

ORIGEM E POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DA ÁGUA COM COLORAÇÃO AMARELA-ACASTANHADA NA TORNEIRA DO CONSUMIDOR

Ana Poças⁽¹⁾; Nazaré Rebola⁽²⁾; Bruno Cordeiro⁽³⁾; Sérgio Rodrigues⁽⁴⁾; Maria João Benoliel⁽⁵⁾; Luuk Rietveld⁽⁶⁾; Jan Vreeburg⁽⁷⁾; José Menaia⁽⁸⁾

RESUMO

O aparecimento da água amarela-acastanhada tem origem nos sedimentos que se acumulam nos sistemas de distribuição e que, por alterações na velocidade ou no sentido do escoamento, podem ser ressuspensos e chegar à torneira do consumidor. Pela sua coloração característica, que advém da sua riqueza em óxidos de ferro e compostos orgânicos, estes sedimentos são genérica e simplistamente identificados como produtos de corrosão das condutas de ferro fundido. No entanto, a sua ocorrência não é exclusiva destas, podendo ocorrer em qualquer sistema de distribuição e independentemente dos materiais das condutas, da água de origem e do esquema de tratamento. A compreensão da origem deste tipo de sedimentos, bem como das condições para a sua acumulação/ressuspensão, requer o conhecimento dos seus constituintes e das suas características físicas, o que implica a colheita de amostras que sejam representativas dos sedimentos da água amarela-acastanhada. Contudo, os métodos que são convencionalmente utilizados para amostragem de condutas, embora úteis para o diagnóstico da acumulação de sedimentos nas condutas, ou para monitorização da eficácia dos programas de limpeza, não satisfazem aquele requisito, nem proporcionam a recolha de amostras em quantidade necessária à sua caracterização analítica.

Nesta comunicação apresentam-se as metodologias desenvolvidas para amostragem e caracterização dos sedimentos da água amarela-acastanhada, bem como os principais resultados sobre a sua composição, formação, comportamento e potenciais riscos microbiológicos, que foram obtidos no âmbito do projeto FCT-LDmicrobiota (2010-2013), em que participaram o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), a Universidade Técnica de Delft (TU Delft) e a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL).

Palavras-chave: sedimentos, água amarela-acastanhada, monitorização, redes de distribuição.

⁽¹⁾ Bolseira FCT de doutoramento (TuDelft), DHA-NES, LNEC, apocas@lnec.pt

⁽²⁾ Engenheira Química, Departamento Redes, EPAL, nazarebo@epal.pt

⁽³⁾ Técnico, Departamento Redes, EPAL, brunocor@epal.pt

⁽⁴⁾ Chefe, Departamento Redes, EPAL, prodrig@epal.pt

⁽⁵⁾ Diretora, Direção de Controlo da Qualidade da Água, EPAL, mjbenol@epal.pt

⁽⁶⁾ Professor (TU Delft), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, L.C.Rietveld@tudelft.nl

⁽⁷⁾ Professor (WageningenUR), Sub-Dept. Environmental Technology, jan.vreeburg@wur.nl

⁽⁸⁾ Investigador Principal, DHA-NES, LNEC, jmenaia@lnec.pt

1 INTRODUÇÃO

O aparecimento de água com cor amarela-acastanhada na torneira do consumidor é das causas mais frequentes de reclamações dos consumidores (VREEBURG e BOXALL 2007; HUSBAND e BOXALL 2011), principalmente entre as que se referem a qualidade da água. O fenômeno, que resulta da ressuspensão dos sedimentos acumulados nas condutas dos sistemas de distribuição de água (SDA) e redes prediais, é inconveniente para entidades gestoras e consumidores. Além disso, pode estar relacionado com a degradação da qualidade da água (LEHTOLA *et al.* 2004), dado que os sedimentos podem acumular contaminantes (PENG e KORSHIN 2011) e nutrientes (ZACHEUS *et al.* 2001) que podem sustentar o desenvolvimento de microrganismos (USEPA 2001).

