



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

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



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DE ESGOTO DOMÉSTICO POR ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO

**André Azevedo Machado** – andremachado07@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Maria  
Rua Pinheiro Machado nº 2888, apartamento 401  
97050600 - Santa Maria - Rio Grande do Sul

**Gustavo Holz Bracher** - gustavohbracher@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

**Júlia Konrad** - juliabkonrad@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

**Juliana Hermes Feijó** - julianahfeijo@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

**Resumo:** Com o aumento populacional que vem ocorrendo nos últimos anos, aumenta também problemas decorrentes da desigualdade social, como a falta de saneamento básico. O tratamento do esgoto antes de ser despejado no ambiente, evitaria, entre outros problemas, o excesso de matéria orgânica nos corpos hídricos, que acarreta no consumo de oxigênio do meio através da sua decomposição, podendo levar a mortandade de espécies aquáticas. Dentro deste contexto, os processos eletroquímicos têm sido cada vez mais estudados como alternativa para o tratamento de esgoto. A eletrocoagulação-flotação é um processo eletroquímico que combina os mecanismos de oxidação, coagulação, floculação e flotação. Este processo ocorre a partir do emprego de eletrodos reativos como ânodos em células eletroquímicas. O objetivo do trabalho foi avaliar a remoção de matéria orgânica no tratamento do esgoto pelo processo de eletrocoagulação-flotação. Para este estudo, foram mantidas constantes a distância entre os eletrodos de alumínio e a agitação, e avaliados os parâmetros corrente elétrica e tempo de eletrólise através de um delineamento experimental composto central rotacional. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que o processo de eletrocoagulação-flotação apresentou bom desempenho para remoção de matéria orgânica de esgoto doméstico, sendo verificadas as maiores eficiências de remoção de demanda química de oxigênio (acima de 85%) em tempos de eletrólise maiores que 1,12 A e tempos de eletrólise maiores que 22 min.

**Palavras-chave:** Tratamento eletroquímico, Demanda química de oxigênio, Esgoto doméstico, Eletrodos de alumínio.

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

## ORGANIC MATTER REMOVAL FROM DOMESTIC WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION-FLOTATION

**Abstract:** *With the population increase that has been occurring in recent years, there are also problems arising from social inequality, such as the lack of basic sanitation. The treatment of the sewage before being dumped in the environment, would avoid, among other problems, the excess of organic matter in the water bodies, which entails the oxygen consumption of the medium through its decomposition, which can lead to the mortality of aquatic species. Within this context, the electrochemical processes have been increasingly studied as an alternative for the treatment of sewage. Electrocoagulation-flotation is an electrochemical process that combines the mechanisms of oxidation, coagulation, flocculation and flotation. This process occurs from the use of reactive electrodes as anodes in electrochemical cells. The objective of this work was to evaluate the removal of organic matter in sewage treatment by the electrocoagulation-flotation process. For this study, the distance between the aluminum electrodes and the agitation were kept constant, and the electrical current and electrolysis time parameters were evaluated through a rotational central composite experimental design. Based on the results obtained, it was possible to conclude that the electrocoagulation-flotation showed good performance for the removal of organic matter from domestic sewage, with the highest chemical removal efficiency of oxygen (above 85%) being verified in times of electrolysis greater than 1,12 A and electrolysis times greater than 22 min.*

**Keywords:** *Electrochemical treatment, Chemical oxygen demand, Domestic wastewater, Aluminium electrodes.*

### 1. INTRODUÇÃO

Estudos realizados recentemente mostram que o a população mundial vem alcançando grandes números, alavancando o processo de urbanização. A população brasileira cresceu 12,3% desde 2000, quando havia 169,8 milhões de habitantes no país (IBGE, 2012).

