



I-075 – REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS, MIB E GEOSMINA EM PÓS-FILTROS ADSORVEDORES DE CARVÃO ATIVADO GRANULAR NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

Carolina Alves de Souza Ferreira⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela EPUSP. Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela EPUSP. Engenheira consultora da MWH Brasil Engenharia e Projetos Ltda.

Sidney Seckler Ferreira Filho

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em Regime de Dedicação Exclusiva à Docência e Pesquisa.

Ricardo Lazzari Mendes

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Doutorando em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela EPUSP. Engenheiro Consultor da ENGECORPS Engenheiros Consultores S/C Ltda.

Cláudia Mota Santos Pereira

Química Industrial pela Faculdade Oswaldo Cruz. Mestranda em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Gerente da Estação de Tratamento de Água Guaraú da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

Frederico de Almeida Lage Filho

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Mestre e Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade da Califórnia – Berkeley.

Endereço⁽¹⁾: Rua José de Magalhães, 198 – Vila Clementino – São Paulo - SP - CEP: 04026-090 - Brasil - Tel: (11) 5081.9900 - e-mail: carolina.a.souza@mwhglobal.com.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi de analisar o comportamento de pós-filtros adsorvedores de CAG de origem mineral e de origem vegetal, com relação a, principalmente, remoção de partículas, MIB e geosmina. Os ensaios experimentais foram conduzidos na ETA ABV, empregando-se 4 filtros piloto em acrílico com diâmetro interno de 14,2 cm e 1,5 m de profundidade de meio filtrante cada, sendo 2 deles preenchidos com o CAG Filtrasorb 300 da CALGON (1 e 3) e os outros 2, com o CAG 119 12x25 da CARBOMAFRA (2 e 4). Os filtros operaram em paralelo, 24 h por dia, 7 dias por semana, sendo o 3 e 4 abastecidos com água filtrada da ETA; e o 1 e 2, com água filtrada ozonizada. A taxa média de aplicação nos filtros durante os ensaios foi de 143 m³/m².d, o que gerou um tempo de detenção médio de 15 min. O tempo médio total de detenção nas colunas de ozonização ficou em 21 min e a dosagem média total de ozônio aplicada na água filtrada da ETA em 1,11 mg/L. Os menores valores do número de partículas observados foram na água efluente aos filtros de CAG betuminoso 3 e 1, respectivamente. O que indicaria uma melhor capacidade adsorviva do CAG betuminoso em relação ao vegetal. O aumento da dosagem de ozônio não levou a uma modificação significativa no número de partículas $\geq 2,0 \mu\text{m}$ na água efluente aos filtros 1 e 2, permanecendo inferiores a 150 partículas/mL. No entanto, o número de partículas entre 1,2 μm e 2,0 μm reduziu de 5.400 partículas/mL para menos do que 1.350 partículas/mL (remoção de 75%). Os valores de MIB e geosmina foram superiores na água filtrada da ETA (média de 57,1 ng/L e 5,3 ng/L) do que na água filtrada ozonizada (média de 21,2 ng/L e 2,9 ng/L), indicando que a ozonização reduziu a quantidade desses compostos. Os menores valores de MIB e geosmina foram observados na água efluente aos filtros de CAG betuminoso (1 e 3). Resumindo, os pós-filtros adsorvedores de CAG betuminoso garantiram maiores remoções dos parâmetros aqui avaliados (turbidez, COT, UV 254 nm, número de partículas, MIB e geosmina) do que os de CAG vegetal. A ozonização otimizou essas remoções e aumentou as carreiras de filtração.

PALAVRAS-CHAVE: Pós-filtros adsorvedores de CAG. Ozonização. Partículas. MIB. Geosmina.



