

306 - MENOS DESPERDÍCIO, MAIS TRATAMENTO: A IMPORTÂNCIA DOS PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA DOS FILTROS.

Beatriz Silvestre Puchalski⁽¹⁾

Engenheira Ambiental (UFPR) e Mestre em Engenharia Ambiental (UFSC). Doutorado em andamento em Engenharia Ambiental (UFSC).

Mirella Klausen da Silveira⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista (UNISUL), Especialista em Avaliação de Impactos Ambientais (UNISUL) e Mestre em Engenharia Ambiental (UFSC). Doutorado em andamento em Engenharia Ambiental (UFSC).

Rafael Luiz Prim⁽³⁾

Farmacêutico Bioquímico (UFSC), Especialista em Saneamento Ambiental (AVM Faculdade Integrada). Mestrado em andamento em engenharia ambiental (UFSC). Bioquímico na Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN)

Ramon Lucas Dalsasso⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista (UFSC), Doutor em Engenharia Ambiental (UFSC). Supervisor do Laboratório de Hidráulica (LABHIDRA) Professor associado do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS/UFSC), onde atua em ensino e pesquisa na área de Sistemas de Tratamento e Abastecimento de Água.

Maurício Luiz Sens⁽⁵⁾

Engenheiro Sanitarista (UFSC). Doutor em tratamento de água pela Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes (Université de Rennes I), Supervisor do Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ), Professor titular do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS/UFSC), onde atua em ensino e pesquisa na área de Tratamento de Águas para Abastecimento.

Endereço⁽¹⁾: ENS - Dpto de Eng. Sanitária e Ambiental UFSC, Trindade, Florianópolis - SC, 88040-970 - e-mail: beatriz.puchalski@posgrad.ufsc.br

RESUMO

A limpeza dos filtros é a principal fonte de consumo de água tratada em estações de tratamento de água (ETA), representando de 3% a 5% do volume total produzido. Em muitas ETAs, a prática de adotar carreiras de filtração fixa, independentemente das condições operacionais e da qualidade da água, pode levar à realização de lavagens excessivas, aumentando o consumo de água, energia e insumos, além de comprometer a eficiência da unidade de filtração. Frente à crescente demanda por maior eficiência hídrica e energética, torna-se essencial otimizar os procedimentos operacionais relacionados à limpeza dos filtros. Para tanto, a presente pesquisa investigou a influência dos critérios de lavagem de filtros rápidos ascendentes sobre a duração das carreiras de filtração e a produção efetiva de água tratada, em uma ETA do tipo convencional operada pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). A primeira etapa consistiu em simulações para estimar o impacto da duração das carreiras no consumo de água e no faturamento. A segunda envolveu o monitoramento contínuo do nível da câmara de carga dos filtros com um sensor *Levelogger*, correlacionando os dados de variação do nível com a perda de carga, avaliando também a viabilidade de uso desse parâmetro como critério de lavagem. O sensor registrou dados de nível a cada 5 minutos, durante o período de 17 de maio a 10 de julho de 2024, totalizando 54 dias de monitoramento. Os resultados desta investigação indicaram que a adoção de critérios dinâmicos para a lavagem, baseados na perda de carga, podem reduzir significativamente o consumo de água, otimizar o uso dos filtros e gerar ganhos econômicos relevantes, sem comprometer a qualidade da água produzida. Ademais, observou-se que o uso de sensores como o *Levelogger* permitem automatizar o controle da perda de carga nos filtros, favorecendo decisões operacionais mais precisas e a simulação de cenários futuros para embasar estratégias de limpeza.

PALAVRAS-CHAVE: Carreira de filtração; Uso de água na lavagem; Limpeza dos filtros, Filtro rápido ascendente.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a otimização das estações de tratamento de água (ETAs) tem sido um foco de estudos, especialmente nas etapas de clarificação (Chiavola et al., 2023; Silveira et al., 2021) e desempenho operacional (Pereira, 2016; Sharafi et al., 2024). Contudo, ainda há lacunas a serem preenchidas, especialmente no que se refere à otimização dos processos de limpeza dos filtros.

