

## **AValiação da Melhoria Operacional em ETA de Grande Porte com a Substituição de Parte de Areia por Carvão Antracito em Filtro Convencional**

**Pedro Henrique Chaves de Souza Araújo** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal Rural do Estado do Rio de Janeiro. Analista de operações na Rio+Saneamento.

**Alan Johnny de Ribeiro de Matos** <sup>(2)</sup>

Cursando Gestão Ambiental pela Universidade Unopar. 12 anos de experiência em operação de estação de tratamento. Supervisor operacional de ETA na Rio+Saneamento.

**Jamila Machado Aquini** <sup>(3)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Pós-graduada em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Há 13 anos atuando na gestão operacional de sistemas de tratamento. Coordenadora de operações na Rio+Saneamento.

**Jessica Rodrigues Pires da Silva** <sup>(4)</sup>

Engenheira Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Mestre em Tecnologias Ambientais e Sustentabilidade pelo New York Institute of Technology, Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Especialista de processos de tratamento de água e esgoto na Rio+Saneamento.

**Neylton Antonio Maluf Junior** <sup>(5)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia de Piracicaba. Gerente de Operações na Rio+ Saneamento Regional Serra Lagos.

Endereço(1): Rua Victor Civita, 66 - Jacarepaguá – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22775-044 - Brasil - Tel: (21) 997285-8242 - e-mail: [jamila.aquini@riomaissaneamento.com.br](mailto:jamila.aquini@riomaissaneamento.com.br)

### **RESUMO**

Em ETA convencionais, a filtração torna-se última barreira na remoção de sólidos, podendo os filtros serem classificados em camada simples ou dupla. Filtros de camada dupla de areia-antracito apresentam teoricamente maior carreira de filtração, comparadas a filtros simples de areia, pois o antracito dá maior porosidade e espaço superficial a partícula filtrante, retendo maiores quantidade de sólidos. Nesse sentido, o presente trabalho buscou avaliar e quantificar o impacto da substituição de parte de areia por antracito no leito de um filtro convencional (filtro 6), considerando as rotinas de retrolavagem do filtro, comparando-se os resultados obtidos com demais filtros onde não foi feita esta substituição. Observou-se aumento de 2 a 3 horas de carreira de filtração do filtro 6, tendo teste T de Student com p-valor de 8,26E-08, descartando a hipótese nula, ratificando que os valores de carreira de filtração do filtro 6 são distintos da média da carreira de filtração para os demais filtros. Na prática, o aumento do tempo de carreira traduziu-se em 575 m<sup>3</sup> de água economizados em retrolavagem por mês. A redução possibilita a disponibilização de mais água para a distribuição, o que pode agregar em ganhos de R\$ 2.806 por mês por filtro, ou R\$ 16.836 por mês considerando todos os filtros. A mudança para filtro com antracito exigiu baixo investimento, com payback simples de 9 meses, e a intervenção é de baixa complexidade. Por conseguinte, os investimentos na substituição parcial do antracito para os demais filtros mostram-se vantajosos para melhoria contínua dos processos de tratamento e maior disponibilidade de água para distribuição.

**PALAVRAS-CHAVE:** Antracito, Carreira de Filtração, Filtro Dupla Camada.

## INTRODUÇÃO

Em Estações de Tratamento de Água (ETA) convencionais para abastecimento público, as operações unitárias mais usuais incluem coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Essa sequência varia de acordo com a qualidade da água bruta coletada, sendo necessário estudo preliminar para caracterização do afluente e as necessidades de tratamento, com testes em bancada e planta piloto para definição do processo adequado, tendo em vista alta eficiência no tratamento e obtenção de vazão adequada para distribuição.

