



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

## **ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DE RETROLAVAGEM DE FILTROS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.**

**Henrique César Campos<sup>(1)</sup>; Kátia Daniela Ribeiro<sup>(1)</sup>; Alex Magalhães de Almeida<sup>(2)</sup>; Aladir  
Horário dos Santos<sup>(2)</sup>; Juliana Lisita de Souza Mattos<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Engenheiro Ambiental e Sanitarista. Formiga-MG. e-mail: henriquecampos93@outlook.com; julianalsmattos@gmail.com. <sup>(2)</sup>Professor Titular. Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG. Formiga-MG. e-mail: katiadr@bol.com.br; alexmalmeida42@yahoo.com.br; aladirhs@oi.com.br

**Eixo temático:** Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos.

**RESUMO** - As águas de retrolavagem de filtros de estações de tratamento de água (ETA's) constituem-se de várias substâncias, entre elas o alumínio oriundo da fase de coagulação onde é utilizado na forma de sulfato. O efluente contendo o composto metálico necessita de tratamento adequado antes de ser descartado *in natura* no corpo receptor, uma vez que pode poluir e contaminar o meio ambiente aquático. Com o propósito de estimar a concentração de alumínio através de parâmetros físicos do efluente de lavagem dos filtros da ETA localizada no município de Formiga-MG, identificaram-se, entre os parâmetros analisados, as variáveis que melhor se correlacionaram à concentração de alumínio do efluente analisado, propondo-se equações de previsão para estimativa da mesma. Conclui-se que as variáveis que melhor se correlacionaram à concentração de alumínio do efluente analisado foram sólidos sedimentáveis e massa seca, observando-se que, através dos modelos matemáticos ajustados, é possível prever a concentração de alumínio da água de retrolavagem dos filtros.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática. Coagulação. Sulfato.

**ABSTRACT** - The water backwash of filters of water treatment plants are constituted by various substances, including aluminum coming from the coagulation stage which is used in the form of sulfate. The effluent containing metal in its composition requires adequate treatment before its disposition in rivers since it can pollute and contaminate the aquatic environment. In order to estimate the aluminum concentration through physical parameters of backwash wastewater of filters located in a water treatment plant from the city of Formiga, Minas Gerais, Brazil, it were identified the variables that best correlated to the aluminum concentration of effluent analyzed, proposing prediction equations for estimating of it. It was concluded that variables which best correlated with the aluminum concentration of the effluent were settleable solids and dry mass. It was also observed that it is possible to predict the concentration of aluminum of the filter backwash water through the adjusted mathematical models.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

**Keywords:** Mathematical modeling. Coagulation. Sulfate.

## Introdução

Nem sempre ou, mesmo, raramente, a água que servirá para o abastecimento público, ou para outro uso, é encontrada com os padrões de qualidade exigidos para a respectiva utilização. Nesses casos, há a necessidade de tratamento de água do manancial (TELLES et al., 2013).

Durante o tratamento da água são gerados resíduos, merecendo destaque o efluente de lavagem dos decantadores e dos filtros que, na maioria das ETA's brasileiras, é lançado diretamente no corpo hídrico receptor mais próximo ou na rede coletora de esgoto, causando, assim, significativo impacto ambiental (CAMPOS, 2015).

O maior passivo ambiental que uma ETA pode causar, portanto, é a poluição do corpo hídrico receptor, resultante dos despejos de efluentes de lavagem de decantadores e de filtros, pois estes contêm resíduos conduzidos pela água bruta de forma concentrada, além de ter na sua composição substâncias adicionadas durante o processo de tratamento (CAMPOS, 2015). Entre estas substâncias, poderá haver íons metálicos em função do coagulante utilizado. E o coagulante mais largamente utilizado no tratamento de água, e já por vários séculos, é o sulfato de alumínio (ROSALINO, 2011).

A concentração de alumínio gerada nos resíduos de tratamento de água deve ser levada em consideração, porque o lodo sedimentado no fundo dos decantadores contém, entre outras substâncias, hidróxido de alumínio em grande quantidade e a água de lavagem dos filtros contém flocos formados pela aglomeração de colóides e hidróxido de alumínio. E cada vez mais evidências têm mostrado a relação do alumínio com certas enfermidades neurológicas degenerativas durante as últimas décadas como, por exemplo, a doença de Alzheimer. (BIDONE; SILVA; MARQUES, 2001 apud ALVES, 2009).

