

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

**ANDRÉ LUIZ DAMASCENO BELAN**

**ELETROFLOCULAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES TÊXTEIS: Revisão Bibliográfica**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**MEDIANEIRA**

**2014**

ANDRÉ LUIZ DAMASCENO BELAN



**ELETROFLOCULAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES TÊXTEIS: Revisão Bibliográfica**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios - Polo UAB do Município de Cruzeiro do Oeste, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientadora: Prof. Dra. Angela Laufer Rech

MEDIANEIRA

2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Especialização em Gestão Ambiental em Municípios



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Titulo da Monografia

Por

**Nome do aluno**

Esta monografia foi apresentada às..... h do dia..... **de..... de 2014** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios - Polo de ....., Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho .....

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Me. ....  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(orientadora)

\_\_\_\_\_  
Prof Dr. ....  
UTFPR – Câmpus Medianeira

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Me. ....  
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

Dedico a meu pai Marcelo,  
minhas irmãs Ana e Leticia, minha namorada Claudia,  
e em especial a minha falecida mãe Joana,  
pelos ensinamentos e apoio,  
que possibilitaram o final de mais uma jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida, pela fé e perseverança para vencer os obstáculos.

Aos meus pais, pela orientação, dedicação e incentivo nessa fase do curso de pós-graduação e durante toda minha vida.

A minha orientadora professora Dra. Angela Laufer Rech pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

## RESUMO

BELAN, André L. D. **Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluentes têxteis**: revisão bibliográfica. 2014. 30 pág. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

Este trabalho teve como temática a técnica de Eletrofloculação, que surge como alternativa ao sistema convencional de tratamento de efluentes, em especial os de indústrias têxteis, que utiliza coagulantes químicos para retirar a carga orgânica, cor, turbidez, entre outros geralmente presentes nos efluentes de indústria têxteis, causado principalmente por corantes utilizados no tingimento de artigos têxteis. O principal ganho com essa técnica é o fato de não utilizar agentes químicos que são relacionados como causa de doenças graves como Mal de Parkinson e Alzheimer e, além disso, ainda retira metais tóxicos do efluente. Foi realizada uma revisão sobre a técnica e os princípios de Eletrofloculação e algumas pesquisas que aplicaram essa técnica no tratamento de efluentes têxteis e alcançaram resultados iguais ou superiores ao tratamento convencional. A indústria têxtil foi abordada por estar muito presente na região noroeste do Paraná, contando com grandes cidades produtoras como Maringá e Cianorte.

**Palavras-chave:** Eletroquímica. Coagulação. Poluição. Contaminação.

## ABSTRACT

BELAN, André L. D. **Electroflotation applied to the treatment of textile effluents:** literature review. 2014. 30 pág. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

This work had as thematic the Electroflotation technique that appears as alternative to the conventional system of effluents treatment, in special, the effluents from the textile industry that uses chemical coagulants to remove the organic load, color, turbidity, among others that usually remain in the effluents from the textile industry, mainly caused by dyes used for tinting in textile articles. The mainly gain with this technique is the fact of not to use chemical agents related to the causes of serious diseases as Parkinson's disease, Alzheimer and, moreover, it also removes toxic metals from the effluent. A revision has been accomplished about the technique and the principles of the Electroflotation and some researches that applied this technique in the treatment of textile effluents and reached equals or better results than the conventional treatment. The textile industry has been addressed by being very present in the northwest of Paraná, counting on great producers cities as Maringá and Cianorte.

**Keywords:** Electrochemistry. Coagulation. Pollution. Contamination.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura Molecular do Corante Reativo Reactive Blue 4-RB4.....	19
Figura 2 – Processo de Tintura de Algodão com Corante Contendo o Grupo Sulfatoetilsufona como Centro Reativo da Molécula.....	19
Figura 3 – Interações Dentro de um Reator de Eletrofloculação para Eletrodos de Alumínio.....	22
Figura 4 - Diagrama de Solubilidade do Hidróxido de Alumínio.....	24
Figura 5 - Formação de Hidróxidos de Ferro (III).....	26
Figura 6 - Formação de hidróxidos de ferro (II).....	27
Figura 7 - Reator Monopolar com Arranjo em Paralelo.....	28
Figura 8 - Reator Monopolar com Arranjo em Série.....	28
Figura 9 - Reator Bipolar com Arranjo em Paralelo.....	29



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamento Eletrolítico (laboratório) x Tratamento Físico-Químico (indústria têxtil).....	32
Tabela 2 – Quantidade Remanescente de Alumínio e Ferro no Efluente Bruto e Eletrofloculado Utilizando Eletrodo de Alumínio.....	32
Tabela 3 – Quantidade Remanescente de Alumínio e Ferro no Efluente Bruto e Eletrofloculado Utilizando Eletrodo de Ferro.....	33
Tabela 4 – Relação entre o Volume de Efluente Tratado e o Desgaste dos Eletrodos.....	34

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
3.1 ETAPAS DO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS.....	14
3.1.1 Tratamento preliminar.....	14
3.1.2 Tratamento primário.....	14
3.1.3 Tratamento secundário.....	15
3.1.4 Tratamento terciário.....	17
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIAS TÊXTEIS.....	18
3.3 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO UTILIZANDO COAGULANTES QUÍMICOS.....	20
3.3.1 Coagulação.....	20
3.3.2 Floculação.....	21
3.4 ELETROFLOCULAÇÃO.....	21
3.4.1 Reações envolvidas na eletrofloculação.....	23
3.4.2 Reatores para eletrofloculação.....	26
3.4.2.1 Reator monopolar.....	26
3.4.2.2 Reator bipolar.....	28
3.4.3 Destinação do lodo gerado.....	29
3.4.4 Parâmetros de avaliação da técnica... ..	29
3.5 RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DA ELETROFLOCULAÇÃO EM EFLUENTES TÊXTEIS.....	31
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Tratando-se de assuntos ambientais, a água tem uma enorme importância, é como uma protagonista em que todos estão na torcida para que ela se de bem. Porém não é o que vemos atualmente, já que a poluição e a degradação de rios, mares, lagos e outros corpos de água vem aumentando constantemente com o desenvolvimento das áreas urbanas e a crescente industrialização das áreas rurais.

Um exemplo disso é um dado impressionante, exposto pela ONU em seu quarto relatório sobre recursos hídricos no Fórum Mundial da Água em Marselha em 2012. De acordo com a entidade, em nível global, 80% das águas residuais não são recolhidas nem tratadas e vão direto para outros corpos de água ou se infiltram no solo, gerando problemas de saúde à população e deteriorando o meio ambiente (A ONU E A ÁGUA, 2014).

Grandes geradoras de águas residuais ou efluentes, são as indústrias, que consomem cerca de 23% da água disponível para consumo no mundo, gerando enormes quantidades de água a serem tratadas antes de destinação final em um corpo de água receptor.

Atualmente o sistema de tratamento de efluentes mais utilizado pelas indústrias nos mais diversos ramos, consiste em quatro etapas: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (ou pós-tratamento). De acordo com o tipo de indústria são realizadas algumas variações, mas basicamente são essas etapas, que serão caracterizadas no desenvolvimento dessa pesquisa.

Nessa pesquisa bibliográfica, serão estudados e revisados aspectos sobre a eletrofloculação como um processo auxiliar ou substituto do processo mais habitual utilizado para coagulação/flotação no tratamento primário de efluentes industriais têxteis, processo esse que utiliza coagulantes químicos como sais de ferro e de alumínio. A concentração residual desses agentes podem causar contaminação e desequilíbrio do corpo receptor por sua toxicidade ou por causar reações que não acontecem naturalmente no corpo da água, enquanto que o método estudado limita o uso de substâncias químicas durante essa etapa de tratamento.