O rápido crescimento da população traz consigo muitos problemas, como a desigualdade social. Esta problemática que nosso país enfrenta reflete no saneamento básico. No Brasil, mais da metade da população não possui acesso a serviços de coleta de esgoto, os quais atendem somente 49,8% dos brasileiros (SNIS, 2016). A sociedade atual encontra-se em desarmonia com relação aos recursos naturais disponíveis, pois é evidente o uso incontrolável dos mesmos e a falta de consciência crítica sobre as problemáticas ambientais (MACHADO, 2018).

O esgoto, quando lançado in natura em corpos hídricos, pode trazer graves problemas de saúde pública aos seres humanos e também uma alta poluição ambiental, desequilibrando o ecossistema existente em torno da área afetada. Um outro problema que o lançamento do esgoto em corpos hídricos traz é o excesso de matéria orgânica, que acarreta no consumo de oxigênio do meio através da sua decomposição, podendo levar a mortandade de espécies aquáticas.

Neste contexto, o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento de esgoto podem trazer uma nova perspectiva em relação à preservação ambiental, reuso de esgoto e expansão dos serviços de coleta e tratamento de esgoto. Dentre estas técnicas, os processos eletroquímicos vêm despertando o interesse de pesquisadores como alternativa para o tratamento de esgoto, pelo fato de serem capazes de conferir boa qualidade a águas residuárias, além de poderem apresentar vantagens como fácil operação, pequeno espaço físico requerido, geração de hidrogênio e geração de baixas quantidades de lodo

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

(EMAMJOMEH et al., 2011; 15 FORMENTINI, 2012; COTILLAS et al., 2013; SYMONDS et al., 2015; ELAZZOUZI et al., 2017; CHO e HOFFMAN, 2017).

A eletrocoagulação-flotação é um processo eletroquímico baseado na produção de agentes coagulantes *in situ*, para captura de contaminantes e formação de agregados, e na geração de microbolhas de gases, para promoção da flutuação dos agregados formados (EMAMJOMEH et al., 2011). Estes agentes coagulantes são formados a partir dos eletrodos reativos que, quando submetidos a uma diferença de potencial, além de transferir elétrons da solução, também sofrem reações de oxidação e redução (GARCIA, 2002). Os eletrodos reativos são geralmente metálicos, sendo mais empregados eletrodos de ferro e de alumínio, devido sua disponibilidade, baixo custo e eficácia (AQUINO NETO et al., 2011).

Quando são utilizados eletrodos de alumínio, estes liberam íons de alumínio a partir da oxidação do ânodo. De forma simultânea, há a produção de hidróxidos a partir da hidrólise da água, no cátodo. Os íons de alumínio tendem a reagir com os hidróxidos, formando espécies monoméricas de hidróxido de alumínio, como o Hidróxido de Alumínio (III), como mostra a Equação (1) (JIMÉNEZ et al., 2012).



O Hidróxido de Alumínio age na adsorção de contaminantes, resultando na formação de complexos maiores que podem ser removidos mais facilmente do meio aquoso, neste caso, por flotação, uma vez que durante o processo também ocorre a formação de gás hidrogênio e gás oxigênio (CHEN, 2004).

O objetivo neste estudo foi avaliar a eficiência de um sistema de eletrocoagulação-flotação na remoção de matéria orgânica de esgoto doméstico, sob o emprego de diferentes correntes elétricas e tempos de eletrólise.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste item estão descritos os procedimentos adotados para a realização do estudo, sendo estes relacionados à obtenção das amostras de esgoto doméstico, ao funcionamento e operação do sistema experimental de eletrocoagulação-flotação e aos métodos analíticos adotados para seleção das melhores condições operacionais do sistema.

### 2.1. Obtenção da amostra

A amostra de esgoto doméstico utilizada neste estudo foi obtida em uma Estação de Tratamento de Efluentes Experimental (ETE), implantada no Campus Sede da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A ETE recebe parte do esgoto doméstico gerado no prédio 35 da Casa do Estudante Universitário II da UFSM, possuindo uma vazão de trabalho de 1.500 L·d<sup>-1</sup>. A amostra foi coletada na saída do tanque de equalização da ETE, em frascos de polietileno, e encaminhadas ao Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente da UFSM, onde foram realizadas as análises qualitativas e os experimentos. As características da amostra estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características da amostra de esgoto bruto utilizada no estudo.

