



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS CERRO LARGO**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ROSELAINÉ CRISTINA REJEI REINEHR**

**OTIMIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETROFLOCULAÇÃO VIA ANÁLISE DE  
SUPERFÍCIE DE RESPOSTA APLICADA AO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA  
COSMÉTICA**

**CERRO LARGO/RS**

**2017**

**ROSELAINÉ CRISTINA REJEI REINEHR**

**OTIMIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETROFLOCULAÇÃO VIA ANÁLISE DE  
SUPERFÍCIE DE RESPOSTA APLICADA AO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA  
COSMÉTICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção de grau de  
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da  
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Aline Raquel Müller Tones  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alcione Aparecida de  
Almeida Alves

CERRO LARGO/RS

2017

REINEHR, ROSELAINÉ CRISTINA REJEI  
OTIMIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETROFLOCULAÇÃO VIA ANÁLISE  
DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA APLICADA AO EFLUENTE DE UMA  
INDÚSTRIA COSMÉTICA/ ROSELAINÉ CRISTINA REJEI REINEHR.  
-- 2017.  
57 f.:il.

Orientador: Ma. Aline Raquel Müller Tones.

Co-orientador: Dr<sup>a</sup>. Alcione Aparecida de Almeida  
Alves.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Engenharia Ambiental e Sanitária , Cerro Largo, RS,  
2017.

1. Efluente cosmético. 2. Eletrofloculação. 3.  
Eletrodos de alumínio. 4. Superfície de resposta. 5.  
DCCR. I. Tones, Ma. Aline Raquel Müller, orient. II.  
Alves, Dr<sup>a</sup>. Alcione Aparecida de Almeida, co-orient.  
III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

**ROSELAINÉ CRISTINA REJEI REINEHR**

**OTIMIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETROFLOCULAÇÃO VIA ANÁLISE DE  
SUPERFÍCIE DE RESPOSTA APLICADA AO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA  
COSMÉTICA**

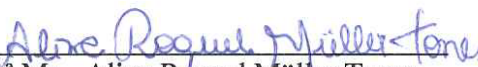
Trabalho de Conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

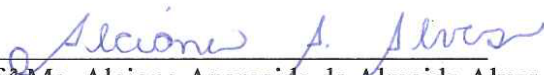
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ma. Aline Raquel Müller Tones

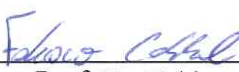
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ma. Alcione Aparecida de Almeida Alves

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 27/11/2017

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Ma. Aline Raquel Müller Tones  
(Orientadora - UFFS)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Ma. Alcione Aparecida de Almeida Alves  
(Co-orientadora - UFFS)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabiano Cassol  
(Docente - UFFS)

*Dedico ao meu esposo Alex Gazziero, a minha  
mãe Eliane Rejei, pelo apoio incondicional.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, razão de tudo, a cada momento que esteve seguindo e auxiliando meus passos.

Agradeço ao meu esposo Alex Gazziero, pela torcida e apoio nesta investida e nas outras importantes conquistas, bem como pela orientação segura no meu caminhar ao longo dessa trajetória.

A minha mãe Eliane Rejei, minha irmã Karem e minha avó Zenilda pelo amor, carinho e compreensão nesta caminhada e aos demais familiares por terem acreditado em mim.

A professora Ma. Aline Raquel Müller Tones pela orientação, auxílio, dedicação, confiança, paciência, compreensão e amizade apresentada.

A professora Dr<sup>a</sup>. Alcione Aparecida de Almeida Alves por toda a colaboração com a pesquisa, atenção e disposição.

Agradeço a todos os docentes do curso de engenharia Ambiental e Sanitária e servidores da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS).

Agradeço a todos meus amigos e colegas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, principalmente a Natieli Brum e Patricia Raphaela Giordanni.

Por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a minha graduação, afirmo o meu MUITO OBRIGADA!

## RESUMO

A geração de efluentes nos mais variados setores industriais vêm contribuído para a degradação ambiental, especialmente quando não tratados e dispostos no solo ou mananciais hídricos. Neste contexto, encontra-se a indústria cosmética, a qual é responsável pela geração de efluentes, que necessitam de tratamento adequado em virtude das suas características, como: fragrâncias, corantes, óleos e detergentes. Esta pesquisa tem por objetivo caracterizar o efluente de indústria cosmética e avaliar a eficiência do tratamento de Eletrofloculação (EF) com uso de eletrodo de alumínio, na remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO), turbidez, cor aparente e absorvância. O efluente utilizado foi cedido por uma indústria cosmética localizada no estado do Rio Grande do Sul, sendo o mesmo proveniente da limpeza de pisos e equipamentos de produção de shampoos, desodorantes, protetores solares, maquiagens, entre outros. Os parâmetros de caracterização foram: temperatura, cor aparente, turbidez, potencial Hidrogeniônico (pH), condutividade, Oxigênio Dissolvido (OD), DQO, Sólidos Sedimentáveis (SSed), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e o Teor de Óleos e Graxas (TOG). As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Águas e Ecotoxicologia da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo/RS. A aplicação da EF ocorreu por meio de um sistema piloto, onde utilizou-se volume de efluente de 500 mL a uma agitação de 600 Rotações Por Minuto (RPM) e um par de eletrodos de alumínio com área submersa no efluente de 25 cm<sup>2</sup>, isolados eletricamente a distância de 1 cm. Com a finalidade de verificar a eficiência da EF aplicada ao efluente de indústria cosmética, o planejamento experimental empregado foi o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) composto por 12 ensaios. Utilizou-se como variáveis independentes a corrente elétrica e o tempo de tratamento, obtendo como variáveis dependentes a porcentagem de remoção da DQO, turbidez, cor aparente e absorvância no comprimento de onda de 350 nm. Na caracterização do efluente de indústria cosmética obteve-se os seguintes valores: temperatura 25,90 ± 0,08 °C, cor 8989,25 ± 7,83 u.C, turbidez 818,77 ± 0,94 UNT, pH 5,38 ± 0,02, condutividade 2,92 ± 0,01 mS cm<sup>-1</sup>, OD 1,78 ± 0,22 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>, DQO 1042,19 ± 43,70 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>, SSed 0,09 ± 0,01 mL<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, SST 21,67 ± 2,36 mgL<sup>-1</sup>, SSF 13,33 ± 2,36 mgL<sup>-1</sup>, SSV 8,33 ± 2,36 mgL<sup>-1</sup>, TOG 57,00 ± 3,00 mgL<sup>-1</sup>. Constatou-se que o uso do DCCR foi viável, sendo possível identificar os valores da corrente de 4,18 A e tempo de 18,98 minutos otimizados, no processo de remoção das variáveis dependentes. O tratamento por EF foi eficiente, obteve-se remoção de 66,12 % DQO, 90,96 % turbidez, 97,07 % cor aparente e 97,83 % absorvância. Dos parâmetros analisados a cor e os SSed não atingiram aos valores estipulados pela legislação, temperatura, pH, OD e DQO (vazão de até 100 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) ficaram dentro do limite permitido para lançamentos de efluentes em corpos hídricos segundo as Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 e CONSEMA 128/2006, o TOG atendeu apenas ao valor de óleos vegetais e animais da CONAMA 430/2011.

Palavras chave: Efluente cosmético. Eletrofloculação. Eletrodos de alumínio. Superfície de resposta. DCCR.

## ABSTRACT

The generation of effluents in the most varied industrial sectors has contributed to the environmental degradation, especially when not treated and disposed in the soil or water sources. In this context, there is the cosmetic industry, which is responsible for the generation of effluents, which need adequate treatment due to its characteristics, such as: fragrances, dyes, oils and detergents. The objective of this research was to characterize the effluent of the cosmetic industry and to evaluate the efficiency of the treatment of Electroflocculation (EF) with the use of aluminum electrode, in the removal of Chemical Oxygen Demand (COD), turbidity, apparent color and absorbance. The effluent used was provided by a cosmetic industry located in the state of Rio Grande do Sul, and the same originated from the cleaning of floors and equipment for the production of shampoos, deodorants, sunscreens, makeup, among others. Characterization parameters were: temperature, apparent color, turbidity, hydrogenation potential (pH), conductivity, dissolved oxygen (DO), COD, Sedimentable Solids (SedS), Total Suspended Solids (TSS), Fixed Suspended Solids (FSS) Volatile Suspended Solids (VSS) and Oils and Grease Content (OGC). The physico-chemical analyzes were carried out at the Water and Ecotoxicology Laboratory of the Federal University of the South Frontier, Cerro Largo / RS. The application of EF occurred by means of a pilot system, where a volume of effluent of 500 mL was used at a stirring of 600 RPM and a pair of aluminum electrodes with submerged area in the effluent of 25 cm<sup>2</sup>, isolated electrically the distance of 1 cm. In order to verify the efficiency of EF applied to the effluent of the cosmetic industry, the experimental design employed was the Rotational Central Composite Design (RCCD) composed of 12 tests. The electrical current and the treatment time were used as independent variables, obtaining, as dependent variables, the percentage of removal of COD, turbidity, apparent color and absorbance at wavelength 350 nm. In the characterization of the cosmetic industry effluent the following values were obtained: temperature 25.90 ± 0.08 °C, apparent color 8989.25 ± 7.83 u.C, turbidity 818.77 ± 0.94 NTU, pH 5.38 ± 0.02, conductivity 2.92 ± 0.01 mS cm<sup>-1</sup>, DO 1.78 ± 0.22 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>, COD 1042.19 ± 43.70 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>, SedS 0.09 ± 0.01 mL<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, TSS 21.67 ± 2.36 mgL<sup>-1</sup>, FSS 13.33 ± 2.36 mgL<sup>-1</sup>, VSS 8.33 ± 2.36 mgL<sup>-1</sup>, OGC 57.00 ± 3.00 mgL<sup>-1</sup>. It was verified that the use of RCCD was feasible, being possible to identify the current values of 4.18 A and time of 18.98 optimized minutes, in the process of removal of the dependent variables. The treatment by EF was efficient, with removal of 66.12 % COD, 90.96 % turbidity, 97.07 % apparent color and 97.83 % absorbance. Of the analyzed parameters the color and the SedS did not reach the values stipulated by the legislation, temperature, pH, DO and COD (flow up to 100 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) were within the limit allowed for effluent releases in water bodies according to Resolutions CONAMA 357/2005 and 430/2011 and CONSEMA 128/2006, the OGC served only the value of vegetable and animal oils from CONAMA 430/2011.

**Keywords:** Cosmetic effluent. Electroflocculation. Stainless steel electrodes. Response surface. RCCD.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Reações que ocorrem dentro de um reator de EF .....	25
Figura 2 - Modulo Experimental .....	33
Figura 3 - Sistema piloto EF.....	33
Figura 4 - Diagrama para DQO (a); Turbidez (b); Cor aparente (c); Abs a 350 nm (d) .....	43
Figura 5 - Superfície de resposta e perfil de contorno em relação à redução da DQO (a); Turbidez (b); Cor aparente (c); Abs a 350 nm (d).....	45
Figura 6 - Gráficos estatísticos para a função desejabilidade global.....	46
Figura 7 - Superfície de resposta e perfil de contorno em função desejabilidade global .....	47
Figura 8 - Efluente de indústria cosmética, efluente bruto e efluente tratado .....	49

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Eficiências obtidas em tratamentos por EF de efluentes com diferentes características. .....	30
Tabela 2 - Padrões para o lançamento de efluentes em corpo hídrico classe II. ....	31
Tabela 3 - Padrões de emissão para DQO e SS, conforme as faixas de vazão.....	31
Tabela 4 - Níveis estudados para as variáveis independentes da matriz .....	35
Tabela 5 - Métodos analíticos utilizados para quantificar os parâmetros físico-químicos estudados .....	36
Tabela 6 - Caracterização do efluente bruto de indústria cosmética .....	37
Tabela 7 - Teste da análise de variância do modelo previsto para a redução DQO, turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm, pelo tratamento com EF ao nível de significância de 95 % ( $p < 0,05$ ) .....	44
Tabela 8 - Validação do modelo.....	48
Tabela 9 - Caracterização do efluente tratado e eficiência da EF .....	49

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz do DCCR .....	34
Quadro 2 - Parâmetros analisados após a EF do efluente de indústria cosmética, utilizando eletrodo de alumínio .....	41

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Oxidação do Alumínio .....	26
Equação 2 - Formação do agente coagulante .....	26
Equação 3 - Evolução de hidrogênio no cátodo .....	26
Equação 4 - Evolução do oxigênio no anodo .....	26
Equação 5 - Modelo geral para a eficiência da EF .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABIHPEC -	Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosmética
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abs -	Absorbância
ANVISA -	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA -	American Public Health Association
AT -	Azul Turquesa
CE -	Condutividade Elétrica
CETESB -	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA -	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA -	Conselho Estadual de Meio Ambiente
COT -	Carbono Orgânico Total
DBO -	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCCR -	Delineamento Composto Central Rotacional
DQO -	Demanda Química de Oxigênio
EC -	Eletrocoagulação
EF -	Eletrofloculação
ETE -	Estação de Tratamento de Efluente
GTA -	Guia Técnico Ambiental
HPPC -	Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosmético
IB -	Índice de Biodegradabilidade
MO -	Matéria Orgânica
OD -	Oxigênio Dissolvido
PIB -	Produto Interno Bruto
pH -	Potencial de Hidrogeniônico
Q -	Vazão
RPM -	Rotação Por Minuto
RP -	Remoção Previsto
RR -	Remoção Real
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos Sociais da Bahia
SS -	Sólidos Suspensos
SSed -	Sólidos Suspensos Sedimentares
SSF -	Sólidos Suspensos Fixos

SST -	Sólidos Suspensos Totais
SSV -	Sólidos Suspensos Voláteis
ST -	Sólidos Totais
TOG-	Teor de Óleos e Graxas
uC -	unidade de Cor
UFFS -	Universidade Federal da Fronteira Sul
UNT -	Unidades Nefelométricas de Turbidez
uA -	unidade de Absorbância
uT -	unidade de Turbidez
UV -	Ultravioleta
VE -	Vermelho Escarlate

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	INDÚSTRIA COSMÉTICA.....	16
2.1.1	<b>Efluente da indústria cosmética .....</b>	<b>17</b>
2.2	PARÂMETROS DA CARACTERIZAÇÃO .....	19
2.2.1	<b>Características físicas .....</b>	<b>19</b>
2.2.2	<b>Características químicas .....</b>	<b>22</b>
2.3	ELETROFLOCULAÇÃO .....	24
2.3.1	<b>Vantagens e limitações da EF .....</b>	<b>27</b>
2.3.2	<b>Parâmetros operacionais da EF .....</b>	<b>27</b>
2.3.3	<b>Processos de EF aplicados ao tratamento de efluentes industriais .....</b>	<b>29</b>
2.4	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICÁVEL .....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1	AMOSTRA DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA COSMÉTICA.....	32
3.2	MÓDULO EXPERIMENTAL .....	32
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	33
3.4	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....	34
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	35
3.5.1	<b>Função de desajustabilidade .....</b>	<b>35</b>
3.6	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA COSMÉTICA .....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO .....	37
4.2	APLICAÇÃO DA ELETROFLOCULAÇÃO NO EFLUENTE DE INDÚSTRIA COSMÉTICA .....	40
4.2.1	<b>Planejamento experimental e análise estatística .....</b>	<b>40</b>
4.2.2	<b>Validação do modelo proposto .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso fundamental para a existência dos seres vivos, e por muito tempo teve-se a percepção de que era um bem infinito. Porém, o uso abusivo e irresponsável desse recurso, seja para abastecimento humano, uso agrícola ou industrial, tem levado a projeções de escassez de sua qualidade em dimensões mundiais.

