

MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA COM SONDAS ESPETROFOTOMÉTRICAS NUM SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Joana RAMIRÃO COSTA ⁽¹⁾; Luís MESQUITA DAVID ⁽²⁾

RESUMO

Este artigo descreve e analisa o processamento de séries de dados de qualidade de água de sistemas de drenagem urbana, obtida por monitorização online, através da utilização de uma sonda espectrofotométrica UV-vis. Para validação dos dados e consequente calibração da sonda foram utilizados os resultados laboratoriais de amostras recolhidas em tempo seco e tempo húmido. A estação foi instalada no coletor de desvio do Caneiro de Alcântara para a ETAR de Alcântara, dispondo-se atualmente de nove meses de registos, incluindo vários e relevantes eventos de precipitação, mas também períodos com falhas. Apresenta-se a análise dos resultados obtidos até à data e uma reflexão da experiência adquirida, em particular nas atividades de inspeção e manutenção dos equipamentos e nas necessidades de processamento e tratamento das séries de dados. Parte das dificuldades encontradas prendem-se com condicionalismos locais, que obrigaram a uma solução inovadora de instalação dos equipamentos, a procedimentos exigentes de acompanhamento das medições e ao desenvolvimento de rotinas para tratamento automático dos dados. Os resultados em tempo de chuva revelaram situações bastante diversificadas da variação da qualidade da água, atribuídas à combinação de fenómenos de diluição e de arrastamento de poluentes previamente depositados em coletores e superfícies (fluxo inicial de poluentes).

PALAVRAS-CHAVE

Fluxo inicial de poluentes; Qualidade da água; Rede de monitorização em tempo real; Sistemas de drenagem urbana; Sondas espectrofotométricas

⁽¹⁾ Joana Ramirão Costa, Engenheira Civil, Bolseira de Investigação, LNEC (DHA –NES), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, joanaramiraocosta@gmail.com

⁽²⁾ Luís Mesquita David, Investigador Auxiliar, LNEC (DHA – NES), Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa ldavid@lnec.pt

1 INTRODUÇÃO

Em sistemas de drenagem urbana unitários, para além das águas residuais domésticas existe a contribuição das águas pluviais que transportam para a rede de coletores materiais erodidos do terreno natural, partículas resultantes de atividades urbanas (resíduos sólidos urbanos, dejetos animais, do desgaste de pavimentos, de pneus e de travões dos veículos) e de poeiras atmosféricas depositadas na bacia de drenagem. Em consequência, as concentrações das cargas poluentes existentes em sistemas de drenagem urbana variam consideravelmente de acordo com o regime de precipitações e dependem, fundamentalmente, dos processos de transporte e de alteração da qualidade de substâncias poluentes no interior dos coletores, bem como dos processos de formação e de arrastamento de depósitos. O fenómeno de aumento significativo das cargas poluentes na fase inicial dos hidrogramas é definido como fluxo inicial de cargas poluentes. Outro fenómeno que vulgarmente acontece após a “lavagem” dos pavimentos e coletores é o efeito de diluição das concentrações das águas residuais domésticas pelos caudais pluviais (David, 2005; Fletcher e Deletic, 2008).

Até há poucos anos a caracterização da maior parte dos parâmetros físico-químicos da água, por exemplo Sólidos Suspensos Totais (SST) e Carência Química de Oxigénio (CQO), exigiam a recolha de um número significativo de amostras discretas ou compostas e as correspondentes análises laboratoriais. Para além disso, a falta de informação contínua sobre a qualidade da água limitava a compreensão da evolução dos fenómenos ao longo das chuvadas e entre elas, e muito particularmente em eventos extremos com menor probabilidade de amostragem. A recente disponibilização no mercado de sondas espectrofotométricas para medição de parâmetros de qualidade da água *in situ* veio a revolucionar os sistemas de medição, levantando ainda vários desafios à monitorização em tempo-real de sistemas integrados de drenagem urbana.

A monitorização de parâmetros de qualidade de água através de séries de dados são a base para o desenvolvimento de ferramentas de apoio que permitem sustentar decisões de conceção, planeamento e manutenção de novas infraestruturas ou casos de reabilitação de coletores existentes (Gruber *et al.*, 2005; Hochedlinger, 2005). Permitem também apoiar a implementação de políticas de redução de cargas poluentes para as massas de água recetoras, dar suporte à gestão eficiente de acidentes de poluição, ter controlo sobre descargas industriais e apoiar a gestão das ETAR durante eventos de poluição (Llopart-Mascaró *et al.*, 2008).

No âmbito do projeto PREPARED do 7º PQ foram instaladas duas estações de monitorização de qualidade da água na bacia de drenagem de Alcântara, em Lisboa: no sistema de coletores e no estuário. Na estação do sistema de coletores pretende-se caracterizar a evolução da qualidade da água, em tempo seco e chuvoso, a jusante da maior bacia de drenagem unitária de Lisboa. Na estação do meio recetor pretende-se avaliar os impactos das descargas do caneiro de Alcântara no estuário do Tejo. Ambas as estações utilizam sondas espectrofotométricas de gama Ultra-violeta e visível (UV-vis) da marca S::CAN (spectro::lyser) e disponibilizam medições em contínuo, em tempo real, assim como o seu acesso via online (David *et al.*, 2014). São sondas construídas para resistir ao meio ambiente dos coletores, são robustas, submersíveis e incluem a possibilidade de limpeza automática da janela de leitura, através de sistemas de ar comprimido (Gruber *et al.*, 2005; Van der Broeke *et al.*, 2006; Pimentel *et al.* 2012; Brito *et al.* 2013).

A estação no sistema de coletores foi instalada em fevereiro de 2013, dispondo-se atualmente de dez meses de registos, incluindo vários e relevantes eventos de precipitação, mas também alguns períodos com falhas. Com este artigo pretende-se fazer uma análise dos resultados obtidos e uma reflexão da experiência adquirida, com ênfase para as atividades de inspeção e manutenção dos equipamentos e para as necessidades de processamento e tratamento das séries de dados.