A justificativa desse estudo e da aplicação de outra técnica para o tratamento de efluentes têxteis se dá porque o problema da concentração residual de coagulantes é muito maior do que parece, pode se tornar um problema de saúde pública que pode afetar municípios que estão à jusante do ponto onde o efluente é devolvido à natureza, e que utilizam essa água para abastecimento de sua população. Para Baumgarten (2001) citado por Fiorentini (2005) dependendo da dosagem empregada, o sulfato de alumínio é tóxico, podendo provocar doenças de demência e coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais no sangue que é levado ao cérebro, causando o Mal de Parkinson e Alzheimer. Já o Ferro pode aumentar a cor e turbidez propiciando uma coloração amarelada e turva à água dependendo dos níveis de concentração, alterando esteticamente a água (VAZ, 2009).

O foco nas indústrias têxteis se deve ao fato da grande concentração desse tipo de indústria no Brasil, Paraná e especificamente na região noroeste do estado, contando com grandes cidades produtoras de artigos têxteis, como Maringá e Cianorte. De acordo com o SEBRAE (2010) o Brasil é o sexto maior produtor têxtil mundial e o Paraná é o terceiro estado com maior produção, concentrando cerca de 8% do setor no país. Assim é importante que estudos sobre esse método de coagulação/flotação sejam conhecidos e entendidos, para que mais pesquisas sejam motivadas no intuito de melhorar o tratamento de efluentes, gerando menor poluição possível dos corpos receptores.

Portanto, os objetivos gerais serão descrever o processo de tratamento de efluentes mais utilizado com todas as suas etapas e a caracterização geral de efluentes têxteis. E os objetivos específicos serão descrever a técnica de eletrofloculação e sua aplicação no tratamento de efluentes têxteis, segundo a literatura e estudos disponíveis.

## **2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA**

A pesquisa realizada pode ser classificada como exploratória e bibliográfica, pois visou proporcionar maior familiaridade com o assunto em questão e foi elaborada através de revisão de estudos recentes sobre a aplicação da Eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis, somando-se a algumas conceituações sobre todo o processo de tratamento desse tipo de efluente (GIL, 2002).

Os dados foram levantados de bibliografia recente, constituído principalmente de artigos, periódicos, livros e sites sobre o assunto disponibilizados na internet.

A análise dos dados foi feita através de discussão das teorias, dados e resultados obtidos por autores em suas pesquisas sobre a eletrofloculação e sua aplicação em tratamento de efluentes têxteis.

### **3. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 ETAPAS DO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS**

Conforme já dito, o tratamento de efluentes geralmente leva quatro etapas do seu início ao fim, são elas: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário ou pós-tratamento. Veremos a seguir quais os processos envolvidos em cada etapa.

##### **3.1.1 Tratamento preliminar**

Essa etapa visa à contenção e retirada de sólidos em suspensão sedimentáveis e flutuantes, ou seja, sólidos grosseiros e areia. No caso dos têxteis podem conter estopas, pedaços de tecidos, fios, entre outros que podem entupir ou prejudicar tubulações, bombas, válvulas, etc.

Os processos mais utilizados para o tipo de efluente em questão são o gradeamento e a caixa de areia. No primeiro são utilizadas grades metálicas para remoção dos sólidos grosseiros e o segundo remove areia por sedimentação (BRESAOLA JÚNIOR e CANTELLI, 2000).

Após, o efluente segue para um tanque de equalização, onde todo efluente é misturado para que seja feita a neutralização do líquido.

##### **3.1.2 Tratamento primário**

É uma etapa muito importante do tratamento, onde utilizando métodos físico-químicos, elimina-se ou reduz a maior parte das características indesejáveis do

efluente como a cor, o odor, turbidez, matéria orgânica coloidal, metais pesados, pH muito alto ou muito baixo, fosfatos e outros sais (nutrientes causadores de eutrofização em corpos receptores do efluente, caso não retirados).

Os efluentes têxteis são altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento. A poluição dos corpos d'água com estes compostos provocam, além da poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. Além desse fato, estudos têm mostrado que algumas classes de corantes, principalmente azocorantes, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (GANSKE e ZANOTELLI, 2011).

No tratamento de efluentes têxteis, os processos físico-químicos mais empregados são correção do pH no tanque de equalização e após, coagulação/floculação através de adição de coagulantes químicos e agitação mecânica. Os coagulantes mais utilizados atualmente são Sulfato de Alumínio e Sulfato Ferroso (FORNARI, 2008).

A correção do pH é realizada no tanque de equalização através da adição de ácidos para pH alto e álcalis para pH baixo. Exemplos de neutralizadores ácidos e básicos são respectivamente, Ácido clorídrico e Hidróxido de cálcio (cal). O processo de neutralização é de suma importância, pois a variação do pH influencia normalmente nos tratamentos posteriores inclusive na coagulação/floculação (QUADROS, 2005).

Para favorecer a ação dos coagulantes na coagulação/floculação, o pH deve ser ligeiramente básico de 7,0 até 8,5.

Quanto ao processo de coagulação/floculação utilizando agentes químicos, será melhor detalhado em tópico separado posterior por ser um dos objetos centrais da pesquisa.

### 3.1.3 Tratamento secundário

Após o efluente passar pelo tratamento primário, a maior parte da matéria orgânica dissolvida ou em suspensão já foi removida, porém muitas vezes ainda não atendem os valores aceitáveis da legislação e o efluente ainda não pode ser

devolvido à natureza. Em indústrias têxteis é muito comum que isso aconteça após o tratamento primário, pois a grande quantidade de corantes utilizada e a resistência desses ao tratamento é grande, por isso é necessário outra etapa que corresponde ao tratamento biológico.

O tratamento biológico consiste em degradar a matéria orgânica através de microorganismos (vírus, protozoários, fungos, bactérias, etc.) que se alimentem dela, dependendo do tipo de microorganismos utilizados o tratamento é dividido em aeróbio e anaeróbio. Para isso são utilizados tanques que contém tais organismos, onde o efluente fica retido por um período variável de tempo, até que seja consumida toda a matéria orgânica.

O tipo anaeróbio usa microorganismos que sobrevivem sem oxigênio, esses quebram as moléculas orgânicas complexas no processo de digestão convertendo-as em Gás Carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e Gás Metano ( $\text{CH}_4$ ) (TRATAMENTO BIOLÓGICO, 2014).

No caso do tratamento secundário de efluentes têxteis, o tipo mais utilizado é um tipo aeróbio (organismos que só sobrevivem com a presença de oxigênio) chamado de Lodo Ativado.

O Lodo Ativado consiste em um tanque com agitação mecânica e aeração, onde o efluente é agitado e entra em contato com os microorganismos que oxidam a matéria orgânica a moléculas de Água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e Gás Carbônico ( $\text{CO}_2$ ), degradando assim quase que todo poluente orgânico ainda presente no efluente (KUNZ e DURÁN, 2002).

Então a agitação é encerrada e os microorganismos decantam no tanque formando um lodo na parte de baixo, enquanto que o efluente tratado é escoado superficialmente para outro tanque de equalização, onde o pH é corrigido novamente de acordo com o pH do corpo que receberá o efluente tratado e onde é realizada a desinfecção com produtos químicos, geralmente compostos clorados como o Dióxido de Cloro ( $\text{ClO}_2$ ), essa última etapa faz parte do tratamento terciário.

Em média, o processo de coagulação/floculação seguido do tratamento biológico para efluentes têxteis, tem eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes, porém a geração de lodos com corantes adsorvidos tanto no tratamento primário quanto no secundário, somado aos resíduos dos coagulantes químico utilizados, são problemas que tem sido motivadores de estudos sobre a utilização de outros métodos no tratamento de



efluentes industriais têxteis, e entre eles se encontra o método de eletrofloculação (KUNZ e DURÁN, 2002).

#### 3.1.4 Tratamento terciário

Esta última etapa costuma acontecer de forma básica no tratamento de efluentes têxteis, geralmente é realizado apenas a desinfecção do efluente tratado com compostos contendo cloro ativo, que é um forte oxidante, e mata microorganismos patogênicos, e então é devolvido à natureza em um corpo de água receptor.

