das vias, os produtos da combustão dos hidrocarbonetos, dos aditivos e dos catalisadores, fugas de líquidos de lubrificação, desgaste de pneus, produtos que resultam da fricção e corrosão da carroçaria e ainda outros materiais que constituem os veículos, como os plásticos, metais, borrachas, etc.[34], [35]. Em algumas cidades, as lavagens de viaturas na via pública, apesar de menos frequentes, ainda são práticas existentes e constituem fonte de poluentes nas águas pluviais, nomeadamente de compostos orgânicos (como os hidrocarbonetos), nutrientes e metais pesados. Para além disso as superfícies impermeabilizadas nas cidades acumulam outro tipo de poluentes, como os organismos indicadores de matéria fecal (OIMF). Estes devido à presença de animais (aves, e mamíferos como cães, gatos, ratos, etc.) e de matéria vegetal depositada. Os jardins, parques e outros espaços verdes urbanos, são alvo de aplicações de pesticidas e fertilizantes utilizados para eliminar pragas e doenças, e otimizar o crescimento da vegetação. Também é prática corrente a

utilização de herbicidas para limpeza das bermas das estradas. Todas estas aplicações de fertilizantes e fitofármacos acabam por funcionar como fontes de nutrientes e de compostos orgânicos. Os estaleiros de construção são considerados, nas zonas urbanas, a fonte principal de sedimentos e sólidos suspensos, aos quais se irão adsorver outros poluentes.

Os sistemas de escoamento das águas pluviais libertam assim, por via direta, sedimentos contaminados, poluentes orgânicos, nutrientes, OIMF, e metais pesados provenientes das escorrências das superfícies urbanas impermeabilizadas e espaços verdes urbanos. De realçar ainda que também existem alguns estabelecimentos comerciais e certos edifícios habitacionais com ligações deficientes à rede de saneamento, bem como os sistemas de águas residuais mistos, que contribuem com emissões de poluentes para os sistemas de escoamento das águas pluviais urbanas (Figura 1.3).

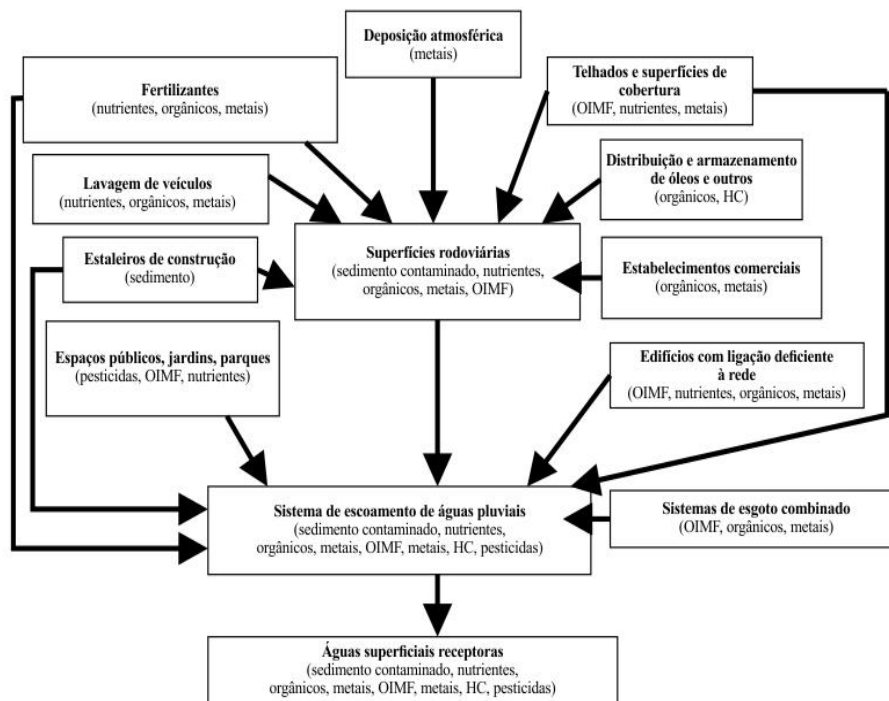


Figura 1.3 Origens de poluentes e seu trajeto no ciclo urbano da água. Adaptado de [36]

Segundo a Diretiva Quadro da Água (DQA) (2000/60/CE), alguns poluentes urbanos integram a lista de substâncias prioritárias, [37], [38], constituída por produtos químicos industriais, produtos fitofarmacêuticos e metais/compostos metálicos. Todas estas substâncias foram consideradas prioritárias no direito Comunitário Europeu por serem amplamente utilizadas, e poderem ser perigosas devido à sua persistência, bioacumulação e toxicidade [39]. Algumas destas substâncias prioritárias são comuns em certos ambientes urbanos e portanto expectáveis nas águas pluviais dessas cidades, são exemplos disso o Cd, Ni e Pb.

Tendo em conta o que foi dito anteriormente, estudos anteriores [35], [40]–[47], consideraram que para a caracterização de águas pluviais urbanas devem ser monitorizados os seguintes parâmetros:

- Sólidos Suspensos Totais (SST);
- Carência Química de Oxigénio (CQO);
- Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅, a 20°C);
- Fósforo Total (PT);
- Azoto Total (NT);
- Cádmio (Cd);
- Zinco (Zn);
- Chumbo (Pb);
- Cobre (Cu);
- Níquel (Ni);
- Hidrocarbonetos Totais (HT) nos quais se incluem os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs);
- Organismos Indicadores de Matéria Fecal (como por exemplo *E.coli*).

A estes parâmetros acrescentam-se as quantificações de pH e Condutividade, por uma questão de compreensão geral da matriz da solução e enquadramento dos resultados analíticos.

1.4 Toxicidade dos Poluentes Associados às Águas Pluviais Urbanas

Alguns dos poluentes mencionados são considerados substâncias tóxicas [48]–[50].

1.4.1 Metais Pesados

De um modo geral a toxicidade dos metais pesados está associada ao facto de não serem biodegradáveis e portanto, depois de atingirem o ambiente, serem bioacumuláveis ao longo das cadeias tróficas, onde os humanos ocupam normalmente, os níveis mais elevados [51]–[53].

a) Cádmio:

O Cd é um metal pesado que ocorre na natureza na crosta terrestre, sendo também um constituinte natural da água do mar. É normalmente associado ao minério de zinco, chumbo e cobre. É utilizado no fabrico de diversos produtos como pilhas, pigmentos, revestimentos, estabilizadores para plásticos, ligas não ferrosas e células fotovoltaicas. O Cd é libertado na atmosfera através de fontes naturais e antropogénicas, sendo que estas últimas são uma ordem de magnitude superior às naturais. As maiores fontes de emissões de Cd incluem a fundição de metais, caldeiras de carvão ou óleo, produção de fertilizantes fosfatados e incineradoras. As concentrações características no ar, nos EUA, situam-se entre os 0,1 e os 0,5 ng/m^3 em zonas rurais, 2-15 ng/m^3 em zonas urbanas e 15-150 ng/m^3 em zonas industriais [54]. Em solos não contaminados, os valores expectáveis são entre os 0,06 e os 1.1 mg/kg , sendo

que as concentrações nas camadas superficiais são, normalmente, o dobro das do subsolo [54]. A concentração média de Cd no oceano é de <5 a 110 ng/L [55]. O Cd bio acumula em todos os níveis da cadeia trófica. Relativamente a efeitos em ambientes aquáticos, é muito tóxico, tanto a curto como a longo prazo, considerando-se que apresenta risco para ecossistemas de água doce com concentrações a partir de 0,19 µg/L, e ecossistemas de água salgada a partir de 1,14 µg/L [55]. Em termos de saúde pública, a população pode ser exposta através de alimentos, fumo do tabaco, água e ar. O Cd não é facilmente absorvido pelo corpo humano, sendo que apenas 1 a 10% da dose ingerida e 25% da dose inalada é absorvido. As partículas mais pequenas, como as encontradas no fumo do tabaco, são mais absorvidas do que as partículas maiores, sendo que a quantidade de ferro no corpo também influencia a sua absorção ao longo do trato intestinal. Menor quantidade de ferro leva a maior absorção de Cd. A excreção na urina e nas fezes é similar e muito lenta, sendo que o tempo de meia vida nos humanos chega a ser superior a 26 anos [54]. As maiores concentrações de Cd encontram-se no fígado e nos rins, sendo estes órgãos alvos frequentes dos seus efeitos nefastos, bem como os ossos, no caso de o contacto ocorrer por via oral. Assim, os sintomas mais frequentes são a danificação dos tubos renais, a diminuição da mineralização óssea, o aumento do risco de fraturas, a diminuição da função pulmonar e enfisema. Após exposição prolongada a concentrações de risco de Cd, este é considerado carcinogénico e teratogénico. A concentração mínima de risco para exposição crónica (superior a um ano) é de 1×10^{-5} mg Cd/m³. [54].

b) Chumbo:

O Pb é um metal pesado que ocorre na crosta terrestre, e que raramente se encontra na forma elementar. Não é considerado abundante, mas os seus depósitos são facilmente acessíveis sendo utilizado no fabrico de numerosos produtos, como em tubagens, soldas, pesos e baterias. O Pb é maioritariamente libertado no ambiente em resultado de várias atividades antrópicas, como por exemplo em tintas à base de Pb utilizadas em edifícios, pontes e outras infraestruturas. No ar encontra-se na forma de partículas, sofrendo remoção por precipitação e/ou por gravidade. A solubilidade na água é dependente do pH, dureza, salinidade e presença de matéria húmica. A solubilidade é superior em águas mais ácidas. A concentração característica no ar é $<0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e em águas superficiais e subterrâneas (valores dos EUA) entre 5 e $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [56]. A ingestão de alimentos e/ou água contaminados é a maior fonte de exposição para o ser humano, sendo que a contaminação da água pode provir de tubagens inadequadas com soldaduras de chumbo. Num adulto, a absorção gastrointestinal de Pb é de 3 a 10% da dose, também dependente do composto de chumbo ingerido [56]. Cerca de 94% da quantidade total de Pb presente no organismo deposita-se nos ossos e nos dentes, e independentemente da via de exposição, quando é absorvido, pode ser excretado pelas vias urinária e intestinal. Os tempos de meia vida (por eliminação) para Pb inorgânico nos ossos e no sangue são, respetivamente, 27 e 30 anos [56]. Os efeitos de valores elevados de Pb no organismo são diversos, a nível hematológico, gastrointestinal, cardiovascular, renal, neurológico e reprodutivo. Há evidências de que possa ser carcinogénico [56], [57].

c) Cobre:

O Cu é um metal que ocorre na natureza em rochas, solos, água e ar. É utilizado para a produção de arames, canalização, folhas metálicas, e em ligas como o bronze e o latão, entre outras aplicações. É emitido através dos vulcões e fogos florestais, e também é resultado da decomposição do coberto vegetal, e de várias atividades humanas como indústria mineira, agricultura e descargas de águas residuais. Encontra-se normalmente adsorvido a partículas orgânicas, de argila e outras. O Cu é um elemento essencial em quantidades reduzidas para o ser humano (micronutriente), que está exposto a ele por via aérea, ingestão de água e alimentos, ou por contacto dérmico. O contacto com cobre em quantidades acima das necessidades fisiológicas dos humanos pode causar danos nas vias respiratórias se o Cu for inalado, e gastrointestinais no caso de ser ingerido. A exposição a doses elevadas pode levar a danos nos rins e fígado, e mesmo levar à morte. Não há evidências de que o Cu seja carcinogénico [58], [59].

d) Níquel:

O Ni ocorre na superfície terrestre em solos e cinzas vulcânicas. É vulgarmente utilizado combinado com outros metais para formar ligas, na produção de moedas, joalharia e aço inoxidável. Os seus compostos são também utilizados para colorir cerâmica, na produção de pilhas e em galvanostegia (niquelagem). Na atmosfera pode ter um tempo de meia vida de 30 dias em partículas com dimensões inferiores a 1 µm. O Ni é fortemente adsorvido a partículas do solo e em suspensão na água, sendo esta sua propriedade utilizada como um dos principais mecanismos para o remover da coluna de água. As

suas concentrações características (valores nos EUA) são de 2,22 ng/m³ no ar, entre 4 e 80 mg/kg no solo, e em águas superficiais e subterrâneas, de 0,5 a 6 µg/L. Normalmente a sua bioacumulação não atinge valores significativos, mas em certas concentrações pode representar riscos severos a curto e longo prazos, nomeadamente para organismos aquáticos e ao longo das cadeias tróficas [60]–[65]. O ser humano pode estar exposto ao Ni através do ar, pelo fumo de tabaco, pela ingestão de águas e alimentos e pelo contacto dérmico com moedas e peças de joalharia. Cerca de 20 a 35% do Ni inalado é depositado nos pulmões e absorvido pela corrente sanguínea, enquanto, cerca de 27% é absorvido pela ingestão de água e apenas 1% pela ingestão de alimentos [66] . Quando é absorvido distribui-se pelo organismo, não sendo normalmente metabolizado, e tendendo a ser eliminado pela urina. O tempo de meia vida de eliminação é de 28 horas, na componente ingerida. Os valores típicos de Ni para um adulto saudável são de 0,2 µg/L no plasma sanguíneo e 1 a 3 µg/L na urina [66]. Os efeitos nefastos da exposição a níveis elevados de Ni reportados em humanos são principalmente dermatológicos (dermatites), respiratórios (inflamação dos pulmões, atrofia do epitélio nasal), e reprodutivos no sexo masculino [67]. Os compostos de Ni e a sua forma elementar, são ambos considerados carcinogénicos [65], [66].

e) Zinco:

O Zn ocorre na natureza em rochas, mas por ser extremamente reativo, não se encontra na superfície terrestre na forma elementar. Na indústria é utilizado em revestimentos de outros metais para evitar a sua corrosão, como no caso do ferro e mesmo do aço (liga de ferro e carbono). É integrado em componentes eléctricos e incorporado em diversas ligas

metálicas como ânodo sacrificial. Quando é emitido em atividades antrópicas é transportado por via aérea e pode sofrer deposição seca e húmida. Tal como os outros metais, tem tendência para adsorção a partículas em suspensão (carregadas negativamente) e esta propriedade é utilizada no tratamento de águas, como um dos principais mecanismos para o remover da coluna de água. Tudo indica que apenas uma pequena parte de Zn exista na fase aquosa, atendendo à sua elevada adsorção pelas partículas do solo (matéria orgânica e argilas). O Zn é um micronutriente necessário aos organismos em quantidades reduzidas e normalmente não sofre bioacumulação até níveis problemáticos. A concentração média (valores nos EUA) no ar em zonas urbanas é de 0,02 a 0,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e de 0,01 a 0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em zonas rurais. A concentração em águas superficiais normalmente varia entre 0,02 a 1,2 mg/L e em solos e sedimentos entre <5 a 2,900 mg/kg, com um valor médio de 60 mg/kg [68]. A exposição ao Zn por parte dos humanos é feita por inalação de ar poluído e fumo de tabaco, e por ingestão de alimentos e água ricos em Zn. A absorção pelo trato intestinal é de 20 a 30% e encontra-se distribuído pelo organismo de modo a que 90% do Zn se concentra nos músculos e nos ossos. O Zn não tende a ser metabolizado e é excretado pela urina e fezes. Os efeitos nefastos na saúde humana dependem do composto químico em que o Zn se encontra, mas na maioria dos casos esses efeitos ocorrem nas vias respiratórias. No entanto exposições a elevadas concentrações de Zn podem também causar alterações gastro intestinais, e a nível hematológico, se forem prolongadas. Considera-se que o mínimo de risco para exposição oral crónica (período superior a um ano) é de 0,3 mg Zn/kg/dia [68]. Atualmente o Zn não é considerado carcinogénico [68].

1.4.2 Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

Os HAPs são um grupo de mais de 100 hidrocarbonetos policíclicos e com benzeno, que se formam durante a combustão incompleta de compostos orgânicos, nomeadamente de combustíveis e de resíduos. Alguns são utilizados para o fabrico de plásticos, betumes isolantes, entre outros produtos vulgarmente utilizados na sociedade. São libertados para o ar por vulcões e fogos florestais (origem natural), e em atividades humanas como a queima de carvão, e nos escapes dos automóveis. Também se evaporam para o ar a partir de solos e/ou de superfícies aquáticas, e podem agregar-se em partículas, na forma de poeiras. Podem ser decompostos quando expostos aos raios solares, ou em contacto com algumas substâncias químicas, ou ainda serem biodegradados através da ação de microrganismos. O seu período de decomposição pode variar entre dias e vários meses [69]. São dificilmente solúveis em água e como se podem agregar a partículas em suspensão, podem viajar até grandes distâncias, até assentarem em leitos e/ou serem decompostos. São bioacumuláveis, atingindo concentrações em plantas e animais muito superiores às encontradas nos seus habitats [70]. O ser humano pode ser exposto aos HAPs por via aérea, através da inalação de ar contaminado, nomeadamente de escapes de veículos automóveis ou fumo de tabaco. A exposição também pode ocorrer por via gastrointestinal, através da ingestão de alimentos ou líquidos contaminados. Ensaio de toxicidade com animais demonstraram que os HAPs podem ter efeitos nefastos a nível dérmico, imunológico e reprodutivo [69]. Considera-se ainda que os HAPs podem ser carcinogénicos, mutagénicos e teratogénicos [71], [69], [72].