Grande parte destes usos são derivados da crescente demanda por bens e produtos. Com isso, na esfera industrial, há um uso elevado dos recursos naturais como matéria prima. A água é um dos produtos com alta demanda, seja para incorporação nos produtos, limpeza ou resfriamento de equipamentos e diluição de efluentes. A quantidade e variedade de efluentes gerados em diversos setores industriais contribui expressivamente para a degradação ambiental.

O parque industrial brasileiro tem se destacado no âmbito mundial, devido à variedade de produtos fabricados. Um setor que vem contribuindo para essa ampliação, é o de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosmético, pois, é um campo em pleno crescimento e que exporta para aproximadamente 140 países (ABIHPEC, 2014).

No entanto, este setor também produz efluentes derivados especialmente da limpeza de equipamentos de produção. O qual é caracterizado principalmente por altas concentrações de surfactantes, corantes e fragrância, o que proporciona a esse efluente uma elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO) e baixa biodegradabilidade (BAUTISTA et al., 2007).

Embora a indústria cosmética esteja em pleno desenvolvimento e gere contaminantes líquidos, conta com um número restrito de pesquisas relacionado a tecnologias de tratamento ou caracterização deste efluente e merece mais atenção por parte da comunidade científica, devido ao extensivo uso desses produtos (MELLO, 2012; BANERJEE et al., 2016).

A tecnologia de coagulação eletroquímica é um processo que tem demonstrado elevado potencial, e por isso vem sendo empregada em diversas pesquisas (KOBAYASHI et al., 2011; MELCHIORI et al., 2016; JOHN et al., 2016) para o tratamento de diversos efluentes, que variam desde águas residuais até água potável. A Eletrofloculação (EF) tem a finalidade de tratar efluentes complexos, com mistura de diferentes substâncias de maneira eficiente, econômica e sustentável (CHEN, 2004; BOROSKI et al., 2009; ONCEL et al., 2013), o que viabiliza seu uso no tratamento de efluentes de indústria cosmética.

A utilização de EF para o tratamento de águas residuais pode ser considerada uma tecnologia relativamente simples, que envolve a utilização de um par de placas metálicas de sacrifício, comumente de alumínio ou ferro, e a aplicação de corrente elétrica, que através de reações eletroquímicas gera coagulantes *in situ*, não havendo a necessidade de adição de

produtos químicos para que esse processo ocorra. Desse modo, reduz a probabilidade de geração de subprodutos e minimiza a produção de lodo (CHEN, 2004; YUKSEL et al., 2011; DUBRAWSKI; MOHSENI, 2013).

Neste contexto, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos com o intuito de viabilizar tratamento eficiente e de baixo custo, específico para o efluente proveniente deste setor, de modo a minimizar o seu potencial poluidor. Assim novas tecnologias precisam ser desenvolvidas e/ou aperfeiçoadas, para obter processos de tratamentos apropriados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar a eficiência da técnica de EF aplicada no tratamento de efluente de indústria cosmética, para determinação das condições otimizadas de tratamento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

a) Caracterizar o efluente de indústria cosmética, por meio da análise dos parâmetros físicos (cor, temperatura, turbidez e sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, fixos e voláteis) e químicos (pH, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, DQO), antes e após o tratamento por EF;

b) Avaliar a eficiência da EF, com uso de eletrodo de sacrifício de alumínio, quanto à redução da cor, turbidez, DQO e absorvância do efluente de indústria cosmética;

c) Definir as condições operacionais otimizadas de tempo e corrente elétrica, aplicadas no tratamento do efluente de indústria cosmética, por meio da EF;

d) Averiguar se o efluente tratado atende as exigências das Legislações nacionais e estaduais, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) resolução N° 357 (2005) e N° 430 (2011) e do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) N° 128 (2006), respectivamente, quanto aos padrões de lançamentos de efluentes em corpos hídricos.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item fez-se uma abordagem da literatura associado à problemática ambiental de efluentes proveniente da indústria cosmética, parâmetros relacionados a caracterização e tratamento do efluente, assim como uma abordagem sobre a tecnologia empregada no tratamento e os parâmetros operacionais envolvidos.

### 2.1 INDÚSTRIA COSMÉTICA

A indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (HPPC), tratada nesta pesquisa como “indústria cosmética”, é caracterizada por meio da presença de grandes empresas internacionais, com atuação global e por pequenas e médias empresas. Sendo que as empresas de pequeno e médio porte representam mais de 90 % das indústrias de fabricação de cosméticos no âmbito nacional (CAPANEMA et al., 2007).

O setor industrial brasileiro de higiene pessoal, tem se revelado um dos mais vigorosos do país, apresentou um crescimento médio composto próximo a 11,4 % aa nos últimos 20 anos. Esse dinamismo fez com que o mercado brasileiro ganhasse destaque inclusive em termos mundiais, chegando a ocupar a terceira colocação no mercado mundial, encontrando-se atrás apenas da China e dos Estados Unidos (ABIHPEC, 2016, HIRACUTA et al., 2009).

Vários fatores contribuíram para o eminente desempenho do setor, principalmente o aumento do poder de consumo das classes C e D, onde milhões de brasileiros foram incorporados às classes médias emergentes (ABIHPEC, 2016). Caracterizando-se como um setor extremamente dependente da renda per capita, o que significa que qualquer aumento de renda implica no aumento da produção desse setor (CAPANEMA et al., 2007).

Outros fatores também têm contribuído para o aumentando no consumo de produtos relacionados a linha cosmética, como a crescente participação da mulher no mercado de trabalho, o aumento da expectativa de vida e homens mais preocupados com a aparência (ABIHPEC, 2016). Além do mais, alguns produtos têm papel importante na melhoria de qualidade de vida e saúde da população, como protetores solar, produtos de higiene oral, etc. (SEI, 2015).

Existem cerca de 2.470 empresas operando na indústria de cosméticos no Brasil, sendo aproximadamente 10 % dessas empresas de grande porte, com faturamento acima de R\$ 100 milhões a.a., representando 73 % do faturamento deste setor. A indústria cosmética brasileira exporta para um total de 140 países, sendo os principais mercados consumidores,

Argentina (24,1 %), Chile (10,4 %) e México (9,7 %) (ABIHPEC, 2014). Em 2011 o setor faturou R\$ 29,4 bilhões, o que representou 1,7 % do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (ABIHPEC, 2012).

A tecnologia de fabricação cosmética pode ser considerada relativamente simples, sendo geralmente produzida em batelada. As etapas respectivas as atividades produtivas nas indústrias de cosmético, são: recebimento de matérias-primas, armazenagem, pesagem e separação de matérias-primas para produção do lote, produção, análises e envase / embalagem. Dentre as principais características da produção de cosméticos está a alta demanda de água estimada, em termos de quantidade como uma das principais matéria-prima na fabricação desses produtos (GTA, 2015).

### **2.1.1 Efluente da indústria cosmética**

Efluentes industriais despontam como uma das importantes fontes de poluição dos corpos d'água. Devido ao desenvolvimento de várias indústrias, grandes quantidades de água são requeridas como matéria-prima, limpeza de equipamentos ou para diluição de efluentes (FRIHA et al., 2014). Embora a tecnologia de produção de cosmético seja relativamente simples, essa simplicidade de produção não evita problemas com a geração de resíduos e o impacto que estes podem causar ao meio ambiente (MELLO, 2012).

A geração de efluentes líquidos da indústria cosmética ocorre nas etapas de produção e no envase / embalagem dos produtos, devido principalmente a limpeza de equipamentos e pisos e o seu volume é dependente da frequência em que ocorrem as operações de lavagem dos equipamentos (ABIHPEC, 2012; GTA, 2015).

Desse modo, é necessário que os processos de tratamento de efluentes sejam eficientes e de baixo custo, a fim de permitir a reutilização da água e reaplicação no ciclo industrial. As características dos efluentes líquidos gerados variam em função do conjunto de matérias-primas e produtos intermediários empregados na produção de cosméticos, devido a limpeza dos equipamentos que continham estes produtos (FRIHA et al., 2014; GTA, 2015).

Entre os produtos utilizados para a fabricação da linha cosmética, que por consequência poderão ser encontrados nas águas residuais desse setor, estão: detergentes, emulsificantes, ésteres de ácidos graxos, polímeros, sais quaternários de amônio, corantes, pigmentos, solventes orgânicos, álcalis (como soda e potassa), conservantes (como Metilparabeno, Triclosan, Propilparabeno e Formol), peróxido de hidrogênio, óleos essenciais e outros (GTA, 2015).

Segundo estudo realizado por Bautista et al. (2007), águas residuárias da fabricação de cosméticos possuem como característica principal uma elevada DQO. A caracterização do efluente neste estudo para a aplicação de oxidação de Fenton no tratamento de águas residuais de cosmético, obteve uma DQO de 2.720 mg L<sup>-1</sup>, o que pode ocasionar uma baixa biodegradabilidade do efluente em questão.

Além de elevada DQO, pode conter SST, gorduras, óleos e detergentes (FRIHA et al, 2014). Deve-se considerar que várias substâncias utilizadas na fabricação dos produtos cosméticos, apresentam propriedades tóxicas, irritantes e/ou corrosivas (GTA, 2015) e poderão estar presentes na composição do efluente final. Banerjee et al. (2016), alega que as principais questões relacionadas aos efluentes provenientes da produção de higiene pessoal são a sua cor, a presença do conservante Triclosan e o conteúdo de surfactantes aniônicos.

O estudo realizado por Machado et al. (2016), abrangeu contaminantes emergentes de diferentes classes, sendo realizado levantamento desses contaminantes em amostra de águas potável no âmbito nacional. Esta pesquisa detectou Triclosan em uma amostra de água coletada na cidade de Porto Alegre, localizada no sul do Brasil. O uso indiscriminado deste composto pelas indústrias pode levar a efeitos prejudiciais sobre os sistemas ambientais e biológicos (BANERJEE et al., 2016). Sendo que esse contaminante sob determinadas condições (radiação UV, calor), pode levar à formação de substâncias tóxicas como dioxinas cloradas e dibenzofuranos (LATCH et al., 2005; GREYSHOCK; VIKESLAND, 2006).

Diferentes substâncias foram encontradas na composição de águas residuais de uma indústria cosmética, segundo o estudo realizado por Friha et al. (2014), estas águas continham metais pesados como Ca, Mg, Zn e Cr. Estes metais se descartados em corpos hídricos, podem resultar em impactos significativos sobre a saúde humana e da biota aquática, e em concentrações elevadas podem ser bioacumulados e tornar-se tóxicos aos organismos vivos (RIBEIRO et al., 2012).

Ainda de acordo com o estudo realizado por Friha et al. (2014), o efluente gerado na produção de cosméticos, também apresentam em sua composição tensoativos aniônicos. Esta substância propicia a afinidade com óleos, gorduras entre outros. Essas características fazem com que os tensoativos sejam utilizados em aplicações diversas como detergentes, sabonetes, shampoo e cremes. Sendo que os tensoativos com cadeias carbônicas ramificadas normalmente tem uma menor biodegradabilidade no meio ambiente (DALVIN, 2012).

Múltiplos corantes e fragrâncias são produzidos em todo o mundo e vem sendo utilizados em diversas indústrias, tais como cosmética e farmacêutica. Estes compostos

apresentam baixa biodegradabilidade e elevado potencial tóxico (DALTIM, 2012; KHANDEGAR; SAROHA, 2013).

Como um setor em pleno crescimento nacional, a indústria cosmética vem se destacando devido a diversidade de produtos produzidos. No entanto, esta tem sido responsável pela geração de efluentes líquidos caracterizados por uma elevada DQO, devido as altas concentrações de óleos e graxas e surfactantes, além de corantes e fragrâncias, etc. (MELLO, 2012).

## 2.2 PARÂMETROS DA CARACTERIZAÇÃO

Segundo Von Sperling (2005), diversos parâmetros podem representar a qualidade da água, estando subdivididos em características físicas, químicas e biológicas. Estão delineados a seguir, os principais parâmetros físicos e químicos, utilizados na caracterização do efluente em estudo.

### 2.2.1 Características físicas

Para caracterização dos parâmetros físicos importantes neste estudo, inclui-se principalmente a distribuição e o tamanho das partículas presentes no efluente, estas são analisadas através da turbidez, cor, absorvância, temperatura, condutividade, matéria sólida (METCALF; EDDY, 2003).

#### 2.2.1.1 Absorvância

A Absorvância (Abs) pode ser definida como a atenuação que um feixe de luz sofre ao passa por uma solução absorvente, constituindo então uma proporcionalidade devido à concentração de uma espécie absorvente e o caminho óptico percorrido. Apresentado ainda, uma proporcionalidade inversa com a transmitância, ou seja, quando a absorvância de uma solução aumenta, a transmitância diminui (SKOOG et al., 2006).

As principais características de águas residuais que afetam a porcentagem de transmissão incluem compostos inorgânicos e orgânicos, assim como Sólidos Suspensos Totais (SST). A redução da transmitância atribui-se à presença de substâncias húmicas, Sólidos Suspensos (SS), aglomerados bacterianos e outros compostos orgânicos a partir de fluxos de águas. Dos compostos inorgânicos que podem afetar a transmissão, o ferro é considerado o

mais importante no que diz respeito à absorção de Ultravioleta (UV) (METCALF; EDDY, 2003).

#### 2.2.1.2 Cor

A cor pode ser definida como a capacidade de absorver radiação dentro do espectro visível. Podendo ser subdividida em cor aparente, quando as substâncias estão dissolvidas no meio e que pode estar inclusa uma parcela devido a turbidez, ou cor verdadeira, quando a matéria se encontra em suspensão e a parcela de turbidez é removida por centrifugação. Servindo assim como indicativo do grau de poluição das águas (RICHTER, 2009; VON SPERLING, 2005).

Em geral, a cor em águas naturais surge a partir da presença de Matéria Orgânica (MO), devido a decomposição de plantas e animais e também por substâncias inorgânicas ou orgânicas dissolvidas ou em condições coloidais (DI BERNARDO; DANTAS 2005). Ou ainda, devido a ação antropogênica resultante de resíduos industriais (tintura, tecelagem, produção de papel) e esgoto de origem domiciliar (VON SPERLING, 2005).

Segundo Metcalf; Eddy (2003), águas residuais normalmente apresentam coloração castanho-acinzentada clara. No entanto, a idade desses efluentes pode determinar a sua cor e odor. Pois, à medida que o tempo de escoamento no sistema aumenta, proporciona condições anaeróbias e com isso a coloração das águas residuais muda, podendo ficar bem escuras.