Porém, há uma gama de processos que podem ser utilizados para aumentar a eficiência do tratamento de efluentes em geral, chegando a 100% de remoção de poluentes, porém as técnicas disponíveis têm preços muito elevados e em quase todas as áreas o efluente já chega a essa etapa dentro dos padrões desejáveis para devolução à natureza.

Alguns processos e suas finalidades específicas estão citados a seguir:

##### Remoção de sólidos dissolvidos

- osmose reversa;
- troca iônica
- eletrodialise reversa;
- evaporação

##### Remoção de sólidos suspensos

- macrofiltração;
- microfiltração;
- ultrafiltração;
- nanofiltração;
- clarificação: ozonização

##### Remoção de compostos orgânicos

- ozonização;
- carvão ativado.

##### Desinfecção

- Cloro; Ozônio ( $O_3$ ); Dióxido de Cloro ( $ClO_2$ ); Permanganato de Potássio; cloramidas; radiação ultravioleta, entre outros meios (TRATAMENTO TERCIÁRIO, 2014).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIAS TÊXTEIS

O efluente de uma indústria carrega consigo muitas impurezas e substâncias indesejáveis devido aos muitos usos da água durante todo o processo de produção. No caso dos processos têxteis essas impurezas podem estar presentes de forma sólida, suspensão e/ou dissolvidas na água.

Sólidos, como fiapos, pedaços de tecidos, areia, entre outros, são facilmente retirados do efluente através do tratamento preliminar realizado com gradeamento e caixa de areia, porém o grande problema é a retirada ou degradação das substâncias que permanecem no efluente após essa etapa preliminar, que basicamente são corantes sintéticos com complexa composição, com alta carga orgânica, elevado teor de sais inorgânicos, levando a problemas toxicológicos e ecológicos como a coloração que afeta a transparência das águas e a solubilização de gases em lagos, rios e outros corpos aquáticos, causando danos à flora e à fauna (PASCHOAL e TREMILIOSI FILHO, 2005).

Os corantes utilizados para o tingimento de fibras têxteis possuem dois grupos em sua estrutura química, um grupo cromóforo que caracteriza a cor, e um grupo de fixação que fixa o corante nas fibras (KUNZ e DURÁN, 2002).

Os corantes são classificados em relação à forma de sua fixação à fibra têxtil. Segundo Guaritini e Zanoni (2000), podem ser divididos em: Diretos, Azóicos, Ácidos, Corantes à Cuba, de Enxofre, Dispersivos, Pré-Metalizados, Branqueadores e Reativos. Esse último é o mais focado quando se trata de tratamento de efluentes têxteis por três motivos: representam aproximadamente 20 a 30% de todos os corantes utilizados; cerca de 30% do corante utilizado é transformado em resíduo, devido à baixa fixação nas fibras celulósicas e à baixa eficiência de remoção destes corantes pelos tratamentos biológicos convencionais (ALMEIDA, 2004).

Os principais corantes Reativos possuem em sua estrutura a função azo ou antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazina e sulfatoetilsulfona como grupos reativos, que são ligados às fibras através de ligações covalentes com os grupos hidroxila (-OH<sup>-</sup>) ou amino (-NH<sub>2</sub>) usualmente presente em fibras celulósicas e seda (BERGAMINI, 2005). Um exemplo de estrutura de um corante

Reativo e a forma que acontece a ligação entre um corante e o tecido estão representados, respectivamente nas Figuras 1 e 2.

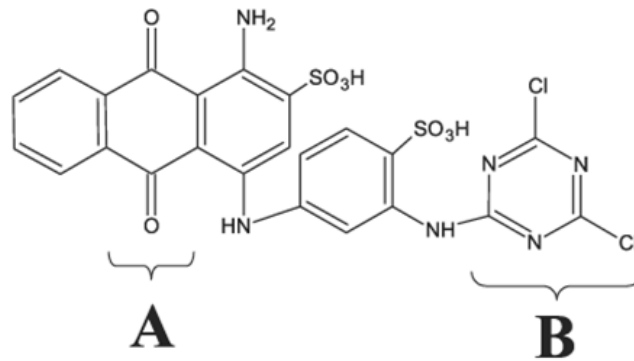


Figura 1. Estrutura Molecular do Corante Reativo Reactive Blue 4-RB4. Sendo A o grupo cromóforo antraquinona e B o grupo reativo clorotriazina.

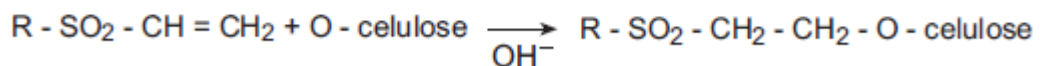
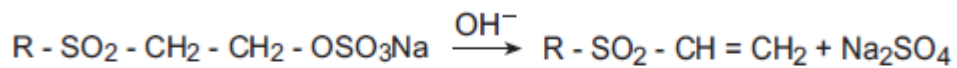


Figura 2. Processo de Tintura de Algodão com Corante Contendo o Grupo Sulfatoetilsufona como Centro Reativo da Molécula. O grupo reativo reage com o grupo  $\text{-OH}^-$  da fibra.

A baixa fixação nas fibras, a alta solubilização em água e suas estruturas complexas não biodegradáveis, tornam difícil a remoção dos corantes por tratamento biológico, que também tem o problema da destinação do Lodo Ativado, sendo possível apenas a remoção com a utilização de métodos físico-químicos, porém a adição de excesso de coagulantes geram, além de lodo, concentração residual dos agentes químicos no efluente tratado.

Nesse contexto a eletrofloculação apresenta uma grande vantagem em termos ambientais, já que além de não gerar o problema do lodo residual, também não necessita da adição de substâncias químicas em seu processo.

A seguir serão apresentadas as técnicas de coagulação/floculação por agentes químicos e a eletrofloculação com suas etapas, reações e aplicação no tratamento do efluente.

### 3.3 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO UTILIZANDO COAGULANTES QUÍMICOS

A coagulação e a floculação são processos interligados que tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez).

A cor nas águas pode suprimir os processos fotossintéticos nos cursos d'águas. De forma geral a cor nas águas pode resultar dos processos de decomposição da matéria orgânica, da presença de íons metálicos naturais como o ferro e o manganês, bem como do lançamento de diversos tipos de despejos industriais. Além do inconveniente estético, os materiais dissolvidos, causadores da cor, são precursores de substâncias potencialmente carcinogênicas (VAZ, 2009).

A água que possui turbidez faz com que as partículas em suspensão reflitam a luz, fazendo com que a esta não chegue aos organismos aquáticos.

#### 3.3.1 Coagulação

Na coagulação ocorre a anulação das cargas eletrostáticas repulsivas que impedem que as superfícies dos coloides se aproximem e possam formar flocos ou precipitados. Isso é conseguido com a utilização de eletrólitos químicos com carga contrária às cargas do coloide.

As partículas coloidais tem predominantemente carga negativa e é essa carga que impede que coloides se aproximem espontaneamente. Separados, os coloides ficam em suspensão e/ou dissolvidos no efluente, e não são retirados nem no tratamento preliminar, nem no tratamento biológico, pois em sua maior parte são compostos químicos não biodegradáveis (PAVANELLI, 2001).

Para anular essas cargas negativas, são adicionados ao efluente no tratamento primário, eletrólitos de alta valência e de carga positiva, os mais utilizados, que apresentam essas duas propriedades, são sais de Ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ).

Para atingir o objetivo de juntar partículas coloidais, durante toda a etapa de coagulação ocorre agitação mecânica do efluente para que, além de todas as cargas serem anuladas, as partículas possam interagir entre si, formando conglomerados de maior massa que possam ser retirados por sedimentação.