A limpeza dos filtros é a principal fonte de consumo de água tratada nas ETAs, consumindo de 3% a 5% do volume total (Crittenden et al., 2012). Isto ocorre, pois, a porcentagem de material sólido destes resíduos fica entre 0,01-2,00%, essencialmente uma fonte de perda de água (Ng; Duarte; Araújo, 2017). Ao prolongar a carreira de filtração, ou seja, o intervalo entre as lavagens dos filtros, é possível reduzir o consumo de água para a limpeza, permitindo que mais água tratada seja disponibilizada.

A duração da carreira de filtração pode ser estabelecida em função de um valor máximo de perda de carga no filtro, da piora dos parâmetros de qualidade da água filtrada ou do alcance de uma duração de tempo pré-determinada. A solução mais utilizada no Brasil é a carreira de filtração fixa de 24 horas, que é conservadora e facilita a operação, sendo aplicada em lavagens pré-programadas (Libânio, 2008; Sadar; Bill, 2005).

O procedimento padrão de limpeza dos filtros pode, em alguns casos, levar à realização de lavagens excessivas, resultando na produção de resíduos líquidos, consumo adicional de energia elétrica e desperdício de insumos químicos (Ng, 2017).

Variações nos parâmetros de qualidade da água bruta e decantada ao longo do tempo, combinadas com uma possível distribuição desigual das vazões de alimentação e de lavagem entre os filtros, podem comprometer a eficácia do processo de limpeza, resultando em diferenças de desempenho. Essas diferenças podem levar à subutilização de filtros em melhores condições, ao desperdício de água e energia, e à perda potencial de faturamento quando se adotam intervalos fixos entre lavagens.

Este trabalho combina dados da literatura com a aplicação de um método de mensuração de nível em escala real, realizado em uma ETA do tipo convencional com filtração ascendente operada pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). A abordagem proposta busca discutir os impactos do tempo de carreira na produção efetiva de filtros rápidos ascendentes, explorando a possibilidade de otimizar a logística de limpeza por meio do monitoramento da perda de carga no meio filtrante.

OBJETIVOS

Avaliar a influência dos critérios de lavagem dos filtros sobre a duração das carreiras de filtração e a produção efetiva de água.

METODOLOGIA

A fim de avaliar a influência dos critérios de lavagem dos filtros sobre a duração das carreiras de filtração e a produção efetiva de água tratada, este estudo combinou análises teóricas baseadas na literatura técnica com levantamento de dados operacionais em escala real.

Este trabalho foi estruturado em duas etapas complementares: (i) estimativa teórica do consumo de água nos processos de lavagem e seu impacto na produção, e (ii) monitoramento do nível da câmara de carga dos filtros, com o objetivo de verificar a viabilidade de adoção de critérios dinâmicos de lavagem baseados na perda de carga.

AVALIAÇÃO TEÓRICA DO CONSUMO DE ÁGUA NA LAVAGEM DOS FILTROS

Nesta etapa, foram definidos diferentes cenários operacionais para estimar o volume de água consumido durante as lavagens e sua relação com a produção efetiva. As variáveis consideradas foram:

Área total dos filtros (A , em m^2);

Taxa de filtração (TF , em $m^3/m^2 \cdot dia$);

Taxa de lavagem (TL , em $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$);

Tempo de lavagem (t , em minutos);

Duração da carreira de filtração (dc , em horas).

A produção de água tratada (Vp) foi calculada pela Equação (1), o volume de água consumido na lavagem (Vl) pela Equação (2) e a porcentagem da produção destinada à lavagem (Cl) pela Equação (3):

$$Vp = TF \cdot A \cdot \left(\frac{dc}{24} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

$$Vl = TL \cdot A \cdot \left(\frac{t}{1440} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

$$Cl = \left(\frac{Vl}{Vp} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (3)}$$

A partir dos resultados, foi estimado o potencial de incremento na produção de água tratada decorrente da extensão das carreiras de filtração. Considerando a tarifa média praticada no sistema (IN004, segundo SNIS, 2023), estimou-se também o ganho financeiro potencial (If) com base na Equação (4):

$$If = \Delta(Vp - Vl) \cdot P \quad \text{Equação (4)}$$

em que:

$\Delta(Vp - Vl)$ é o incremento na produção de água em função do incremento na duração da carreira (m^3);

Ganho financeiro potencial (If , em R\$);

Valor da tarifa média praticada (P , R\$/ m^3);

MONITORAMENTO DO NÍVEL DA CÂMARA DE CARGA DO FILTRO

A segunda etapa consistiu na implementação de um sistema de monitoramento contínuo do nível da câmara de carga de um dos filtros rápidos ascendentes de uma ETA do tipo convencional, com o objetivo de relacionar a variação do nível com a perda de carga e avaliar a viabilidade de uso desse parâmetro como critério de lavagem.

Foi utilizado um sensor *Levelogger* (Solinst, modelo 3001), instalado na câmara de carga do filtro, nivelado com a linha d'água vertente na calha coletora de água filtrada (Figura 1). Para garantir a estabilidade do equipamento durante o monitoramento, foi confeccionado um suporte feito com tubos de PVC, permitindo o posicionamento adequado do sensor e facilitando sua retirada e reinserção para fins de coleta de dados. Na região em que havia contato com a água, a estrutura foi perfurada com o objetivo de equalizar o nível da câmara de carga ao do equipamento. O equipamento registrou dados de nível a cada 5 minutos, durante o período de 17 de maio a 10 de julho de 2024, totalizando 54 dias de monitoramento.