#### 2.2.1.3 Temperatura

A temperatura, conceitualmente é uma medida de intensidade de calor, pode ter origem natural ou antrópica, sendo causada devido a radiação solar ou a despejos industriais. Contudo, apresenta-se com significativa importância para diversos tratamentos, devido ao fato, que o aumento da temperatura, favoreça a taxa de reações físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

A temperatura sintetiza o fenômeno de transferência de calor à massa líquida (LIBÂNIO, 2010), sendo de grande importância, pois afeta diversos outros fenômenos que estão diretamente ligados com o tratamento de águas e efluentes, tais como: à solubilidade das substâncias, à velocidade ou taxa de diversas reações, diminuição da solubilidade de gases e à diminuição da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) com o aumento da temperatura, entre

outros fatores referidos por (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

#### 2.2.1.4 Turbidez

Consiste em uma característica física, a turbidez atribui a água uma aparência turva, devido a presença de partículas suspensas. Podendo ser definida como, o grau de interferência que os sólidos suspensos na água causam na passagem de um feixe de luz, proveniente da presença de compostos tóxicos e organismos patogênicos (VON SPERLING, 2005). Assim, servindo como indicativo das características de águas naturais, bem como, as descargas de efluentes industriais (METCALF; EDDY, 2003).

Em águas naturais (rios superficiais) a turbidez encontra-se na faixa de 3 a 500 uT. Além das origens naturais (precipitação, diluição, etc.), a turbidez da água pode ser causada por lançamento de esgotos domésticos ou industriais e também em função de práticas agrícolas muitas vezes inadequadas (LIBÂNIO, 2010).

Não há relação entre a turbidez e a concentração de SST em águas residuais não tratadas (METCALF; EDDY, 2003). Entretanto, pode ser utilizada como uma medida indireta da quantidade de sólidos em suspensão no controle de tratamento de águas (RICHTER, 2009).

#### 2.2.1.5 Matéria sólida em suspensão

Considerada por Metcalf; Eddy (2003), como uma das características físicas mais importantes presentes em águas residuais. Ainda que o esgoto contenha uma parcela pequena de sólidos, este após ser separado poderá conceber uma quantidade elevada, de difícil destinação final, com efeitos ambientais plausíveis (JORDÃO; PESSÔA, 2011). Em função do seu conteúdo total de sólidos, ser composto de matéria flutuante, solúvel, coloidal e em solução (METCALF; EDDY, 2003).

##### 2.2.1.5.1 Sólidos suspensos totais

A presença de sólidos em águas residuais, podem influenciar diversos parâmetros físicos e químicos, como por exemplo a turbidez, absorvância, condutividade e OD dessas águas, pois, estes estão diretamente atrelados a distribuição e o tamanho das partículas presentes no efluente.

Além disso, a matéria sólida suspensa influencia diretamente a entrada de luz, com isso, baixando os valores de saturação de OD (METCALF; EDDY, 2003; NUVOLARI et al., 2011).

Constitui a porção dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de papel com tamanhos de poro nominais variando de 0,45 µm a cerca de 2,0 µm. Subdividido entre Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Sólidos Suspensos Fixos (SSF) (VON SPERLING, 2005).

Geralmente, pressupõe-se que os sólidos voláteis são componentes orgânicos dos sólidos em suspensão, embora algumas MO não incinerem e alguns sólidos inorgânicos despedacem a altas temperaturas. Com isso, define-se que material volátil pode ser volatilizado e queimado quando incinerado a 500 °C. Já os resíduos que permanecem após a incineração de uma amostra compreendem os sólidos fixos (METCALF; EDDY, 2003).

#### *2.2.1.5.2 Sólidos suspensos sedimentáveis*

Define-se por matéria em suspensão, o que pode ser removido por processos de sedimentação, devido as maiores dimensões das partículas e densidade superior à da MO, que apresentam sedimentação mais lenta e permanece em suspensão no efluente. Tendo como exemplo os grãos de areia, que podem ser removidos em tratamento primário (VON SPERLING, 2005).

Compondo-se de um indicativo da capacidade de sedimentação da matéria sólida, sendo assim, apresentado como um outro fator de interesse, para o controle na operação de Estação de Tratamento de Efluente (ETE), bem como na avaliação de qualidade do efluente à ser lançado em corpos hídricos receptores (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

### **2.2.2 Características químicas**

De acordo com Jordão; Pessoa (2011), as características químicas podem ser subdivididas em matéria orgânica e inorgânica. Formados principalmente por proteínas, carboidratos gorduras, óleos, uréia, surfactantes, fenóis e pesticidas, sendo estes quatro últimos típicos de despejos industriais.

### 2.2.2.1 Potencial de Hidrogeniônico

O pH indica a concentração de íons de hidrogênio, sendo um parâmetro importante para o controle operacional em ETE, conduzindo a um indicativo sobre as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade (JORDÃO; PESSÔA, 2011; VON SPERLING, 2005).

A acidez e a alcalinidade são parâmetros que indicam a capacidade de tamponamento em uma solução, ou seja, a capacidade que o efluente tem de resistir às mudanças bruscas de pH. Estando a acidez correlacionada à presença de gás carbônico, e a alcalinidade com carbonatos e hidróxidos que podem estar presentes na solução (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O pH poderá interferir na solubilidade, acarretando implicações na distribuição de compostos químicos, deste modo, influenciando também na toxicidade de diversas substâncias presentes em águas (LIBÂNIO, 2010).

### 2.2.2.2 Teor de Óleos e Graxas

Os óleos e graxas são compostos de álcool ou glicerol com ácidos graxos. Os glicerídeos que são líquidos à temperatura ambiente são chamados óleos e aqueles que são sólidos são chamados graxas (METCALF; EDDY, 2003).

Óleos e as graxas em águas residuais são determinados através da extração de uma amostra devido a solubilização em hexanos (METCALF; EDDY, 2003; VON SPERLING, 2005). Presentes nos esgotos são originários da preparação de alimentos e utilização de sabões, assim como, na forma de óleos minerais derivados do petróleo, tendo como origem principalmente postos de gasolina e indústrias (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Estes óleos minerais chegam às vezes aos esgotos em volume considerável, podendo chegar a uma porção ainda maior do que gorduras, óleos e sabões. Em sua maior parte, flutuam no esgoto, embora uma porção decante juntamente com o lodo devido ao arraste de sedimentos. Os fragmentos podem interferir na ação biológica e causam problemas de manutenção, pois, os óleos minerais tendem a revestir as superfícies (METCALF; EDDY, 2003).

### 2.2.2.3 Oxigênio dissolvido

A concentração de OD é um dos parâmetros mais importante para verificação da qualidade de um ambiente aquático (LIBÂNIO, 2010), visto que, o teor de oxigênio permite



avaliar o grau de poluição de um corpo d'água já que este é responsável pela degradação da MO (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A presença de OD em águas residuais é considerado um fator positivo porque impede a formação de odores indesejáveis (METCALF; EDDY, 2003). Constituindo um fator essencial para a estabilização de MO e vital para os seres aquáticos aeróbios (VON SPERLING, 2005).

#### 2.2.2.4 Demanda química de oxigênio

A DQO quantifica o consumo de oxigênio necessário para oxidar compostos orgânicos, biodegradáveis e não biodegradáveis, através de oxidação química. Os resultados obtidos podem indicar o teor de MO presente no efluente (NUVOLARI et al., 2011). Em esgotos domésticos usualmente encontram-se valores de DQO que variam de 200 e 800 mg L<sup>-1</sup>, no entanto para efluentes industriais pode-se obter concentrações ainda maiores (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Dentre as vantagens da análise de DQO, está a rapidez para a obtenção de resultados que serve como indicativo do oxigênio requerido para estabilizar a MO. Contudo, a análise da DQO também apresenta limitações, como por exemplo, oxidar tanto a fração biodegradável quanto a fração inerte, não fornece a taxa de consumo de oxigênio ao longo do tempo e a interferência nos resultados devido a oxidação de certos constituintes inorgânicos (VON SPERLING, 2005).

### 2.3 ELETROFLOCULAÇÃO

Pode-se dizer, que a utilização de coagulação eletroquímica para o tratamento de águas residuais, ou EF, é uma tecnologia relativamente simples, que envolve a utilização de um par de placas metálicas de sacrifício, frequentemente de alumínio ou ferro e energia elétrica, e por meio de reações eletroquímicas gera coagulantes *in situ* (CHEN, 2004; DUBRAWSKI; MOHSENI, 2013).

Além da necessidade de equipamentos simples e de poder ser projetado para capacidades variadas de efluentes, não há necessidade de adição de produtos químicos para esse processo, o que reduz significativamente a probabilidade de geração subprodutos. Com isso, diminuirá a produção de lodo e minimizará a presença de produtos químicos utilizados como coagulantes nos métodos de tratamento de efluentes convencionais (KHANDEGAR; SAROHA, 2013).

A coagulação eletroquímica, dissolve eletricamente os elétrodos de alumínio ou de ferro, em íons  $Al^{n+}$  ou  $Fe^{n+}$  respectivamente, dando origem aos coagulantes. Os íons metálicos são gerados no ânodo e no cátodo ocorre a liberação do gás hidrogênio, o qual é diretamente responsável por proporcionar a flutuação dos colóides formados para a superfície do efluente, sendo esse processo chamado de EF (CHEN, 2004).

Segundo Mollah et al. (2001), a EF pode ser subdividida em três fases:

- i) Formação de coagulantes por oxidação eletrolítica do “elétrodo de sacrifício”;
- ii) A desestabilização dos contaminantes; e
- iii) A agregação das fases desestabilizadas para formar flocos.

Essas interações podem ser visualizadas na Figura 1, a qual representa as reações que ocorrem no interior do reator eletroquímico, tendo como “elétrodo de sacrifício” o alumínio.

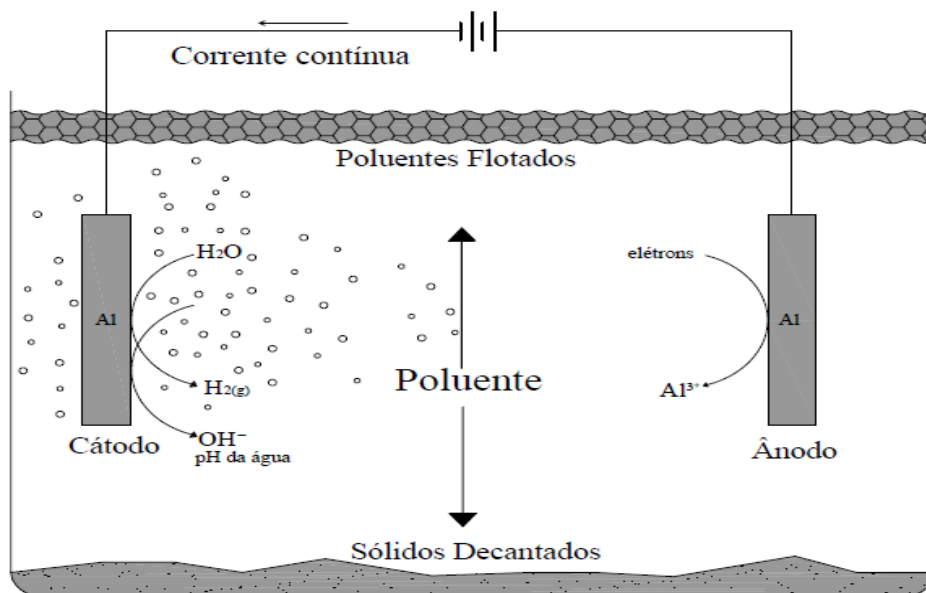


Figura 1 - Reações que ocorrem dentro de um reator de EF

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Mollah et al. (2004).

Com a finalidade de proporcionar ambiente adequado para a formação dos coagulantes, a EF baseia-se em aplicar uma corrente elétrica a um “elétrodo de sacrifício” para gerar o coagulante ( $Al(OH)_3$ ) *in situ*, que possibilita a aglomeração dos colóides e posterior coagulação, floculação e flotação dos compostos a serem removidos (TONES, 2015).

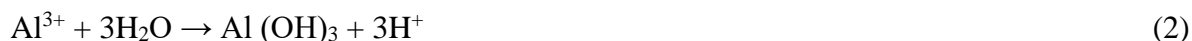
Diferentes espécies iônicas poderão estar presentes no meio, tais como  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al_2(OH)_2^{4+}$  e  $Al(OH)^{4-}$ . Estes complexos de alumínio podem conferir característica gelatinosa ao meio (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2004).

Os mecanismos para a formação do coagulante ocorrem em diferentes etapas, as quais são delineadas por Mollah et al. (2001); Chen (2004); Crespilho; Santana; Rezende (2004):

Inicia-se, com a reação de dissolução eletrolítica do ânodo, onde ocorre a oxidação do alumínio de acordo com a Equação 1.



Através do processo de hidrólise do cátion, forma-se o agente coagulante ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), que ocorre de acordo com a Equação 2, o qual será o responsável pela coagulação dos coloides.



Além da formação do agente coagulante, pode ocorrer a evolução de hidrogênio no cátodo e do oxigênio por processo anódico, que são responsáveis pela flotação de compostos particulados, como pode ser observado nas equações 3 e 4, respectivamente.



Contudo, a coagulação somente será possível se a barreira de energia existente entre os coloides for rompida, pois quando dois coloides se aproximam ocorre a interação das camadas difusas, o que leva à repulsão destas causada por forças eletrostáticas. Para que esta barreira de energia seja rompida deve haver a introdução de um eletrólito, que eleva a concentração de íons da camada difusa, a qual para permanecer eletricamente neutra reduz seu volume, assim provocando aumento de carga da camada difusa. Sendo assim, possível romper essa barreira energética, propiciando a coagulação das espécies envolvidas (CERQUEIRA, 2006).

A diminuição das cargas superficiais acontece por um menor potencial de repulsão da camada elétrica, em função da presença de um eletrólito com carga contrária. A coagulação é provocada pela redução da carga superficial, até ao ponto em que as partículas coloidais podem aproximar-se permitindo a agregação (MOLLAH et al., 2001). Uma vez formadas as partículas, estas vão se agregando fenômeno este que caracteriza a fase de floculação (CERQUEIRA, 2006).

### 2.3.1 Vantagens e limitações da EF

Com base no que é descrito na literatura, são delineadas algumas vantagens e limitações do tratamento de efluentes por EF:

Como principais vantagens da utilização dessa tecnologia pode-se citar: demanda de equipamentos simples e de fácil operação; pode ser controlado de maneira automatizada; processo relativamente rápido e os flocos formados tem maior estabilidade; a EF disponibiliza efluentes com menos sólidos totais dissolvidos, podendo remover partículas menores, pois o campo elétrico aplicado promove o contato entre elas, facilitando a coagulação; além de restringir o uso de substâncias químicas, minimizando impactos negativos; as bolhas de gás produzido durante a eletrólise podem auxiliar na floculação dos coloides para o topo da solução; o pH do efluente após o tratamento com EF tende a neutralidade (MOLLAH et al., 2001; CHEN, 2004).

