

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO POR CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAL

* Isadora Alves Lovo Ismail¹
Eduardo Cleto Pires¹

EVALUATION OF TREATMENT BY CLARIFICATION OF THE WASHING WATER FOR CONVENTIONAL WATER TREATMENT STATION FILTERS

Recibido el 5 de mayo de 2021. Aceptado el 31 de enero de 2022

Abstract

*For the production of drinking water in Water Treatment Plants (WTPs) there is the generation of waste, with emphasis on the washing of filters, which is usually thrown into bodies of water. Because of this, many WTPs are returning the filter washing water (FWW) without treatment to start the process. Such practice can compromise the proper functioning of the station and affect the quality of the treated water. On the other hand, there is growing interest in implementing this practice, since it provides savings in electricity and water. The work analyzed the quality of FWW of a conventional WTP to verify the possibility of recirculation at the beginning of the system, after previous treatment. It was concluded that the recirculation of FWW cannot be performed without adequate treatment due to the high degree of pathogenicity and the presence of solids. The treatment of FWW with the addition of cationic polymer was satisfactory, with removal 97.8% of turbidity, reaching values below the value of raw water, as well as removal of up to 97,5% of *Escherichia coli* and 100% of total iron.*

Keywords: clarification, filter washing water, polymers, recirculation, treatment.

¹ Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto, Brasil.

* *Autor correspondente:* Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto. Avenida Costábile Romano, 2201 – Ribeirânia, Ribeirão Preto – SP, 14096-900, Brasil. Email: eng.isadoralovo@gmail.com

Resumo

Para produção de água potável em Estações de Tratamento de Água (ETAs) há a geração de resíduos, destacando-se o proveniente da lavagem de filtros, o qual normalmente é lançado em corpos d'água. Devido a isso, muitas ETAs estão retornando a água de lavagem dos filtros (ALF) sem tratamento para o início do processo. Tal prática pode comprometer o bom funcionamento da estação e prejudicar a qualidade da água tratada. Por outro lado, é crescente o interesse de implantação dessa prática, uma vez que proporciona economia de energia elétrica e de água. O trabalho analisou a qualidade da ALF de uma ETA convencional para verificar a possibilidade de recirculação ao início do sistema, após tratamento prévio. Concluiu-se que a recirculação da ALF não pode ser realizada sem tratamento adequado devido ao elevado grau de patogenicidade e presença de sólidos. O tratamento da ALF com adição de polímero catiônico foi satisfatório, com remoção de 97,8% de turbidez, atingindo valores abaixo do valor da água bruta, assim como remoção de até 97,5% de *Escherichia coli* e 100% de ferro total.

Palavras chave: água de lavagem de filtros, clarificação, polímeros, recirculação, tratamento.

Introdução

A água destinada ao consumo humano deve passar por tratamento adequado para se tornar potável. A tecnologia de tratamento utilizada em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) depende de inúmeros fatores, principalmente relacionados à qualidade da água bruta, ocasionando, cada uma, a geração de resíduos com diferentes características (Lovo, 2016).

Uma das tecnologias de tratamento mais utilizadas no Brasil é a de ciclo completo, também conhecida como convencional, que contempla as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

Existem muitas fontes de resíduos provenientes das ETAs de ciclo completo, destacando-se o proveniente da lavagem de filtros, o qual normalmente é lançado em corpos d'água mais próximos, sem o devido tratamento, representando um dos problemas mais sérios das ETAs. Além do mais, a água utilizada para lavagem dos filtros pode compreender até 10% da vazão da estação, gerando grandes volumes de resíduos em curtos espaços de tempo (Freitas, 2017).

Devido a isso, para evitar o lançamento inadequado em corpos d'água e, conseqüentemente, provocar alterações prejudiciais ao meio ambiente e tendo em vista a necessidade de redução de perdas no tratamento, muitas ETAs estão recirculando a água de lavagem dos filtros (ALF) para o início do tratamento, tornando-se uma prática cada vez mais frequente. No entanto, esta prática pode comprometer o funcionamento das estações de tratamento e prejudicar a qualidade da água tratada. Isso porque a recirculação da ALF reinsere no tratamento: sólidos suspensos totais, metais, carbono orgânico total, além de microrganismos patogênicos como cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* (Di Bernardo *et al.*, 2017).