2 SISTEMA DE DRENAGEM MONITORIZADO

A bacia de drenagem do caneiro de Alcântara, a maior da cidade de Lisboa, tem cerca de 3200 ha e uma estimativa de ocupação em áreas de pavimentos, telhados e permeáveis de 23%, 22% e 54% respetivamente. Apesar de uma parte significativa das redes de drenagem ser separativa ou parcialmente-separativa, os caudais confluem em coletores unitários mais antigos, pelo que a bacia apresenta um comportamento unitário a jusante. A rede de coletores principais tem 250 km de comprimento e várias secções transversais diferentes.

A maior parte do escoamento da bacia de drenagem do caneiro de Alcântara aflui à estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Alcântara por gravidade (“zona alta”) e corresponde atualmente a cerca de 60 % do efluente tratado. A ETAR trata também os afluentes provenientes dos sistemas interceptores e elevatórios localizados ao longo da frente ribeirinha (“zona baixa”). A ETAR dispõe de uma capacidade de tratamento instalada para um caudal de ponta de 3,3 m³/s em tempo seco (tratamento biológico) e 6,6 m³/s em tempo de chuva (tratamento físico-químico avançado) e recebe atualmente um caudal médio diário da ordem de 1.5 m³/s.

Em tempo de chuva, o caudal do caneiro de Alcântara que excede a capacidade hidráulica da ETAR prossegue pelo caneiro e é descarregado diretamente no estuário do Tejo, sem qualquer tratamento. O objetivo da estação de monitorização instalada é caracterizar a qualidade da água em tempo seco e chuvoso do caneiro de Alcântara, junto ao descarregador de desvio para a ETAR, antes da confluência com os caudais provenientes da zona baixa (David *et al*, 2014).

3 INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

3.1 Equipamento de monitorização

A estação de monitorização compreende a utilização de uma sonda espectrofotométrica UV-vis (spectro::lyser) e um controlador (con::cube), ambos da marca S::CAN. Faz também parte um compressor industrial para efeitos de limpeza automática da janela ótica da sonda, uma unidade UPS para garantia de energia em caso de falhas e proteção do controlador a picos de corrente elétrica, uma estrutura para proteção e suporte da sonda e os respetivos cabos de aço, para amarração (Figura 1).

A sonda espectrofotométrica UV-vis, para aplicação em águas residuais urbanas, mede em contínuo espetros de absorção, nas gamas ultravioleta e visível (200 a 735 nm), e através de técnicas de regressão multivariada estima os valores de concentração dos parâmetros SST, CQO, CQO solúvel e nitratos. O programa de calibração adquirido com a sonda diz respeito a águas residuais em coletores e afluentes a ETAR (“WWTPinfluent&sewer calibration”), tendo sido estabelecido com base em análises de componentes principais

(PCA - principal component analysis) e regressão parcial dos mínimos quadrados (PLS - partial least-square regression), a partir de centenas de pares de dados de espectros UV/vis e concentrações dos parâmetros determinadas por métodos laboratoriais normalizados. Por exemplo, a estimativa da CQO está associada a comprimentos de onda na gama de radiação UV e os SST estão associados à radiação visível (Gruber *et al.*, 2005; Van den Broeke *et al.*, 2006).

A medição dos espectros é efetuada através de uma janela óptica cuja largura é selecionada de acordo com as características do tipo de água a medir. A largura da janela óptica deverá ser tanto menor quanto maior for o comprimento de onda desejado. Uma vez que o caudal a monitorizar é unitário, podendo atingir concentrações de poluentes bastante elevadas durante períodos chuvosos em que ocorram fenómenos de resuspensão de partículas, optou-se por uma janela óptica com uma largura de 2 mm, em vez de uma com 5 mm. Assim, a sonda permite estimar valores de concentrações bastante elevados, embora com um grau de precisão inferior.

A ligação da sonda ao controlador permite o acesso aos dados em tempo real. O controlador possibilita a ligação GPS/GPRS e deste modo permite o acesso aos dados via online e em tempo real.

3.2 Seleção do local e condições de instalação da sonda

Na procura de um local para instalação da sonda foi necessário garantir a facilidade e segurança de acesso ao equipamento, a disponibilidade de eletricidade, internet e água para limpeza e a proteção contra vandalismo (Winkler *et al.*, 2008; Caradot, 2012). O local também deverá ser representativo da qualidade das águas a monitorizar. Com base nestes critérios e tendo em conta os condicionalismos locais, verificou-se que o melhor local para instalação da sonda seria o canal de desvio do Caneiro de Alcântara para a ETAR de Alcântara, já nas instalações desta. Assume-se que a qualidade da água no coletor de desvio é semelhante à do caneiro, o que já não seria possível no tanque de grossos imediatamente a jusante, dado que se observaram zonas de menor circulação de água com formação de bolhas de gás, as quais também dificultariam a medição de espectros por parte da sonda.

Para evitar problemas de segurança associados à eventual ignição de gases dos coletores (Fletcher e Deletic, 2008) instalou-se o compressor num espaço mais arejado (Figura 1).

A literatura refere dois tipos de instalações de sondas espectrofotométricas: em by-pass, com circulação da água residual através de bomba peristáltica para um tanque onde está colocada a sonda; ou com flutuador colocado diretamente no coletor do escoamento a medir (Gruber *et al.*, 2005; Llopart-Mascaró *et al.*, 2008; Maribas *et al.*, 2008). A impossibilidade de construir no local uma estrutura especial de controlo e os riscos de entupimento do tubo de sucção inviabilizaram o primeiro tipo. A opção selecionada foi a instalação da sonda diretamente no coletor. A grande afluência de pedras e detritos e a variabilidade das alturas de escoamento aumentam os riscos de danificação de um flutuador ou da sonda encostar ao fundo durante a noite. Assim, foi concebida uma estrutura de suporte inovadora, sem flutuadores, submersível e em forma de torpedo, que utiliza as linhas de corrente e a turbulência para manter a estabilidade e autolimpeza. A estrutura foi construída em aço inoxidável, para proteção da sonda contra choques e a agressividade do meio (Figura 1).