Devido à coloração que lhes é característica, os sedimentos da água amarela-acastanhada são normal e simplificada e tidos como produtos da corrosão das condutas em ferro fundido (VREEBURG e BOXALL 2007; POÇAS *et al.* 2013b). No entanto, a sua ocorrência não é exclusiva de SDA com condutas metálicas (VREEBURG *et al.* 2008). Por outro lado, não é dependente das características da água de origem, do esquema de tratamento ou da utilização de desinfetante residual. Assim, mesmo depois de substituídas as condutas em ferro fundido por outras em materiais plásticos, o aparecimento de água amarela-acastanhada e de reclamações de consumidores pode persistir (VREEBURG *et al.* 2008).

Para além da corrosão, os sedimentos dos SDA podem ter origem nos sólidos suspensos que são transportados pela água, na precipitação dos produtos dissolvidos na água, na desagregação de biofilme das condutas, ou na contaminação durante a substituição ou reparação destas (GAUTHIER *et al.* 1999; BATTÉ *et al.* 2003; VREEBURG e BOXALL 2007). Apesar da multiplicidade das suas possíveis origens, os sedimentos característicos do aparecimento de água amarela-acastanhada são fundamentalmente constituídos por óxidos de ferro-FeO e sólidos voláteis-SV (GAUTHIER *et al.* 2001; VREEBURG e BOXALL 2007), a que se juntam teores menores de outros constituintes inorgânicos (e.g., compostos de Al, Mn, Ca).

Dada a importância das substâncias poliméricas extracelulares (SPE) como constituintes dos sedimentos que ocorrem em muitos ambientes aquáticos e que apresentam semelhanças com o tipo de sedimentos em estudo (PLACH *et al.* 2011; ELLIOT *et al.* 2012), nomeadamente a riqueza em óxidos de ferro, era expectável (FLEMMING e WINGENDER 2001; FLEMMING *et al.* 2007; ELLIOT *et al.* 2012), e já foi confirmada, a ocorrência de SPE como constituintes orgânicos dos sedimentos da água amarela-acastanhada (POÇAS *et al.* 2013a). Estas substâncias, cujos principais componentes são polissacarídeos e proteínas (FLEMMING e WINGENDER 2001; FLEMMING *et al.* 2007), podem ser produzidas e excretadas pelo biofilme da parede das condutas (DOUTERELO *et al.* 2012), ou ser produto da comunidade microbiana dos sedimentos (LIU 2013) ou dos filtros das estações de tratamento. A importância das SPE como constituinte dos sedimentos, para além de poder contribuir para a proteção de microrganismos contra o desinfetante residual (FLEMMING *et al.* 2007) e de afetar a potencial ressuspensão dos sedimentos, pode explicar como partículas tão pequenas (< 20 µm) podem acumular-se em sistemas onde ocorrem fluxos turbulentos.

O conhecimento da origem dos sedimentos, bem como das propriedades que determinam a sua acumulação/ressuspensão, requer um conhecimento mais alargado dos seus principais constituintes, nomeadamente da natureza e proveniência de FeO e SV. Os métodos convencionalmente utilizados para amostragem de sedimentos, embora úteis para o diagnóstico da acumulação de sedimentos nas condutas, ou para monitorização, no âmbito dos programas de limpeza, não permitem a obtenção de amostras com a representatividade e dimensão para tal necessárias. Assim, é necessário amostrar sedimentos em quantidades que permitam a sua caracterização analítica e o estudo do seu comportamento nas condições

normais de operação dos sistemas, i.e., nas condições que normalmente levam ao reporte de reclamações dos consumidores.

Dando seguimento aos estudos desenvolvidos no âmbito dos projetos EU-TECHNEAU (2006-2010) e FCT-LDmicrobiota (2010-2013), o LNEC, a TU Delft e a EPAL desenvolveram investigação conjunta para aumentar conhecimentos e melhor compreender o fenómeno do aparecimento da água amarela-acastanhada na torneira do consumidor. Estes estudos, que envolveram o diagnóstico de acumulação de sedimentos, a colheita, caracterização e estudo análise de amostras da rede de distribuição, bem como a investigação da formação e acumulação de sedimentos em pilotos laboratoriais, visaram principalmente i) o desenvolvimento de uma metodologia prática para amostragem e caracterização de sedimentos; ii) o estudo das propriedades e comportamento dos sedimentos, bem como dos seus mecanismos de formação, acumulação e ressuspensão; e iii) a afinidade dos sedimentos para microorganismos, incluindo patogénicos e indicadores. Nesta comunicação, para além de uma breve descrição dos métodos utilizados e dos principais resultados obtidos, o conhecimento adquirido sobre a ocorrência de sedimentos em SDA é analisado, tendo em vista a criação de bases para a conceção de medidas para mitigar a acumulação de sedimentos nas condutas dos SDA.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sistema de distribuição de Lisboa