1.4.3 Parâmetros Indicadores de Poluição

Incluem-se aqui alguns parâmetros considerados relevantes na caracterização de águas pluviais urbanas, e que podem estar associados a vários tipos de poluentes, sendo portanto passíveis de apresentarem toxicidade variável, em termos de ambiente e de saúde pública.

a) Sólidos Suspensos Totais:

Os SST correspondem à matéria sólida num dado volume de água constituída por partículas de dimensões superiores a 2 μm [73]. São maioritariamente compostos por matéria inorgânica e podem adsorver e/ou arrastar diversos poluentes (de natureza orgânica ou não), contribuindo assim para a sua difusão ambiental. Estão também relacionados com a turbidez da água, mas esta é uma propriedade que pode também relacionar-se com a existência de outras substâncias dissolvidas. Os SST podem ter efeitos nefastos nas massas de água recetoras, sendo que os mais graves são devido aos poluentes que arrastam consigo e não propriamente às partículas inorgânicas em suspensão. Estas podem no entanto causar efeitos indesejáveis, e ser causadores de prejuízos como a colmatação ou bloqueio de infraestruturas de escorrência (condutas, canais, e outros).

b) Carência Química de Oxigénio:

O CQO indica o oxigénio necessário para a oxidação química da matéria orgânica presente na amostra. A amostra é sujeita a um processo de oxidação controlado e é quantificada a quantidade de oxigénio que é consumida. Desta forma dá-nos

indicação da totalidade de poluição química presente na amostra [74], [75].

c) Carência Bioquímica de Oxigênio:

Este parâmetro analítico de qualidade da água indica o oxigênio consumido por microrganismos para a oxidação da matéria orgânica presente numa amostra, condicionada a 20°C em condições aeróbicas (com agitação) durante 5 dias. Desde que existam microrganismos na amostra, dá-nos uma indicação da quantidade da poluição biodegradável nessa amostra [74], [75], [76].

d) Fósforo Total e Azoto Total:

Estes dois elementos são macronutrientes fundamentais aos organismos vivos, estando, no reino animal e vegetal, associados a diversas funções fisiológicas. Apesar de serem essenciais para o crescimento das plantas, quanto estão biodisponíveis em quantidades excessivas podem levar ao crescimento descontrolado das algas e de outras plantas aquáticas [77], causando fenómenos de eutrofização. O aumento da biomassa vegetal, conseqüente diminuição de oxigênio dissolvido (sobretudo nos períodos noturnos em que só ocorre respiração), e a diminuição da penetração da luz solar durante o dia nas massas de água superficiais, levam à morte de diversos organismos superiores, afetando gravemente equilíbrio ecológico destes ecossistemas [78], [79].

e) *Escherichia coli*:

Esta espécie bacteriana pertence ao grupo dos coliformes fecais, habitualmente presentes no intestino de animais de sangue quente, como as aves e mamíferos (incluindo os humanos), e que apresentam capacidade patogénica [80]. A *E. coli* é utilizada como um microrganismo indicador de contaminação fecal na água. Dependendo da estirpe em causa, pode causar graves perturbações no sistema gastrointestinal e hepático, podendo mesmo levar, em casos extremos, à morte.[81], [82].

1.5 Enquadramento Legal

No Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto são estabelecidas normas, critérios e objetivos de qualidade para melhorar a qualidade das águas e do meio aquático, mas não existe menção específica às escorrências de águas pluviais, nomeadamente urbanas. Apesar disso, entende-se adequado, para efeito de avaliação dos resultados da monitorização, considerá-las como parte integrante das águas residuais urbanas, cuja definição é a de águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais ou com águas pluviais [34].

O enquadramento legal da descarga de águas pluviais tem por base a Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro, e o Decreto-Lei 77/2006 de 30 de Março, que correspondem à transposição da Diretiva Quadro da Água para o Direito Nacional. Deve ainda ser considerado o Decreto-Lei n.º 103/2010 de 24 de Setembro, que estabelece normas de qualidade ambiental (NQA) para as substâncias prioritárias, nomeadamente o níquel, o cádmio e o chumbo.

1.6 Caso de Estudo – Cidade de Faro

1.6.1 Sócio – Economia

A cidade de Faro é sede de distrito e situa-se na região do Algarve, no Sul de Portugal, a cerca de 280 km da capital Lisboa, na latitude 37°1'. É composta pela União de Freguesias de Faro, resultante da fusão das freguesias da Sé e de São Pedro em 14 de Outubro de 2014. A população urbana é de 44119 habitantes residentes com 43159 habitantes presentes, apresentando uma diferença de 960 habitantes, que se consideram ausentes [83]. O município de Faro tem 2318,2 ha e o uso de solo é maioritariamente urbano. Segundo o Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT) de 1995 (em revisão), apresenta 59,0% (1367,3 ha) de uso de solo urbano, 24,5% (567,7 ha) de equipamentos e espaços verdes urbanos, 8,1% (188 ha) industriais, 8,4% (195,2 ha) de turismo.

O município de Faro apresenta uma densidade empresarial de 43,4 empresas/km², destacando-se em superioridade em relação ao mesmo indicador a nível do Algarve (11,7) e a nível nacional (12,1). O parque empresarial é composto maioritariamente por micro empresas com menos de 10 pessoas ao serviço (96,6%), e por pequenas e médias empresas com menos de 250 pessoas ao serviço (3,3%) [83].

1.6.2 Clima

O clima em Faro é, segundo a classificação climática de Köppen, temperado com Verão quente e seco (classificação Csa), em que a temperatura média do mês mais frio se encontra entre os 18 °C e os -3 °C e a precipitação resulta grande parte da atividade de ciclones frontais [84], [85]. A distribuição anual de pluviosidade depende do movimento da frente polar, considerando-se, com base nas Normais Climatológicas 1971/2000 da estação meteorológica do aeroporto de

Faro, que o período húmido se situa entre os meses de Setembro/Outubro e Abril/Maio [84]. De acordo com a mesma Normal Climatológica, a média da precipitação total anual na cidade é de 509,1 mm, com a máxima mensal de 115,6 mm em Dezembro. O mês com menor precipitação é Julho com 1,9 mm [84].

A estação meteorológica do aeroporto de Faro localiza-se à distância mínima de 2400 m e máxima de 5000 m relativamente ao perímetro urbano considerado, pelo que se assume que reflete com precisão as condições meteorológicas do mesmo.

1.6.3 Gestão das Águas Pluviais

A gestão de águas pluviais dentro da cidade de Faro é da responsabilidade de uma empresa municipal. A drenagem de águas pluviais no perímetro urbano é feita através de um sistema dedicado e de um sistema misto com as águas residuais (Figura 1.4) que descarregam diretamente na Ria Formosa ou em linhas de água que, por sua vez, desaguam na Ria Formosa.

Em situações de eventos extremos de precipitação, os sistemas de drenagem (principalmente o sistema misto) ficam em risco de inundação das estações elevatórias, sendo nessas situações feitas descargas diretas no meio recetor, incluindo de águas residuais brutas.

No perímetro urbano de Faro existem sete sub-bacias hidrográficas (SB), que foram numeradas de 1 a 7 (Figura 1.5), e cujo escoamento de águas pluviais se efetua em sete pontos de descarga correspondentes.

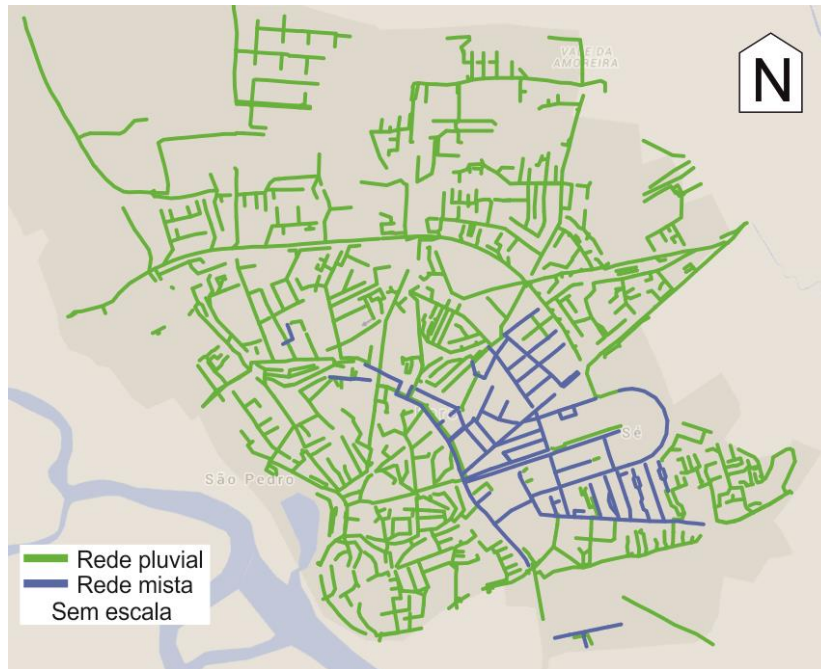


Figura 1.4 Rede de escoamento de águas pluviais da cidade de Faro

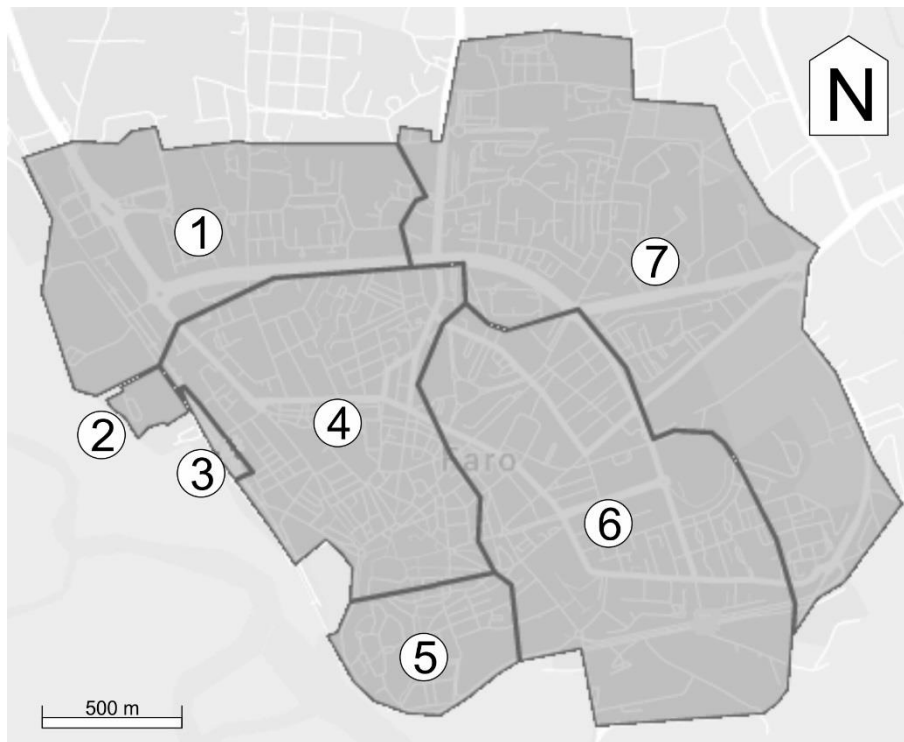


Figura 1.5 Sub-bacias do perímetro urbano (de 1 a 7)

1.6.4 Ria Formosa

Na envolvente da cidade de Faro encontra-se o Parque Natural da Ria Formosa. Trata-se de uma área de elevada importância ecológica, constituindo habitat privilegiado para numerosas espécies marinhas [80].

Em termos de serviços ecossistémicos, que podem ser definidos como os benefícios para as populações que derivam, direta ou indiretamente, de funções dos ecossistemas [86], a Ria Formosa apresenta-se como de extrema importância para a cidade de Faro. Estes serviços ecossistémicos podem ser classificados, segundo [87], [88], como serviços de aprovisionamento (ex: alimento para animais ou humanos), serviços reguladores (ex: clima, água, solo ou controlo de doenças), serviços culturais (ex: educação, atividades recreativas, estética paisagística) e serviços de suporte (ex: produção primária ou participação nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes). Dependendo do tipo de uso de solo, nas zonas costeiras estes serviços podem apresentar diferenças quando comparados com os de ecossistemas em zonas interiores [89], [90].

Nos serviços ecossistémicos assegurados pela Ria Formosa, destacam-se:

- O serviço regulador, na forma de proteção contra tempestades e outros fenómenos naturais provenientes dos quadrantes sul;
- O serviço de suporte, na forma da atividade piscatória, de piscicultura, de produção de sal, de cultura de bivalves, sendo que estes são dos principais motores impulsionadores da economia local [83], e que poderão ser também considerados como serviços de aprovisionamento;
- O serviço sócio cultural, na forma de turismo de natureza, de lazer e de educação ambiental.

A Ria Formosa corresponde a uma lagoa mesotidal costeira pouco profunda, com uma área de 49 km² e volume de 92 x 106 m³, profundidade média de 2 m, amplitude de maré de 2 m, tempo de residência de 0,5 dias em maré viva e 2 dias em maré morta [91], [92]. Em marés vivas 50 a 70% da água da lagoa é renovada. A lagoa tem uma extensa zona intertidal coberta por areia, material argiloso (lodo) e por salinas. A entrada de água doce na lagoa é negligenciável, e a salinidade mantém-se aproximadamente nos 36 ppm, exceto durante eventos esporádicos de forte pluviosidade no inverno [93]. É delimitada a sul por várias ilhas barreira e penínsulas, e a troca de água com o oceano Atlântico é feita através de seis barras, cinco naturais e uma artificial. A extensão linear da bacia hidrográfica associada é de 800 km.

A carga anual total de N é de 1060 t [91]. A carga anual de N proveniente das ETAR do município de Faro é de 165,9 t, correspondendo a 103,5 t em época baixa (outubro a maio) e a 62,4 t na época alta (junho a setembro) [93]. A carga anual de N proveniente de efluentes domésticos sem tratamento é de 11,54 t, correspondendo a 7,43 t em época baixa, e a 4,11 t em época alta.

Quanto ao fósforo, a carga anual proveniente das ETAR do município de Faro é de 15,1 t, correspondendo a 9,4 t em época baixa e a 5,7 t em época alta. [93]. A carga anual de P proveniente de efluentes domésticos sem tratamento é de 3,46 t, em que 2,23 t têm origem na época baixa, e 1,23 t na época alta [93].

O contributo relativo de azoto na bacia hidrográfica proveniente de fontes tratadas e não tratadas é de 41% com os restantes 59% a serem provenientes de fontes difusas (escorrência de águas pluviais) [93].

1.7 Objetivos

Ao longo deste trabalho pretendeu-se recolher informação relativa à caracterização das águas pluviais de Faro, para poder ser integrada na definição de medidas de gestão da água na cidade. Utilizaram-se dados de pluviosidade fornecidos por uma estação meteorológica próxima da cidade (fonte anónima) e definiu-se um esquema de amostragem para se recolher informação relativa à caracterização das águas pluviais, em época seca e em época húmida. Nas amostras recolhidas foram quantificados vários indicadores de poluição urbana, de acordo com a disponibilidade laboratorial técnica e financeira. Os resultados nos diversos eventos de pluviosidade foram analisados, e tecidas algumas considerações relativas ao possível impacte que os diversos poluentes podem ter no ecossistema envolvente, a Ria Formosa e na saúde pública.

2. METODOLOGIA

2.1 Previsão Meteorológica e Programação da Amostragem

A precipitação foi monitorizada por um sensor pluviométrico localizado à distância máxima de 5000 m da área de estudo, e é caracterizado por uma báscula de 0,1 mm e uma resolução temporal de 1 minuto. A previsão meteorológica foi feita através do modelo numérico Global Forecast System – GFS, com uma resolução de 50 km [94], e do modelo numérico Weather Research and Forecast – WRF, com resolução de 9 km [95]. Não se enquadra nos objetivos deste trabalho a pormenorização destes modelos.

A monitorização da pluviosidade foi utilizada para a preparação da amostragem de acordo com o esquema da Figura 2.1.