Figura 1. Local de instalação da sonda e do compressor e estrutura de suporte para a sonda.

3.3 Procedimentos de manutenção

Por forma a garantir a segurança da sonda e a qualidade dos registos, devem ser estabelecidos procedimentos de inspeção e manutenção regulares de todos os equipamentos (Fletcher e Deletic, 2008; Llopart-Mascaró *et al*, 2008; Caradot, 2012).

A manutenção do equipamento compreendeu três níveis de atuação:

- Limpeza automática das sondas por jatos de ar comprimido (intervalos de 15 minutos);
- Inspeção, limpeza e manutenção regular dos equipamentos (semanal, por 3 pessoas para garantir a segurança);
- Intervenção excepcional, em reação à deteção de problemas (e.g., falhas de energia ou de transmissão de dados, leituras erróneas)

A Figura 2 mostra atividades de inspeção e limpeza da sonda.

Cada atividade de manutenção preventiva ou reativa dá lugar a um registo, com a descrição das observações locais e dos trabalhos efetuados. Este método assegura o armazenamento da informação quanto às condições de funcionamento dos equipamentos, podendo revelar-se de grande utilidade na fase de análise dos registos de medição (Fletcher e Deletic, 2008).



Figura 2. Inspeção e manutenção da sonda.

3.4 Amostragem

As sondas (spectro::lyser) da S:SCAN podem ser adquiridas com diferentes programas de ajustamento das variáveis a estimar relativamente ao espectro medido, decididos em função das características das águas a monitorizar. Tal como referido em 3.1, a sonda foi adquirida com o programa de calibração para afluentes a ETAR municipais (“WWTPinfluent&sewer calibration”). Esse programa fornece uma calibração global (“global calibration”), a qual deverá ser ajustada para cada local, através da determinação dos parâmetros de regressão linear entre os resultados fornecidos pela calibração global e as concentrações locais (“local calibration”). Para o efeito, deverão realizar-se colheitas de amostras em instantes pré-definidos, para determinação dos parâmetros por métodos laboratoriais normalizados.

Os SST e a CQO foram analisados de acordo com os métodos analíticos descritos em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW, 1995)*.

Por forma a minimizar a introdução de erros na calibração local dos parâmetros, apenas se utilizaram amostras recolhidas nas 24 horas seguintes à limpeza das sondas.

Desejavelmente, o conjunto de amostras utilizadas para o ajustamento da calibração global deverá cobrir a gama das concentrações medidas no local e o conjunto de diferentes fenómenos com relevância para a variação da qualidade da água (e.g., períodos noturnos, caudais de ponta, efeitos de diluição ou de arrastamento de sedimentos durante chuvadas).

A qualidade do ajustamento pode ser avaliada no controlador con::cube, através da reta de ajustamento e do coeficiente de determinação da regressão (R^2), do erro médio (“mean error”) (1) e do intervalo de confiança.

$$\text{"Erro médio"} = \frac{\sum(|O_i - P_i|)/n}{(O_{\text{máx}} - O_{\text{mín}})} \quad (1)$$

Para a avaliação da eficiência do modelo de estimativas da qualidade da água (calibração global) podem ser utilizados diferentes critérios de avaliação (Nash e Sutcliffe, 1970; Moriasi *et al.*, 2007; Pimentel *et al.*, 2012; Brito *et al.*, 2013). Entre eles aconselha-se a raiz do erro quadrático médio (RMSE – root mean squared error), obtido a partir de (2), que quantifica a variância dos desvios e o RMSE relativo (RMSErel) que permite avaliar a magnitude do erro e é calculado segundo (3).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum (O_i - P_i)^2 / n} \quad (2)$$

$$\text{RMSE}_{\text{rel}} = \frac{\sqrt{\sum (O_i - P_i)^2 / n}}{\bar{O}} \times 100 \quad (3)$$

Pode também ser utilizado como critério a razão entre o erro quadrático médio e o desvio padrão da amostra (RSR), determinado segundo (4). Este critério relativiza o RMSE relativamente à sua dispersão e permite estabelecer diretrizes para a avaliação do modelo.

$$\text{RSR} = \frac{\sqrt{\sum (O_i - P_i)^2}}{\sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2}} \quad (4)$$

Adicionalmente, pode também ser calculado o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), obtido a partir de (5), para caracterizar a magnitude relativa da variação dos resíduos em comparação com a variação dos dados observados ou medidos. No caso do NSE, resultados próximos de 1 validam o modelo, enquanto próximos ou inferiores a 0 indicam que é preferível utilizar a média dos valores observados como estimativa, em vez dos valores previstos pelo modelo (Nash e Sutcliffe, 1970).

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

Outro critério identificado é o desvio percentual (PBias). É determinado através de (6), e avalia a tendência para os valores previstos serem sobrestimados ou subestimados relativamente aos valores observados, quando o resultado é inferior ou superior ao valor ideal 0 %, respetivamente (Moriasi *et al*, 2007).

$$\text{PBias} = \frac{\sum (O_i - P_i)}{\sum (O_i)} \times 100 \quad (6)$$

em que:

- O_i - valor observado da amostra i
- P_i - valor previsto da amostra i
- n - número de amostras
- $O_{\text{máx}}$ - valor máximo observado
- $O_{\text{mín}}$ - valor mínimo observado
- \bar{O} - média dos valores observados.

4 TRATAMENTO DOS REGISTOS

A estação de monitorização foi instalada no fim de janeiro de 2013, dispondo-se de cerca de dez meses de registos, obtidos através de medições em intervalos de 5 minutos. Os dados medidos devem ser verificados e processados a fim de detetar eventuais erros e inconsistências e criar uma nova série de dados, livre de erros grosseiros e registos espúrios (outliers) (Fletcher e Deletic, 2008; Lepot *et al*, 2013). Numa primeira fase, esse trabalho deve utilizar dados de um período representativo de tempo, que permita encontrar

critérios que possam posteriormente ser utilizados num modo de processamento automático.

