

INFLUÊNCIA DO LEITO DE CONTATO NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE FERRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Rosete Ferreira de Lima¹
Luiza Girard²

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da unidade de leito de contato na eficiência de remoção de ferro em Estação de Tratamento de Água (ETA), tipo desferrização, que trata água subterrânea. Foram monitoradas a carreira de filtração, a perda de carga e as variáveis: pH, cor aparente, ferro (total e ferroso) e turbidez. Na presença do leito de contato, as eficiências de remoção de ferro total obtidas para as taxas de filtração de 180 m³/m².dia, 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia foram de 94% , 90% e 92%, respectivamente. Sem o leito de contato, as eficiências de remoção de ferro total ficaram em torno de 92%, 92% e 91%, respectivamente. As carreiras de filtração com leito de contato para as taxas de 180 m³/m².dia, 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia apresentaram tempo de duração média de 41 horas, 30 horas e 22,7 horas, respectivamente, enquanto que na ausência de leito de contato a duração média foi de 16 horas, 12 horas e 4,7 horas, respectivamente.

Palavras-chave: água subterrânea, leito de contato, remoção de ferro, taxas de filtração, filtro rápido descendente

ABSTRACT

Influence of the contact surface unit on the efficiency of iron removal from underground waters. This work had the objective of evaluate the influence of the contact surface unit in the efficiency of an Iron Removal Station that treats underground water. The filtration duration, the head loss and the variables pH, apparent color, iron (total and ferrous) and turbidity were monitored. With the contact surface unit the efficiencies of removal of total iron obtained for the taxes of filtration of 180 m³/m².day, 270 m³/m².day and 360 m³/m².day were from 94 %, 90 % and 92 %, respectively. In the absence the removal of total iron were around 92 %, 92 % and 91 %, respectively. The filtration duration with contact surface for the taxes of 180 m³/m².day, 270 m³/m².day and 360 m³/m².day were of 41 hours,

¹ E-mail para correspondência: rosete_eng@yahoo.com.br, rosete_lima@hotmail.com

² Depto. de Engenharia Sanitária-Ambiental, Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – UFPA, Coordenadora do GESA/UFPA.

30 hours and 22,7 hours, respectively, while in the absence of contact surface the medium duration were of 16 hours, 12 hours and 4,7 hours, respectively.

Key words: underground water, contact surface, iron extracting, filtration rates, downflow rapid filter

INTRODUÇÃO

A água subterrânea faz parte integrante do ciclo hidrológico, representando mais de 95% das reservas de água doce disponíveis no planeta. Elas têm um grande potencial de aproveitamento para o consumo doméstico e industrial, seja pela exploração de aquíferos freáticos ou artesianos. No entanto, esses aquíferos podem apresentar quantidades elevadas de elementos ou de compostos químicos diversos, sendo que um dos elementos encontrados, com maior frequência, é o ferro.

Na água, o ferro pode ocorrer sob a forma iônica (Fe^{+2}), se a água estiver livre de oxigênio ou em pH abaixo de 3. Em condições aeróbias, íons ferrosos passam a íons férricos que, por sua vez, formam hidróxidos de ferro insolúveis, que podem tingir fortemente a água (Azevedo e Chasin, 2003).

Os teores de ferro nas águas subterrâneas são bem mais elevados do que nas águas superficiais. Para Carvalho *et al.* (2005), “os problemas de ferro nas águas subterrâneas decorrem por estarem mais intimamente expostas aos materiais solúveis presentes em solos e rochas”.

Concentrações excessivas de ferro podem produzir efeitos prejudiciais como, por exemplo, problemas de sabor e odor, manchas em roupas, manchas em instalações sanitárias, depósitos em canalizações, causando obstruções e redução de vazão, incrustações em caldeiras e em sistemas de refrigeração e, além desses, a proliferação das “ferrobactérias”.

A presença de ferro nos aquíferos da Região Amazônica, e especificamente da Região Metropolitana de Belém, tem sido registrada em vários poços perfurados, em valores superiores ao recomendado pela Portaria nº 518/2004, do Ministério da Saúde, de até 12 mg/L de ferro. Tal Portaria “estabelece os procedimentos e responsabilidades, relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”, sendo o valor máximo de 0,3 mg/L de ferro permitido para água potável.