Em virtude do elevado grau de patogenicidade, os protozoários são de grande relevância. A giardíase é uma doença reconhecidamente associada com águas de abastecimento para consumo humano, bem como a criptosporidiose. A presença de reduzidas densidades desses protozoários em águas tratadas oferece riscos reais de saúde, fazendo com que seja necessário um estudo aprofundado sobre as fontes de contaminação, distribuição desses microrganismos nos mananciais de abastecimento e a eficiência de remoção desses organismos pelos processos de tratamento (Heller *et al.*, 2004).

A prática de recirculação da ALF pode constituir introdução de perigos no processo de tratamento de água e ocasionar riscos à saúde da população consumidora, principalmente se há a presença de protozoários. Isso acontece porque os filtros são a principal barreira para remoção de protozoários, que são resistentes a certos desinfetantes e, devido a isso, muitas vezes a ALF possui concentrações elevadas de cistos e oocistos. Quando a última barreira (filtros) não é eficiente, a remoção de protozoários, caso existam na água bruta, é significativamente prejudicada, sendo agravada quando há a recirculação da ALF para o início da ETA sem o devido tratamento. Além do mais, a maior parte das ETAs no Brasil realiza a desinfecção final com cloro, que possui baixo poder de inativação desses microrganismos, acentuando o risco microbiológico da água produzida na ETA.

Destaca-se, também, a importância da análise de metais, como o ferro, que, apesar de não ser tóxico, pode prejudicar a qualidade da água, ocasionando cor e sabor à água.

Sendo assim, tendo em vista todo o risco à saúde humana e a ausência de uma legislação específica a respeito do tratamento e recirculação da água de lavagem de filtros, foi proposto um estudo para acrescentar conhecimento sobre o potencial de introdução de microrganismos patogênicos em virtude da água bruta, bem como a utilização de tratamento prévio.

Desta forma, o trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da ALF de uma ETA convencional, durante o período chuvoso, para verificar a possibilidade de recirculação ao início do sistema, após tratamento prévio.

Metodologia

Escolheu-se uma ETA convencional (ciclo completo) para realização do trabalho, localizada no estado de São Paulo, sendo denominada ETA 1, a qual é abastecida por rios classe 2, de acordo com a legislação vigente (Resolução CONAMA nº 357).

Fez-se o diagnóstico do tratamento de água realizado na estação e coletou-se água em diferentes pontos para caracterização físico-química e microbiológica das amostras de água bruta, água de lavagem de filtros e água tratada no período chuvoso.

Foram realizados ensaios de clarificação da água de lavagem dos filtros provenientes da estação, com diferentes velocidades de sedimentação e, em seguida, foi feita a caracterização físico-química e microbiológica dessa água clarificada.

Utilizou-se o software Protimiza Experimental para análise dos resultados obtidos nos ensaios de clarificação e verificou-se a correlação da qualidade da água bruta *versus* qualidade da água de lavagem de filtros, com e sem clarificação, e possibilidade de recirculação ao início da ETA sem a reintrodução de perigos ao sistema.

A coleta das amostras de água na ETA 1 foi realizada no mês de março (chuvas) de 2019, no período noturno, horário em que os operadores lavam os filtros (meia-noite), para que não ocorra prejuízo ao abastecimento público de água.

Coletaram-se, aproximadamente, 100 L de água de lavagem de filtros de um único filtro. Os filtros são lavados a cada 24 horas, ou seja, possuem 24 horas de carreira de filtração. Os filtros são descendentes, com duas câmaras de filtração. Primeiramente, inicia-se a lavagem da câmara 1, com duração de, aproximadamente, 5 minutos e, em seguida, a lavagem da câmara 2, com duração também de, aproximadamente, 5 minutos.

A quantidade de água utilizada para lavagem dos seis filtros da ETA 1 é de, aproximadamente, 900 m³, o que resulta uma vazão de água de lavagem dos filtros em torno de 250 L/s, a qual não recebe nenhum tipo de tratamento.

