



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

ANÁLISE DA PRESENÇA DE ALUMÍNIO RESIDUAL EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO TRATADA POR ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO

Cristiane Graepin- crisgraepin@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Ezequiel Andrei Somavilla- ezequiel.somavilla@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Andressa Gabriela Glusczak- andressa.g@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Gustavo Holz Bracher- gustavohbracher@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Elvis Carissimi- ecarissimi@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Resumo: Na tecnologia de eletrocoagulação-flotação ocorre a geração *in situ* de coagulantes por meio da eletrodissolução do ânodo de sacrifício, agregando impurezas em flocos. Os flocos se aderem a pequenas bolhas de gás hidrogênio geradas no cátodo, sendo flutuados para a superfície, ocasionando a flotação. A eletrocoagulação-flotação é uma tecnologia simples, que apresenta inúmeras vantagens. Porém, íons de alumínio são gerados, para atuarem como coagulante, podendo haver a presença de alumínio residual na água tratada, e a exposição a esse elemento, tem sido associada a inúmeros efeitos adversos ao ser humano. Dessa forma, objetivou-se avaliar a presença de alumínio residual no tratamento de água por eletrocoagulação-flotação. O tratamento foi conduzido em um reator de eletrocoagulação-flotação, em fluxo descontínuo, em escala de bancada. Na célula do reator foram utilizados dois eletrodos de alumínio, como ânodo e cátodo, arranjados em configuração monopolar em paralelo. Foram realizados 4 experimentos, com corrente elétrica de 0,15 A e 0,6 A, e tempo de 10 minutos e 30 minutos. O tratamento foi avaliado quanto à eficiência de remoção de cor aparente, perda de massa dos eletrodos e presença de alumínio residual. Como resultado, o experimento 1, com corrente elétrica de 0,60 A e tempo de 30 minutos, apresentou a maior eficiência de remoção de cor aparente (56,40%). No experimento 1 também houve a maior perda de massa dos eletrodos e 46,5 mg.L⁻¹ de alumínio residual. A presença de alumínio residual na água tratada é influenciada pela corrente elétrica e o tempo.

Palavras-chave: Tratamento de água, Alumínio residual, Tratamento eletroquímico.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF RESIDUAL ALUMINUM IN PUBLIC SUPPLY WATER TREATED BY ELECTROCOAGULATION-FLOTATION

Abstract: *In the electrocoagulation-flotation technology, the in situ generation of coagulants occurs through the electrodisolution of the sacrificial anode, adding impurities in flakes. The flakes adhere to small bubbles of hydrogen gas generated at the cathode, being floated to the surface, causing flotation. The electrocoagulation-flotation is a simple technology that has numerous advantages. However, aluminum ions are generated, to act as a coagulant, and there may be the presence of residual aluminum in the treated water, and exposure to this element has been associated with numerous adverse effects to humans. Thus, the objective was to evaluate the presence of residual aluminum in the water treatment by electrocoagulation-flotation. The treatment was conducted in an electrocoagulation-flotation reactor, in discontinuous flow, on a bench scale. In the reactor cell were used two aluminum electrodes, such as anode and cathode, arranged in parallel monopolar configuration. Four experiments were carried out, with electric current of 0.15 A and 0.6 A, and time of 10 minutes and 30 minutes. The treatment was evaluated for the efficiency of apparent color removal, loss of electrode mass and presence of residual aluminum. As a result, experiment 1, with an electric current of 0.60 A and time of 30 minutes, showed the highest apparent color removal efficiency (56.40%). In experiment 1 there was also the greatest loss of electrode mass and 46.5 mg.L⁻¹ of residual aluminum. The presence of residual aluminum in the treated water is influenced by the electric current and time.*

Keywords: *Water treatment, Residual aluminum, Electrochemical treatment.*

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

1. INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado e as práticas inadequadas em bacias hidrográficas alteram as características físicas, químicas e biológicas da água, por consequência, os mananciais superficiais apresentam águas com qualidade inadequada para o consumo humano, contendo muitas impurezas. Esses mananciais constituem um dos recursos naturais mais importantes para os sistemas urbanos. Por ser um recurso indispensável para a sobrevivência, a água deve estar entre os principais componentes de planejamento do desenvolvimento público. Melhorar os serviços de saneamento básico é fundamental para o alcance de todos os objetivos de desenvolvimento (BUAMAH et al., 2016).