Para remoção de ferro das águas, utilizam-se sistemas de desferrização, que consistem na oxidação das formas solúveis de sais ferrosos Fe^{+2} para as formas insolúveis de sais férricos Fe^{+3} . Normalmente, o tratamento utilizado é a aeração seguida ou não de leito de contato com posterior retenção desse material particulado,

ou ainda, o de ciclo completo (coagulação-floculação-sedimentação-filtração), este aplicado com menor frequência. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), “os agentes oxidantes como o oxigênio, o permanganato de potássio e o dióxido de cloro podem ser utilizados na oxidação química”.

Assim, para estudar essa temática, foi instalada no Campus Guamá da Universidade Federal do Pará (UFPA) uma ETA-Piloto, sendo constituída de um aerador tipo tabuleiro, um leito de contato de fluxo ascendente e um filtro rápido de fluxo descendente, cujo objetivo foi avaliar a eficiência da remoção de ferro em função da presença ou da ausência do leito de contato, para otimização desses sistemas de tratamento na Região Amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi dimensionada e implantada uma ETA-Piloto tipo desferrização no Campus Profissional Guamá da UFPA, em Belém-PA, mais especificamente, no local da ETA do Campus, cujo sistema é constituído das unidades de aeração, de leito de contato e de filtração. Na figura 1, é apresentado o local de instalação da ETA-Piloto.

O sistema de abastecimento de água do Campus Guamá da UFPA é constituído de captação em manancial subterrâneo, que possui teores de ferro de cerca de 2 mg/L.



Figura 1. Local da instalação da ETA-Piloto – Campus Profissional Guamá UFPA (Google Earth, 2007).

Descrição da ETA-Piloto

A ETA-Piloto é constituída de um aerador tipo tabuleiro, de um leito de contato de fluxo ascendente e de um filtro rápido de fluxo descendente. O aerador tipo tabuleiro foi confeccionado em fibra de vidro, sustentado por estrutura de alumínio, com altura útil de 2,10 m, composto por cinco bandejas perfuradas e sobrepostas, distanciadas de 0,2 m, com seção quadrada de 0,26 x 0,26 m e altura de 0,15 m por onde a água percola, quando, então, é encaminhada para o tanque coletor com lado de 0,80 m e altura de 0,40 m. Na figura 2, é apresentado o aerador tipo tabuleiro da ETA-Piloto.



Figura 2. Aerador tipo tabuleiro em fibra de vidro e estrutura em alumínio confeccionado para a ETA-Piloto.

A unidade de leito de contato foi confeccionada em tubo PVC, com diâmetro interno de 0,30 m e altura de 3,85 m, perfazendo uma carga total de 641 kg. A unidade dispõe de três flanges ao longo do tubo, que permitem realizar procedimentos de introdução do leito, de manutenção e de operação. Na figura 3, pode ser observada a unidade do leito de contato e nesta unidade a água percorre as camadas de seixos em fluxo ascendente. As camadas de seixos nessa unidade foram dispostas da maior para a menor granulometria. Na tabela 1, são apresentadas as especificações granulométricas, bem como as espessuras das subcamadas.

Tabela 1. Especificações granulométricas das camadas que constituem o leito de contato.

Camadas do leito de contato	Diâmetro efetivo (Df) (mm)	Espessura (m)
Seixo 1	$3,18 < Df < 7,54$	1,40
Seixo 2	$7,94 < Df < 9,53$	0,10
Seixo 3	$9,53 < Df < 19,04$	0,10
Seixo 4	$19,05 < Df < 38,10$	0,15
Seixo 5	$3,18 < Df < 7,54$	0,10

A limpeza da unidade de contato foi efetuada introduzindo-se água no sentido ascensional, com velocidade de 0,9 m/min, durante 5 minutos, através de uma tubulação de \varnothing 75 mm.



Figura 3. Leito de contato de fluxo ascendente.

Na filtração de fluxo descendente, foi utilizado um filtro rápido em fibra de vidro, instalado em série ao leito de contato, de forma circular de 0,30 m, perfazendo altura de 3,4 m e uma carga total de 513 kg, composto por três flanges, para facilitar os procedimentos de montagem, de operação e de manutenção dessa unidade. Nessa unidade, a filtração da água percorre de cima para baixo a camada filtrante composta por areia com espessura de 70 cm, diâmetro efetivo de 1,2 mm e coeficiente de desuniformidade de 1,3 e do material mais fino para o mais grosso.

