

## II-059 - AVALIAÇÃO DA ELETROCOAGULAÇÃO SEGUIDO DO PROCESSO UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> APLICADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL

**Bruna Carina Menon<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Fabíola Tomassoni<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Faculdade União das Américas. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Naiara Mottim Justino<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestre em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Flávio Rubens Lapoli<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP), Doutorado Sanduiche na Université de Montpellier. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC.

**Maria Eliza Nagel-Hassemer<sup>(5)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutorado em Engenharia Ambiental (UFSC), Doutorado Sanduiche na Universidade do Minho, Portugal. Pós-Doutorado UFSC. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Presidente Gama Rosa, 131 - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88036-260 - Brasil - Tel: (48) 9999-3812 - e-mail: [brunacarinamenon@gmail.com](mailto:brunacarinamenon@gmail.com)

### RESUMO

Dentre os vários segmentos produtivos altamente poluidores, as indústrias têxteis destacam-se devido ao elevado consumo de água e baixo aproveitamento dos insumos químicos, como os corantes. Estes podem causar alterações no ecossistema aquático, além de serem uma ameaça para a saúde humana. Devido a ineficiência dos processos de tratamento convencionais utilizados por estas indústrias faz-se necessário o estudo de novas alternativas de tratamento, assim, a eletrocoagulação (EC) surge como alternativa devido à simplicidade operacional, a não necessidade de inserção de produtos químicos, menor tempo de operação e menor produção de lodos. Quando combinado os processos (EC + UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), a eficiência da degradação dos compostos recalcitrantes e da cor serão maiores, possibilitando o reuso. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o processo de eletrocoagulação associado ao processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na degradação do efluente têxtil. Para isto, foram realizados ensaios de eletrocoagulação em reator eletroquímico de bancada com capacidade de 1L, utilizando placas de alumínio perfuradas conectadas a uma fonte de corrente contínua de 0-10A e 0-30V. Os ensaios tiveram duração de 90 minutos e sendo testados diferentes pH (3, 6, 9 e 12). O efluente eletrocoagulado que apresentou a melhor eficiência na remoção da cor, foi submetido ao processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, em reator fotoquímico de 1L de volume útil, com fonte de radiação UV mediada por lâmpada de 125W de potência. Os ensaios tiveram duração de 60 minutos, utilizando concentração de 250 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Os estudos mostraram que em pH 3, o processo combinado (EC + UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) apresentou 95% de eficiência de remoção de cor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente têxtil, Eletrocoagulação, Processos Oxidativos Avançados, Radiação UV.

### INTRODUÇÃO

As indústrias desempenham papel fundamental no desenvolvimento de um país, onde o setor têxtil se destaca como um dos mais antigos no Brasil e do mundo, sendo responsável por grande parte do desenvolvimento econômico e social. No Brasil, o estado de Santa Catarina representa o segundo maior polo têxtil do país, tendo o polo industrial localizado no Vale do Itajaí, mais especificamente na região de Blumenau e Brusque (ABIT, 2009; FIESC 2013).

Apesar da importância econômica, as indústrias têxteis se destacam como as mais poluentes devido ao grande consumo de água e geração de efluentes líquidos. Estes efluentes são caracterizados por apresentarem elevada concentração de cor, compostos aromáticos e tóxicos, elevada temperatura, pH variando do ácido ao alcalino (DANESHVAR ET AL 2005), variedade de corantes e aditivos químicos, elevada demanda química e biológica de oxigênio (DQO e DBO), e alta concentração de sólidos e sais (TEZCAN; UM; AYTAÇ, 2013). Assim, quando estes efluentes são descartados sem tratamento, é inevitável a perturbação dos corpos hídricos receptores, poluição estética e ambiental e desequilíbrio do ecossistema aquático.

Os métodos convencionais para o tratamento dos efluentes têxteis consistem em processos biológicos, geralmente de lodos ativados, combinados com processos físico-químicos. Entretanto, esse sistema de tratamento apresenta inúmeras desvantagens, como elevado investimento inicial, grande área para construção, sensibilidade às variações climáticas e às substâncias incomuns que, muitas vezes, podem ser tóxicas ao meio biológico (GILI, 2015).