Uma vez que as ETA's lançam os resíduos provenientes do tratamento de água diretamente no manancial mais próximo, sem nenhum tratamento, é possível prever que ocorre, continuamente, uma contaminação dos mananciais por alumínio, a qual deve ser freada para que o excesso desse elemento não traga infortúnios àqueles que fazem uso dessa água contaminada. Caracterizar o efluente de retrolavagem dos filtros da ETA quanto à concentração de alumínio apresenta-se, portanto, como uma medida adequada para gestão desse resíduo e tomada de decisão quanto à sua correta destinação final, com o objetivo de evitar uma possível contaminação do corpo hídrico receptor.

Para determinar as características químicas da água, principalmente a presença de metais, são necessários a utilização de análises seguindo modelos padronizados (BRAGA et al., 2005) que, de modo geral, são bastante onerosos. As características físicas da água, como a cor, a turbidez, o pH, o sabor e odor, a temperatura e a condutividade elétrica, entre outros, apresentam certa facilidade de



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)

determinação e constituem-se análises corriqueiras em ETA's (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

A estimativa de parâmetros de determinação mais complexa através do uso de equações empíricas relacionadas a parâmetros de mais fácil determinação apresenta-se importante para redução do tempo e custo das análises laboratoriais, especialmente para aplicação rápida e precisa desses valores em projetos diversos. Assim, o presente estudo contempla a análise da água de retrolavagem dos filtros de uma ETA com o objetivo de determinar o aumento ou diminuição da concentração de alumínio na água de retrolavagem através do ajuste de equações de previsão para a presença de alumínio em função de parâmetros físicos da água de mais fácil determinação.

## Material e métodos

O presente estudo foi realizado junto à Estação de Tratamento de Água – ETA Santa Luzia pertencente ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE do município de Formiga-MG.

As amostragens foram realizadas no período compreendido entre 15 de abril de 2015 a 15 de junho de 2015, sendo realizadas três vezes por semana, no momento em que se procedeu a retrolavagem dos filtros, conforme descrito por Campos (2015), totalizando, no período de estudo, a obtenção de 24 amostras.

Para cada amostra, determinaram-se os seguintes parâmetros (Tabela 1):

Tabela 1. Parâmetros analisados no experimento.

Parâmetro	Metodologia
pH	Medidor Thermo Scientific Orion Versa Star 20 (CAMPOS, 2015)
Sólidos totais dissolvidos	Medidor Thermo Scientific Orion Versa Star 20 (CAMPOS, 2015)
Sólidos sedimentáveis	Método do Cone de Imhoff (ABNT, 1998)
Massa seca	Método gravimétrico (CAMPOS, 2015)
Turbidez	Os dados foram disponibilizados pelo SAAE-Formiga/MG.
Concentração de alumínio	Método da espectrofotometria UV-VIS (CONRADO, 2014)

Fonte: Campos (2015).

Todas as determinações foram feitas com 3 repetições.

De posse dos dados quantitativos, realizou-se a análise de variância dos filtros em relação à quantidade de alumínio e procedeu-se à modelagem do sistema a partir dos valores de concentração do mesmo confrontando com os de pH, sólidos totais dissolvidos, sólidos sedimentáveis, massa seca e turbidez, permitindo verificar a influência da variável resposta em relação aos outros parâmetros. Para tanto, considerou-se um delineamento experimental totalmente casualizado, desbalanceado com quatro tratamentos, adotando-se um valor de 5% para o nível de significância. Todas as análises estatísticas foram feitas utilizando-se os *softwares* Sisvar e R.

## Resultados e discussão



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

Os resultados encontrados para as concentrações de alumínio variaram bastante, não apresentando um comportamento uniforme ao longo do tempo (Tabela 2). Esta variação pode estar relacionada com as características da água bruta, principalmente a turbidez, decorrente de fatores como clima, tempo ou processos erosivos nas margens dos rios. Diferentes fatores, como a ocorrência de chuvas, processos erosivos nas margens dos rios, entre outros, podem fazer com que a água bruta captada para tratamento chegue mais ou menos turva na ETA, demandando a aplicação de maior ou menor quantidade de coagulante, acarretando, nos filtros, maior ou menor concentração de alumínio ao longo do tempo.