As amostras de sedimentos foram recolhidas a partir do SDA de Lisboa. Este sistema abastece cerca de 520 000 habitantes a um caudal diário de 160 000 m³, através de ca. 1427 km de condutas e ca. de 93 000 ligações.

Os materiais das condutas incluem: fibrocimento (FC~29%), ferro dúctil (FD~28%), ferro fundido (FF~19%), polietileno de alta densidade (PEAD~17%), sendo que ~7% da rede é em material não identificado. A água captada é maioritariamente de origem superficial (~86%), com uma contribuição menor de água subterrânea. A água superficial recebe tratamento convencional, com pré-cloragem, coagulação com sulfato de alumínio, filtração rápida e desinfecção final. A água com origem subterrânea é tratada com cloragem.

2.2 Metodologia para amostragem e caracterização de sedimentos

As amostras foram recolhidas a partir das águas descarregadas dos hidrantes e analisadas e caracterizadas segundo metodologias desenvolvidos no decurso do projeto LDmicrobiota (POÇAS *et al.* 2013a; POÇAS *et al.* 2013b). Estas colheitas, que foram efetuadas a partir de hidrantes, às velocidades atingidas pela abertura da válvula durante a recolha, realizaram-se no âmbito do programa de descargas periódicas da EPAL.

Durante a amostragem foram recolhidos volumes de água descarregada relativamente grandes (i.e, 30 ou 63 L), por forma a viabilizar a caracterização de sedimentos recolhidos de descargas com baixas turvações. As águas descarregadas, que foram posteriormente transportadas para o laboratório e armazenadas a 4°C durante 7 dias, foram concentradas apenas por ação da gravidade, de modo a assegurar que as características físicas dos sedimentos não eram alteradas.

A camada de sedimentos, obtida após descarte do sobrenadante, foi recolhida com uma bomba peristáltica a um caudal de ca. 6 L/h. O concentrado de sedimentos (entre 1 e 3 L) foi depois utilizado para caracterização físico-química das amostras (POÇAS *et al.* 2013b). Em média, o sedimento concentrado final era ca. 300 vezes mais concentrado do que nas águas descarregadas dos hidrantes.

Para as amostras que se destinavam aos ensaios microbiológicos, as águas descarregadas foram concentradas durante apenas 24 h e a camada de sedimentos recolhida

com uma bomba peristáltica. Para este procedimento, todo o material foi esterilizado por autoclavagem, incluindo os reservatórios para colheita das águas descarregadas.

2.3 Caracterização físico-química dos sedimentos

Para análise dos teores em água, as amostras de sedimento foram centrifugadas e secas até peso constante (RÄISÄNEN *et al.* 1992). Para quantificação dos teores em sólidos, i.e., sólidos totais, voláteis e cinzas, foram utilizados métodos standardizados (APHA 1998).

O teor em ferro total foi medido por aplicação do método da fenantrolina (APHA 1998) em cinzas de amostras incineradas (POÇAS *et al.* 2013b). Para análise dos teores em alumínio (Al), manganês (Mn) e cálcio (Ca), utilizou-se uma norma europeia para caracterização de lamias (EN13346: 2000).

Para caracterização da fração orgânica, nomeadamente a quantificação dos teores em polissacarídeos e em proteína total, foram utilizados os métodos da antrona (DANIELS *et al.* 1994) e de Bradford (BRADFORD 1976).

2.4 Significado microbiológico dos sedimentos

A carga microbiana dos sedimentos em heterotróficos totais (HT) foi analisada pelo método do número mais provável, em meio R2A, a 22°C, durante 7 dias, em amostras de sedimento concentradas durante 24 h.