Neste sentido, buscam-se novas tecnologias que substituam ou auxiliem o tratamento convencional, entre elas, destaca-se o processo de eletrocoagulação (EC). A EC é um processo complexo que envolve fenômenos físicos e químicos e utiliza eletrodos de sacrifício para fornecer íons ao meio, ou seja, o coagulante é gerado *in situ* (MOLLAH, 2004), o que evita a adição de produtos químicos. Esta técnica já foi estudada por outros pesquisadores e evidencia-se que é eficiente para o tratamento de efluente têxtil (LIN; PENG, 1994; ZAROUAL *et al.*, 2006), além de ser considerada eficiente para remoção de cor e poluentes orgânicos (MERZOUK *et al.*, 2009), salinidade (LIN; SHYU, SUN, 1998), turbidez, DQO (MERZOUK *et al.*, 2011), entre outros parâmetros.

Entretanto, nota-se que esse método aplicado isoladamente não é eficiente para o tratamento de um efluente tão complexo quanto o têxtil, por isso, faz-se necessário a combinação da EC com outros processos, por exemplo, com Processos Oxidativos Avançados (POA). Os POA são amplamente aplicados no tratamento de efluentes industriais, pois são processos destrutivos e não seletivos que degradam inúmeros poluentes, não simplesmente transferindo-os de fase (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

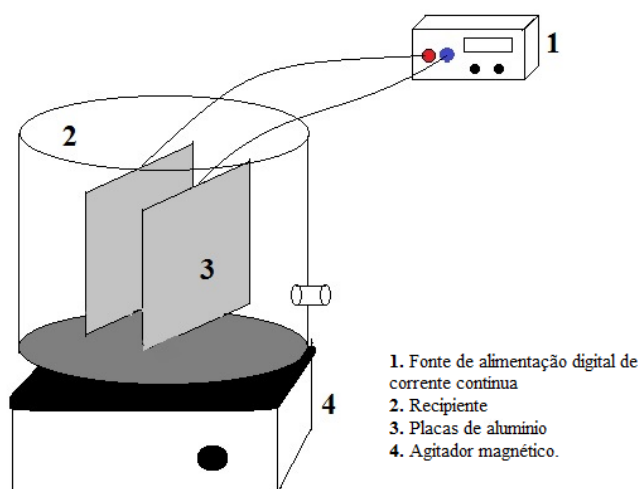
Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do processo de eletrocoagulação associado ao processo oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aplicados na degradação do efluente têxtil, visando contribuir com estudos posteriores sobre a aplicação desses processos combinados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos descritos nesta pesquisa foram realizados no Laboratório de Reuso de Águas (LaRA), pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A pesquisa avaliou a eficiência do processo de eletrocoagulação (EC) associado ao processo oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como alternativa no tratamento de efluente da indústria têxtil.

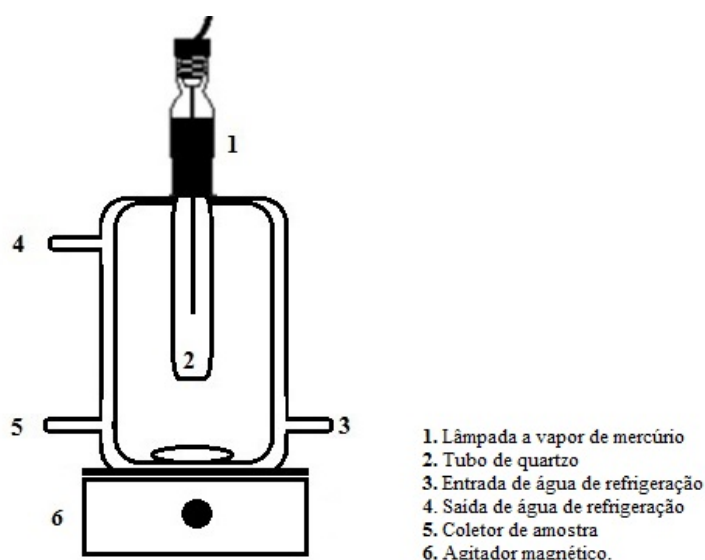
As amostras de efluente têxtil industrial foram coletadas na ETE de uma empresa de tinturaria localizada em Brusque/SC, onde o efluente gerado no processo, bem como dos banheiros e do refeitório seguem para a ETE da própria empresa. O tratamento consiste no sistema de lodos ativados seguido de processo físico-químico. As amostras foram coletadas na entrada do tanque de equalização (efluente bruto – EB) e submetidas ao processo de eletrocoagulação (30, 60 e 90 minutos), seguido por decantação (60 minutos) e o sobrenadante, tratado no reator fotoquímico pelo processo oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (60 minutos).