INTRODUÇÃO

O uso do ozônio no tratamento da água potável, especialmente nos EUA, tem crescido dramaticamente nos últimos anos devido aos avanços tecnológicos e preocupações com relação aos sub-produtos da desinfecção. A ozonização tem muitos benefícios e sua localização no trem de tratamento deve ser escolhida considerando seu impacto sobre outras unidades de processo, como a filtração (AWWARF, 2007). Uma qualidade melhor na água filtrada é verificada quando a ozonização ocorre imediatamente antes da filtração. Geralmente, os impactos da ozonização dependem do tipo de coagulante empregado e da qualidade da água bruta. O ozônio converte a matéria orgânica natural (MON) em compostos menores mais oxigenados (ácido oxálico), que podem exercer uma demanda maior de coagulante. Além disso, pelo fato dos polímeros catiônicos reagirem com partículas e matérias orgânicas maiores, a dosagem de polímero após a ozonização, cresce; o que pode levar a uma sub ou sobre dosagem de coagulante, prejudicando o desempenho dos processos de jusante. De maneira a acessar compreensivamente o desempenhos de filtros granulares, com relação a remoção de partículas, carreira de filtração e etc, é importante considerar o impacto dos processos de pré-tratamento nas características das partículas da água influente ao filtro e possivelmente sobre o próprio filtro.

A adoção de padrões de qualidade mais rigorosos e o aumento do uso da ozonização no tratamento da água ao redor do mundo têm aumentando a atenção sobre a filtração biológica, cujos benefícios incluem a redução do potencial de crescimento bacteriano, redução dos subprodutos da desinfecção formados durante a desinfecção secundária e redução do potencial de corrosão. Adicionalmente, a biofiltração possui o potencial de controlar micropoluentes de preocupações estéticas e de saúde, além de compostos causadores de gosto e odor. Gosto e odor de terra/mofo são muitas vezes causados pelos metabólitos microbianos geosmina (*trans*-1,10-dimethyl-*trans*-9-decalol) e MIB (2-methylisoborneol), que são de grande preocupação para as companhias de abastecimento de água, em particular, para a Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista (ETA ABV) na cidade de São Paulo/SP, devido ao limiar extremamente baixo de suas concentrações (4 ng/L e 9 ng/L, respectivamente) e suas persistências aos processos convencionais de tratamento de água. Como estes compostos são biodegradáveis, a ozonização/biofiltração tem o potencial de fornecer um meio eficiente de combate. Em filtros biologicamente ativos, as bactérias heterotróficas alojadas no meio filtrante, como biofilmes, oxidam a matéria orgânica biodegradável (MOB) e a utilizam como energia e fonte de carbono (URFER et al., 1997).

O uso de filtros biológicos para a produção de uma água estável vem sendo reconhecido na Europa nas últimas duas décadas, mostrando que tanto em um único estágio como quando empregados em sequência, são eficientes na produção de águas com baixa turbidez e alta remoção de partículas. Dos meios filtrantes possíveis de serem aplicados, o Carvão Ativado Granular (CAG) torna-se o preferido em relação a outros materiais, uma vez que serve tanto como meio filtrante quanto meio adsorvedor (GRENS; WERTH, 2001). Diversos fatores podem influenciar significativamente a remoção de MIB e geosmina nos biofiltros, além de interagirem entre si: presença de MOB, características e concentrações dos influentes aos biofiltros, natureza transiente dos eventos de gosto e odor, variações na temperatura da água, tipo de meio filtrante (CAG, antracito ou areia), Tempo de Contato no Leito Vazio (TCLV), taxa hidráulica de aplicação e contralavagem, especialmente se esta é realizada com água contendo algum desinfetante residual (ELHADI; HUCK; SLAWSON, 2006).

O objetivo deste estudo foi de analisar o comportamento de pós-filtros adsorvedores de CAG de origem mineral (betuminoso) e de origem vegetal (casca de coco), utilizando-se a água filtrada da ETA ABV seguida ou não de ozonização, com relação a, principalmente: (1) parâmetros físico-químicos; (2) perdas de carga; (3) remoção de partículas na filtração/adsorção e (4) remoção de MIB e geosmina na filtração/adsorção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram conduzidos na própria ETA ABV, nas dependências da estação piloto existente e próximos às bombas de água de lavagem dos filtros. Foram construídas quatro colunas em acrílico com diâmetro interno de 14,2 cm e 1,5 m de meio filtrante, para o estudo dos pós filtros adsorvedores de CAG. Os filtros foram nomeados da esquerda para direita de 1 a 4 (Figura 1). Os filtros 1 e 3 foram preenchidos com o CAG mineral Filtrasorb 300 da CALGON e o 2 e 4 foram preenchidos com o CAG vegetal 119 12x25 da CARBOMAFRA. Os filtros operaram em paralelo, 24 h por dia, 7 dias por semana, sendo o 3 e 4 abastecidos com água filtrada da ETA; e o 1 e 2, com água ozonizada. Para a ozonização foram utilizadas quatro colunas de ozonização em acrílico com diâmetro interno de 12,7 cm e altura útil de 2,83 m, operando



