

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

**CAROLINE BERTINATTO FABRIS
VILMAR MARMENTINI JUNIOR**

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE FERRO EM EFLUENTE
TÊXTIL TRATADO POR ELETROFLOCULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MEDIANEIRA
2013**

CAROLINE BERTINATTO FABRIS
VILMAR MARMENTINI JUNIOR

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE FERRO EM EFLUENTE TÊXTIL TRATADO POR ELETROFLOCULAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial à obtenção do Grau de Tecnólogo, no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, promovido pela UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Eyng
Co-orientador: Prof. Dr. Laercio M. Frare

MEDIANEIRA
2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Curso Superior em Tecnologia em Gestão Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE FERRO EM EFLUENTE TÊXTIL TRATADO POR ELETROFLOCULAÇÃO

por

**CAROLINE BERTINATTO FABRIS
VILMAR MARMENTINI JUNIOR**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de Abril de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Tecnologia de Gestão Ambiental. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eduardo Eyng
Orientador

Prof. Dr. Laercio M. Frare
Co-orientador

Prof. MSc Eduardo Borges Lied
Membro Titular

Prof. Dr. Rafael Arioli
Membro Titular

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

RESUMO

FABRIS, Caroline B.; MARMENTINI, Vilmar Jr. **Avaliação da Concentração Residual de Ferro em Efluente Têxtil Tratado por Eletrofloculação**. 2013. 39. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

No contexto industrial, a indústria têxtil ganha destaque por ser grande geradora de efluente. Desta forma, este estudo constitui-se em aplicar a técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluente têxtil, sendo analisada a concentração final de ferro, com base na Resolução 430/2011, para padrões de lançamento de efluente. As análises da concentração de ferro foram efetuadas a partir da metodologia do Standard Methods. Por conseguinte, foi analisada a eficiência de remoção da cor do efluente tratado. Todos os parâmetros avaliados foram realizados tanto nos ensaios de efluente têxtil tratado, como no efluente têxtil bruto, todos em duplicatas. O tratamento de eletrofloculação se mostrou eficiente em ambos os parâmetros avaliados, pois a concentração residual de ferro atingiu valores muito inferiores ao permitido na legislação, chegando ao valor máximo de 6,04 mg/L, em comparação aos 15 mg/L estabelecido na Resolução 430/2011. Além disso, a eficiência na remoção da cor mostrou resultados significativos, chegando a 95,83% de eficiência.

Palavra chave: Efluente Têxtil. Eletrofloculação. Ferro.

ABSTRACT

FABRIS, Caroline B.; MARMENTINI, Vilmar Jr. **Evaluation of Iron Residual Concentration on Textile Effluent Treated by Electroflocculation.** 2013. 39. Trabalho de Conclusão de Curso, Federal Technology University - Paraná. Medianeira, 2013.

In industrial context, the textile industry stands out for being a great generator of effluent. Thus, this study consists in applying the technique of electroflocculation for the treatment of textile effluents. Therefore, the final concentration of iron was studied, based on Resolution 430/2011, for effluent discharge standards. The analyses of the concentration of iron were carried out using the methodology of Standard Methods. Thus, the efficiency of removal of color from the treated effluent was analyzed. All evaluated parameters were carried out in duplicated trials of treated textile effluent as well as of raw textile effluent. The electroflocculation treatment proved to be efficient in both evaluated parameters, since the residual concentration of iron reached values much lower than the value allowed by the legislation, reaching the maximum value of 6.04 mg / L, in contrast to 15 mg / L established in Resolution 430/2011. Moreover, the efficiency in the removal of color showed significant results, reaching 95.83% of efficiency.