O processo de eletrocoagulação foi realizado em reator de bancada com volume útil de 1L e equipado com duas placas de alumínio perfuradas 45% de sua área (ânodo e cátodo) e distantes 2 cm entre si. Estes eletrodos foram conectados aos terminais de uma fonte de alimentação digital de corrente contínua de 0-10 A e tensão 0-30 V (Figura 1). Os ensaios de eletrocoagulação tiveram duração de 90 minutos com intensidade de corrente aplicada de 1A, e a cada 30 minutos amostras foram coletadas para realização de análises. Nestes ensaios foram estudados a eficiência do processo em diferentes pH (3, 6, 9 e 12).



**Figura 1: Representação esquemática do reator eletroquímico.**  
Fonte: o autor.

Após passar pelo tratamento em reator eletroquímico e pela etapa de decantação, o efluente que apresentou melhor resposta em remoção de cor, em relação aos pH estudados, foi encaminhado para o processo oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, realizado em reator fotoquímico de bancada, com volume de 1L, equipado com agitação magnética e refrigeração por água. A radiação foi conduzida por meio de uma lâmpada a vapor de mercúrio (125 W), inserida na solução por meio de um tubo de quartzo, o qual protege a lâmpada e permite a passagem de radiação UV (Figura 2). Os ensaios no reator fotoquímico tiveram duração de 60 minutos, utilizando-se 250 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Alíquotas foram coletadas nos tempos 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minutos para realização de análises.



**Figura 2: Representação esquemática do reator fotoquímico.**  
Fonte: o autor.

### Análises Realizadas e Métodos Analíticos

- As medidas de pH, condutividade e temperatura foram realizadas por leitura direta em Medidor Multiparâmetro portátil OAKTON (PCD650).
- Os Sólidos sedimentáveis (SSed) foram determinados pelo método gravimétrico.
- A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico (NTU) em turbidímetro de bancada da HACH, com limite de quantificação de 0,1 e resolução de 0,01 NTU na faixa mais baixa.
- A cor e os compostos aromáticos foram avaliados em espectrofotômetro Hach modelo DR/5000. A leitura da cor é realizada no comprimento de onda de maior absorção do efluente na faixa do Visível (400 a 800 nm) e os compostos aromáticos em 280 nm, na faixa UV.
- O residual de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) foi monitorado durante todo os ensaios fotoquímicos através de método colorimétrico, que abrangia uma faixa de 1 - 100 mg/L de concentração de  $H_2O_2$ . Merck, Peroxid – Test.

O pH de cada ensaio (3, 6, 9 e 12) foi monitorado constantemente e ajustados quando necessário utilizando solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  50%) e hidróxido de sódio (NaOH 50%).