Parâmetro	Valor
Condutividade (μS·cm <sup>-1</sup> )	903,0
Cor aparente (uC)	3.381,9
DQO (mg·L <sup>-1</sup> )	1.013,5

Realização



Correalização



Informações:

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



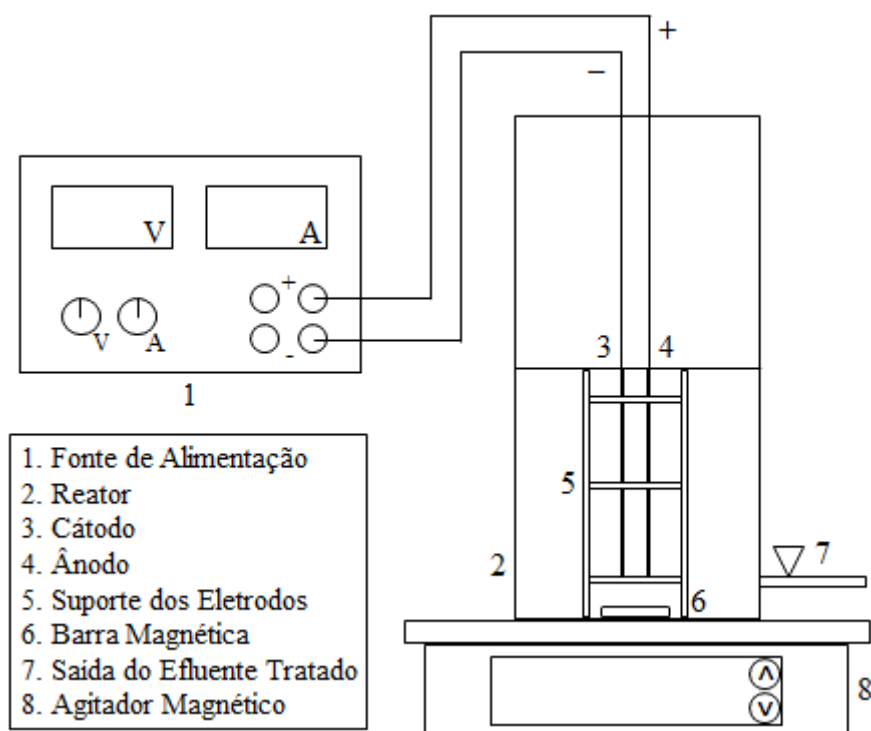
DQO <sub>solúvel</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	343,6
pH	7,7
Temperatura (°C)	21
Turbidez (NTU)	163,0

Fonte: Autores.

## 2.2. Sistema de eletrocoagulação-flotação

O sistema de eletrocoagulação-flotação utilizado no estudo foi constituído de um reator confeccionado em acrílico, com um volume de trabalho de 1 L e um formato cilíndrico (22,2 cm de altura e 10,8 cm de diâmetro), para evitar a adesão de resíduos no reator (MAIA, 2014). O reator foi equipado com dois eletrodos de alumínio (9,10 cm de altura, 7,50 cm de largura e 0,05 cm de espessura), os quais eram fixados em um suporte de PVC, alocado no centro do reator, que permitia fixar os eletrodos em diferentes distâncias entre eles. Os eletrodos eram ligados à uma fonte de alimentação de corrente contínua (0 - 30 V, 0 - 2,5 A), em conexão monopolar, e permaneciam completamente submersos, possuindo área superficial ativa de 67,5 cm<sup>2</sup>. A agitação no reator era mantida através de uma barra e agitador magnéticos. A Figura 1 ilustra o sistema de eletrocoagulação-flotação utilizado no estudo.