Tabela 2. Parâmetros analisados.

Filtro	Data	pH	STD (mg/L)	SS ml/L	Al mg/l	Turbidez NTU	Massa seca mg/L
4	15/abr	6,4	30,33	16	1,422	7,03	210
1	17/abr	6,5	28,78	18	0,246	5,85	100
4	22/abr	6,5	28,41	13	0,523	4,41	350
4	24/abr	6,4	27,79	15	1,594	5,22	500
4	27/abr	6,8	27,29	10	1,055	5,64	140
1	29/abr	6,5	27,31	21	1,339	4,91	310
2	04/mai	6,5	27,66	30	1,999	5,67	410
3	06/mai	6,4	26,43	10	0,568	4,18	280
4	08/mai	6,9	30	30	1,804	5,40	340
1	11/mai	7,2	30	20	1,841	7,06	450
2	13/mai	6,3	28,87	10	0,905	4,50	244
3	15/mai	6,3	29,66	15	1,429	4,49	270
4	18/mai	6,4	30,8	25	2,111	5,72	250
1	22/mai	6,3	30,18	11	1,07	4,69	230
4	25/mai	6,3	70,87	11	0,867	4,85	170
3	27/mai	6,5	55,9	21	2,118	5,15	430
4	29/mai	6,5	28,44	21	1,976	6,50	320
4	01/jun	6,2	27,75	10	0,83	4,31	40
1	03/jun	6,3	28,81	14	1,055	4,92	300
4	05/jun	7	30,76	11	0,77	6,61	200
4	08/jun	6,2	29,4	14	1,482	5,22	190
3	10/jun	6,2	30,78	20	1,234	7,01	330
3	12/jun	6,7	34,76	35	3,699	4,85	940
3	15/jun	6,5	30,09	30	0,942	4,06	450



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

A legislação federal – Resolução CONAMA nº 430/2011 – e a legislação estadual – Deliberação Normativa COPAM nº 01/2008 – não estabelecem, em seus padrões de lançamento em corpos receptores, valores máximos permitidos para a concentração de alumínio. No entanto, se forem considerados os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para enquadramento das águas de um curso hídrico, permitindo inferir sobre sua qualidade, nota-se que a água de retrolavagem dos filtros da ETA apresenta concentração de alumínio dissolvido acima dos valores máximos permitidos, que é de 0,1 mg/L, para enquadramento das águas doces nas classes I e II, e de 0,2 mg/L para enquadramento das águas doces na classe III, caracterizando a água de retrolavagem dos filtros da ETA Santa Luzia como uma fonte de poluição do Rio Formiga, seu corpo receptor.

De posse dos parâmetros quantificados, foram realizadas análises de regressão com vistas à obtenção de uma equação de previsão que possa quantificar os valores de alumínio que estão sendo emitidos pelos filtros da ETA estudada. Os valores obtidos para a concentração de alumínio (mg/L) foram confrontados com os parâmetros pH, sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos sedimentáveis (SS), massa seca (M) e turbidez (T) e a Tabela 3 mostra os resultados da análise de variância dos parâmetros analisados em relação à concentração de alumínio.

Tabela 3. Resultados da análise de variância dos parâmetros analisados.

	FV	Soma	SQ	SQ médio	F-valor	Pr(>F)
pH	1	0,6858	0,6858	0,6858	3,3817	0,082481
STD	1	0,1621	0,1621	0,1621	0,7995	0,383030
SS	1	5,3544	5,3544	5,3544	26,4046	6,886e-05
T	1	0,1279	0,1279	0,1279	0,6306	0,437473
M	1	2,0304	2,0304	2,0304	10,0126	0,005368

Nota: Resíduo: 183,6501; Variância: 0,2028.

Os sólidos sedimentáveis (SS) e massa seca (M) foram os parâmetros mais significativos no que diz respeito à quantidade de alumínio no efluente de retrolavagem dos filtros. O restante dos parâmetros (pH, STD, T) não influenciam significativamente.