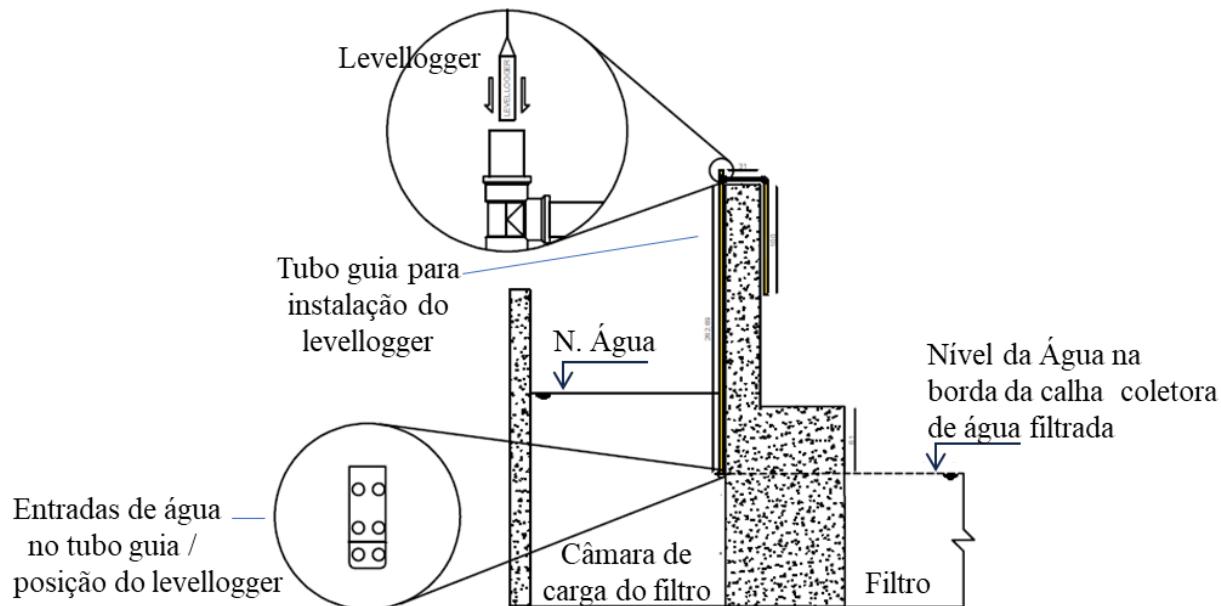


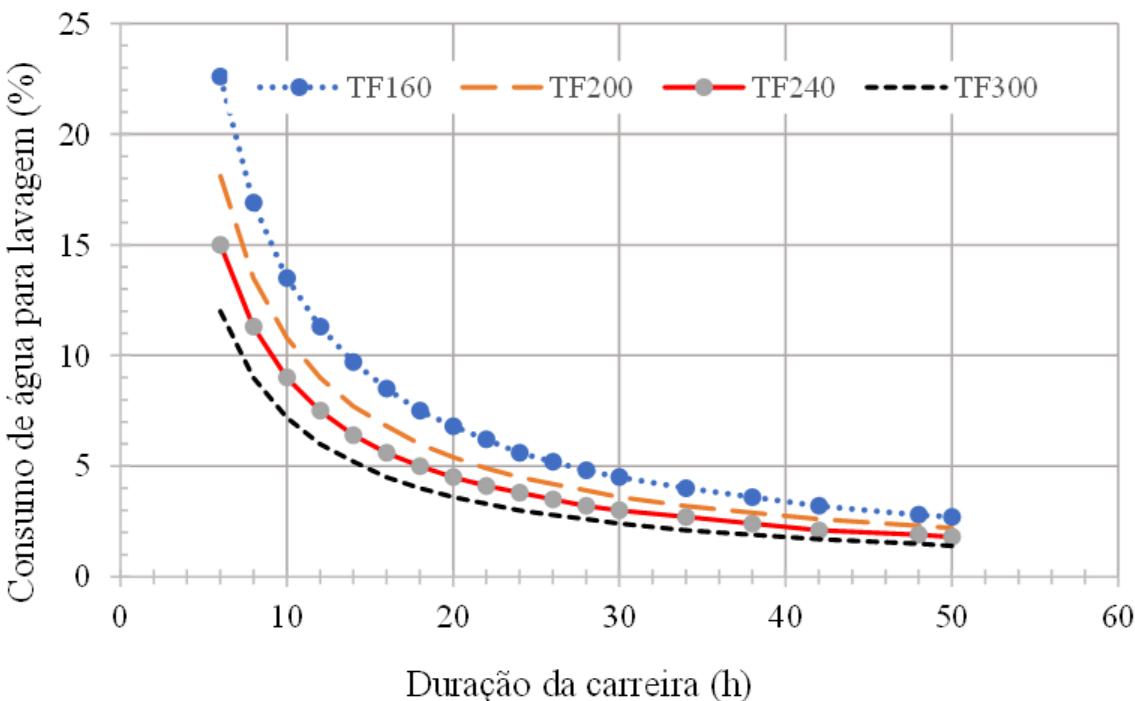
Figura 1: Instalação do *Levellogger* na câmara de carga do filtro. Fonte: Puchalski, 2024.

Durante o período de estudo, as carreiras de filtração seguiram os protocolos operacionais da ETA, com lavagens condicionadas à disponibilidade hídrica do reservatório elevado, e a uma sequência lógica entre os filtros. Foram analisadas a variação do nível da câmara de carga ao longo do tempo e a duração média das carreiras de filtração, buscando identificar correlações entre duração das carreiras e variação da perda de carga.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra o consumo de água para lavagem, simulado, em função de características operacionais do filtro rápido, para diferentes taxas de filtração. Observou-se que para o consumo de água para lavagem se manter em até 5% do volume produzido, a **duração média** das carreiras precisa ser de pelo menos 24 h.

A análise apresentada na Figura 2 apontou a relação direta entre a duração das carreiras de filtração e o volume de água consumido na lavagem, considerando os parâmetros operacionais adotados, como a taxa de filtração e o tempo de lavagem. Com base nos cálculos apresentados, evidenciou-se que a extensão da duração das carreiras até a carga máxima admissível dos filtros, desde que fosse preservada a qualidade da água produzida, poderia resultar em uma redução no consumo de água para limpeza, gerando benefícios financeiros relevantes.



TF = Taxa de Filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); TL = $1300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; t= 10 minutos

Figura 2: Consumo de água para lavagem em função de TF, TL, dc e t. Fonte: Autores, 2024.