Após caracterização físico-química e microbiológica das amostras coletadas, foram feitos ensaios de clarificação com água de lavagem dos filtros, com e sem a adição de polímeros catiônicos de duas empresas diferentes, em equipamento de jarteste, visando à construção de diagramas no software Protimiza Experimental.

As condições dos ensaios foram:

- Mistura rápida: gradiente de velocidade médio de 180 rpm (300 s⁻¹) e tempo de mistura de 30 s;
- Sedimentação: velocidades de sedimentação de $V_{s1} = 5,0$ cm/min; $V_{s2} = 3,0$ cm/min; $V_{s3} = 1,0$ cm/min;
- Parâmetros: água clarificada (turbidez, *Escherichia coli* e ferro total).

Foram utilizadas soluções de polímeros com concentração de 1.0 g/L, com dosagens de 2.0; 4.0 e 6.0 mg/L, estipuladas pelo programa de análise dos dados experimentais (Protimiza Experimental), de modo que fosse possível relacionar tais dosagens com os parâmetros pré-estabelecidos para a água clarificada (turbidez, *Escherichia coli* e ferro total).

As amostras coletadas foram analisadas e os resultados obtidos foram inseridos no software.

Os parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção.

Parâmetro	Unidade	Metodologia	Limite de detecção (LDM)
Alcalinidade Total	mg/L CaCO ₃	Titrimétrico(*)	1
Amônia	mg/L	Espectrofotométrico – NESLER (*)	0.01
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	Plaqueamento (*)	1
Carbono Orgânico Total	mg/L C	Espectrofotométrico Infravermelho não Dispersivo – NPOC (*)	0.01
Coliformes Totais	UFC/100 mL	Membrana Filtrante (*)	1
Condutividade Elétrica	µS/cm	Potenciométrico (*)	0.1
Cor Aparente	uH	Espectrofotométrico (*)	1
Cor Verdadeira	uH	Espectrofotométrico (*), com membrana 0,45 µm	1
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	Membrana Filtrante (*)	1
Fósforo	mg/L P	Espectrofotométrico (*)	0.001
Alumínio	mg/L Al	Espectrofotométrico (*)	0.001
Chumbo	mg/L Pb	EAA-Chama (*)	0.001
Cobre	mg/L Cu	EAA-Chama (*)	0.01
Ferro	mg/L Fe	EAA-Chama (*)	0.001
Manganês	mg/L Mn	EAA-Chama (*)	0.01
Níquel	mg/L Ni	EAA-Chama (*)	0.001
Zinco	mg/L Zn	EAA-Chama (*)	0.01
Nitrato	mg/L	Espectrofotométrico – UV (*)	0.001
Nitrito	mg/L	Espectrofotométrico (*)	0.001
NTK	mg/L	Titrimétrico (*)	0.01
pH	Adimensional	Potenciométrico (*)	0.01
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	Gravimétrico	0.1
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	Gravimétrico	0.1
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico	0.1
Turbidez	uT	Nefelométrico (*)	0.1

Segundo APHA (2005) – Standard Methods.

Resultados e discussão

As Figuras 1 e 2 mostram os ensaios de clarificação realizados com a água de lavagem dos filtros da ETA 1. A Figura 1 apresenta a preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1.

Ao final dos ensaios de clarificação, há a sedimentação dos flocos no fundo dos jarros, formados devido à adição de polímero, conforme é apresentado na Figura 2.