Esperava-se que o pH se apresentasse com maior significância, pois o aumento de íons de alumínio na água tende a acidificá-la, reduzindo seu pH. Todavia, se fosse considerado um nível de significância igual a 10%, o pH se tornaria um parâmetro significativo, indicando que a amostragem realizada nesse trabalho caracterizou-se como pequena.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes da regressão linear ajustados para a obtenção da equação de previsão da concentração de alumínio, em mg/L, em função dos parâmetros físicos da água de retrolavagem analisados, permitindo a obtenção da seguinte equação de previsão:  $Al = 0,9311995 - 0,3162715[pH] + 0,0070245[STD] + 0,0297048[SS] + 0,1831581[T] + 0,0024277[M]$ .

Tabela 4. Coeficientes da regressão entre Al (mg/L) e os parâmetros analisados.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

	<b>Estimativa</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>t-valor</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
(Intercept)	0,9311995	2,5507937	0,365	0,71932
pH	-0,3162715	0,4261359	-0,742	0,46755
STD (mg/L)	0,0070245	0,0094503	0,743	0,46688
SS (ml/L)	0,0297048	0,0177532	1,673	0,11158
T (NTU)	0,1831581	0,1150228	1,592	0,12871
M (mg/L)	0,0024277	0,0007672	3,164	0,00537

Nota: Erro padrão residual: 0,4503 em 18 graus de liberdade; R<sup>2</sup>: 0,6961, R<sup>2</sup> ajustado: 0,6117; F-estatístico: 8,246 em 5 e 18 graus de liberdade; p-valor: 0,0003379.

Embora não seja um modelo matemático muito complexo, a equação de previsão encontrada anteriormente se torna inviável do ponto de vista operacional para ser aplicada rotineiramente na ETA Santa Luzia. Logo, realizou-se outra análise de variância e ajustou-se outro modelo matemático, porém utilizando apenas as variáveis mais significativas, que são os sólidos sedimentáveis e a massa seca. A Tabela 5 mostra a análise de variância dessas variáveis, observando-se que os sólidos sedimentáveis apresenta-se como a variável mais significativa.

Tabela 5 – Resultados da análise de variância dos parâmetros mais significativos.

<b>FV</b>	<b>Soma</b>	<b>SQ</b>	<b>SQ médio</b>	<b>F-valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
SS	1	6,0077	6,0077	29,5580	2,153e05
M	1	1,7347	1,7347	8,5349	0,008158

Nota: Resíduo: 21 4.2683; Variância: 0.2033.

A Tabela 6 apresenta os coeficientes da regressão linear ajustados para a obtenção da equação de previsão da concentração de alumínio, em mg/L, em função dos parâmetros físicos da água de retrolavagem analisados mais significativos, permitindo a obtenção da seguinte equação de previsão:  $Al = 0,1026977 + 0,0335592[SS] + 0,0021398[M]$ .

Tabela 6. Coeficientes da regressão entre Al (mg/L) e os parâmetros mais significativos.

	<b>Estimativa</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t-valor</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
(Intercept)	0,1026977	0,2441150	0,421	0,67825
SS	0,0335592	0,0173071	1,939	0,06605
M	0,0021398	0,0007325	2,921	0,00816

Nota: Erro padrão residual: 0,4508 em 21 graus de liberdade; R<sup>2</sup>: 0,6446, R<sup>2</sup> ajustado: 0,6108; F-estatístico: 19,05 em 2 e 21 graus de liberdade; p-valor: 1,915e-05.

Aplicando-se um Teste de Normalidade Shapiro-Wilk nos modelos ajustados, constata-se que ambos se mostram bem ajustados em relação aos parâmetros analisados, como pode ser visto nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Gráficos de ajuste do modelo usando todos os parâmetros analisados.