A Figura 3 apresenta todas as 40 carreiras de filtração registradas no período analisado, com duração média de 31,5 horas. Foram destacadas três carreiras para ilustrar a variação de nível em função da duração. As taxas de crescimento da perda de carga no filtro foram: 0,059 m/h; 0,023 m/h e 0,047 m/h, para as carreiras de número 3, 19 e 36, respectivamente. As lavagens ocorreram quando a nível da câmara de carga atingiu 1,61 m; 1,60 m e 1,88 m, para a sequência de filtros anteriormente descritas.

Com base na duração das carreiras e o nível de água na câmara de carga, constatou-se, aplicando a equação (4), que, se as carreiras 3 e 19 fossem estendidas até o nível na câmara de carga atingir 1,88 m, haveria um ganho financeiro potencial da ordem de R\$ 104.408,00, somente para essas duas carreiras. Para este cálculo, considerou-se TF = 200 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; A= 110 m^2 ; P = 8,50 R\$/m³, além das taxas de crescimento da perda de carga anteriormente indicadas.

Observou-se que, na 19ª carreira, o nível do filtro não atingiu seu valor máximo antes de ser limpo. Isso ocorreu porque a limpeza do filtro 2 está ligada ao filtro 1, seguindo um critério de ordem lógica adotado pela ETA. Essa prática impediu o aproveitamento total da carga disponível, o que resultou não apenas em maior consumo de água, mas também na perda de volume que poderia ser comercializado, além do aumento nos gastos com energia para o bombeamento.

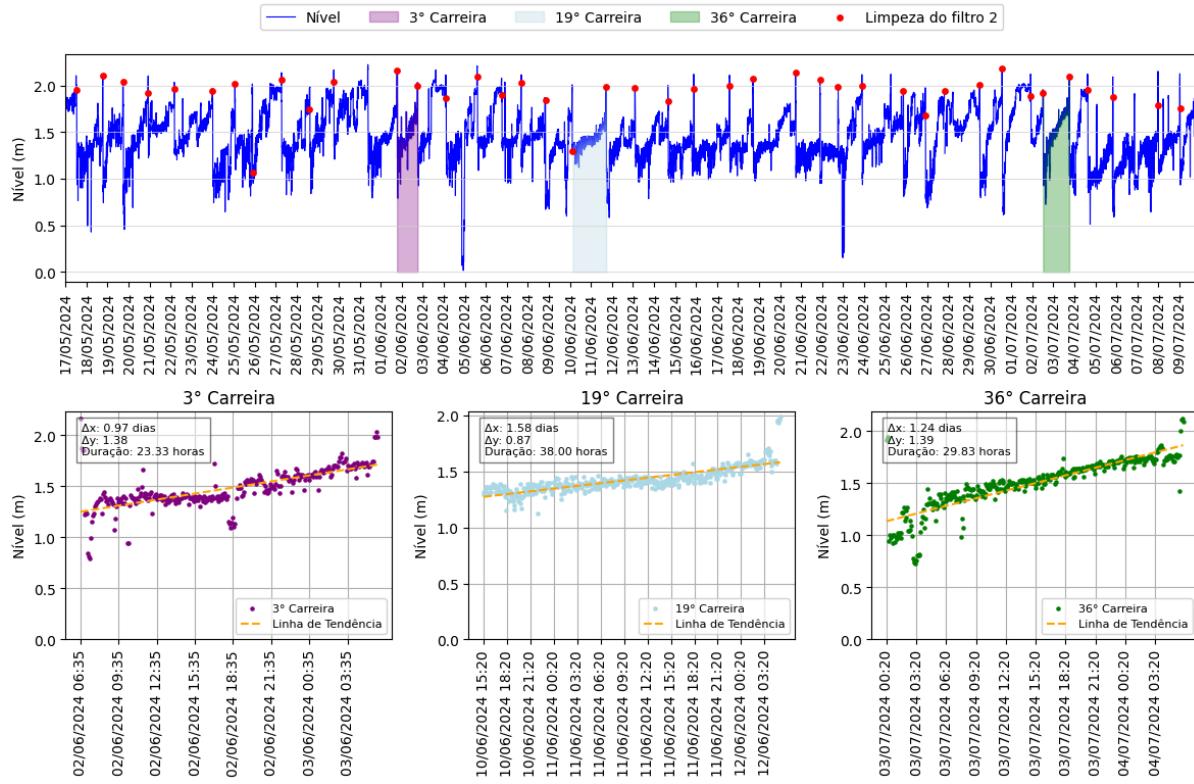


Figura 3: Variação do nível ao longo das carreiras de filtração em filtro de escala real. Fonte: Autores, 2024.