A Portaria de Consolidação 5/2017 estabelece uma série de valores máximos permitidos de parâmetros que devem ser analisados na água de abastecimento público. Para cumprir as exigências da Portaria a água deve passar por um tratamento. A coagulação química com o uso de sais de alumínio é uma das principais etapas do tratamento convencional. Alternativamente, a eletrocoagulação-flotação também pode ser aplicada para o tratamento de água. Ambas possuem a finalidade de agregar impurezas, no entanto, o método de dosagem do coagulante é diferenciado. Na coagulação química o coagulante utilizado é um composto químico, enquanto na eletrocoagulação-flotação o coagulante é adicionado por meio da oxidação eletrolítica de eletrodos metálicos (HARIF et al., 2012).

Entretanto, o tratamento convencional pode tornar-se insuficiente, em virtude da qualidade ruim da água dos mananciais superficiais, aumento populacional e restrição de espaço físico para instalação de estações de tratamento. O que torna necessária a modernização das estações de tratamento de água, com o emprego de tecnologias de tratamento eficientes e práticas, tendo como exemplo a eletrocoagulação-flotação, um processo eletroquímico capaz de superar esses inconvenientes.

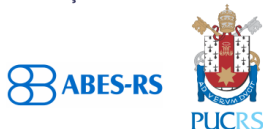
A eletrocoagulação-flotação é uma técnica simples e eficiente, que apresenta inúmeras vantagens, como alta eficiência de remoção de poluentes, não utiliza adição de produtos químicos, tem baixa produção de lodo, versatilidade, segurança, facilidade e menor custo operacional (OZYONAR, 2016; KYZAS & MATIS, 2016). O tratamento inicia na eletrocoagulação, na qual ocorre a geração in situ de coagulantes por meio da eletrodissolução do ânodo de sacrifício, agregando impurezas em flocos. Os flocos formados se aderem a pequenas bolhas de gás hidrogênio geradas no cátodo, sendo flutuados para a superfície (BATTULA et al., 2014; SAFARI et al., 2016; ADAMOVIC et al., 2016). A flutuação por bolhas de hidrogênio, característica da flotação, é um componente importante dessa tecnologia, pelo fato de promover uma maior eficiência na remoção de poluentes (RINCÓN & MOTTA, 2014).

A eletrocoagulação-flotação é uma alternativa apropriada para otimizar o tratamento de água de abastecimento público. No entanto, íons de alumínio são gerados, para atuarem como coagulante, podendo haver a presença de alumínio residual na água tratada, e a exposição a esse elemento, tem sido associada a inúmeros efeitos adversos ao ser humano, como a doença de Alzheimer (FREITAS et al., 2016; CHEN et al., 2016). No Brasil, a Portaria de Consolidação 5/2017 estabelece o valor máximo provável de presença de alumínio na água de 0,2 mg.L⁻¹. O que torna de suma importância a sua avaliação no final do tratamento de potabilidade da água. Dessa forma, o objetivo desse estudo é avaliar a presença de alumínio residual no tratamento de água por eletrocoagulação-flotação.

2. METODOLOGIA

A água bruta submetida ao tratamento de eletrocoagulação-flotação é proveniente dos mananciais superficiais das bacias hidrográficas Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim. A coleta de água foi realizada na entrada do sistema de tratamento de água da Companhia Riograndense de Saneamento do município de Santa Maria-RS, antes de iniciar o tratamento convencional realizado pela Companhia.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



O tratamento de água por eletrocoagulação-flotação foi executado no Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria. O tratamento foi conduzido em escala de bancada, em um reator de fluxo descontínuo. Na célula do reator foram utilizados dois eletrodos de alumínio, como ânodo e cátodo, conectados à uma fonte de alimentação de corrente contínua, com valor de tensão e corrente elétrica ajustáveis. Os eletrodos foram arranjados em configuração monopolar em paralelo. A figura 1 mostra o reator de eletrocoagulação-flotação em que os experimentos foram realizados.