No que se refere aos microorganismos patogénicos e indicadores, foram efetuadas análises por *polymerase chain reaction*-PCR. O tratamento das amostras foi feito com o FastDNA Spin Soil Kit (MP Biomedicals, USA) e o UltraClean Soil DNA Kit (MO BIO, USA), de acordo com as instruções do equipamento. A análise por PCR foi realizada com os 16S rRNA *primers* (Quadro 1) no AlfaGene Bioscience (USA).

Quadro 1 – Primers usados na análise por PCR.

MICROORGANISMOS	PRIMERS	REFERÊNCIAS
<i>Aeromonas hydrophila</i>	RNAr16S1: 5' GAA AGG TTG ATG CCT AAT ACG TA 3'	(NIELSEN <i>et al.</i> 2001)
	RNAr16S2: 5' CGT GCT GGC AAC AAA GGA CAG 3'	
Thermotolerant <i>Campylobacter</i> spp.	CF03: 5' GCT CAA AGT GGT TCT TAT GCN ATG G 3'	(WAAGE <i>et al.</i> 1999)
	CF04: 5' GCT GCG GAG TTC ATT CTA AGA CC 3'	
<i>Legionella</i> spp.	Leg225: 5' AAG ATT AGC CTG CGT CCG AT 3'	(MIYAMOTO <i>et al.</i> 1997)
	Leg448: 5' GAG GGT TGA TAG GTT AAG AGC 3'	
	Leg858: 5' GTC AAC TTA TCG CGT TTG CT 3'	
<i>Legionella pneumophila</i>	LmipL920: 5' GCT ACA GAC AAG GAT AAG TTG 3'	(BEJ <i>et al.</i> 1991)
	LmipR1548: 5' GTT TTG TAT GAC TTT AAT TCA 3'	
<i>Mycobacterium</i> spp.	Tb11: 5' ACC AAC GAT GGT GTG TCC AT 3'	(CHANG <i>et al.</i> 2002)
	Tb12: 5' CTT GTC GAA CCG CAT ACC CT 3'	

2.5 Propriedades coesivas-floculentas dos sedimentos

2.5.1 Morfologia e estrutura

O decaimento da turvação das amostras de sedimento concentrado foi estudado em nefelómetro (Turb 555 – 600100, WTW), com registo dos valores de turvação a cada 5 segundos (POÇAS *et al.* 2013b).

Os sedimentos recolhidos foram ainda observados ao microscópio ótico (Olympus BH2).

2.5.2 Perfis de acumulação

Os ensaios-piloto realizados em laboratório envolveram a quantificação e caracterização de sedimentos formados a fluxo constante (de 0.2 cm/s a 2 cm/s) e contínuo (durante cerca de 7 meses). Nestes ensaios, utilizaram-se tubos plásticos transparentes em policloreto de vinilo (PVC) e de diâmetro interno igual a 23 mm (POÇAS *et al.* 2013c).

Os perfis de acumulação obtidos no final da experiência às diferentes velocidades foram registados fotograficamente.

3 RESULTADOS

3.1 Metodologia para amostragem e caracterização de sedimentos

A metodologia desenvolvida permitiu a amostragem de sedimentos a partir de águas descarregadas através de por hidrantes do SDA de Lisboa, no decurso do plano de descargas periódicas da EPAL. As velocidades (entre ca. 0.2 m/s e 0.5 m/s), ao invés de serem previamente estipuladas, foram as máximas permitidas pela abertura da válvula dos hidrantes.

3.2 Composição físico-química dos sedimentos

Em média (n = 48 amostras), os sedimentos apresentaram teores em ferro total na ordem dos 500 mg/g e concentrações de Al, Mg e Ca que, no seu conjunto, foram inferiores a 50 mg/g.

No que se refere aos componentes orgânicos (i.e., VS), a sua concentração média foi de ca. 160 mg/g, sendo que as concentrações médias em polissacarídeos e em proteína total, foram, no seu conjunto, superiores a ca. de 50 mg/g. Estes componentes foram observados sistematicamente nas amostras analisadas.

Os teores em água medidos em amostras não desidratadas corresponderam, em média, a 85% da massa dos sedimentos, e foram superiores a 90%, em mais de metade das amostras.