Um dos parâmetros essenciais para garantia da remoção dos materiais particulados, a turbidez, é acompanhada ao longo de cada operação unitária na ETA, tendo como principais etapas de remoção a decantação e filtração, sendo esta segunda a barreira final para garantia da clarificação da água. Para tal, é usualmente aplicado um meio granular com diversas camadas de granulometrias maiores a menores, geralmente pedregulho (leito suporte), areia, carvão e antracito, criando caminhos preferenciais para passagem da água filtrada e retenção dos sólidos. Nessa etapa existem dois mecanismos fundamentais, o transporte, ligado a passagem de partículas até o meio filtrante, e a aderência, que caracteriza as relações das forças superficiais entre partículas-partículas e partículas-leito. Quando há forças de cisalhamento superando o mecanismo de aderência, ocorre o arraste das partículas para novos poros do leito, tendo rearranjo entre partículas e meio (Di Bernardo, 2005).

A depender da conformação do leito filtrante, o filtro pode ser classificado em camada simples ou dupla. Filtros de camada dupla de areia-antracito apresentam altas taxas de filtração com maior carreira de filtração, comparadas a filtros simples de areia. Essas vantagens ocorrem devido o carvão antracito possuir maior coeficiente de esfericidade, rearranjando-se na melhor conformação para criação dos caminhos preferenciais. Além disso, possuem altos valores de porosidade e área superficial, essenciais para a passagem do líquido em detrimento a adsorção dos sólidos grosseiros. Devido à larga cadeia carbônica do carvão, há ainda interações intermoleculares, principalmente Van der Waals, entre as partículas e o meio filtrante, restando e criando barreira ao longo do fluxo de filtração. (Sidney & Bernardo, 1993)

Durante o processo, a taxa de filtração permanece constante ou reduz-se devido à perda de carga, ocasionada pela diminuição dos caminhos preferenciais criados (Brinck, 2009). Os Filtros de Limpeza por Retrolavagem (FLR) trabalham com sistema de lavagem por contrafluxo, utilizando coluna de água de reserva para lavar o filtro, ocorrendo suspensão do meio filtrante e arraste dos sólidos removidos do leito, enviados para descarga do filtro. A vantagem da FLR é que há maior praticidade na limpeza e redução significativa no tempo de parada para retrolavagem, de 4 a 10 minutos, a depender do tamanho do filtro, sendo usual seu emprego em grandes ETA's convencionais. Os principais investimentos no FLC são na construção do reservatório e instalação do sistema de comportas, tubulações e válvulas. (Michelan et al, 2015).

O presente trabalho refere-se a uma ETA de grande porte, que emprega 06 (seis) filtros do tipo FRL de camada simples. Através de um processo licitatório, a operadora desta ETA foi substituída a partir de agosto de 2022. Sob a antiga concessão, a falta de manutenções periódicas no leito filtrante, somada ao arraste parcial do leito devido aplicação de vazões excessivas na retrolavagem, reduziram a carreira de filtração dos filtros. Com objetivo de prolongar o tempo de carreira, e consequentemente reduzir o consumo de água com retrolavagens, o presente trabalho avaliou a substituição parcial do leito de areia por antracito em um dos filtros, acompanhando o período de lavagem entre filtros.

## OBJETIVO(S)

O objetivo deste trabalho é avaliar e quantificar o impacto da substituição de parte de areia por antracito no leito de um filtro convencional, considerando as rotinas de retrolavagem do filtro, comparando-se os resultados com os obtidos em filtros onde não foi feita esta substituição, mantendo-se o leito de camada simples de areia. Avaliou-se o prolongamento da carreira de filtração, com conseguinte redução no consumo de água para retrolavagem e aumento da disponibilidade para distribuição.

Espera-se que o trabalho auxilie demais operações em ETA convencionais na melhoria contínua dos processos, com redução de perdas de água devido retrolavagens excessivas, e consequentemente aumento da capacidade produtiva e prolongamento do tempo de produção dos filtros.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Na ETA em análise, tem-se o uso de filtração rápida através de 6 filtros com dimensão 3,30 metros por 7,60 metros. Como forma de maximizar a carreira de filtração, com redução da frequência e, por conseguinte, do volume de água destinado para retrolavagem, foi substituída parte da camada de areia por carvão mineral antracito no leito filtrante do filtro 6, com as especificações do antracito atendendo a NBR 12216 (Brasil, 1992). Os filtros 1, 2, 3, 4 e 5 continuaram com leito filtrante do tipo camada simples de areia. A substituição foi feita no dia 13 de dezembro de 2022, através da troca de 40 cm de areia por antracito, totalizando um volume de 10 m<sup>3</sup> de antracito inserido. Exigiu-se 8 horas de atividade para troca, tendo a camada superior do filtro 30 cm de areia e 40 cm de carvão antracito ao término. A Figura 1 mostra o procedimento de substituição parcial da camada filtrante de areia.