Figura 1 - Reator de ECF em escala de bancada



Foram realizados quatro experimentos, conduzidos com um volume de amostra de água de 1,5 litros, sem a presença de agitação, pH inicial igual a 3, distância dos eletrodos de 0,5 cm e dois eletrodos de alumínio. Após ser realizado o tratamento, o tempo de repouso, necessário para os flocos em suspensão flotar, foi de 10 minutos.

Foram testados diferentes valores de corrente elétrica e tempo de eletrólise, para assim avaliar a influência desses parâmetros na quantidade de alumínio residual na água tratada. A corrente elétrica utilizada nos experimentos foi de 0,15 A e 0,60 A, e o tempo de eletrólise de 10 minutos e 30 minutos. A tabela 1 apresenta a corrente elétrica e o tempo aplicado a cada experimento.

Tabela 1 – Corrente elétrica e tempo de eletrólise dos experimentos

Experimento	Corrente elétrica (A)	Tempo (min.)
1	0,60	30
2	0,60	10
3	0,15	30
4	0,15	10

A eficiência do tratamento de água foi determinada quanto a remoção de cor aparente, por meio da equação 1. A cor aparente das amostras de água bruta e tratada foram determinadas por um colorímetro modelo Q406COR da marca Quimis.



$$\text{Eficiência de Remoção (\%)} = \frac{C_{AB} - C_{AT}}{C_{AB}} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

C_{AB} = Cor aparente da água bruta;

C_{AT} = Cor aparente da água tratada.

As amostras de água tratada foram analisadas quanto a presença de alumínio residual, pela técnica de espectroscopia de absorção atômica com forno de grafite.

O consumo de massa do eletrodo foi determinado de forma experimental, sendo verificado pela limpeza, secagem e pesagem dos eletrodos, antes e após cada ensaio ser realizado (CERQUEIRA et al., 2014; MENESES et al., 2012).

Os valores de corrente elétrica, tempo de eletrólise, perda de massa e alumínio residual foram correlacionados por meio da ferramenta *Solver* do Excel® para avaliar as suas correlações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 mostra os valores da análise de cor aparente da água bruta e tratada, e a eficiência de remoção de cor para cada experimento. O experimento 1, com os maiores valores de corrente elétrica e tempo, 0,60 A e 30 minutos, apresentou a maior eficiência de remoção de cor, com 56,40%. O experimento 3, com corrente elétrica de 0,15 A e tempo de 30 minutos, também apresentou uma boa eficiência de remoção de cor, com 55,80%. A menor eficiência de remoção foi 4,05%, no experimento 4, com a menor corrente elétrica e o menor tempo, 0,15 A e 10 minutos.

Tabela 2 – Análise de cor aparente

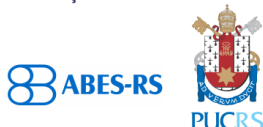
Experimento	Corrente elétrica (A)	Tempo (min.)	Água bruta (uC)	Água tratada (uC)	Remoção (%)
1	0,60	30	76,77	33,47	56,40
2	0,60	10	73,90	56,63	23,36
3	0,15	30	75,80	33,77	55,80
4	0,15	10	73,90	70,90	4,05

Na eletrocoagulação-flotação, o coagulante é gerado *in situ* pela oxidação eletrolítica de um metal no ânodo de sacrifício, desencadeados pela corrente elétrica aplicada por meio dos eletrodos de alumínio (HAKIZIMANA et al., 2017a; AVELLAR et al., 2015; MENESES et al., 2012). Assim, quanto maior a corrente elétrica ou maior o tempo de eletrólise, maior será a quantidade do composto coagulante na solução, conseqüentemente maior será a eficiência do tratamento. A remoção de contaminantes da água depende da quantidade de geração do agente coagulante, o hidróxido de alumínio, que está relacionada com o tempo de eletrólise e a densidade de corrente (CERQUEIRA et al., 2014; NASRULLAH et al., 2014).