3.3 Significado microbiológico dos sedimentos

No geral, a carga microbiana dos sedimentos (n = 14) apresentou valores relativamente baixos ($< 10^4$ TH/mL), comparativamente aos que são comuns neste tipo de águas (VAN DER KOOIJ 2003). As cargas microbianas mais elevadas foram encontradas em sedimentos mais ricos em SV e SPE (i.e., polissacarídeos).

Por outro lado, nas águas descarregadas, os teores microbianos não se correlacionaram com a concentração de sedimentos, expressa em sólidos suspensos totais e turvação. Ainda assim, os sedimentos com maiores cargas microbianas corresponderam a maiores concentrações de SV e SPE.

Em relação aos microorganismos patogénicos e indicadores, que foram analisados em sedimentos concentrados durante 7 dias, foi encontrada *Legionella* spp. em duas amostras das seis amostras analisadas. Ao contrário dos valores de HT, a *Legionella* spp. foi encontrada em amostras com os maiores valores de turvação na água descarregada (> 20 NTU).

3.4 Propriedades coesivas-floculentas dos sedimentos

3.4.1 Morfologia e estrutura

O comportamento coesivo dos sedimentos foi estudado a partir da observação das tendências de decaimento da turvação (Figura 1). Estas tendências, que se assemelham aos "processos de sedimentação para sedimentos coesivos" (MIGNIOT 1968; MORRIS e FAN 1997), e que se eram reversíveis (POÇAS *et al.* 2013b), podem indicar a natureza coesiva deste tipo de sedimentos.

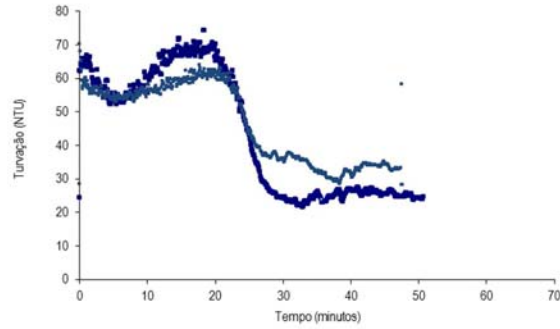


Figura 1 – Decaimento da turbidez em duas amostras de sedimento.

As tendências observadas, cujo tempo para sedimentação dependeu ainda do número de unidades disponíveis para agregação (POÇAS *et al.* 2013b), corroboraram resultados anteriores indicando que este tipo de sedimentos tem um comportamento tipicamente floculento (VAN LIEVERLOO *et al.* 2012; POÇAS *et al.* 2013a). Para além disso, são suportadas pelas observações microscópicas dos sedimentos (POÇAS *et al.* 2012a) que, em regra, apresentam o aspeto de flocos e uma estrutura fractal tridimensional (Figura 2), por oposição a partículas de dimensões e superfície definidas, como areias ou partículas de corrosão.

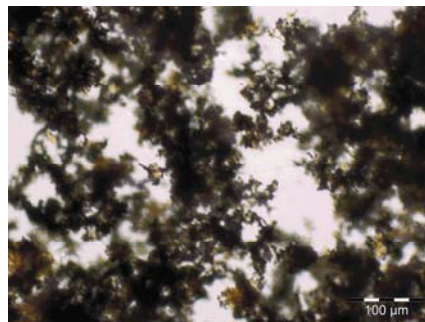


Figura 2 – Morfologia típica dos sedimentos da água amarela-acastanhada: flocos com estrutura fractal tridimensional (POÇAS *et al.* 2012a).

3.4.1 Perfis de acumulação

Durante as experiências e no final destas, os perfis de acumulação dos sedimentos nos ensaios-piloto mostraram que os sedimentos cresceram sob a forma de agregados e com distribuição descontínua e em manchas (Figura 3), ao invés de em camadas e uniformemente, tal como descrito por outros autores (BOXALL e PRINCE 2006; HUSBAND e BOXALL 2010). No entanto, estes ensaios-piloto operaram a velocidade próxima de constante e em fluxo laminar (números de Reynolds < 1000), ao contrário daqueles que foram executados em regime turbulento.