Como limitações observa-se a necessidade de substituição regular dos eletrodos, caso sofram passivação ou desgaste; o consumo de energia elétrica pode ser dispendioso em algumas regiões; pode haver a formação de um filme óxido impermeável no cátodo, o qual pode reduzir à eficiência da unidade e para condução da corrente elétrica é necessária uma alta condutividade do efluente (MOLLAH et al., 2001; CHEN, 2004; DUBRAWSKI et al., 2013; JOHN et al., 2016).

### 2.3.2 Parâmetros operacionais da EF

São descritos alguns parâmetros referentes a operação do reator de EF, aplicada ao tratamento de efluentes, tendo como respaldo o que é descrito na literatura:

i) Condutividade elétrica (CE): A CE aumenta à medida que a concentração de íons aumenta, pois está é condicionada a concentração de íons em solução (RICHTER, 2009). Com base no valor medido de CE, pode se estimar a concentração de sólidos dissolvidos totais de uma amostra de água. Constituindo-se assim, como um importante indicador de possíveis lançamentos de efluentes domésticos ou industriais (LIBÂNIO, 2010).

Este é um fator essencial para o tratamento de efluentes por EF, uma vez que possibilita a redução do consumo energético. Valores elevados de CE pode ser considerado como um fator positivo, pois assim será maior a capacidade de condução de corrente elétrica e elevará também a probabilidade de ocorrer reações entre as substâncias presentes no efluente (CERQUEIRA, 2006).

ii) Densidade de corrente: A corrente fornecida a um sistema de EF determina a quantidade de íons  $Al^{3+}$  libertados nos elétrodos. Quando uma corrente muito grande é usada, há uma grande chance de desperdiçar energia elétrica no aquecimento da água, além de diminuir significativamente a eficiência de corrente. A seleção da densidade de corrente deve ser feita juntamente com outros parâmetros operacionais, como pH, temperatura e vazão para garantir uma alta eficiência de corrente, para um sistema de EF sugere-se, que a densidade de corrente esteja entre 20 - 25 A / m<sup>2</sup> (CHEN, 2004).

iii) Tempo de tratamento / ou eletrólise: Para melhor eficiência na remoção de cor, turbidez e óleos e graxas, deve-se aumentar a concentração de íons produzidos pelos eletrodos. Sendo que com o aumento do tempo de tratamento, proporciona também um aumento na concentração de íons e seus flocos de hidróxido. Sendo assim, um aumento do tempo de eletrólise provoca um aumento na eficiência de EF (CERQUEIRA; MARQUES, 2011).

Embora o aumento do tempo de operação melhore a eficiência da EF, ele provoca, o aumento da voltagem da célula, maior consumo de energia e dos custos operacionais. Há indicativos que remoção rápida de poluentes foi obtida com densidades de corrente elevadas (KOBYA et al., 2011).

iv) Efeito do pH: Os efeitos do pH no tratamento das águas residuais por EF refletem-se na solubilidade dos hidróxidos metálicos. O tratamento depende da natureza dos poluentes com a melhor remoção de poluentes encontrados próximos do pH neutro. O consumo de energia é, no entanto, maior a pH neutro devido à variação de condutividade. Quando a condutividade é alta, o efeito do pH não é significativo. Outro fator influenciado pelo pH é o tamanho das bolhas, em pH neutro as bolhas de hidrogênio são menores, as bolhas de oxigênio aumentam com o aumento do pH (CHEN, 2004).

Estudo realizado por Kobya et al. (2011), para remoção de arsênico com o processo EF, obteve uma eficiência de 98,9 % para o eletrodo Al a pH 7,0. Os valores de pH antes e após o tratamento EF variaram de 5,8 para 8,4, este aumento do valor de pH foi associado à formação de hidrogênio gasoso no cátodo e íons hidroxila. Foi estabelecido que o pH é um fator operacional importante que influencia o desempenho do processo EF.

v) Distância dos eletrodos: De acordo com Chen (2004), a queda de potencial ôhmico é proporcional à distância entre eletrodos, a redução dessa distância é de grande importância para reduzir o consumo de energia da eletrólise. É útil ressaltar que a voltagem de eletrólise necessária em um processo EF é principalmente a partir da queda de potencial ôhmico da resistência da solução, especialmente quando a condutividade é baixa e a densidade de corrente é alta.

Cerqueira (2006), em estudo realizado para o tratamento de efluentes de indústria têxtil por EF, observou uma tendência do aumento da eficiência para distâncias menores. Entre tanto, o sistema experimental inviabiliza distâncias muito pequenas, pois o efluente contém partículas em suspensão, o que pode levar ao entupimento do mesmo.

### **2.3.3 Processos de EF aplicados ao tratamento de efluentes industriais**

Os problemas ambientais relacionados ao descarte de efluentes, têm se tornado cada vez mais graves, causado principalmente pelo desenvolvimento do setor industrial. Com a intenção de minimizar o nível tóxico e a quantidade de efluentes, novas tecnologias precisam ser desenvolvidas ou aperfeiçoadas, para obter processos de tratamentos mais eficientes.

A tecnologia de coagulação eletroquímica é um processo que tem demonstrado elevado potencial, e vem sendo empregada em diversas pesquisas, para o tratamento de diversos efluentes, que variam desde águas residuais até água potável, os quais encontram-se descritas a seguir.

Observa-se a aplicação do tratamento por EF, para a remoção de arsênio da água potável (KOBYA et al., 2011); tratamento de águas residuais, da indústria de laticínios (MELCHORS et al., 2016); tratamento de águas oleosas, proveniente de indústrias petrolíferas, (CERQUEIRA et al., 2014); purificação de águas residuais geradas a partir de planta de produção de gelatina (KRUTHIKA et al., 2013); na remoção de fosfato e zinco de água de lavagem de revestimento (KOBYA et al. 2010); remoção de Acetamiprida, pesticida de terceira geração (JOHN et al., 2016); além de inúmeros estudos relatados na literatura (CERQUEIRA, 2006; YUKSEL et al., 2011; TONES, 2015) usando EF para o tratamento de efluentes contendo corantes de indústria têxtil.

Sobre as referidas pesquisas, encontra-se especificadas na Tabela 1, as porcentagens de remoções dos parâmetros estabelecidos nos diferentes estudos, para as análises da eficiência do tratamento por EF, considerando os resultados obtidos nas condições otimizadas.

Tabela 1- Eficiências obtidas em tratamentos por EF de efluentes com diferentes características.

<b>Referências</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>% de Remoção</b>	<b>Eletrodo</b>
Koby et al. (2011)	Arsênio	98,9	Al
Melchior et al. (2016)	DQO e turbidez	97,0 e 99,6	Al
Cerqueira et al. (2014)	TOG, cor e turbidez	94, 97 e 99	Al
Kruthika et al. (2013)	COT*	60	Al
Koby et al. (2010)	Fosfato e zinco	97,7 e 97,8 99,8 e 96,7	Fe Al
John et al. (2016)	Partículas de Acetamiprida	97,6	Al
Cerqueira (2006)	DQO, cor e turbidez	70, 81 e 93 61, 95 e 96	Al Fe
Yuksel et al. (2011)	DQO, COT* e turbidez	81, 85 e 93,7	Al
Tones (2015)	Cor	90% corante AT* 89% corante VE*	Al

Notas: COT - Carbono Orgânico Total; AT- Azul Turquesa; VE - Vermelho Escarlata.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Como verificado na literatura a EF é eficaz na remoção de diferentes poluentes, incluindo sólidos suspensos, metais pesados, corantes, material orgânico de águas residuais, além de não requerer quaisquer produtos químicos, o que torna esta tecnologia altamente adequada para tratamento de águas residuais proveniente de diferentes indústrias.

#### 2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICÁVEL

A legislação ambiental tem por finalidade estabelecer limitações quanto a carga poluidora sobre os corpos receptores e o desígnio de regulamentar o descarte de águas residuais no meio ambiente. As normas que regulamentam os limites de descarga de efluente no Brasil, são do âmbito federal, estadual e municipal.

Na esfera federal o CONAMA, a Resolução N° 357 de 2005, institui padrões e condições para o lançamento de efluentes, além disso, classifica e estabelece diretrizes no enquadramento de corpos receptores. Com o intuito de aprimorar a gestão dos recursos hídricos, estabeleceu-se a resolução N° 430 de 2011, que complementa e altera os parâmetros e padrões da resolução N° 357 / 2005.

Considerando o âmbito estadual, tem-se a resolução N° 128 de 2006, do CONSEMA que através do uso de suas atribuições estabelece e fixa padrões para o lançamento de efluente em corpos d'água que estão sobre seus domínios com a intenção de restringir a poluição das águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul e preservar o meio social e ambiental.

Tomando como embasamento legislativo as resoluções referidas anteriormente, pode ser observado na Tabela 2, os parâmetros considerados neste estudo, com os respectivos limites de lançamento de efluentes em corpos hídricos classe II.

Tabela 2 - Padrões para o lançamento de efluentes em corpo hídrico classe II.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resolução 357/2005 do CONAMA</b>	<b>Resolução 430/2011 do CONAMA</b>	<b>Resolução 128/2006 CONSEMA</b>	<b>Unidade</b>
Cor verdadeira	75	NA	-	uC
Oxigênio dissolvido	5*	NA	-	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
Óleos minerais	VA	20	≤ 10	mg L <sup>-1</sup>
Óleos vegetais e Gorduras animais	-	50	≤ 30	mg L <sup>-1</sup>
pH	6,0 a 9,0	5,0 a 9,0	6,0 a 9,0	-
Sólidos suspensos	VA	NA	VA	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos sedimentáveis	-	1,0	≤ 1,0	mg L <sup>-1</sup>
Temperatura	-	< 40	< 40	°C
Turbidez	100	NA	-	UNT

Nota: NA - Não Alterado; VA - Visualmente Ausentes; (\*) não inferior

Fonte: Adaptado, resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 e CONSEMA 128/2006.

Para efluentes líquidos, exceto efluentes domésticos a Resolução N° 128 de 2006 do CONSEMA, estabelece variantes dos padrões de emissão para DQO e Sólidos Suspensos (SS), de acordo com as faixas de vazão, prevista no Art. 20. Conforme denota-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Padrões de emissão para DQO e SS, conforme as faixas de vazão

<b>Faixa de vazão (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>DQO (mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	<b>SS (mg L<sup>-1</sup>)</b>
Q < 20	400	180
20 ≤ Q < 100	360	155
100 ≤ Q < 500	330	125
500 ≤ Q < 1.000	300	100
1.000 ≤ Q < 3.000	260	80
3.000 ≤ Q < 7.000	200	70
7.000 ≤ Q < 10.000	180	60
10.000 ≤ Q	150	50

Nota: Q - Vazão

Fonte: Adaptado da Resolução CONSEMA N° 128 de 2006.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos procedimentos experimentais e análises, foram utilizadas a infraestrutura do Laboratório de Águas e Ecotoxicologia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) campus Cerro Largo / RS.

#### 3.1 AMOSTRA DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA COSMÉTICA

O efluente utilizado na presente pesquisa foi cedido por uma indústria cosmética, localizada a 140 km de Porto Alegre/RS e que está no mercado de produção de cosméticos a mais de 20 anos. A unidade fabril possui mais de 6 mil m<sup>2</sup>, os produtos são comercializados para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, sendo considerada uma indústria de médio porte. Possui um portfólio de mais de 500 itens, que se dividem em produtos para o corpo, cabelo, linha infantil, linha verão e maquiagem.

O efluente foi proveniente de toda a indústria, desde a limpeza dos equipamentos de produção dos produtos, pisos e banheiros. Este efluente é coletado por meio de tubulações/canalizações, e conduzido a uma caixa de fibra de vidro, onde fica armazenado até ser retirado por empresa terceirizada para prover destinação.

Foram coletados desta caixa de armazenamento cerca de 50 L do efluente, o qual armazenou-se em uma bombona de cor escura para não haver incidência de luz e manter as características, durante os processos de análise. As informações técnicas do efluente não foram fornecidas pela empresa, portanto a caracterização que poderá ser observada foi realizada no presente estudo.

#### 3.2 MÓDULO EXPERIMENTAL

Na Figura 2 pode-se observar o sistema piloto, onde ocorreram as reações de EF, formado por um reator em escala laboratorial, com agitação magnética, sob temperatura ambiente. O reator era composto por uma fonte de alimentação de energia elétrica (EA-PS3016-20B), um béquer com capacidade de 1 L, um par de eletrodos de alumínio, com dimensões de 5 x 10 cm, e um agitador magnético (Centauro, modelo CAMA - 15).

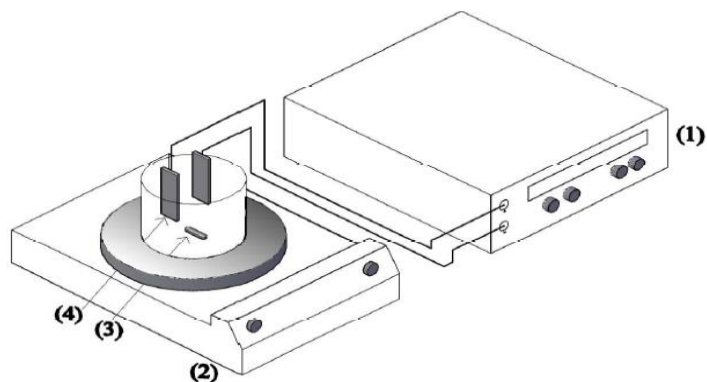


Figura 2 - Módulo Experimental

Nota: 1) fonte de alimentação; 2) agitador magnético; 3) barra magnética; 4) eletrodos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se para esse experimento um volume de efluente de 500 mL à uma agitação de 600 RPM. Como eletrodos de sacrifício, utilizou-se um par de eletrodos de alumínio com área submersa no efluente de 25 cm<sup>2</sup>, isolados eletricamente a distância de 1 cm conforme a Figura 3.

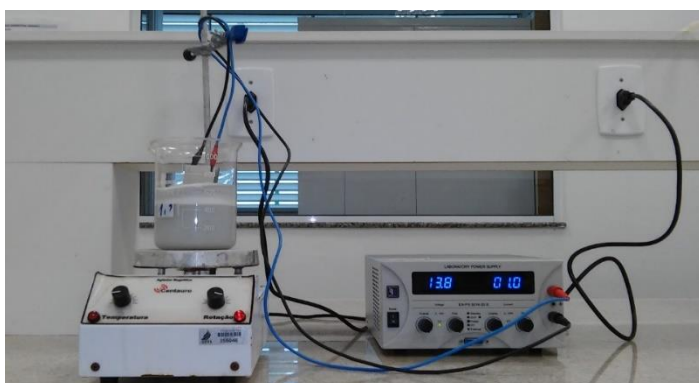


Figura 3 - Sistema piloto EF

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O tempo de estabilização da solução eletrofloculada, para posterior coleta da alíquota e realização das análises físico-químicas foi fixado em 30 min, adotando-se este tempo em todas as amostras estudadas.