### 3.3.2 Floculação

Durante a floculação a agitação fica mais lenta para que as partículas já coaguladas possam se aglomerar e formar partículas maiores, os chamados flocos, que posteriormente são retirados do efluente por sedimentação.

O processo de coagulação/floculação com posterior sedimentação propicia a remoção de cor e turbidez do efluente a ser tratado.

No entanto, esse processo gera subprodutos que causam problemas ambientais e de saúde pública, já que o sedimento gerado forma um lodo não biodegradável que deve ser tratado ou disposto em local apropriado posteriormente, e a concentração residual dos sais de Alumínio e Ferro podem causar desde coloração na água, até doenças como mal de Parkinson e Alzheimer em pessoas que consumirem água do corpo receptor do efluente (VAZ, 2009).

## 3.4 ELETROFLOCULAÇÃO

Assim como na técnica mais utilizada, a eletrofloculação também utiliza os íons dos metais Ferro ( $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Fe}^{2+}$ ) e Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) como coagulantes, porém nesse caso os íons são gerados “in situ” pela oxidação de eletrodos constituídos de um desses metais, causada pela aplicação de corrente a esses eletrodos.

O processo acontece num tanque reator que funciona como uma célula eletrolítica, onde dois eletrodos interligados do mesmo metal são colocados em paralelo e em contato com o efluente, uma corrente é aplicada a eles gerando reações de oxirredução entre ambos.

O eletrodo que sofre oxidação (aumenta seu número de oxidação) é chamado de anodo, é esse eletrodo que gera os íons positivos do metal que coagulam os colóides do efluente. Além disso, em certas faixas de pH os íons formam hidróxidos metálicos pouco solúveis em água, esses compostos detêm cargas residuais positivas e interagem com partículas negativas existentes na água para formar flocos, aumentando a eficiência da retirada de poluentes do efluente.

O outro eletrodo, que sofre redução (diminui seu número de oxidação) é chamado de catodo, nele ocorre a geração de bolhas de gás hidrogênio ( $H_{2(g)}$ ) que auxiliam na floculação e flotação de partículas, pois capturam ou envolvem os flocos formados arrastando partículas e impurezas em suspensão no meio até superfície, clarificando o efluente (eletroflotação) (CERQUEIRA, 2006).

A geração de coagulantes “in situ” e hidróxidos metálicos no anodo e bolhas de gás hidrogênio no catodo, para o Alumínio, são mostradas na Figura 3.

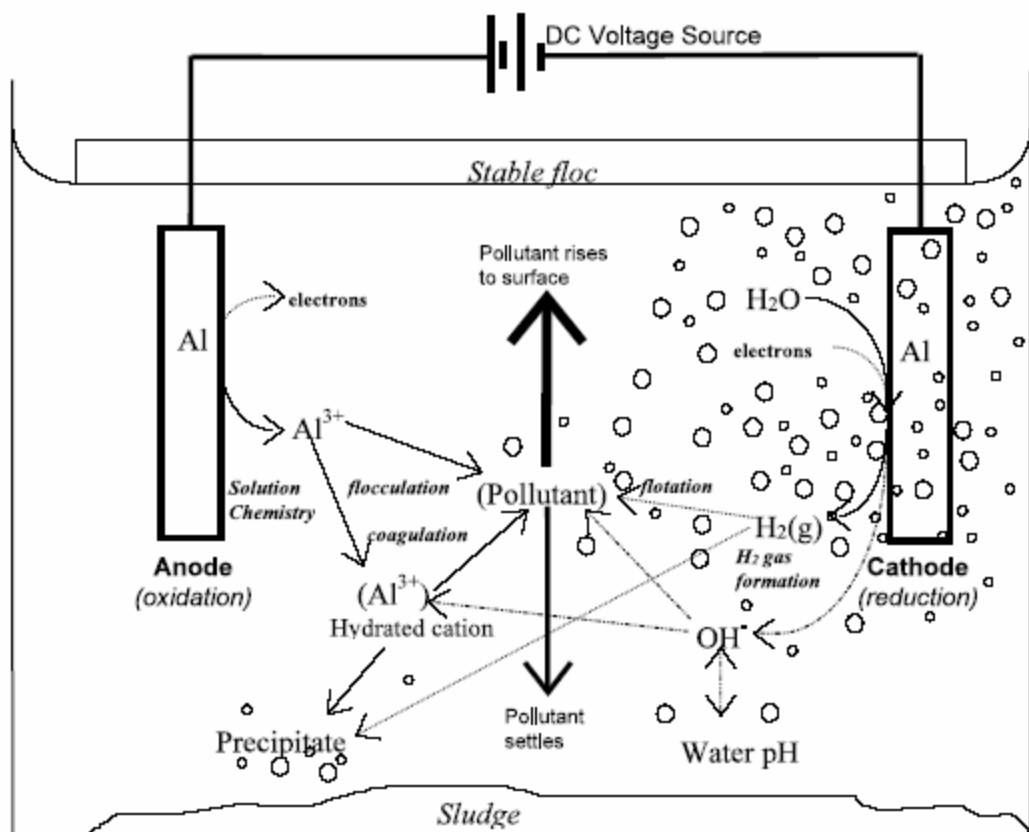


Figura 3. Interações Dentro de um Reator de Eletrofloculação para Eletrodos de Alumínio (CERQUEIRA, 2006).

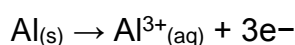
### 3.4.1 Reações envolvidas na eletrofloculação

Alguns fatores influenciam no processo de eletrofloculação como a corrente elétrica aplicada, a condutividade do meio e a concentração dos constituintes. Além disso, o pH influencia nas reações que acontecem nos eletrodos e no meio aquoso do efluente, pois cada metal tem seu pH ótimo para formação de hidróxidos metálicos.

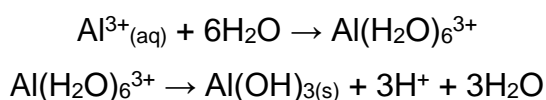
As reações que ocorrem para o Alumínio e o Ferro serão mostradas a seguir.

#### a) Reações do Alumínio:

No anodo ocorre a oxidação do Al sólido (reação anódica).



O cátion (íon positivo) gerado na etapa anódica sofre solvatação da água e em seguinte forma o Hidróxido de Alumínio, que é o agente coagulante responsável pela coagulação e formação de flocos, ou seja, é o maior responsável por remover impurezas do efluente. Como já dito, para que haja a formação do hidróxido metálico é preciso de uma faixa de pH específica e, para o caso do Alumínio, essa faixa está entre pH 6,5 a 7,0 (PEREIRA, 2007).



Caso o pH não esteja nessa faixa, poderá se formar outros compostos iônicos não desejados como  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})^{4-}$ , que são solúveis e que não formam flocos. Um diagrama de solubilidade do Hidróxido de Alumínio está na Figura 4, onde o ponto de inflexão indica qual a melhor faixa de pH para se formar o coagulante  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ .

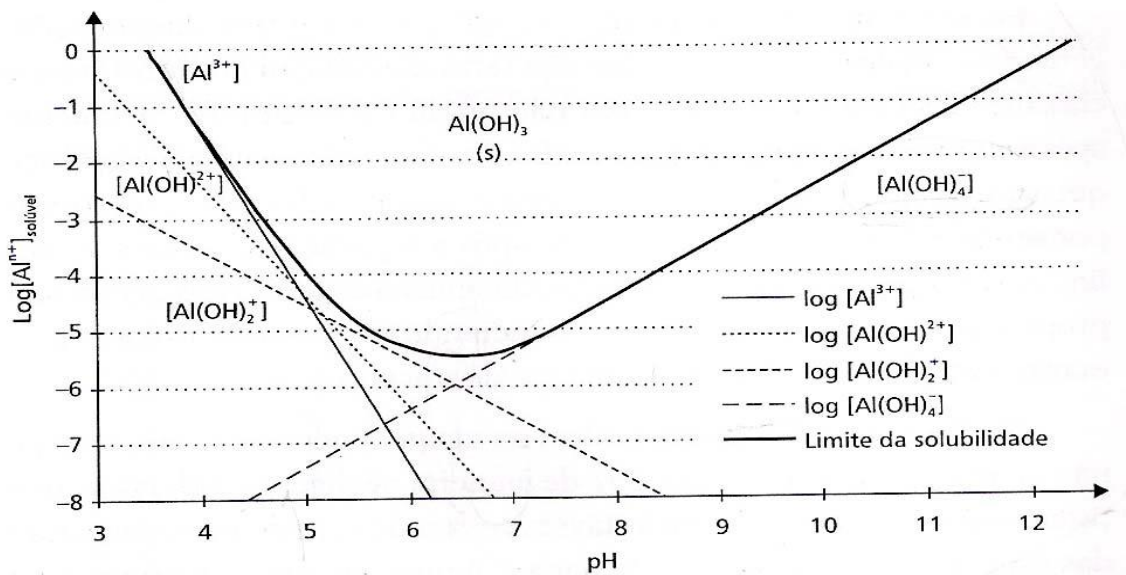
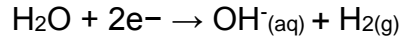


Figura 4. Diagrama de Solubilidade do Hidróxido de Alumínio (CERQUEIRA, 2006).

No cátodo há a formação de bolhas de hidrogênio, que são responsáveis pela flotação de óleos, graxas e outro compostos particulados.

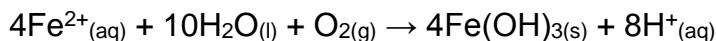


#### b) Reações do Ferro:

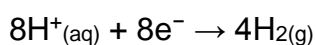
O Ferro também é oxidado no anodo, e pode apresentar dois mecanismos para formação hidróxidos de ferro (II) e ferro (III), que são os responsáveis pela coagulação e formação de flocos. No catodo ocorre a geração de gás hidrogênio (FORNARI, 2008).

##### Mecanismo 1

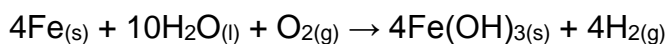
Anodo:



Catodo:



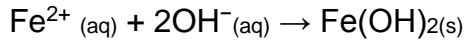
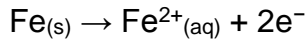
Reação global:



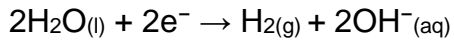


## Mecanismo 2

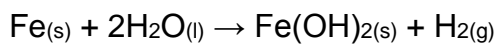
Anodo:



Catodo:



Reação global:



Assim como o Alumínio, o Ferro pode formar outros compostos iônicos dependendo do pH do meio, nas Figuras 5 e 6 estão dois gráficos que mostram a relação do pH com a formação dos hidróxidos de ferro (III) e (II) respectivamente.

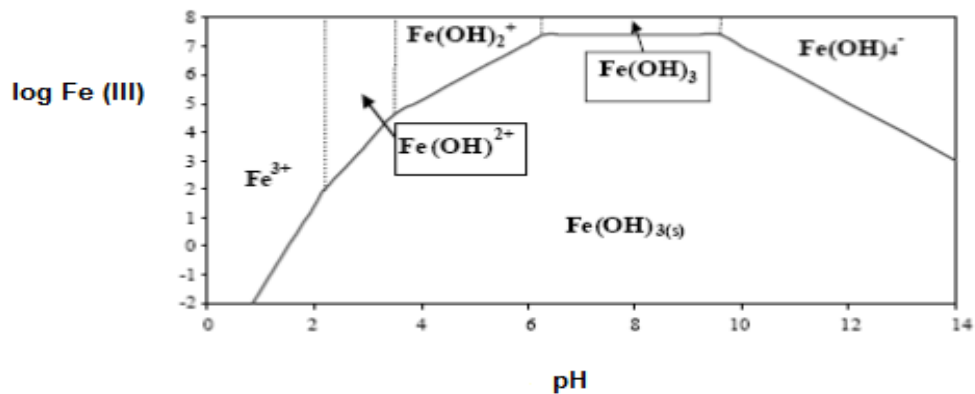


Figura 5. Formação de Hidróxidos de Ferro (III). Log da concentração de Fe(III) *versus* pH (CERQUEIRA, 2006).

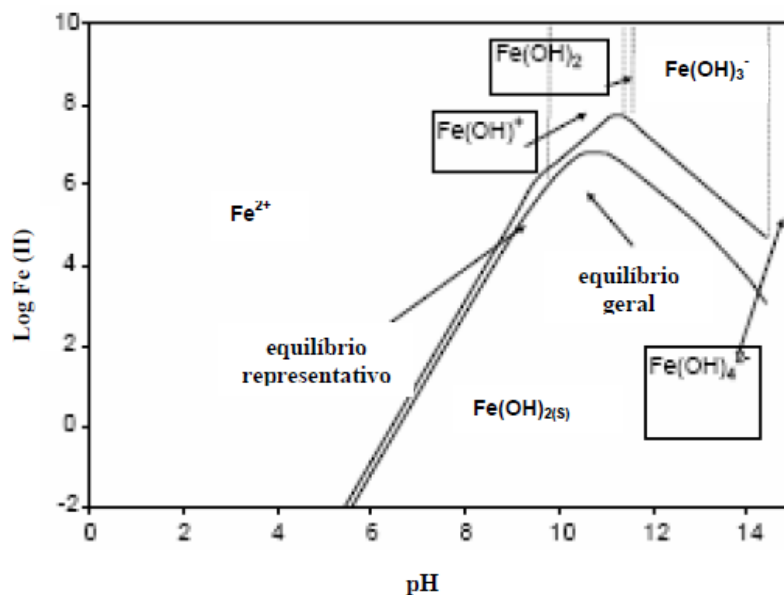


Figura 6. Formação de Hidróxidos de Ferro (II). Log da concentração de Fe(II) versus pH (CERQUEIRA, 2006).

### 3.4.2 Reatores para eletrofloculação

Existem dois tipos de reatores que podem ser usados para eletrofloculação, o monopolar e o bipolar. Àquele apresentado anteriormente na figura 3, é um reator monopolar simples, porém os reatores em escala maior necessitam de mais eletrodos com arranjos em série ou em paralelo para conseguir atingir o resultado esperado. As características e arranjos dos tipos de reatores são apresentados a seguir.

#### 3.4.2.1 Reator monopolar

É a forma mais simples de reator e pode apresentar arranjos em paralelo ou em série. Nos reatores, os anodos são chamados de eletrodos de sacrifício, e no caso desse tipo de reator, os pares de eletrodos de sacrifício são interligados entre si e sem conexão com os eletrodos externos.

No arranjo em paralelo, um par de placas metálicas condutoras (anodo) é intercalado com outro par de eletrodos (catodo) em paralelo.

O arranjo em série é eletricamente similar a uma célula simples com muitos eletrodos e interconexões. Cada par de eletrodos de sacrifício é interligado entre si e não possui ligações com os eletrodos externos.

As Figuras 7 e 8 mostram em escala reduzida os arranjos do reator monopolar em paralelo e em série, respectivamente.