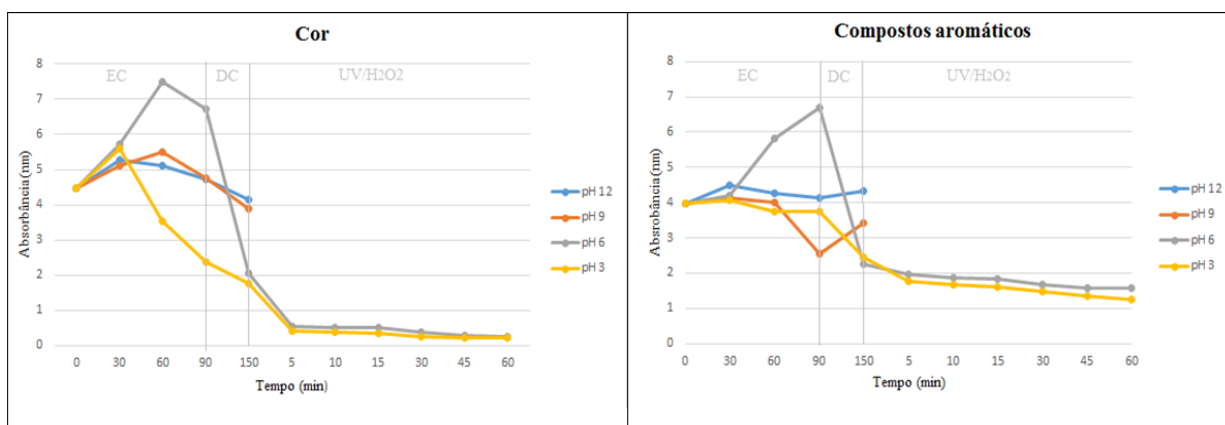
### RESULTADOS

As amostras de efluente bruto foram coletadas no tanque de equalização e sua caracterização foi realizada no Laboratório de Reuso das Águas (LaRA) pela UFSC conforme a Tabela 1.

**Tabela 1: Características do Efluente Bruto.**

PARÂMETROS	EFLUENTE
pH	7,92
SSed	3,5 ml/L
Absorbância (403 nm)	4,465
Compostos aromáticos (280 nm)	3,985
Turbidez	26,3 NTU
Temperatura	21,1 °C
Condutividade	12,64 $\mu S$

As amostras do efluente bruto foram submetidas ao processo de eletrocoagulação, com duração de 90 minutos e diferentes pH (3, 6, 9 e 12), pois de acordo com Khandegar & Saroha (2013), o pH é um importante parâmetro operacional na EC, pois, a máxima eficiência de remoção de poluentes ocorre em um pH ideal para determinado poluente, sendo de suma importância determiná-lo. Após encontrar o pH ideal de melhor eficiência na remoção da cor, o efluente eletrocoagulado foi submetido ao processo UV/ $H_2O_2$ , com duração de 60 minutos e concentração de 250 mg/L de  $H_2O_2$ . Os resultados são mostrados na Figura 3.



**Figura 3: Remoção de cor e compostos aromáticos em diferentes valores de pH.**

Nota-se que após todo o processo de EC e decantação (DC), a remoção tanto de cor, quanto dos compostos, obteve melhores resultados em pH 3 e 6, para cor, aproximadamente, 60 e 53%, e para compostos aromáticos 38 e 48%, respectivamente. Já em pH alcalino (9 e 12), a remoção de cor e de compostos aromáticos foram inferiores, não chegando a 15% em todos os casos.

Na Figura 3, observa-se que no processo combinado EC + UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em pH 6 houve remoção de 94% para cor e 60% para compostos aromáticos e para pH 3, valores de 95% e 68% respectivamente. Tal eficiência para a remoção de cor pode ser explicada, segundo Nagel-Hassener (2012) pela capacidade do processo fotoquímico em quebrar as duplas ligações dos compostos orgânicos, fazendo com que as moléculas percam a habilidade de absorver luz na região do Visível. Ressalta-se ainda de acordo com a Figura 3, no processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no pH 3 em 45 minutos de processo, atingiu valores menores aos atingidos em 60 minutos de processo para o pH 6.

Quanto a turbidez evidencia-se que durante o processo de EC, em todos os pH, ocorreu o aumento do parametro (Figura 4). Segundo Vasconcelos & Gomes, 2009, a turbidez se dá pela presença de partículas em suspensão, causada por uma gama de materiais que provocam dispersão e absorção da luz, dando aspecto turvo ao meio aquoso. Observa-se que após o período de decantação, todos os valores diminuíram.