Keywords: Textile Effluent. Electroflocculation. Iron.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Fluxograma do beneficiamento de tecidos..... | 14 |
| Figura 2 - Lagoa da lavanderia industrial, onde o efluente foi coletado..... | 23 |
| Figura 3 - Sistema da montagem dos eletrodos..... | 24 |
| Figura 4 - Módulo experimental de eletrofloculação..... | 26 |
| Figura 5 - Amostras em decantação..... | 27 |
| Figura 6 - Representação gráfica da eficiência de remoção da cor | 30 |
| Figura 7 - Representação gráfica entre a remoção da cor do efluente tratado e o efluente bruto | 31 |
| Figura 8 - Representação gráfica da concentração média de ferro do Efluente Tratado (E.T) e do Efluente Bruto (E.B)..... | 33 |
| Figura 9 - Concentrações residuais de ferro | 34 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Matriz do delineamento experimental e os parâmetros definidos pelo DCC | 25 |
| Tabela 2 - Eficiência na remoção da cor | 25 |
| Tabela 3 - Concentrações de ferro analisadas | 30 |
| Tabela 4 - Anova | 31 |
| Tabela 5. Teste F para a cor | 32 |
| Tabela 6. Análise dos efeitos | 32 |
| Tabela 7. Concentrações de ferro analisadas | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA | 11 |
| 2.1 RECURSOS HÍDRICOS..... | 11 |
| 2.2 EFLUENTES TÊXTEIS | 12 |
| 2.3 CORANTES..... | 13 |
| 2.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA..... | 14 |
| 2.5 PROCESSO DE TRATAMENTO UTILIZADO PELA INDÚSTRIA TÊXTIL | 16 |
| 2.5.1 Remoção de Substâncias em Estado Coloidal - Coagulação/Floculação | 17 |
| 2.5.2 Remoção de Substâncias por Eletrofloculação | 18 |
| 2.6 EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE ELETROFLOCULAÇÃO | 20 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 22 |
| 3.1 MÓDULO EXPERIMENTAL | 23 |
| 3.1.1 Planejamento Experimental..... | 23 |
| 3.1.2 Procedimento Experimental | 24 |
| 3.2 PARÂMETROS AVALIADOS | 26 |
| 3.2.1 Método da avaliação do parâmetro: Determinação de Ferro | 27 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 4.1 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DA COR | 29 |
| 4.2 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO FERRO..... | 31 |
| 5 CONCLUSÃO | 34 |
| REFERÊNCIAS | 35 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente sabe-se que a água é o elemento mais importante para a vida humana, pois compõe de 60 a 70% do nosso peso corporal, é essencial para todas as funções orgânicas e regula a nossa temperatura interna; além de a usarmos em todas as nossas atividades do nosso dia-a-dia. Desta forma, com o crescimento populacional e o desenvolvimento industrial, percebe-se cada vez mais o consumo elevado da mesma em processos industriais, gerando um grande volume de efluentes altamente poluidores, pois estes contêm elementos de difícil ou impossível degradação natural. Por isso a importância de uma legislação rígida, exigindo das indústrias e outras atividades potencialmente geradoras de poluição, o tratamento dos efluentes e o desenvolvimento novas tecnologias sustentáveis. (QUEIROZ, 2010).

É conhecido que as indústrias afetam a qualidade de água, em especial, as têxteis que são geradoras de grandes descargas de efluentes, pelo próprio processo de funcionamento que exige grandes volumes de água para, processo que resulta em uma formação combinada de alta demanda química do oxigênio, sólidos em suspensão, substâncias dissolvidas, alteração de pH, coloração atípica e toxicidade (KUNS ET AL., 2002; CERQUEIRA 2006).

Muitas são as técnicas utilizadas para o tratamento de efluentes. Em tais, se combinam sistemas e tecnologias necessárias para adequar o efluente aos parâmetros e a qualidade requerida pela legislação para o descarte no meio receptor. Entre estas tecnologias a eletrofloculação tem se mostrado uma alternativa promissora no tratamento de efluente.

Borba et al (2010), afirma que a técnica da eletrofloculação desperta muito interesse devido à sua simplicidade de operação, além de apresentar possibilidades de tratamento para uma grande variedade de efluentes.

A eletrofloculação é um processo composto por um reator eletroquímico, que é o centro das reações de coagulação. Segundo Rodriguez *et al.* (2007), o reator é um arranjo de placas de metal, com base em anodos de sacrifício, que se dissolvem em água na forma de íons por meio de uma corrente elétrica.

A eletrofloculação ocorre resumidamente em quatro etapas: geração eletroquímica do agente coagulante; adsorção, neutralização e varredura; floculação; e por fim, a flotação das impurezas (CRESPINO, 2004).

Segundo Silva (2005), durante o processo de eletrofloculação, ocorrem, no interior do reator, as reações anódicas e catódicas, estas provocam a dissociação das moléculas da água, liberando íons e gases (oxigênio e hidrogênio) fundamentais para a dinâmica do processo. As hidroxilas geradas se associam aos íons alumínio e/ou ferro, liberados pela oxidação do metal que compõe o eletrodo, formando hidróxidos insolúveis, coloides que potencializam o desenvolvimento da floculação. Essas reações são processadas em pH adequado e os gases nascentes evoluem em direção ao topo movimentando o conteúdo do reator, carreando os poluentes em suspensão e formando uma espessa espuma. Além disso, os eletrodos de ferro são mais utilizados uma vez que produzem compostos coagulantes eficazes, são baratos e disponíveis no mercado.

O consumo de elétrons é estabelecido pelas leis de Faraday, pois é associado à quantidade total de substâncias reagentes. Dessa forma, a eletrocoagulação, está diretamente relacionada ao desgaste do eletrodo (corrosão) no processo de geração do agente coagulante (SILVA, 2005).

Entretanto, durante o processo da eletrofloculação íons de ferro se acumulam na água, não sendo totalmente eliminados com a flotação. E o excesso deste mineral na água é proibido por legislação para cada devida classificação de água.

A partir da classificação dos corpos de água, disponível na Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, que também dispõe diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, a Classe 2 é referente a águas destinadas: ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas: à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana. Para esta, existe uma série de padrões onde estão dispostos teores máximos para substâncias potencialmente prejudiciais. Entre elas o teor máximo de ferro dissolvido: 0,3 mg/L. Já na Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011, referente a lançamento de efluentes, dispõe que efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos na mesma, e em outras normas aplicáveis. Para o lançamento de efluentes o teor máximo de ferro solúvel é de 15 mg/L.