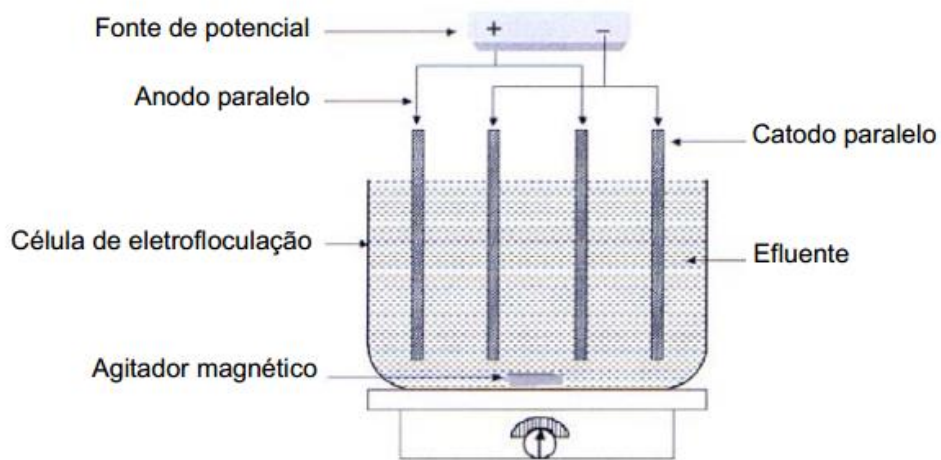


Figura 7. Reator Monopolar com Arranjo em Paralelo (RODRIGUES, 2008).

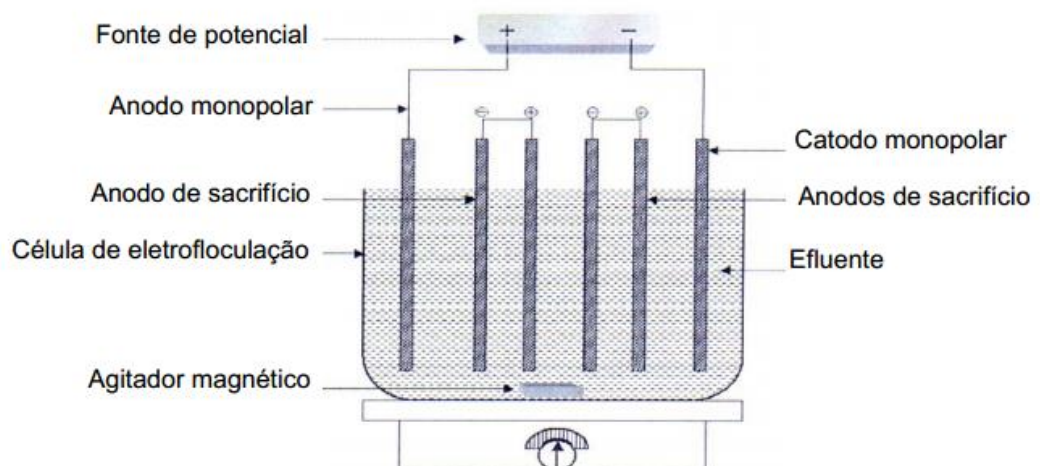


Figura 8. Reator Monopolar com Arranjo em Série (RODRIGUES, 2008).

No arranjo em série é preciso uma maior diferença de potencial para uma determinada corrente, pois esse arranjo oferece maior resistência. No entanto, nesse arranjo toda a corrente percorre todos os eletrodos.

No arranjo em paralelo a diferença de potencial necessária é menor, porém a corrente é dividida entre os eletrodos (RODRIGUES, 2008).

### 3.4.2.2 Reator bipolar

O reator bipolar utiliza a configuração em paralelo, onde eletrodos de sacrifício são colocados em paralelo entre os eletrodos monopolares externos, sem nenhuma interconexão entre eles.

Assim, quando há passagem de corrente elétrica pela solução, ocorre a bipolarização dos eletrodos de sacrifício, onde cada lado da placa metálica fica com uma carga, oposta ao eletrodo monopolar, como na Figura 9.

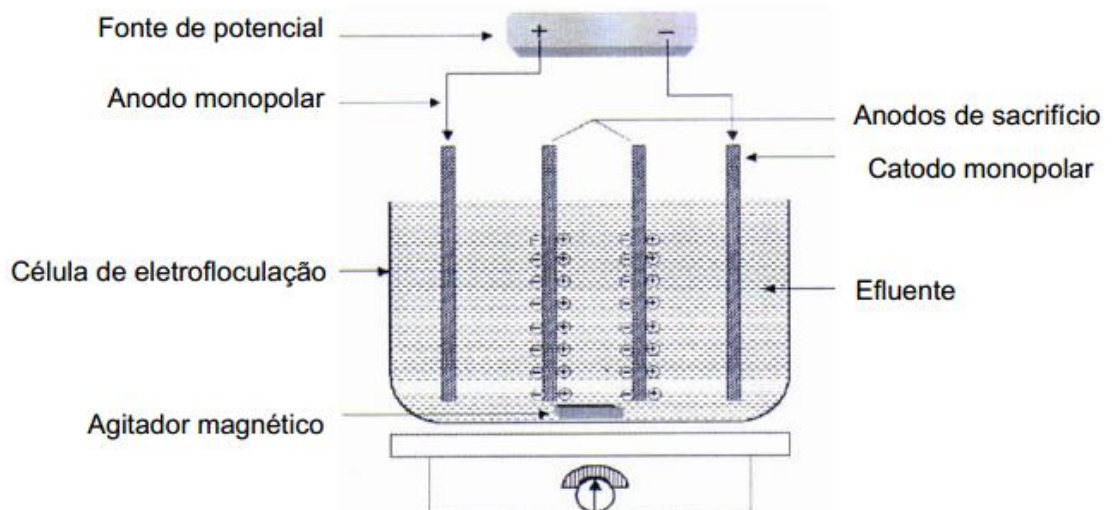


Figura 9. Reator Bipolar com Arranjo em Paralelo (RODRIGUES, 2008).

### 3.4.3 Destinação do lodo gerado

Uma das grandes vantagens do processo eletroquímico é a baixa geração de lodo residual em relação a um tratamento biológico, com Lodo Ativado, por exemplo. Fornari (2008) ao comparar o volume de lodo residual gerado no tratamento eletroquímico de efluente de curtume com o volume gerado utilizando Lodo Ativado, obteve que o processo eletroquímico gerou apenas 33% do lodo gerado no outro processo.

Além disso, a maior facilidade de desidratação do lodo por ser constituído principalmente por óxidos e hidróxidos metálicos, faz com que o lodo gerado no processo eletroquímico não precise passar por uma fase intermediária de digestão, e possa ser levado direto aos leitos de secagem (SINOTI; SOUZA, 2013, p. 06).

Após seco, o lodo residual tem como possíveis destinos finais aterro sanitário, reuso industrial (fabricação de tijolo, cerâmica e cimento), incineração, recuperação de solos degradados e uso agrícola e florestal. Porém antes do uso na agricultura deve-se levar em conta a composição química do lodo, para evitar contaminação do solo e lavradores, devido ao mau uso (BRITO et al., 2012) .

### 3.4.4 Parâmetros de avaliação da técnica

Alguns parâmetros são testados, através de amostras do efluente, antes e depois do tratamento para se avaliar a eficiência do mesmo e se o efluente tratado atende à legislação.

Invariavelmente pesquisadores utilizam dados obtidos de pH, Cor, Turbidez, Condutividade, DQO, para qualificar, quantificar e otimizar suas pesquisas e a aplicação de técnicas de tratamento de efluentes.

#### **a) pH**

O pH influencia nas cargas das partículas coloidais, na formação de hidróxidos metálicos no processo de coagulação/floculação e também na precipitação química em que as dosagens ótimas de coagulante dependem do pH. Além disso, interfere

na velocidade (cinética) das reações e na toxidez de certos compostos (CERQUEIRA, 2006).

#### **b) Cor**

É oriunda de tintas utilizadas na indústria têxtil. A cor atrapalha a passagem de luz solar nos corpos da água, o que dificulta a fotossíntese de algas e outras plantas aquáticas, afetando conseqüentemente a geração de oxigênio por parte desses organismos.

A medida da cor é realizada por métodos espectrofotométricos que analisam a absorvância de luz de soluções (CERQUEIRA, 2006).

#### **c) Turbidez**

A turbidez é a resistência à passagem de luz que uma solução apresenta, ou seja, se uma solução é mais turva apresenta maior turbidez, enquanto que uma solução transparente apresenta pouca ou nenhuma turbidez.