em série. O ozônio era aplicado apenas nas duas primeiras colunas. A taxa média de aplicação nos filtros durante os ensaios foi de $143 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, o que gerou um tempo de detenção médio de 15 min. O tempo médio total de detenção nas colunas de ozonização ficou em 21 min e a dosagem média total de ozônio aplicada na água filtrada da ETA em $1,11 \text{ mg/L}$. Embora a ETA piloto continue a operar indefinidamente, para o estudo dos pós-filtros adsorvedores de CAG aqui apresentado, foram consideradas as análises realizadas entre julho/2007 e dezembro/2008 com relação a, principalmente, remoções de MIB, geosmina, orgânicos e potencial de formação de THMs.

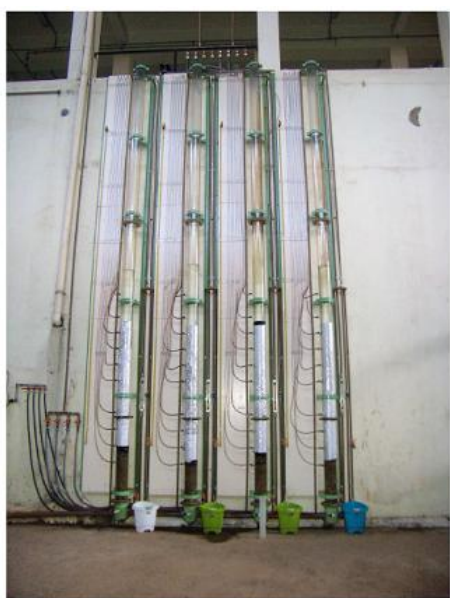


Figura 1: Filtros de CAG, identificados da esquerda para direita de 1 a 4.

Todos os filtros eram lavados quando a perda de carga, de qualquer um deles, ultrapassava 2,5 m. Este valor corresponde à perda de carga máxima geralmente considerada no projeto do filtro de uma ETA (KAWAMURA, 2000). A contra lavagem ocorria em duas etapas consecutivas: 1º) ar e, 2º) água. Na contra lavagem à água, a expansão dos leitos foi mantida entre 20 e 30% por 15 minutos, conforme a recomendação da AWWA e ASCE (1998) e a vazão de ar, foi baseada em estudo desenvolvido por Niquette et al. (1998), com duração de 5 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão dos resultados das análises de COT para a água efluente aos filtros 1, 2, 3 e 4, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão do COT da água efluente aos filtros 1, 2, 3 e 4.

Filtro	Mínimo (mg/L)	Médio (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão (mg/L)
1	0,20	1,42	5,45	0,66
2	0,67	1,91	8,16	0,80
3	0,14	1,62	10,74	1,06
4	0,84	2,14	10,36	0,92

Os valores médios de COT nas águas efluentes aos filtros 1 e 3 ($1,42 \text{ mg/L}$ e $1,62 \text{ mg/L}$) foram menores do que dos filtros 2 e 4 ($1,91 \text{ mg/L}$ e $2,14 \text{ mg/L}$), indicando que os CAGs de origem betuminosa apresentaram uma melhor remoção de COT do que os CAGs de origem vegetal. Além disso, os filtros alimentados com água ozonizada (1 e 2) também apresentaram maiores remoções de COT, indicando que a ozonização contribuiu na redução do COT.

A Figura 2 apresenta o comportamento dos filtros com relação a perda de carga, ao longo do tempo. A perda de carga dos filtros alimentados com água não ozonizada (3 e 4), em particular, o filtro de CAG betuminoso

(3), reduziu-se após as operações de lavagem. Os filtros alimentados com água ozonizada mantiveram suas perdas de carga ~ 30 cm.