A Figura 4 ilustra como varia o ganho financeiro potencial ($\times 1000$ R\$/mês) em função da vazão da ETA e o incremento na duração das carreiras dos filtros, utilizando a equação (4). Foi considerado uma duração inicial das carreiras, de 20 h, em todos os casos, e a tarifa média praticada R\$8,50 / m³. A menor vazão representada na Figura 4 é 10 L/s. Observa-se que o ganho financeiro potencial é crescente em função da vazão da estação de tratamento, e com o incremento na duração das carreiras. Contudo, para uma mesma vazão, o ganho financeiro potencial tende a diminuir a partir de incrementos de duração de carreira de 8h. Isso ocorre porque com incrementos crescentes, o número de carreiras mensais diminui, refletindo sobre os ganhos potenciais representados em R\$/mês.

A abordagem desse trabalho foi sobre ganhos financeiros, relativos ao maior volume de água produzido e potencialmente comercializável, mas poderia ser pensado sobre outros olhares, como por exemplo: potencial diminuição da vazão captada, ou aumento do período operacional do atual sistema de produção sem a necessidade de investimentos em ampliações.

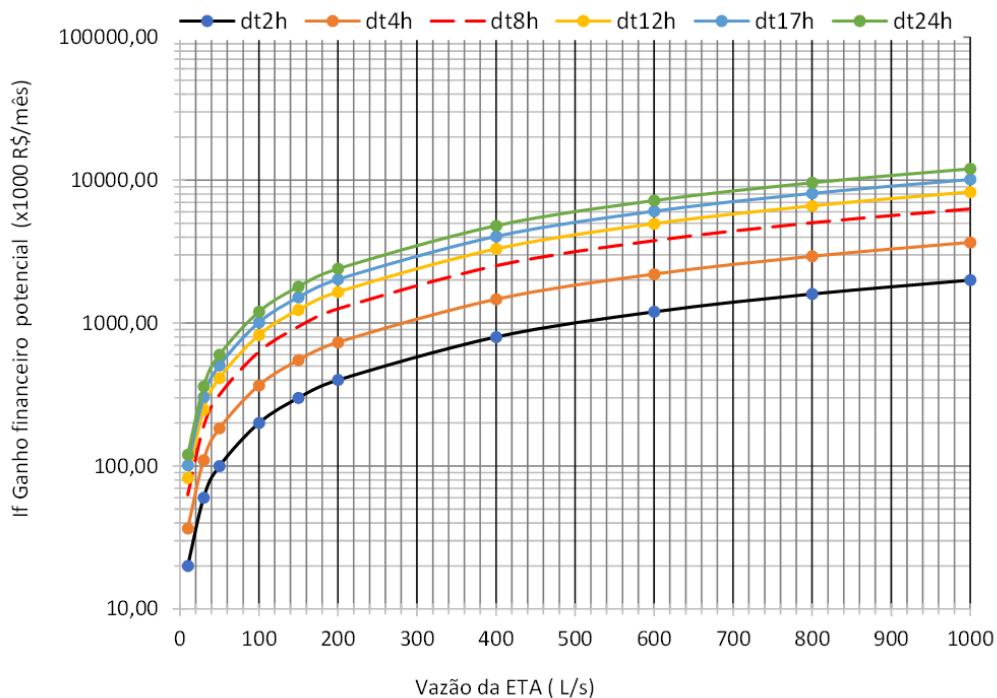


Figura 4 : Ganho financeiro potencial (x1000 R\$/mês) em função da vazão da ETA, e a variação na duração das carreiras. Fonte: Autores, 2024.