Segundo Siqueira et al (2006), devido a seu potencial redox, o ferro tornou-se o metal mais comumente utilizado na maioria dos sistemas biológicos. Exercendo função essencial no organismo de seres vivos, como cofator nas reações de transferência e conservação de energia, além de participar na síntese de biomoléculas e em vários outros processos como o transporte de oxigênio. Porém, o ferro pode transferir elétrons para o oxigênio molecular, capazes de promover a oxidação de diversas moléculas e danos oxidativos celulares. Assim, tanto a deficiência quanto o excesso de ferro no organismo são responsáveis por um amplo espectro de doenças, variando desde a anemia até a sobrecarga, além de provocar doenças cardíacas, câncer, diabetes e artrites.

Devido a eletrofloculação apresentar um alto potencial de aplicabilidade e de eficiência em tratamentos de efluentes, e ainda o ferro possuir um baixo custo, a técnica se mostra promissora. Porém durante o processo ocorre a oxidação do ferro (Fe), liberando ions Fe^{2+} ou Fe^{3+} , podendo assim, proporcionar concentração de ferro elevada, e conseqüentemente não atender a legislação.

Dessa forma, as contribuições do presente trabalho se resumem em avaliar a concentração residual de ferro em um efluente têxtil tratado por eletrofloculação, além disso, analisar a eficiência na remoção de cor do efluente tratado.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 RECURSOS HÍDRICOS

De acordo com a ONU (Organização das Nações Unidas) cerca de 40% da população mundial não possui de água suficiente para atividades como saneamento básico e higiene. Em cerca de 20 anos, a quantidade de água suficiente para uma estrutura adequada para cada indivíduo será diminuída a cerca de um terço da atual (MACHADO, 2002; SANTOS, 2002).

Ao analisar o cenário mundial o Brasil se destaca entre os países com maiores reservas de água doce, sendo estas, superficiais ou subterrâneas. Aproximadamente 12% da água doce superficial do planeta estão em terras brasileiras, no entanto, o grande problema é a distribuição geográfica da mesma, enquanto a região norte que detêm 78% da água do país e é povoada por 7,8% da nossa população a região nordeste que apresenta uma taxa de 27,8% da população, tem 3,3% das reservas de água doce (BAIRD, 2002; REBOUÇAS, 2002).

A dificuldade no abastecimento de água se deve a um conjunto de fatores que vão além da distribuição geográfica citada anteriormente, mas especialmente ao fator que implica no uso irracional dos recursos hídricos. Uma vez que, a população mundial tem crescido junto com o aumento da atividade industrial a contaminação das águas naturais se torna um problema atual (FREIRE, 2004).

Uma vez associada que a demanda por água potável pode ser tanto populacional quanto industrial é instaurada uma situação complexa e a exigência por tratamento adequado dos efluentes torna-se imprescindível (CERQUEIRA, 2006).

No contexto industrial, a indústria têxtil ganha destaque por ser grande geradora de efluente e dependente da tecnologia para caracterizar seus efluentes, além disso, os processos industriais utilizados e também os tipos de fibras e produtos químicos empregados exigem grande consumo de água durante as etapas de lavagem, tingimento, acabamento dos tecidos e lavagem de pisos e equipamentos (PEREIRA, 2012).

Desta forma, verifica-se a necessidade de desenvolvimento de um modelo e técnicas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria que atendam desde os elementos de disponibilidade, legislação referente ao controle ambiental, identificação

e conhecimento das técnicas e procedimentos existentes para o tratamento, e ainda, o reuso da água (MIERZWA, 2002; CERQUEIRA, 2006).

2.2 EFLUENTES TÊXTEIS

O produto que é gerado pela atividade industrial ou urbana e lançado ao meio ambiente pode ser caracterizado do ponto de vista ecológico como: efluente. Uma vez que há um desenvolvimento industrial há uma direta relação com a poluição ambiental (PEREIRA et al., 2012).

A grande preocupação referente aos efluentes têxteis está associada à utilização de corantes que não se fixam durante o processo de tingimento, há estimativas que cerca de 20% do corante seja perdido durante o processamento industrial. Este corante mesmo que presente no efluente em baixas concentrações, como por exemplo, 1ppm (1mg/L) pode causar acentuada mudança de coloração nos rios (TREMILIOSI-FILHO, PASCHOAL, 2005).

Além do fator relacionado à alteração da coloração natural dos rios existe a preocupação com o risco biológico, ou seja, efeitos toxicológicos podem ser gerados para a saúde da população em geral, quando exposta ao corante.

A produção têxtil na indústria de tecidos é dividida nos processos de fiação, tecelagem e acabamento. Na etapa de fiação e matéria-prima não há formação de efluentes líquidos, pois todas as etapas ocorrem a seco. Na etapa de tecelagem a partir dos fios tingidos são gerados os teares, que também ocorre à seco. No entanto, no processo denominado de desengomagem onde é removida a goma aplicada na tecelagem são gerados grandes quantidades de efluentes líquidos poluidores (TREMILIOSI-FILHO, PASCHOAL, 2005; ZANONI, GUARATINI 2009). Na Figura 1 pode ser acompanhado de forma esquemática o processo de beneficiamento dos tecidos.

