

I-410 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS SOBRE A REMOÇÃO DE ESPOROS DE BACTÉRIAS AERÓBIAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Bruno Moreno Ramos da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental, Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil (UFV). Doutor em Engenharia Civil (UFV). Pós-doutorando em Engenharia Civil (UFV).

Gustavo Alves Puiatti⁽²⁾

Engenheiro Ambiental (UFV). Mestre em Engenharia Química (UFV). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Pós-doutorando em Engenharia Civil (UFV).

Rafael Kopschitz Xavier Bastos⁽³⁾

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil (UFV).

Guilherme Kurtemback Almeida⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Ambiental (UFV).

Endereço⁽¹⁾: Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário - Viçosa – Minas Gerais - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 3612-6137 - e-mail: bruno.moreno@ufv.br

RESUMO

A recirculação de água de lavagem de filtro (ALF) em estações de tratamento de água (ETA) promove economia de água e evita o lançamento desse efluente em corpos receptores. No entanto, essa prática deve ser realizada de maneira criteriosa, visto que a ALF pode conter contaminantes, em especial cistos de protozoários, em concentrações superiores àquelas usualmente presentes na água bruta. Neste estudo, em uma ETA em ciclo completo em escala plena, foram avaliados dois cenários de recirculação de ALF (clarificada e não clarificada), comparativamente ao cenário sem recirculação. Os resultados do monitoramento da turbidez e da eficiência de remoção de esporos de bactérias aeróbias (EBA) – indicadores da remoção de cistos e oocistos de protozoários - ao longo das etapas de tratamento, permitiram concluir que não houve deterioração da qualidade da água filtrada com a recirculação de ALF. Em todos cenários avaliados, a remoção de EBA foi superior a 2,5 log nas etapas de clarificação da água e a turbidez da água filtrada esteve abaixo de 0,30 uT, indicando bom desempenho na remoção de cistos de protozoários no tratamento em ciclo completo com recirculação de ALF. Por fim, a recirculação de ALF clarificada (sedimentação por duas horas, sem auxiliares de clarificação) não apresentou vantagens quando comparada à recirculação de ALF não clarificada.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração, Água de Lavagem de Filtro (ALF), Esporos de Bactérias Aeróbias (EBA), Recirculação, Turbidez.

INTRODUÇÃO

O ciclo completo é a técnica mais empregada para o tratamento de água para consumo humano no Brasil. A filtração rápida, uma de suas etapas, é de grande importância, pois é a última barreira para remoção de materiais sólidos em suspensão, que conferem turbidez à água, e organismos resistentes à desinfecção por cloração, como cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* (WHO, 2017).

Ao longo de uma carreira de filtração (tempo decorrido entre duas lavagens de filtro consecutivas), as partículas em suspensão e os cistos de protozoários são retidos no leito filtrante. Ao final da carreira, por esgotamento da carga hidráulica disponível ou pela ocorrência de trespasse (turbidez da água filtrada acima de 0,50 uT), se deve realizar a limpeza dos filtros por retrolavagem: aplicação de água em sentido ascensional, que promove a expansão do leito filtrante e o desprendimento, por ação de forças de cisalhamento, das partículas nele retidas (Cleasby *et al.*, 1977).

A retrolavagem de filtros rápidos é um procedimento que consome grande volume de água tratada, podendo representar de 5 a 10% do volume captado de água bruta em estações de tratamento de água (ETA) (Heller e Pádua, 2006). No Brasil, historicamente a água proveniente da lavagem de filtros (ALF) tem sido lançada nos cursos d'água, apesar de tal prática não ser recomendada devido aos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática (Di Bernardo, Carvalho e Scalize, 1999).

A recirculação de ALF para a entrada da ETA é atrativa por evitar seu lançamento em cursos d'água e resultar em economia de água. No entanto, a recirculação de ALF deve ser feita de maneira criteriosa, pois a ALF pode apresentar concentrações de material particulado, incluindo e principalmente de cistos de protozoários, superiores àquelas originalmente presentes na água bruta (USEPA, 2002).

Devido a dificuldades analíticas e ao alto custo das análises de protozoários, outras variáveis têm sido utilizadas como indicadores de sua remoção no tratamento de água, como esporos de bactérias aeróbias (EBA) (Oliveira *et al.*, 2018), que apresentam características similares às dos cistos (ex.: carga elétrica superficial negativa, mecanismos de transporte e retenção) (Head e Bradford, 2016). Esta aplicação foi, inclusive, incorporada na mais recente atualização da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano (Brasil, 2021).

