



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

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



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## REMOÇÃO DE TURBIDEZ PARA PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA POR ELETROCOAGULAÇÃO

**Andressa Gabriela Gluszczak**- [andressag.g@hotmail.com](mailto:andressag.g@hotmail.com)  
Universidade Federal de Santa Maria

**Cristiane Graepin**- [crisgraepin@hotmail.com](mailto:crisgraepin@hotmail.com)  
Universidade Federal de Santa Maria

**Gustavo Holz Bracher**- [gustavohbracher@gmail.com](mailto:gustavohbracher@gmail.com)  
Universidade Federal de Santa Maria

**Ezequiel Andrei Somavilla**- [ezequiel.somavilla@hotmail.com](mailto:ezequiel.somavilla@hotmail.com)  
Universidade Federal de Santa Maria

**Elvis Carissimi**- [ecarissimi@gmail.com](mailto:ecarissimi@gmail.com)  
Universidade Federal de Santa Maria

**Resumo:** A elevação da turbidez em mananciais para água de abastecimento humano acarreta em altos custos para ETAs, sendo assim o pré-tratamento é uma alternativa para sua remoção. Como alternativa, o objetivo deste trabalho é tratar a água com elevada turbidez pela técnica de eletrocoagulação, utilizando eletrodos de alumínio. Para os ensaios a corrente elétrica foi variada (0,54 A e 1,51 A) e tempo (13min 45seg e 31min e 45 seg). Além da determinação da turbidez os dados obtidos de cor aparente, pH final e consumo de energia também foram utilizados. Realizados os ensaios e obtidas as correlações lineares, foi possível identificar que a eletrocoagulação é uma boa alternativa na remoção de turbidez, pois as eficiências de remoção estiveram com valores acima de 90%, destacando que para a corrente elétrica mais alta os valores ultrapassaram os 99%, onde também obteve o r de correlação linear de 0,88, demonstrando forte correlação positiva, bem como para a cor aparente, que também apresentou valores de remoção acima de 90%. Quanto ao pH teve interação mais forte com o tempo mas também moderada com a corrente, e o consumo de energia que apresentou uma correlação forte positiva com a corrente elétrica que ficou evidenciado nos valores encontrados, de que quando a corrente aumenta o consumo também. Assim, pôde-se inferir que um pré-tratamento por eletrocoagulação é uma técnica promissora para o tratamento de água com turbidez elevada.

**Palavras-chave:** Eletrocoagulação, Turbidez, Eletrodos de alumínio.

Realização



Correalização



Informações:

[qualidadeambiental.org.br](http://qualidadeambiental.org.br)  
[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto: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

## TURBIDITY REMOVAL FOR PRE-TREATMENT OF WATER BY ELECTROCOAGULATION

**Abstract:** *The increase of turbidity in water for human supplies results in high costs for ETAs, so pre-treatment is an alternative for their removal. As an alternative, the objective of this work is to treat the water with high turbidity by the technique of electrocoagulation, using aluminum electrodes. For the tests the electric current was varied (0.54 A and 1.51 A) and time (13 min 45 sec and 31 min and 45 sec). In addition to the determination of the turbidity, the obtained data of apparent color, final pH and energy consumption were also used. After the tests the linear correlations were obtained, and it was possible to identify that electrocoagulation is a good alternative in the removal of turbidity, since the removal efficiencies were above 90%, noting that for the higher electric current the values exceeded 99 %, where it also obtained a linear correlation of 0.88, showing a strong positive correlation, as well as for apparent color, which also showed values of removal above 90%. As for the pH, it had a stronger interaction with time but also moderate with the current, and the energy consumption showed a strong positive correlation with the electric current that was evidenced in the values found, that when the current increases the consumption as well. Thus, it could be inferred that a pretreatment by electrocoagulation is a promising technique for the treatment of water with high turbidity.*

