

# MÉTODO PARA AMOSTRAGEM REPRESENTATIVA DE SEDIMENTOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

**Ana POÇAS**

*Bolseira FCT de doutoramento, LNEC, Av. do Brasil, Lisboa, apocas@lnec.pt*

**Laura MONTEIRO**

*Bolseira FCT de doutoramento, LNEC, Av. do Brasil, Lisboa, lmonteiro@lnec.pt*

**Nazaré REBOLA**

*Engenheira Química de Redes, EPAL, Av. Berlim, Lisboa, nazarebo@epal.pt*

**Bruno CORDEIRO**

*Técnico Especializado de Exploração, EPAL, Av. Berlim, Lisboa, brunocor@epal.pt*

**João PAIVA**

*Coordenador da Equipa de Química Mineral, EPAL, Av. Berlim, Lisboa, joapaiva@epal.pt*

**Maria J. BENOLIEL**

*Directora do Controlo Qualidade da Água, EPAL, Av. Berlim, Lisboa, maria.benoliel@epal.pt*

**Sérgio RODRIGUES**

*Chefe do Departamento de Redes, EPAL, Av. Berlim, Lisboa, prodrig@epal.pt*

**Jan VREEBURG**

*Professor, Civil Engineering TuDelft, Stevingweg, Delft, J.H.G.Vreeburg@tudelft.nl*

**José MENAIA**

*Investigador Principal, LNEC, Av. do Brasil, Lisboa, jmenaia@lnec.pt*

## RESUMO

Uma das causas mais frequentes das reclamações apresentadas aos serviços de abastecimento é o aparecimento de cor castanha ou turvação na água da torneira do consumidor. O fenómeno pode dever-se à ressuspensão de sedimentos acumulados nas condutas por incremento da velocidade de escoamento. Para mitigar o problema, interessa compreender a formação, origem e comportamento dos sedimentos, para o que é essencial a sua caracterização físico-química. Para tal é necessário dispor de amostras de sedimentos acumulados em pontos críticos da rede de distribuição. Não existem, contudo, métodos padronizados para colheita de amostras representativas e com a dimensão requerida para a sua análise laboratorial. Neste trabalho aplicou-se uma metodologia para amostragem representativa dos sedimentos dos sistemas de distribuição, que conferem cor e/ou turvação à água. A metodologia envolve a recolha de volumes relativamente grandes (30 L ou 63 L) de água e a separação dos sedimentos por decantação. Foram obtidas amostras de 23 diferentes pontos críticos da rede de distribuição de Lisboa, a velocidades variáveis de descarga da água (0,02 m/s a 0,52 m/s) nas condutas em amostragem. A representatividade das amostras, com uma massa na ordem das grama (peso seco), foi atestada pela relativamente insignificante variação dos teores em ferro ( $23\% \pm 8\%$ ), que invariavelmente é o principal constituinte deste tipo de sedimentos.

**Palavras-chave:** sistemas de distribuição, qualidade da água, sedimentos, amostragem.



## 1. INTRODUÇÃO

O aparecimento de água com cor castanha e turvação na torneira do consumidor, embora podendo não apresentar riscos para a saúde pública, é uma das causas mais frequentes de insatisfação e de reclamação (VAN DIJK e VAN DER KOOIJ 2005; HUSBAND e BOXALL 2011), especialmente quando recorrente. O fenómeno, que pode ter origem nas redes prediais, ou nas redes de distribuição de água para consumo humano, pode dever-se à ressuspensão dos sedimentos acumulados em alguns pontos das condutas (VREEBURG, SCHIPPERS ET AL. 2008). As condutas de ferro fundido, os extremos de rede e os locais de baixo consumo, onde as baixas velocidades propiciam a deposição de partículas em suspensão (LEHTOLA, NISSINEN ET AL. 2004), são geralmente os mais críticos para a ocorrência destes fenómenos.

O modelo conceptual desenvolvido por Jan Vreeburg (VREEBURG 2007) sintetiza o estado actual do conhecimento sobre os processos associados à origem, génese e acumulação de sedimentos nas condutas das redes de distribuição (Figura 1).