Figura 1 - Representação do sistema de eletrocoagulação-flotação utilizado no estudo.

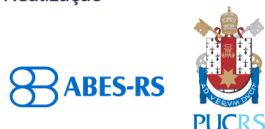


Fonte: Autores.

## 2.3. Procedimentos experimentais

Para este estudo, foram mantidas uma distância entre os eletrodos de 1 cm e agitação de 262,5 rpm, com base em ensaios preliminares. Para análise da aplicação de diferentes correntes elétricas e tempos de eletrólise foi realizado um delineamento experimental composto central rotacional (DCCR).

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

Sendo assim, o DCCR contemplou dois fatores (corrente elétrica e tempo de eletrólise), em cinco níveis de aplicação diferentes (-1,41, -1,00, 0,00, 1,00, 1,41), com quatro repetições do ponto central do plano, resultando em um total de 12 ensaios. A Tabela 2 demonstra os ensaios realizados.

Tabela 2 - Ensaios realizados conforme o DCCR.

Ensaio	Corrente elétrica	Corrente elétrica (A)	Tempo de eletrólise	Tempo de eletrólise (min)
1	-1,00	0,65	-1,00	12,93
2	-1,00	0,65	1,00	27,07
3	1,00	1,35	-1,00	12,93
4	1,00	1,35	1,00	27,07
5	-1,41	0,50	0,00	20,00
6	1,41	1,50	0,00	20,00
7	0,00	1,00	-1,41	10,00
8	0,00	1,00	1,41	30,00
9	0,00	1,00	0,00	20,00
10	0,00	1,00	0,00	20,00
11	0,00	1,00	0,00	20,00
12	0,00	1,00	0,00	20,00

Fonte: Autores.

Como variável de resposta foi utilizada a eficiência de remoção de demanda química de oxigênio, como indicativo da remoção de matéria orgânica durante o tratamento. Em cada ensaio, após o tempo de eletrólise, o fornecimento de energia ao sistema foi cessado ao fim do tempo de eletrólise e a amostra deixada em completo repouso durante 5 min, para flotação de precipitados remanescentes. Após os 5 min em repouso, as amostras de esgoto tratado foram coletadas, na saída de efluente tratado, e submetidas as análises qualitativas. A análise da eficiência de remoção de DQO, sob os diferentes correntes elétricas e tempos de eletrólise, foi realizada através das superfícies de resposta geradas a partir do DCCR no *software* Statistica 7.

## 2.4. Métodos analíticos

A análise da DQO das amostras de esgoto bruto e tratado foi realizada por método colorimétrico, através de digestão em refluxo fechado, conforme indicado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A eficiência de remoção foi determinada conforme a Equação (2), onde “E” é a eficiência de remoção (%), “DQO<sub>i</sub>” é a DQO do esgoto bruto e “DQO<sub>f</sub>” é a DQO do esgoto tratado.

$$E = \left(1 - \frac{DQO_f}{DQO_i}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados em termos de DQO final e eficiência de remoção de DQO obtidos em cada um dos 12 ensaios realizados, sendo empregados em cada ensaio uma determinada corrente elétrica e um determinado tempo de eletrólise, conforme o DCCR.

Tabela 3 - Resultados obtidos para os ensaios realizados conforme o DCCR.

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

Ensaio	DQO (mg·L <sup>-1</sup> )	Eficiência de Remoção de DQO (%)
1	301,3	70,3
2	192,4	81,0
3	185,8	81,7
4	139,1	86,3
5	303,6	70,0
6	143,6	85,8
7	293,6	71,0
8	130,8	87,1
9	164,7	83,7
10	170,2	83,2
11	166,9	83,5
12	164,1	83,8

Fonte: Autores.