**Keywords:** *Electrocoagulation, Turbidity, Aluminum electrodes.*

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

A água destinada ao abastecimento domiciliar é usualmente captada em mananciais superficiais, ou poços de água subterrânea, porém para ser considerada potável passa por determinados tipos de tratamento até chegada ao consumidor final. Para que seja destinada ao consumo direto (beber e preparação de alimentos) deve atender a legislação pertinente, como a PRC nº 5 de 28 de setembro de 2017, anexo XX (BRASIL, 2017), que estabelece os valores máximos permitidos de parâmetros químicos, físicos, biológicos e radioativos, para ser considerada potável. Assim, o tratamento de água é indispensável. No Brasil, é ampla a adoção do tratamento convencional, e se baseia na clarificação utilizando-se de unidades de coagulação e floculação, decantação/flotação, filtração, seguido de desinfecção e correção do pH.

O processo de coagulação consiste em reações físicas e químicas, simultâneas, que desestabiliza partículas coloidais suspensas, devido a adição de sais metálicos, geralmente compostos de alumínio e ferro (ex: sulfato de alumínio, sulfato ferroso) que juntamente com uma mistura rápida do coagulante no meio aquoso resulta na formação de flocos por meio da agregação destas partículas desestabilizadas (HOLT, et al., 2002; LEAL & LIBÂNIO, 2002). Porém, as desvantagens desse processo estão relacionadas aos custos, manutenção e geração de lodo (HAN, SONG & KWON, 2002). No lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) usualmente estão presentes os resíduos dos produtos que foram utilizados durante o tratamento, sendo este um dos principais problemas associados à coagulação convencional, visto que para a disposição adequada, este lodo precisa ser tratado, para evitar a contaminação do ambiente (CORNWELL, 2010).

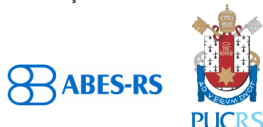
As partículas coloidais suspensas presentes na água, confere a ela um aspecto nebuloso e esteticamente indesejável, chamado de turbidez. Essas partículas variam em tamanho, sendo classificadas de grosseiras à colóides, e ocasionam a dispersão e absorção de um feixe de luz que incide na amostra, quando determinado o seu valor de turbidez. A turbidez decorre de materiais variados como argila e silte, micro-organismos, matéria orgânica, descarga de efluentes, entre outros. Devido às dimensões destes materiais podem ocorrer diferentes variações nas soluções como as dispersões coloidais ou suspensões no meio aquoso que se encontram (DI BERNANDO, 2004; RICHTER, 2009; RICHTER NETTO, 1991).

Os altos valores de turbidez das águas de mananciais superficiais que chegam na ETA podem ser incitada por grandes volumes de chuvas na bacia hidrográfica. O que de fato acarreta em elevados custos com a coagulação química, uma vez que será extrapolada a quantidade diária utilizada do coagulante, bem como a geração de lodo intensificada, necessitando de limpeza da unidade, e também a destinação final deste lodo. Para tal o pré-tratamento é uma alternativa primária à inviabilização de processos de ETAs convencionais, podendo ser utilizadas diferentes técnicas, como filtração com materiais de diferentes dimensões (areia, seixos rolados) e também por agentes químicos.

A necessidade de se trazer novas tecnologias ao tratamento convencional de água em situações emergenciais se faz presente, à medida que as técnicas disponíveis já não são mais suficientes. Neste sentido, a eletrocoagulação entra como um tratamento de água alternativo, não recente, mas com poucos estudos de aplicação no Brasil.

A eletrocoagulação consiste em um método baseado no processo eletroquímico de coagulação. O reator de eletrocoagulação, em sua forma mais simplificada, é composto por uma célula eletrolítica, que consiste em um ânodo e um cátodo (eletrodos), em que uma corrente elétrica é fornecida ocasionando as reações de oxidação e redução nos eletrodos. Como resultado das reações eletrolíticas, o coagulante é gerado *in situ* pela oxidação do metal do ânodo e então uma parcela do poluente coagulado pode flotar para a superfície pelos gases de hidrogênio e oxigênio formados e liberados no cátodo e no ânodo, respectivamente, na forma de bolhas de gás (MOLLAH, et al. 2001; EMAMJOMEH & SIVAKUMAR, 2009; ALAM & SHANG, 2016).

