



Aplicação de diferentes materiais como eletrodos no tratamento de esgoto doméstico por electrocoagulação

Letícia Flores Portela¹, Janaina Goerck², Felipe Berriel Arruda³, Delmira Beatriz Wolff⁴, Elvis Carissimi⁵

¹ Universidade Federal de Santa Maria (leticiafloresportela@gmail.com)

² Universidade Federal de Santa (janainagoerck@gmail.com)

³ Universidade Federal de Santa Maria (felipeberrielarruda@gmail.com)

⁴ Universidade Federal de Santa Maria (delmirawolff@hotmail.com)

⁵ Universidade Federal de Santa Maria (ecarissimi@gmail.com)

Resumo

No Brasil, o tratamento de esgotos é o serviço de saneamento que possui o maior déficit de atendimento à população. Nesse sentido, as estações de tratamento de esgoto descentralizadas são uma alternativa viável para a atual situação do país uma vez que são empregadas em locais desprovidos do sistema de coleta e tratamento de esgoto apresentando baixo custo e boa eficiência de remoção. A electrocoagulação (EC) apresenta-se como alternativa no tratamento descentralizado, pois é processo simples, de fácil operação e com boas eficiências de remoção promovendo o polimento dos efluentes. Neste estudo, avaliou-se a utilização de eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável no tratamento de efluente doméstico proveniente de tanque séptico (TS) por meio dos parâmetros: pH, condutividade, cor, turbidez e matéria orgânica carbonácea (DQO). Os testes de EC foram conduzidos com densidade de corrente $18,52 \text{ mA.cm}^{-2}$ e tempos de tratamento de 5, 10, 15, 20, 30 e 40min. Os eletrodos que apresentaram os melhores resultados foram os de alumínio, sendo o tempo de tratamento de 15 min o que obteve, de modo geral, as melhores eficiências de remoção para os parâmetros cor, turbidez e DQO sendo: 96%, 98% e 86%, respectivamente.

Palavras-chave: Esgoto doméstico. Electrocoagulação. Eletrodos de alumínio. Eletrodos de aço inoxidável. Eletrodos de ferro.

Área Temática: Águas residuárias.

Application of different materials such as electrodes without domestic sewage treatment by electrocoagulation

Abstract

In Brazil, sewage treatment and sanitation service have the largest deficit of service to the population. In this sense, decentralized wastewater treatment plants are a viable alternative to the current situation in the country, since they are used in places where there is lack of sewage collection and treatment system, present low cost, and good removal efficiency. Electrocoagulation (EC) presents itself as an alternative to the decentralized treatment because it is a simple process, with easy operation and good removal efficiencies, promoting the effluent polishing. In this study, it was analyzed the use of aluminum, iron, and stainless steel scrap in the wastewater treatment from a septic tank (ST) through the following parameters: pH, conductivity, color, turbidity, and COD. EC tests were conducted with a current density of 18.52 mA.cm^{-2} and treatment times of 5, 10, 15, 20, 30 and 40min. The electrodes that presented the best results were aluminum, being the treatment time of 15 min



the one with best removal efficiencies for the parameters, turbidity, and COD which were 96%, 98%, and 86%, respectively.

Key words: Domestic sewage. Electrocoagulation. Stainless steel electrodes. Stainless steel electrodes. Iron electrodes.

Theme Area: Wastewater.

1 Introdução

Durante as últimas duas décadas, e principalmente nos últimos anos, o setor ambiental mostrou interesse no uso da eletrocoagulação no tratamento de efluentes industriais e domésticos (KUOKKANEN et al., 2013). Seu uso dá-se principalmente por alcançar boas eficiências de remoção promovendo o polimento das águas residuárias (EMAMJOMEH e SIVAKUMAR, 2009). Em relação aos estudos envolvendo a aplicação de eletrocoagulação, ainda são poucos os que avaliam a utilização desse processo no tratamento de esgotos domésticos em comparação aos efluentes de origem industrial (EMAMJOMEH e SIVAKUMAR, 2009; KUOKKANEN et al., 2013; LEE e GAGNON, 2015), evidenciando a demanda de estudos nessa área. O tratamento por eletrocoagulação (EC) caracteriza-se por possuir boa eficiência de remoção em menor tempo de retenção e baixa produção de lodo em relação ao processo de coagulação convencional. Pode ser empregada no tratamento descentralizado, pois se configura em um processo simples, de fácil operação, e não necessita adição de produtos químicos (MOLLAH et al., 2001).