Os valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão dos resultados das análises de contagem de partículas e contagem de bactérias heterotróficas encontram-se nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. Comparando-se os filtros alimentados com água ozonizada (1 e 2) observa-se que tanto os valores do número de partículas $\geq 2,0$ μm , quanto os valores do número de partículas entre 1,2 μm e 2,0 μm , foram superiores na água efluente ao filtro de CAG vegetal (193 partículas/mL versus 141 partículas/mL e 4.869 partículas/mL versus 3.412 partículas/mL), conforme discriminado nas Tabelas 5.2.4 e 5.2.5. No entanto, o valor médio da CBH na água efluente ao filtro 1 (537 UFC/mL) foi superior ao da água efluente ao filtro 2 (485 UFC/mL).

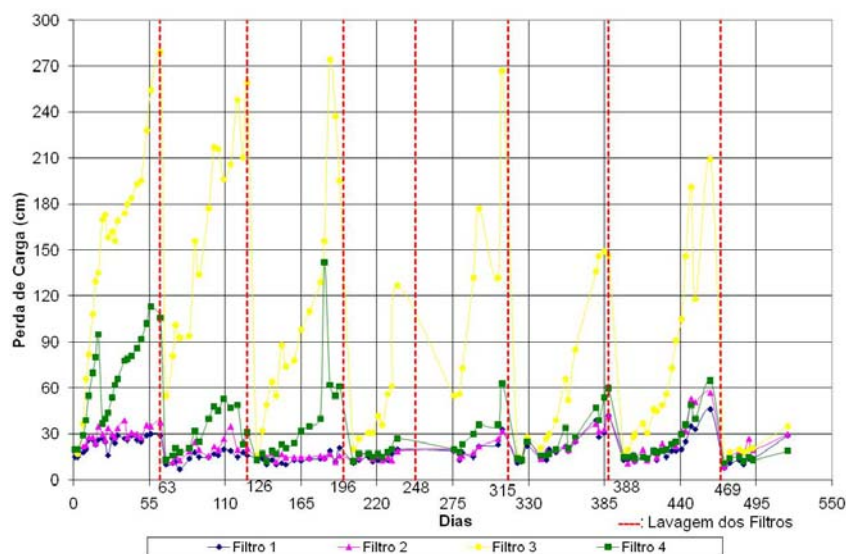


Figura 2: Perda de carga dos filtros, ao longo do tempo.

Tabela 2: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão do número de partículas e contagem de bactérias heterotróficas na água efluente ao Filtro 1.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
NP $\geq 2,0$ μm (partículas/mL)	12	141	1.870	224
1,2 $\mu\text{m} \leq \text{NP} < 2,0$ μm (partículas/mL)	57	3.412	40.795	4.146
CBH (UFC/mL)	0	537	1.300	454

Tabela 3: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão do número de partículas e contagem de bactérias heterotróficas na água efluente ao Filtro 2.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
NP $\geq 2,0$ μm (partículas/mL)	18	139	3.792	511
1,2 $\mu\text{m} \leq \text{NP} < 2,0$ μm (partículas/mL)	80	4.869	100.019	9.750
CBH (UFC/mL)	1	485	1.900	493

Tabela 4: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão do número de partículas e contagem de bactérias heterotróficas na água efluente ao Filtro 3.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
NP $\geq 2,0$ μm (partículas/mL)	3	125	1.682	204
1,2 $\mu\text{m} \leq \text{NP} < 2,0$ μm (partículas/mL)	33	2.978	16.123	2.583
CBH (UFC/mL)	0	95	1.000	230



Tabela 5: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão do número de partículas e contagem de bactérias heterotróficas na água efluente ao Filtro 4.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
$NP \geq 2,0 \mu\text{m}$ (partículas/mL)	11	203	2.225	293
$1,2 \mu\text{m} \leq NP < 2,0 \mu\text{m}$ (partículas/mL)	66	4.150	62.788	6.267
CBH (UFC/mL)	0	170	2.000	483

Dentre os 4 filtros, aquele que apresentou os menores valores de número de partículas, foi o alimentado com água filtrada da ETA e CAG betuminoso (3). Em segundo lugar, foi o CAG betuminoso alimentado com água ozonizada (1). Os maiores valores médios de CBH ocorreram na água efluente aos filtros 1 e 2. O que indiretamente indica a formação de uma colônia bacteriológica nesses filtros, devido a ozonização.