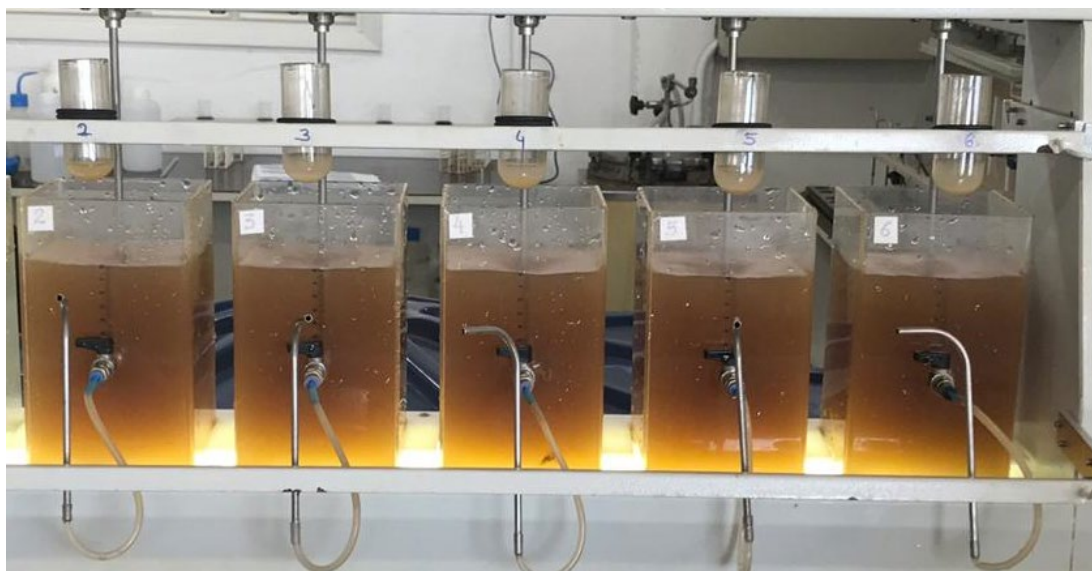


Figura 1. Preparação dos ensaios de clarificação com a ALF da ETA 1.



Figura 2. Fim dos ensaios de clarificação da ETA 1 com sedimentação dos flocos.

Os resultados obtidos para caracterização físico-química e microbiológica das amostras de água bruta, água tratada e água de lavagem de filtros estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização físico-química e microbiológica das amostras de água bruta, água tratada e ALF da ETA 1.

Parâmetro	Unidade	Água bruta	Água tratada	ALF
pH	-	6.28	6.96	6.15
turbidez	uT	35.3	0.9	238.6
cor aparente	uH	381	6	1425
cor verdadeira	uH	162	3	12
alcalinidade	mg/L CaCO ₃	11	18	14
condutividade elétrica	µs/cm	20.1	67.8	57.5
Sólidos Totais	mg/L	75.3	41.3	253.0
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	26.7	0.7	192.5
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	48.6	40.6	60.5
Carbono Orgânico Total	mg/L C	6.68	3.98	8.25
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	220	0	550
Coliformes Totais	UFC/100 mL	950	0	1250
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	140	0	240
Ferro Total	mg/L Fe	5.348	0.071	24.795
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	0.348	0.039	1.357
Manganês Total	mg/L Mn	0.01	<0.01	0.12
Alumínio Dissolvido	mg/L Al	<0.001	<0.001	<0.001
Chumbo Total	mg/L Pb	<0.001	<0.001	<0.001
Zinco Total	mg/L Zn	0.21	<0.01	0.02
Níquel Total	mg/L Ni	0.050	<0.001	0.036
Cobre Dissolvido	mg/L Cu	<0.01	<0.01	<0.01
Cobre Total	mg/L Cu	<0.01	<0.01	<0.01
Fósforo Total	mg/L P	0.006	0.001	0.051
Nitrato	mg/L	-	-	0.093

A água bruta da ETA é de boa qualidade, com baixa turbidez. O elevado teor de sólidos se justifica pelo período chuvoso, mas está abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação vigente. Alguns metais ultrapassaram os valores máximos permitidos devido ao arraste de sólidos e, conseqüentemente, de metais dos solos das margens dos rios.

A água tratada proveniente da ETA 1 apresenta boa qualidade e atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888. No entanto, destaca-se que apresenta um valor de COT acima de 2.0 mg/L, que mesmo sendo um parâmetro que não faz parte da Portaria GM/MS nº 888, ultrapassa o recomendado pela USEPA.

Após análise de toda a caracterização físico-química e microbiológica da ALF, é evidente que não é recomendada sua recirculação *in natura* ao início da ETA. Uma água com essas características prejudicará todo o processo de tratamento de água. A ETA é projetada para operar sob determinadas condições e a ALF é uma água totalmente contaminada, com elevado teor de sólidos e metais tóxicos, ultrapassando limites da Resolução CONAMA nº 357.