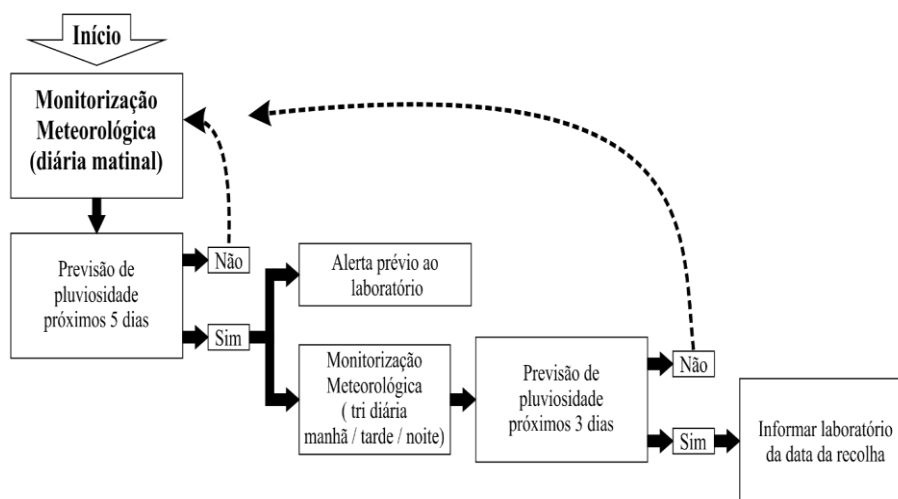


Figura 2.1 Esquema para programação de amostragem com base na previsão meteorológica

2.2 Seleção dos Locais de Amostragem

A seleção dos locais de amostragem foi feita mediante a utilização de três critérios: acessibilidade, representatividade e segurança.

Assim para se definirem os locais de amostragem, foram previamente visitados todos os pontos de descarga, entre Junho e Dezembro de 2014, de forma a avaliar as suas condições de acessibilidade e segurança (Figura 2.2). As diversas visitas foram efetuadas de modo a refletirem todas as variáveis que pudessem condicionar a amostragem nos diversos momentos. Foi feita pelo menos uma visita prévia a cada local, em condições de:

- Preia-mar e baixa-mar;
- Maré vazante e enchente;
- Maré morta e maré viva;
- Período seco e período húmido;
- Com presença e ausência de precipitação;
- Período diurno e noturno.



Figura 2.2 Fotografias de diversos pontos de descarga / amostragem

A tabela que se segue apresenta a localização geográfica dos pontos de recolha referentes às 7 sub-bacias de drenagem da cidade de Faro.

Tabela 2.1 Localização relativa e em coordenadas GPS decimais dos pontos de descarga das sub bacias de Faro

Ponto de descarga / Sub-bacia	Localização	
	Relativa	GPS
1	Nas traseiras do Teatro Municipal de Faro	37.022914 ; -7.947639
2	Extremo Este do Estaleiro Naval de Faro	37.020536 ; -7.943269
3	No lado ribeirinho da Estação da CP de Faro	37.019625 ; -7.941418
4	Nas traseiras do Hotel EVA e Central de Autocarros	37.017139 ; -7.938939
5	Extremo Oeste do Largo de S. Francisco, lado ribeirinho da linha ferroviária	37.010986 ; -7.933317
6	No cruzamento para o Cais Comercial de Faro	37.010138 ; -7.925460
7	Por baixo da ponte do acesso Este da cidade de Faro	37.026257 ; -7.916369

2.2.1 Acessibilidade

A acessibilidade aos pontos de descarga a qualquer hora do dia é uma condição estritamente obrigatória: não se verifica na SB 2, por o ponto de descarga se localizar em propriedade privada. As imediações dos pontos de descarga das sub-bacias 1, 3, 4, 6 e 7 podem ser acedidas através de estradas pavimentadas. O ponto de descarga da SB 5 só pode ser acedido por via marítima.

2.2.2 Representatividade

Neste estudo, e apesar de várias tentativas sem sucesso, não existiu disponibilidade por parte das entidades detentoras dos dados necessários, para fornecimento de informação detalhada sobre as sub-bacias e usos de solo da cidade. Considerou-se assim que a cidade de Faro apresenta um uso de solo homogéneo, sendo a representatividade medida considerando a área relativa das SB em relação à área da bacia do perímetro urbano em estudo. De acordo com esta consideração, os dados obtidos para uma sub-bacia poderão ser extrapolados para a área total da bacia de drenagem do perímetro urbano de Faro. As áreas relativas das diversas sub-bacias são: SB 1 - 17,0%; SB 2 - 0,9%; SB 3 - 0,5%; SB 4 - 20,0%; SB 5 - 5,6%; SB 6 - 30,7%; e SB 7 - 25,3%.

2.2.3 Segurança

Relativamente à segurança no acesso aos pontos de descarga, atendeu-se ao declive do acesso pedonal e verificou-se que a SB 1, SB 2 e SB 7 têm um baixo risco de acidente, SB 3, SB 4 e SB 6 apresentam um

risco médio de acidente, e SB 5 um risco de acidente que, dependente das condições marítimas, pode ser elevado.

Para seleção da SB para amostragem, utilizou-se um esquema que passou por três fases, atendendo aos 3 critérios já mencionados. Na primeira fase de exclusão tendo em conta a acessibilidade excluíram-se as SB 2 e SB 5. Na segunda fase, atendeu-se à combinação da representatividade e da segurança e foram excluídas as SB 1, SB 3 e SB 4. Na terceira fase, relativamente às duas SB restantes, SB 6 e SB 7, verificou-se que ambas tinham boa acessibilidade, a representatividade era semelhante, mas que a SB 7 apresentava melhores condições de segurança. Assim sendo a SB 7 foi selecionada para ser alvo deste estudo.

2.3 Planificação Temporal da Amostragem

A periodicidade e frequência de amostragem foram definidas com base em outros estudos anteriormente publicados [44], [90], [91], efetuados em cidades com classificação climática de Köppen semelhante à de Faro, e de acordo com metodologias previamente descritas por [92]–[95]. As épocas de amostragem distinguem-se entre época seca, de junho a setembro, e época húmida, de outubro a maio. Na época húmida distinguem-se período inicial, de outubro a dezembro, período intermédio, de janeiro a fevereiro, e período final, de março a maio. Ao longo deste trabalho efetuaram-se recolhas de amostras em quatro dias distintos. Um dia em época seca, 18 de setembro de 2014, em que se fizeram recolhas de amostras pontuais das sub-bacias que apresentavam caudal suficiente para a realização das colheitas, isto é nas SB 1, SB 6 e SB 7. Na época húmida foram

recolhidas amostras em três dias diferentes. Foi efetuada uma pré-amostragem na SB 6 em 26 de novembro de 2014, enquanto se aguardava informação sobre qual seria a sub-bacia mais representativa. Posteriormente, recolheram-se amostras na SB 7, durante dois dos maiores eventos de pluviosidade de 2014/15, ocorridos em 15 de janeiro e em 17 de março de 2015 (Figura 2.3). Nestes dois eventos, os períodos de acumulação foram semelhantes, 30 e 34 dias, respetivamente. De notar que se define período de acumulação como o período antecedente ao evento monitorizado, em que não ocorreu precipitação considerada suficiente para arrastamento/lavagem de poluentes (considerada <1 mm/dia).

Em época húmida a frequência de amostragem foi de 15 em 15 minutos durante a primeira hora do evento de pluviosidade, e duas vezes por hora ou uma vez por hora (dependendo das condições aferidas in situ no momento da recolha) até ao final da terceira hora do evento no caso da colheita de 15 de janeiro e até ao fim do evento do dia 17 de março.

A campanha de recolha efetuada não cumpriu, na sua totalidade, com o plano de amostragem previamente estabelecido pelas razões que se apresentam de seguida:

- Atraso na disponibilização e acesso a dados detidos por entidades exteriores ao projeto;
- Condicionantes inerentes à imprevisibilidade meteorológica e às especificidades do projeto, onde é necessária uma presença no local de amostragem num espaço de tempo muito curto (15 minutos) após o início do evento de precipitação;
- Questões de ordem técnica não previsíveis (ou não contempladas), como a indisponibilidade de veículos e/ou equipamento;
- Acessibilidade aos pontos de amostragem, que apesar de estar normalmente assegurada, apresentou, em determinadas

situações, dificuldades, por motivos alheios e externos ao projeto (tráfego, acidentes e outros).



Figura 2.3 Fotografias de momentos de amostragem nas SB 6 e SB 7

2.4 Parâmetros Monitorizados

Dos parâmetros recomendados para caracterização de águas pluviais foram selecionados, para este estudo, aqueles que eram possíveis de quantificar, atendendo às limitações existentes. Todas as análises foram feitas no Laboratório de Engenharia Sanitária da Universidade do Algarve (LES), acreditado pelo IPAC (L0306), exceto os Hidrocarbonetos Totais que foram quantificados num laboratório parceiro, também acreditado pelo IPAC.

Foram monitorizados os seguintes parâmetros:

- Sólidos Suspensos Totais;
- Azoto Total e Fósforo Total;
- Carência Química de Oxigénio e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅, a 20°C);
- pH e Condutividade;
- Níquel, Cádmio, Chumbo e Zinco;
- Hidrocarbonetos Totais (C10-C40);
- *Escherichia coli*.

Apesar de se reconhecer a importância da quantificação de outros parâmetros para se complementar a abrangência deste estudo, como por exemplo os HAPs e o Cu, tal não foi possível por limitações técnicas.

Os métodos analíticos utilizados para a quantificação dos diversos parâmetros monitorizados são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.2 Métodos analíticos

Parâmetro	Unidade	Método	Referência
Azoto Total	mg/L N	Digestão e Espectrometria de Absorção Molecular	[76]
CBO₅, 20 °C	mg/L O ₂	Método respirométrico	[76]
Cd	mg/L Cd	Espectrometria de Absorção Atômica	[76]
Condutividade a 20 °C in situ	µS/cm	Eletrometria	[76]
CQO	mg/L O ₂	Método colorimétrico	[76]
<i>Escherichia coli</i>	N/100 mL	Membrana Filtrante	[96]
Fósforo Total	mg/L P	Espectrometria de Absorção Molecular	[76]
Hidrocarbonetos Totais	mg/L	Cromatografia Gasosa: Detetor de Chama Ionizante	--
Ni	mg/L Ni	Espectrometria de Absorção Atômica	[76]
Pb	mg/L Pb	Espectrometria de Absorção Atômica	[76]
pH in situ	Escala de Sorenson	Eletrometria	[76]
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	Gravimetria	[76]
Zn	mg/L Zn	Espectrometria de Absorção Atômica	[76]

2.5 Tratamento de Dados

A Concentração Média do Evento (CME), determina as cargas poluentes de uma bacia, e é representativa da concentração média de um poluente durante a totalidade de um evento [97]. A CME é um dado importante na previsão da carga poluente total, e portanto um parâmetro crítico para estimar a contribuição do escoamento das águas pluviais para o ecossistema [98]. A CME foi calculada utilizando a equação 1:

$$CME = \frac{M}{R} \quad (\text{eq 1})$$

Onde:

CME = concentração média do evento (mg/L);

M = massa total de poluente descarregada (mg);

R = volume de escorrência total (L).

A massa total de poluente descarregada foi calculada utilizando a regra trapezoidal com grelha não uniforme, ponderada pelo escoamento, para integração [99], como apresentado na equação 2:

$$\begin{aligned} \int_{R_i}^{R_f} f(R) \cdot dR &\approx \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N |(R_{k+1} - R_k)(f(R_{k+1}) + f(R_k))| & (\text{eq 2}) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N |(R_{k+1} - R_k)(C_{k+1} + C_k)| \end{aligned}$$

Onde:

R_i = volume inicial escoado (L);

R_f = volume final escoado (L);

R = volume escoado total (L);

N = número de amostras;

k = número da amostra;

C = concentração do poluente (unidade de acordo com o parâmetro).

O volume escoado foi calculado usando uma adaptação do Método Simples [100], [101] com a equação 3:

$$R = P * Rv \quad (\text{eq 3})$$

Onde:

R = volume escoado total (L);

P = volume de precipitação (L);

Rv = coeficiente de escoamento.

O coeficiente de escoamento foi calculado através da equação 4:

$$Rv = 0,05 + 0,9Ia \quad (\text{eq 4})$$

Onde:

Rv = coeficiente de escoamento;

Ia = percentagem, em forma decimal, da área impermeável da sub-bacia.

A partir da massa total de poluente (M) foi calculado a carga mássica por unidade de área com a equação 5:

$$Carga_n = \frac{M_n}{A_n} \quad (\text{eq 5})$$

Onde:

$Carga_n$ = carga mássica da bacia n por unidade de área (kg/km²);

M_n = massa total de poluente descarregada pela bacia n (kg);

A_n = área da bacia (km²).

Calculou-se a carga mássica da bacia do perímetro urbano da cidade com recurso à equação 6:

$$M_t = Carga_n \times A_t \quad (\text{eq 6})$$

Onde:

M_t = massa total de poluente descarregada pela bacia do perímetro urbano da cidade (kg);

$Carga_n$ = carga mássica da bacia n por unidade de área (kg/km²);

A_t = área da bacia do perímetro urbano da cidade (km²).

Quando existiram dados suficientes, os resultados foram estatisticamente analisados utilizando o programa SPSS versão 23. Da análise exploratória dos dados, observou-se que não se verificavam os pressupostos para a aplicação dos testes paramétricos e portanto, foram utilizados testes não paramétricos. Para se analisar a relação entre os diversos parâmetros durante cada evento (em 15 de janeiro e em 12 de março), foi usado o coeficiente de correlação tau de Kendall, aplicável a amostras de pequena dimensão, como alternativa ao

coeficiente de correlação de Spearman. Para comparar os resultados obtidos nos dois eventos, usou-se o Teste de Mann-Whitney para testar a igualdade das medianas.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Como referência na avaliação dos resultados serão utilizados os Valores Limite de Emissão (VLE) na descarga de águas residuais definidos no Anexo XVIII do Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto, bem como diversos estudos sobre o tema.

3.1 Campanha em Época Seca

A Tabela 3.1 apresenta os resultados em época seca nas três sub-bacias monitorizadas que apresentavam caudal em 18 de setembro de 2014. Os resultados estão expressos em valor obtido \pm desvio padrão para SST, CQO, CBO₅, NT, PT, Cd, Ni e Pb e em valor obtido \pm incerteza para Condutividade e pH. Apesar destes resultados serem preliminares, e carecerem de confirmação, pode-se observar na tabela seguinte que foram quantificadas concentrações similares de CQO, CBO₅ e Cd, bem como valores de pH similares, para as 3 sub-bacias. A SB 7 apresentou claramente concentrações mais elevadas de SST, PT e Pb, a SB 1 maiores concentrações de NT, e a SB 6 maiores valores de Condutividade. Os valores máximos foram assinalados a negrito na Tabela 3.1 para melhor visualização.

Tabela 3.1 Resultados obtidos em época seca a 18 de setembro de 2014.

Parâmetros	Sub-bacias		
	SB 1	SB 6	SB 7
SST (mg/L)	12 ± 2	20 ± 1	32 ± 2
CQO (mg/L O ₂)	117 ± 2	116 ± 1	108 ± 2
CBO ₅ (mg/L O ₂)	28 ± 1	30 ± 1	30 ± 1
NT (mg/L N)	32 ± 1	10 ± 1	14 ± 1
PT (mg/L P)	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,8 ± 0,1
Condutividade a 20°C	1167 ± 1,4% (µS/cm)	13,3 ± 1,1% (mS/cm)	595 ± 1,4% (µS/cm)
Cd (µg/L)	0,67 ± 0,17	0,79 ± 0,04	0,87 ± 0,02
Ni (µg/L)	4,28 ± 0,68	<2,2 (LQ)	4,04 ± 0,36
Pb (µg/L)	6,20 ± 0,39	2,91 ± 0,01	11,42 ± 0,12
pH	7,7 ± 2,7%	7,6 ± 2,7%	7,6 ± 2,7%

Nas três sub-bacias amostradas, SB 1, SB 6 e SB 7, os valores de SST, CQO e CBO₅ obtidos são inferiores ao VLE do Decreto-Lei nº 239/1998 de 1 de Agosto. Nas SB 6 e SB 7 os valores de NT são inferiores ao VLE, mas na SB 1 foi superior. Quanto ao PT, os resultados são superiores ao VLE nas 3 sub-bacias. Nos metais pesados, Cd, Ni e Pb apresentaram em todas as sub-bacias valores inferiores ao VLE. O pH variou entre os 7,6 e 7,7, encontrando-se dentro do intervalo previsto na legislação mencionada, bem como os considerados frequentes em águas superficiais [102]. Como referido anteriormente, tendo esta campanha sido realizada em época seca, as escorrências analisadas serão oriundas, principalmente, de lavagens de superfícies impermeáveis urbanas (pavimentos, terraços, etc.), e de sistemas urbanos de rega com funcionamento deficiente, e cuja drenagem da água fornecida em excesso se efetua pelos sistemas pluviais.

Para que a caracterização das águas pluviais de Faro em época seca seja o mais próxima possível da realidade, deve ser suportada por mais amostragens no maior número possível de sub-bacias de drenagem, e pela quantificação de mais parâmetros analíticos, de modo a que

sejam recolhidos dados suficientes que permitam uma análise estatística robusta, fundamental para a sua correta interpretação.