As Figuras 3 e 4 mostram, para a água efluente aos filtros, a relação dos valores de COT com o número de partículas $\geq 2,0 \mu\text{m}$, e o número de partículas entre $1,2 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$, respectivamente. Os valores de COT, na água efluente aos filtros, permaneceram, geralmente, entre 1,0 e 2,5 mg/L, independentemente do número de partículas.

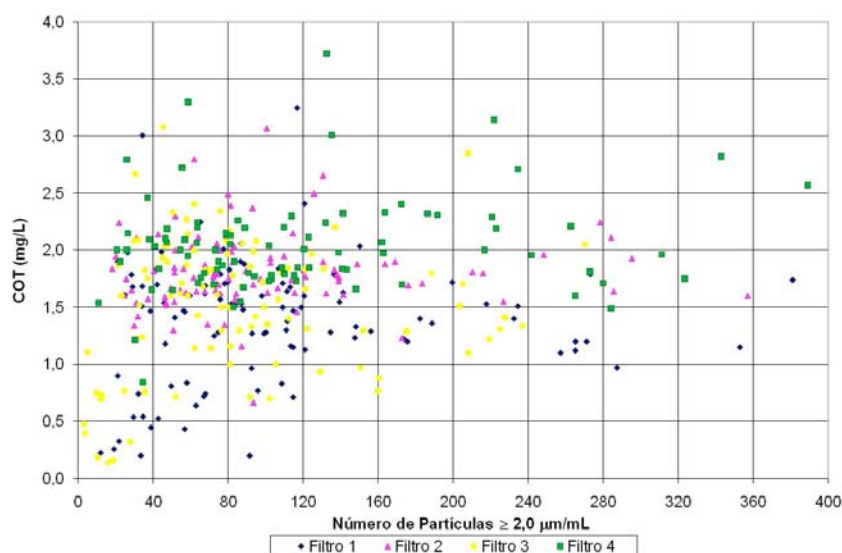


Figura 3: Valores de COT versus número de partículas $\geq 2,0 \mu\text{m}$, na água efluente aos filtros.

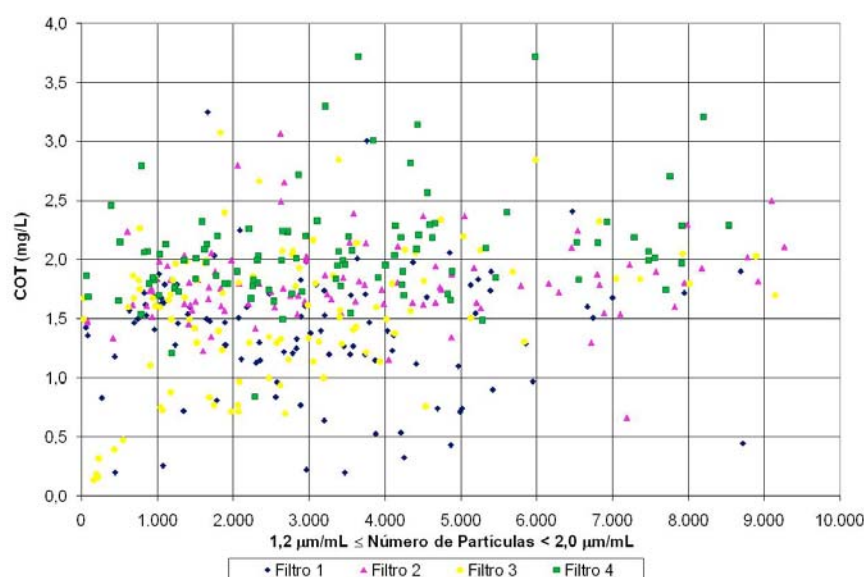


Figura 4: Valores de COT versus número de partículas entre $1,2 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$, na água efluente aos filtros.