Ensaio de Clarificação – ETA 1

Os resultados obtidos para valores de turbidez da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso estão apresentados nos gráficos da Figura 3. Os gráficos apresentaram R^2 de 94.36% e 95.30%, respectivamente. São valores relativamente altos (acima de 80%), o que indica que o modelo se ajusta bem aos dados e pode ser usado para prever a dosagem de polímero a ser aplicada para obtenção da turbidez final desejada.

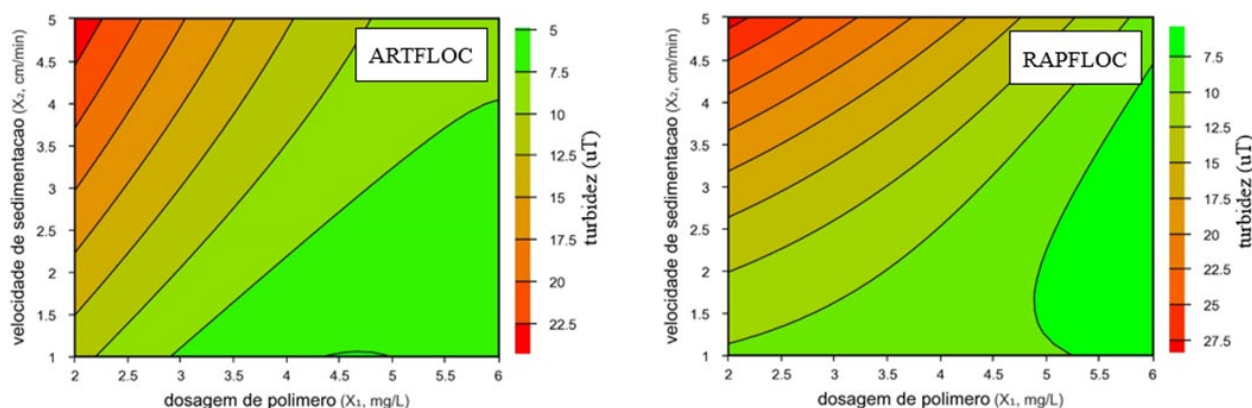


Figura 3. Turbidez da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem de polímero ARTFLOC e RAPFLOC em diferentes velocidades de sedimentação (chuvas).

Após análise dos gráficos da Figura 3, observou-se que o polímero ARTFLOC foi mais eficiente pois apresentou uma faixa de valores para turbidez inferior a 7.5 uT maior do que o polímero RAPFLOC. O polímero ARTFLOC permite obter valores de turbidez inferiores a 7.5 uT com dosagem a partir de 3.0 mg/L, aproximadamente, enquanto que o polímero RAPFLOC com dosagem em torno de 5.0 mg/L. Nota-se que, quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, menores serão os valores de turbidez da água clarificada para ambos os polímeros.

A remoção de turbidez foi de 97.8% com a maior dosagem de polímero (6.0 mg/L) e menor velocidade de sedimentação (1.0 cm/min). Sendo assim, como esperado, conclui-se que a adição de polímeros diminui significativamente a turbidez da água de lavagem dos filtros.

Os resultados obtidos para valores de concentração de *Escherichia coli* na água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso estão apresentados nos gráficos da Figura 4.