A camada suporte foi composta por subcamadas com materiais de granulometrias diferentes, previamente selecionadas, baseadas nas camadas utilizadas nos filtros da ETA - UFPA. O material foi distribuído em quatro camadas com 10 cm de espessura, com granulometria decrescente conforme o aumento da altura. A camada torpedo foi disposta acima da camada suporte com espessura de 0,10 m, para não permitir a intrusão dos materiais filtrantes. Na tabela 2, são apresentadas as características da camada suporte e da camada torpedo.

Tabela 2. Características da camada suporte e da camada torpedo da ETA-Piloto.

Camada	Material	Espessura (cm)	Diâmetro efetivo (Df) (mm)
Torpedo	Areia grossa	10	$1,59 < Df < 3,18$
	Seixo 4 e 5	10	$19,05 < Df < 38,10$ $38,10 < Df < 50,80$
Suporte	Seixo 3	10	$9,53 < Df < 19,04$
	Seixo 2	10	$7,94 < Df < 9,53$
	Seixo 1	10	$3,18 < Df < 7,54$

Na figura 4, pode-se observar a unidade de filtração utilizada na pesquisa.



Figura 4. Filtro de camada simples da ETA-Piloto.

Determinação da Eficiência de Filtração em Função do Leito de Contato

A determinação da eficiência do sistema em função do leito de contato foi realizada no período de 07/2006 a 10/2006. Essa etapa foi realizada em duas fases; a primeira com o leito de contato e a segunda sem o leito de contato, sendo adotadas taxas de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. O experimento foi constituído de coletas e de determinações laboratoriais, referentes aos pontos de amostragem: água bruta (AB), água após o leito (AL) e água filtrada (AF), conforme pode ser observado na figura 5.

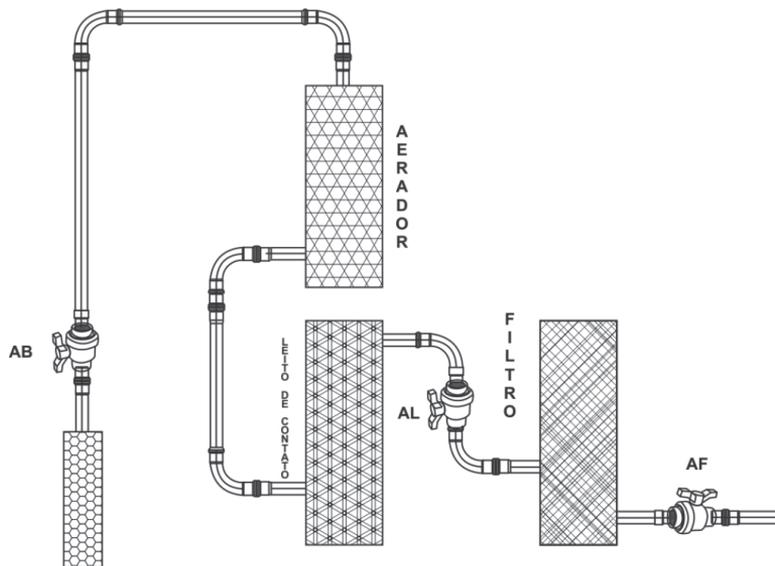


Figura 5. Pontos de monitoramento da ETA-Piloto.

As taxas de filtração foram adotadas de acordo com os seguintes critérios:

- $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$: avaliação da taxa de filtração recomendada pela NBR 12.216/92 para camada simples;
- $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$: avaliação da taxa de filtração uma vez e meia maior que a recomendada pela NBR 12.216/92 para camada simples;
- $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$: avaliação da taxa de filtração duas vezes maior que a recomendada pela NBR 12.216/92 para camada simples.

Para determinação da eficiência do processo de filtração na ETA-Piloto, foram realizados 18 ensaios, nove na primeira fase (com o leito de contato) e nove na segunda fase (sem o leito de contato), sendo esses realizados em triplicada para cada taxa de filtração aplicada.