No presente trabalho avaliou-se a influência da recirculação de ALF sobre a remoção de EBA em uma ETA em escala plena.

OBJETIVOS

Avaliar o impacto da recirculação da ALF sobre a remoção de EBA nas etapas de decantação e filtração em uma ETA de ciclo completo em escala plena.

MATERIAL E MÉTODOS

A ETA, na qual este estudo foi realizado, é operada com tratamento em ciclo completo: coagulação com cloreto de polialumínio (PAC), mistura rápida em calha Parshall, floculação hidráulica, decantação convencional, filtração rápida ascendente em areia e desinfecção com cloro em tanque de contato. Os filtros são lavados durante 10 a 12 minutos utilizando água clorada previamente armazenada em um reservatório elevado. A ALF gerada é direcionada para uma unidade, que pode atuar como clarificador e tanque de equalização, antes de ser recirculada. Não há adição de auxiliares de clarificação (coagulante e, ou polímero) para o tratamento da ALF. Após o término da lavagem de filtro, a ALF é recirculada para a entrada da ETA em um ponto a montante daquele em que se faz a adição do coagulante.

A remoção de EBA foi avaliada em três cenários:

- Cenário 1 – tratamento sem recirculação de ALF;
- Cenário 2 – tratamento com recirculação ($R_R = 10\%$) de ALF não clarificada;
- Cenário 3 – tratamento com recirculação ($R_R = 10\%$) de ALF clarificada por sedimentação, sem adição de auxiliares de clarificação.

Sendo R_R a razão de recirculação: razão entre a vazão de ALF recirculada e a vazão total da ETA (vazão de água bruta + vazão de ALF recirculada). Destaca-se que a R_R , juntamente com a turbidez da ALF recirculada, é o principal critério de controle operacional da recirculação de ALF (USEPA, 2002).

Nos experimentos com recirculação de ALF realizados no presente estudo, o valor de R_R pretendido foi alcançado por meio do ajuste da vazão de água recirculada (Q_{AR}) para 7 L s^{-1} e da vazão de água bruta (Q_{AB}) para 63 L s^{-1} , de forma que a vazão da água pós mistura ($Q_{AM} = Q_{AR} + Q_{AB}$) fosse 70 L s^{-1} . Nos experimentos sem recirculação ($Q_{AR} = 0$), adotou-se $Q_{AB} = 70 \text{ L s}^{-1}$, de forma que a vazão total tratada na ETA fosse a mesma em todos os ensaios.

Para os Cenários 2 e 3, foi monitorada a turbidez e a concentração de EBA ao longo do tratamento por meio da coleta das seguintes amostras: (1) ALF; (2) ALF recirculada (AR); (3) água bruta (AB); (4) água resultante da mistura da AB com a AR (AM); (5) água decantada (AD); (6) água filtrada (AF) - Filtro 2 (AF2) e (7) AF - Filtro 3 (AF3) e (8) AF - Filtro 4 (AF4). Para o Cenário 1, foram coletadas apenas as amostras (3), (5), (6), (7) e (8).

As coletas foram realizadas por meio de amostragem composta, tendo sido coletados volumes iguais (amostras simples) em intervalos de tempo pré-definidos. Para a amostragem da ALF, foram coletadas dez amostras distribuídas ao longo da lavagem dos filtros, em 11 minutos. Para a amostragem de AR, AB e AM, foram coletadas cinco amostras, durante os primeiros 60 minutos dos experimentos. As coletas de amostras de AD e AF levaram em conta o tempo de detenção hidráulica (TDH) das respectivas unidades e das anteriores. Para amostragem de AD, foram coletadas cinco amostras num período de 60 minutos (intervalo entre 30 minutos a menos e 30 minutos a mais em relação ao TDH até a saída do decantador). De forma análoga, para amostragem de AF, foram coletadas 3 amostras num período de 30 minutos (intervalo entre 15 minutos a menos e 15 minutos a mais em relação ao TDH até a saída do filtro).

As análises de turbidez foram realizadas em um turbidímetro de bancada, modelo HACH TL2360. As análises de EBA foram realizadas pelo método 9218 (APHA, AWWA, WEF, 2017), que envolve as seguintes etapas sequenciais: tratamento térmico das amostras para inativação de células vegetativas (12 minutos, 70 rpm em banho maria a 80 °C e posterior resfriamento em banho de gelo); filtração em membrana de 0,45 µm de porosidade; incubação das membranas em placas de Petri contendo ágar nutriente com Azul de Tripiano, em câmara úmida, por 24 horas a 35°C; e contagem das colônias.