Realização



Correalização



Informações:

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

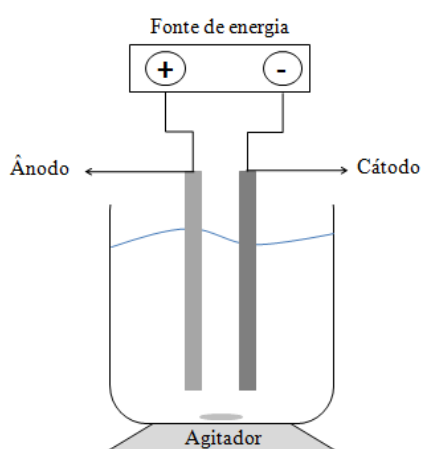


Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de altos valores de turbidez por meio do pré-tratamento de água por eletrocoagulação.

## 2. METODOLOGIA

O reator utilizado no estudo foi confeccionado em formato cilíndrico (Figura 1) com capacidade para 2L, utilizando eletrodos de alumínio (7 cm x 9,1cm), fixados a uma distância de 5 mm com conexão monopolar em paralelo. Os ensaios foram realizados em escala de bancada, por batelada de 1L, com agitação mantida em 260 rpm.

Figura 1–Representação do reator de eletrocoagulação com conexão monopolar em paralelo.



Fonte: Autor, 2018.

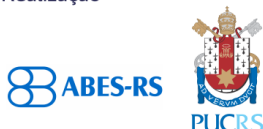
Para simular a turbidez na água bruta uma concentração conhecida de bentonita sódica foi adicionada à 1L de água destilada, assim, a turbidez trabalhada esteve na média de 518 uT ( $\pm 5,52$  uT). A água bruta preparada apresentou uma baixo valor de condutividade elétrica, sendo necessária a adição de uma concentração de 200mg/L de cloreto de sódio (NaCl) com a finalidade de elevar a condutividade elétrica da água, para que a corrente elétrica desejada fosse atingida. Segundo Liu, Zhao e Qu (2010) quando a condutividade elétrica da solução é baixa a corrente elétrica irá decair, fazendo com que não mantenha a corrente elétrica desejada.

Devido a ensaios realizados previamente para esta concentração de bentonita sódica foram selecionados os tempos de 13 minutos e 45 segundos e 31 minutos e 15 segundos, as correntes elétricas trabalhadas foram de 0,54A e 1,51A, como especificado na Tabela 1. O pH foi corrigido para 5,5 em todos os ensaios, com ácido clorídrico (HCl) 1,0 N.

Tabela 1– Especificações dos ensaios realizados.

Ensaio	Corrente aplicada	Tempo de eletrólise
1	0,54 A	13 min 45seg
2	0,54 A	31 min 15seg
3	1,51 A	13 min 45seg
4	1,51 A	31 min 15seg

Realização



Correalização



Informações:

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



Além da turbidez (uT), determinada pelo turbidímetro, foram determinados outros parâmetros, como cor aparente (uC), por meio de um colorímetro. O pH final também foi determinado, por meio de um pHmetro. Todas as determinações seguiram as metodologias especificadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Sendo que a eficiência de remoção de turbidez e cor aparente, dada em porcentagem (%), do tratamento foram obtidas através da equação 1. E a demonstração do gasto energético (Wh/m<sup>3</sup>) para discussão, foi determinada pela equação 2.