Na primeira fase, as coletas e as análises foram desenvolvidas a cada quatro horas na AB e a cada duas horas na AL e na AF. Na segunda fase, as amostras foram coletadas a cada quatro horas na AB e a cada duas horas na AF.

No monitoramento, foram determinadas as seguintes variáveis: ferro total, ferro ferroso, cor aparente, turbidez e pH.

As determinações laboratoriais foram realizadas conforme as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1995)* e Normatizações Técnicas da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, L5.169 (1978); L5.126 (1989).

Vale ressaltar que os pontos de amostragem foram caracterizados segundo os valores máximos permissíveis (VMP) recomendados pela Portaria nº 518, do Ministério da Saúde, publicada em 25 de março de 2004.

Para o cálculo do grau de eficiência da filtração, em função do leito de contato na remoção do ferro, foi adotada a equação 1, a seguir:

$$E\% = (E_{AB} - E_{AL}) \cdot 100 / E_{AB} \quad (1)$$

Onde:

E= Eficiência de filtração (%)

E_{AB} = Concentração de ferro na água bruta (mg/L)

E_{AL} = Concentração de ferro após o leito de contato (mg/L)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em Função da Presença do Leito de Contato

Na figura 6, é apresentado o comportamento do ferro total na AF, para as taxas de 180 m³/m².dia, 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia em função da presença do leito de contato, sendo nas abscissas apresentados os valores mínimos, médios e máximos obtidos para cada situação estudada.

Observa-se, na figura 6, que os valores de ferro total na AF são ligeiramente mais satisfatórios para a taxa de filtração de 180 m³/m².dia, em relação às taxas de 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia.

Nota-se também que os valores obtidos, para todas as taxas de filtração, estão de acordo com a Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde, que estabelece VMP para concentração de ferro total em 0,3 mg/L.

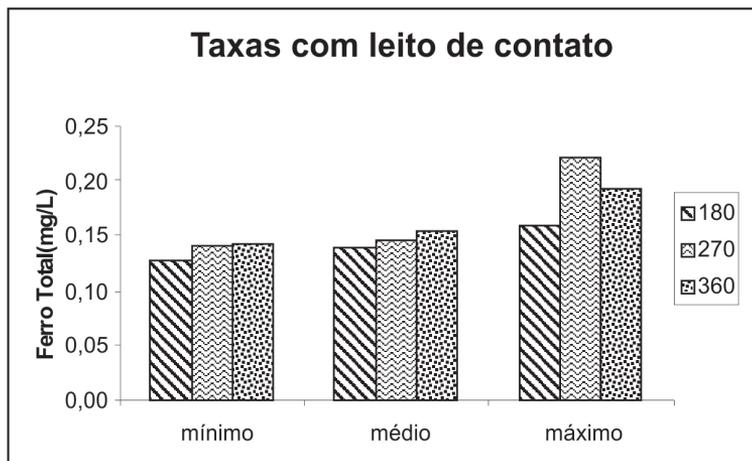


Figura 6. Variação das taxas 180 m³/m².dia, 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia em função da presença do leito de contato.

Comparando a duração das carreiras para a taxa de 180 m³/m².dia com leito de contato, observa-se que a produção de água foi realizada em média durante 41 horas, enquanto que para a taxa de 270 m³/m².dia a duração foi em média de 30 horas e para a taxa de 360 m³/m².dia foi realizada em um período de 22,7 horas. Observa-se que a taxa de filtração está relacionada à duração da carreira de filtração, isto é, quanto menor for a taxa de filtração para determinada qualidade de água bruta, maior será a carreira de filtração.

A figura 7 apresenta as carreiras de filtração em relação às taxas de 180 m³/m².dia, 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia em função da presença do leito de contato.