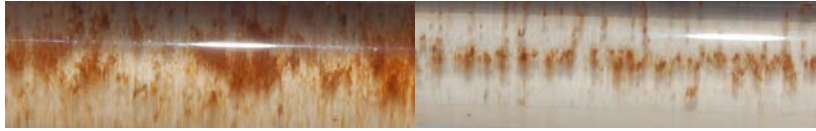


Figura 3 - Perfil de acumulação de sedimentos para condutas operadas a velocidade média de ca. 2 cm/s (esquerda) e ca. 0.2 cm/s (direita).

Como a figura ilustra, a acumulação de sedimentos ao longo do tempo foi maior a velocidade de escoamento de ca. 2 cm/s do que a 0.2 cm/s. Contudo, o aumento da intensidade de acumulação com incrementos de velocidade de escoamento deixou de se verificar para velocidades superiores a 2 cm/s.

4 DISCUSSÃO

A caracterização analítica das amostras colhidas da rede de Lisboa confirmou a riqueza em ferro e SV dos sedimentos que tipicamente dão origem à formação de água amarela-acastanhada. Por outro lado, as propriedades coesivas-floculentas características deste tipo de sedimentos foram confirmadas através dos estudos de decaimento da turvação, para além de observações microscópicas e dos ensaios-piloto. Estas propriedades, que podem resultar da riqueza em FeO e em SPE dos sedimentos, podem ainda conferir-lhes características próprias, como sejam o seu comportamento de hidrogel (POÇAS *et al.* 2013a). Na prática, estas características podem ainda refletir-se no elevado teor em água dos sedimentos (ca. 85%) que lhes confere uma densidade próxima da da água, no enriquecimento em ferro (PLACH *et al.* 2011; ELLIOT *et al.* 2012), bem como na sua resistência a tensões de corte mais elevadas, ou na acumulação na forma de agregados (POÇAS *et al.* 2013c), pelo menos em regimes predominantemente laminares.

No que se refere ao significado microbiológico destes sedimentos, os resultados obtidos indicam que a afinidade das bactérias para os sedimentos é aparentemente reduzida, pelo menos para sistemas com desinfetante residual. Em relação ao aparecimento de *Legionella* spp. nalgumas das amostras analisadas, visto que são habitantes comuns de SDA (USEPA 2001), o seu aparecimento nos sedimentos não é surpreendente.

No geral, os resultados produzidos demonstraram que os sedimentos dos SDA, dada a sua composição, morfologia, propriedades coesivas-floculentas e comportamento de hidrogel, não são, na sua maioria, produtos da corrosão das condutas em ferro fundido. Por outro lado, podem desenvolver-se e acumular-se nos SDA de forma descontínua. Assim, para avaliação e mitigação da ocorrência deste tipo de sedimentos nos DWDS, poderá ser necessário implementar programas preventivos de monitorização de águas descarregadas de hidrantes, incluindo a caracterização extensiva dos sedimentos daí recolhidos (POÇAS *et al.* 2012b; POÇAS *et al.* 2013b). Complementarmente, estes resultados deverão ser integrados com o melhor conhecimento hidráulico dos sistemas.

5 CONCLUSÕES

Os sedimentos que podem dar origem ao aparecimento de água amarela-acastanhada na torneira dos consumidores, para além de possuírem ferro na sua composição, possuem materiais biogénicos i.e., substâncias poliméricas extracelulares-SPE.

O aparecimento sistemático de SPE na composição dos sedimentos, para além das propriedades coesivas-floculantes e do comportamento de hidrogel que lhes conferem, indicam que a sua acumulação depende de fenómenos mais complexos do que a simples corrosão das condutas em ferro fundido.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por fundos estruturais da UE e fundos nacionais do Ministério da Educação, do Ensino Superior e da Ciência, através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), no âmbito do projeto PTDC/ECM/108261/2008-LDmicrobiota e da Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/43715/2008.