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

Sendo:

- C<sub>AB</sub>: concentração de turbidez (uT) / cor aparente (uC) da água bruta;
- C<sub>AT</sub>: concentração de turbidez (uT) / cor aparente (uC) da água tratada.

$$C_{\text{energia}} = \frac{U \cdot I \cdot t}{V} \quad (2)$$

Em que:

- C<sub>energia</sub>: consumo de energia Wh/m<sup>3</sup>;
- U: tensão elétrica aplicada no reator (V);
- I: corrente elétrica aplicada no reator (A);
- t: tempo de eletrólise (h);
- V: volume de água tratada (m<sup>3</sup>).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valor médio da turbidez foi de 518 uT (± 5,52 uT) e a cor aparente de 20.523,30 uC (± 429,44 uC). Assim, a tabela 2 demonstra os resultados obtidos com os ensaios realizados para essa água, onde é possível verificar a aplicabilidade do tratamento por eletrocoagulação para turbidez, pois a eficiência de remoção desta esteve acima dos 90% bem como da cor aparente. Assim, apenas observando a tabela, é possível notar que a remoção de turbidez e cor foram acima de 99% quando a corrente elétrica utilizada no tratamento foi a mais alta de 1,51 A, e também com tempo mais alto (31 min e 15 seg), porém com pouca variação do menor tempo.

Tabela 2 – Resultados obtidos após os ensaios realizados.

Ensaio	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		pH	Gasto energético (Wh/m <sup>3</sup> )
	Final	Remoção (%)	Final	Remoção (%)	Final	
1	13,7	97,35	74,67	98,39	7,1	841,50
2	25,4	95,11	157,23	97,03	8,24	2158,59
3	5,1	99,02	29,93	99,47	8,08	6344,10
4	3,8	99,25	23,43	99,53	8,86	10433,68

Em todos os ensaios realizados a tendência do pH foi elevar, visto que uma das particularidades da técnica de tratamento por eletrocoagulação é de neutralizar o pH. Liu, Zhao e Qu

Realização



Correalização



Informações:

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



(2010) explicitam que durante o processo eletroquímico de coagulação a produção de  $H_2$  no cátodo elevará a concentração de  $OH$ , assim o pH da solução aquosa aumentará quando o pH da água bruta estiver na faixa de 4 – 9, e quando o pH da água que se quer tratar é superior à 9, o pH da água tenderá a diminuir.

Na equação do consumo de energia pode ser vista a direta relação com o tempo de eletrólise aplicado e a corrente elétrica, sendo assim o consumo de energia também se deu maior na corrente elétrica de 1,51 A, e ainda mais alto o valor (10.433,68 Wh/m<sup>3</sup>) no tempo de 31min e 15 seg.

No programa Excel, utilizando a ferramenta *Solver*, foram gerados os valores de correlação linear ( $r$ ), entre as variáveis utilizadas e estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos coeficientes de correlação linear ( $r$ ) entre as variáveis.

Variável resposta	Variável independente	
	Corrente elétrica aplicada	Tempo
Remoção de turbidez	0,88	-0,30
Remoção de cor aparente	0,88	-0,32
pH	0,63	0,76
Consumo de energia	0,91	0,36

De acordo com os valores demonstrados na tabela 3 a correlação entre a variável independente de corrente elétrica aplicada se dá da mesma forma para remoção de turbidez e cor aparente, com  $r$  de 0,88 mostrando que a correlação entre eles é forte positiva, pois é mais próxima de 1. Assim, é possível dizer que na medida em que a corrente muda este valor também tende a mudar. Em comparação com o tempo a correlação é praticamente inexistente, pois é próxima de 0, demonstrando que este não interfere nos resultados obtidos.

O pH em contrapartida obteve uma correlação mais forte positiva com o tempo, de acordo com o apresentado na tabela 3, e foi a única variável que assim se apresentou, com valor de  $r$  de 0,76. Também obteve correlação moderada positiva com a corrente elétrica. O valor apresentado no ensaio 1 da tabela 2 para o pH final de 7,1 foi o menor, sendo possível demonstrar que o tempo mais baixo teve forte influência e a corrente elétrica também mais baixa o influenciou moderadamente. Como demonstrado nos testes que seguiram, os valores de pH ficaram em 8,08, 8,24 e 8,86 respectivamente evidenciando a correlação de corrente elétrica moderada e tempo forte, pois o ensaio 4 foi o de maior tempo (31min e 15seg) e maior corrente elétrica aplicada (1,51 A).