3.2 Campanhas em Época Húmida

3.2.1 Sub-bacia 6 em 26 de novembro de 2014

O evento de precipitação durou 34 minutos, teve uma intensidade máxima de precipitação de 1,8 mm/h a ser atingida aos 25 minutos, e um total de precipitação acumulada de 0,5 mm (Figura 3.1). O período de acumulação deste evento foi extremamente curto, devido a um evento pluviométrico de forte intensidade ocorrido no dia anterior. A primeira amostra foi recolhida após 48 minutos do início do evento devido às dificuldades de acesso ao local de amostragem. Assim sendo, os resultados que a seguir se apresentam, para além de serem numa sub-bacia diferente (SB 6), têm um enquadramento muito distinto dos obtidos para os eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015, na SB 7.

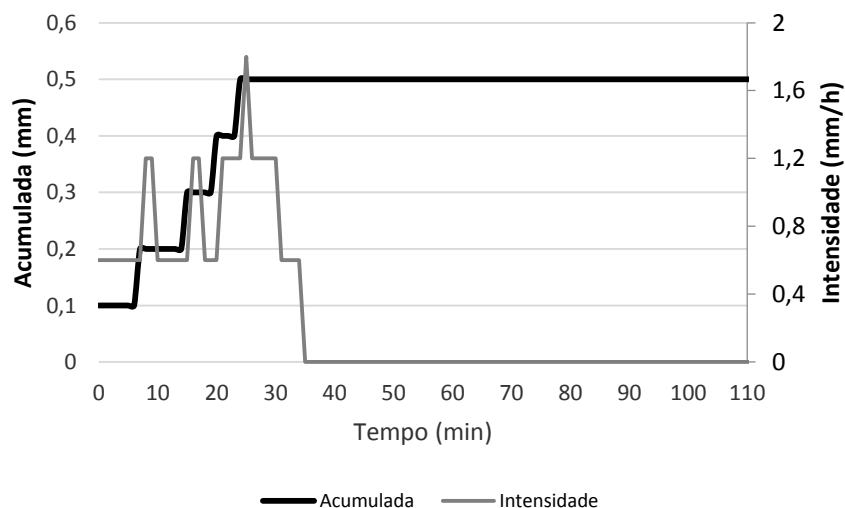


Figura 3.1 Evolução temporal da precipitação no evento de 26 de novembro de 2014.

Os resultados respeitantes a SST, CQO e CBO₅ apresentam-se na Figura 3.2. Como se pode verificar, a concentração de SST mante-se constante durante o período de amostragem (entre 34 e 35 mg/L).

Em relação ao CQO e ao CBO₅, apresentaram ambos o seu valor máximo de 215 mg/L O₂ aos 48 minutos, diminuindo de seguida até aos 103 minutos quando atingiram os 180 mg/L O₂. De notar a similaridade entre estes dois parâmetros ao longo do evento, e portanto o facto da poluição química presente nestas águas pluviais apresentar uma elevada biodegradabilidade.

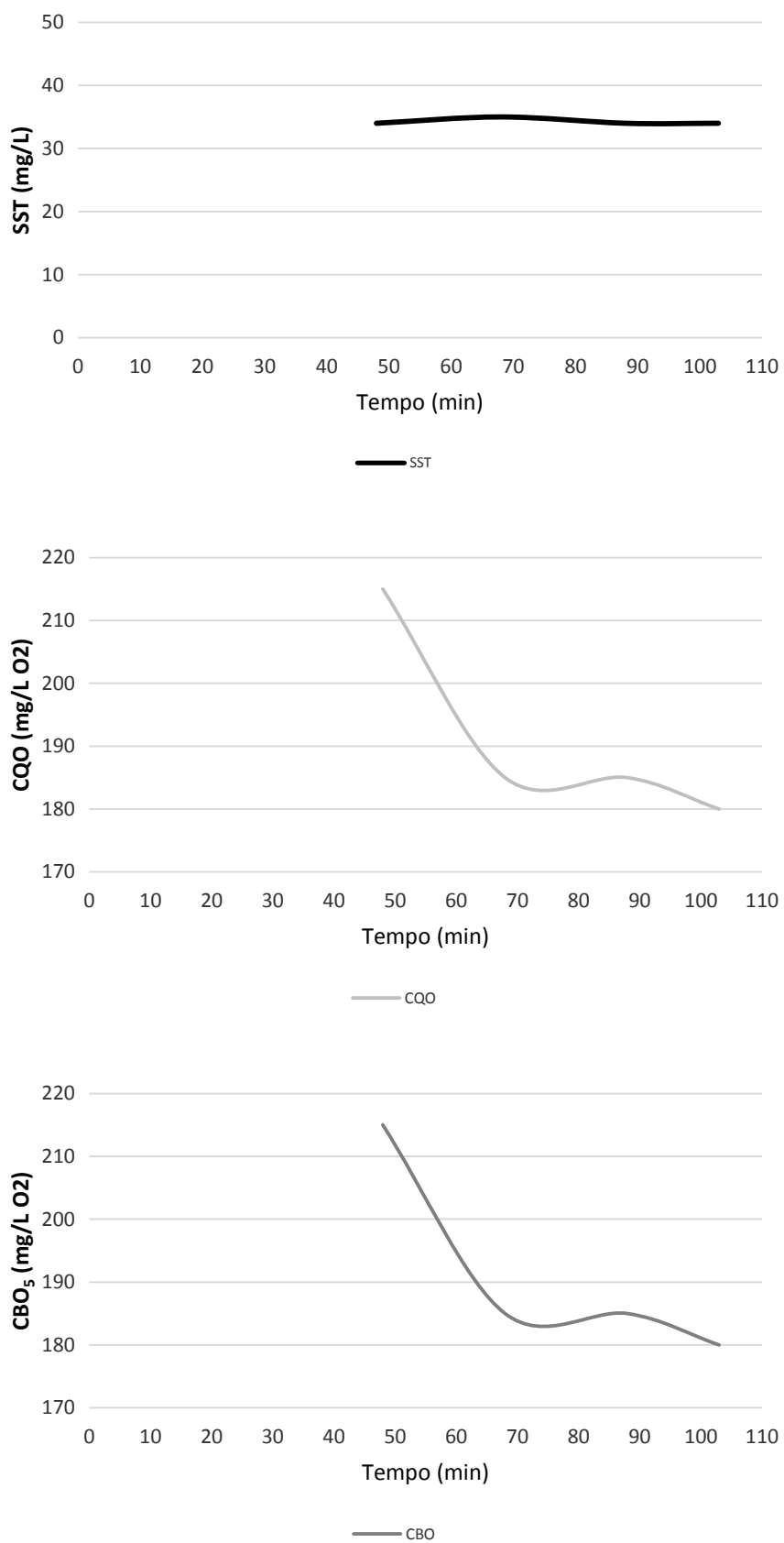


Figura 3.2 Variação temporal dos SST, CQO e CBO₅ no evento de 26 de novembro de 2014.

O NT foi máximo aos 48 minutos (100 mg/L N), apresentou uma tendência decrescente até aos 88 minutos (78 mg/L N), e voltou a subir ligeiramente. O PT teve um comportamento diferente do NT, apresentou o valor mínimo aos 48 minutos (8,0 mg/L P), aumentando ao longo do tempo até ao 103 minutos, onde atingiu o seu máximo de 10 mg/L P (Figura 3.3).

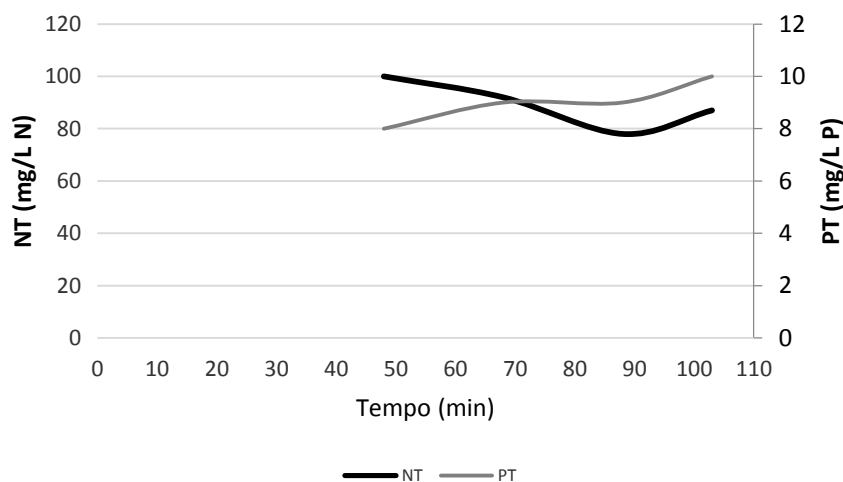


Figura 3.3 Variação temporal de NT e PT no evento de 26 de novembro de 2014.

A Condutividade manteve-se relativamente constante nos 2,94 mS/cm, desde o início do evento até aos 68 minutos, altura em que começou a aumentar, atingindo o seu máximo aos 88 minutos (3,23 mS/cm), diminuindo depois até aos 3,11 mS/cm aos 103 minutos (Figura 3.4).

Quanto aos metais pesados quantificados, o Cd manteve-se constante e sempre inferior ao LQ (0,56 µg/L). O Ni apresentou uma tendência decrescente ao longo do evento, com valor máximo, aos 48 minutos, de 3,09 µg/L, diminuindo até aos 103 minutos, atingindo então valores inferiores ao LQ laboratorial (2,2 µg/L). A concentração de Pb manteve-se estável (8,39 µg/L) entre os 48 e os 60 minutos do evento, apresentando uma diminuição a partir dos 68 minutos, atingindo o LQ laboratorial (2,22 µg/L) aos 103 minutos (Figura 3.5).

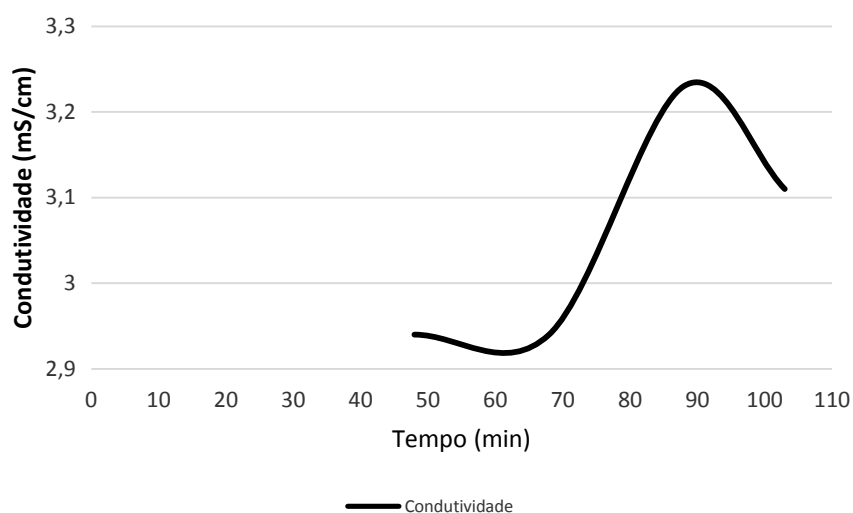


Figura 3.4 Variação temporal da Condutividade no evento de 26 de novembro de 2014.

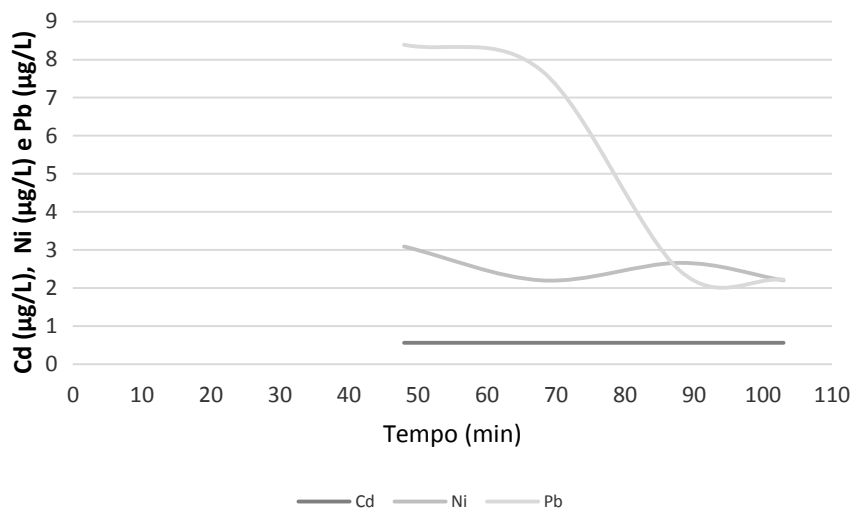


Figura 3.5 Variação temporal do Cd, Ni e Pb no evento de 26 de novembro de 2014.

Atendendo ao Decreto-Lei nº 239/1998, os valores da Concentração Média do Evento (CME) de SST, CQO, Cd e Pb (Tabela 3.2) cumprem com os VLE's estipulados para a descarga de águas residuais. Os parâmetros de CBO₅, NT e PT apresentam valores superiores aos respectivos VLE's, evidenciando a presença de poluição orgânica. Estes resultados vão de encontro ao presenciado na altura da recolha de amostras, através de inspeção visual e olfativa. Uma das possíveis causas é que esta sub-bacia é composta parcialmente por um

sistema misto de recolha de águas pluviais e de águas residuais. Em alturas de picos de caudal, por questões de segurança e de operacionalidade das estações elevatórias, são feitas descargas de tempestade, através de um *bypass* ao sistema que as deveria conduzir para a respetiva ETAR.

Na Tabela 3.2 apresenta-se a Concentração Média de evento, Carga Mássica e Carga por unidade de área dos diferentes parâmetros monitorizados. Foi ainda estimada a Carga Mássica do perímetro urbano, válida no caso das diferentes sub-bacias terem características semelhantes, e os sistemas de drenagem apresentarem comportamentos análogos. Estes pressupostos não estão garantidos e no âmbito do projeto não foi possível obter informação que permita aprofundar esta questão, pelo que esta extrapolação é apenas hipotética.

Tabela 3.2 Cargas médias de evento, Cargas mássicas e Cargas por unidade de área no evento de 26 de novembro de 2014.

Parâmetro	Sub-bacia 6			Bacia do perímetro urbano
	EMC (mg/l)	Carga mássica (kg)	Carga por unidade de área (kg/km ²)	Carga mássica (kg)
SST	24	20	17	80
NT	68	56	47	223
PT	6	5	4,24	20
CQO	147	119	101	474
CBO ₅	147	119	101	474
Ni	2,05 x 10 ⁻³	0,002	0,002	0,008
Cd	0,4 x 10 ⁻³	0,0003	0,000	0,001
Pb	5,12 x 10 ⁻³	0,004	0,003	0,016

3.2.2 Sub-bacia 7 em 15 de janeiro e 17 de março de 2015

A Figura 3.6 representa as características dos dois eventos pluviométricos monitorizados na SB7.

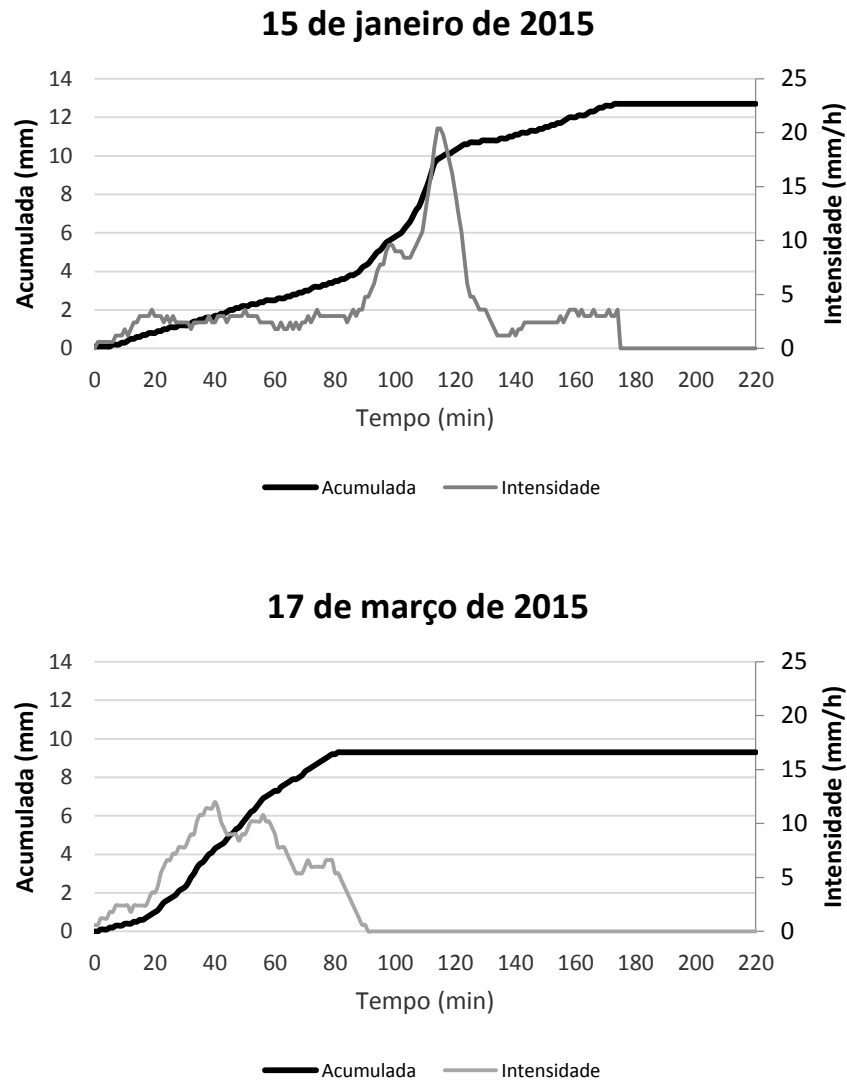


Figura 3.6 Evolução temporal da precipitação nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.