Agradece-se ainda a Joaquim Rosário, José Osório, Joana Aguilar, Ana Margarida Ribeiro, André Miranda e João Paiva da EPAL, e a João Vale e Vítor Napier, do LNEC, pela sua contribuição na recolha e análise das amostras.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, Ed. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* American Public Health Association. Washington DC, USA, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.
- BATTÉ, M., B. APPENZELLER, D. GRANDJEAN, S. FASS, V. GAUTHIER and F. JORAND. "Biofilms in drinking water distribution systems." *Reviews in Environmental Science & Bio/Technology*, **2**, 2003, pp. 147-168.
- BEJ, A. K., M. H. MAHBUBANI and R. M. ATLAS. "Detection of Viable Legionella pneumophila in Water by Polymerase Chain Reaction and Gene Probe Methods. ." *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, 1991, pp. 597-600.
- BOXALL, J. B. and R. A. PRINCE. "Modelling discolouration in a Melbourne (Australia) potable water distribution system." *Journal of water supply : research and technology. AQUA*, **55**, 3, 2006, pp. 207-219.
- BRADFORD, M. M. "A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding ", *Analytical Biochemistry*, **72**, 1976, pp. 248-254.
- CHANG, C., L. WANG, C. LIAO and S. HUANG. "Identification of Nontuberculous Mycobacteria Existing in Tap Water by PCR-Restriction Fragment Length Polymorphism." *Appl. Environ. Microbiol.*, **68**, 2002, pp. 3159-3161.
- DANIELS, L., R. S. HANSON and J. A. PHILLIPS (1994). *Chemical Analysis - Carbohydrates in Methods for General and Molecular Bacteriology*. Washington DC, Country P. Gerhardt, R. G. E. Murray, W. A. Wood and N. R. K. (eds). American Society for Microbiology: 512-554.
- DOUTERELO, I., R. L. SHARPE and J. BOXALL. "Influence of hydraulic regimes on bacterial community structure and composition in an experimental drinking water distribution system." *Water Research*, **47**, 2, 2012, pp. 503-516.
- ELLIOT, A. V. C., J. M. PLACH, I. G. DROPO and L. A. WARREN. "Comparative flocculation sediment trace element partitioning across variably contaminated aquatic ecosystems." *Environ. Sci. Technol.*, **46**, 2012, pp. 209-216.
- EN13346: (2000). Characterization of sludges. Determination of trace elements and phosphorus - aqua regia extraction methods. Brussels, European Committee for Standardization.
- FLEMMING, H.-C., T. R. NEU and D. WOZNIAK. "The EPS-matrix: the "house of biofilm cells". " *J. Bacteriology*, **189**, 22, 2007, pp. 7945-7947.
- FLEMMING, H. C. and J. WINGENDER. "Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs) - Part I: Structural and ecological aspects." *Water Science & Technology*, **43**, 6, 2001, pp. 1-8.
- GAUTHIER, V., B. GÉRARD, J. M. PORTAL, J. C. BLOCK and D. GATEL. "Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system.", *Water Research*, **33**, 1999, pp. 1014-1026.
- GAUTHIER, V., J. M. PORTAL, J. YVON, C. ROSIN, J. C. BLOCK, V. LAHOUSINE, S. BENABDALLAH, J. CAVARD, D. GATEL and S. FASS. "Characterization of suspended particles and deposits in drinking water reservoirs." *Water Science & Technology : water supply*, **1**, 4, 2001, pp. 89-94.
- HUSBAND, P. S. and J. B. BOXALL. "Asset deterioration and discolouration in water distribution systems." *Water Research*, **45**, 2011, pp. 113-124.