O software da sonda fornece não só as séries de medições instantâneas dos parâmetros calibrados (“raw series”, i.e, os valores em bruto de SST, CQO, CQO solúvel e nitratos) como também as séries suavizadas, obtidas por média móvel (“clean series”). No entanto, se a sonda estiver a registar outliers, essa informação continua a ser incluída na série suavizada. As séries obtidas no presente trabalho revelaram vários intervalos de tempo com valores de concentração absurdamente elevados (outliers), em particular durante os períodos noturnos, com caudais reduzidos. Assim, foi desenvolvida uma rotina com dois níveis de filtros, para eliminação de outliers e de valores duvidosos de SST e de CQO. A rotina está a ser preparada para também informar se os valores duvidosos ocorrem durante períodos chuvosos ou estão associados a alterações dos hidrograma de caudal, por forma a apoiar a decisão de os aceitar ou remover manualmente (Figura 3).

O preenchimento de falhas é feito por interpolação apenas para curtos períodos de tempo seco e é ignorado para períodos chuvosos ou longos, por forma a deixar em evidência a falha de registos adequados durante importantes períodos de tempo.

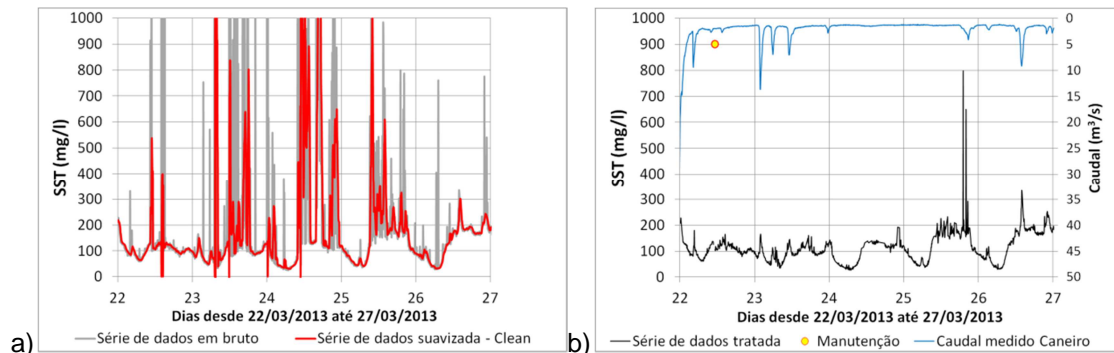


Figura 3. Monitorização durante um período de chuva a) séries de registos da sonda b) série de dados obtida após processamento e tratamento dos registos da sonda.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da qualidade de previsão

Conforme referido anteriormente, a calibração global deve ser avaliada em termos da qualidade da previsão, com base em diferentes critérios, e consequentemente proceder-se ao ajustamento da reta de regressão entre os resultados medidos pela calibração global da sonda e as concentrações medidas por métodos laboratoriais normalizados, o que resulta numa calibração local.

Na recolha de amostras procurou-se selecionar períodos representativos de diferentes estados da qualidade da água, cobrindo situações de tempo seco e chuvoso, efeitos de elevada diluição e fenómenos de fluxo inicial de poluentes, por forma a garantir uma adequada representação da variabilidade das concentrações. O Quadro 1 indica as datas de colheitas de amostras utilizadas na calibração local e apresenta os valores de precipitação acumulada no próprio dia (durante as colheitas) e nos 2, 7 e 30 dias anteriores. As precipitações foram calculadas com base na média de dois udómetros (localizados na Pontinha e no campus do LNEC).

Quadro 1. Precipitação acumulada (mm) no próprio dia e nos dias anteriores à recolha de amostras

Data de recolha de amostras	Próprio dia	Número de dias antecedentes à recolha da amostra		
		2 dias	7 dias	30 dias
11/12/2012	0.05	0.2	68	210
04/03/2013	23	0	0.8	61
03/04/2013	26	3	55	222
23/07/2013	0	0	0	0
27/09/2013	7	1	1	1
02/10/2013	2	23	61	61
15/01/2014	Informação não tratada			

Na avaliação da qualidade de previsão obtiveram-se, respetivamente para SST e CQO, valores de RMSE de 35.54 mg/l e 72.57 mg/l, de RMSErel de 20 % e 21 %, de NSE de 0.91 e 0.81, de Pbias de 15 % e 17 % e RSR de 0.29 e 0.43. Os resultados consideram-se satisfatórios tendo em conta que se está a avaliar a calibração global com base num conjunto diversificado de eventos, obtidos em tempo seco e chuvoso, ao longo de um ano e representativos de diferentes fenómenos que interferem na qualidade da água.

As concentrações mais reduzidas estão associadas a amostras recolhidas em dias de chuva com elevado efeito de diluição das águas residuais domésticas nas águas pluviais e de infiltração (a vermelho na Figura 4). As concentrações intermédias são representativas de amostras recolhidas em tempo húmido, onde as concentrações mais elevadas ocorrem durante o evento chuvoso por efeitos de fluxo de carga poluente. No dia de tempo seco 23/07/2013 (a amarelo na Figura 4) a amostra com concentrações mais baixas corresponde a uma colheita no período noturno de concentrações mínimas enquanto a amostra com concentrações mais elevadas é realizada próximo do pico das concentrações. No dia 27/09/2013 (a preto na Figura 4) foi amostrado um período com concentrações muito superiores às do caudal de tempo seco, correspondente a um fluxo de carga poluente (“first-flush”) ocorrido no início da chuvada após um longo período de tempo seco.