Os valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão dos resultados das análises de MIB e geosmina encontram-se resumidos nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão de MIB.

Valor	MIB (ng/L)					
	Filtrada	Ozonizada	F1	F2	F3	F4
Mínimo	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Médio	57,1	21,2	8,2	16,5	16,9	42,4
Máximo	563	411	64	234	144	366
Desvio Padrão	132,9	63,2	11,7	38,4	29,5	89

Tabela 7: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão de geosmina.

Valor	Geosmina (ng/L)					
	Filtrada	Ozonizada	F1	F2	F3	F4
Mínimo	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Médio	5,3	2,9	2,0	2,0	2,0	2,8
Máximo	56,0	13,0	2,0	2,5	2,0	14,0
Desvio Padrão	8,5	2,3	0,0	0,1	0,0	2,1

Os valores de MIB na água do REAF foram superiores aos do REAO, indicando que a ozonização contribuiu para a redução (média de 62,9%) da quantidade deste composto. O filtro que apresentou os menores valores de MIB foi o CAG betuminoso, alimentado com água ozonizada (1) e os maiores valores, foi o de CAG vegetal alimentado com água filtrada da ETA (4). Apesar da água efluente aos filtros 2 e 3 apresentarem praticamente os mesmos valores médios de MIB a porcentagem de remoção alcançada pelo CAG betuminoso (70,4%) foi superior ao de CAG vegetal (22,2%). Além disso, o valor máximo de MIB verificado na água efluente ao filtro 3 foi inferior ao do filtro 2 (144 e 234 ng/L, respectivamente).

Os valores de geosmina na água do REAO foram inferiores aos da água do REAF, indicando que a ozonização contribuiu para a redução deste composto (redução média de 45,3%). Os valores médios de geosmina verificados na água efluente aos filtros 1, 2 e 3 foram semelhantes (2,0 ng/L). No entanto, a maior remoção encontrada foi no filtro de CAG betuminoso, alimentado com água não ozonizada (62,3%). A água efluente ao filtro 4 (CAG vegetal) é que apresentou os maiores valores de geosmina. A Figura 5 indica a porcentagem de remoção de geosmina e a Figura 6, a relação dos valores de MIB na água efluente aos filtros com a razão volume de filtração/volume do meio filtrante de CAG.

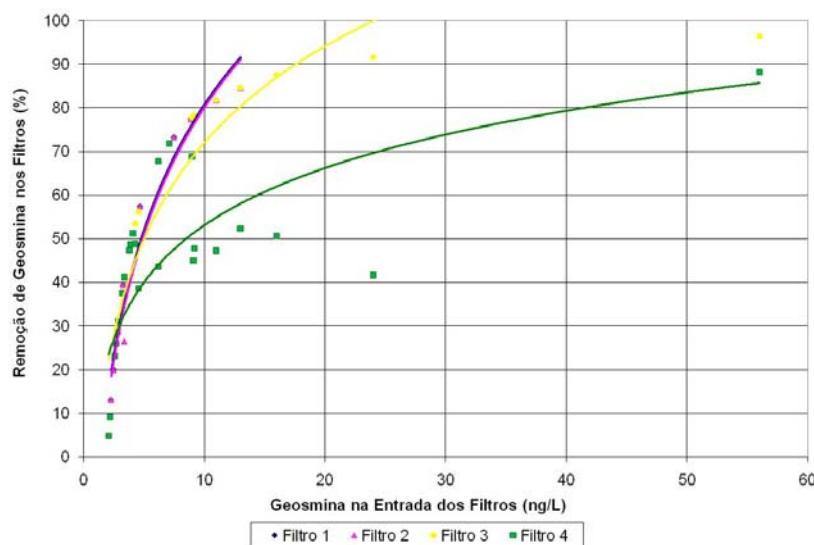


Figura 5: Porcentagem de remoção de geosmina nos filtros.