A turbidez foi determinada tanto nas amostras simples como nas compostas. No entanto, os valores de concentração de EBA foram determinados apenas para as amostras compostas, os quais foram utilizados para os cálculos de remoção em cada unidade e para o cálculo da remoção total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, são apresentados os resultados do monitoramento da turbidez das ALF, ao longo da lavagem dos filtros, nos experimentos referentes aos Cenários 2 e 3.

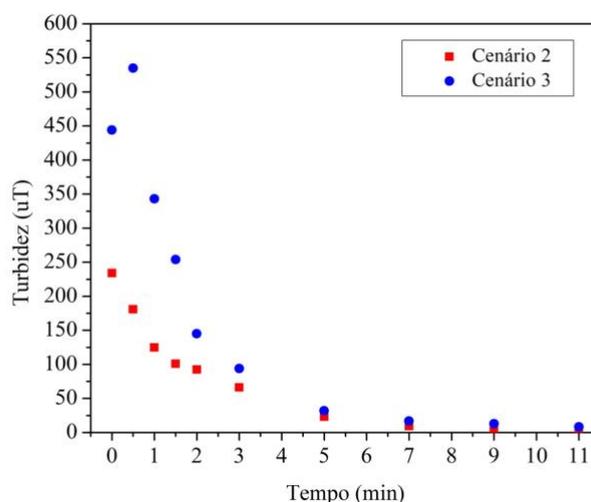


Figura 1. Turbidez da ALF ao longo da limpeza dos filtros

Como esperado, nos dois experimentos, observa-se decréscimo da turbidez da ALF ao longo da lavagem – queda brusca no início e acomodação ao final: 234 uT a 5,0 uT no Cenário 2 e 535 uT a 8,4 uT no Cenário 3.

No Cenário 2, a ALF foi recirculada imediatamente após o término da lavagem. No Cenário 3 foram aguardados 120 minutos, para fins de clarificação da ALF (turbidez AR \leq turbidez AB), antes de se iniciar a recirculação.

Os resultados do monitoramento da turbidez ao longo das etapas de tratamento (amostras compostas) nos Cenários 1, 2 e 3 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Turbidez das amostras de águas coletadas ao longo do tratamento

Cenário	ALF	AR	AB	AM	AD	AF2	AF3	AF4
1	-	-	24,2	-	1,35	0,18	0,20	0,18
2	56,5	1.164	13,2	131	0,80	0,16	0,17	0,18
3	114	7,8	11	10,7	1,32	0,19	0,16	0,21

Cenário 1 = sem recirculação de ALF; Cenário 2 = recirculação de ALF não clarificada; Cenário 3 = recirculação de ALF clarificada. ALF = água de lavagem de filtro; AR = água recirculada; AB = água bruta; AM = água de mistura (AB + AR); AD = água decantada; AF2 = água filtrada (filtro 2); AF3 = água filtrada (filtro 3); AF4 = água filtrada (filtro 4).

No Cenário 2, apesar da turbidez das amostras simples de ALF se apresentar na faixa de 5 a 234 uT (Figura 1) e de sua respectiva amostra composta apresentar turbidez de 56,4 uT, a amostra composta de AR apresentou turbidez consideravelmente maior (1.164 uT). Isso pode ser explicado pela sedimentação das partículas sólidas presentes na ALF, ao longo da primeira hora de recirculação, na unidade de clarificação/equalização, resultando na concentração de uma manta de lodo próxima ao ponto de sucção da bomba.

No Cenário 3, após duas horas de sedimentação ($v_s = 2,64 \text{ cm min}^{-1}$), a AR já apresentava turbidez próxima à da AB. Com a continuidade da recirculação de AR com valores mais baixos de turbidez, foi observado efeito de diluição da AB (Tabela 1). Com relação à água decantada, os valores de turbidez referentes aos Cenários 1 e 3 foram bem próximos entre si, enquanto no Cenário 2 o valor foi mais baixo, indicando, em todos os casos, que a recirculação não causou efeitos adversos à qualidade da água decantada. Tobiasson *et al.* (2003) observaram que a eficiência da decantação aumentou com a recirculação de ALF, a qual, por conter sólidos desestabilizados e prontamente sedimentáveis, favoreceu a agregação (floculação) e sedimentação das partículas. Em todos os cenários avaliados no presente estudo, não foram observadas variações consideráveis da turbidez da AD ao longo do tempo que pudessem ser atribuídas ao efeito da recirculação de ALF (Figura 2). Ademais, não foram observados valores de turbidez superiores a 0,30 uT nas amostras de AF analisadas. Destaca-se que os padrões de potabilidade brasileiro (BRASIL, 2021) e estadunidense (USEPA 2006) para água filtrada são, respectivamente, 0,50 e 0,30 uT.