O evento de 15 de janeiro durou 174 minutos, atingindo a sua intensidade máxima de 20,4 mm/h aos 115 minutos, e teve um total acumulado de precipitação de 12,7 mm (Figura 3.6). Correspondeu a um período de acumulação de 30 dias. O evento de 17 de março durou

81 minutos, com a intensidade máxima de 11,4 mm/h a ser atingida entre os 37 e os 39 minutos, apresentando um total acumulado de precipitação de 9,3 mm (Figura 3.6). O período de acumulação foi de 34 dias.

Como já foi referido, e por limitações de acesso ao local, no evento de 17 de março, a recolha de amostras só começou cerca de 40 minutos após o início do evento. Este facto condicionará a análise e discussão dos resultados apresentados.

A Tabela 3.3 apresenta os resultados obtidos na SB 7 para os dois eventos pluviométricos, com respetivos desvios padrão associados nos casos de SST, CQO, CBO₅, NT, PT, Cd, Ni, Pb e Zn, e respetivas incertezas associadas, nos casos de Condutividade e pH.

A Tabela 3.3 não inclui os resultados relativos a Hidrocarbonetos Totais (realizados num laboratório exterior à UAlg) uma vez que, para todas as amostras analisadas, foram inferiores aos limites de quantificação laboratoriais (LQ = 100 µg/L). Trata-se de uma má definição da gama de trabalho durante a quantificação deste parâmetro, que não se ajusta aos valores esperados para águas pluviais. Por limitações financeiras não houve possibilidade da sua repetição.

Tabela 3.3 Resultados obtidos em época húmida em 15 de janeiro e 17 de março de 2015

		Evento pluviométrico de 15 de janeiro de 2015							
Tempo (min)	0	17	31	47	67	96	124	209	
SST (mg/L)	--	123 ± 10	2507 ± 161	252 ± 15	139 ± 12	153 ± 15	301 ± 31	50 ± 4	
NT (mg/L N)	--	6 ± 1	72 ± 1	12 ± 1	7 ± 1	5 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	
PT (mg/L P)	--	1,9 ± 0,1	19,2 ± 0,1	1,7 ± 0,1	2 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1 ± 0,1	0,8 ± 0,1	
CQO (mg/L O2)	--	275 ± 6	500 ± 2	263 ± 27	229 ± 24	135 ± 6	66 ± 1	< 40 (LQ)	
CBO5 (mg/L O2)	--	217 ± 1	500 ± 2	145 ± 7	130 ± 1	135 ± 8	55 ± 8	22 ± 3	
Cd (µg/L Cd)	--	< 0,56 (LQ)	2,32 ± 0,04	1,05 ± 0,13	0,8 ± 0,06	0,83 ± 0,01	< 0,56 (LQ)	< 0,56 (LQ)	
Ni (µg/L Ni)	--	10,15 ± 0,25	21,56 ± 0,68	12,27 ± 2,38	6,58 ± 0,70	4,96 ± 0,54	5,59 ± 0,73	3,75 ± 0,87	
Pb (µg/L Pb)	--	93,42 ± 2,10	85,56 ± 2,94	22,66 ± 0,33	21,62 ± 0,76	18,17 ± 0,45	47,9 ± 3,62	7,77 ± 0,63	
Zn (µg/L Zn)	--	375,98 ± 4,11	1303,22 ± 3,40	338,89 ± 2,04	271,31 ± 1,29	162,98 ± 1,88	140,92 ± 0,88	51,8 ± 1,65	
Cond. (µS/cm)	--	333 ± 1,4%	430 ± 1,4%	359 ± 1,4%	254 ± 1,4%	150 ± 1,4%	66 ± 1,4%	94 ± 1,4%	
pH	--	7,4 ± 2,7%	7,1 ± 2,7%	7,3 ± 2,7%	7,2 ± 2,7%	7,8 ± 2,7%	7,7 ± 2,7%	8 ± 2,7%	
E.Coli (N/100 mL)	--	4,0 x 10 ³	4,0 x 10 ³	6,0 x 10 ³	3,0 x 10 ³	9,0 x 10 ³	3,0 x 10 ³	4,0 x 10 ³	
		Evento pluviométrico de 17 de março							
Tempo (min)	0	36	51	66	81	111	141		
SST (mg/L)	--	490 ± 70	175 ± 61	205 ± 3	128 ± 15	73 ± 2	52 ± 2		
NT (mg/L N)	--	15 ± 1	3 ± 1	2 ± 1	2 ± 1	3 ± 1	8 ± 1		
PT (mg/L P)	--	7,0 ± 1,2	1,5 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,2		
CQO (mg/L O2)	--	570 ± 71	189 ± 12	68 ± 1	57 ± 6	41 ± 2	62 ± 7		
CBO5 (mg/L O2)	--	570 ± 71	76 ± 1	34 ± 1	30 ± 2	11 ± 1	16 ± 1		
Cd (µg/L Cd)	--	2,57 ± 0,17	0,905 ± 0,09	< 0,56 (LQ)	< 0,56 (LQ)	< 0,56 (LQ)	< 0,56 (LQ)		
Ni (µg/L Ni)	--	67,27 ± 8,16	14,14 ± 0,95	7,38 ± 0,29	8,45 ± 1,18	7,25 ± 1,12	8,44 ± 0,85		
Pb (µg/L Pb)	--	98,12 ± 18,35	42,43 ± 8,78	16,33 ± 1,48	18,7 ± 1,04	9,75 ± 0,55	9,84 ± 0,18		
Zn (µg/L Zn)	--	1138,08 ± 91,47	358,28 ± 14,06	148,27 ± 5,91	194,39 ± 16,10	97,03 ± 7,41	95,72 ± 0,90		
Cond. (µS/cm)	--	352 ± 1,4%	159 ± 1,4%	98 ± 1,4%	87 ± 1,4%	122 ± 1,4%	195 ± 1,4%		
pH	--	7,3 ± 2,7%	7,8 ± 2,7%	8,3 ± 2,7%	8,3 ± 2,7%	8 ± 2,7%	7,8 ± 2,7%		
E.Coli (N/100 mL)	--	--	1,0 x 10 ⁵	0,8 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁵		

Quando se procedeu à aplicação do teste de Mann-Whitney para testar a igualdade das medianas dos valores observados para os diversos parâmetros ao longo destes dois eventos pluviométricos, verificou-se que, com base nestas observações, não há diferenças significativas entre os dois grupos.

Pela análise da tabela anterior, pode verificar-se que, tal como seria de esperar todos os parâmetros estudados, exceto *E. coli*, apresentaram os seus valores máximos associados ao efeito de lavagem das primeiras escorrências das águas pluviais, dos poluentes acumulados e imediatamente a seguir aos picos de intensidade máxima de precipitação, conforme descrito por [103], [104].

No caso do evento de 15 de janeiro, os valores máximos de todos os parâmetros exceto CQO, CBO₅, *E. coli*, Ni e Zn, são mais elevados do que no evento de 17 de março. O facto pode ser explicado pelo primeiro evento ter apresentado intensidade de precipitação muito mais elevada, e gerado maiores caudais de escorrências de águas pluviais, com maior capacidade de arrastamento de substâncias. No entanto, com maior caudal, as concentrações também podem tender a diminuir, não sendo assim possível, com os dados disponíveis, aferir qual das situações sucedeu, ou se foi outra hipótese não contemplada. De notar que os períodos de acumulação nos dois eventos corresponderam a 30 dias e a 34 dias, respetivamente.

Nos casos dos parâmetros CQO, CBO₅ e *E.coli*, a generalidade dos parâmetros apresenta uma evolução da concentração, em ambos os eventos, consentânea como o esperado, i.e. aumento rápido da concentração até atingir o valor máximo, correspondente à lavagem e transporte dos poluentes até ao ponto de descarga, e decaimento, mais ou menos gradual, até atingir um valor mínimo (em alguns casos inferior ao limite de quantificação do método analítico) correspondente à fase de “esgotamento” dos poluentes acumulados na

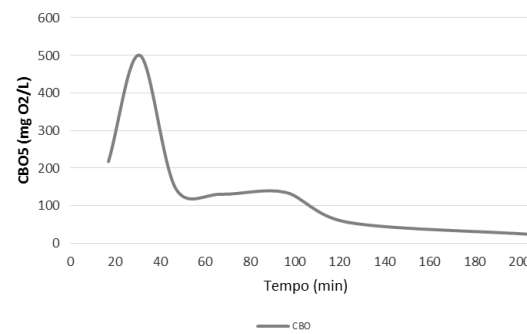
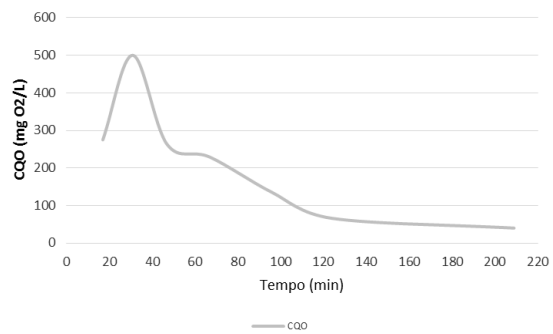
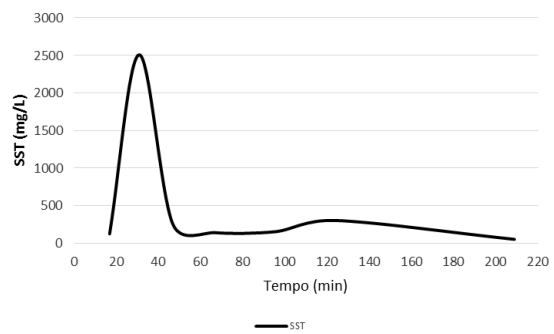
área urbana em causa. No entanto a *E.coli* não apresenta tal comportamento, surgindo picos desfasados, mais tardios, que contrariam o que seria de esperar se a origem fosse apenas a matéria orgânica/fecal acumulada nas diferentes superfícies urbanas. O comportamento observado vem reforçar a convicção da existência de descargas a partir da rede de águas residuais para a rede de águas pluviais. Este fenómeno, frequente na generalidade dos sistemas de saneamento, resulta do aumento do caudal de águas residuais em períodos de chuva, associado à ligação indevida de águas pluviais à rede de águas residuais, que não são comportáveis no sistema de águas residuais e levam à ativação de órgãos de descarga de tempestade. A compreensão do comportamento das diferentes redes e suas interligações obriga a um conhecimento profundo e detalhado das mesmas, o que no âmbito do presente projeto não foi possível, nomeadamente pela dificuldade em contactar a respetiva entidade gestora. O bom funcionamento das infraestruturas de saneamento obrigam a que não haja ligações indevidas de águas residuais na rede de pluviais, mas também que as redes de águas residuais não recebam quantidades significativas de águas pluviais. Resolvidos os problemas de 1ª geração de drenagem e tratamento das águas residuais a adequações das redes, especialmente as mais antigas, para evitar os problemas acima mencionados, constituem um dos grandes desafios para o futuro próximo. No caso do Zn e do Ni, que também apresentam valores máximos mais elevados no evento de março, tendo em conta as suas origens em meio urbano (já referidas na introdução deste trabalho), poderá estar associado a um aumento de atividades relacionadas com intervenções de manutenção de estruturas ou equipamentos urbanos (por exemplo, anti corrosão) que ocorram nesta altura do ano devido ao final do período de inverno e à melhoria das condições climatéricas.

Em seguida apresenta-se a análise gráfica dos resultados obtidos, de forma a se poder comparar a evolução temporal dos diversos

parâmetros estudados, ao longo de cada evento pluviométrico monitorizado, bem como comparar essa evolução entre os dois eventos.

Na Figura 3.7 apresentam-se os resultados obtidos para SST, CQO e CBO₅. As curvas de evolução para SST, CQO e CBO₅ são muito similares no evento de 15 de janeiro, mas parecem existir muitos SST que correspondem a partículas minerais e não a poluição química. Já no evento de 17 de março, embora sendo possível que não tenha sido monitorizado o pico de concentração (conforme justificado anteriormente), pode verificar-se que aos 36 minutos o valor de SST é inferior ao do evento de 15 de janeiro, e que em simultâneo temos CQO e CBO₅ mais elevados. Isto significa que, em março grande parte da poluição química (incluindo matéria orgânica biodegradável) se encontra dissolvida e não na forma de matéria em suspensão. De um modo geral, as concentrações mínimas de SST, CQO e CBO₅ foram quantificadas no período final de ambos os eventos pluviométricos. A evolução temporal de SST, CQO e CBO₅ observada nestes dois eventos foi, na generalidade, semelhante à já observada por outros autores para outras cidades [103], [104].

15 de janeiro de 2015



17 de março de 2015

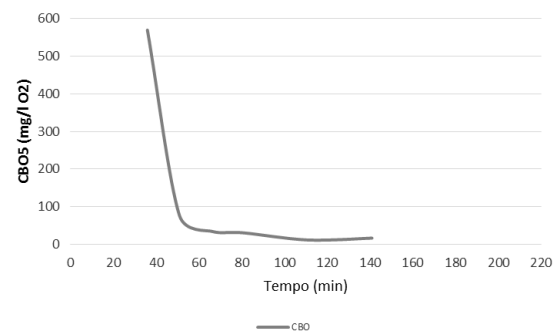
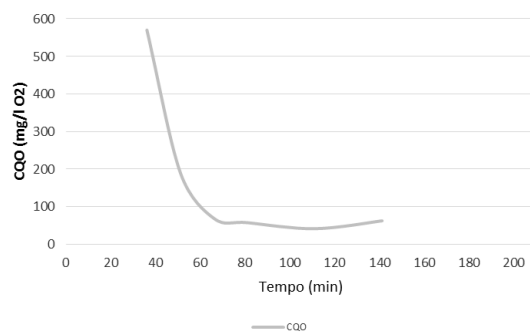
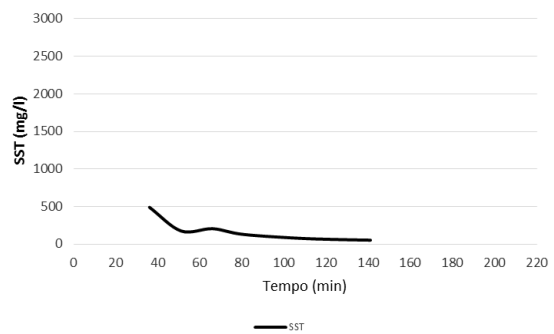
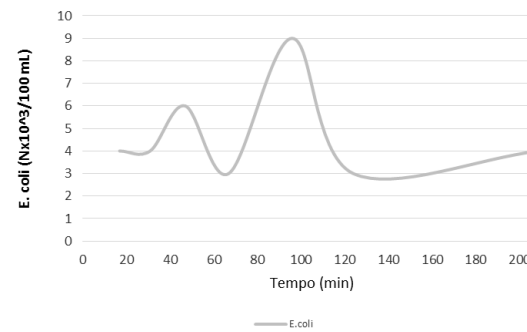
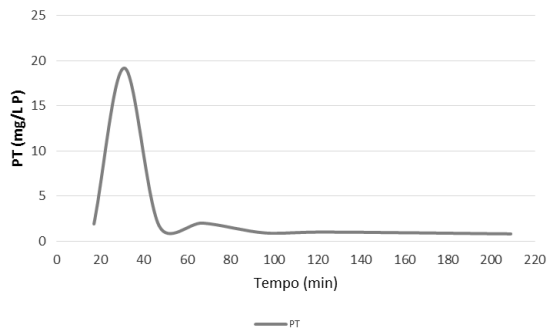
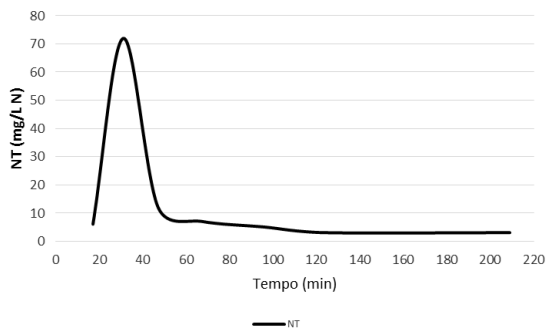


Figura 3.7 Evolução temporal de SST, CQO e CBO₅ nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.

