



# REMOÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *Escherichia coli* UTILIZANDO A FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FiME) EM PERÍODOS DE ALTA TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA

## REMOVAL OF TOTAL COLIFORMS AND *Escherichia coli* USING A MULTISTAGE FILTRATION (MSF) IN PERIODS OF HIGH TURBIDITY OF RAW WATER

Daniela C. Fonseca Camplesi<sup>1</sup>, Wanderlei Elias Perez<sup>2</sup>, Eduardo Queija Siqueira<sup>3</sup>

Recebido em 20 de agosto de 2010; recebido para revisão em 21 de agosto de 2010; aceito em 05 de setembro de 2010; disponível on-line em 08 de setembro de 2010

### PALAVRAS CHAVES:

Filtração em múltiplas etapas;

Remoção de coliformes;

Filtração lenta.

**RESUMO:** Este trabalho resultou do experimento conduzido em escala piloto de uma instalação piloto de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), localizada em Goianápolis, Goiás e alimentada pelo Ribeirão Sozinha, composta de um pré-filtro dinâmico (PFD), um pré-filtro com escoamento vertical ascendente (PFA-1) em camadas, ambos com composições granulométricas diferenciadas, um filtro lento de areia (FLA-1) e um filtro lento de areia com carvão ativado (FLAC). As taxas de filtração utilizadas foram 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia para PFD, 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia para PFA e 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia para FLA-1 e FLAC. A eficiência de remoção de microrganismos coliformes totais e *Escherichia coli*, em cada unidade filtrante da instalação piloto de FiME foi avaliada por meio de análises microbiológicas utilizando o Colilert®. Os experimentos foram conduzidos em condições de alta turbidez da água bruta. A turbidez média foi de 73,3 uT na primeira carreira, 24,2 uT para a segunda carreira e 93,6 uT para a terceira carreira de filtração, sendo que a qualidade microbiológica da água pode ser comprometida pela turbidez elevada. Os resultados indicaram que, de maneira geral, os filtros lentos apresentaram eficiências significativas e superiores a 95,0% para remoção de coliformes totais e *Escherichia coli* em todas as carreiras de filtração estudadas. Dessa forma, sugere-se que a tecnologia de FiME, quando operada adequadamente, é um sistema viável na remoção de coliformes totais e *Escherichia coli*, produzindo água potável em condições compatíveis às estabelecidas pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) para consumo humano.

### 1. INTRODUÇÃO

O tratamento de água é de suma importância diante da possibilidade da existência de substâncias químicas e patógenos naturalmente encontrados na água ou decorrentes de atividades antrópicas que possam ser prejudiciais à saúde humana, como atividades agrícolas e industriais. Estas substâncias podem estar em concentrações inadequadas ao consumo humano.

As principais alterações da qualidade da água de um manancial estão relacionadas ao crescimento ou

#### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail : [danielaфонseca\\_go@hotmail.com](mailto:danielaфонseca_go@hotmail.com) (D.C.F.Camplesi)

Mestre em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA – UFG

<sup>2</sup> e-mail : [weliasperez@yahoo.com.br](mailto:weliasperez@yahoo.com.br) (W.E.Perez)

Mestre em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA – UFG

<sup>3</sup> e-mail : [eduqs@yahoo.com](mailto:eduqs@yahoo.com) (E.Q.Siqueira)

Professor PhD. Universidade Federal de Goiás

ISSN: 0000-0000 (em processo de registro)

© 2010 REEC - Todos os direitos reservados.