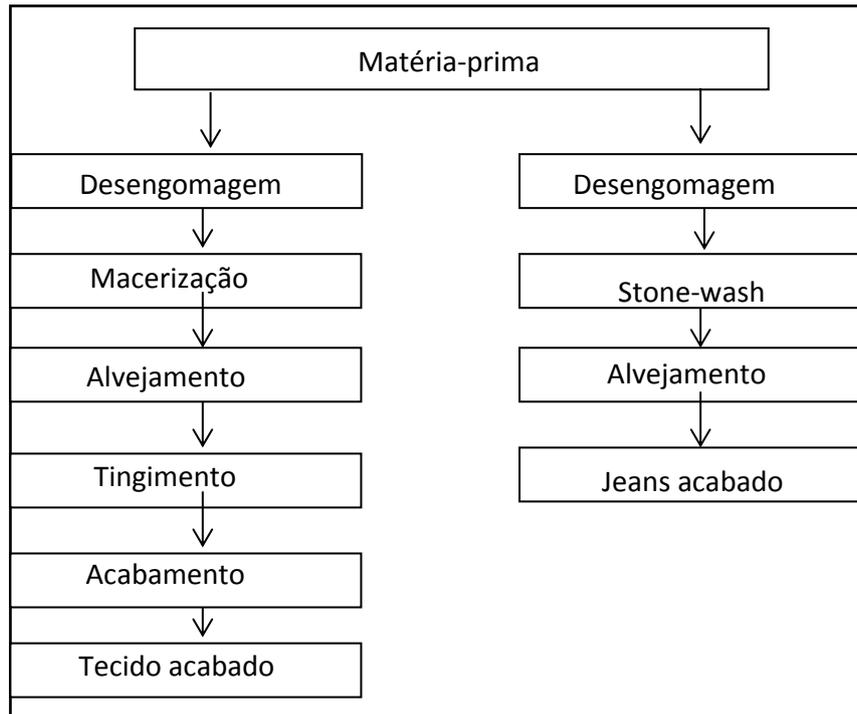


Figura 1. Fluxograma do beneficiamento de tecidos.

O efluente gerado pela indústria têxtil apresenta composição extremamente heterogênea o que torna seu tratamento difícil, deste modo, há necessidade de conhecer os corantes envolvidos no processo para que se possa adotar os métodos mais adequados, eficientes para a remoção de cor desses efluentes (ZANONI, GUARATINI 2009).

2.3 CORANTES

O espaço ocupado pelos corantes na trajetória da sociedade é amplo e bem descrito, estes são utilizados na indústria como fator fundamental no sucesso comercial, pois apresentam em sua molécula porção responsável pelo tingimento da fibra têxtil e outra para fixação da fibra (DURÁN ET AL., 2001).

O processo de tingimento exige além da padronização e beleza da cor, algumas características básicas do produto, como por exemplo, elevado grau de fixação em relação à luz, lavagem e transpiração, tanto inicialmente quanto após uso prolongado. Para garantir essas propriedades, as substâncias que conferem coloração à fibra devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração,

resistência nos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda apresentar viabilidade econômica (ZANONI, GUARATINI 2009).

Além das exigências relatadas referentes aos corantes outra situação existente é a demanda que é extremamente grande e que fez com que nos últimos anos muitos compostos fossem sintetizados. Da mesma forma, os corantes podem ser classificados de várias maneiras de acordo com sua estrutura química, ou ainda, de acordo com o método pelo qual foi fixado pela estrutura têxtil. Os principais grupos de corantes que podem ser classificados de acordo com os métodos de fixação são: corantes reativos, corantes diretos, corantes azoicos, corantes ácidos, corantes à cuba, corantes de enxofre e corantes dispersivos (DURÁN ET AL., 2001).

Para garantir as propriedades às substâncias que conferem coloração as fibras devem apresentar alta uniformidade na coloração e resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento. Por isso além dos corantes alguns produtos químicos auxiliares estão presentes, e estes, mesmo que em concentrações consideradas baixas, são extremamente indesejáveis (YOKOYAMA; ARAUJO, 2005).

Para exemplificar, o caso das fibras celulósicas como o algodão onde são aplicados os corantes reativos, diretos, azóicos e sulfurosos e o tratamento para estes reativos é tradicional.

O grande problema ao não se realizar tratamento devido dos efluentes gerados por esses compostos, é que, além da poluição visual, alterações no ciclo biológico das plantas podem ser gerados, como por exemplo, na fotossíntese (DURÁN ET AL., 2001, PEREIRA ET AL., 2012).

2.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A legislação brasileira desenvolveu normas para estabelecer e classificar os recursos hídricos nacionais a fim de proteger e regular a emissão de efluentes pela indústria o que deve ser respeitado tanto a nível federal como estadual.