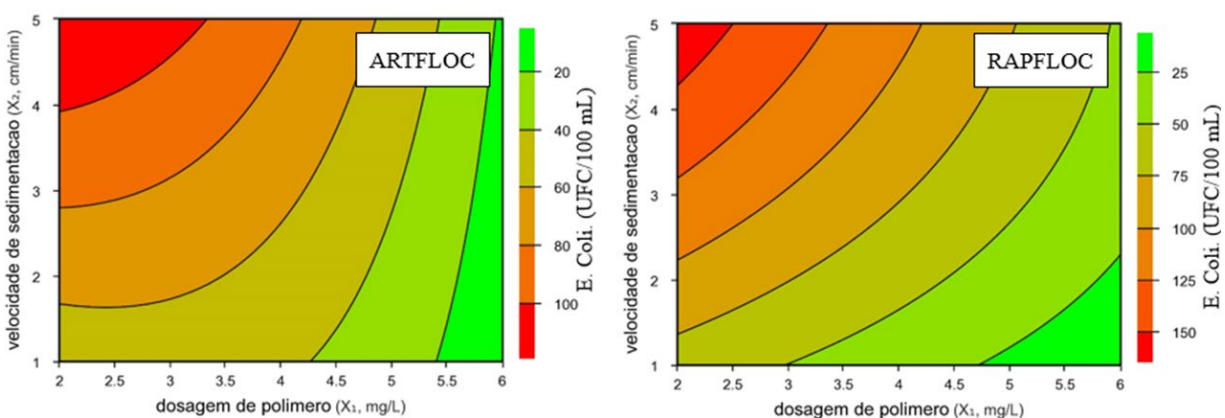


Figura 4. Concentração de *Escherichia coli* da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem de polímero ARTFLOC e RAPFLOC em diferentes velocidades de sedimentação (chuvas).

Os gráficos da Figura 4 apresentaram R^2 de 96.97% e 99.28%, respectivamente. São valores relativamente altos (acima de 80%), o que indica que o modelo se ajusta bem aos dados e pode ser usado para prever a dosagem de polímero a ser aplicada para remoção de *Escherichia coli*.

Após análise dos gráficos da Figura 4, observou-se que o polímero ARTFLOC foi mais eficiente na remoção de *Escherichia coli*. Nota-se que, quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, menores serão os valores de concentração de *Escherichia coli* da água clarificada para ambos os polímeros.

A remoção de *Escherichia coli* alcançou 97.5% com a maior dosagem de polímero (6.0 mg/L) e menor velocidade de sedimentação (1.0 cm/min). Sendo assim, como esperado, conclui-se que a adição de polímeros diminui significativamente a concentração de *Escherichia coli* da água de lavagem dos filtros.

Os resultados obtidos para valores de concentração de Ferro Total na água clarificada da ETA 1 em função da dosagem e tipo de polímero e diferentes velocidades de sedimentação para o período chuvoso estão apresentados nos gráficos da Figura 5.

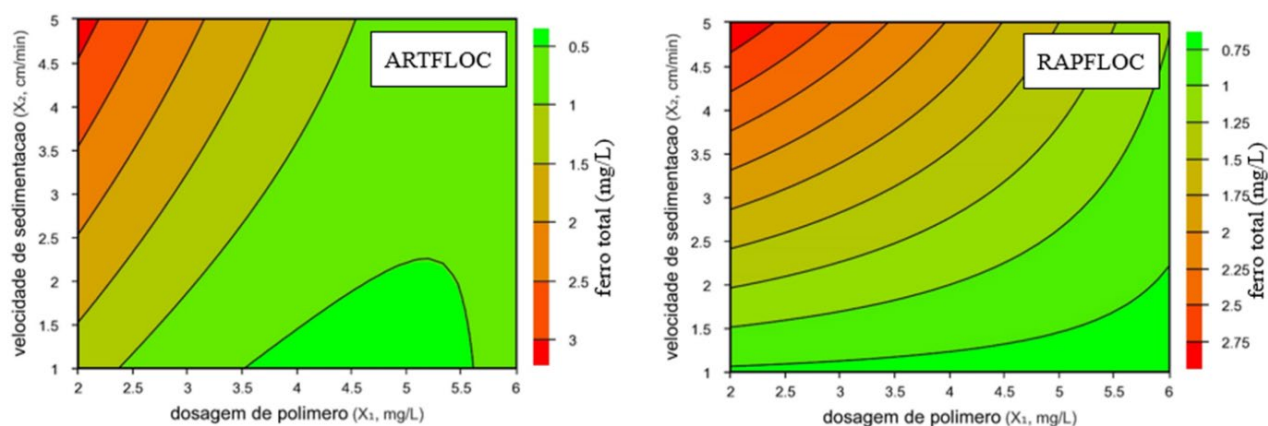


Figura 5. Concentração de Ferro Total da água clarificada da ETA 1 em função da dosagem de polímero ARTFLOC e RAPFLOC em diferentes velocidades de sedimentação (chuvas).