O ajustamento da reta de calibração global foi efetuado com base em 30 amostras. Obtiveram-se coeficientes de correlação de 0.92 e 0.91 respetivamente para SST e CQO e valores de ordenada na origem reduzidos (Figura 4). O “erro médio” determinado de acordo com (1) resultou em 4.24 % para SST e 5.65 % para CQO, respetivamente. As linhas vermelhas, a tracejado, nos gráficos da Figura 4 correspondem ao intervalo de confiança a 95 %, dado por aproximadamente ± 2 .RMSE.

Tal como proposto por Gruber *et al* (2005) e Caradot (2012), mantiveram-se os parâmetros da calibração global no software da sonda e procedeu-se externamente ao tratamento dos dados.

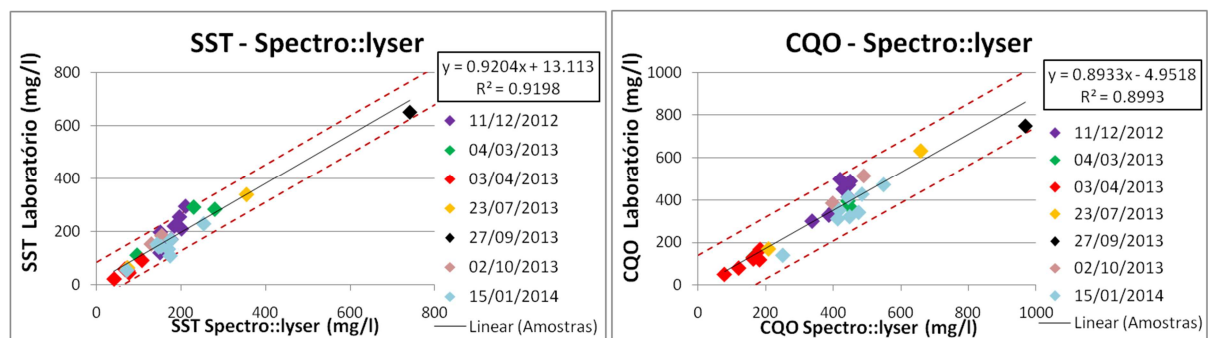


Figura 4. Exemplo do ajustamento da calibração global. Relação entre parâmetros medidos pela sonda e resultados de laboratório para SST CQO.

5.2 Padrões de SST e CQO em condições de tempo seco

Na Figura 5 apresentam-se os resultados de SST e CQO obtidos para um período de tempo seco de 3 semanas.

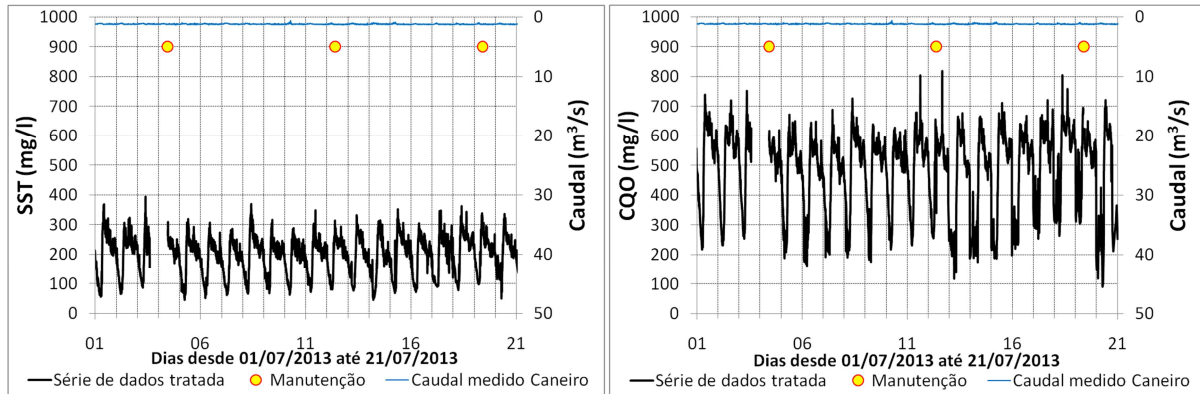


Figura 5. Resultados de SST e CQO para um período de tempo seco.

Na Figura 6 apresentam-se os padrões de tempo seco de SST e CQO para dias da semana, determinados para períodos com reduzida influência dos caudais de infiltração e garantia da qualidade das medições (30/06/2013-02/07/2013 e 04/07/2013-12/07/2013). Observa-se que o padrão dos SST tem um pico da manhã mais pronunciado que o da CQO, atribuído ao arrastamento de partículas depositadas nos coletores durante a noite. Para o período analisado, obtiveram-se valores médios de tempo seco de SST e CQO de 195 mg/l e 486 mg/l, respetivamente (estes valores não incluem o ajustamento da reta de calibração da Figura 4).

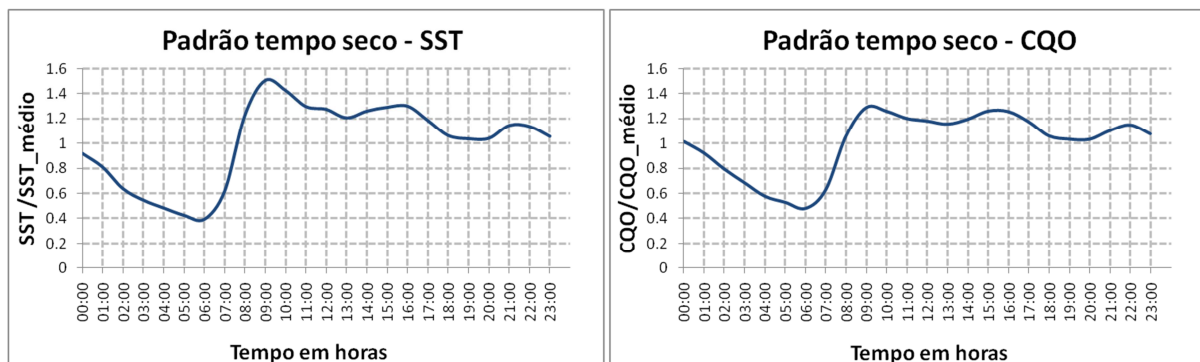


Figura 6. Padrões de tempo seco dos parâmetros SST e CQO.