Nos efluentes, em especial os têxteis, a turbidez é devida aos corantes, particulados maiores e particulados coloidais que ficam em suspensão e dificultam a passagem de luz.

É medida utilizando a técnica baseada em nefelometria e apresenta como unidade de medida o NTU (Nephelometric Turbidity Unit) (HASSEMER, 2000).

#### **d) Condutividade**

É devida a quantidade de íons condutores presentes no efluente, quanto maior for a quantidade de íons, maior será o valor da condutividade e mais fácil será a passagem de corrente elétrica.

É importante para a eletrofloculação que o valor da condutividade seja alta na solução do efluente, para que seja gasto menos corrente elétrica, diminuindo o custo do processo.

Realiza-se a medida através de aparelho condutivímetro e a unidade de medida é siemens por centímetro (S/cm) (FORNARI, 2008).

#### **e) DQO (Demanda Química de Oxigênio)**

É certamente o parâmetro mais importante para analisar a eficiência de uma técnica de tratamento de efluente, pois indica o conteúdo orgânico do efluente.

Baseia-se na medida do oxigênio necessário para oxidação de toda matéria orgânica, biodegradável ou não, presente no efluente, através de agentes químicos oxidantes como o Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em meio ácido.

A importância da medida da DQO se deve ao fato de que a matéria orgânica é o principal poluidor das águas, e retira o oxigênio dissolvido na água para sua decomposição, afetando assim toda a vida aquática que precisa do oxigênio para sua sobrevivência.

A técnica mais utilizada para a medição da DQO é a espectrofotométrica ou colorimétrica, que utiliza dados de absorvância do Cromo que é reduzido no processo ( $Cr^{3+}$ ) e a relação desse com a quantidade de oxigênio gasto na oxidação. Os dados são comparados a uma curva de calibração (curva analítica) que é obtida através de dados de absorvância de soluções de concentração conhecida de oxigênio, e que passam pelo mesmo processo de oxidação.

A unidade de medida da DQO é miligrama de oxigênio por litro ( $mgO_2/L$ ) e a medida de absorvância é realizada no comprimento de onda de 600 nanômetros ( $nm$  ou  $10^{-9} m$ ) (AQUINO, 2006).

### 3.5 RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DA ELETROFLOCULAÇÃO EM EFLUENTES TÊXTEIS.

Após toda a revisão da teoria sobre a técnica de eletrofloculação, serão apresentados alguns resultados obtidos com a utilização dessa técnica para tratamento de efluentes têxteis, mesmo que atualmente ainda há poucos estudos da aplicação dessa técnica.

Cerqueira (2006) otimizou e aplicou a técnica em efluente de indústria têxtil de fabricação de linho, utilizando eletrodos de Ferro e Alumínio. Na otimização foram analisadas as seguintes variáveis: pH inicial, tempo de eletrofloculação e corrente elétrica.

Os melhores resultados de eficiência da técnica para o eletrodo de Alumínio foram em pH inicial 5,00, tempo de 10 minutos e corrente de 3 A, removendo em relação o efluente bruto, 81% da cor, 93% da turbidez e 70% de DQO. Já para o eletrodo de Ferro os melhores resultados se deram em pH inicial 7,00, tempo de 10

minutos e corrente de 3 A, removendo em relação ao efluente bruto, 95% da cor, 96% da turbidez e 61% de DQO.

O autor da pesquisa realizou testes em várias amostras do efluente em dias diferentes e comparou a eficiência da técnica de eletrofloculação com o tratamento físico-químico, utilizando o coagulante Cloreto de Alumínio, que a indústria fornecedora do efluente realizava. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Tratamento Eletrolítico (laboratório) x Tratamento Físico-Químico (indústria têxtil) (CERQUEIRA, 2006).**

Parâmetro	Efluente bruto (mg/L)	Tratamento eletrolítico Remoção (mg/L)		Tratamento físico-químico Remoção (mg/L)
		Eletrodo de Al	Eletrodo de Fe	Tanque de decantação
DQO	(a) 1428	515	643	600
	(b) 1770	832	973	708
	(c) 1340	616	683	603
	(d) 1348	404	526	620

Os valores obtidos para ambas as técnicas são próximos, ou seja, a eletrofloculação poderia ser aplicada no tratamento desse tipo de efluente, além disso, enquanto o tratamento físico-químico com agentes químicos aumenta a concentração dos metais no efluente tratado, o tratamento eletrolítico diminui a concentração em relação ao efluente bruto, como pode ser visto nas Tabelas 2 e 3, onde o autor utilizou Espectrometria de Emissão Ótica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) para avaliar a concentração residual dos metais no efluente bruto e no efluente tratado por eletrofloculação, com eletrodos de Ferro e Alumínio.

**Tabela 2. Quantidade Remanescente de Alumínio e Ferro no Efluente Bruto e Eletrofloculado Utilizando Eletrodo de Alumínio (CERQUEIRA, 2006).**

Condições de EF	Al (mg/L) residual	Fe (mg/L) residual
	I = 3 A / t = 10 minutos / pH 5	0,61 <sub>a</sub>
	0,14	0,05



I = 4 A / t = 10 minutos / pH 5	0,20	0,18
I = 5 A / t = 10 minutos / pH 5	0,23	0,03

a: efluente bruto com residual de Al  
b: efluente bruto com residual de Fe

**Tabela 3. Quantidade Remanescente de Alumínio e Ferro no Efluente Bruto e Eletrofloculado Utilizando Eletrodo de Ferro (CERQUEIRA, 2006).**

Condições de EF	Al (mg/L) residual	Fe (mg/L) residual
		0,61 <sub>a</sub>
I = 4 A / t = 10 minutos / pH 7	0,08	0,36
I = 5 A / t = 10 minutos / pH 7	0,06	0,20

a: efluente bruto com residual de Al  
b: efluente bruto com residual de Fe

Observando os resultados, em todos os casos a eletrofloculação diminuiu a concentração residual dos metais no efluente tratado, fazendo com que haja menor contaminação, por esses metais, do corpo de água receptor do efluente tratado.

Outro estudo, realizado por Fleck (2011), também conseguiu bons resultados através do tratamento de efluente de uma indústria têxtil do município de Céu Azul (PR), com a técnica de eletrofloculação.

O autor, utilizando eletrodos de Alumínio, realizou a eletrofloculação do efluente levando em consideração, como condições ótimas, intensidade da corrente elétrica de 3 A, condutividade elétrica de 2,5  $\Omega$ /cm e tempo de aplicação de 10,5 minutos. Os resultados obtidos foram a remoção média, em relação ao efluente bruto, de 86,23% da cor e de 90,67% da turbidez. As análises de cor foram realizadas em espectrofotômetro em 400 nm e a turbidez em turbidímetro.

Além da eficiência da técnica no tratamento do efluente, também foi analisado o desgaste dos eletrodos de sacrifício de Alumínio, através da diferença de massa do eletrodo antes e depois da eletrofloculação. Os resultados obtidos estão na Tabela 4 e nota-se que o consumo do eletrodo é considerável, porém, de acordo com o autor, mesmo com a estrutura metálica danificada ao longo do processo, a eficiência se manteve, sendo necessária a troca dos eletrodos apenas quando a estrutura física dos mesmos não possibilitou o tratamento eletroquímico.

**Tabela 4. Relação entre o Volume de Efluente Tratado e o Desgaste dos Eletrodos (FLECK, 2011).**

Massa inicial dos eletrodos de sacrifício (g)	15,95
Consumo de alumínio para o tratamento eletroquímico (g)	7,0
Redução em massa dos eletrodos (%)	43,88
Volume de efluente por ensaio eletroquímico (mL)	700
Total de ensaios	39
Volume total de efluente eletrofloculado (mL)	27300
Relação efluente/alumínio- mL/g.	3900/1

Outro estudo que também aplica a técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis foi realizado por Pereira (2007), onde amostras de efluentes de duas empresas (empresas 1 e 2) foram tratados eletroquimicamente e obteve-se resultados satisfatórios.