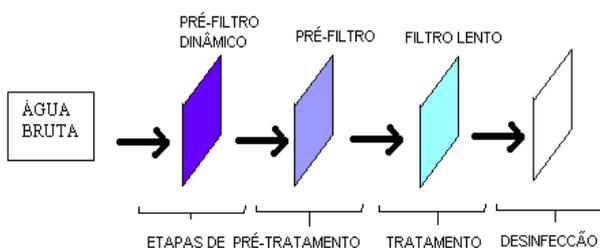
doi: 00.0000/r.eleengcivil.2010.01.010 (em processo de registro)

adensamento populacional urbano, expansão industrial e aos diferentes usos do solo na bacia hidrográfica. A qualidade da água do manancial influencia diretamente na escolha da tecnologia de tratamento e no custo final da água a ser distribuída à população. Porém, na seleção da tecnologia de tratamento de água, a sustentabilidade do sistema deve ser assegurada para garantir que a água produzida tenha qualidade e quantidade satisfatórias e compatíveis com as necessidades da população. Do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento (PROSAB, 1999).

Água potável é água destinada ao consumo humano cujos parâmetros físicos, químicos, radioativos e microbiológicos atendem aos padrões de potabilidade, não oferecem riscos à saúde e assim, estejam em condições sensoriais adequadas. No Brasil, os Padrões de Potabilidade da água são estabelecidos pela Portaria nº 518, (BRASIL, 2004).

As tecnologias de tratamento de águas para abastecimento são classificadas em dois grupos: (1) com coagulação química, que incluem todas as etapas tradicionais do processo (coagulação, floculação, decantação e filtração) e (2) não-convencionais, ou seja, sem coagulação química, incluindo a filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração, a filtração lenta e a FiME, que é a Filtração em Múltiplas Etapas. Em ambos os casos a desinfecção é comum e necessária após o tratamento.

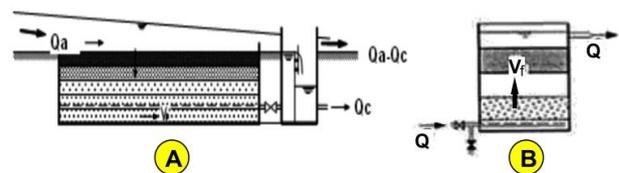
A filtração em múltiplas etapas é uma combinação de filtração em pedregulho e filtração lenta, que permite o tratamento de água com elevados níveis de contaminação e que não poderiam ser tratados apenas por filtração lenta (IRC, 2006). As etapas de tratamento da FiME são: (1) pré-filtração dinâmica (PFD), (2) pré-filtração grosseira com escoamento vertical ascendente (PFA), (3) filtração lenta (FL) e (4) desinfecção, como mostra a Figura 1.



**Figura 1:** Esquema geral da filtração em múltiplas etapas – FiME. Fonte: Adaptado de PROSAB (1999).

Na primeira etapa, a pré-filtração dinâmica (PFD), o meio granular é constituído de pedregulho com tamanho menor no topo e maior no fundo dessa unidade, dispostos sobre um sistema de drenagem, geralmente constituídos por tubos perfurados (TANGERINO, 2003).

De acordo com Veras e Di Bernardo (2008), foi dado o nome de “dinâmico” para esse tipo de filtro devido à sua capacidade de reagir às variadas cargas de sólidos. Na segunda etapa da FiME utilizou-se a pré-filtração vertical ascendente (PFA). As taxas de filtração usualmente utilizadas variam na faixa de 12 a 48 m/d (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Uma das vantagens dessa unidade filtrante é o acúmulo de sólidos no fundo do filtro, onde está o sistema de drenagem, favorecendo a limpeza hidráulica ou de fundo que são realizadas através de descargas de fundo (TANGERINO, 2003). A Figura 2 mostra o esquema de uma unidade de pré-filtração dinâmica e um pré-filtro com escoamento vertical ascendente.