**Figura 1 - Substituição de parte do leito filtrante areia e substituição por Antracito.**



Fonte: Autoria própria.

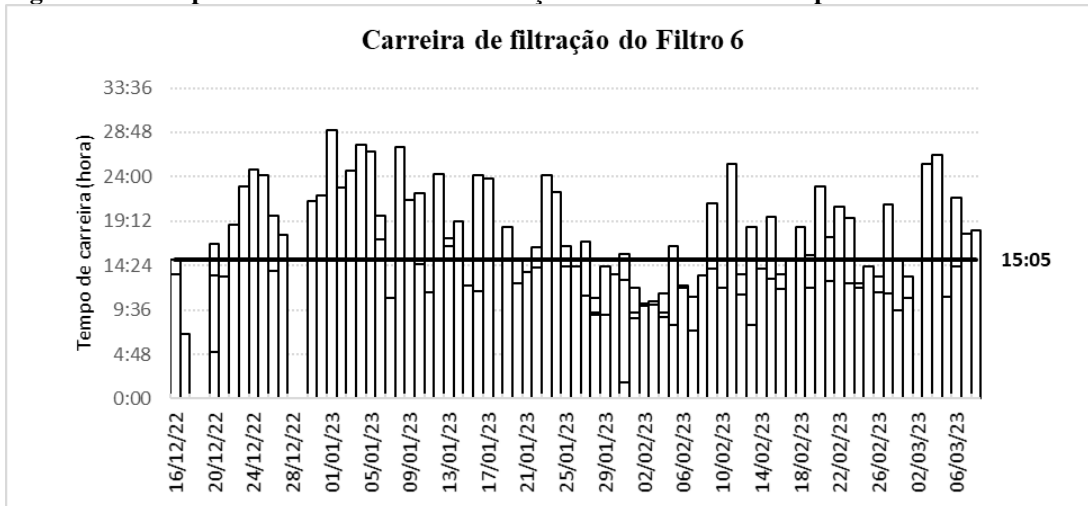
Para fins de padronização dos resultados monitorados, os critérios adotados para determinação da perda de carga máxima admissível para iniciar a retrolavagem em todos os filtros foram: a altura da coluna de água sobre os filtros de no máximo 2,0 metros acima da calha coletora, ou o valor de turbidez da água filtrada acima de 0,6 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), o que ocorresse primeiro. Cada retrolavagem utiliza em torno de 70 m<sup>3</sup> de água, tendo disponível um tanque de 300 m<sup>3</sup> para uso para retrolavagem.

O estudo foi feito no período de 14 de dezembro de 2022 a 07 de março de 2023. Nesse período, mensurou-se o tempo de carreira de filtração dos 6 filtros estudados, avaliando-se a variação do tempo entre retrolavagens. Para verificar se havia diferença significativa entre a média dos tempos de retrolavagem do filtro 6 e média dos tempos de retrolavagem dos filtros 1 a 5, aplicou-se o teste T de Student com hipótese de similaridade entre a média de dados, considerando que as populações são independentes. Definiu-se intervalo de confiança de 95%, com distribuição bicaudal e variação desigual de duas amostras (heteroscedástica). Utilizou-se a média do tempo de carreira dos 5 primeiros filtros como amostra 1, devido à similaridade de configuração física entre eles, e a média do tempo de carreira do filtro 6 como amostra 2.