Após a otimização, para o efluente da empresa 1, a eletrofloculação se deu em 40 minutos, obtendo-se os seguintes resultados em relação ao efluente bruto: redução de turbidez de 86,7%, aumento do pH de 7,55 para 9,20, redução de 90% da DQO e redução total de cor. Para o efluente da empresa 2, o tempo que obteve o melhor resultado foi alto, de 4 horas, e mesmo assim foi removido somente 50% da cor, a redução da turbidez foi de 96,35% e o pH não variou na faixa de 10,56. Os dados de redução de DQO no último caso não foram externados pelo autor.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria têxtil é um potencial poluidor de águas por conter em seu efluente, sólidos e compostos químicos de alta complexidade e de difícil degradação natural, como é o exemplo dos corantes. Visando diminuir ao máximo a poluição ambiental, buscam-se cada vez mais, novas técnicas para aumentar a eficiência do tratamento de efluentes, e mais do que isso, técnicas que sejam mais limpas em suas aplicações, ou seja, que além de tratar não gera subprodutos ou resíduos que afetam as águas, solo e conseqüentemente a saúde pública.

Nesse contexto, considerando que no atual sistema de tratamento, onde coagulantes químicos metálicos são adicionados ao efluente, a eletrofloculação surge como um método inovador, que alia eficiência no tratamento de efluentes têxteis à retirada do efluente, de metais relacionados com doenças como mal de Parkinson e Alzheimer.

O processo eletroquímico apresenta mais eficiência que a técnica tradicional na remoção de partículas coloidais, em suspensão, matéria orgânica e metais, por gerar o coagulante dentro do reator (“in situ”), além da ação conjunta de microbolhas geradas no cátodo.

Assim como qualquer método ou técnica, e eletrofloculação apresenta vantagens e desvantagens, alguns pontos relevantes estão a seguir:

### Vantagens:

- Versatilidade;
- Eficiência energética;
- Segurança;
- Seletividade;
- Reações rápidas e sistemas de menor tamanho.
- Ao invés de usar produtos químicos ou microorganismos os sistemas empregam somente elétrons para facilitar o tratamento da água.
- A eletro-floculação requer equipamentos simples e de fácil operação, em que a corrente e o potencial aplicado, podem ser medidos e controlados de maneira automatizada;

- Há controle maior na liberação do agente coagulante, em comparação com os processos físico-químicos convencionais;
- Os flocos formados são mais estáveis, podendo ser melhor removidos por filtração;
- Remove as partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação;
- Limita o uso de substâncias químicas, minimizando, conseqüentemente, o impacto negativo causado pelo excesso de xenobióticos lançados no ambiente, fato que acontece quando a coagulação química empregando polieletrólitos é utilizada no tratamento de efluentes;
- As bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem levar o contaminante ao topo da solução, onde pode ser concentrado e removido mais facilmente;
- A célula eletrolítica é eletricamente controlada, não necessitando de dispositivos adicionais, o que requer menos manutenção;

#### Desvantagens:

- Os eletrodos precisam ser substituídos regularmente, caso sofram passivação;
- O uso de eletricidade pode ser caro em alguns lugares;
- Um filme de óxido impermeável pode ser formado no cátodo, conduzindo à perda de eficiência da unidade;
- É requerida alta condutividade do efluente.

Analisando os prós e contras, é possível inferir que a técnica de eletrofloculação é altamente viável e aplicável ao tratamento de efluentes, especialmente os têxteis, sendo um método mais eficiente e ao mesmo tempo diminui os impactos ambientais à natureza que vai receber o efluente tratado e conseqüentemente às pessoas e animais que utilizarem essa água posteriormente.

Apesar de já haver um grande interesse nessa técnica, através de pesquisas e aplicações a vários tipos de efluente em nível laboratorial, ainda não é comum encontrarmos indústrias utilizando essa técnica rotineiramente no tratamento de seus efluentes. No entanto, já há empresas no ramo de soluções ambientais que oferecem reatores eletroquímicos para aplicação real em indústrias.

Esse trabalho teve a intenção de promover, disseminar e motivar o conhecimento sobre os princípios e a aplicação dessa nova técnica de tratamento de efluentes, que ao ser implantada poderia diminuir a poluição dos rios que recebem o efluente tratado, em especial os rios que fornecem água para muitas empresas têxteis na região noroeste do Paraná, uma grande produtora de artigos têxteis.

## REFERÊNCIAS

FORNARI, Marilda M. T. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes de curtume**. Unioeste, Toledo, PR, 2008.

A ONU E A ÁGUA. Disponível em: <http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua>. Acesso em 14 de jul. 2014.

BRESAOLA JÚNIOR, Ruben; CANTELLI, Dirceu L. **Tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil e seu reuso**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, RS, 2000.

QUADROS, Silvana S. de. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Química)- Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 2005.

GANSKE, Catia C. F.; ZANOTELLI, Cladir T. **Desempenho da estação de tratamento de efluente têxtil através de análise de componentes principais (acp)**. XIX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, AL, 2011.

TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO E ANAERÓBIO DE EFLUENTES. Disponível em: <http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/340697/Tratamento-biologico-aerobio-e-anaerobio-de-efluentes>. Acesso em: 16 de jul. 2014.

KUNZ, Airton; DURÁN, Nelson. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Revista Química Nova, Vol. 25, N. 1, 78-82, 2002.

TRATAMENTO TERCIÁRIO. Disponível em: [http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca\\_Detalhe.aspx?codigo=1179](http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=1179). Acesso em: 16 de jun. 2014.

SEBRAE. **Panorama regional do vestuário no Paraná**. Paraná, 2010.  
GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GUARATINI, Cláudia C.I.; ZANONI, Maria V. B. **Corantes têxteis**. Revista Química Nova, Vol. 23, N. 1, 71-78, 2000.

FIORENTINI, V. **Uso do Tanino no Processo de Tratamento de Água como Melhoria em Sistema de Gestão Ambiental.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005. Tese (Mestrado).

VAZ, Luiz G. de Lima. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente líquido gerado na galvanoplastia.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, PR, 2009. Tese (Mestrado).

ALMEIDA, Edna; ASSALIN, Márcia R.; ROSA, Maria A. **Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio.** Revista Química Nova, Vol. 27, N. 5, 818-824, 2004.

BERGAMINI, Marcio F.; OLIVEIRA, Fernando C. M. de; ZANONI, Maria V. B. **Análise voltamétrica do corante têxtil do tipo antraquinona empregando eletrodos de carbono impresso.** Revista Eclética Química, Vol. 30, N. 2, São Paulo, 2005.

PASCHOAL, Fabiana M. M.; TREMILIOSI FILHO, Germano. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais.** Revista Química Nova, Vol. 28, N. 5, São Paulo, 2005.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Tese (mestrado).

CERQUEIRA, Alexandre 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.

PEREIRA, Alline F. S. **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

RODRIGUES, Bárbara M. **Utilização da eletrofloculação para tratamento de água da produção.** Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Tese (mestrado).

HASSEMER, Maria E. N. **Tratamento de efluente têxtil – processo físico-químico com ozônio e floculação em meio granular.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000. Tese (mestrado).

AQUINO, Sérgio F. de; SILVA, Silvana de Queiroz; CHERNICHARO, Carlos A. L. **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios.** Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 11, n. 4, Rio de Janeiro, 2006.

FLECK, Leandro. **Aplicação do controle estatístico de processos ao tratamento de um efluente têxtil por eletrofloculação.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, PR, 2011.

SINOTI, André L. L.; SOUZA, Marco A. A. de. **Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários: estudo da sua aplicabilidade e mecanismos associados.** Trabalho apresentado no XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, GO, 2013.

BRITO, Juliana F. et al. **Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação.** Revista Química Nova, v. 35, n. 4, São Paulo, SP, 2012.