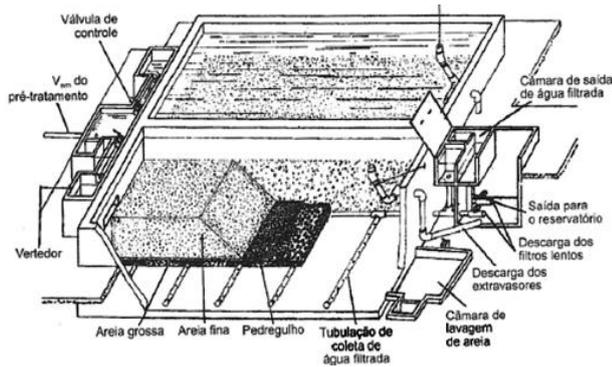


**Figura 2:** Esquema (A) unidade de pré-filtração dinâmica (PFD) e (B) pré-filtro com escoamento vertical ascendente (em camadas).

Fonte: Adaptado de PROSAB (1999).

A filtração lenta é um sistema de tratamento de água de operação simplificada que, em verdade, simula mecanismos naturais de depuração das águas, em sua percolação pelo subsolo, sendo que, nesse percurso, são removidos microrganismos, partículas e substâncias químicas. Os componentes básicos de um filtro lento são: (1) camada de água sobrenadante, (2) meio filtrante, (3) camada suporte, (4) sistema de drenagem e (5) controle de vazão, ilustrados na Figura 3.

A atividade biológica é considerada a ação mais importante que ocorre na filtração lenta, sendo mais efetiva no topo do meio filtrante, mas se estendendo até cerca de 40 cm de profundidade (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Essa camada, chamada “Schmutzdecke”, é constituída por partículas inertes, matéria orgânica e diversas variedades de bactérias, algas, protozoários, metazoários, entre outros, além de precipitados de ferro e manganês quando se encontram dissolvidos no afluente e é formada a partir da retenção de partículas suspensas e adesão de microrganismos. A atividade de microrganismos no “Schmutzdecke”, no filtro lento, é um dos fatores chaves para se obter água de boa qualidade (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).



**Figura 3:** Representação esquemática do filtro lento de areia.  
Fonte: DI BERNARDO e DANTAS (2005).

A qualidade microbiológica da água potável pode ser significativamente afetada pela turbidez juntamente com as partículas sólidas que são parâmetros indicadores da presença de microrganismos como *Giardia* e *Cryptosporidium*. Esses microrganismos são de difícil detecção, quantificação e remoção nos filtros de ETAs, além de resistirem aos métodos tradicionais de desinfecção, representando grandes riscos sanitários (DANTAS, 2004).

A elevação da turbidez do efluente filtrado pode sinalizar um potencial aumento da passagem de organismos indesejáveis, mesmo que a turbidez do efluente seja menor que 1,0 uT. Podem-se citar dois exemplos: (1) o aumento das concentrações de cistos de *Giardia* pode ocorrer com aumentos de turbidez de apenas 0,2 - 0,3 uT e (2) foram encontrados coliformes em água com turbidez variando entre 3,8 a 84,0 uT, mesmo após a desinfecção (HEALTH CANADÁ, 2003).

Um manancial superficial pode apresentar variações significativas de turbidez durante as diferentes épocas do ano (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Em períodos chuvosos, a água geralmente apresenta concentrações elevadas de turbidez, sólidos suspensos e microrganismos (PROSAB, 1999). Águas com valores de turbidez menor que 10 uT é considerada de baixa turbidez, entre 19 e 20 uT de turbidez intermediária e águas com turbidez de 20 a 70 uT são consideradas de alta turbidez (OPS, 2005).

Com relação às bactérias *E. coli* e eventuais bactérias patogênicas existentes na água bruta, o meio filtrante não apresenta condições favoráveis à sua proliferação, devido às temperaturas serem inferiores a 30°C e além disso, não dispõem de suficiente matéria orgânica de origem animal para atender às suas atividades metabólicas (PEREZ, 2009).

Diante disso, o presente artigo investigou o desempenho da FiME para a remoção de coliformes totais e *E. coli* nos filtros lentos e filtros lentos de areia e carvão, como uma alternativa de tratamento de águas

de abastecimento em períodos de alta turbidez da água bruta.