O sistema de eletrocoagulação-flotação apresentou bons resultados quanto a depuração do esgoto. A eficiência de remoção de DQO mínima obtida foi de 70%, no ensaio 5, o qual teve a menor corrente elétrica (0,5 A) e tempo de eletrólise intermediário (20 min), chegando a uma eficiência máxima de remoção de DQO de 87,1%, no ensaio 8, no qual foi empregada uma corrente elétrica intermediária (1 A) e o maior tempo de eletrólise (30 min).

A partir dos resultados obtidos no DCCR foi gerado um modelo de regressão para a variável eficiência de remoção de DQO, em função dos fatores corrente elétrica e tempo de eletrólise, conforme mostra a Equação (3). O modelo apresentou um valor de  $F$  calculado (36,15) maior que o valor de  $F$  tabelado (4,39), indicando que o modelo apresentou significância estatística, e um coeficiente de determinação igual a 0,9679 ( $R^2 = 0,9679$ ), o que indica que o modelo apresentou um bom ajuste aos resultados obtidos.

$$E = 83,575358639243 + 4,8734177363594 \cdot i - 2,4906393677688 \cdot i^2 + 4,757630954502 \cdot t - 1,9287547769234 \cdot t^2 - 1,5347819223458 \cdot i \cdot t \quad (3)$$

A superfície de resposta obtida a partir do modelo de regressão gerado está apresentada na Figura 2. A partir dessa superfície de resposta é possível avaliar qual o tempo de eletrólise e a corrente elétrica aplicada que, em conjunto, geram uma melhor eficiência de remoção de DQO.

Figura 2 – Superfície de resposta gerada para a variável de resposta eficiência de remoção de DQO, em função da corrente elétrica e tempo de eletrólise.

Realização



Correalização



Informações:

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

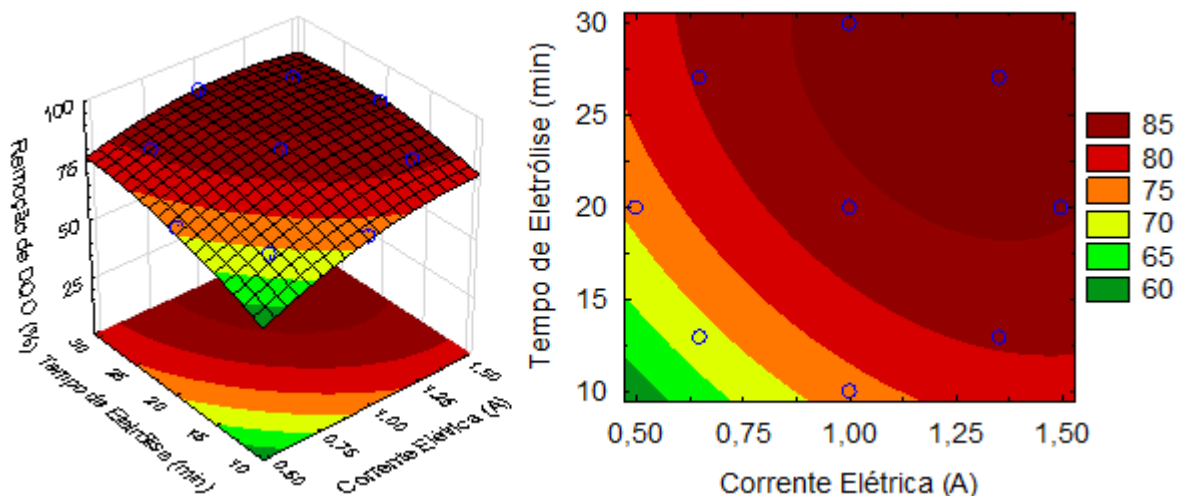


11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

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



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia



Fonte: Autores.

Com base na superfície de resposta obtida observa-se que ocorre um aumento da eficiência de remoção de DQO a medida que aumenta-se também a corrente elétrica aplicada e o tempo de eletrólise. As melhores remoções foram encontradas em correntes elétricas acima de 1,12 A e tempos de eletrólise acima de 22 min.