5.3 Análise de períodos em tempo de chuva

As medições em períodos de chuva revelaram situações diversificadas de variação da qualidade da água, devidas a efeitos de diluição e de arrastamento de poluentes. Realizou-se uma análise aprofundada das séries, relacionando os fenómenos observados com hidrogramas de caudal, sequências de chuvadas e tempo seco anterior à chuvada. Os

registos de caudal foram medidos pela SimTejo no caneiro de Alcântara, sob o aqueduto das Águas Livres.

Na Figura 7 apresenta-se um período de 4 semanas em que ocorrem alguns eventos de precipitação. Na figura podem observar-se períodos com aumento da concentração associado aos caudais pluviais e outros em que a concentração diminui após as chuvadas, para valores de concentrações bastante inferiores às de tempo seco, devido à influência do escoamento subsuperficial. Durante esse período, a amplitude das concentrações é inferior à do caudal de tempo seco, provavelmente devido à redução dos efeitos de deposição durante a noite e de resuspensão durante a manhã. À medida que o escoamento subsuperficial se reduz, as concentrações de SST e CQO vão aumentando progressivamente, ao longo de uns dias, até atingir as concentrações normais de tempo seco. Dado que as concentrações atingidas nos gráficos da Figura 7 são superiores às dos caudais de tempo seco apresentadas na Figura 6, admite-se que parte destes acréscimos de concentração resultem de sujidade da sonda, o que parece ser corroborado pela descida das concentrações após a manutenção dos equipamentos no dia 17/10/2013. Chama-se à atenção que a análise dos valores mínimos está sujeita a algum erro de interpretação, dado que em diversos períodos os valores noturnos apresentavam outliers sucessivos, que foram eliminados e corrigidos por interpolação automática, em relação a leituras admitidas como válidas.

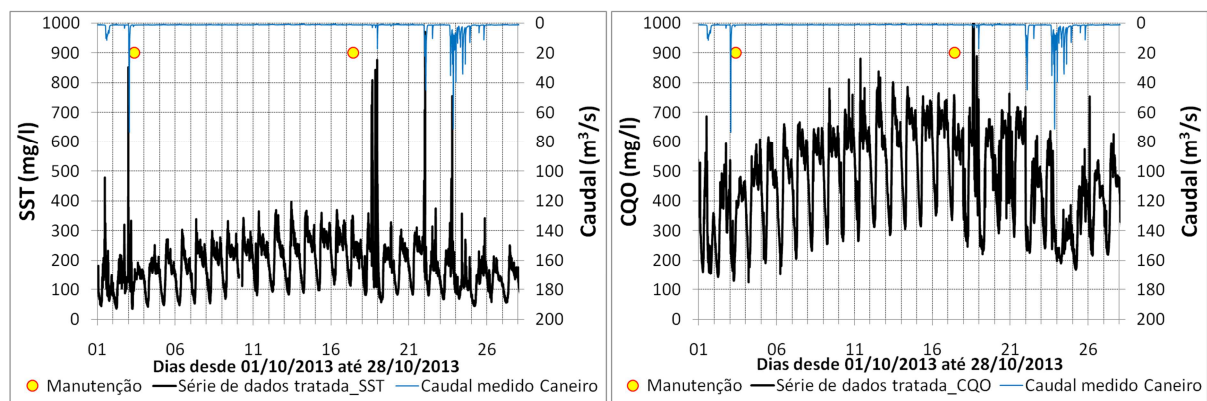


Figura 7. Resultados de SST e CQO para um período com chuva.

Na Figura 8 apresentam-se os resultados medidos durante a primeira chuvada ocorrida após um período de tempo seco de 9 dias. Durante esse dia ocorreram 23 mm de precipitação (Quadro 1), tendo sido efetuadas colheitas de amostras cujos resultados analíticos também estão assinalados na figura. Durante o período noturno, em que ocorrem os menores valores de concentração e caudal, com o início do escoamento pluvial o caudal passou para o dobro e as concentrações de SST e de CQO aumentaram significativamente. Este resultado deixa em evidência um fluxo inicial de concentrações poluentes, embora com pouco significado em termos de carga poluente, devido ao reduzido aumento dos caudais.

A partir de cerca das 11:00 horas o caudal volta a aumentar e verifica-se uma nova subida das concentrações poluentes. Observa-se que as concentrações atingem o valor máximo ligeiramente antes ao valor máximo de caudal, na fase ascendente do hidrograma. A partir deste fenómeno e para caudais cerca de três vezes superiores ao caudal de tempo seco continuam-se a verificar perturbações na concentração dos poluentes associadas aos picos de caudal, contudo com valores de concentração inferiores às concentrações de tempo seco. Isto significa que ainda existe material a ser arrastado pelas águas residuais urbanas

apesar de simultaneamente se verificar o efeito de diluição da concentração das águas residuais domésticas provocado pelas águas pluviais. A partir das 14:00, após o primeiro pico da chuvada, os valores da concentração diminuem para valores próximos dos valores de concentrações mínimas do caudal do período noturno.

As diferenças encontradas entre os valores medidos pela sonda e os resultados do laboratório podem estar relacionadas com a recolha das amostras acontecer a níveis de água e instantes ligeiramente diferentes da medição efetuada pela sonda, em situações com elevada estratificação de partículas e acentuados gradientes temporais da concentração.