Além das normas de controle aprovada a nível federal, existe uma Política Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, na qual são estabelecidos os procedimentos para a implantação de sistemas integrados de gerenciamento dos recursos hídricos (GARRIDO, 2003).

Na esfera Federal, dentre as diversas normas que tratam da questão referente aos recursos hídricos, todas elas são amparadas pela Constituição Federal de 1988, ou então, na constituição vigente na época, uma norma que deve ser destacada é Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, que traz diretrizes ambientais, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, a Classe 2 é referente à águas destinadas: ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas: à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana (MENDONÇA, REIS 2000).

Ainda existe, uma serie de padrões onde estão dispostos teores máximos para substâncias potencialmente prejudiciais aos recursos hídricos. Entre elas o teor máximo de ferro dissolvido: 0,3 mg/L. Já na Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011, referente a lançamento de efluentes, dispõe que efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na mesma, e em outras normas aplicáveis. Para o lançamento de efluentes o teor máximo de ferro solúvel é de 15 mg/L (GARRIDO, 2003).

Outro documento de relevância que deve ser lembrando é a agenda 21 que foi elaborada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que teve como objetivo integrar a proteção do meio ambiente ao desenvolvimento econômico e, ainda, proporcionar melhor qualidade de vida à população. Entre os planos de ação podem ser destacados os vários programas e planos de ação, abordando os seguintes aspectos relacionados aos planos racionais de utilização da água como o desenvolvimento de fontes de suprimento subterrâneas que possam conservar e diminuir o desperdício, abrindo espaço para as medidas de prevenção e controle de enchentes (NOVAES, 2000).

Analisando as normas vigentes relacionadas ao gerenciamento de águas efluentes, surge a necessidade de se aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável e averiguar as atividades humanas.

2.5 PROCESSO DE TRATAMENTO UTILIZADO PELA INDÚSTRIA TÊXTIL

As técnicas de tratamento utilizada pela indústria para tratar os resíduos são variadas e incluem desde métodos físicos, químicos à biológicos. O objetivo do tratamento dos efluentes consiste em converter fases do material de tal forma, que compostos que apresentam elevado grau de toxicidade sejam transformados em substâncias inertes ou menos agressivas (FREIRE, PEREIRA 2004).

Para a escolha do tipo de tratamento de efluente industrial é necessário conhecer a amostra, pois é um processo que exige a remoção das impurezas geradas. Para exemplificar, o tratamento de efluente têxtil pode consistir em remover substâncias através de reação química do corante em algo menos prejudicial, como CO_2 e H_2O . Os físicos procuram a remoção do corante por meio da retenção deste em algum meio adsorvente ou filtrante. Por último, os métodos biológicos utilizam a oxidação como técnica através da cultura de bactérias em condições aeróbias e anaeróbias.

Nos métodos de tratamento químicos o processo oxidativo é o mais utilizado para descoloração do efluente, pois através do uso de agente oxidante: o peróxido de hidrogênio e ativação de luz ultravioleta é permitido a oxidação química por meio da quebra dos anéis aromáticos do corante (SAUER 2002).

O processo de ozonização integra o grupo de tratamento químico e se torna um bom agente oxidante devido a sua alta instabilidade e serve para aplicação em corantes que apresentam dupla ligação e também em hidrocarbonetos clorados, fenóis, pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos. Comparando o método com a destruição eletroquímica a desvantagem é que não altera a formação de iodo (DURÁN ET AL., 2001).

Dentre as técnicas existentes, a de adsorção, que faz parte do grupo de tratamento físico tem ganhado espaço devido a eficiência de poluentes estáveis. A remoção da cor pode ocorrer por adsorção e por troca iônica. Nesta técnica, o carvão ativado é uma boa opção por conseguir remover os corantes catiônicos e tem pouca atividade para corantes diretos e reativos (CERQUEIRA, 2006) .

No grupo de métodos de tratamento biológico existem as misturas de culturas biológicas que apresentam ampla variedade e tem capacidade para descolorir os cromóforos ligados aos corantes. É necessário verificar que são incapazes de tratar grandes volumes de resíduos.

Outra tecnologia que tem se mostrado uma alternativa promissora no tratamento de efluentes é a eletrofloculação, também chamada de eletrocoagulação e eletroflotação. Este tratamento acontece em reatores eletroquímicos, que são o centro das reações de coagulação. Nestes é realizada a descontaminação de diversos tipos de efluentes industriais. (CRESPILHO & REZENDE, 2004; BORBA et al, 2010).

2.5.1 Remoção de Substâncias em Estado Coloidal - Coagulação/Floculação

Uma grande parte dos processos utilizados em estações de tratamento de efluentes envolvem a adição de agentes coagulantes e floculantes, ou seja, tratamentos com polímeros como sais de ferro e alumínio para romper o equilíbrio do meio ambiente em relação a amostra (SENS; HASSEMER, 2002) .

A coagulação consiste anular carga eletronegativa dos colóides presentes no meio líquido de forma a gerar um precipitado. Segundo Fornari (2007), floculante é, portanto, um estimulante de coagulação que acelera a formação, coesão e a densidade do floco e, conseqüentemente diminui seu volume.