Além da eficiência do tratamento de água por eletrocoagulação-flotação, é preciso avaliar a presença de alumínio residual na água tratada. Nos últimos anos, surgiram hipóteses de que a ingestão de alumínio residual, proveniente do tratamento de água, a partir do consumo de água potável, fosse uma das causas da doença de Alzheimer (BAIRD, 2011).

No Brasil, a Portaria de Consolidação 5/2017 estabelece o valor máximo provável de presença de alumínio na água sendo 0,2 mg.L⁻¹. A tabela 3 apresenta a perda de massa dos eletrodos e a quantidade de alumínio residual na água tratada. Observa-se que todos os experimentos apresentaram presença de alumínio residual superior a 0,2 mg.L⁻¹, ou seja, nenhum experimento atendeu a legislação brasileira de forma adequada.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



O experimento com maior presença de alumínio residual foi o experimento 1, com 46,5 mg.L⁻¹. Nesse experimento foram estabelecidos os maiores valores de corrente elétrica e tempo de eletrólise, sendo 0,60 A e 30 minutos, respectivamente. A quantidade de alumínio dissolvido na solução eletrolítica é proporcional à corrente aplicada e ao tempo de reação. De modo que, a obtenção de certa quantidade de metal dissolvido pode ser obtida por meio do incremento de tempo sob uma pequena corrente, ou aumento da corrente aplicada em um tempo reduzido (LIU et al., 2017).

O experimento 4, com menor valor de corrente elétrica e tempo de eletrólise, 0,15 A e 10 minutos, teve a menor presença de alumínio residual. Portanto, a presença de alumínio residual na água tratada é consideravelmente influenciada pela corrente elétrica e o tempo de eletrólise.

Hakizimana et al. (2017b) avaliaram a presença de alumínio residual no tratamento eletroquímico com eletrodos de alumínio. A concentração de alumínio residual variou de 0 – 12,93 mg.L⁻¹. Os autores observaram que a concentração decresce quando a corrente elétrica é diminuída.

Tabela 3 – Perda de massa e alumínio residual dos experimentos

Experimento	Corrente elétrica (A)	Tempo (min.)	Perda de massa (g)	Alumínio residual (mg.L ⁻¹)
1	0,60	30	0,45	46,40
2	0,60	10	0,05	23,66
3	0,15	30	0,04	15,15
4	0,15	10	0,02	8,70

A perda de massa dos eletrodos teve o mesmo comportamento que a presença de alumínio residual na água tratada. O experimento 1, com maior valor de corrente elétrica e maior tempo de eletrólise, 0,60 A e 30 minutos, teve o maior desgaste dos eletrodos. O aumento da corrente elétrica e tempo de eletrólise ocasiona um aumento de perda de massa, ou seja, consumo dos eletrodos (CERQUEIRA et al. 2014; MENESES et al., 2012).

A tabela 4 mostra a correlação entre a corrente elétrica, tempo de eletrólise, perda de massa e alumínio residual. Observa-se que a corrente elétrica e o alumínio residual possuem uma forte correlação positiva, com um coeficiente de correlação de 0,81. O tempo de eletrólise e o alumínio residual possuem uma correlação moderada, com coeficiente de correlação de 0,51. Portanto, a presença de alumínio residual na água tratada é mais influenciada pela corrente elétrica do que pelo tempo de eletrólise.

A perda de massa possui uma correlação positiva moderada com a corrente elétrica e o tempo de eletrólise, com coeficiente de 0,61 e 0,59, respectivamente. Quando correlacionada com a presença de alumínio residual possuem uma correlação positiva muito forte, com coeficiente de 0,95. Assim, quanto maior a perda de massa, ou seja, desgaste dos eletrodos, maior será a presença de alumínio residual na água tratada.

Tabela 4 – Correlação das variáveis corrente elétrica, tempo, perda de massa e alumínio residual

	Corrente elétrica (A)	Tempo (min.)	Perda de massa (g)
Perda de massa (g)	0,61	0,59	-
Alumínio Residual (mg.L ⁻¹)	0,81	0,51	0,95



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados mostram que a tecnologia de eletrocoagulação-flotação pode ser aplicada ao tratamento de água de abastecimento, com grandes expectativas de boas eficiências no tratamento. No entanto, a elevada presença de alumínio residual na água tratada é preocupante, devido aos seus possíveis efeitos adverso à saúde dos seus usuários.