Relativamente à variação do NT, PT e *E. coli*, em cada evento monitorizado as curvas de NT e PT têm evoluções temporais similares, verificando-se os valores mais elevados associados ao efeito de lavagem das primeiras escorrências das águas pluviais, e havendo em seguida uma diminuição clara que se tende a manter até ao final de ambos os eventos. A variação temporal da *E. coli* nos dois eventos apresenta tendências diferentes. No evento de 15 de janeiro, a *E. coli* tem um primeiro pico aos 47 minutos, provavelmente associado à contaminação fecal das águas pluviais, devida ao efeito de lavagem/arrastamento de partículas orgânicas de vários tipos de superfícies urbanas, e atinge o pico máximo aos 96 minutos, a quando da possível descarga de águas residuais no sistema de pluviais. Estudos anteriores reportam situações similares a esta na Austrália e EUA [105]. No evento de 17 de março atendendo a que a precipitação foi de muito menor intensidade, os fluxos de escorrência foram mais baixos, o que fez com que os valores quantificados de *E. coli* tendessem a ir aumentando ao longo do evento, atingindo o pico máximo na última amostragem (aos 141 minutos). Poderá existir um efeito sazonal neste parâmetro, pois valores de *E. coli* quantificados em março foram cerca de 10^2 mais elevados do que em janeiro, devido ao possível aumento da contaminação fecal das águas pluviais na primavera. É no entanto mais plausível que a diferença se encontre nas possíveis descargas de águas residuais previamente mencionadas, para as quais não existem dados suficientes que sustentem a hipótese.

15 de janeiro de 2015



17 de março de 2015

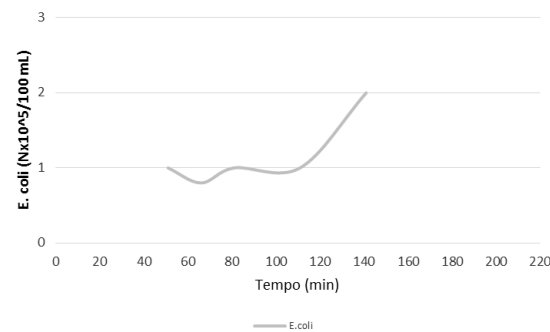
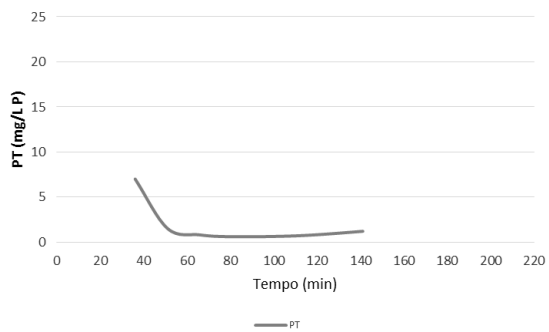
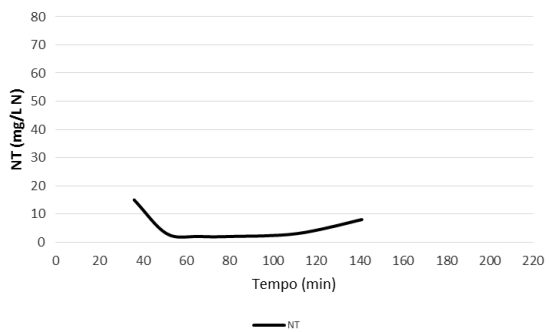
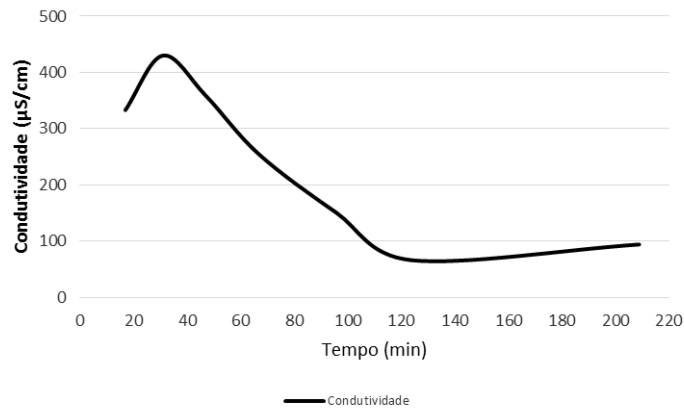


Figura 3.8 Evolução temporal de NT, PT e E.coli nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.

Nota: Atender à diferença nas escalas no caso da E.coli

A Condutividade ao longo dos dois eventos pluviométricos evoluiu da conforme representado na Figura 3.9. Verificou-se que teve padrões de evolução temporal inicial semelhantes, mas enquanto que em janeiro tendeu a estabilizar no período final do evento, em março após os 81 minutos voltou a aumentar. Esta diferença pode estar associada às diferenças dos caudais gerados pela precipitação que afetam o arrastamento de substâncias, a efeitos que a sazonalidade tem no tipo de poluentes presentes nas águas pluviais, a descargas de águas residuais, ou outras situações não contempladas. De notar que a Condutividade aumenta com a presença de substâncias que aumentem a condutância elétrica (que corresponde ao inverso da resistência), como os iões, e que diminui, por exemplo com a presença de matéria orgânica.

15 de janeiro de 2015



17 de março de 2015

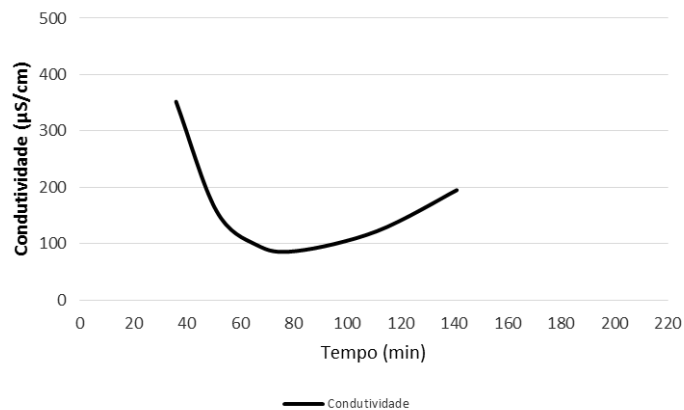
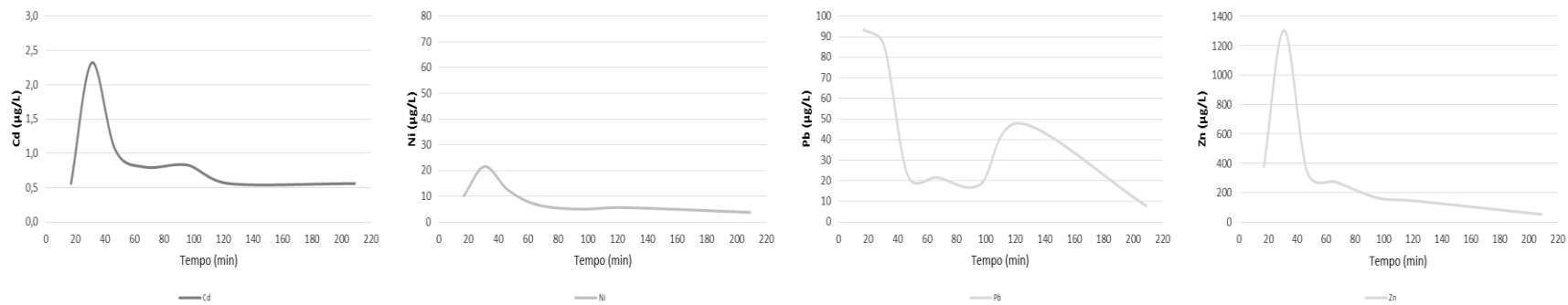


Figura 3.9 Evolução temporal de Condutividade nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.

A variação dos metais pesados, Cd, Ni, Pb e Zn, monitorizados ao longo dos dois eventos pluviométricos é representada na Figura 3.10. Em ambos os eventos, os padrões de evolução temporal dos quatro metais pesados monitorizados traduzem o efeito de lavagem inicial das águas pluviais, com os máximos a surgirem rapidamente no início dos eventos, seguidos de uma tendência de diminuição até ao final do evento. No evento de 15 de janeiro, aos 124 minutos verifica-se um acentuado aumento da concentração de Pb seguido de nova diminuição até ao final do evento. No evento de 17 de março as variações temporais dos quatro metais estudados foram muito similares entre si. Neste evento, as concentrações de metais, foram

mais elevadas do que no evento de 15 de janeiro, apesar dos períodos de acumulação apenas diferirem em 4 dias. Atendendo a que se considerou que não existem alterações nos usos do solo na SB 7 entre janeiro e março, este aumento de metais pode estar associado à sazonalidade de algumas operações de manutenção de equipamentos e/ou infraestruturas urbanas, relacionadas com atividades potencialmente responsáveis pela emissão de Pb, Ni e Zn, que são utilizados na luta contra a corrosão. No caso do Cd, pode estar associado à utilização de fertilizantes fosfatados nos espaços verdes urbanos, que é tipicamente feito no início da primavera, em março.

15 de janeiro de 2015



17 de março de 2015

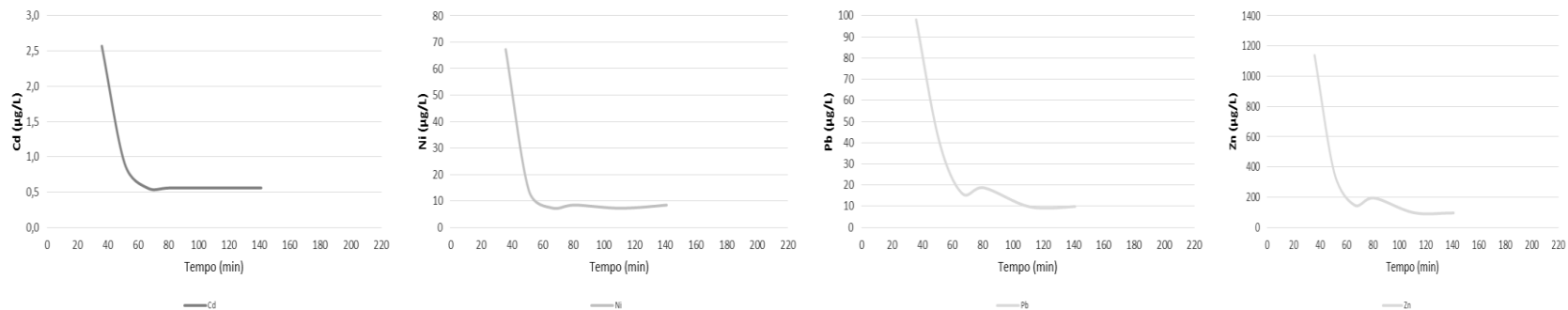


Figura 3.10 Evolução temporal de Cd, Ni, Pb e Zn nos eventos de 15 de janeiro e 17 de março de 2015.

As tabelas seguintes apresentam os resultados obtidos para o coeficiente de correlação tau de Kendall entre os diversos parâmetros ao longo dos eventos pluviométricos de 15 de janeiro e de 17 de março, e de um modo geral suportam as constatações feitas anteriormente.

Pela análise da Tabela 3.4 relativa ao evento de janeiro, confirma-se que existem correlações significativas entre NT, PT e CQO, bem como entre CQO e CBO₅. De um modo geral Cd, Ni e Zn correlacionaram-se significativamente com os parâmetros indicadores de matéria orgânica (NT, CQO e CBO₅) evidenciando a capacidade que os cátions metálicos têm para se ligar às cargas negativas existentes nas substâncias orgânicas. Nos casos dos SST e da *E. coli*, não foram identificadas correlações significativas com outros parâmetros.

No evento de março, como se pode observar na Tabela 3.5, CBO₅ e CQO apresentam entre si correlação significativa, bem como com os quatro metais quantificados, embora isso seja menos evidente entre CQO e Cd, e CQO e Zn. Os quatro metais quantificados também se apresentam correlacionados significativamente entre si, sugerindo uma origem comum.

Tabela 3.4 Coeficiente de correlação tau de Kendall obtido para os diversos parâmetros (exceto HT) no evento de 15 de janeiro de 2015

		SST	NT	PT	CBO5	CQO	Cd	Ni	Pb	Zn	Cond	pH	EColi
SST	τ	1											
	Sig. (bilateral)	.											
NT	τ	0,39	1										
	Sig. (bilateral)	0,224	.										
PT	τ	0,333	,683*	1									
	Sig. (bilateral)	0,293	0,033	.									
CBO5	τ	0,333	,683*	0,619	1								
	Sig. (bilateral)	0,293	0,033	0,051	.								
CQO	τ	0,238	,781*	,714*	,905**	1							
	Sig. (bilateral)	0,453	0,015	0,024	0,004	.							
Cd	τ	0,617	,738*	0,411	0,617	0,514	1						
	Sig. (bilateral)	0,06	0,026	0,21	0,06	0,117	.						
Ni	τ	0,429	,781*	,714*	,714*	,810*	0,514	1					
	Sig. (bilateral)	0,176	0,015	0,024	0,024	0,011	0,117	.					
Pb	τ	0,429	0,39	0,524	0,524	0,619	0,103	0,619	1				
	Sig. (bilateral)	0,176	0,224	0,099	0,099	0,051	0,754	0,051	.				
Zn	τ	0,238	,781*	,714*	,905**	1,000**	0,514	,810*	0,619	1			
	Sig. (bilateral)	0,453	0,015	0,024	0,004	.	0,117	0,011	0,051	.			
Cond	τ	0,238	,878**	0,524	,714*	,810*	0,617	,810*	0,429	,810*	1		
	Sig. (bilateral)	0,453	0,006	0,099	0,024	0,011	0,06	0,011	0,176	0,011	.		
pH	τ	-0,429	-,781*	-,905**	-0,524	-0,619	-0,514	-,810*	-0,429	-0,619	-0,619	1	
	Sig. (bilateral)	0,176	0,015	0,004	0,099	0,051	0,117	0,011	0,176	0,051	0,051	.	
EColi	τ	-0,053	0,108	-0,265	0,159	0,053	0,286	0,053	-0,159	0,053	0,265	0,159	1
	Sig. (bilateral)	0,874	0,748	0,427	0,634	0,874	0,408	0,874	0,634	0,874	0,427	0,634	.

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral); **. A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Tabela 3.5 Coeficiente de correlação tau de Kendall obtido para os diversos parâmetros (exceto HT) no evento de 17 de março de 2015

		SST	NT	PT	CBO5	CQO	Cd	Ni	Pb	Zn	Cond	pH	E.Coli
SST	τ	1											
	Sig. (bilateral)	.											
NT	τ	-0,072	1										
	Sig. (bilateral)	0,845	.										
PT	τ	0,333	0,645	1									
	Sig. (bilateral)	0,348	0,079	.									
CBO5	τ	,733*	0,215	0,6	1								
	Sig. (bilateral)	0,039	0,559	0,091	.								
CQO	τ	0,6	0,358	,733*	,867*	1							
	Sig. (bilateral)	0,091	0,33	0,039	0,015	.							
Cd	τ	0,602	0,555	,775*	,775*	,775*	1						
	Sig. (bilateral)	0,114	0,163	0,042	0,042	0,042	.						
Ni	τ	0,467	0,358	0,6	,733*	0,6	,775*	1					
	Sig. (bilateral)	0,188	0,33	0,091	0,039	0,091	0,042	.					
Pb	τ	0,6	0,215	0,467	,867*	,733*	,775*	,867*	1				
	Sig. (bilateral)	0,091	0,559	0,188	0,015	0,039	0,042	0,015	.				
Zn	τ	,733*	0,072	0,333	,733*	0,6	,775*	,733*	,867*	1			
	Sig. (bilateral)	0,039	0,845	0,348	0,039	0,091	0,042	0,039	0,015	.			
Cond	τ	0,067	,931*	,733*	0,333	0,467	0,602	0,333	0,2	0,067	1		
	Sig. (bilateral)	0,851	0,011	0,039	0,348	0,188	0,114	0,348	0,573	0,851	.		
pH	τ	-0,072	-,923*	-,788*	-0,358	-0,501	-0,74	-0,501	-0,358	-0,215	-,931*	1	
	Sig. (bilateral)	0,845	0,016	0,032	0,33	0,173	0,063	0,173	0,33	0,559	0,011	.	
E.Coli	τ	-0,837	0,802	0,12	-0,359	-0,12	0	0,12	-0,12	-0,359	0,598	-0,668	1
	Sig. (bilateral)	0,052	0,078	0,782	0,405	0,782	1	0,782	0,782	0,405	0,166	0,142	.