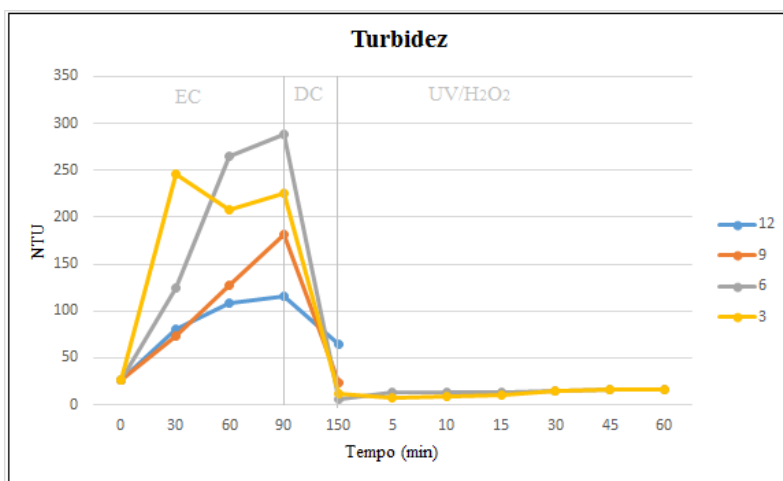


Figura 4: Remoção da turbidez em diferentes valores de pH.

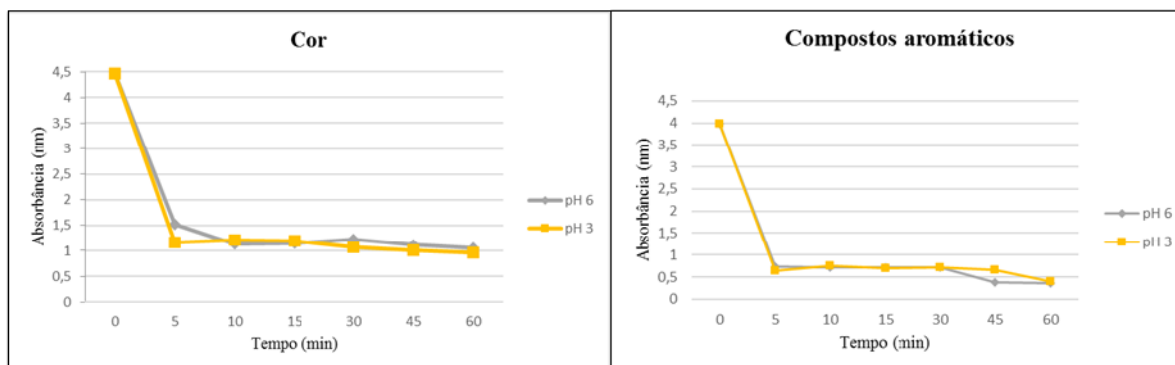
Nota-se na Figura 4 que a turbidez em pH 6 apresentou 246 NTU e 149 mL/L de sólidos sedimentáveis (Tabela 2) a mesma relação ocorre para os outros pH analisados, podendo relacionar o aumento da turbidez com o aumento dos sólidos sedimentáveis, ao mesmo tempo que ocorreu maior redução de cor e compostos aromáticos (Figura 3). Após 60 minutos de decantação, os efluentes tratados atingiram os seguintes valores de sólidos sedimentáveis (Tabela 2):

Tabela 2: Sólidos Sedimentáveis em diferentes valores de pH.

pH	SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (ml/L)
3	80
6	149
9	72
12	3,5

Tal resultado pode ser justificado conforme Mollah (2004), no qual, o aumento no valor de sólidos sedimentáveis se comparado ao efluente bruto sem tratamento, pode ser explicado pela geração de coagulante *in situ*, pois a placa de alumínio sofre dissociação gerando partículas em suspensão e criando um aglomerado que prende as partículas na solução.

Para os processos oxidativos UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aplicados direto no EB, sem passar pela EC, percebe-se que a remoção de cor foi menor que quando comparado com o processo combinado. Embora que para os compostos aromáticos, a remoção foi maior. Atingiu-se, para pH 3 e 6, remoção de cor de 78 e 76%, e de compostos aromáticos 90 e 91%, respectivamente.



**Figura 5: remoção da cor e compostos aromáticos no processo oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.**

Segundo Mota (2005), fatores como pH, temperatura e concentração de peróxido de hidrogênio devem ser constantemente monitorados. Portanto, é necessária uma quantidade ótima de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de modo a evitar seu excesso, pois pode prejudicar a degradação dos contaminantes. Por outro lado, segundo o autor, temperaturas elevadas e pH básico favorecem a degradação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Para Gogate (2004), o pH deve ser controlado na faixa de 2,5 e 3,5, pois apresenta resultado em maior eficiência de degradação quando há combinação da fotólise UV com adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O processo de eletrocoagulação aplicado no tratamento de efluente têxtil mostrou-se eficiente na remoção de poluentes, e quando combinado ao processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a eficiência se intensifica, atingindo até 95% de remoção de cor, 68% de compostos aromáticos e 36% da turbidez.