A porcentagem de remoção de geosmina cresceu com o aumento dos valores de entrada, observando-se remoções maiores nos filtros alimentados com água ozonizada (1 e 2), e menores no filtro de CAG vegetal, alimentado com água filtrada da ETA (4).

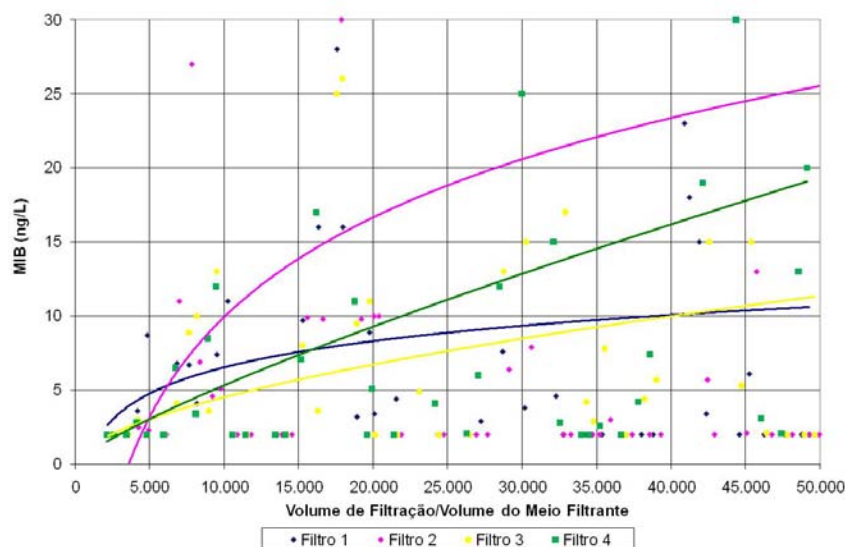


Figura 6: Valores de MIB na água efluente aos filtros versus a razão volume de filtração/volume do meio filtrante.

Com o aumento da razão volume de filtração/volume de CAG aumentou-se os valores de MIB na saída dos filtros; sendo estes maiores nos CAGs vegetais (2 e 4) do que nos betuminosos (1 e 3). O que significa dizer que, com o passar do tempo, a capacidade adsorativa dos carvões diminuiu, mais rapidamente nos CAGs vegetais do que nos betuminosos.

CONCLUSÕES

A partir dos ensaios experimentais realizados foi possível concluir que:

- Os filtros alimentados com água ozonizada apresentaram maiores remoções de COT (35,5% - filtro 1 e 13,2% - filtro 2) do que os filtros alimentados com água filtrada da ETA (26,7% - filtro 3 e 3,2% - filtro 4), indicando que a ozonização auxiliou na remoção deste parâmetro. Os filtros de CAG betuminoso mostraram maiores remoções de COT (35,35% - filtro 1 e 26,7% - filtro 3) e UV 254 m (28,6% - filtro 1 e 41,4% - filtro 3) do que os filtros de CAG vegetal (13,2% - filtro 2; 3,2% - filtro 4 e 19% - filtro 2; 20,7% - filtro 4), indicando que estes filtros apresentaram uma melhor capacidade adsorativa, com relação a este parâmetro.
- Os menores valores de perda de carga verificados foram dos filtros alimentados com água ozonizada (≤ 47 cm - filtro 1 e ≤ 57 cm - filtro 2), indicando que a ozonização contribuiu para o aumento da carreira de filtração. Os maiores valores de perda de carga (≤ 279 cm) verificados foram do filtro 3 (CAG betuminoso, alimentado com água filtrada da ETA). O que comprovaria a sua maior capacidade adsorativa em relação ao filtro 4 (CAG vegetal, alimentado com água filtrada da ETA), levando-o a carreiras de filtração menores.
- A água efluente aos filtros apresentou número de partículas maiores do que os seus valores de entrada; com exceção do filtro 1 que obteve remoções bem pequenas (19,43% para o $NP \geq 2,0 \mu m$ e 0,41% para $1,2 \mu m \leq NP < 2,0 \mu m$); o que poderia ser explicado pelo desprendimento dessas partículas retidas nos filtros de CAG com o passar do tempo. Os menores valores do número de partículas observados foram na água efluente aos filtros de CAG betuminoso 3 e 1, respectivamente. O que indicaria uma melhor capacidade adsorativa do CAG betuminoso em relação ao vegetal.