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral); **. A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Em função dos valores obtidos para a SB 7 nos dois eventos monitorizados em época húmida, calcularam-se as Cargas médias de evento, Cargas mássicas e Cargas por unidade de área dos diferentes parâmetros monitorizados, e estimaram-se as respetivas Cargas mássicas do perímetro urbano (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 Cargas médias de evento, Cargas mássicas e Cargas por unidade de área nos eventos de 15 de janeiro e de 17 de março de 2015.

Parâmetro	Sub-bacia 7 15 de janeiro			Bacia do perímetro urbano
	CME (mg/L)	Carga mássica (kg)	Carga por unidade de área (kg/km ²)	Carga mássica (kg)
SST	316	4661	3950	18565
NT	9	126	107	502
PT	2.1	32	27	127
CQO	128	1889	1601	7524
CBO ₅	123	1808	1532	7201
Ni	6,73 x 10 ⁻³	0,099	0,084	0,394
Cd	0,79 x 10 ⁻³	0,012	0,010	0,048
Pb	33,46 x 10 ⁻³	0,493	0,418	2
Zn	0,241	3,545	3,004	14
<i>E. coli</i> (N/100mL)	4x10 ³	--	--	--
Parâmetro	Sub-bacia 7 17 de março			Bacia do perímetro urbano
	CME (mg/L)	Carga mássica (kg)	Carga por unidade de área (kg/km ²)	Carga mássica (kg)
SST	245	2640	2237	10515
NT	6	65	55	259
PT	3	30	25	119
CQO	244	2633	2231	10487
CBO ₅	210	2264	1919	9018
Ni	2,691 x 10 ⁻²	0,29	0,246	1,155
Cd	1,18 x 10 ⁻³	0,012	0,010	0,048
Pb	45,53 x 10 ⁻³	0,492	0,417	2
Zn	0,491	5,299	4,491	21
<i>E. coli</i> (N/100mL)	1,2x10 ⁵	--	--	--

É necessário referir que os valores de CME podem ser afetados em grande medida por sobrestimação ou subestimação, devido ao método utilizado (equação 2), e devido às consideráveis variações deste parâmetro de acordo com o evento monitorizado. Estas variações foram reportadas em vários estudos [40], [98], [103], [105]–[107]. De realçar também que, no evento de 17 de março, devido à recolha se ter iniciado 36 minutos após o início da precipitação, os valores da CME podem estar subestimados, uma vez que pode não ter sido monitorizado o efeito de lavagem associado às primeiras escorrências, que apresentam tipicamente os picos máximos de concentração de poluentes [103], [104].

Em relação à legislação de referência nacional (Decreto-Lei nº236/1998 de 1 de Agosto), o valor da CME de SST (316 mg/L) foi em janeiro 5,3 vezes superior ao VLE para descarga de águas residuais (60 mg/L), e em março (SST = 245 mg/L) 4,1 vezes superior ao VLE.

No evento de 15 de janeiro de 2015, o CME de CQO foi inferior ao VLE (150 mg/L O₂), mas o CME de CBO₅ foi superior ao VLE (40 mg/L O₂). No evento de 17 de março de 2015, ambos os CME de CQO e de CBO₅ são superiores aos VLE. Confirmou-se assim o que se referiu anteriormente sobre a poluição orgânica presente nestas águas pluviais e o efeito que a sazonalidade e/ou as descargas de águas residuais podem ter sobre ela, na cidade de Faro.

Em ambos os eventos, o NT teve resultados de CME superiores aos verificados no Reino Unido (3,2 mg /L N) [108], [109] nos EUA [45] e nos calculados a nível global [110], encontrando-se no entanto dentro da gama de valores referidos nesses estudos (0,4 – 20,0 mg/L N). Em relação à legislação nacional, os valores de NT foram inferiores ao VLE para descarga de águas residuais (15 mg/L N) nos dois eventos.

Quanto ao PT, os valores obtidos para a CME, foram superiores aos já quantificados nos EUA [45] e no Reino Unido [108], [110]. Estas diferenças podem dever-se aos diferentes usos do solo nas cidades em questão, nomeadamente em termos de espaços verdes, cuja fertilização é a principal fonte de fósforo. Comparativamente ao Decreto-Lei nº236/1998 de 1 de Agosto, os valores de PT foram menores ou iguais ao VLE para descargas em cursos de água que alimentem lagoas ou albufeiras (3 mg/L P), mas superiores ao VLE se a sua descarga for efetuada diretamente em lagoas ou albufeiras (0,5 mg/L P).

Em termos de *E.coli*, e de acordo com estudos prévios [108], [111]–[113], os valores de CME no Reino Unido situam-se entre os 400 e os 50000 MPN/100 mL, e entre os 542 e os 19496 MPN/100 mL na cidade de Melbourne, na Austrália [105], associados a diferentes tipos de usos urbanos de solo e a diferentes superfícies.

O valor de CME de *E.coli* obtido no evento de 15 de janeiro está dentro destes limites, com o valor obtido no evento de 17 de março a ser uma ordem de grandeza superior ao máximo destes limites.

Os valores da CME de Cd, Ni e Pb são inferiores aos quantificados a nível global [110] (apenas países do Norte da Europa, no caso do Ni), com o Pb a também ser inferior em relação a valores quantificados no Reino Unido [108], [109] e nos EUA [45]. De acordo com o Decreto-Lei nº236/1998 de 1 de Agosto, Cd, Ni e Pb cumpriram os VLE's. A CME de Zn é superior quando comparada com o valor quantificado a nível global [110], sendo que no caso do evento de 15 de janeiro é inferior ao quantificado no RU [108], e superior no evento de 17 de março em relação ao mesmo estudo.

Durante os eventos o pH variou entre os 7,1 e os 8,3, que são valores comuns para águas superficiais [102], e que se encontram dentro do intervalo referido na legislação nacional (6,0-9,0).

4. Considerações Finais e Perspetivas Futuras

Os resultados obtidos neste estudo devem ser encarados como uma primeira abordagem à caracterização das águas pluviais da cidade de Faro, que deve ser complementada com estudos futuros. No entanto, as campanhas efetuadas mostram uma forte componente orgânica nas águas pluviais da cidade de Faro, por vezes com valores de parâmetros indicadores superiores aos limites definidos legalmente para descarga de águas residuais. O PT revelou-se um parâmetro crítico, apresentando-se correlacionado com o Cd (Tabela 3.5), provavelmente associado à fertilização de espaços verdes urbanos. Atendendo a que o fósforo é o principal nutriente responsável pela eutrofização dos ecossistemas aquáticos e que o meio recetor destas águas pluviais é o Parque Natural da Ria Formosa, responsável por numerosos ecoserviços à população, esta questão pode constituir não só um problema ambiental mas também económico e de saúde pública. Neste domínio, também a contaminação fecal detetada nas águas pluviais de Faro, pode causar danos, nomeadamente em termos de contaminação dos bivalves produzidos na Ria Formosa. Apesar das concentrações dos metais pesados monitorizados se apresentarem, em quase todas as colheitas, inferiores aos VLE's permitidos, e mesmo inferiores aos referidos noutros estudos [45], [106]–[110], em termos de cargas mássicas descarregadas na Ria Formosa podem constituir um perigo, atendendo à sua persistência e bioacumulação ao longo da cadeia trófica. De notar por exemplo que, de acordo com este trabalho, nos eventos pluviométricos de 15 de janeiro e 17 de março podem ter sido descarregados diretamente na Ria Formosa, 2 kg de Pb (em ambos os eventos) e 14 e 21 kg de Zn, respetivamente. Desta forma é importante a criação de uma estratégia de intervenção a nível local, que permita um pré-tratamento destas águas pluviais, antes de serem lançadas no ecossistema envolvente. A retenção das águas pluviais, durante algum tempo, em sistemas adequados para sedimentação de

partículas e pré-tratamento, por exemplo através do recurso a fitotecnologias, constituiria uma medida de melhoria no âmbito da proteção do ambiente e da saúde pública.

Assim sendo, considera-se que os objetivos propostos para este estudo foram alcançados, mas que é necessário dar-lhe continuidade, num formato mais abrangente, incluindo a recolha de dados sobre mais sub-bacias de drenagem da cidade de Faro e a monitorização de um maior número de eventos pluviométricos. De realçar também que, será importante incluir-se na caracterização das águas pluviais a quantificação de Hidrocarbonetos (Totais e Aromáticos Policíclicos), bem como de Cobre, tal como sugerido em estudos prévios sobre águas pluviais [35], [36], [40], [70], [108], [114].

5. CONCLUSÕES

Foi efetuada a caracterização das águas pluviais da cidade de Faro com base em quatro campanhas de monitorização e com metodologia específica elaborada para o efeito. Concluiu-se que as primeiras descargas ocorrem antes dos 20 minutos após o início da precipitação, e que apresentam um efeito de primeira descarga até aos 60 minutos após início do evento. Foi detetada uma forte componente orgânica e biológica, com os metais a encontrarem-se dentro dos valores legislados. Pode-se também concluir que uma atuação ao nível da retenção e tratamento do volume escoado até aos 60 minutos poderá diminuir significativamente a carga poluente descarregada na Ria Formosa. Sugere-se que este estudo seja continuado, num formato possivelmente mais abrangente a nível de sub-bacias amostradas e número de eventos monitorizados. Considera-se que os objetivos propostos foram cumpridos, reconhecendo no entanto algumas limitações ao estudo efetuado, previamente referidas, próprias do carácter inovador do mesmo na região.

BIBLIOGRAFIA

- [1] WWF (World Wildlife Fund), "Living Planet report 2014", Relatório WWF, Gland, Suíça, 2014, ISBN 978-2-940443-87-1.
- [2] OMS/UNICEF, "Progress on Sanitation and Drinking Water - 2015 Update and MDG Assessment", Relatório, Genebra, Suíça, 2015, ISBN: 978-92-4-150914-5.
- [3] H. Hoff, "Water, Energy and Food Security Challenges and Opportunities", Apresentação do *Stockholm Environment Institute* na *Bonn2011 Conference*, 2011.
- [4] WWF (World Wildlife Fund), "The Energy Report", Relatório da WWF International, p. 96, Gland, Suíça, 2011, ISBN 978-2-940443-26-0.
- [5] D. Haase, "Reflections about blue ecosystem services in cities", *Sustain. Water Qual. Ecol.*, vol. 5, pp. 77–83, 2015.
- [6] M. J. Gunnarsdottir, S. M. Gardarsson, e J. Bartram, "Developing a national framework for safe drinking water--case study from Iceland", *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 218, no. 2, pp. 196–202, 2015.
- [7] J. A. Castro-Hermida, M. González-Warleta, e M. Mezo, "Cryptosporidium spp. and Giardia duodenalis as pathogenic contaminants of water in Galicia, Spain: the need for safe drinking water", *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 218, no. 1, pp. 132–8, 2015.
- [8] OMS (Organização Mundial de Saúde), "Drinking-water Fact sheet N°391", 2015, Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/>.
- [9] UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs), "World Economic and Social Survey 2009 - Promoting Development , Saving the Planet", Relatório E/2009/50/Rev.1 ST/ESA/319 , UN Publications, Nova Iorque, EUA, 2009, ISBN 978-92-1-109159-5.
- [10] M. Zalewski e I. Wagner-Lotkowska, "Integrated Watershed Management - Ecohydrology & Phytotechnology Manual", 2nd ed., UN Publications, Genebra, Suíça, 2004.
- [11] J. M. P. Vieira, "A strategic approach for Water Safety Plans implementation in Portugal", *J. Water Health*, vol. 9, no. 1, pp. 107–16, 2011.

- [12] V. Novotny, "Footprint tools for Cities of the Future : moving towards sustainable urban water use", *Water21 mag.*, 2010.
- [13] EPA (United States Environmental Protection Agency), "2012 Guidelines for Water Reuse", Relatório EPA/600/R-12/618, Washington, EUA, 2012.
- [14] OMS (Organização Mundial de Saúde), "Urban Population Growth", Página web, Disponível em http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth_text/en/. [Acedido em 12-12-2014].
- [15] ONU (Organização das Nações Unidas), "World Urbanization Prospects - The 2014 Revision", Relatório ST/ESA/SER.A/366, Nova Iorque, EUA, 2015.
- [16] R. Villarroel Walker, M. B. Beck, J. W. Hall, R. J. Dawson, e O. Heidrich, "The energy-water-food nexus: strategic analysis of technologies for transforming the urban metabolism", *J. Environ. Manage.*, vol. 141, pp. 104–115, 2014.
- [17] M. B. Beck e R. Villarroel Walker, "On water security, sustainability, and the water-food-energy-climate nexus", *Front. Environ. Sci. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 626–639, 2013.
- [18] B. P. Walsh, S. N. Murray, e D. T. J. O'Sullivan, "The water energy nexus, an ISO50001 water case study and the need for a water value system", *Water Resour. Ind.*, vol. 10, pp. 15–28, 2015.
- [19] B. Tarroja, A. AghaKouchak, R. Sobhani, D. Feldman, S. Jiang, e S. Samuelsen, "Evaluating options for balancing the water-electricity nexus in California: part 1--securing water availability", *Sci. Total Environ.*, vol. 497–498, pp. 697–710, 2014.
- [20] M. Lafont, C. Jézéquel, A. Vivier, P. Breil, L. Schmitt, e S. Bernoud, "Refinement of biomonitoring of urban water courses by combining descriptive and ecohydrological approaches", *Ecohydrol. Hydrobiol.*, vol. 10, no. 1, pp. 3–11, 2010.
- [21] I. Wagner e P. Breil, "The role of ecohydrology in creating more resilient cities", *Ecohydrol. Hydrobiol.*, vol. 13, no. 2, pp. 113–134, 2013.
- [22] National Geographic, "The Urban Water Cycle: Sustaining Our Modern Cities", Página web, Disponível em: <http://voices.nationalgeographic.com/2014/03/19/the-urban-water-cycle-sustaining-our-modern-cities/>. [Acedido em 07-02-2015].

- [23] S. Perales-Momparler, I. Andrés-Doménech, J. Andreu, and I. Escuder-Bueno, "A regenerative urban stormwater management methodology: the journey of a Mediterranean city", *J. Clean. Prod.*, 2015.
- [24] J. Marsalek, P. Breil, B. Jiménez-Cisneros, M. Karamouz, P. Malmquist, J. Goldenfum e B. Chocat, "Urban Water Cycle Processes and Interactions", IHP-VI Technical Document in Hydrology N°78, UNESCO, Paris, França, 2007.
- [25] A. Jordan,, T. Rayner, H. Schroeder, N. Adger, K. Anderson, A. Bows, C. Le Quéré, M. Joshi, S. Mander, N. Vaughan e L. Whitmarsh, "Going beyond two degrees? The risks and opportunities of alternative options", *Climate Policy*, 13:6, 751-769, 2013.
- [26] WWAP (World Water Assessment Programme), "The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk", Relatório, UNESCO, Paris, França, 2012, ISBN 978-92-3-104235-5.
- [27] MED WS&D WG (Mediterranean Water Scarcity & Drought Work Group), "Mediterranean Water Scarcity and Drought Report", Relatório Técnico 009 - 2007, Publications Office of the European Union, Bruxelas, Bélgica, 2007.
- [28] IPCC (International Panel on Climate Change), "Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Relatório, IPCC. Genebra, Suíça, 2008, ISBN 92-9169-122-4.
- [29] EEA (European Environment Agency), "Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012", Relatório 12/2012, EEA, 2012, ISBN: 978-92-9213-346-7.
- [30] UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), "Guidance on Water and Adaptation to Climate Change", UN Publication, Genebra, Suíça, 2009, ISBN: 978-92-1-117010-8.
- [31] B. Bates, Z. W. Kundzewicz, S. Wu, e J. Palutikof, "Climate Change and Water", Technical Paper of the IPCC, IPCC, Genebra, Suíça, 2008.
- [32] EPA (United States Environmental Protection Agency), "Summary of the Clean Water Act", Página web, Disponível em: <http://www2.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>. [Acedido em 10-11-2014].