A condutividade do efluente foi ajustada utilizando o Cloreto de Sódio (NaCl) para que a variável corrente (i), proposta no planejamento experimental pudesse ser alcançada. A adição variou de acordo com a necessidade de cada ensaio (Quadro 1). A concentração máxima utilizada de NaCl corresponde a 3,100 g.

### 3.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental fatorial é normalmente utilizado quando há um número amplo de fatores a serem avaliados almejando-se estimar as condições desejadas, com tempo e custo menores, ou seja, com menor número de ensaios fez-se possível avaliar os efeitos destes fatores sobre as variáveis respostas. Com a intenção de obter as condições otimizadas (tempo de tratamento e corrente elétrica), utilizou-se então o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) (ROGRIGUES; LEMMA, 2009; GOBBI, 2013).

Os resultados obtidos foram analisados de modo a conseguir modelos empíricos em função dos fatores estudados, com a finalidade de alcançar as variáveis-resposta. Tendo como objetivo a remoção dos parâmetros DQO, turbidez, cor aparente e absorvância em função dos parâmetros operacionais, corrente elétrica (i) e tempo de tratamento (t) na EF, realizou-se um planejamento fatorial completo  $2^2$ , incluindo 4 pontos axiais e 4 repetições no ponto central, totalizando 12 ensaios de EF (ROGRIGUES; LEMMA, 2009).

A eficiência da EF foi baseada na remoção de DQO, turbidez, cor aparente e absorvância. Na Equação 5, tem-se o modelo geral para remoção destes parâmetros. Em que:  $X_1$  e  $X_2$  são as variáveis codificadas,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os parâmetros do modelo de regressão e  $\varepsilon$  representa o erro experimental (ROGRIGUES; LEMMA, 2009).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1 X_1 + \beta_{22} X_2 X_2 + \varepsilon \quad (5)$$

A matriz do delineamento experimental está representada na Quadro 1.

Quadro 1 - Matriz do DCCR

Pontos	Ensaio	$X_1$	i (A)	$X_2$	t (min)
Fatoriais	1	1	4	1	35
	2	1	4	-1	10
	3	-1	1	1	35
	4	-1	1	-1	10
Centrais	5	0	2,5	0	22,5
	6	0	2,5	0	22,5
	7	0	2,5	0	22,5
	8	0	2,5	0	22,5
Axiais	9	1,41	4,6	0	22,5
	10	-1,41	0,39	0	22,5
	11	0	2,5	1,41	40,1
	12	0	2,5	-1,41	4,9

Nota:  $X_1$  e  $X_2$  - variáveis codificadas; i - corrente elétrica aplicada; t - tempo de tratamento

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Observa-se na Tabela 4 os valores codificados das variáveis independentes. É importante salientar que os valores das variáveis independentes foram definidos a partir de testes preliminares com o efluente de indústria cosmética.

Tabela 4 - Níveis estudados para as variáveis independentes da matriz

<b>Variável independente</b>	<b>Código</b>	<b>-1,41</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1,41</b>
Intensidade de Corrente (A)	X <sub>1</sub>	0,39	1	2,5	4	4,6
Tempo (min)	X <sub>2</sub>	4,9	10	22,5	35	40,1

Nota: X<sub>1</sub> e X<sub>2</sub> - variáveis codificadas

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Por meio da análise estatística dos resultados foi possível obter as condições otimizadas de tratamento, o qual relaciona à remoção dos parâmetros de interesse com as variáveis corrente elétrica e tempo de tratamento aplicados na EF.

A tabulação dos dados, a análise de variância (ANOVA) e as representações gráficas dos resultados foram realizadas por meio do *software* Microsoft Excel 2013 e *Statistic*® 11, que possibilitaram, por exemplo, a obtenção da superfície de resposta para definição da região otimizada de tratamento e análise quantitativa e qualitativa dos dados experimentais.

#### 3.5.1 Função de desejabilidade

Como o estudo de desejabilidade obtém-se os valores operacionais ótimos das variáveis independentes, tempo de tratamento e intensidade de corrente, em função de quatro variáveis respostas (% de remoção DQO, turbidez, cor aparente e Absorbância), que satisfaz simultaneamente todos os requisitos necessários. No *software* *Statistic*® 11, utiliza a abordagem da função *Desirability* (Desejabilidade). Com essa função, a otimização simultânea de todas as variáveis-resposta maximiza-se num único valor, denominado de desejabilidade global.

### 3.6 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA COSMÉTICA

Para a caracterização inicial do efluente não tratado de indústria cosmética, denominado como efluente bruto, foram analisados diversos parâmetros físico-químicos, seguindo a

*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* da American Public Health Association (APHA, 2005), conforme pode-se observar na Tabela 5. Todas as análises foram realizadas em duplicata e seguindo as metodologias referidas para cada parâmetro delineados a seguir.

Tabela 5 - Métodos analíticos utilizados para quantificar os parâmetros físico-químicos estudados

<b>Parâmetro</b>	<b>Referência metodológica</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Unidade</b>
Absorbância 200 à 400 nm	5910 B APHA (2005)	Espectrofotômetro UV-Visível - Evolution 201	uA
Condutividade	2510 B APHA (2005)	Digmed - DM 32	mS cm <sup>-1</sup>
Cor aparente	2120 B APHA (2005)	Del Lab - DLA-COR	uC
DQO	5210 B APHA (2005)	-	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
Óleos e graxas	5520 D APHA (2005)	-	mg L <sup>-1</sup>
Oxigênio dissolvido	4500 G APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus	mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
pH	2310 e 2320 APHA (2005)	MS Tecnoyon - mPA 210	-
Sólidos suspensos	2540 E APHA (2005)	-	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos sedimentáveis	2540 F APHA (2005)	Cone de imhoff	mg L <sup>-1</sup>
Temperatura	2550 B APHA (2005)	Termômetro	°C
Turbidez	2130 B APHA (2005)	MS Tecnoyon - TB 1000P	UNT

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Esses parâmetros foram novamente analisados após o tratamento do efluente nas condições otimizadas de tempo de tratamento e corrente elétrica, com o intuito de avaliar a eficiência do tratamento na remoção ou redução de cada parâmetro em estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item encontram-se discutido os resultados obtidos no estudo, acerca da caracterização do efluente bruto proveniente de indústria cosmética e os resultados referentes às análises estatísticas, objetivando obter a região otimizada de tratamento por meio da função desejabilidade, bem como a eficiência do tratamento por EF, com a utilização de eletrodo de alumínio.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

As análises foram realizadas com o intuito de caracterizar a amostra do efluente proveniente da produção de cosmético. Na Tabela 6 observa-se todos os dados obtidos em laboratório referentes aos parâmetros submetidos à análise.

Tabela 6 - Caracterização do efluente bruto de indústria cosmética

<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>	<b>Unidades</b>
Temperatura	25,90 ± 0,08	°C
Cor Aparente	8.989,25 ± 7,83	uC
Turbidez	818,67 ± 0,94	UNT
pH	5,38 ± 0,02	-
Condutividade	2,92 ± 0,01	mS cm <sup>-1</sup>
OD	1,78 ± 0,22	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
DQO	1.042,19 ± 43,70	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos sedimentáveis	0,09 ± 0,01	mL L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos totais	21,67 ± 2,36	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos fixos	13,33 ± 2,36	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos voláteis	8,33 ± 2,36	mg L <sup>-1</sup>
TOG	57,00 ± 3,00	mg L <sup>-1</sup>
Abs a 350 nm	0,568 ± 0,003	uA
Abs a 254 nm	0,238 ± 0,005	uA

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Conforme observado na Tabela 6 para os parâmetros temperatura e pH, obteve-se valor médio de 25,90 ± 0,08 °C e 5,38 ± 0,02, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 430/2011, que estipulam os valores para temperatura menor que 40°C e pH de 5,0 a 9,0. Na Resolução CONSEMA N° 128/2006 o pH deve estar na faixa de 6,0 a 9,0. Desse modo, está em desacordo com a legislação do estado do Rio Grande do Sul, a qual estipula os valores máximos permissíveis para diluição de águas residuais em corpos d'água.

Na pesquisa de Melo et al. (2013), sobre a avaliação da toxicidade de efluentes da indústria de cosméticos, o pH do efluente foi de 5,5, valor este bem próximo ao obtido neste trabalho.

As águas residuais originárias da produção de cosmético, caracterizou-se por uma cor aparente elevada,  $8.989,25 \pm 7,83$  uC, a qual encontra-se significativamente acima dos limites estabelecidos pela Resolução do CONAMA Nº 357 / 2005 que estabelece um valor máximo de 75 uC, indicando a necessidade de tratamento adequado do efluente para lançamento em corpo hídrico.

Outra característica do efluente em estudo foi a análise de turbidez, que apresentou valor de  $818,67 \pm 0,94$  UNT, aproximadamente oito vezes acima do que é estabelecido em normativa nacional. De acordo com artigo de Boroski et al. (2009), sobre a combinação de eletrocoagulação e tratamento com foto-auxiliar de  $\text{TiO}_2$  aplicado a efluentes residuais de indústrias farmacêuticas e cosméticas, a caracterização da amostra original obteve um valor médio de turbidez de 25,50 UNT.

Com relação à condutividade do efluente, o valor obtido foi de  $2,92 \pm 0,01$  mS  $\text{cm}^{-1}$ . A condutividade não é um parâmetro controlado pela legislação, contudo serve de medida indireta de ambientes impactados, podendo representar um indicativo da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a  $0,10$  mS  $\text{cm}^{-1}$  indicam ambientes impactados (CETESB, 2009). Entretanto, este é um fator que pode ser considerado positivo para o tratamento de efluentes por EF, pois será maior a condução de corrente elétrica, elevará probabilidade de reações entre as substâncias e reduzirá o consumo de energia elétrica (CERQUEIRA, 2006).

Friha et al. 2014 obteve um valor de condutividade de  $2,61$  mS  $\text{cm}^{-1}$ , bem próximo ao valor do efluente em estudo. Boroski et al. (2009), no estudo citado anteriormente obteve uma condutividade de  $20$  mS  $\text{cm}^{-1}$ . Bautista et al. (2007), com o estudo sobre a aplicação de oxidação de Fenton de tratamento de águas residuais cosméticas, alcançou na caracterização do efluente uma condutividade de  $1495$  mS  $\text{cm}^{-1}$ .

Com relação a concentração de OD teve-se como resultado  $1,78 \pm 0,22$  mg  $\text{O}_2$   $\text{L}^{-1}$  e DQO de  $1.042,19 \pm 43,70$  mg  $\text{O}_2$   $\text{L}^{-1}$ . No estudo proposto por Boroski et al., (2009), os valores de OD e DQO foram de 8,10 e 1.753 mg  $\text{O}_2$   $\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Bautista et al., (2007) obteve DQO de 2.720 mg  $\text{O}_2$   $\text{L}^{-1}$ .

Os valores de OD e DQO encontram-se fora dos padrões de lançamento de efluente, estabelecidos em normativas nacionais e estadual, o que indica a necessidade de um tratamento adequado para posterior lançamento em corpo hídrico receptor, visto que os altos valores de

DQO no efluente bruto de indústria cosmética pode ser indicativo de elevado teor de MO (VON SPERLING, 2005; NUVOLARI et al., 2011; CHIN, 2013).

Conforme observa-se na Tabela 6, a série de sólidos também foi determinada, pois sua presença em águas residuais pode influenciar vários parâmetros, como turbidez, absorvância, condutividade e OD, pois estes parâmetros estão diretamente atrelados ao tamanho e a distribuição das partículas presentes no efluente (METCALF; EDDY, 2003; NUVOLARI et al., 2011).

Em relação a presença de Sólidos Suspensos Sedimentáveis (SSed) no efluente de indústria cosmética, o resultado obtido foi de  $0,09 \pm 0,01 \text{ mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , representando a porção que pode ser removida por processos de sedimentação, devido as maiores dimensões e densidade da matéria particulada. Quando a porção de SSed é pequena as partículas permanecem em suspensão no efluente (VON SPERLING, 2005), sendo necessário a aplicação de tratamento que proporciona a aglomeração destas partículas e facilite a sedimentação. No estudo realizado por Melo et al. (2013), este parâmetro foi considerado como visualmente ausente.

Para a presença dos SST obteve-se valor médio  $21,67 \pm 2,36 \text{ mg L}^{-1}$ . Na caracterização do efluente de indústria cosmética realizado por Bautista et al. (2007), o resultado para SST foi de  $38 \text{ mg L}^{-1}$ . Contudo para Melo et al. (2013) o valor foi de  $858 \text{ mg L}^{-1}$  e para Puyol et al. (2011) a concentração obtida ficou entre  $1.570$  e  $1.800 \text{ mg L}^{-1}$ . Com relação aos SSF o resultado obtido foi de  $13,33 \pm 2,36 \text{ mg L}^{-1}$  e  $8,33 \pm 2,36 \text{ mg L}^{-1}$  para os SSV. Valores superiores foram encontrados no estudo de Puyol et al. (2011) que obteve para os SSV valores entre  $1300$  e  $1555 \text{ mg L}^{-1}$ .

Na avaliação dos óleos e graxas do efluente bruto, obteve-se  $57,00 \pm 3,00 \text{ mg L}^{-1}$ , estando acima dos valores estabelecidos nas normativas, tanto no âmbito federal quanto no âmbito estadual, que estipulam valor máximo de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  e  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , para óleos minerais e  $50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $30 \text{ mg L}^{-1}$ , para óleos vegetais e animais, respectivamente. Comparando-se aos resultados obtidos por Bautista et al. (2007) na caracterização de efluente de indústria cosmética, com TOG de  $25 \text{ mg L}^{-1}$ . Puyol et al. (2011) obteve valor de  $1.420 \text{ mg L}^{-1}$  bem acima do encontrado no presente estudo.

As disparidades de valores obtidos e confrontados a outros estudos podem estar relacionadas as diferentes matérias-primas utilizadas, devido a diversos produtos fabricados e ao volume de água utilizado na fabricação dos produtos e na limpeza dos equipamentos (FRIHA et al., 2014; ABIHPEC, 2012; GTA, 2015). Visto que embora os efluentes sejam de indústria cosmética, estas possuem diferentes características de produção.



Analisando a absorvância no comprimento de onda de 350 nm, onde segundo Boroski et al. (2009), os grupos aromáticos conjugados absorvem, obteve-se uma absorbância de  $0,568 \pm 0,003$  uA. Para o comprimento de onda de 254 nm, onde segundo Skoog et al. (2006), muitos grupos funcionais orgânicos absorvem, teve-se uma absorbância de  $0,238 \pm 0,005$ , conforme descrito na Tabela 6. Sendo a absorbância uma característica que pode ser influenciada devido a presença de compostos inorgânicos e orgânicos, assim como SST (METCALF; EDDY, 2003).

## 4.2 APLICAÇÃO DA ELETROFLOCULAÇÃO NO EFLUENTE DE INDÚSTRIA COSMÉTICA

Neste item discutiu-se os resultados obtidos através do planejamento experimental, a análise de variância do modelo previsto, as condições de otimização do processo de EF aplicado ao efluente de indústria cosmética e a validação do modelo proposto.