Um reator de eletrocoagulação simplificado pode ser constituído por um eletrólito e dois eletrodos (um ânodo e um cátodo). Nesses eletrodos ocorrem as reações de oxirredução por meio da aplicação de uma corrente contínua externa (MOLLAH et al., 2001). No tratamento por eletrocoagulação o agente coagulante é liberado no efluente pelo ânodo através da oxidação do material. O coagulante formado provoca a desestabilização das partículas coloidais, diminuindo as barreiras eletrostáticas entre essas partículas e a quebra de emulsões. Ocorre então, a formação de flocos a partir da agregação das partículas desestabilizadas. No cátodo, ocorre o processo de redução do eletrodo que libera no meio íons de hidroxila. Além disso, paralelamente a etapa anterior, ocorre à eletrólise da água que produz oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo. Esses gases formam microbolhas e fazem com que ocorra a flotação das partículas flokuladas (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

O reator de eletrocoagulação pode ser composto de um ânodo e um cátodo dos mesmos ou de diferentes materiais, além de poder ser rearranjado em diferentes conexões (MOLLAH, 2004). Os materiais mais utilizados para o tratamento por EC são alumínio e ferro, provavelmente porque existe um campo bem estabelecido de pesquisas sobre esses materiais devido ao uso destes metais como coagulantes (LEE e GAGNON, 2015). Além disso, são materiais mais baratos, eficazes e prontamente disponíveis (CRESPILHO e REZENDE, 2004). Segundo Lee e Gagnon (2015), muitos metais podem ser utilizados como eletrodos. Deve-se observar se a composição desses materiais não causa nenhum efeito adverso à saúde humana e ao meio ambiente. Contudo, materiais como zinco, aço inoxidável, aço galvanizado, aço, grafite, platina e diamante foram utilizados como eletrodos em diferentes trabalhos de acordo com as revisões bibliográficas realizadas por LEE e GAGNON (2015) e EMAMJOMEH e SIVAKUMAR (2009). Em alguns trabalhos, os resultados experimentais mostraram que os eletrodos de alumínio são mais eficientes do que os eletrodos de ferro (EMAMJOMEH e SIVAKUMAR, 2009). Por outro lado, Lee e Gagnon (2015) comentam que essa eficiência depende das propriedades específicas do efluente a ser tratado,



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

sendo que tanto eletrodos de alumínio quanto de ferro podem apresentar boa capacidade de remoção.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi estudar a viabilidade técnica da utilização do processo de eletrocoagulação através da avaliação, em bancada, de eletrodos de alumínio, ferro e aço inoxidável no tratamento do efluente do tanque séptico por meio dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, cor, turbidez e matéria orgânica carbonácea (DQO).

2 Metodologia

O efluente utilizado foi coletado do tanque séptico da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) experimental, localizada na Casa do Estudante Universitário II (CEU II) da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria – RS.

O reator de EC utilizado no estudo foi constituído:

- Béquer de vidro com capacidade de 500 ml;
- Fonte de alimentação de corrente contínua (EMG 18131);
- Dois eletrodos do mesmo material (ânodo e cátodo);
- Agitador magnético.

Os materiais utilizados como eletrodos foram alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável. Na montagem do reator, os eletrodos foram colocados em paralelo, com espaçamento de 1 cm, dentro do béquer com 500 ml de efluente. Através de fios conectores, cada eletrodo foi ligado a um dos polos da fonte de alimentação, sendo um positivo (ânodo) e outro negativo (cátodo). A densidade de corrente aplicada no tratamento foi de 18,52 mA.cm⁻², definida a partir de testes preliminares considerando-se condutividade, pH e turbidez. Os tempos de tratamentos foram de 5, 10, 15, 20, 30, e 40 minutos. Após o tempo de tratamento, a fonte e o agitador foram desligados. O efluente foi retirado do recipiente após 5 minutos do término do tratamento e, em seguida, os parâmetros foram analisados. Os parâmetros pH, condutividade, cor, turbidez e DQO foram analisados conforme as metodologias de APHA (2012).