- [33] B. Davis e G. Birch, "Comparison of heavy metal loads in stormwater runoff from major and minor urban roads using pollutant yield rating curves", *Environ. Pollut.*, vol. 158, no. 8, pp. 2541–5, 2010.
- [34] A. E. Barbosa, A. Telhado, J. Calição, J. N. Fernandes, J. Vieira, L. V. Almeida, M. Whitehead, P. J. Ramísio, P. B. Antunes e R. Baguinho, "Directrizes para a gestão integrada das escorrências de estradas em Portugal", LNEC, Lisboa, Portugal, 2011.
- [35] M. Kayhanian, C. Suverkropp, a Ruby, e K. Tsay, "Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration", *J. Environ. Manage.*, vol. 85, no. 2, pp. 279–95, 2007.
- [36] L. Lundy, J. B. Ellis, e D. M. Revitt, "Risk prioritisation of stormwater pollutant sources", *Water Res.*, vol. 46, no. 20, pp. 6589–600, 2012.
- [37] EC (Comissão Europeia), "Directiva 2008/105/EC", Publications Office of the European Union, Bruxelas, Bélgica, 2008.
- [38] EEA (European Environment Agency), "Surface waters: 12 new controlled chemicals, three pharmaceuticals on watch list", Press release no. 20130701, pp. 32–33, 2013.
- [39] A.M. Mahoque, F.C. Garcia, M. Moreira da Silva, N. Atanasova, A. Rebelo, "Aplicação WebGIS para Análise do Comportamento de Substâncias Prioritárias da DQA na Bacia Hidrográfica do Algarve", Procedimentos da SILUSBA, Maputo, Angola, 2013.
- [40] J. B. Ellis e P. R. Chatfield, "Diffuse urban oil pollution in the UK", *Urban Water J.*, vol. 3, no. 3, pp. 165–173, 2006.
- [41] G. Kim, J. Yur, e J. Kim, "Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea", *J. Environ. Manage.*, vol. 85, no. 1, pp. 9–16, 2007.
- [42] N. Metsäranta, J. Kotola, e J. Nurminen, "Effects of urbanization on runoff water quantity and quality : Experiences from test catchments in Southern Finland", *Int. J. River Basin Manag.*, no. July, pp. 37–41, 2014.
- [43] A. E. Barbosa, J. N. Fernees, and L. M. David, "Key issues for sustainable urban stormwater management", *Water Res.*, vol. 46, no. 20, pp. 6787–6798, 2012.
- [44] D. B. May e M. Sivakumar, "Prediction of heavy metal concentrations in urban stormwater", *Water Environ. J.*, vol. 23, no. 4, pp. 247–254, 2009.

- [45] P. L. Brezonik e T. H. Stadelmann, "Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA", *Water Res.*, vol. 36, no. 7, pp. 1743–57, 2002.
- [46] A. Candela, G. Freni, G. Mannina, e G. Viviani, "Quantification of diffuse and concentrated pollutant loads at the watershed-scale: an Italian case study", *Water Sci. Technol.*, vol. 59, no. 11, pp. 2125–35, 2009.
- [47] A. C. D. Morihama, C. Amaro, E. N. S. Tominaga, L. F. O. L. Yazaki, M. C. S. Pereira, M. F. a. Porto, P. Mukai, e R. M. Lucci, "Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions", *Water Sci. Technol.*, vol. 66, no. 4, p. 704, 012.
- [48] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxic Substances", Página web, Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxicsubstances.html>. [Acedido em 20-01-2015]
- [49] EPA (United States Environmental Protection Agency), "Toxic Substances", Página web, Disponível em <http://www2.epa.gov/regulatory-information-topic/toxic-substances>. [Acedido em 20-01-2015]
- [50] OMS (Organização Mundial de Saúde), "Toxic Hazards", Página web, Disponível em <http://www.who.int/heli/risks/toxics/chemicals/en/>. [Acedido em 20-01-2015]
- [51] M. Ilie, F. Marinescu, G. Ghita, GY. Deak, G.S. Tanase e M. Raischi, "Assessment of heavy metal in water and sediments of the Danube River", *J. Environ. Prot. and Ecology*, 15, pp. 825-833, 2014.
- [52] H. Keran, A. Odobasic, S. Catic, N. Ahmetovic, M. Salkic e I. Sestan, "Lead and cadmium concentrations in vegetables, the base for the calculation of their index and risk assessment", *J. Environ. Prot. and Ecology*, 12, pp. 1700-1706, 2011.
- [53] P. Tsoumbaris, N. Papadakis, G. Sargiotis, P. Georgianos e K. Nikolaou, "Determination of heavy metals in drinking water of the Evros Prefecture", *J. Environ. Prot. and Ecology*, 14, pp. 359-364, 2013.
- [54] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxicological profile for cadmium", Relatório, 2012.
- [55] ECHA (European Chemicals Agency), "Cadmium", Página web, Disponível em: <http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS->

9ea7def6-ce71-0a3c-e044-00144f67d031/DISS-9ea7def6-ce71-0a3c-e044-00144f67d031_DISS-9ea7def6-ce71-0a3c-e044-00144f67d031.html. [Acedido em 01-02-2015].

- [56] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxicological profile for lead", Relatório, 2017.
- [57] OMS (Organização Mundial de Saúde), "Lead poisoning and health Fact sheet N°379", 2015, Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/>.
- [58] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxicological profile for copper", Relatório, 2004.
- [59] ECHA (European Chemicals Agency), "Copper", Página web, Disponível em: http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9eac53ad-5807-2896-e044-00144f67d031/AGGR-c4f87835-46c1-4338-9728-3a92ef6c2b25_DISS-9eac53ad-5807-2896-e044-00144f67d031.html#section_1.1. [Acedido em 01-02-2015].
- [60] J.W. Hunt, B.S. Anderson, B.M. Phillips, R.S. Tjeerdema, H.M. Puckett HM, M. Stephenson, D.W. Tucker, e D. Watson, "Acute and Chronic toxicity of nickel to marine organisms: implications for water quality criteria", *Environ. Toxicol. and Chemistry*, vol. 21, n.11, pp. 2423-2430, 2002.
- [61] A. Pourkhabbaz, T. Khazaei, S. Behravesht, M. Ebrahimpour e H. Pourkhabbaz, "Effect of water hardness on the toxicity of cobalt and nickel to a freshwater fish, *Capoeta fusca*", *Biomed. and Environ. Sci.*, 24(6), pp. 656-660, 2011.
- [62] N.M.E. Deleebeek, K.A.C. De Schamphelaere e C.R. Janssen, "A bioavailability model predicting the toxicity of nickel to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fathead minnow (*Pimephales promelas*) in synthetic and natural waters", *Ecotox. and Environ. Safety*, n.67, pp.1-13, 2007.
- [63] G. Gorbi G, M. Invidia, F. Savorelli, O. Faraponova, E. Giacco, M. Cigar, I. Buttino, T. Leoni, E. Prato, I. Lacchetti, e S. Sei, "Standardized methods for acute and semichronic toxicity tests with the copepod *Acartia tonsa*", *Environ. Toxicol. and Chemistry*, 31(9), pp. 2023-2028, 2012.
- [64] M. Wang, D. Wang, G. Huang, e H. Hong, "Influence of N, P additions on the transfer of nickel from phytoplankton to copepods", *Environ. Pollut.*, vol. 148, pp. 679-687, 2007.

- [65] ECHA (European Chemicals Agency), "Nickel", Página web, Disponível em: http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9c89f26c-cf7d-1078-e044-00144f67d249/DISS-9c89f26c-cf7d-1078-e044-00144f67d249_DISS-9c89f26c-cf7d-1078-e044-00144f67d249.html. [Acedido em 01-02-2015].
- [66] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxicological profile for nickel", Relatório, 2005.
- [67] P. Apostoli e S. Catalani, "Metal ions affecting reproduction and development", *Ions in Life Scien.*, vol. 8, pp. 263-303, 2011.
- [68] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxicological profile for zinc", Relatório, 2005.
- [69] ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry), "Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons", Relatório, 1995.
- [70] L. J. Heintzman, T. a. Eerson, D. L. Carr, e N. E. McIntyre, "Local and landscape influences on PAH contamination in urban stormwater", *Landsc. Urban Plan.*, vol. 142, pp. 29–37, 2015.
- [71] A. Kamal e R. N. Malik, "Comments on 'polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban surface dust of Guangzhou, China: status, sources and human health risk assessment'", *Sci. Total Environ.*, vol. 478, no. January, p. 200, 2014.
- [72] A. Seidel, "Biomonitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons — Human Exposure", Capítulo 3 do "The Carcinogenic Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons" editado por A. Luch, Imperial College Press, Londres, Inglaterra, 2005, ISBN 1-86094-417-5.
- [73] EPA (United States Environmental Protection Agency), "5.5 Turbidity", Página web, Disponível em: <http://water.epa.gov/type/rs/monitoring/vms55.cfm>. [Acedido em 20-02-2015]
- [74] G. Tchobanoglous, F. L. Burton e H. D. Stensel, "Wastewater engineering: Treatment and reuse", 4th edition, McGraw-Hill, Nova Iorque, EUA, 2002, ISBN 978-0-07-112250-8.
- [75] M. L. Davies, "Water and wastewater engineering -Design Principles and Practice", McGraw-Hill, Nova Iorque, EUA, 2010, ISBN: 978-0-07-171385-6.
- [76] A.D. Eaton, L.S. Clesceri, E. Rice e A. Greenberg, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 21st edition,

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington, EUA 2005.

- [77] D. Al Bakri, S. Rahman, e L. Bowling, "Sources and management of urban stormwater pollution in rural catchments, Australia", *J. Hydrol.*, vol. 356, no. 3–4, pp. 299–311, 2008.
- [78] M. T. Cabrita, A. Silva, P. B. Oliveira, M. M. Angélico, e M. Nogueira, "Assessing eutrophication in the Portuguese continental Exclusive Economic Zone within the European Marine Strategy Framework Directive", *Ecol. Indic.*, vol. 58, pp. 286–299, 2015.
- [79] S. Pinedo, R. Arévalo, e E. Ballesteros, "Seasonal dynamics of upper sublittoral assemblages on Mediterranean rocky shores along a eutrophication gradient", *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 161, pp. 93–101, 2015.
- [80] C. Vale, D. Matias, F. Soares, M. J. Botelho, M. Caetano, A. C. Almeida, M. L. Santos, e P. Brito, "Qualidade Ambiental e Sustentabilidade dos Recursos Biológicos da Ria Formosa", Relatório POLIS Litoral/IPMA, Faro, Portugal, 2013.
- [81] Anita, A. Kumar, A.K. Verma, M.K. Gupta, A. Rahal, "Multidrug resistant pathogenic Escherichia coli status in water sources and Yamuna River in and around Mathura, India", *Pak. J. Biol. Sci.*, 17(4), pp. 540-544, 2014.
- [82] EPA (United States Environmental Protection Agency), "Basic Information about E. coli O157:H7 in Drinking Water", Página web, Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/ecoli.cfm>. [Acedido em 20-01-2015].
- [83] INE I.P. - Instituto Nacional de Estatística, "Anuário Estatístico da Região do Algarve 2012", Relatório, p. 340, INE I.P., Lisboa, Portugal, 2013.
- [84] IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), "Normais Climatológicas", Página web, Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>. [Acedido em 14-09-2014].
- [85] P. M. A. Miranda, "Meteorologia e Ambiente", p. 321, Universidade Aberta, Lisboa, Portugal, 2001.
- [86] R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton,

e M. van den Belt, "The value of the world's ecosystem services and natural capital", *Nature*, vol. 387, no. 6630, pp. 253–260, 1997.

- [87] S. R. Carpenter e C. Folke, "Ecology for transformation", *Trends in Ecology and Evolution*, 21, pp. 309–315, 2006.
- [88] S. T. Lovell e D. M. Johnston, "Designing Landscapes for Performance Based on Emerging Principles in Landscape Ecology", vol. 14, no. 1, 2009.
- [89] P. Zorrilla-Miras, I. Palomo, E. Gómez-Baggethun, B. Martín-López, P. L. Lomas, e C. Montes, "Effects of land-use change on wetland ecosystem services: A case study in the Doñana marshes (SW Spain)", *Landsc. Urban Plan.*, vol. 122, pp. 160–174, 2014.
- [90] R. Lopes e N. Videira, "Valuing marine and coastal ecosystem services: An integrated participatory framework", *Ocean Coast. Manag.*, vol. 84, pp. 153–162, 2013.
- [91] J. G. Ferreira, P. F. Abreu, A. M. Bettencourt, S. B. Bricker, J. C. Marques, J. J. Melo, A. Newton, A. Nobre, J. Patricio, F. Rocha, R. Rodrigues, F. Salas, M. C. Silva, T. Simas, C. V. Soares, P. E. Stacey, C. Vale, M. de Witt, e W. J. Wolff, "Water Quality and Ecology", UN Publications, Genebra, Suíça, 2005.
- [92] A. M. Bettencourt, S. B. Bricker, J. G. Ferreira, A. Franco, J. C. Marques, J. J. Melo, A. Nobre, L. Ramos, C. S. Reis, F. Salas, M. C. Silva, T. Simas, e W. J. Wolff, "Typology and reference conditions for portuguese transitional and coastal waters", UN Publications, Genebra, Suíça, 2004.
- [93] J. G. Ferreira, T. Simas, A. Nobre, M. C. Silva, K. Shifferegger, e J. Lencart-Silva, "Identification of sensitive areas and vulnerable zones in transitional and coastal portuguese systems", UN Publications, Genebra, Suíça, 2003.
- [94] J. Michalakes,, J. Dudhia, D. Gill, J. Klemp e W. Skamarock, "Design of a next-generation regional weather research and forecast model: Towards Teracomputing", *World Scientific*, pp. 117-124, 1998.
- [95] M. Kanamitsu, J. C. Alpert, K.A. Campana, P.M. Caplan, D.G. Deaven, M. Iredell, B. Katz, H.L. Pan, J. Sela J. e G.H. White, "Recent changes implemented into the global forecast system at NMC", *Weather and Forecasting*, 6, pp. 425-435, 1991.
- [96] ISO (International Organization for Standardization), "ISO 9308-1: Water Quality – Detection and enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria", ISSO, Genebra, Suíça, 2000.

- [97] R.G. Heart, R. Horner, J. Jones, M. Josselyn, R. Pitt, e M.K. Stenstrom, , "Sample Collection Methods for Runoff Characterization at Santa Susana Field Laboratory" Relatório do SSFL CDO Expert Panel, Santa Susana, EUA, 2008.
- [98] M.C. Maniquiz, J. Choy, S. Lee, H.J. Cho e L. Kim, "Appropriate Methods in Determining the Event Mean Concentration and Pollutant Removal Efficiency of a Best Management Practice", *Environ. Eng. Research*, 15(4), p. 215-223, 2010.
- [99] K. Atkinson, "An Introduction to Numerical Analysis", 2nd ed., John Wiley & Sons, Nova Iorque, EUA, 1989.
- [100] J. McCarthy, "Pollutant Loading Calculations – The Simple Method. New Hampshire Stormwater Manual", 1, pp. 80-85, 2008.
- [101] T. Schueler, "Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices", Relatório do Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.
- [102] E. Smith, 2001, "Pollutant concentrations of stormwater and captured sediment in flood control sumps draining an urban watershed", *Water Research*, 35(13), pp. 3117-3126, 2001.
- [103] J. H. Lee, K. W. Bang, L. H. Ketchum, J. S. Choe, e M. J. Yu, "First flush analysis of urban storm runoff", *Sci. Total Environ.*, vol. 293, no. 1–3, pp. 163–175, 2002.
- [104] M. Obermann, K.-H. Rosenwinkel, e M.-G. Tournoud, "Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment", *J. Hydrol.*, vol. 373, no. 3–4, pp. 405–415, 2009.
- [105] D. T. McCarthy, J. M. Hathaway, W. F. Hunt, e a. Deletic, "Intra-event variability of Escherichia coli and total suspended solids in urban stormwater runoff", *Water Res.*, vol. 46, no. 20, pp. 6661–6670, 2012.
- [106] E. Gooré Bi, F. Monette, e J. Gasperi, "Analysis of the influence of rainfall variables on urban effluents concentrations and fluxes in wet weather", *J. Hydrol.*, vol. 523, pp. 320–332, 2015.
- [107] M. C. Maniquiz, S. Lee, e L. H. Kim, "Multiple linear regression models of urban runoff pollutant load and event mean concentration considering rainfall variables", *J. Environ. Sci.*, vol. 22, no. 6, pp. 946–952, 2010.

- [108] J. B. Ellis e G. Mitchell, "Urban diffuse pollution : key data information approaches for the Water Framework Directive", vol. 20, pp. 19–26, 2006.
- [109] J. B. Ellis e D. M. Revitt, "Defining urban diffuse pollution loadings and receiving water hazard", *Water Sci. Technol.*, vol. 57, no. 11, pp. 1817–23, 2008.
- [110] G. Mitchell, "Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning", *J. Environ. Manage.*, vol. 74, no. 1, pp. 1–9, 2005.
- [111] M. A. House, J.B. Ellis, E. E. Herricks, T. Hvitved-Jacobsen, J. Seager, L. Lijklema, H. Aalderink e I.T. Clifford, "Urban Drainage: Impacts on Receiving Water Quality", *Water Science Technology*, 27 (12), pp. 117–158, 1993.
- [112] J.B. D’Arcy, J.B. Ellis, R. C. Ferrier, A. Jenkins e R. Dils, (eds). "Diffuse Pollution Impacts: The Environmental and Economic Effects of Diffuse Pollution in the UK", Terence Dalton Publishers Ltd., Lavenham, Inglaterra, 2000.
- [113] F. Moy, R. Crabtree e T. Simms, "Long term monitoring of pollution from highway runoff", Environment Agency R&D Report No. P2-038, Swindon, Inglaterra, 2003.
- [114] A. Pal, Y. He, M. Jekel, M. Reinhard, e K. Y.-H. Gin, "Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle", *Environ. Int.*, vol. 71, pp. 46–62, 2014.