No estudo de Holt et al. (2002) foi identificado, através da construção de um gráfico relacionando tempo, pH e normalização da turbidez, três fases onde na fase inicial obteve pouca ou nenhuma alteração na turbidez, enquanto que na fase reativa, a maioria da turbidez é removida, aproximadamente 95%, que indica a agregação dos materiais. Com o passar do tempo a taxa de redução da turbidez diminui e eventualmente fica acima de zero. A fase de estabilização, a precipitação do hidróxido de alumínio continua e decresce a turbidez indicando a “varrição” do mecanismo de coagulação. E em relação a corrente aplicada, quando ela é mais elevada (2 A) a redução do poluente ocorre em um tempo menor (1% de turbidez residual depois de 30min). Através da comparação com o estudo de Holt et al. (2002) é possível inferir que neste trabalho isto também tenha acontecido, visto que quando o tempo foi menor, porém com corrente elétrica alta os resultados de remoção foram satisfatórios por serem acima dos 95%.

Observando a tabela 3, o consumo de energia obteve a correlação mais forte entre todos com a corrente elétrica aplicada, com  $r$  de 0,91, sendo esta diretamente proporcional ao seu aumento, que está visível na tabela 2 os valores aumentando gradativamente fazendo com que o tempo também não tenha sido um fator de relevância neste parâmetro, pois o valor do  $r$  de 0,36 é mais próximo de 0.





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

A partir dos resultados obtidos com os testes realizados pode-se afirmar que a técnica de eletrocoagulação tem boa aplicabilidade para a remoção de turbidez, bem como a remoção de cor. Para a faixa de turbidez estudada, foi possível verificar que o tempo não influenciou na remoção destes parâmetros e sim a corrente elétrica aplicada aos eletrodos, onde os resultados foram melhores em corrente mais alta (1,51 A) e a forte correlação linear ( $r = 0,88$ ) que ambos apresentaram corrobora com a afirmativa.

#### REFERÊNCIAS

ALAM, R., SHANG, J. Q. Electrochemical model of electro-flotation. **Journal Of Water Process Engineering**, v. 12, p.78-88, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.06.009>.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington: APHA – AWWA – WEF, 2012.

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.

CORNWELL, D. A. Water Treatment Plant – Residuals Management. In: LETTERMAN, R. D. (Ed.). **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**. American Water Works Association. 5. ed. s.l.: Mcgraw-Hill, Inc., 1999. Cap. 16. p. 913 - 963.

DI BERNARDO, A. S. **Desempenho de Sistemas de Dupla Filtração no Tratamento de Água com turbidez elevada**. 2004. 301p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

EMAMJOMEH, M.M., SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **Journal of Environmental Management** 90 (2009). p. 1663–1679.

HAN, M., SONG, J. KWON, A. Preliminary investigation of electrocoagulation as a substitute for chemical coagulation. **Water Science and Technology: Water Supply**. Vol. 2 No. 5–6. p. 73–76. IWA Publishing: 2002.

HOLT, P. K., et al. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects** V. 211 p. 233\_ 248. 2002

LEAL, F. C. T., LIBÂNIO, M. Estudo da remoção da cor por coagulação química no tratamento convencional de águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vol. 7. Nº 3 - jul/set 2002 e Nº 4 - out/dez 2002, p.117-128.

LIU, H.; ZHAO, X.; QU, J. Electrocoagulation in Water Treatment. In: COMNINELLIS, C.; CHEN, G. (Ed.). **Electrochemistry for the Environment**. New York,: Springer, 2010. Cap. 10. p. 245-262.

Realização



Correalização



Informações:

[qualidadeambiental.org.br](http://qualidadeambiental.org.br)  
[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto: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

MOLLAH, M. Y. et al. Electrocoagulation (EC)—science and applications. **Journal of Hazardous Materials** B84 (2001) p. 29–41.

RICHTER, C. A. **Água**: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, C. A., NETTO, J. M. de A. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher, 1991. Reimpressão: 2013.

Realização



Correalização



Informações:

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