### 4.2.1 Planejamento experimental e análise estatística

Com a intenção de verificar a eficiência da EF aplicado ao efluente de indústria cosmética, dentro dos intervalos definidos para este estudo por meio do DCCR, analisou-se os parâmetros físico-químicos (DQO, turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm) da solução eletrofloculada. Os resultados da porcentagem de remoção para estes parâmetros podem ser verificados no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros analisados após a EF do efluente de indústria cosmética, utilizando eletrodo de alumínio

Ensaio	Variáveis							
	Codificadas		Independentes		Dependentes (% Remoção)			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	i (A)	t (min)	DQO	turbidez	cor aparente	Abs 350 nm
1	1	1	4	35	57,66 ± 0,05	90,27 ± 0,58	97,37 ± 1,77	94,54 ± 0,00
2	1	-1	4	10	68,43 ± 0,02	92,51 ± 0,58	96,37 ± 1,95	93,37 ± 0,00
3	-1	1	1	35	61,49 ± 0,03	63,84 ± 1,00	81,71 ± 5,20	76,83 ± 0,00
4	-1	-1	1	10	40,48 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
5	0	0	2,5	22,5	61,14 ± 0,02	94,71 ± 0,58	97,80 ± 2,16	96,77 ± 0,00
6	0	0	2,5	22,5	62,86 ± 0,05	94,46 ± 1,15	97,20 ± 6,68	95,89 ± 0,00
7	0	0	2,5	22,5	61,78 ± 0,02	95,36 ± 0,00	97,51 ± 1,70	96,83 ± 0,00
8	0	0	2,5	22,5	62,93 ± 0,00	95,19 ± 0,58	97,76 ± 6,33	96,19 ± 0,00
9	1,41	0	4,6	22,5	65,83 ± 0,01	87,41 ± 0,00	97,17 ± 1,44	93,37 ± 0,00
10	-1,41	0	0,39	22,5	36,47 ± 0,08	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
11	0	1,41	2,5	40,1	69,63 ± 0,02	85,91 ± 2,31	90,87 ± 30,41	95,25 ± 0,00
12	0	-1,41	2,5	4,9	49,62 ± 0,02	0,00 ± 1,53	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Na análise dos experimentos, verificou-se que para a remoção de DQO os melhores resultados encontram-se nos ensaios 2 e 11 (68,427 % e 69,626 %, respectivamente). No diagnóstico simultâneo dos experimentos, verifica-se que as maiores porcentagens de remoção ocorreram nos pontos centrais (ensaios 5, 6, 7 e 8) com remoção de DQO acima de 60 %, com variação de 36 % a 69 % para os demais ensaios da matriz e remoção acima de 94 % para os demais parâmetros comprovando a eficiência da EF no tratamento do efluente de indústria cosmética para às variáveis respostas analisadas.

Importante salientar que não houve remoção dos parâmetros de cor, turbidez e Abs, nos ensaios em que foram aplicados baixo tempo de tratamento (10 min) e baixa corrente (1 A) conforme ensaio 4; baixa corrente (0,39 A) e tempo de tratamento médio (22,5 min) conforme ensaio 10, bem como corrente média (2,5 A) e tempo de tratamento baixo (4,9 min), verificado no ensaio 12.

Os valores do pH final do efluente atendem ao que estabelece a Resolução CONAMA Nº 430 de 2011, exceto para o ensaio 1, que apresentou pH acima do que determina esta resolução, podendo estar relacionado ao maior tempo de tratamento (35 min) e corrente elétrica (4 A) utilizados. Para os demais ensaios o valor médio de pH foi de  $6,90 \pm 1,36$ , tendendo a neutralidade.

Com relação à condutividade, esta apresentou valores médios elevados ao final do tratamento, variando de  $2.743,67 \pm 293,63 \text{ mS cm}^{-1}$  para correntes menores que 1 A, e  $13.423,67 \pm 2.999,51 \text{ mS cm}^{-1}$  para correntes maiores que 4 A, para a corrente de 2,5 A à

condutividade final média foi de  $8.713,50 \pm 663,33 \text{ mS cm}^{-1}$ . Esta variação na condutividade final do efluente tratado deve-se a necessidade de acrescentar Cloreto de Sódio (NaCl) para aumentar a condutividade do efluente a ser tratado possibilitando o ajuste da corrente elétrica proposta na matriz do DCCR.

Realizou-se o teste da análise de variância (ANOVA) do modelo previsto para a porcentagem de remoção da DQO, turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm. Com a finalidade de validar o ajuste do modelo proposto pelos resultados obtidos, verificou-se os efeitos das variáveis, tempo de tratamento e corrente elétrica aplicada, por meio do gráfico de Pareto, ilustrado na Figura 4, para cada parâmetro analisado.

O gráfico de Pareto representa o nível de significância, ou seja, se os resultados foram estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95 % ( $p \geq 0,05$ ), representado pela linha vermelha. O sentido horizontal das barras representa os efeitos da interação entre as variáveis dependentes (DQO, turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm) e as variáveis independentes (tempo e corrente) em termos lineares (L) e quadráticos (Q).

Os valores exibidos ao lado das barras indicam o tamanho do efeito. Se o sinal do efeito for positivo, indica um aumento na remoção dos parâmetros dependentes, e os valores negativos indicam uma diminuição nesta remoção.

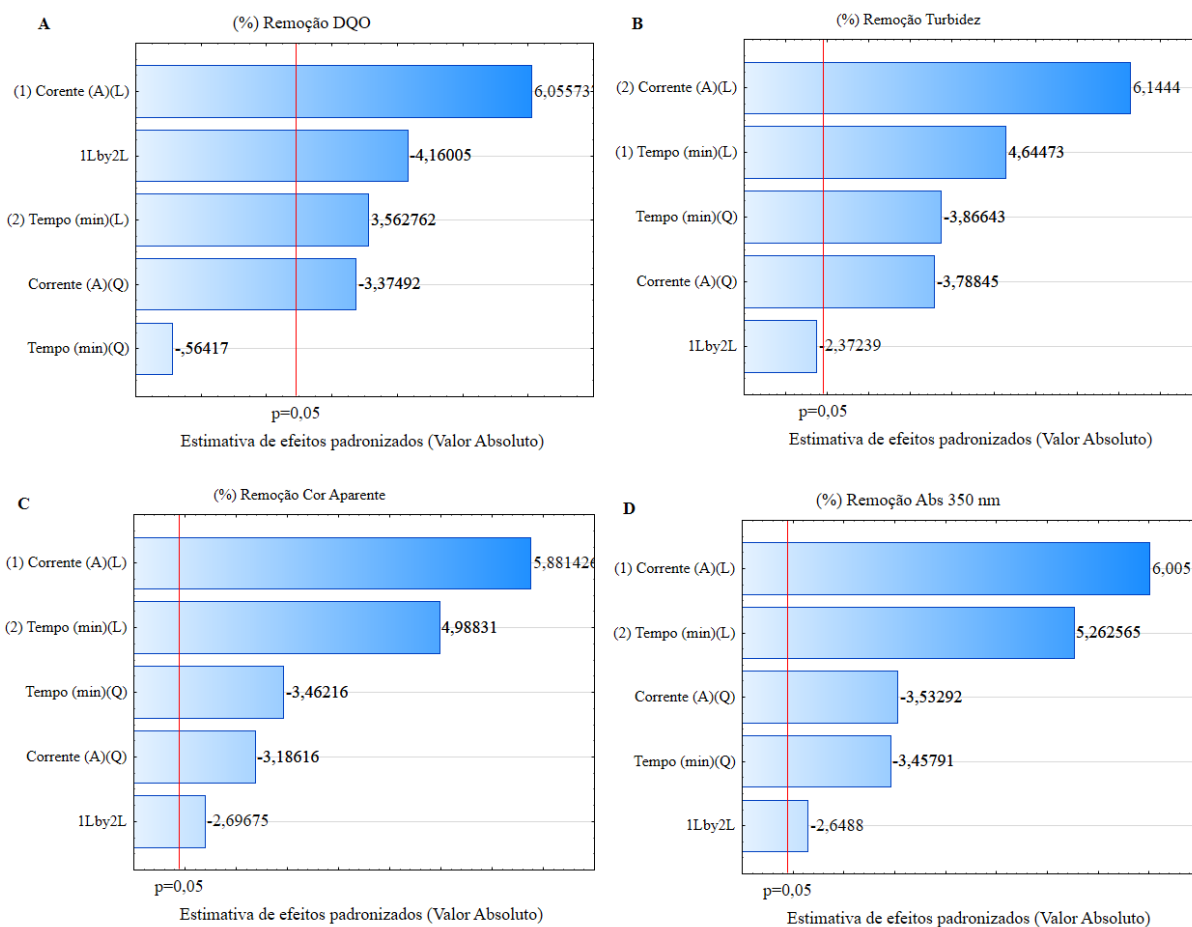


Figura 4 - Diagrama para DQO (a); Turbidez (b); Cor aparente (c); Abs a 350 nm (d)  
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Percebe-se na Figura 4 (a), que avalia o nível de significância do modelo para a remoção de DQO, que apenas o termo quadrático tempo (min) mostrou-se abaixo do nível de significância de 95 % ( $p < 0,05$ ). Os outros termos lineares e quadráticos apresentam-se com um nível de confiança de 95 % ( $p \geq 0,05$ ), o que expressa que os parâmetros e interações tem influências significativas sobre as variáveis respostas.

Para os outros parâmetros representados na Figura 5 (turbidez (b); cor aparente (c); Abs a 350 nm (d)) os termos lineares e quadráticos das variáveis analisadas, tempo de tratamento e corrente, se mostraram estatisticamente significativos no intervalo de 95 % de confiança, havendo interação entre as mesmas. Apenas para turbidez a interação em termos lineares não foi significativa, de acordo com Figura 4 (b).

Tendo como base estatística as análises representadas nos gráficos de Pareto, fez-se novamente o teste ANOVA. A fim de investigar a significância na remoção dos parâmetros em análise, ignorando apenas o termo quadrático tempo (min) para a remoção de DQO, o qual não apresentou um nível de confiança de 95 %.

Embora para a turbidez a interação em termos lineares não tenha sido significativa, esta foi considerada, pois o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8785 ignorando o termo de interação linear, e  $R^2$  foi 0,9373, sem ignorar o termo, logo optou-se em mantê-lo por proporcionar um  $R^2$  maior e um erro experimental menor consequentemente. Os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teste da análise de variância do modelo previsto para a redução DQO, turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm, pelo tratamento com EF ao nível de significância de 95 % ( $p < 0,05$ )

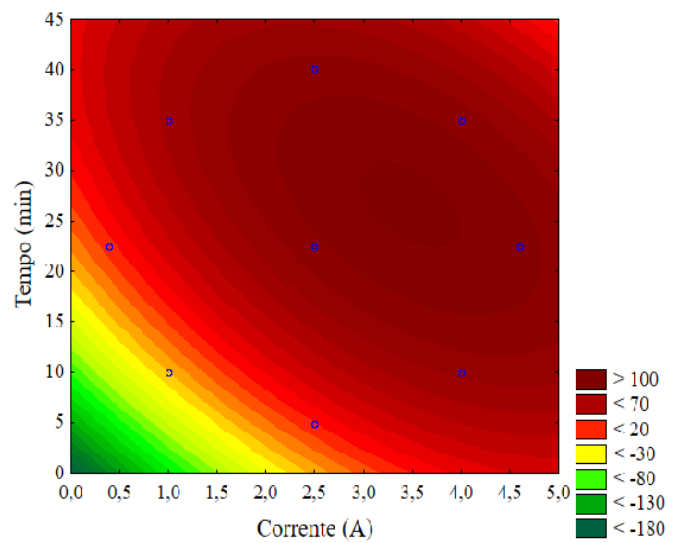
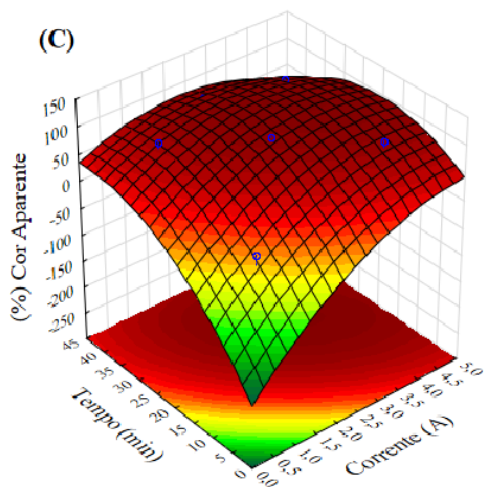
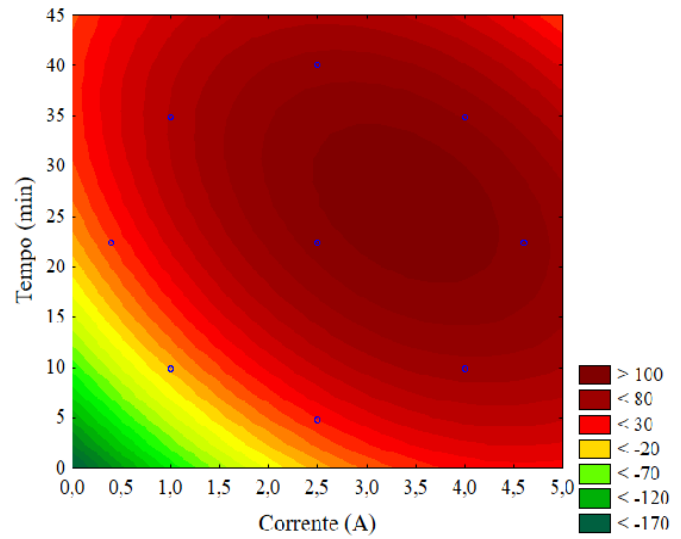
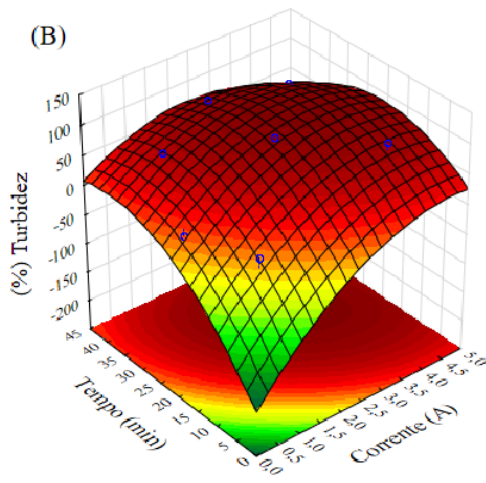
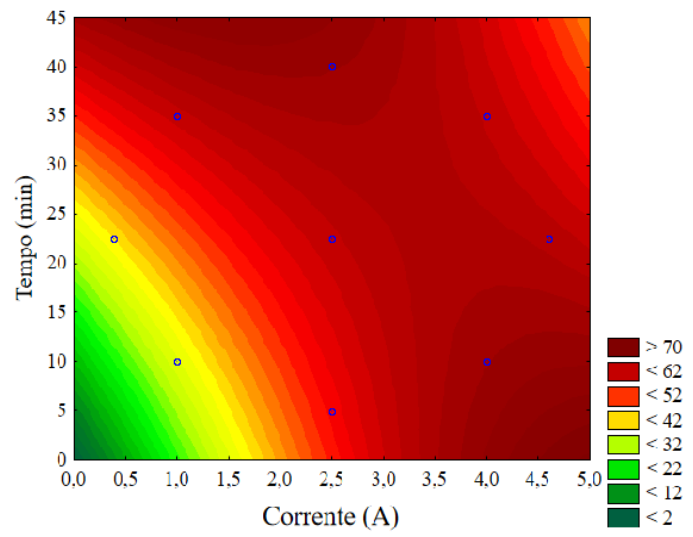
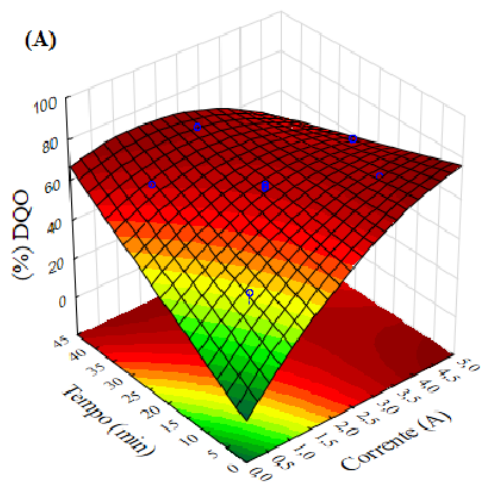
Parâmetro	Modelo quadrático	Soma dos Quadrados	Grau de liberdade	Média dos quadrados	F Cal. / Est.	p-Valor
DQO	Regressão	1.229,793	4	307,448	23,340/4,12	0,000381
	Resíduos	92,206	7	13,172		
	Total	1.321,999	11	-		
Turbidez	Regressão	18.563,134	5	3.712,627	19,140/4,38	0,001259
	Resíduos	1.163,860	6	193,977		
	Total	19.726,994	11	-		
Cor	Regressão	20.479,824	5	4.095,965	18,293/4,38	0,001426
	Resíduos	1.343,477	6	223,913		
	Total	21.823,301	11	-		
Abs a 350 nm	Regressão	19.872,336	4	4.968,084	28,416/4,12	0,000202
	Resíduos	1.223,840	7	174,834		
	Total	21.096,176	11	-		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Verifica-se por meio das informações descritas na Tabela 7, que o p-valor das variáveis independentes, corrente e tempo de tratamento, para todos os parâmetros analisados são significativos a um nível de 95 % de confiança ( $p < 0,05$ ). Esta proposição ainda se confirma pela comprovação da soma da regressão ser maior que a soma dos resíduos para todos os parâmetros em análise.