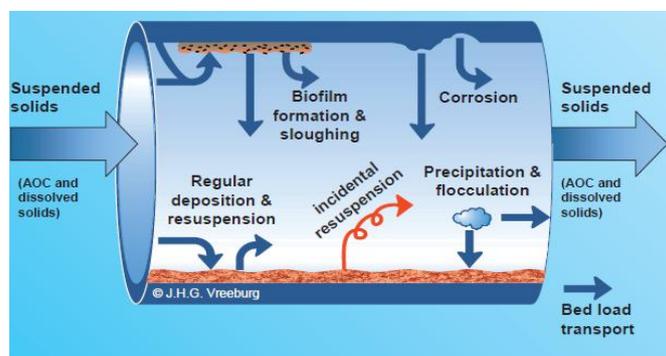


Figura 1 Ocorrência de partículas nos sistemas de distribuição de água (VREEBURG 2007).

Nos sistemas de distribuição, as partículas podem provir das estações de tratamento, ser formadas na rede de distribuição (VREEBURG e BOXALL 2007; HUSBAND e BOXALL 2011), resultar da corrosão das condutas (SMITH, BISSET ET AL. 1997; VERBERK, VREEBURG ET AL. 2009), da desagregação de biofilme (ZACHEUS, LEHTOLA ET AL. 2001; LEHTOLA, LAXANDER ET AL. 2006) ou da intrusão de solo ou de água contaminada, devido a roturas nas condutas (GAUTHIER, GEÂRDARD ET AL. 1999; GAUTHIER, BARBEAU ET AL. 2001; BARBEAU, JULIENNE ET AL. 2005). A formação de sedimentos pode também resultar de precipitação química e da agregação de materiais dissolvidos ou coloidais (GAUTHIER, GEÂRDARD ET AL. 1999; BATTÉ, APPENZELLER ET AL. 2003).

A massa e taxas de acumulação de sedimentos nas condutas podem ser estimadas por métodos baseados na evolução da turvação da água em descargas efectuadas sob condições hidráulicas controladas, de que é exemplo o método do potencial de ressuspensão (RPM) (VREEBURG 2007; VREEBURG e BOXALL 2007; REBOLA, CORDEIRO ET AL. 2011). Não existem, porém, métodos padronizados para amostragem dos sedimentos com representatividade e nas quantidades requeridas para a sua caracterização físico-química. Esta é essencial para compreender a origem e comportamento dos sedimentos, e, concomitantemente conceber medidas para mitigação da ocorrência de eventos de cor castanha na água.

Os estudos publicados sobre sedimentos são omissos em relação ao modo de colheita, ou recorreram a métodos de amostragem avulsos e divergentes que estão longe de garantir a representatividade das amostras. A utilização comum de meios físicos (e.g., peneiros, membranas filtrantes) para separar os sedimentos durante a colheita e/ou o tratamento das amostras é um dos exemplos em que a metodologia compromete a sua representatividade, dado poderem excluir as partículas de menor dimensão. O volume de água amostrado e as condições hidráulicas aplicadas para ressuspensão dos sedimentos são outras causas frequentes de limitação da representatividade da amostragem.

Esta problemática foi estudada no âmbito do Projecto intitulado “O microbiota dos sedimentos dos sistemas de distribuição e a qualidade da água para consumo humano” (LDmicrobiota – PTDC/ECM/108261/2008) em que participam o LNEC, a EPAL S.A. e a Universidade Técnica de Delft (TuDelft).

Nestes trabalhos apresentam-se os resultados obtidos, nomeadamente o desenvolvimento de uma metodologia aplicável para a amostragem representativa dos sedimentos das redes de distribuição. O método foi aplicado com êxito na colheita e caracterização de amostras de sedimentos colhidas de 23 pontos da rede de distribuição de Lisboa. A representatividade das amostras foi atestada por padrões de similaridade na sua composição em ferro, que é invariavelmente o principal constituinte deste tipo de sedimentos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Rede de distribuição**

As amostras foram recolhidas do sistema de distribuição de Lisboa. O sistema abastece ca. 520 000 habitantes a um caudal de ca. 160 000 m<sup>3</sup>/ dia, através de 1 427 km de condutas principais com ca. 93 000 ligações. As condutas são de fibrocimento (~29%), ferro dúctil (~28%), ferro fundido (~19%) e polietileno de alta densidade (~17%). O abastecimento compreende ainda 11 reservatórios com capacidade total para 430 000 m<sup>3</sup>, 9 estações elevatórias e 5 pontos de re-cloragem. A água tem sobretudo origem superficial (~86%).