## RESULTADOS OBTIDOS

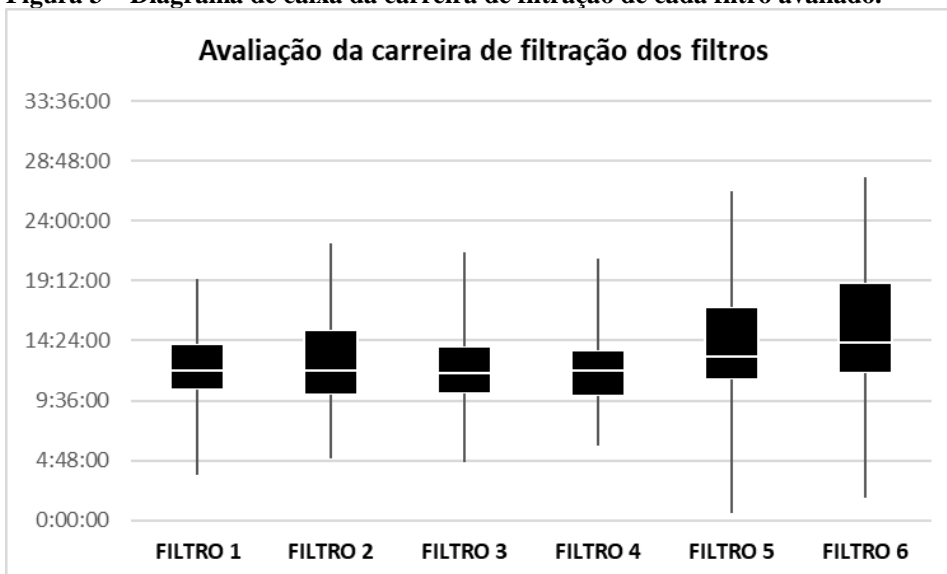
Em média foram realizadas 140 retrolavagens em cada filtro (1,2,3,4 e 5) no período em estudo, enquanto no filtro 6 observou-se menor frequência, com 125 retrolavagens. A Figura 2 mostra a carreira de filtração do filtro 6, tendo tempo médio de 15:05 horas, representando ganho médio de 2 a 3 horas de carreira de filtração comparado aos demais filtros, com média de 12:52 horas. A Figura 3 apresenta os dados dos 6 filtros em função do tempo de carreira de filtração em diagrama de caixa, apresentando a mediana, primeiro e terceiro quartis, e os *outliers*.

**Figura 2 - Acompanhamento da carreira filtração do filtro 6 durante o período de estudo.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 3 – Diagrama de caixa da carreira de filtração de cada filtro avaliado.**



Fonte: Autoria própria.

Para avaliação da diferença entre os dados amostrais do filtro 6 e demais filtros, o teste T de Student foi realizado, resultando em p-valor de 8,26E-08, para um intervalo de confiança de 95%.

Considerando que, cada retrolavagem utiliza em torno de 70 m<sup>3</sup> de água e o tempo médio entre retrolavagens é 12:52 horas para os filtros 1 a 5, tem-se um consumo mensal de aproximadamente 3.917 m<sup>3</sup> de água para a retrolavagem de cada filtro, enquanto no filtro 6, com média 15:05, o consumo é de 3.341 m<sup>3</sup>. Tem-se então, uma economia de 575 m<sup>3</sup> de água tratada todo mês, que deixou de ser utilizada na retrolavagem do filtro 6, ficando disponibilizada para a distribuição.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 3 ilustra uma maior carreira de filtração no filtro 6 comparado aos demais filtros, inclusive com valor mediano superior aos outros. Para comprovar que esse resultado é estatisticamente relevante, o teste T de Student foi feito. O p-valor de 8,26E-08 descartou a hipótese nula, ratificando que os valores de carreira de filtração do filtro 6 são distintos da média da carreira de filtração para os demais filtros. Como a única

mudança executada entre esses filtros foi a substituição de parte da areia filtrante por carvão antracito, pode-se atribuir o aumento da carreira de filtração à adição do carvão antracito. Devido grande porosidade e área superficial deste material, o leito de antracito torna-se ótimo meio para adsorção de sólidos mais grosseiros, desacelerando a colmatação da areia ao longo da carreira de filtração e permitindo assim maior tempo de filtração até que se crie a necessidade de retrolavagem do filtro.