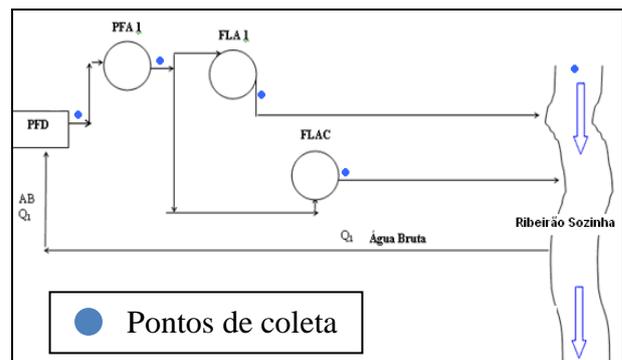
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada no experimento a instalação piloto de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), localizada na área da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Goianópolis – GO, operada pela SANEAGO, como mostra a Figura 4.



**Figura 4:** Instalação piloto de FiME em Goianópolis – GO.

O arranjo utilizado para o desenvolvimento do trabalho consistia em uma unidade de pré-filtração dinâmica (PFD), uma unidade de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente (PFA-1), uma unidade de filtração lenta (FLA-1) e uma unidade de Filtração Lenta de Areia e Carvão (FLAC), como ilustra a Figura 5.



**Figura 5 – Fluxograma do sistema de FiME**

A avaliação das eficiências das unidades de pré-filtração e filtração lenta foi realizada pelo monitoramento das características bacteriológicas dos afluentes e efluentes das unidades envolvidas no processo de filtração. Em geral, as amostras foram tomadas três vezes por semana.

## 3. RESULTADOS

A Tabela 1 mostra o início e fim das carreiras de

filtração avaliadas no experimento, assim como taxas de filtração e duração de cada uma. Todas as carreiras monitoradas apresentavam as mesmas taxas de filtração e sob condições de alta turbidez da água bruta.

É necessário salientar que as carreiras de filtração eram interrompidas quando as perdas de carga atingiam 0,70 m a 1,0 m (VERAS, 1999).

A remoção de bactérias patogênicas e vírus, principalmente no filtro lento é atribuída a vários fatores, entre eles: (1) decaimento natural, devido o filtro ser um ambiente relativamente hostil para esses microrganismos; (2) predação; (3) efeito biocida da radiação solar e (4) adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante, considerado o principal mecanismo de redução desses microrganismos (PROSAB, 1999).

A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) estabelece a ausência total de coliformes totais e *E. coli* na água para que a mesma esteja dentro dos padrões microbiológicos de potabilidade para consumo humano. Espera-se que o efluente de um sistema de FiME seja sujeito a desinfecção antes do abastecimento.

A taxa de filtração para FLA-1 e FLAC foi mantida em 3 m/d. Essa taxa deve ser mantida dentro de um intervalo de 2,4 a 7,2 m/d para fornecer aos microrganismos atuantes dentro do filtro um escoamento estável de nutrientes e oxigênio, além de proporcionar tempo suficiente para purificar a água (MOODY et al., 2002). A melhor performance de taxas de aplicação mais baixas deve-se à maior duração das carreiras, proporcionando maior maturação do leito (MURTHA e HELLER, 2003).

De acordo com os resultados obtidos nas carreiras de filtração estudadas, verificou-se que o FLA-1 apresentou remoção de: (1) 97,9% para a carreira 1; (2) 99,9% para a carreira 2 e (3) 98,6% para a carreira 3. O desempenho do FLAC foi: (1) 99,2% para a carreira 1; (2) 99,6% para a carreira 2 e (3) 96,6% para a carreira 3. Apenas na primeira carreira de filtração estudada, o FLAC apresentou um desempenho maior quando comparado ao FLA-1. Nas carreiras seguintes, a porcentagem de remoção do FLA-1 foi maior quando comparado ao FLAC. Isso pode ter ocorrido devido à perda da capacidade de adsorção do carvão ativado.