- Os maiores valores médios da contagem de bactérias heterotróficas ocorreram na água efluente aos filtros 1 e 2; o que indiretamente indicaria a formação de uma colônia bacteriológica nesses filtros, devido a ozonização.
- O número de partículas $\geq 2,0 \mu\text{m}$ na água filtrada da ETA foi superior (média 404 partículas/mL) ao número de partículas da água ozonizada (média de 175 partículas/mL), indicando que a ozonização contribui para a diminuição deste parâmetro. O número de partículas entre $1,2 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$ na água filtrada da ETA foi inferior (média 2.552 partículas/mL) ao número de partículas da água ozonizada (média de 3.426 partículas/mL), indicando que a ozonização contribui para o aumento deste parâmetro.
- A operação de lavagem dos filtros não alterou a capacidade de remoção das partículas, quer $\geq 2,0 \mu\text{m}$ ou entre $1,2 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$, mantendo-se inferiores a 500 partículas/mL e menores que 8.250 partículas/mL, respectivamente. A quantidade de partículas entre $1,2 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$ foi sempre superior a quantidade de partículas $\geq 2,0 \mu\text{m}$, para as águas avaliadas aqui neste estudo (REAF, REAO e efluente aos filtros).
- O aumento da dosagem de ozônio não levou a uma modificação significativa no número de partículas $\geq 2,0 \mu\text{m}$ na água efluente aos filtros 1 e 2, permanecendo inferiores a 150 partículas/mL. No entanto, o número de partículas entre $1,2 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$ reduziu de 5.400 partículas/mL para menos do que 1.350 partículas/mL (remoção de 75%).
- Os valores de COT na água efluente aos filtros permaneceram (em sua grande maioria) entre 1,0 mg/L e 2,5 mg/L, independente do número de partículas.
- A perda de carga nos filtros alimentados com água ozonizada (1 e 2) permaneceu (na maioria dos casos) inferior a 30 cm, independente do número de partículas.
- Os valores de MIB e geosmina foram superiores na água do REAF (média de 57,1 ng/L e 5,3 ng/L) do que na água do REAO (média de 21,2 ng/L e 2,9 ng/L), indicando que a ozonização reduziu a quantidade desses compostos. Os menores valores de MIB e geosmina foram observados na água efluente aos filtros de CAG betuminoso (1 e 3).
- Com o passar do tempo aumentou-se os valores de MIB na saída dos filtros; sendo estes maiores nos CAGs vegetais (2 e 4) do que nos betuminosos (1 e 3). O que significaria dizer que a capacidade adsorptiva dos carvões diminuiu mais rapidamente nos CAGs vegetais do que nos betuminosos.

Resumindo, os pós-filtros adsorvedores de CAG betuminoso garantiram maiores remoções dos parâmetros aqui avaliados (turbidez, COT, UV 254 nm, número de partículas, MIB e geosmina) do que os de CAG vegetal. A ozonização otimizou essas remoções e aumentou as carreiras de filtração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA; ASCE. **Water Treatment Plant Design**. 3 ed. 1998.
2. AwwaRF. **Characterization of Particles in Filter Effluents**. 2007.
3. ELHADI, S. L. N.; HUCK, P. M.; SLAWSON R. M. **Factors Affecting the Removal of Geosmin and MIB in Drinking Water Biofilters**. AWWA Journal, 98(8): 108-119, 2006.
4. GRENS, B. K.; WERTH C. J. **Durability of Wood-Based Versus Coal-Based GAC**. AWWA Journal, 93(4): 175-181, 2001.
5. KAWAMURA, S. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities**. 2 ed. 2000.
6. NIQUETTE P. et al. **Backwashing First-Stage Sand – BAC Filters**. AWWA Journal, 90(1): 86-97, 1998.
7. URFER, D. et al. **Biological Filtration for BOM and Particle Removal: a Critical Review**. AWWA Journal, 89(12): 83-98, 1997.