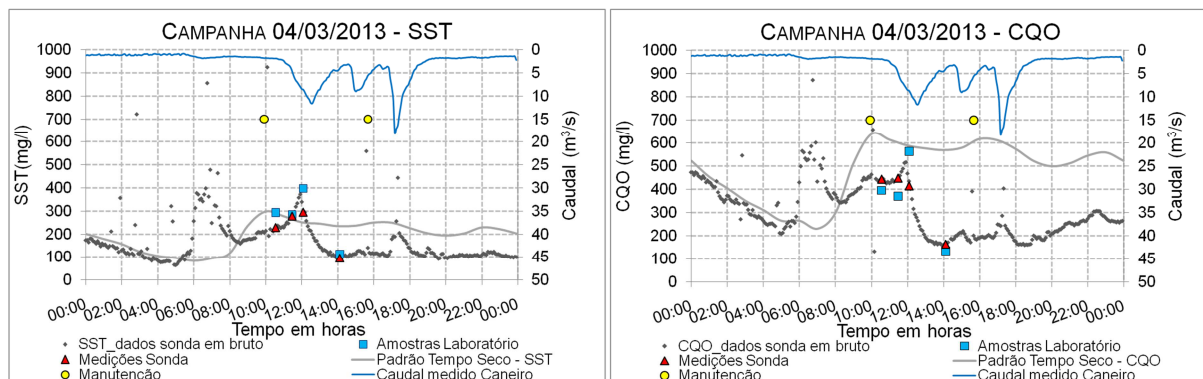


Figura 8. Resultados da campanha de 04/03/2013.

5.4 Tendências e incertezas

Durante o tratamento e processamento dos registos identificaram-se três tipos de situações em que persistiu a dúvida sobre a aceitação ou rejeição de valores considerados suspeitos e sobre a possibilidade de aceitação futura de valores sujeitos a alguma correção, para efeito do estudo de fenómenos em tempo de chuva. Esses 3 tipos de situações são os seguintes:

- Tendência crescente dos valores de concentração de poluentes, particularmente associada a períodos de maior intervalo de tempo entre manutenções. É justificada pelo crescimento de biofilme na janela de medição ao longo do tempo (Hochedlinger, 2005). Está a estudar-se a possibilidade de efetuar correções desses valores em alguns períodos relevantes para a análise das variações ocorridas durante chuvadas, devendo contudo esses períodos ficar devidamente assinalados.
- Tendência crescente das concentrações, após fenómenos de diluição, onde se verifica a recuperação das concentrações, até atingir os valores do padrão de tempo seco. Nestes casos existe a dúvida sobre as leituras estarem corretas, ou estarem a ser incrementadas em resultado de problemas de sujidade e formação de biofilme na janela ótica (e.g, caso anteriormente discutido relativamente à Figura 7).
- Subida brusca das concentrações medidas, mas mantendo-se a magnitude entre os valores mínimos e máximos (translação vertical da curva no gráfico das concentrações).

A justificação para a ocorrência destes fenómenos é normalmente atribuída a sujidade da sonda como incrustação, formação de biofilme ou existência de detritos na janela ótica.

Por exemplo, no período de 03/02/2013 a 01/03/2013, na série tratada de SST e CQO, observa-se o fenómeno de translação e de tendência crescente das concentrações (Figura 9). Trata-se de um período de tempo de chuva com precipitação acumulada de 121 mm, 7 mm e 1 mm nos 30, 7 e 2 dias antecedentes, respetivamente, ao dia 03/02/2013. A translação dos dados ocorre de 07/02/2013 até 23/02/2013, observando-se, também situações de tendência crescente. A partir do dia 23/02/2013 o fenómeno de translação

verifica-se no sentido descendente, até próximo de valores observados antes da translação ascendente.

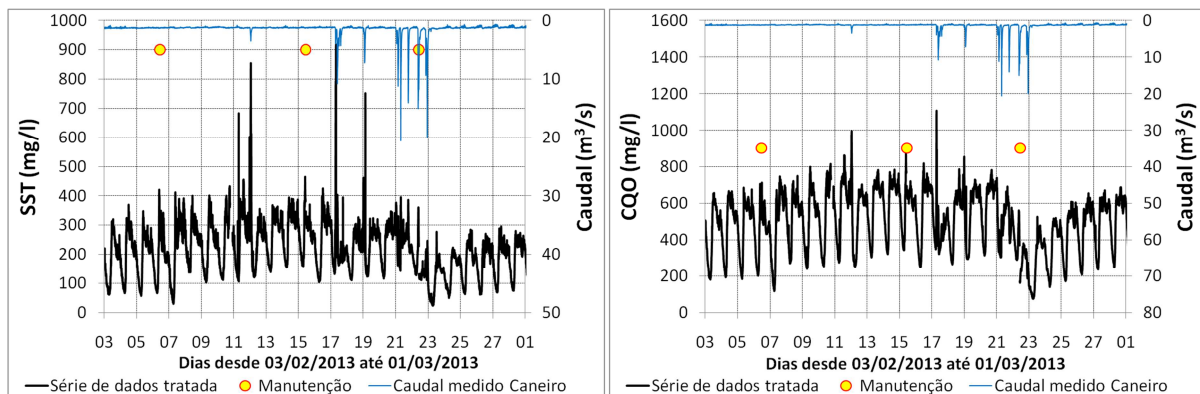


Figura 9. Exemplo de fenômenos de tendência crescente e de translação.

Entende-se que a redução considerável do valor mínimo de SST no dia 23/02/2013 poderá estar relacionada com a precipitação que ocorreu nos dias anteriores, resultando de um efeito de diluição. Para além disso a manutenção da sonda pode ser outro fator que contribui para a recuperação do fenómeno de translação, apesar de no dia 15/02/2013 também ter ocorrido manutenção, e não ter sido observável a recuperação. A tendência crescente observada a partir do dia 23/02/2013 parece corresponder à evolução das concentrações até atingir os valores do padrão de tempo seco.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A monitorização de parâmetros da qualidade da água com a sonda espectrofotométrica UV-vis da S::CAN, instalada no coletor de desvio do caneiro de Alcântara para a ETAR, associada a uma estrutura de suporte inovadora, em forma de torpedo, revelou-se uma instalação experimental bastante funcional, tanto ao nível da realização dos procedimentos de inspeção e manutenção, como no acesso aos dados.