A eletrofloculação está disponível há mais de cem anos e ressurge nas últimas duas décadas como uma das melhores técnicas para tratamento de água e efluentes, devidos as crescentes restrições ambientais. Consiste na utilização de reatores eletroquímicos juntamente com corrente elétrica, gera coagulantes “in situ” por oxidação eletrolítica de um material apropriado no anodo geralmente: sulfato de alumínio, sulfato ferroso, dióxido de carbono e polieletrólitos aniônicos e catiônicos (ANDRADE et al., 2011).

Alguns autores ainda comentam que em certos casos há necessidade de auxiliares de coagulação, pois há um aumento na decantação, e melhora no enrijecimento dos flocos, utilizando assim os polieletrólitos naturais ou sintéticos.

2.5.2 Remoção de Substâncias por Eletrofloculação

Consiste em um processo eletroquímico de tratamento diferenciado onde o reator torna-se o centro das reações de coagulação, ocorrendo passagem de corrente elétrica entre os eletrodos que devem estar submersos em meios aquosos, distribuídos de forma paralela no interior do reator, o que desenvolve reações de: coagulação, floculação, decantação, oxidação e flotação dos contaminantes que ficaram suspensão.

O processo de eletrofloculação segue as ideias dos processos de flotação convencional, onde há remoção de partículas suspensas através da adsorção de pequenas bolhas gasosas, reduzindo a densidade de tais partículas de modo que elas flitem (FORNARI, 2007; TWARDOKUS 2004).

A eletrofloculação é um processo em que ocorre simultaneamente a eletroflotação/eletroprecipitação e a eletrofloculação. O grande diferencial deste método é que ao formar as bolhas ocorrem: oxigênio no ânodo e hidrogênio do cátodo. Comparando ao método tradicional de flotação há uma formação de com supersaturação do meio, através da injeção de ar comprimido, formando bolhas quando a pressão é liberada.

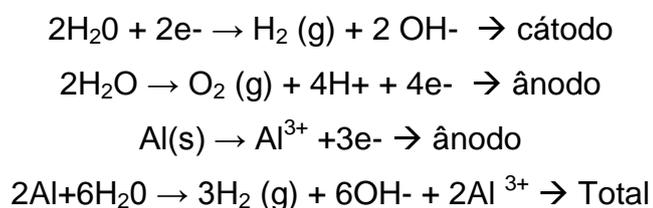
Os reatores da eletrofloculação em sua forma mais simples são compostos por um ânodo e um cátodo. Quando ocorre uma diferença de potencial de corrente elétrica é aplicado por uma fonte externa o material do ânodo é oxidado, e o cátodo estará sujeito a redução ou deposição redutiva do elemento metálico. Devido a diferença de potencial da corrente elétrica aplicada ao processo eletroquímico pode ocorrer a formação de microbolhas de hidrogênio no cátodo (TREMILIOSI-FILHO, PASCHOAL.,2005).

As hidroxilas são geradas e se associam aos íons alumínio e/ou ferro, liberados pela oxidação do metal que compõe o elétrodo, formando hidróxidos insolúveis, coloides que potencializam o desenvolvimento da floculação. Essas reações são processadas em pH adequado e os gases nascentes evoluem em direção ao topo movimentando o conteúdo do reator, carreando os poluentes em suspensão e formando uma espessa espuma. Além disso, os eletrodos de ferro são mais utilizados uma vez que produzem compostos coagulantes eficazes, são baratos e disponíveis no mercado (PINHEIRO 2006).

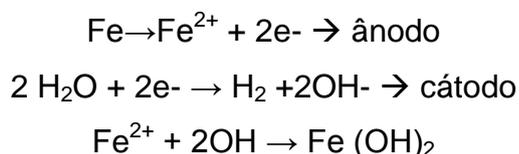
De acordo com Loureiro (2008) a eletrofloculação desempenha papel importante nas técnicas não convencionais de tratamento de águas e efluentes industriais. O que ocorre é que, poucos estudos foram conduzidos na aplicação de métodos pela técnica de processo eletroquímico. Entretanto, no processo de eletrofloculação não há necessidade de adicionar floculantes, evitando a formação do iodo residual.

De modo geral, a eletrofloculação é uma técnica alternativa que remove poluentes de águas residuais. O processo envolve a aplicação de corrente elétrica para eletrodos, geralmente alumínio e ferro dentro de um reator (MUSQUERE et al., 1983).

As reações que ocorrem são:



Para o ferro:



A vantagem deste processo de floculação é que não há necessidade de adicionar outros produtos químicos além do metal alumínio que pode ser substituído pelo ferro. A utilização pode ser em conjunto ou independente, isto significa que todo o processo ocorre sem nenhum efeito relacionado à salinidade da água, pois não há necessidade de adicionar um ânion (SINGH 2012).

Apesar das significantes vantagens apresentadas pelo método há necessidade de verificar alguns parâmetros que garantem melhor desempenho: geometria da unidade, material de eletrodo, densidade da corrente, distância entre os eletrodos, tensão, pH, condutividade e consumo dos eletrodos (MUSQUERE ET AL., 1983; SINGH, 2012).