### **2.2. Pontos de amostragem**

As amostras foram obtidas de descargas feitas em 23 pontos da rede de distribuição, durante a aplicação do método do RPM (n=9) e aquando de descargas periódicas para limpeza programada de condutas (n=14). Os pontos de amostragem incluíram extremos de rede e condutas em malha de diferentes materiais e diferentes idades (Quadro 1).



Localização	Material			
	PEAD	FD	FF	FC
Extremos	6	4	2	2
Conduta em malha	3	2	4	0
Idade (min. – max. anos)	2-9	13-20	58-73	30-40
Total (n)	9	6	6	2

### 2.3. Metodologia de amostragem

Os sedimentos foram obtidos de água descarregada por hidrantes e bocas de incêndio com a válvula completamente aberta. Para evitar a presença de materiais acumulados nos hidrantes ou bocas de incêndio, foi rejeitada a água colhida durante os primeiros 15-20 s, que correspondia entre 2 a 4 vezes o volume interno daqueles componentes da rede mais o das suas ligações. De seguida, foram recolhidos volumes de 30 L ou 63 L da água descarregada, para posterior separação dos sedimentos.

Os reservatórios de recolha foram então transportados para o Laboratório de Engenharia Sanitária do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LABES-LNEC). Após homogeneização da água colhida foram retiradas alíquotas para medição da turvação e condutividade. A determinação dos sólidos suspensos totais (SST) foi feita em amostras de 1 L. O volume restante no reservatório (ca. 29 L ou ca. 62 L) foi deixado a decantar a 4°C por um período de 7 dias, durante o qual ocorreu a separação de duas fases distintas, a inferior rica em sedimento e sobrenadante. O sobrenadante foi retirado com uma bomba peristáltica (Ismatec, BV\_GES) a um caudal de 6 L/h. O volume final da fase rica em sedimento variou entre 1 L e 3 L, em função da concentração inicial de sedimento na água descarregada.

### 2.4. Caracterização da água das descargas

A turvação na água descarregada foi determinada num nefelómetro pré-calibrado (Turb 555 – 600100, WTW). A condutividade foi medida num potenciómetro multi-paramétrico (Consort, modelo C863), equipado com uma sonda de condutividade (Consort, S213B k=0.99). Os sólidos suspensos totais (SST) na água descarregada foram determinados por filtração em membrana de nitrato de celulose com poro de 0.45 µm (Millipore, HAWG04700), com base no *Standard Methods* (APHA 1998).

### 2.5. Caracterização dos sedimentos

Os sólidos totais (ST) foram determinados por secagem em cadinho, de acordo com o *Standard Methods* (APHA 1998). O ferro total foi determinado em cinzas de amostras incineradas a 550°C durante 1 hora. As cinzas (5 mg) foram digeridas em HCl (6M) durante 1 hora a 120°C (RAISANEN, HAMALAINEN ET AL. 1992). O ferro total foi determinado pelo método da fenantrolina (APHA 1998) em diluições da solução de digestão, após filtração destas em membrana de policarbonato com poro de 0,20 µm (Millipore, GTTP04700). O teor em ferro total foi determinado com um espectrofotómetro UV/VIS a 510 nm (Jasco, V-630 LSE-701).



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Turvação da água descarregada

No Quadro 2 apresentam-se os valores máximos e mínimos da turvação nas amostras colhidas a diferentes gamas de velocidade de descarga nas condutas.

Quadro 2 Velocidade da água (m/s) e turvação (UNT) na água descarregada.

n	Velocidade (m/s)		Turvação (UNT)	
	Min	Max	Min	Max
9	0,02	0,09	4	91
6	0,10	0,32	3	51
8	0,35	0,52	5	47

Como a Figura 2 ilustra, a turvação das descargas não dependeu da velocidade de colheita.