3 Resultados

Previa-se a aplicação do tratamento com eletrocoagulação para os eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável em tempos de detenção de 5, 10, 15, 20, 30 e 40 min. Porém, a aplicação de tempo de detenção de 40 min apenas foi possível para os eletrodos de alumínio, uma vez que, para os outros materiais houve a saturação do processo devido à falta de condutividade no efluente.

A caracterização do efluente do TS utilizado na etapa de análise de diferentes materiais como eletrodos pode ser observada na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do efluente do tanque séptico.

	Condutividade	pH	Temperatura (C°)	Turbidez (UNT)	Cor	DQO (mg/L)	Material
Média	1.095,83	6,97	22,50	241,25	1.377,83	338,21	
Desvio padrão	22,39	0,11	0,71	0,35	87,45	0,00	Alumínio
Coeficiente de variação	0,02	0,02	0,03	0,00	0,06	0,00	Ferro
Média	1.085,00	7,11	22,00	328,00	1.316,00	409,32	Aço inoxidável

Fonte: autoras.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

A tabela 2 apresenta a variação dos resultados de pH após o tratamento por eletrocoagulação com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável.

Tabela 2 – Resultados de pH após eletrocoagulação, dados de entrada e saída.

Tempo de tratamento (min)	Ferro		Alumínio		Aço inoxidável	
	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final
5	6,98	7,66	6,98	7,74	7,11	8
10	6,98	9,09	6,98	8,24	7,11	8,43
20	7,04	9,69	7,04	8,93	7,11	9,2
30	7,04	10,21	7,04	9,14	7,11	10,01
40	-	-	6,98	9,36	7,11	-

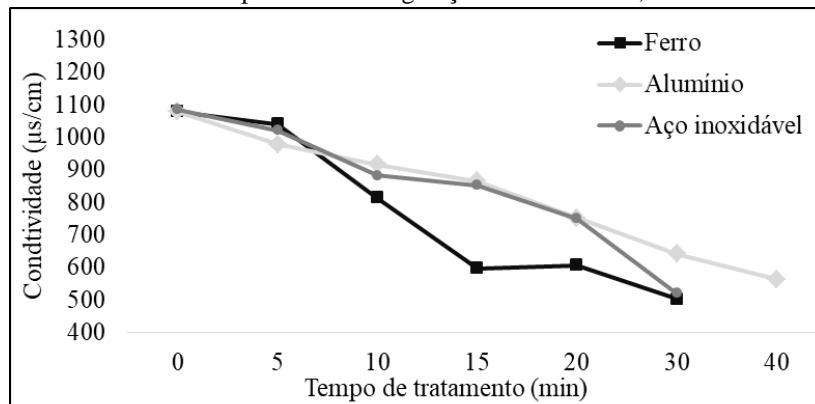
Padrão de lançamento Entre 5,00 e 9,00 - CONAMA 430 (2011)
Entre 6,00 e 9,00 - CONSEMA 355 (2017)

Fonte: autoras.

Para os eletrodos de ferro, apenas o tratamento com tempo de detenção de 5 min resultou em pH na faixa estabelecida pelas resoluções de nº 430 do CONAMA (2011) e 355 do CONSEMA (2017). Por outro lado, tanto os eletrodos de alumínio quanto aos eletrodos de sucata de aço inoxidável apresentaram valores maiores que o da faixa estabelecida nas resoluções apenas nos dois últimos tempos de tratamentos aplicados. No geral, para todos os eletrodos aplicados, o valor de pH aumentou ao longo do tempo de tratamento devido a liberação de íons de hidroxila no meio resultante da redução do cátodo.

A variação dos valores de condutividade após o tratamento por eletrocoagulação com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável são apresentados na figura 1.

Figura 1 – Valores de condutividade após a eletrocoagulação com alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável.



Fonte: autoras.

Percebe-se que, para todos os eletrodos testados, os valores médios de condutividade do efluente diminuem ao decorrer do tempo de tratamento, assim como encontrado no trabalho de Rodrigues et al. (2005). Contudo, os valores de condutividade referentes ao tratamento utilizando eletrodos de ferro apresentaram um decréscimo maior do que os demais eletrodos. Rodrigues et al. (2005) ao comparar eletrodos de alumínio e ferro, também obteve esses resultados e mencionou em seu trabalho que tal fenômeno ocorre, provavelmente, devido a facilidade de íons de ferro formarem compostos estáveis.