De acordo com Daneshwaer et al., (2004) um dos fatores de grande importância para o método é o controle de temperatura, pois o aumento da mesma pode melhorar a eficiência devido ao aumento dos movimentos dos íons, conseqüentemente, facilita a colisão dos íons com o material coagulado. No entanto, se a temperatura for superior a 27°C a eficiência de remoção diminui devido a ruptura dos flocos. Altas temperaturas também favorecem a solubilidade dos precipitados.

2.6 EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE ELETROFLOCULAÇÃO

O efluente de indústria têxtil foi tratado pelo método de eletrocoagulação utilizando eletrodos de alumínio e íons por Kobya et al., (2003). Os parâmetros avaliados foram as características do efluente como a condutividade e pH além densidade da corrente e a turbidez do material. O melhor resultado encontrado foi a remoção em presença de pH ácido médio atingindo valores $\text{pH} < 6$, enquanto os íons mais eficientes estavam no modo neutro e alcalino médio $6 < \text{pH} < 9$. Os resultados mostraram ainda que o ferro é superior ao alumínio como material de eletrodo, a partir da eficiência de remoção e consumo de energia.

Cerqueira & Marques (2011) verificaram o processo eletrolítico com corrente alternada no tratamento de água. O objetivo principal do estudo foi tratar o efluente de indústria de petróleo, foram desenvolvidos testes de eletrofloculação e coagulação química. Os parâmetros investigados foram: remoção da carga orgânica, cor e turbidez. A partir dos resultados entrados os autores puderam concluir que, a eletrofloculação apresenta potencial aplicabilidade enquanto a coagulação química não foi muito bem sucedida.

Paschoal (2005) aplicou a tecnologia de eletrofloculação para tratamento de efluentes provenientes da indústria têxtil, sugerindo que a recuperação, especialmente voltada para recuperação do corante índigo blue (jeans), pode ser recuperada após tratamento biológico. Em concordância, Silva (2005), sugere o uso da eletrofloculação como secundário tendo a capacidade de remover frações que se encontram tanto suspensas como dispersas.

Borba et al., (2010) avaliaram a eficiência do processo da eletrofloculação utilizando eletrodos de alumínio para o tratamento de efluente de uma indústria avícola. Para estimar a eficiência do processo foram avaliados os parâmetros:

descoloração, turbidez, condutividade e pH final. Os resultados encontrados foram significativos em condições experimentais de pH inicial 4, tempo de eletrólise de 20 minutos obteve-se redução de 99,4 e 97,6% da cor e turbidez respectivamente.

A fim de verificar a eficiência do método empregado para tratamento dos efluentes pode-se utilizar parâmetros destacados por Sperling (2005) que podem ser tanto físicos (cor, turbidez, sabor, odor, entre outros), químicos (pH, alcalinidade, acidez, nitrogênio), biológicos (organismos indicadores de contaminação fecal ou bioindicadores da qualidade da água).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado neste trabalho foi coletado em uma lavanderia industrial, localizada no município de Pato Bragado (PR), no dia 01 de março de 2013. O efluente foi coletado em um ponto anterior ao sistema de tratamento, ou seja, no ponto de lançamento deste na lagoa. Na figura 2, pode-se observar a lagoa, na qual ocorre a primeira etapa do tratamento do efluente. O efluente foi transportado em embalagens plásticas galões de 20L e os ensaios foram realizados nos dias seguintes à coleta.



Figura 2. Lagoa da lavanderia industrial, onde o efluente foi coletado.

Os ensaios de eletrofloculação foram realizados variando-se condições de pH e tempo de reação, de acordo com o planejamento experimental, melhor explicado no item 3.2. Todos os ensaios foram realizados em duplicata e para cada ensaio realizado no efluente fez-se o ensaio para as mesmas condições, utilizando-se água destilada como grupo de controle.

3.1 MÓDULO EXPERIMENTAL

O estudo resumiu-se em aplicar a técnica de eletrofloculação em um efluente têxtil, no qual o sistema alvo da pesquisa incidu em um reator em batelada de bancada (jarros com volume nominal de 2L), o qual comportou os eletrodos de sacrifício (ferro com 10 cm de comprimento x 5 cm de largura e 0,6 mm de espessura), além do efluente líquido a ser tratado. Os eletrodos por sua vez foram conectados a uma fonte de corrente contínua (Fonte de alimentação Modelo FA-3050, Marca: *Instrutherm*) juntamente com um agitador magnético de modo a viabilizar a eletrofloculação.

Foram utilizados dois eletrodos de ferro para os experimentos, estes eram conectados independentemente, isto é, separados por um material não condutor, como pode ser visto na Figura 3.