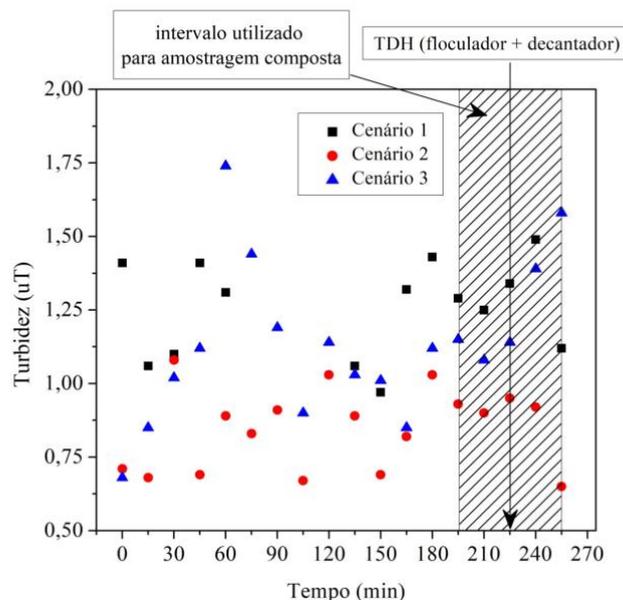


Figura 2. Turbidez da água decantada ao longo do período de monitoramento

Na Tabela 2 são apresentados os valores de remoção (em unidades logarítmicas) de EBA calculados para as etapas de decantação, filtração e total (decantação + filtração). Para o cálculo da remoção total, foram considerados os valores de concentração de EBA referentes ao filtro que apresentou menor eficiência de remoção entre os três avaliados. Nos cenários com recirculação de ALF, para o cálculo da eficiência da decantação, foi considerada a concentração de EBA na água afluente ao tratamento (AM).

Tabela 2. Remoção de EBA (em unidades logarítmicas) no decantador, em cada um dos filtros e total (decantação + filtração) nos cenários avaliados

Cenário	Decantador	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Total
1	1,4	1,9	2,0	1,8	3,2
2	2,1	1,3	1,0	1,2	3,1
3	1,1	1,6	1,7	1,8	2,7

Cenário 1 = sem recirculação de ALF; Cenário 2 = recirculação de ALF não clarificada; Cenário 3 = recirculação de ALF clarificada.

A remoção de EBA na decantação se deu em valores próximos nos Cenários 1 e 3, sendo um pouco mais elevada no Cenário 1, provavelmente devido aos valores de turbidez (24,2 uT) e de concentração de EBA na AB ($6,2 \times 10^3$ UFC/100 mL) mais elevados no Cenário 1 do que no Cenário 3 (11 uT; $1,9 \times 10^3$ UFC/100 mL). Apesar dos valores de turbidez e de concentração de EBA na AB no Cenário 2 (13,2 uT; $2,1 \times 10^3$ UFC/100 mL) serem próximos àqueles observados na AB no Cenário 3, a recirculação sem clarificação resultou em aumento de dez vezes na turbidez e de seis vezes na concentração de EBA após a mistura (turbidez = 131 uT; EBA = $1,3 \times 10^4$ UFC/100 mL). No entanto, observou-se maior remoção de turbidez e de EBA na etapa de decantação no Cenário 2 em relação aos demais cenários.