Observou-se através dos resultados obtidos, a influência do pH no processo combinado, tendo-se encontrado melhores eficiência de remoção dos parâmetros estudados em meios ácidos, embora pequena diferença entre o pH 3 e 6, o pH mais ácido apresentou melhor desempenho.

O processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é eficiente na degradação do efluente bruto, entretanto, devido à quantidade de sólidos e demais compostos presentes, tem a eficiência do processo limitada, necessitando de tratamento que antecede o oxidativo. Assim, a eletrocoagulação é considerada uma ótima alternativa.

A concentração de 250 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi considerada eficiente no processo oxidativo, porém, recomenda-se estudos mais detalhados quanto à interação entre a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e o pH, para buscar maior eficiência e economia no processo.

O processo combinado (EC + UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foi considerado promissor no tratamento de efluentes têxteis, ambos processos se complementam.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIT (Brasil) (Org.). ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção. Disponível em: <http://www.abit.org.br/site/>. Acesso em: Dezembro de 2015.
2. DANESHVAR, N. et al. Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Journal of hazardous materials*, v. 148, n. 3, p. 566–72, 30 set. 2007.
3. FIESC (Org.). Santa Catarina em Dados: 2012. Disponível em: <http://www2.fiescnet.com.br/>. Acesso em: Novembro de 2015.
4. GILI, I. Tratamento De Efluentes Por Eletrólise: Estudo De Caso Para Efluentes Têxteis. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.
5. GOGATE, P.R.; PANDIT, A.B. A Review of Imperative Technologies for Wastewater Treatment I: Oxidation Technologies at Ambient Conditions. *Advances in Environmental Research*, v. 8, p. 501–551, 2004.
6. 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.
7. LIN, S. H.; SHYU, C. T.; SUN, M. C. Saline wastewater treatment by electrochemical method. *Water Research*, v. 32, n. 4, p. 1059–1066, abr. 1998.
8. LIN, S.H.; PENG, C.F. Treatment of textile wastewater by electrochemical method. *Water Res.*, 28 (2), pp. 277–282, 1994.
9. MERZOUK, B. et al. Effect of modification of textile wastewater composition on electrocoagulation efficiency. *Desalination*, v. 275, n. 1–3, p. 181–186, jul. 2011.
10. MERZOUK, B.; GOURICH, B.; SEKKI, A.; MADANI, K. M. Chibane. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. *J. Hazard. Mater.*, 164 (1), p. 215–222, 2009.
11. MOLLAH, M. Y.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J. A.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 114, n. 1, p. 199–210, 2004.
12. MOTA, A. L.N. Desenvolvimento De Um Reator Fotoquímico Aplicável No Tratamento De Efluentes Fenólicos Presentes Na Indústria Do Petróleo. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2005.
13. NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R. (2012). Processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Como Pós-Tratamento para Remoção de Cor e Polimento Final em Efluentes Têxteis. *Química Nova*, 35(5), 900–904.
14. TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos Oxidativos Avançados: Conceitos Teóricos. Caderno temático, vol. 3, UNICAMP. Campinas/SP, 2004.
15. TEZCAN UN, U.; AYTAC, E. Electrocoagulation in a packed bed reactor-complete treatment of color and cod from real textile wastewater. *Journal of Environmental Management*, v. 123, p. 113–119, 2013.
16. VASCONCELOS, D. V.; GOMES, A. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reúso usando processos oxidativos avançados. *Cadernos UniFOA* edição nº 11, dezembro 2009.
17. ZAROUAL, Z.; AZZI, M.; SAIB, N. E. Chainet. Contribution to the study of electrocoagulation mechanism in basic textile effluent. *J. Hazard. Mater.*, B131 (1–3), pp. 73–78, 2006.