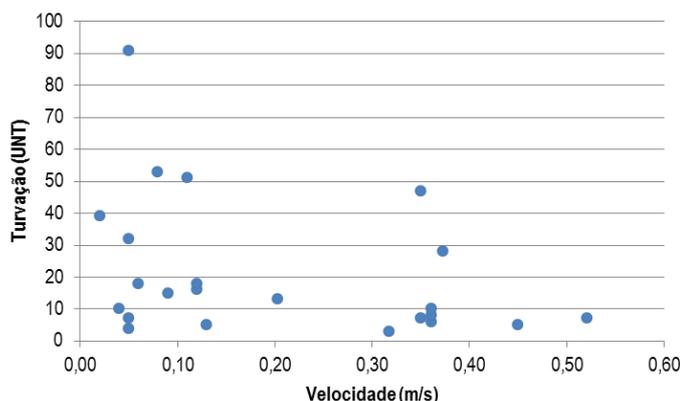


Figura 2 Variação da turvação (UNT) com a velocidade (m/s) na água descarregada.

As velocidades de amostragem foram mais baixas do que as requeridas para a limpeza (1,5 m/s) das condutas (BARBEAU, JULIENNE ET AL. 2005; LEHTOLA, LAXANDER ET AL. 2006; VREEBURG, SCHIPPERS ET AL. 2008) e variaram entre diferentes ordens de grandeza (0,02 m/s e 0,52 m/s). Contudo, as turvações mais elevadas ocorreram tanto a velocidades mais baixas, como a mais altas velocidades, tendo até sido mais frequentes nas primeiras, onde, expectavelmente, os níveis de remoção de sedimento eram mais baixos.

Os volumes de colheita, não tendo sido previamente definidos (30 L ou 63 L), basearam-se no histórico de reclamações ou no reconhecimento do local de amostragem como ponto crítico, para obtenção de massa seca suficiente para caracterização (> 0,1 g). Nos locais onde a água descarregada tinha turvação facilmente perceptível ( $\approx 10$  NTU), as massas de sedimento são suficientes para uma caracterização mais extensiva (entre 2 g e 10 g de massa seca).

### 3.2. Composição em ferro

O ferro, o constituinte mais importante e, portanto, mais representativo das amostras de sedimentos dos sistemas de distribuição, foi encontrado a teores médios relativamente elevados, ca. 23% (230 mg/g), que não variaram significativamente com a velocidade da água nas condutas durante a colheita (Figura 3).

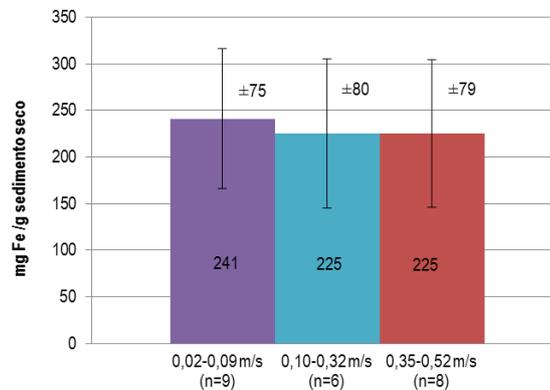


Figura 3 Concentração de ferro (mg Fe/ g sedimento seco  $\pm$  desvio padrão) nos três intervalos de velocidade (m/s) na água descarregada.

Tal como com a turvação, nos três intervalos de velocidade da água durante a amostragem, a concentração de ferro nos sedimentos não variou significativamente com a velocidade da água durante a amostragem, com o ponto de colheita, localização, material ou idade das condutas. O mesmo se aplica ao percurso e origem da água, que variaram entre as descargas amostradas, como indicam os valores mínimo (217  $\mu$ S/cm) e máximo (482  $\mu$ S/cm) das condutividades na água descarregada.

A similaridade dos teores em ferro em todas as amostras atesta a representatividade destas, nas diversas condições hidráulicas observadas nas descargas, bem como as oferecidas pelo sistema no que toca a materiais e origens ou percursos da água.

Embora incluindo velocidades que são muito mais baixas do que aquelas que são normalmente tidas como necessárias para uma efectiva ressuspensão dos sedimentos das redes de distribuição (> 0,35 m/s), os presentes resultados demonstram que o método desenvolvido permite uma colheita representativa dos sedimentos que conferem turvação e cor à água, a velocidades da ordem das aplicadas (> 0,02 m/s), que ocorrem nas descargas de rotina para limpeza de condutas.