As análises estatísticas efetuadas com os dados de coliformes totais e *E. coli* obtidos nas carreiras de filtração e as comparações se basearam em um intervalo de 95% de confiança, indicaram que para todas as carreiras a utilização do FLA-1 ou FLAC não apresentaram diferença significativa quanto a remoção de coliformes. De maneira geral, o FLA-1 e FLAC tiveram eficiências semelhantes na remoção de coliformes totais e *E. coli*.

Vários foram os estudos realizados para avaliação da eficiência de filtros lentos na remoção de microrganismos patogênicos e indicadores de contaminação e na maioria dos casos, observaram-se elevadas taxas de remoção. Alguns pesquisadores observaram remoções de coliformes totais e *E. coli* de 95,0% a 100% em ensaios realizados com instalação piloto (COELHO, 2002) e remoções de 98,0% para coliformes totais e 97,0% para *E. coli* também em instalação piloto (BRITO et al., 2005). Esses dados são compatíveis aos verificados no presente trabalho.

**Tabela 1:** Síntese das carreiras no experimento.

Carreira de filtração	Início	Fim	Duração (dias)	Taxas de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)		
				PFD	PFA-1	FLA 1 - FLAC
1	28/01/2009	18/02/2009	22	24	12	3
2	01/03/2009	18/03/2009	18	24	12	3
3	18/03/2009	06/04/2009	20	24	12	3

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, ficou evidenciado a viabilidade do sistema de FiME para a remoção de coliformes totais e *Escherichia coli* em condições de alta turbidez, atendendo as recomendações da Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004),

que enuncia que a água para ser considerada bacteriológicamente potável deverá ter ausência de bactérias do grupo coliforme. É necessário apenas a desinfecção no efluente final estabelecendo que, após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRITO, L. L. A.; CARDOSO, A. B.; SALVADOR, D. P.; HELLER, L. **Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 307-317, 2005.
- COELHO, E. R. C. **Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio na remoção de atrásina em filtros lentos de areia e carvão ativado granular**. 2002. 248p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas por filtração em Múltiplas Etapas**. Rio de Janeiro, ABES/PROSAB, 1999. 114p.
- DANTAS, A.S. DI B. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada**. 2004. 281p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Vol 2. São Carlos: RiMa, 2005. 792p.
- HEALTH CANADA. **Guidelines for Canadian Drinking Water Quality – Supporting. Documentation – Turbidity**. Water Quality and Health Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, 2003.
- IRC. **Multi-Stage Filtration**. Thematic Overview Paper 15, IRC International Water and Sanitation Centre. Universidad del Valle, Cali, Colombia, October, 2006.
- MURTHA, N.A., HELLER, L. **Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.8, n.4, p.267-277, 2003.
- MOODY, C.; GARRETT, B.; HOLLER, E. **Pilot Investigation of Slow Sand Filtration and Reverse Osmosis Treatment of Central Arizona**. Project Water. Advanced Water Treatment Research Program - Report N<sup>o</sup>. 90. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, August, 2002.
- OPS / CEPIS. **Guia para diseño de sistemas de tratamiento de filtración em múltiples etapas**. Lima, Peru, 2005.
- PEREZ, W. E. **Avaliação do desempenho da filtração em múltiplas etapas (FiME) no tratamento da água do Ribeirão Sozinha – Goianópolis – GO**. 2009. 121p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.
- TANGERINO, E. P. **Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e filtração lenta**. 2003. 265p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- VERAS, L.R.V. **Tratamento de água superficial por meio de diferentes alternativas da tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas**. 1999. 246p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- VERAS, L. R. V.; DI BERNARDO, L. **Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FiME**. Revista de Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 13, n. 1, p.109-116, jan/mar, 2008.