Ng et al. (2017) demonstraram que a ETA Extremoz (RN) operava com carreiras de filtração de 24 horas, independentemente da turbidez da água filtrada ou da perda de carga. Ao estender a duração das carreiras para 40 horas, em condições normais do manancial, foi possível otimizar o uso de recursos e reduzir o consumo de água no processo, sem comprometer a qualidade do tratamento. Os resultados apresentados neste trabalho alinham-se com os resultados reportados por Ng, et al (2017). O trabalho de Tommasi (2022) reforça que ao encerrar carreiras de filtração com base no nível de água disponível no reservatório de água para lavagem, pode resultar em lavagens excessivas e maior consumo de água.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises apresentadas nas Figuras 2 e 4 reforçam o impacto da duração das carreiras de filtração sobre o consumo de água e o desempenho econômico do sistema. A Figura 2 demonstrou que, para manter o consumo de água de lavagem abaixo de 5% da produção total, as carreiras devem ter, em média, 24 horas de duração. Já a Figura 4 indicou que o aumento da duração das carreiras pode resultar em ganhos financeiros expressivos, especialmente em sistemas com maiores vazões.

Estas simulações destacam a importância de revisar os critérios operacionais adotados para a lavagem dos filtros rápidos, especialmente quando baseados em intervalos fixos. A possibilidade de ajuste dinâmico, considerando a carga efetiva dos filtros, representa uma alternativa eficiente para reduzir perdas e otimizar a operação.

Acompanhar o nível do filtro como critério para determinar o momento da limpeza apresenta diversos benefícios operacionais. Esse método permite maximizar o uso da carga disponível, otimizando a duração das carreiras de filtração e reduzindo o número de lavagens desnecessárias. Com isso, há uma economia significativa de recursos, tanto no consumo de água, que pode ser destinada à comercialização, quanto na energia elétrica utilizada para o bombeamento.

Observa-se que o uso de sensores para monitoramento contínuo, como o *Levellogger*, possibilita a automatização do controle da perda de carga nos filtros, permitindo decisões operacionais mais precisas. Com o acúmulo de dados

mensurados, torna-se possível simular cenários futuros e avaliar novas estratégias de limpeza de forma embasada.

Recomenda-se um incremento para trabalhos futuros com a inserção de um cabo auxiliar ao *Levellogger* para não ser necessário removê-lo da posição para coletar os dados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) pelo suporte institucional e pela autorização para a realização dos estudos em escala real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIAVOLA, Agostina et al. A combined experimental-modeling approach for turbidity removal optimization in a coagulation–flocculation unit of a drinking water treatment plant. *Journal of Process Control*, [s. l.], v. 130, p. 103068, 2023.
- LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água. Campinas: Átomo, 2008.
- NG, Man Cheng. Produção de água em ETA com alteração da carreira de filtração. 2017. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- NG, Man Cheng; DUARTE, Marco Antonio Calazans; ARAÚJO, André Luis Calado. Otimização da produção de água em ETA pela adequação da carreira de filtração. [s. l.], 2017.
- PEREIRA, Luciano Gomes. Desenvolvimento de sistema de indicadores de desempenho operacional de estações convencionais de tratamento de água. 2016. Dissertação - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- PUCHALSKI, Beatriz Silvestre. Estudo de aplicação de polímeros em uma ETA do tipo convencional: análise da qualidade da água, produção de lodo e carreira de filtração. 2024. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.
- SADAR, Michael J; BILL, Kathleen. Using Baseline Monitoring Techniques to Assess Filter Run Performance and Predict Filter Breakthrough. [s. l.], p. 1–15, 2005.
- SHARAFI, Milad et al. Development of long short-term memory along with differential optimization and neural networks for coagulant dosage prediction in water treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*, [s. l.], v. 65, p. 105784, 2024.
- SILVEIRA, Jéssica Rodrigues et al. Influência da pré-cloração na clarificação de águas para abastecimento utilizando coagulante à base de tanino. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 1025–1032, 2021.
- SNIS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Visão Geral ano de referência 2022. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2023.
- TOMMASI, Letícia. Avaliação de desempenho de estação de tratamento de água convencional e de filtração direta no município de Tijucas/SC. 2022. Mestrado em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2022.