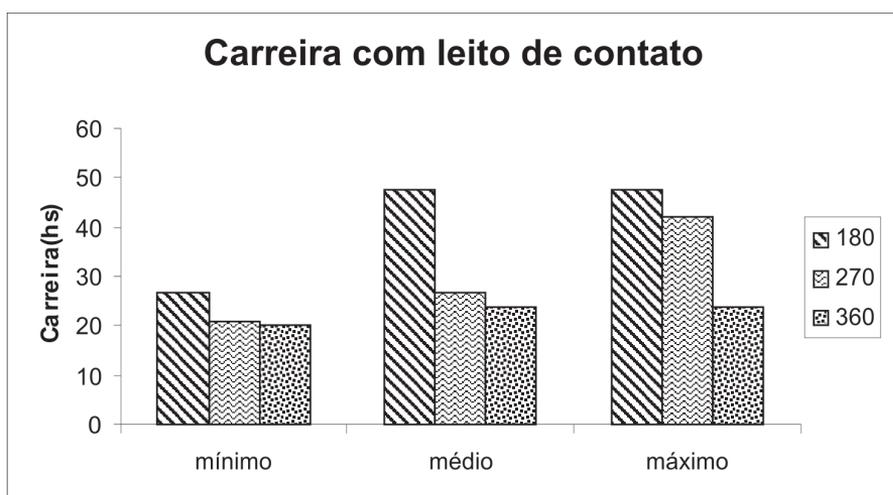


Figura 7. Carreira de filtração em função da presença do leito de contato.

Em Função da Ausência do Leito de Contato

Na figura 8, é apresentado o comportamento do ferro total na AF, para as taxas de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ em função da ausência do leito de contato, sendo nas abscissas apresentados os valores mínimos, médios e máximos obtidos para cada situação estudada.

Pode-se observar valores de ferro total praticamente iguais para as taxas estudadas de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, representando boa qualidade de água final, condizente com o padrão de potabilidade.

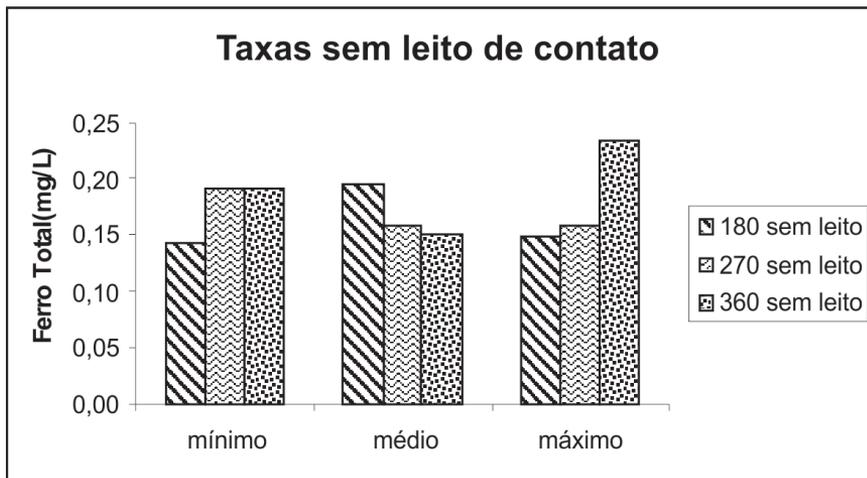


Figura 8. Variação das taxas $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ em função da ausência do leito de contato.

A carreira de filtração para a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ sem leito de contato foi em média 16 horas, enquanto que para a taxa de $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ foi de 12 horas e para $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ foi de 4,7 horas. Observa-se um aumento de 185% quando na utilização do leito de contato, o que resulta em lavagens com intervalos menores e, conseqüentemente, em menor volume de água para realização da operação de limpeza dos meios filtrantes.

Na figura 9, é apresentado o tempo de duração das carreiras de filtração em relação às taxas de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ na ausência do leito de contato.

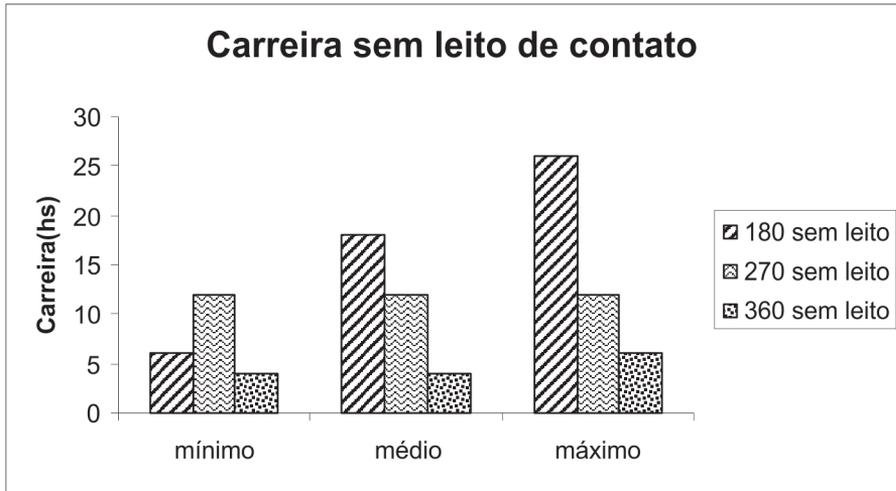


Figura 9. Duração da carreira em função da presença do leito de contato.