Os gráficos da Figura 5 apresentaram R^2 de 92.63% e 90.23%, respectivamente. São valores relativamente altos (acima de 80%), o que indica que o modelo se ajusta bem aos dados e pode ser usado para prever a dosagem de polímero a ser aplicada para remoção do metal Ferro.

Através dos gráficos da Figura 5 é possível concluir que maiores dosagens de polímeros combinadas com menores velocidades de sedimentação eliminam, de forma mais eficaz, o ferro total presente na água de lavagem de filtros. Isso mostra que o ferro total eliminado está presente nos flocos que se sedimentaram. Nota-se que o polímero ARTFLOC se destacou, obtendo menores concentrações de ferro total para maiores dosagens de polímeros e menores velocidades de sedimentação.

A análise conjunta dos resultados de remoção de turbidez, *Escherichia coli* e Ferro Total na água clarificada indicam que, entre os dois polímeros avaliados, deve ser escolhido o polímero ARTFLOC para a ETA 1, com dosagem entre 2.0 e 6.0 mg/L, de acordo com o objetivo desejado.

Conclusões

Após análise dos dados operacionais da estação de tratamento de água, concluiu-se que a ALF possui características que impedem sua recirculação *in natura* ao início da ETA, pois apresenta elevados valores para turbidez, cor, sólidos, COT, metais, bactérias heterotróficas, coliforme totais, *Escherichia coli* e nitrato. São valores maiores que os da água bruta e muitos ultrapassam os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357. É considerada uma água altamente contaminada, com elevado teor de sólidos e metais tóxicos, sendo indispensável seu tratamento, independentemente se será recirculada para o início da estação ou se será encaminhada para outro destino.

O tratamento da ALF com adição de polímeros mostrou que, quanto maior a dosagem de polímero e menor a velocidade de sedimentação, maior a remoção de turbidez. O parâmetro de turbidez é um dos parâmetros recomendados para avaliar a qualidade da ALF após tratamento por clarificação, assim como realizado em órgãos estadunidenses. Para a ALF estudada, recomenda-se a utilização do polímero ARTFLOC.

Portanto, após análise de todos os dados da ETA e dos resultados obtidos nos ensaios de clarificação, concluiu-se que é indispensável o tratamento da ALF, independentemente do seu destino final, e que seu tratamento por meio da adição de polímeros e da clarificação se mostra tão eficiente quanto aquele realizado em outros países, como nos EUA. No entanto, ressalta-se que, para cada ETA que irá tratar seu resíduo, faz-se necessário a realização de ensaios específicos de clarificação com a ALF proveniente de cada estação.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências bibliográficas

- Brasil (2021) Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) *Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* Ministério do Meio Ambiente. Disponível: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf
- Di Bernardo, L., Dantas, A. D. B., Voltan, P. E. N. (2017) *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.* 3ª Edição. Editora LDiBe, São Carlos, 1246 pp.

- Freitas, D. G. (2017) *Efeitos da recirculação de água de lavagem de filtros em um sistema de filtração direta em escala de bancada*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 58 pp. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/23399>
- Heller, L., Bastos, R. K. X., Vieira, M. B. C. M., Bevilacqua, P. D., Brito, L. L. A., Mota, S. M. M., Oliveira, A. A., Machado, P. M., Salvador, D. P., Cardoso, A. B. (2004) Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, **13**(2) 79 – 92. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742004000200002
- Ismail, I. A. L. (2020) *Plano de Segurança da Água de Lavagem de Filtros de Estações de Tratamento de Água de Ciclo Completo*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 170 pp. Disponível em: <https://tede.unaerp.br/handle/12345/364>
- Lovo, I. A. (2016) *Avaliação do adensamento por gravidade e do desaguamento por centrifugação do lodo gerado pelo tratamento de água*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 278 pp. Disponível em: <https://tede.unaerp.br/handle/12345/298>