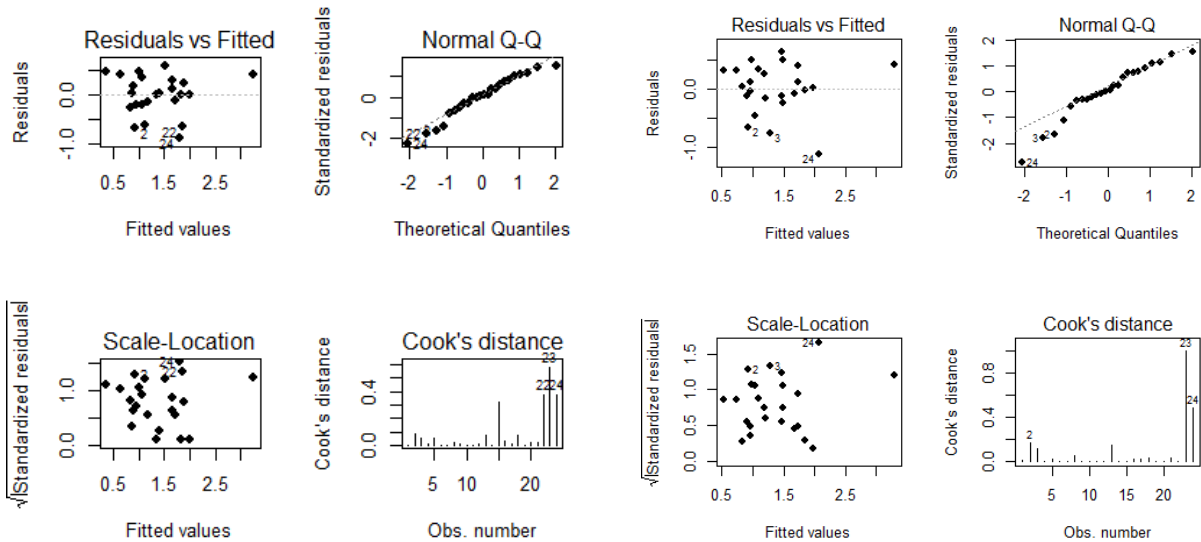
Figura 2. Gráficos de ajuste do modelo usando apenas os parâmetros mais significativos.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)



Nota: W: 0,9456; p-valor: 0,2175.

Nota: W: 0,9349; p-valor: 0,1257.

O estudo demonstra que é possível prever o teor de alumínio em águas de retrolavagem a partir das análises realizadas rotineiramente na ETA. Isto contribui para o monitoramento dos aspectos ambientais e garantia de um melhor desempenho ambiental de suas atividades visto que, futuramente a ETA poderá investir em infraestrutura para o tratamento de seus resíduos, quanto à remoção de alumínio do lodo, uma vez que a concentração de Al do lodo gerado poderá ser mensurada mais facilmente.

## Conclusões

1. É possível prever a concentração de alumínio da água de retrolavagem dos filtros da ETA estudada através de parâmetros físicos de mais fácil determinação.
2. As variáveis que melhor se correlacionaram à concentração de alumínio do efluente analisado foram sólidos sedimentáveis e massa seca.
3. As duas equações encontradas estão bem ajustadas, porém o segundo modelo é mais simples e pode ser aplicado rotineiramente na ETA.

## Agradecimentos

Os autores agradem ao SAAE do município de Formiga-MG e ao UNIFOR-MG, pelo apoio e infraestrutura disponibilizados para a execução da pesquisa.

## Referências bibliográficas

ALVES, M. O. Avaliação da eficiência e viabilidade de utilização do sulfato de alumínio líquido como coagulante na estação de tratamento de água Santa Luzia do município de Formiga/MG – Estudo de



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016  
[www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

caso. Formiga: UNIFOR-MG, 2009. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10561: Águas: determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis): Método do cone de Imhoff. Rio de Janeiro, 1998.

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, 13 de março de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CAMPOS, H. C. Concentração de alumínio na água de retrolavagem de filtros da estação de tratamento de água do município de Formiga-MG. Formiga: UNIFOR-MG, 2015. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária)

CONRADO, J. M. Determinação do teor de alumínio absorvido pela água deionizada, após a fervura em panelas fabricadas com o metal. Formiga: UNIFOR-MG, 2014. 37 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química).

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de tecnologias de tratamento de água. São Carlos, SP: LDIBE Ltda. 2008. v. 1.

FERREIRA, D. F. Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.