CONCLUSÕES

Tendo-se como base os resultados obtidos no monitoramento da ETA-Piloto tipo desferrização, pode-se concluir que:

- Na aplicação da taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, foi evidenciada, com o leito de contato, a eficiência na remoção de ferro total em torno de 93 % a 94 %, enquanto que sem a utilização do leito a eficiência foi de 91 % a 93 %.
- Para a taxa de filtração de $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, com leito de contato, verificou-se eficiência de remoção de ferro total entre 85 % a 95 % e para a taxa de filtração sem o leito de contato foi de 91 % a 93 %.
- No emprego da taxa de $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, com o leito de contato, a eficiência de filtração foi de 91 % a 92 %, no entanto, na ausência do leito de contato, variou entre 88 % a 93 %.
- A remoção de ferro total na unidade de leito de contato, para a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, foi de 59 % a 69 %, significando uma melhoria na unidade subsequente do sistema de filtração. Para a taxa de filtração de $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, a eficiência no processo de remoção de ferro total no leito de contato foi de 45 % a 71 %. Já para a taxa de filtração de $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, a eficiência de remoção de ferro total foi em torno de 66 % a 82 %.
- As carreiras de filtração, na presença do leito de contato, para as taxas de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, $270 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, apresentaram duração média de 41 horas, 30 horas e 22,7 horas, respectivamente.

- Para as carreiras de filtração nas taxas de 180 m³/m².dia, 270 m³/m².dia e 360 m³/m².dia, na ausência do leito de contato, a duração média foi de 16 horas, 12 horas e 4,7 horas, respectivamente.
- Para as taxas estudadas, conclui-se que o leito de contato é uma unidade indispensável para águas com teores de ferro total em torno de 2 mg/L, já que uma parcela considerável de ferro fica retida no mesmo, implicando na diminuição do número de lavagem dos filtros e, conseqüentemente, menor consumo de água e de energia elétrica para acionamento das bombas.

RECOMENDAÇÕES

Para otimização de tratamento de água tipo desferrização, recomenda-se:

- Desenvolver estudos alternativos de produtos químicos na avaliação de ETAs tipo desferrização em função do parâmetro pH, uma vez que existe uma faixa ótima de pH de oxidação do ferro de 7 a 8.
- Estudar alternativas de meio filtrante na eficiência do processo de remoção de ferro total.
- Modificar a camada suporte na adequação e na otimização do filtro rápido.
- Averiguar o desempenho das ETAs tipo desferrização para teores de ferro acima do valor médio obtido deste trabalho, que foi de 2 mg/L de ferro.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12216: **Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro: ABNT, 16 p.
- APHA, American Public Health Association. 1995. **Standard methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19 ed. Washington: APHA, 1368 p.
- AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. da M. 2003. **Metais**: gerenciamento da toxicidade. Londrina: Atheneu InterTox, 554 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N. 518, de 25 de março de 2004. Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br/website/images/destaque/portaria518.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2004.
- CARVALHO, M. N. et al. 2005. Remoção do ferro da água potável da Grande Recife por adsorção em matérias naturais: fase II – avaliação comparativa da baronesa com bagaço de cana-de-açúcar. In: 23 CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande, UFPB. p. 1-13.

CETESB, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São de Paulo. 1989. Normalização Técnica NT – L5.126. **Água - determinação de ferro, método colorimétrico da ortofenantrolina:** método de ensaio. São Paulo: CETESB, 11 p.

_____. 1978. Normalização Técnica L5. 169. **Determinação de oxigênio dissolvido em águas - método de Winkler modificado pela azida sódica:** método de ensaio. São Paulo: CETESB, 8 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. 2005. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. São Paulo: Rima, 784 p.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 4 jan. 2007.