Além do mais, com o valor de  $F_{cal} > F_{tab}$ , admite-se que o modelo proposto é válido a um nível de significância satisfatório. Com isso, foi possível gerar as superfícies de resposta, bem como a definição da região ideal de tratamento para as variáveis independentes estudadas.

Na Figura 5, observa-se as superfícies de resposta e os perfis de contorno em relação à porcentagem de redução da DQO (a); turbidez (b); cor aparente (c); Abs a 350 nm (d). A partir das análises de superfície de resposta foi possível verificar que as maiores eficiências na remoção dos parâmetros analisados ocorrem quando a solução foi submetida a uma corrente elétrica e tempo de tratamento elevados.



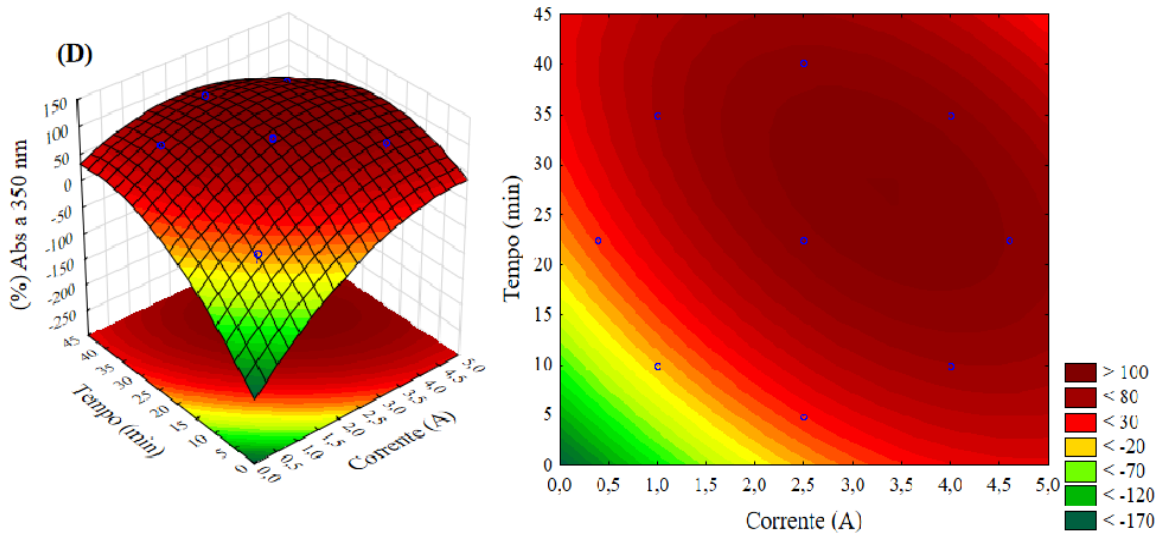


Figura 5 - Superfície de resposta e perfil de contorno em relação à redução da DQO (a); Turbidez (b); Cor aparente (c); Abs a 350 nm (d)  
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Na Figura 6, visualiza-se a faixa ótima de trabalho, pela superposição das curvas de nível para as respostas avaliadas nos ensaios de EF em fluxo batelada. A função desejabilidade forneceu as condições de otimização do processo de EF aplicado ao efluente de indústria cosmética, de modo a proporcionar a máxima remoção simultânea dos parâmetros dependentes DQO, turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm em função do tempo de tratamento e corrente elétrica.

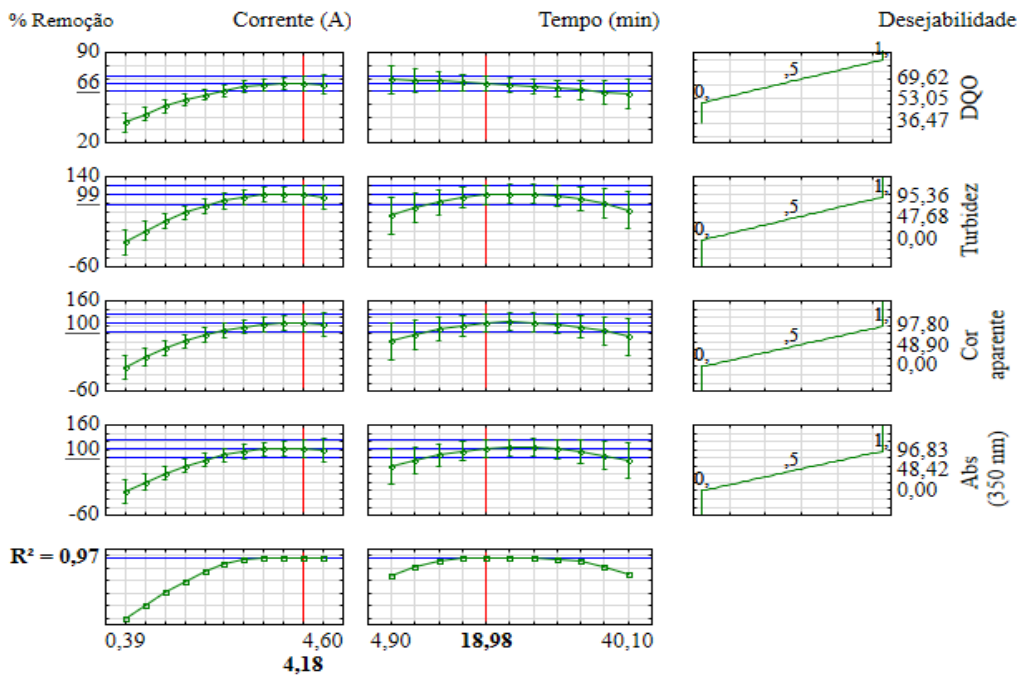


Figura 6 - Gráficos estatísticos para a função desejabilidade global  
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Ao analisar a Figura 6 foi possível apontar as seguintes condições que maximizam a desejabilidade global:

- i) Intensidade de corrente aplicada = 4,18 A; e
- ii) Tempo de EF do efluente proveniente de indústria cosmética = 18,98 min.

A função desejabilidade global obtida foi de 0,97, sendo que quanto mais próximo de 1 mais adequado está o modelo proposto e consequentemente as respostas obtidas (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).

Também se verifica na Figura 6 as porcentagens de Remoções Previstas (RP) pelo modelo, para cada parâmetro analisado, DQO 66 % e remoções acima de 99 % para turbidez, cor aparente e Abs a 350 nm, como pode-se constatar por meio dos valores sublinhados no gráfico de desejabilidade.

Na Figura 7, verifica-se a superfície resposta e o gráficos de contorno, da função desejabilidade global em função da corrente aplicada e do tempo de EF.

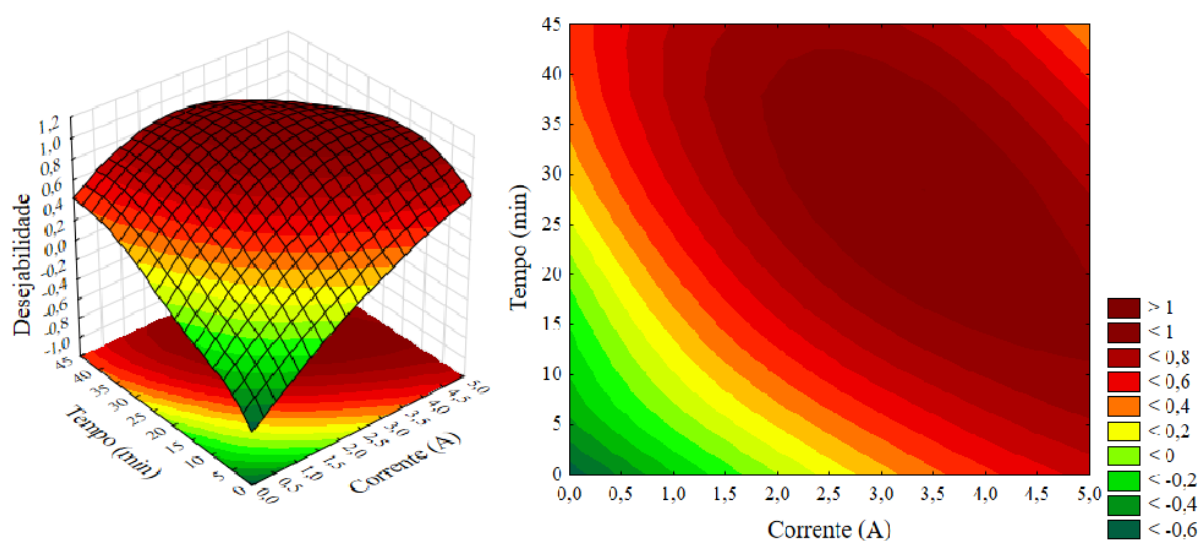


Figura 7 - Superfície de resposta e perfil de contorno em função desejabilidade global  
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

#### 4.2.2 Validação do modelo proposto

Aplicando as condições ótimas de tratamento obteve-se as Remoções Reais (RR), esses resultados são mostrados na Tabela 8, juntamente com as Remoções Prevista (RP) na função desejabilidade (Figura 6).



Tabela 8 - Validação do modelo

<b>Parâmetros</b>	<b>Remoção Prevista (%)</b>	<b>Remoção Real (%)</b>
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	66,00	66,12
Turbidez (UNT)	99,00	90,96
Cor Aparente (uC)	100,00	97,07
Abs a 350 nm (uA)	100,00	97,83

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Através da Tabela 8, pode-se verificar que a RP e a RR ficaram bem próximos para a remoção de DQO, para a turbidez e cor aparente teve-se uma variação de aproximadamente 6 % entre o RP e o RR, já para Abs 350 nm a variação foi menor que 3 %, confirmando a tendência de remoção prognosticada pelo modelo.

A remoção de DQO foi de 66,12 % (1.042,19 - 353,07 mg L<sup>-1</sup>). Piya-areetham et al. (2006) aplicando uma corrente de 9 A, reduziu cerca de 52 % da DQO dentro do tempo de eletrólise de 360 min, para tratar águas residuais de destilaria. Melchiors et al. (2016) no tratamento de águas residuais de laticínios conseguiu redução de 74,69 % para DQO após 60 minutos de EF.

Para a turbidez o desempenho foi de 90,96 % (818,67 - 74,00 UNT) de remoção. Melchiors et al. (2016) removeram 97,54 % da turbidez, usando eletrodo de Al e com tempo de EF de 60 min. Linares-Hernández et al. (2010), no tratamento de águas residuárias industriais, obtiveram 83,8 % de remoção utilizando a EF, e combinando EF e Eletroxidação (EO) a remoção foi total.

Para a cor aparente obteve-se redução 97,07 % (8.989,25 - 263,40 uC). Piya-areetham et al. (2006), em estudo já citado, reduziu 61 % da cor dentro do tempo de eletrólise de 360 min. Linares-Hernández et al. (2010) alcançaram remoção de 100 % para esse parâmetro, porém combinando EF e EO com um tempo de tratamento de 90 min.

Para a absorvância em 350 nm, tem-se uma porcentagem de remoção 97,83 % (0,568 - 0,012 uA). Evidenciando-se que ocorreu a quebra dos compostos aromáticos conjugados (BOROSKI et al., 2009).

Na Figura 8, pode-se visualizar a diferença do efluente de indústria cosmética sem tratamento algum e do efluente tratado com eletrodo de alumínio, constatando-se a melhora no aspecto do efluente.



Figura 8 - Efluente de indústria cosmética, efluente bruto e efluente tratado

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Na Tabela 9 pode-se conferir os resultados referentes aos diversos parâmetros da caracterização final do efluente de indústria cosmética eletrofloculado.