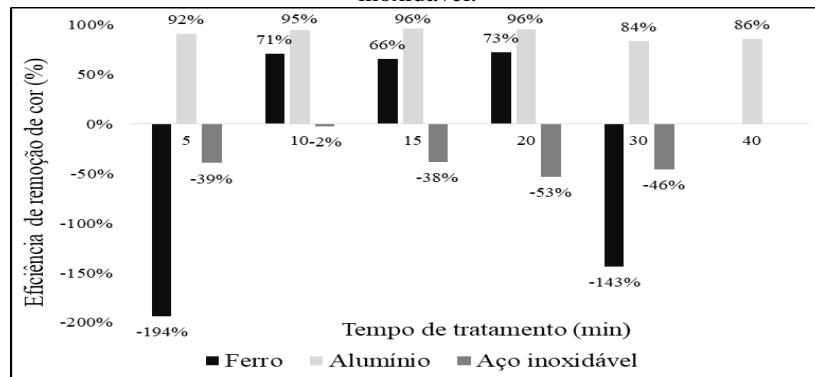
A figura 2 apresenta a eficiência de remoção de cor com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável após o tratamento por eletrocoagulação.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

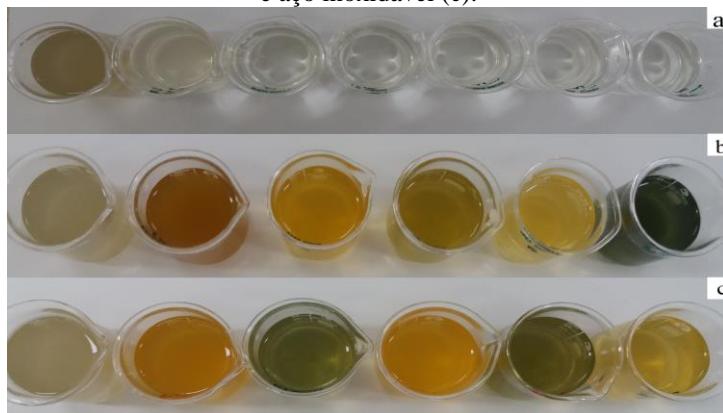
Figura 2— Eficiência de remoção de cor por eletrocoagulação com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável.



Fonte: autoras.

Em relação à remoção de cor, apenas tratamentos com eletrodos de alumínio apresentaram boa eficiência de remoção em todos os tempos de tratamento (figura 3a), e os tempos de 10, 15 e 20 min apresentaram as melhores eficiências de remoção, com valores de saída de 67,8; 53,4 e 55 mg Pt/L, respectivamente. Embora a eficiência de remoção de cor por eletrodos de ferro tenha sido positiva para os tratamentos de 10, 15 e 20 min, o uso de eletrodos de ferro e sucata de aço inoxidável não foi satisfatório para a remoção de cor, uma vez que, os valores de eficiência de remoção apresentaram-se negativos. Ao utilizar ferro como eletrodo verificou-se que, para todos os tratamentos realizados, o efluente apresentou aspecto esverdeado após a EC, ficando amarelado com o tempo (figura 3b). O mesmo resultado foi mencionado nos estudos realizados por Formentini (2012). De acordo com Ni'am et al. (2009) e Nasrullah et al. (2012) a cor verde/amarela após o tratamento com EC utilizando eletrodos de ferro é resultante da presença de íons de ferro: Fe^{2+} (ferroso) e Fe^{3+} (férrico). Sendo o Fe^{2+} um íon gerado *in situ* da eletrólise do eletrodo de ferro, que em solubilidade relativamente alta e em condições ácidas ou em neutras podem ser facilmente oxidadas em Fe^{3+} através do oxigênio dissolvido presente no efluente. No tratamento por EC utilizando aço inoxidável como eletrodos, pode-se perceber que o efluente de saída apresentava aspecto azulado/esverdeado e após, amarelado (figura 3c). Bukhari (2008) e Nasrullah et al. (2012) também aplicaram em seus trabalhos eletrocoagulação utilizando eletrodos de aço inoxidável no tratamento de esgoto, entretanto, o parâmetro cor não foi analisado. Todavia, no estudo realizado por Nasrullah et al. (2012) os autores citam que houve uma mudança de cor no efluente tratado com eletrodos de ferro, mas não comentam a respeito desse fenômeno após o tratamento utilizando eletrodos de aço inoxidável.