No entanto, verificaram-se períodos com alguma extensão de registos com tendências de crescimento ou com concentrações demasiado elevadas que se poderão atribuir a falha na limpeza da janela ótica da sonda, apesar de haver limpezas automáticas com jatos de ar comprimido em intervalos de 15 minutos e inspeções e limpezas regulares do equipamento, uma base semanal. Após aquisição recente de um compressor industrial, pondera-se reduzir o intervalo de limpeza por jatos de ar para 5 minutos.

Foi desenvolvida uma rotina com dois níveis de filtros para remoção de outliers e valores duvidosos no tratamento das séries de SST e CQO. O preenchimento de falhas é feito por interpolação apenas para curtos períodos de tempo seco, por forma a deixar em evidência a falha de registos durante períodos de tempo chuvosos ou longos.

A série de dados, após processamento e tratamento dos registos, revelou ser caracterizadora da dinâmica das concentrações poluentes, permitindo identificar fenômenos de diluição e de fluxos iniciais de poluentes.

A avaliação da qualidade dos resultados de medição da sonda, com base em vários critérios, permitiu concluir que as medições são satisfatórias relativamente às concentrações determinadas em laboratório através de métodos normalizados, tendo em conta que se está a avaliar a calibração global com base num conjunto diversificado de eventos, obtidos em tempo seco e chuvoso, ao longo de um ano e representativos de diferentes fenómenos que interferem na qualidade da água. O ajuste da calibração global da sonda, de acordo com o local de monitorização, resultou em coeficientes de correlação de 0.92 e 0.91 respetivamente para SST e CQO e valores de ordenada na origem reduzidos.

No seguimento deste trabalho pretende-se utilizar as séries de dados tratadas na construção de um modelo calibrado da qualidade da água do sistema de drenagem do caneiro de Alcântara. A obtenção de uma série histórica de dados deverá possibilitar uma melhoria dos critérios de validação dos registos e até a eventual correção de alguns períodos.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pelo 7º Programa Quadro, projeto PREPARED (FP7-ENV-2009-1 Grant Agreement nº 244232), pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, Projeto SIMAI (PTDC/AAC-AMB/102634/2008), e pelo QREN, ao abrigo do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), no âmbito do COMPETE - Programa Operacional Fatores de Competitividade, através do Projeto SI-GeA (Projeto n.º23053). Os autores agradecem aos Engenheiros Paulo Morais e João Palma pelo apoio na conceção da estrutura de suporte da sonda e aos Senhores João Vale e Vitor Napier pelos trabalhos de manutenção e inspeção, recolha de informação de precipitação, tratamento laboratorial das amostras recolhidas em campanhas experimentais e apoio na realização das mesmas. Os autores agradecem também à SimTejo pela disponibilização de dados de caudal e precipitação e a todos os que colaboraram nas campanhas experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertrand-Krajewski J.-L., Bardin J.-P., Mourad M., Béranger Y. (2003). Accounting for sensor calibration, data validation, and measurement and sampling uncertainties in monitoring of urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 47(2), 95-102. ISSN 0273-1223.
- Brito R., Ferreira F., Lourenço N., Pinheiro H., Matos J. (2013). Espectrofotometria para monitorização da qualidade da água residual em drenagem urbana. *Revista APRH* V(34).
- Caradot N. (2012). Continuous Monitoring of combined sewer overflows in the sewer and the receiving river: return on the experience. MIA-CSO Report. Berlin, Germany.
- David L.M., Rodrigues M., Fortunato A., Oliveira A., Mota T., Costa J., Rogeiro J., Jesus G., Gomes J., Menaia J., David C., Póvoa P., Frazão A., Matos R. (2014). Demonstration system to support early warning of faecal contamination in recreational waters in Lisbon. Prepared Demo Report-135-D136. Lisboa, Portugal.

- David L.M. (2005). Descargas de excedentes de sistemas de drenagem urbana. Tese de doutoramento em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Fletcher T.D. e Deletic A. (2008). Data Requirements for Integrated Urban Water Management. Urban Water Series – UNESCO IHP. ISSN 1749-0790.
- Gruber G., Bertrand-Krajewski J. -L., De Benedittis J., Hochedlinger M., Lettl W. (2005). Practical aspects experiences and strategies by using UV/VIS sensors for long-term sewer monitoring. 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark.
- Hochedlinger M. (2005). Assessment of Combined Sewer Overflow Emissions. PhD Thesis in Urban Water Management and Landscape Water Engineering. Technical University of Graz, Austria.
- Llopart-Mascaró A., Gil A., Cros J., Alarcón F. (2008). Guidelines for online monitoring of wastewater and stormwater quality. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Lepot M., Aubin J. -B., Bertrand-Krajewski J. -L. (2013). A full method to calibrate a UV/VIS spectrometer after removing outliers. 20th European Junior Scientist Workshop on Sewer Systems and Processes, Graz, Austria.
- Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D., Veith T. L. (2007). Model evaluations guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE. 2007, Vol. 50 (3), pp. 885 - 900.
- Nash J. E. e Sutcliffe J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models – part I – A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10. 282–290.
- Pimentel N., Brito R., Ferreira F., Matos J. (2012). Monitorização por espectrofotometria da qualidade de águas residuais em sistemas de drenagem urbana – procedimentos e recomendações. XV SILUBESA. Belo Horizonte, Brasil.
- Rossman L.A. (2007). Stormwater Management Model User's Manual, Version 5.0. U.S. Environmental Research Agency. EPA/600/R-05/040 Revised June 2007
- Sandoval S. and Torres A. (2013). Identification of dry/rainy periods from TSS loads' time series measured at the effluent of an urban catchment. NOVATECH, Lyon, France.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995). 19th ed. APHA, AWWA, WPCF.
- Van den Broeke J., Langergraber G., Wiengartner A. (2006). On-line and in-situ UV/vis spectroscopy for multi-parameter measurements: a brief review. Spectroscopy Europe, V(18) (4).
- Winkler S., Bertrand-Krajewski J-L, Torres A., Saracevic E. (2008), Benefits, limitations and uncertainty of in situ spectrometry Water Science & Technology 57 (10). ISSN