- HUSBAND, P. S. and J. B. BOXALL. "Field studies of discoloration in water distribution systems: model verification and practical implications." *Journal of Environmental Engineering*, **136**, 1, 2010.
- LEHTOLA, M., T. NISSINEN, I. MIETTINEN, P. MARTIKAINEN and T. VARTIAINEN. "Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality." *Water Research*, **38**, 3, 2004, pp. 601-610.
- LIU, G. (2013). Microbiological water quality in drinking water distribution systems: integral study of bulk water, suspended solids, loose deposits, and pipe wall biofilm. PhD, Technical University of Delft.
- MIGNIOT, C. "Étude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques", *Houille Blanche*, **7**, 1968, pp. 591-620.
- MIYAMOTO, H., H. YAMAMOTO, K. ARIMA, J. FUJII, K. MARUTA, K. IZU, T. SHIOMORI and YOSHIDA. "Development of a New Seminested PCR Method for Detection of Legionella Species and Its Application to Surveillance of Legionellae in Hospital Cooling Tower Water." *Appl. Environ. Microbiol.*, **63**, 1997, pp. 2489-2494.
- MORRIS, G. L. and J. FAN (1997). *Reservoir Sedimentation Handbook. Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*, Country. McGraw-Hill.
- NIELSEN, M. E., L. HØI, A. S. SCHMIDT, D. QIAN, T. SHIMADA, J. Y. SHEN and J. L. LARSEN. "Is *Aeromonas hydrophila* the dominant motile *Aeromonas* species that causes disease outbreaks in aquaculture production in the Zhejiang Province of China?" *Disease of Aquatic Organisms*, **46**, 2001, pp. 23-29.
- PENG, C.-Y. and G. V. KORSHIN. "Speciation of trace inorganic contaminants in corrosion scales and deposits formed in drinking water distribution systems." *Water Research*, **45**, 2011, pp. 5553-5563.
- PLACH, J. M., A. V. C. ELLIOT, I. G. DROPPA and L. A. WARREN. "Physical and ecological controls on freshwater floc trace metal dynamics." *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 2011, pp. 2157-2164.
- POÇAS, A., A. MIRANDA, J. PAIVA, M. J. BENOLIEL, J. VREEBURG and J. MENAIA. "Hydrogel floc nature and biogenic constituents of drinking water discoloration deposits (accepted for publication)." *Water Science & Technology: Water Supply* 2013a.
- POÇAS, A., J. VREEBURG, N. REBOLA, B. CORDEIRO, S. RODRIGUES, M. J. BENOLIEL and J. MENAIA (2012a). Deposição de sedimentos nas redes de distribuição de água para consumo humano: o problema e as soluções. Encontro Nacional de Saneamento Básico (ENASB). Évora, Portugal, APESB: 11.
- POÇAS, A., N. REBOLA, B. CORDEIRO, S. RODRIGUES, M. J. BENOLIEL, J. VREEBURG and J. MENAIA. "Methodology for sampling drinking water loose deposits at low velocities." *Water science & technology: water supply*, **13**, 4, 2013b, pp. 1116-1122.
- POÇAS, A., N. REBOLA, S. RODRIGUES, M. J. BENOLIEL, L. C. RIETVELD, J. VREEBURG and J. MENAIA. "Pilot studies on the build-up of discoloration causing loose deposits (submitted)." *Urban Water Journal*, 2013c.
- POÇAS, A., L. MONTEIRO, N. REBOLA, B. CORDEIRO, J. PAIVA, M. J. BENOLIEL, S. RODRIGUES, J. VREEBURG and J. MENAIA (2012b). Método para amostragem representativa de sedimentos de redes de distribuição. 11º Congresso da Água. Porto, Portugal, APRH: 8.
- RÄISÄNEN, M. L., L. HAMALAINEN and L. WESTERBERG. "Selective extraction and determination of metals in organic stream sediments.", *Analyst*, **117**, 1992, pp. 623-627.
- USEPA (2001). Legionella: Drinking Water Health Advisory. U. S. E. P. Agency. Washington, DC.
- VAN DER KOOIJ, D., Ed. (2003). *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*. World Health Organization. UK, London, IWA Publishing.
- VAN LIEVERLOO, J. H., W. HOOGENBOEZEM, H. R. VEENENDAAL and D. VAN DER KOOIJ. "Variability of invertebrate abundance in drinking water distribution systems in the Netherlands in relation to biostability and sediment volumes.", *Water Research*, **46**, 2012, pp. 4918-4932.
- VREEBURG, J. and J. B. BOXALL. "Discolouration in potable water distribution systems: A review." *Water Research*, **41**, 3, 2007, pp. 519-529.

- VREEBURG, J. H. G., D. SCHIPPERS, J. Q. J. C. VERBERK and J. C. VAN DIJK. "Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system." *Water Research*, **42**, 16, 2008, pp. 4233-4242.
- WAAGE, A., T. VARDUND, V. LUND and G. KAPPERUD. "Detection of Small Numbers of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* Cells in Environmental Water, ." *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**, 4, 1999, pp. 1636-1643.
- ZACHEUS, O. M., M. J. LEHTOLA, L. K. KORHONEN and P. J. MARTIKAINEN. "Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks.", *Water Research*, **35**, 2001, pp. 1757-1765.