Figura 3 – Aspecto do efluente após os tratamentos por eletrocoagulação com eletrodos de alumínio (a), ferro (b) e aço inoxidável (c).



Fonte: autoras.

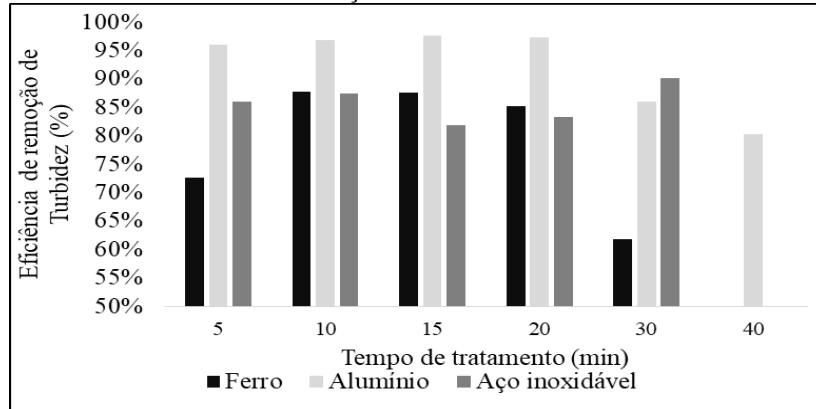


6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

A figura 4 apresenta a eficiência de remoção de turbidez com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável após o tratamento por eletrocoagulação.

Figura 4– Eficiência de remoção de turbidez por eletrocoagulação com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável.

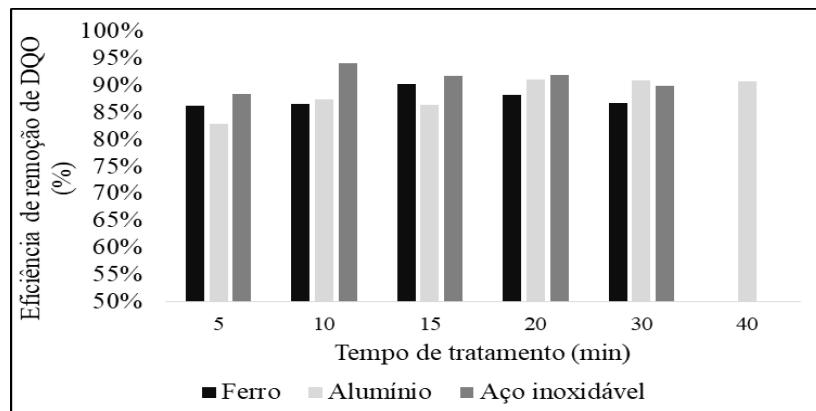


Fonte: autoras.

A remoção da turbidez foi efetiva em todos os tempos de tratamento apresentando eficiência de remoção de turbidez numa faixa de 62 a 88% para eletrodos de ferro, 80% a 96% para eletrodos de alumínio e 82 a 90% para eletrodos de aço inoxidável. O eletrodo que apresentou melhor eficiência de remoção com relação ao parâmetro turbidez foi o alumínio. Uma vez que, a densidade de corrente aplicada nos tratamentos com diferentes materiais havia sido determinada tomando-se como base os testes preliminares realizados com esse material, há a possibilidade de que os eletrodos de ferro e aço inoxidável apresentem resultados melhores uma vez que hajam estudos preliminares para o dimensionamento de um reator próprio para cada material, aplicando-se diferentes densidades de corrente e diferentes tempos de tratamento. Como encontrado em Bukhari (2008), por exemplo, que o autor conseguiu obter 93% eficiência de remoção de turbidez com eletrodos de aço inoxidável, aplicando 0,8 A de corrente elétrica em 5 min de tratamento.

A figura 5 apresenta a eficiência de remoção de DQO com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável após o tratamento por eletrocoagulação.

Figura 5 – Eficiência de remoção de DQO por eletrocoagulação com eletrodos de alumínio, ferro e sucata de aço inoxidável.



Fonte: autoras.