Tabela 9 - Caracterização do efluente tratado e eficiência da EF

Parâmetros	Média inicial	Média final	Unidades
Temperatura	25,90 ± 0,08	32,33 ± 1,53	°C
Cor Aparente	8.989,25 ± 7,83	263,40 ± 5,02	uC
Turbidez	818,67 ± 0,94	74,00 ± 1,73	UNT
pH	5,38 ± 0,02	6,00 ± 0,02	-
Condutividade	2,92 ± 0,01	10,86 ± 0,05	mS cm <sup>-1</sup>
OD	1,78 ± 0,22	5,03 ± 0,25	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
DQO	1.042,19 ± 43,70	353,07 ± 24,96	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos sedimentáveis	0,09 ± 0,01	23,00 ± 1,00	mL L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos totais	21,67 ± 2,36	300,00 ± 0,00	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos fixos	13,33 ± 2,36	225,00 ± 35,35	mg L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos voláteis	8,33 ± 2,36	75,00 ± 35,35	mg L <sup>-1</sup>
TOG	57,00 ± 3,00	45,20 ± 0,02	mg L <sup>-1</sup>
Abs a 350 nm	0,568 ± 0,003	0,012 ± 0,001	uA
Abs a 254 nm	0,238 ± 0,005	0,224 ± 0,001	uA

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Considerando os resultados descritos na Tabela 9, os parâmetros temperatura e pH encontram-se em conformidade com a legislação vigente, CONSEMA N° 128/2006 que estabelece temperatura menor que 40 °C e pH entre 6,0 a 9,0.

Com relação a cor aparente, embora o tratamento tenha proporcionado uma remoção significativa de 97,07 %, este parâmetro não atingiu ao limite estabelecido na Resolução CONAMA N° 357/2005, cujo valor máximo é de 75 uC.

Em relação a Turbidez, teve uma remoção de 90,96 % com aplicação da EF, este parâmetro atende aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 357/2005, cujo limite é de 100 NTU.

A condutividade do efluente, foi ajustada com o intuito de obter a corrente elétrica necessária ao tratamento (4,2 A), sendo acrescentado  $3,467 \pm 0,208$  g de NaCl por litro de efluente a ser tratado. Com isso, a condutividades aumentou de  $2,92 \pm 0,01$  mS cm<sup>-1</sup> para  $10,86 \pm 0,05$  mS cm<sup>-1</sup> no efluente tratado.

Avaliando o OD que teve aumento de aproximadamente 64 % (1,78 - 5,03 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>), com isso atendendo ao valor mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 375/2005, a qual determina que os valores não deverão ser inferiores a 5 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>.

A DQO teve uma remoção de 66,12 %, tendo como valor final 353,07 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. Este parâmetro é previsto pela resolução CONSEMA Nº 128/2006, que estabelece variantes dos padrões de emissão, de acordo com as faixas de vazão, prevista no Art. 20, conforme mostrado na Tabela 3, seção dedicada às Legislações Aplicáveis. Atendendo a esta normativa para uma vazão limite de 100 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, que estabelece uma DQO máxima de 360 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, para essa vazão.

Considerando a porção de matéria sólidas, ainda que o efluente não tratado contenha uma parcela pequena de sólidos, esta após ser separado poderá conceber uma quantidade elevada (JORDÃO; PESSÔA, 2011). A presença de sólidos, pode influenciar diversos parâmetros, como por exemplo a turbidez, absorvância, condutividade e OD, estes parâmetros estão diretamente atrelados a distribuição e o tamanho das partículas presentes no efluente (METCALF; EDDY, 2003; NUVOLARI et al., 2011). Este fato pode significar uma provável causa do aumento na concentração de sólidos na porção do efluente tratado, tendo um aumento superior a 90 %.

Na avaliação dos TOG do efluente eletrofloculado, obteve-se  $45,20 \pm 0,02$  mg L<sup>-1</sup>, a Resolução CONAMA Nº 430/2011 estabelece 20 mg L<sup>-1</sup> para óleos minerais e para óleos vegetais e animais o limite é de 50 mg L<sup>-1</sup>, a Resolução CONSEMA Nº 128/2006 determina 10 mg L<sup>-1</sup> para óleos minerais e 30 mg L<sup>-1</sup> para óleos vegetais e animais. Sendo assim, o valor final do TOG atende apenas ao valor de óleos vegetais e animais da CONAMA Nº 430/2011.

A abs no comprimento de onda de 350 nm, teve uma redução significativa, de  $0,568 \pm 0,003$  para  $0,012 \pm 0,001$  uA. podendo-se dizer que ocorreu a quebra dos grupos aromáticos conjugados, que absorvem nesse comprimento de onda (BOROSKI et al., 2009).

Para o comprimento de onda de 254 nm, passou de  $0,238 \pm 0,005$  para  $0,224 \pm 0,001$  uA, onde muitos grupos funcionais orgânicos absorvem (Skoog et al., 2006).

## 5 CONCLUSÃO

Com a caracterização do efluente de indústria cosmética, por meio da análise dos parâmetros físicos e químicos, verificou-se a importância de um tratamento adequado e eficiente para este tipo de água residual, que apresentou a cor, turbidez, OD, DQO e TOG em desacordo com as Resoluções CONAMA N° 357/2005, N°430/2011 e CONSEMA N° 128/2006.

Por meio do planejamento experimental utilizado (DCCR e função desejabilidade), foi possível definir as condições operacionais otimizadas das variáveis independentes, obtendo um valor ideal de 18,98 min para o tempo de tratamento e 4,18 A para intensidade de corrente elétrica.

A análise estatística, foi de extrema relevância para assegurar com confiabilidade estatística a significância das variáveis tempo e corrente envolvida no processo tratamento, para alcançar as variáveis respostas, representada pela porcentagem de remoção das variáveis dependentes. Com eficiência de remoção de 66 % para DQO, acima de 90 % para turbidez, e acima de 97 % para os parâmetros cor aparente e absorvância no comprimento de 350 nm, considerando as condições ótimas de tratamento.

Avaliando os objetivos propostos para este estudo e os resultados alcançados, conclui-se que a EF aplicada no tratamento de efluente de indústria cosmética, com uso do eletrodo de alumínio foi eficiente.

Considerando que a EF gera o agente coagulante que propiciará a formação dos flocos do material particulado e ao mesmo tempo realiza a flotação do resíduo gerado. Recomenda-se então que para a realização de trabalhos futuros, seja feita a caracterização do lodo gerado e a verificação da possibilidade de tratamento e disposição adequada deste.

## REFERÊNCIAS

ABIHPEC, **Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos**. São Paulo - SP - Brasil, 2016.

ABIHPEC, **Brazilian Association of the Cosmetic Toiletry and Fragrance Industry**. São Paulo - SP - Brasil, 2014.

ABIHPEC, **Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos**. São Paulo - SP - Brasil, 2012.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>a</sup> Ed. Washington – DC: APHA, 2005.

BANERJEE, P.; DEY, T. K.; SARKAR, S.; SWARNAKAR, S.; MUKHOPADHYAY, A.; GHOSH, S. Treatment of cosmetic effluent in different configurations of ceramic UF membrane based bioreactor: Toxicity evaluation of the untreated and treated wastewater using catfish (*Heteropneustes fossilis*). **Chemosphere**, v. 146, p. 133 - 144, 2016.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Editora da Unicamp, Campinas / SP, 2001.

BAUTISTA, P.; MOHEDANO, A. F.; GILARRANZ, M. A.; CASAS, J. A.; RODRIGUEZ, J.J. Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 143, p. 128 - 134, 2007.

BOROSKI, M.; RODRIGUES, A. C.; GARCIA, J. C.; SAMPAIO, L. C.; NOZAKI, J.; HIOKA, N. Combined electrocoagulation and TiO<sub>2</sub> photoassisted treatment applied to wastewater effluents from pharmaceutical and cosmetic industries. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, p. 448 - 454, 2009.

CAPANEMA, L. X. L.; VELASCO, L. O. M.; PALMEIRA FILHO, P. L.; NOGUTI, M. B. **Panorama da indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosmético**. BNDES, Rio de Janeiro, 2007.

CERQUEIRA, A. A. Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis. **Dissertação (Mestrado em Química)** - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CERQUEIRA, A. A., MARQUES, M. R. C. Avaliação do Processo Eletrolítico em Corrente Alternada no Tratamento de Água de Produção. **Química Nova - Scielo**, v. 34, p. 59 - 63, 2011.

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, p. 693 - 701, 2014.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo, 2009.

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

CHIN, D. A.; **Water-quality engineering in natural systems: fate and transport processes in the water environment.** 2ª ed. USA, 2013.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providencias. **Resolução CONAMA N° 357**, de 17 de Março de 2005.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. **Resolução CONAMA N° 430**, de 13 de Maio de 2011.

CONSEMA, Conselho Estadual do Meio Ambiente. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Resolução CONSEMA N° 128** de 2006.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C.G.; REZENDE, M.O.O. Eletroflotação: Princípios e Aplicações. **Química Nova - Scielo**, São Carlos, v.27, p. 387 - 392, 2004.

DALTIN, D. Tensoativos: química, propriedades e aplicações. **Tensoativos: Química.** São Paulo: Blucher, 2012.

DI BERNARDO, L.; e DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** v.1, São Carlos: Rima, 2005.

DUBRAWSKI, K. L.; MOHSENI, M.; Standardizing electrocoagulation reactor design: Iron electrodes for NOM removal. **Chemosphere**, v. 91, p. 55 - 60, 2013.

FRIHA, I.; KARRAY, F.; FEKI, F.; JLAIEL, L.; SAYADI, S. Treatment of cosmetic industry wastewater by submerged membrane bioreactor with consideration of microbial community dynamics. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 88, p. 125e - 133, 2014.

GOBBI, L. C. A. Tratamento de água oleosa por Eletrofloculação. **Dissertação (Mestrado em Energia)** – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus, 2013.

GREYSHOCK, A.E., VIKESLAND, P.J. Triclosan reactivity in chloraminated waters. **Environ. Sci. Technol.** v. 40, p. 2615 - 2622, 2006.

GTA - **Guia Técnico Ambiental**; CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; ABIHPEC, Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. 2015.

HIRATUKA, C.; DIAS DE ARAÚJO, R.; MELLO, C. H.; CASADEI, J. **Relatório de acompanhamento setorial Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), v. IV, 2009.

JOHN, S.; SOLOMAN, P. A.; FASNABI, P. A. Study on removal of Acetamiprid from wastewater by electrocoagulation. **Procedia technology - Elsevier**. Procedia Technology, v. 24, p. 619 - 630, 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, A. C. **Tratamento de esgotos Domésticos**. 6ª ed., Rio de Janeiro/RJ, 2011.

KHANDEGAR V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review. **Journal of Environmental Management - Elsevier**. v. 25, p. 949 - 963, 2013.

KOBYA, M.; DEMIRBAS, E.; DEDELI, A.; SENSOY, M.T. Treatment of rinse water from zinc phosphate coating by batch and continuous electrocoagulation processes. **Journal of Hazardous Materials**, v.173, 326 - 334, 2010.

KOBYA, M.; ULU, F.; UGUR, G.; DEMIRBAS, E.; ONCEL, M. S. Treatment of potable water containing low concentration of arsenic with electrocoagulation: Different connection modes and Fe–Al electrodes. **Separation and Purification Technology - Elsevier**, v. 77, p. 283 -293, 2011.

KRUTHIKA, N. L.; KARTHIKA, S.; BHASKAR RAJU, G.; PRABHAKAR S. Efficacy of electrocoagulation and electrooxidation for the purification of wastewater generated from gelatin production plant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 1, p. 183 - 188, 2013.

LATCH, D.E., PACKER, J.L., STENDER, B.L., VAN OVERBEKE, J.W., ARNOLD, A., MCNEILL, K. Aqueous photochemistry of triclosan: formation of 2,4 - dichlorophenol, 2,8 dichlorodibenzo-p-dioxin, and oligomerization products. **Environ. Toxicol. Chem.** v. 24, p. 517 - 525, 2005.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Editora Átomo, 3ª ed., Campinas / SP, 2010.

LINARES-HERNÁNDEZ, I.; BARRERA-DÍAZ, C.; BILYEU, B.; JUÁREZ-ARCÍAROJASA, P.; Campos-Medina, E. A combined electrocoagulation electrooxidation treatment for industrial wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 175, p. 688 - 694, 2010.

MACHADO, K. C.; GRASSI, M. T.; VIDAL, C.; PESCARA, I. C.; JARDIM, W. F.; FERNANDES, A. N.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V.; SANTANA, J. S.; CANELA, M. C.; NUNES, C. R. O.; BICHINHO, K. M.; SEVERO, F. J. R. A preliminary Nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 572, p. 138 - 146, 2016.

MELCHIORS, M. S.; PIOVESAN, M.; RECEGATO, V. R.; BECEGATO, V. A.; TAMBOUGI, E. B.; PAULINO, A. T. Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery. **Journal of Environmental Management**, v.182 p. 574 - 580, 2016.

MELO, E. D. Avaliação e identificação da toxicidade de efluentes líquidos de uma indústria de cosméticos. **Dissertação (Mestre em engenharia civil)** - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais / BR, 2012.

MELO, E. D.; MOUNTEER, A. H.; LEÃO, L. H. S.; BAHIA, R. C. B.; CAMPOS, I. M. F. Toxicity identification evaluation of cosmetics industry wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 244 - 245, p. 329 - 334, 2013.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. McGrawHill, New York, 2003.

MOLLAH, M.Y.U.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L. - Electrocoagulation (EC): science and applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 84, p. 29 - 41, 2001.

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**, v. B114, p. 199 - 210, 2004.

NUVOLARI, A.; MARTINELLI, A.; TELLES, D. D.; RIBEIRO, J. T.; MIYASHITA, N. J.; RODRIGUES, R. B.; ARAUJO, R. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte e reúso agrícola**. 2ª ed. São Paulo, 2011.

ONCEL, M.S.; MUHCU, A.; DEMIRBAS, E.; KOBYA, M. A comparative study of chemical precipitation and electrocoagulation for treatment of coal acid drainage wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 1, p. 989 - 995, 2013.

PIYA-AREETHAM, P.; SHENCHUNTHICHAJ, K.; HUNSOM, M. Application of electrooxidation process for treating concentrated wastewater from distillery industry with a voluminous electrode. **Water research**, v. 40, p. 2857 - 2864, 2006.

PUYOL, D.; MONSALVO, V. M.; MOHEDANO, A. F.; SANZ, J. L.; RODRIGUEZ, J. J. **Cosmetic wastewater treatment by upflow anaerobic sludge blanket reactor**. *Journal of Hazardous Materials*. v. 185, p. 1059 - 1065, 2011.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. Metais pesados e qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: índice de contaminação. **Geonomos**, v. 20 (1), p. 49 - 63, 2012.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e Tecnologias de Tratamento**. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2009.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2ª ed., Campina / SP, 2009.



SEI, **Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia**. Secretaria de desenvolvimento econômico. Governo do estado da Bahia. Setembro de 2015.

SKOOG, D.A.; WEST, D.M.; HOLLER, F.J; CROUCH, S.R.; **Fundamentos de Química Analítica**, Editora Thomson, tradução da 8ª edição, 2006.

TONES, A. R. M.; Estudo da aplicação da técnica de eletrofloculação na remoção da cor em misturas de corantes têxteis. **Dissertação (Mestre em Tecnologias Ambientais)** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1, 3ª ed. Belo Horizonte, 2005.

YUKSEL, E.; GURBULAK, E.; EYVAZ, M. Decolorization of a Reactive Dye Solution and Treatment of a Textile Wastewater by Electrocoagulation and Chemical Coagulation: Techno-Economic Comparison. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. v. 31, p 524 - 535, 2011.