A substituição da areia por antracito permitiu economizar 575 m<sup>3</sup> de água tratada por mês, e considerando-se os 83 dias de avaliação do estudo, a redução chegou a 1.592 m<sup>3</sup> de água. A estrutura tarifária da água varia muito dependendo do município, categoria (residencial, comercial, industrial) e faixa de consumo, sendo para o estado do Rio de Janeiro, com categoria residencial na faixa de menor consumo (0-15 m<sup>3</sup> por mês) têm-se um valor aproximado de R\$ 4,88-5,00/m<sup>3</sup>, no ano referência 2022. Para fins desse estudo, considerando um valor de R\$ 4,88/m<sup>3</sup>, tem-se um potencial de ganho de R\$ 2.806 por mês só com a água que deixa de ser usada em retrolavagem e passa a ser distribuída à população. Além disso, considerando o custo pago pelo antracito, de R\$ 2,97/kg, antracito com massa específica aparente de 850 kg/m<sup>3</sup>, o custo do mesmo para o filtro 6 foi de R\$ 25.245, o que permite o cálculo de payback simples de somente 9 meses para o filtro 6. Com este retorno, a aplicação do antracito nos demais filtros mostra-se vantajosa para melhoria contínua e maior disponibilidade de água para distribuição.

Outra vantagem é que em época de estiagem, em ETAs onde existe redução do volume de água disponível no manancial, como no caso da ETA considerada neste estudo, a colocação do carvão antracito permite economizar água, reduzindo as perdas no processo de tratamento. No caso deste estudo, a substituição nos 6 filtros economizaria 3.450 m<sup>3</sup> por mês. Em ETA's de grande porte, onde qualquer obra para aumento da capacidade nominal de tratamento envolve grandes investimentos e impactos, o baixo investimento e baixa complexidade para a troca parcial do leito permitem obter respostas efetivas a curto prazo para melhoria operacional na ETA.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A substituição de parte do meio filtrante de areia por antracito no filtro 6 obteve resultados expressivos, com aumento de 2 a 3 horas de carreira de filtração e conseguinte redução do volume de água para retrolavagem, proporcionando maior disponibilidade de água para distribuição. O Teste T de Student ratificou a diferença amostral entre os resultados observados no filtro 6 e demais filtros, demonstrando que há diferença (redução) significativa nas carreiras de filtração do filtro 6 em relação aos demais. O aumento do tempo de carreira deu-se devido a proteção do antracito quanto a colmatação rápida do leito de areia por flocos e outros materiais suspensos, adsorvendo os sólidos maiores, graças a sua maior porosidade e área superficial. A possibilidade de redução de água para retrolavagem possibilita a disponibilização de mais água para a distribuição, com 575 m<sup>3</sup> de água economizadas por mês em 1 só filtro, o que pode traduzir-se em ganhos de R\$ 2.806 por mês por filtro, ou R\$ 16.836 por mês considerando todos os filtros. Com baixo investimento para substituição do leito e período reduzido de troca, o modelo de filtração com antracito permite a melhoria contínua do processo, com payback simples de 9 meses. Por conseguinte, os investimentos na substituição parcial do antracito para os demais filtros mostram-se vantajosos para melhoria contínua dos processos de tratamento e maior disponibilidade de água para distribuição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água de abastecimento público*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
2. BRINCK, N. *Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento*. São Paulo: USP, 2009.
3. CARVÃO ANTRACITO. *Loja Era Ambiental*. Disponível em: <<https://www.lojaeraambiental.com.br/meio-filtrante/carvao-antracito-ou-antracitoso-granulometria-0-8-a-1-0mm-saco-25kg>>. Acesso em: 23/05/23.
4. DI BERNARDO, L. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2ª edição. São Paulo, RIMA, 2005.

5. LEGISLAÇÃO E TARIFAS. Águas do Rio. Disponível em: <<https://aguasitorio.com.br/legislacao-e-tarifas/>>. Acesso em: 23/05/2023.
6. MICHELAN, D. C. G. S; SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L. *Comparison on the duration of career between slow sand filter with conventional cleaning and backwashed slow sand filter*. Scientia Plena, 2015. VOL. 11, NUM. 11.