## 4. CONCLUSÕES

O aparecimento de água com turvação e/ou cor castanha na torneira do consumidor é dos problemas mais importantes que as entidades gestoras de sistemas de abastecimento enfrentam. Uma mitigação mais definitiva deste problema requer uma caracterização dos sedimentos que o causam, que permita melhor perceber a sua origem e comportamento nos sistemas de distribuição e redes prediais. Contudo, não existem métodos validados para a colheita representativa e na quantidade necessária para as diferentes análises para caracterização. É geralmente aceite que para tal são necessárias velocidades de descarga relativamente elevadas e superiores às que a água atinge durante as descargas periódicas para limpeza das condutas. No entanto, os resultados obtidos neste

trabalho, em que foi aplicado um método para colheita representativa de sedimentos, permitem concluir:

- que o ferro é o principal constituinte dos sedimentos que causam a turvação e cor castanha na água;
- a ressuspensão e transporte dos sedimentos pela água das descargas ocorre às velocidades relativamente baixas que se verificam durante as descargas de rotina para limpeza de condutas;
- a estas velocidades, das descargas em que a cor e turvação são claramente perceptíveis, é possível obter amostras de sedimento na quantidade necessária para a sua caracterização extensiva por análises físico-químicas;
- as amostras assim obtidas detêm uma representatividade significativa, como atesta a similaridade observada nas concentrações de ferro medidas nas diferentes gamas de velocidade.

## 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 projecto PTDC/ECM/108261/2008-LDmicrobiota e das Bolsas de Doutoramento SFRH/BD/43715/2008 e SFRH/BD/60330/2009.

São ainda devidos agradecimentos a Joaquim Rosário e José Osório, da EPAL, e Vítor Napier e João Vale, do LNEC, pela sua valiosa contribuição na amostragem, tratamento e caracterização das amostras.

## BIBLIOGRAFIA

APHA, A. (1998). Standard methods for examination of water and wastewater. Washington DC, American Public Health Association.

Barbeau, B., K. Julienne, et al. (2005). "Dead-end flushing of a distribution system: Short and long-term effects on water quality." Journal of water supply : research and technology. AQUA **54**(6): 371-383.

Batté, M., B. M. R. Appenzeller, et al. (2003). "Biofilms in drinking water distribution systems." Environmental Science & Bio/Technology **2**: 147-168.

Gauthier, V., B. Barbeau, et al. (2001). "Suspended particles in the drinking water of two distribution systems. ." Water science & technology : water supply **1**: 237-245.

Gauthier, V., B. Geàrard, et al. (1999). "Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system." Water Research **33**: 1014-1026.

Husband and Boxall (2011). "Asset deterioration and discolouration in water distribution systems." Water Research **45**: 113-124.

Lehtola, M. J., M. Laxander, et al. (2006). "The effects of changing water flow velocity on the formation of biofilms and water quality in pilot distribution system consisting of copper or polyethylene pipes." Water Research **40**(11): 2151-2160.

Lehtola, M. J., T. K. Nissinen, et al. (2004). "Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality." Water Research **38**(3): 601-610.



Raisanen, M. L., L. Hamalainen, et al. (1992). "Selective extraction and determination of metals in organic stream sediments." Analyst **117**.

Rebola, N., B. Cordeiro, et al. (2011). Implementação do método do potencial de ressuspensão na rede de distribuição da cidade de Lisboa. Encontro Nacional de Entidades Gestoras ENEG. APDDA. Centro Nacional de Exposições de Santarém (15 páginas).

Smith, S. E., A. Bisset, et al. (1997). "The occurrence and significance of particles and deposits in a drinking water distribution system." Journal New England Water Works Association **111**(2): 135–150.

van Dijk, J. and D. van der Kooij (2005). "Water quality 21 research programme for water supplies in The Netherlands." Water science & technology: water supply **4**: 181-188.

Verberk, J., J. Vreeburg, et al. (2009). "Particulate fingerprinting of water quality in the distribution system." Water SA **35**: 192-199.

Vreeburg, J. (2007). Discolouration in drinking water systems: a particular approach. PhD, Delft University of Technology.

Vreeburg, J. and J. B. Boxall (2007). "Discolouration in potable water distribution systems: a review." Water Research **41**(3): 519-529.

Vreeburg, J., D. Schippers, et al. (2008). "Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system." Water Research **42**: 4233-4242.

Zacheus, O. M., M. J. Lehtola, et al. (2001). "Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks." Water Research **35**: 1757-1765.