A eficiência de remoção de DQO em todos os tempos de tratamento para os eletrodos estudados foi satisfatória, apresentando eficiência de remoção na faixa de 86 a 90% para



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

eletrodos de ferro, 83% a 91% para eletrodos de alumínio e 82 a 94% para eletrodos de aço inoxidável. As concentrações de DQO após o tratamento por eletrocoagulação foram satisfatórias, uma vez que todos os valores de saída ficaram abaixo do limite estabelecido pela resolução de nº 355 do CONSEMA (2017), que determina 330 mg/L de DQO como concentração limite para a faixa de vazão menor que 200m³/dia.

4 Conclusão

Os três materiais testados como eletrodos apresentaram comportamentos específicos.

Os tratamentos utilizando eletrodos de alumínio foram os mais efetivos apresentando boas eficiências de remoções na maioria dos parâmetros analisados, exceto nos tempos de tratamento de 30 e 40 min, os quais apresentaram pH maior do que o estabelecido nos padrões de lançamento. De modo geral, em relação à remoção de DQO, cor e turbidez o tratamento de 15 min apresentou os melhores resultados.

Os eletrodos de ferro apresentaram boas eficiências de remoção de turbidez e DQO nos tempos de tratamento de 10, 15 e 20 min, porém os efluentes do processo apresentaram cor. Além disso, os valores de pH de saída ficaram acima do estabelecido nas Resoluções CONAMA 430 (2011) e 355 CONSEMA (2017), sendo apenas o tratamento de 5 min dentro do padrão estabelecido.

Os eletrodos de aço inoxidável apresentaram eficiência de remoção de DQO maior do que os demais materiais em quase todos os tempos de tratamento, entretanto a aplicação desse material como eletrodo gerou cor ao efluente.

A densidade de corrente utilizada neste estudo foi baseada em estudos realizados com eletrodos de alumínio, por isto, não é descartado a possibilidade do uso de eletrodos de ferro e aço inoxidável para o tratamento de esgotos sanitário. Porém, devem ser realizados testes preliminares, nos quais aplicam-se diferentes densidades de corrente a fim de conhecer as condições operacionais ideais para cada material de eletrodo aplicado.

5 Recomendações

- Realizar análise de cromo quando empregado o uso de eletrodos de aço inoxidável.
- Realizar análise do residual de íons metálicos (ferro e alumínio).

Referências

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, Washington, 2012.

BRASIL. CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio 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. Brasília, 2011.

BUKHARI, A.A. **Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater**. Bioresource Technology. v. 99. 2008. p. 914–921.

CONSEMA. **Conselho estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 355, de 13 de julho de 2017**. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017.

CRESPILO, F.N.; REZENDE, M.O.O. *Eletroflotação: princípios e aplicações*. São Carlos, 2004. 96 p.

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

FORMENTINI, D. F. **Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários**. Dissertação de mestrado. Cascavel, PR: UNIOSTE Fevereiro, 2012. 139p.

ILHAN, F.; KURT, U.; APAYDIN, O.; & GONULLU, M. T. **Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes**. Journal of hazardous materials, v. 154, n. 1, p. 381-389, 2008.

KUOKKANEN, V.; KUOKKANEN, T.; RÄMÖ, J.; LASSI, U. **Recent applications of electrocoagulation in treatment of water and wastewater—a review**. Green and Sustainable Chemistry, v. 3, n. 02, p. 89, 2013.

LEE, S. Y.; GAGNON, G. A. **Review of the factors relevant to the design and operation of an electrocoagulation system for wastewater treatment**. Environmental Reviews, v. 22, n. 4, p. 421-429, 2014.

MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J. A.G.; KESMEZ , M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials. 2004. 12p.

MOLLAH, M. Y. A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L. **Electrocoagulation (EC) - science and applications**. Journal of Hazardous Materials. 2001. 13p.

NASRULLAH, M.; SINGH, L.; WAHIDA, Z. **A Treatment of sewage by electrocoagulation and the effect of high current density**. Energy Environ Eng J, v. 1, n. 1, 2012.

NI'AM, M. F.; OTHMAN, F.; SOHAILI, J.; FAUZIA, Z. **Removal of Cod and Turbidity to Improve Wastewater Quality using Electrocoagulation Technique**. The Malaysian Journal of Analytical Sciences. v. 11. 2009. p.198-205.

RODRIGUES, M. de C.; BRITO, R.S.; SINOTI, A.L.L. e SOUZA, M.A.A. **Tratamento Eletrolítico de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. II-087. João Pessoa, 2005.