Isso se deve ao fato de que quanto maior a corrente elétrica empregada, maior será a geração de agentes coagulantes, oxidantes e microbolhas, promovendo uma maior remoção de poluentes (ELAZZOUZI et al., 2017). Da mesma forma, o emprego de maiores tempos de eletrólise pode favorecer a remoção de contaminantes em virtude da maior produção de agentes coagulantes no sistema de eletrocoagulação-flotação (KHANDEGAR e SAROHA, 2013).

Entretanto, de acordo com Hakizina et al. (2017), correntes e tempos de eletrólise demasiadamente elevados podem afetar negativamente a eficiência do sistema, pois podem resultar na ocorrência de reações secundárias e geração excessiva de agentes coagulantes, causando a inversão das cargas de contaminantes e sua dispersão, além de diminuir a vida útil dos eletrodos e aumentar o consumo energético no tratamento, tornando-o inviável para maiores demandas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos neste estudo, foi possível verificar as melhores condições de remoção de matéria orgânica em um sistema de eletrocoagulação-flotação. As maiores remoções de DQO, considerando as superfícies de resposta gerada, seriam encontradas com o emprego de correntes elétricas maiores que 1,12 A e tempos de eletrólise maiores que 22 min. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que o sistema de eletrocoagulação-flotação estudado apresentou um bom desempenho para a remoção de matéria orgânica de esgoto doméstico, se demonstrando uma importante alternativa para o tratamento de esgotos domésticos.

#### REFERÊNCIAS

APHA (American Public Health Association). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, 2005.

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**

AQUINO NETO, S. et al. Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química. **Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1468-1471, 2011.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and purification Technology**, v. 38, n. 1, p. 11-41, 2004.

CHO, K.; HOFFMANN, M. R. Molecular hydrogen production from wastewater electrolysis cell with multi-junction BiO x/TiO 2 anode and stainless steel cathode: Current and energy efficiency. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 202, p. 671-682, 2017.

COTILLAS, S. et al. Optimization of an integrated electrodisinfection/electrocoagulation process with Al bipolar electrodes for urban wastewater reclamation. **Water research**, v. 47, n. 5, p. 1741-1750, 2013.

ELAZZOUI, M. et al. Electrocoagulation flocculation as a low-cost process for pollutants removal from urban wastewater. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 117, p. 614-626, 2017.

EMAMJOMEH, M. M. et al. Analysis and the understanding of fluoride removal mechanisms by an electrocoagulation/flotation (ECF) process. **Desalination**, v. 275, n. 1-3, p. 102-106, 2011.

FORMENTINI, D. **Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários**. 2012. 125p. Dissertação (mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

GARCIA, T. V. **Remoção de algas através da eletrofloculação: tratamento eletrolítico seguido de filtração direta no tratamento de água de abastecimento**. 2002. 97p. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

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

JIMÉNEZ, C. et al. Electrochemical dosing of iron and aluminum in continuous processes: a key step to explain electro-coagulation processes. **Separation and purification technology**, v. 98, p. 102-108, 2012.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – a review. **Journal of environmental management**, v. 128, p. 949-963, 2013.

MAIA, L. G. C. **Estudo do processo de eletrocoagulação/floculação aplicado ao polimento de efluente doméstico**. 2014. 95 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016.

SYMONDS, E. M. et al. Reduction of nutrients, microbes, and personal care products in domestic wastewater by a benchtop electrocoagulation unit. **Scientific reports**, v. 5, p. 9380, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

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





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



< <https://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 04 maio. 2018.

BRUSA. A. B. S. D; Machado. A. A; PICCOLI. A.L; ANDRES. C.M. Educação ambiental em uma escola municipal: importância da interação da pesquisa e da extensão. 6º CONGRESSO DE TECNOLOGIA PARA O MEIO AMBIENTE, 10/04/2018, BENTO GONÇALVES.

APHA (American Public Health Association). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, 2012.

Realização



Correalização



Informações:

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