A remoção de EBA na filtração, tal como na decantação, se deu em valores bem próximos nos Cenários 1 e 3, sendo um pouco mais elevada no Cenário 1, possivelmente em decorrência do aporte aos filtros de água com concentração maior de EBA no Cenário 1 ($2,5 \times 10^2$ UFC/100 mL) do que no Cenário 3 ($1,7 \times 10^2$ UFC/100 mL). Analogamente, a aparente menor remoção de EBA no Cenário 2 em relação aos demais cenários pode ser resultado da menor concentração de EBA na AD ($1,0 \times 10^2$ UFC/100 mL), resultante da maior eficiência de remoção obtida na etapa de decantação. Não obstante, a remoção total de EBA nas etapas de clarificação (decantação + filtração) foi bastante similar em todos os cenários avaliados, indicando que a recirculação de ALF não afetou a eficiência de remoção de EBA nas etapas de clarificação.

O artigo 29 da Portaria MS nº 888 / 2021 (BRASIL, 2021) estabelece que sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água com captação de manancial superficial devem realizar o monitoramento mensal de *E. coli* nos pontos de captação e, caso a concentração seja igual ou superior a 1.000 *E. coli*/100 mL, a ETA deve realizar o monitoramento de EBA e comprovar a remoção de pelo menos 2,5 log entre a entrada da ETA e a saída de cada filtro; caso contrário, se torna necessário o monitoramento de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* nos pontos de captação. Como mostrado na Tabela 2, mesmo com a recirculação de ALF nas duas modalidades avaliadas, a remoção de EBA na clarificação se manteve superior à 2,5 log. Portanto, ainda que a recirculação aumente o aporte de cistos e oocistos na entrada do tratamento, a ETA em que o presente estudo foi realizado apresentou a eficiência necessária para atestar a remoção suficiente de cistos e oocistos nas etapas de clarificação. Ademais, considerando que os valores de turbidez da água filtrada obtidos nos cenários com recirculação (comparável aos valores obtidos no cenário controle) foram inferiores a 0,30 uT, se pode inferir que a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* tenha sido de pelo menos 3 log (BASTOS *et al.*, 2009).

CONCLUSÕES

- A recirculação de ALF não impactou a remoção de EBA e de turbidez nas etapas de decantação e filtração;
- A remoção de EBA e os valores de turbidez da água filtrada foram similares nos cenários com sem recirculação de ALF;
- Comparativamente à recirculação de ALF sem clarificação, não houve melhoria da qualidade da água filtrada com a recirculação de ALF clarificada;

- Mesmo com a recirculação de ALF, a remoção de EBA nas etapas de clarificação na ETA foram superiores a 2,5 log e a turbidez da água filtrada foi inferior a 0,30 uT, indicando remoção efetiva de cistos e oocistos de protozoários.

Naturalmente, esses resultados merecem confirmação em monitoramento mais prolongado, que permita, inclusive, tratamento estatístico dos dados.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM) do Ministério da Saúde pelo aporte de recursos para o desenvolvimento do estudo no qual o presente trabalho se insere.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.
2. BASTOS, R.K.X.; BRANDÃO, C.C.S.; CERQUEIRA, D.A. (2009) Tratamento de água e remoção de protozoários. In: PÁDUA, V.L. *Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES. p. 109-150. (Projeto ProSab).
3. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *DOU*, n. 85, p. 127-127, 2021.
4. CLEASBY, J. L.; ARBOLEDA, J.; BURNS, D. E.; PRENDIVILLE, P. W.; SAVAGE, E. S. Backwashing of granular filters. *Journal of American Water Works Association*, v. 69, n. 2, p. 115-126, 1977.
5. DI BERNARDO, L.; CARVALHO, E. H.; SCALIZE, P. S. Disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETEs. In: REALI, M. A. P. (Coord.). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 1999, cap. 8, p. 143-168.
6. HEADD, B.; BRADFORD, S. A. Use of aerobic spores as a surrogate for *Cryptosporidium* oocysts in drinking water supplies. *Water Research*, v. 90, n. 1, p. 185-202, 2016.
7. HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, 859 p.
8. OLIVEIRA, K. C.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, C. V. Esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento de água? Um estudo exploratório. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.23, n.6, p. 1103-1109, 2018.
9. TOBIASON, J. E.; EDZWALD, J. K.; LEVESQUE, B. R.; KAMINSKI, G. K.; DUNN, H. J.; GALANT, P. B. Full-Scale Assessment of waste filter backwash recycle. *Journal of American Water Works Association*, v. 95, n. 7, p. 80-93, 2003.
10. United States Environment Protection Agency (USEPA). *Filter Backwash Recycling Rule*. Technical guidance manual. Washington: USEPA, 2002, 166p.
11. USEPA. *National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule: Final Rule*. Washington: USEPA, 2006.
12. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO, 2017.