A presença de alumínio residual não satisfaz a legislação brasileira, que estabelece valor máximo permitido de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$, por meio da Portaria de Consolidação 5/2017, nos quatro tratamento de água realizados. Todos os experimentos apresentaram valores superiores ao estabelecido pela Portaria.

Portanto, deveria ser analisado de forma detalhada o tratamento de água do experimento 3, que apresentou uma das maiores eficiências de remoção de cor aparente e uma das menores quantidades de alumínio residual. De forma que possibilitasse a busca por um tratamento de água eficiente e que satisfaça a legislação brasileira.

REFERÊNCIAS

ADAMOVIC, S. et al. Feasibility of electrocoagulation/flotation treatment of waste offset printing developer based on the response surface analysis. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 9, p. 152-162, 2016.

AVELLAR, I. G. J.; COTTA, T. A. P. G.; NEDER, A. V. F. Aplicação de Eletroflotação na Remoção de Fosfatos em Efluente Doméstico Artificial Preparado a Partir de Bebida Refrigerante – Um experimento para a Graduação. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2255-2272, 2015.

BATTULA, S. K. et al. Effective Removal of Fluoride from Ground Water Using Electro-Coagulation. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 4, p. 439-445, 2014.

BRASIL, Ministério da Saúde. **PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de setembro de 2017.

BAIRD, C. tradução Marco Tadeu Grassi et al. **Química Ambiental**, Editora ARTMED, 4ª ed. Porto Alegre, 2011.

BUAMAH, R.; ODURO, C. A.; SADIK, M. H. Fluoride removal from drinking water using regenerated aluminum oxide coated media. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 250-258, 2016.

CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Effects of direct and Alternating current on the treatment of oily water in an electroflocculation process. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 3, p. 693-701, 2014.

CHEN, C.; CHANG, K.; PAN, T. Monascus purpureus NTU 568 fermented product improves memory and learning ability in rats with aluminium-induced Alzheimer's disease. **Journal of Functional Foods**, vol. 21, p. 167-177, 2016.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

FREITAS, J. H. E. S. et al. Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lection to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. **Chemosphere**, v. 163, p. 133-141, 2016.

HARIF, T.; KHAI, M.; ADIN, A. Electrocoagulation versus chemical coagulation: Coagulation/flocculation mechanisms and resulting floc characteristics. **Water Research**, v. 46, p. 3177-3188, 2012.

HAKIZIMANA, J. N. et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. **Desalination**, v. 404, p. 1-21, 2017a.

HAKIZIMANA, J. N. et al. Hybrid electrocoagulation/electroflotation/electrodisinfection process a pretreatment for seawater. **Chemical Engineering Science**, v. 170, p. 530-541, 2017b.

KYZAS, G. Z.; MATIS, K. A. Electroflotation process: A review. **Journal of Molecular Liquids**, v. 220, p. 657-664, 2016.

LIU, S. et al. Simultaneous removal of Ni(II) and fluoride from a real flue gas desulfurization wastewater by electrocoagulation using Fe/C/Al electrode. **Journal of Water Reuse and Desalination**, p. 288-297, 2017.

MENESES, J. M. et al. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 235-240, 2012.

NASRULLAH, M.; SIDDIQUE, M. N. I.; ZULARISAM, A. W. Effect of High Current Density in Electrocoagulation Process for Sewage Treatment. **Asian Journal of Chemistry**, v. 26, n. 14, p. 4281-4285, 2014.

OZYONAR, F. Treatment of Train Industry Oily Wastewater by Electrocoagulation with Hybrid Electrode Pairs and Different Electrode Connection Modes. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 11, p. 1456-1471, 2016.

RINCÓN, G. J.; MOTTA, E. J. L. Simultaneous removal of oil and grease, and heavy metals from artificial bilge water using electro-coagulation/flotation. **Journal of Environmental Management**, v. 144, p. 42-50, 2014.

SAFARI, S.; AGHDAM, M. A.; KARIMINIA, H. R. Electrocoagulation for COD and diesel removal from oily wastewater. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, p. 231-242, 2016.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375