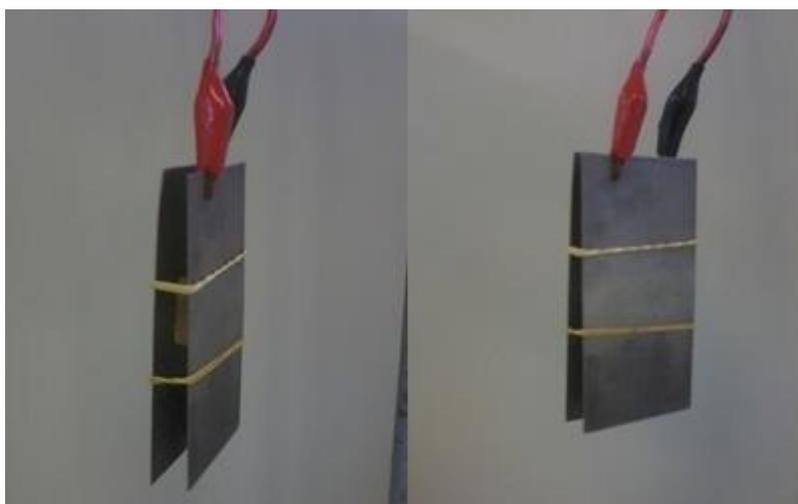


Figura 3. Sistema da montagem dos eletrodos.

3.1.1 Planejamento Experimental

Os parâmetros empregados na etapa da eletrofloculação (pH, tempo de agitação e intensidade da corrente elétrica), foram definidos em estudos preliminares. A intensidade da corrente foi fixada em 1,0 A. O pH e o tempo foram definidos a partir

do o Delineamento Composto Central (DCC), avaliando as duas variáveis, na Tabela 1, pode-se observar valores codificados para tais variáveis.

Tabela 1. Matriz do delineamento experimental

| Ensaio | pH | Tempo |
|--------|----|-------|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | -1 |
| 3 | -1 | 1 |
| 4 | -1 | -1 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 |

Já na Tabela 2, é possível observar os valores reais para pH e tempo, definidos a partir da matriz do delineamento experimental (Tabela 1).

Tabela 2. Valores reais dos parâmetros avaliados

| Fator | -1 | 0 | +1 |
|-------------|----|---|----|
| pH | 7 | 9 | 11 |
| Tempo (min) | 1 | 3 | 5 |

3.1.2 Procedimento Experimental

Seguindo a ordem por sorteio, ajustava-se o pH das amostras de efluente conforme definido na Matriz de delineamento na Tabela 1, utilizando-se soluções diluídas de ácido sulfúrico e hidróxido de sódio, para tal, usou-se o medidor de pH (marca Schott Gerate pH - Meter CG 818). Então, iniciava-se o tratamento de eletrofloculação, para cada ensaio, foi utilizado 1 L de efluente. A corrente elétrica foi aplicada a uma intensidade de 1 A, conforme definido, durante os tempos estipulados na Matriz de delineamento na Tabela 1. O efluente era agitado durante todo o processo de eletrofloculação a uma velocidade média, para isso foram utilizados agitadores magnéticos (Modelo 752A, Marca Fisatom), como mostrado na Figura 4.



Figura 4. Módulo experimental de eletrofloculação.

Após a realização dos testes com o efluente, preparou-se os ensaios do grupo de controle, realizados com água destilada. Foram adotados os mesmos procedimentos, porém na água destilada foi necessário a adição de 1 grama de cloreto de sódio (NaCl) para o ajuste da condutividade elétrica.

Após a eletrofloculação, as amostras de efluente e água destilada, flotavam e decantavam por aproximadamente 30 minutos (Figura 5), então se realizavam as análises. As amostras analisadas eram coletadas do centro do jarro, para evitar a influência do sobrenadante e do corpo de fundo.

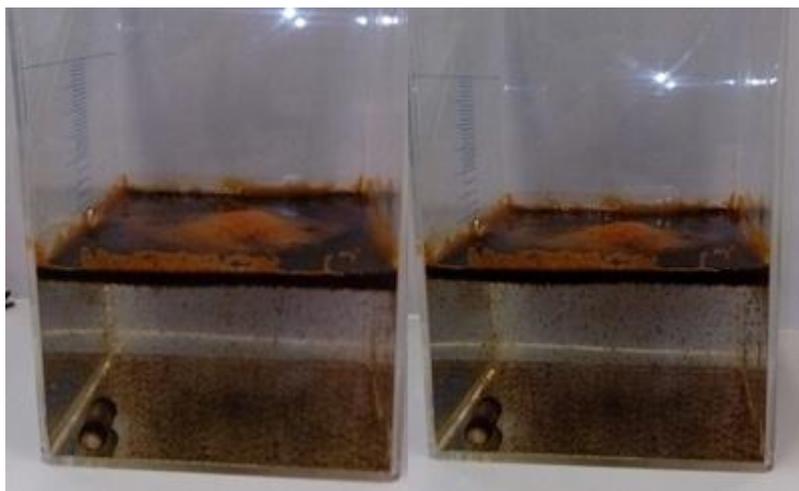


Figura 5. Amostras de efluente têxtil tratado por eletrofloculação em flotação e decantação

3.2 PARÂMETROS AVALIADOS

Todas as análises foram realizadas em duplicata, sendo considerados apenas os valores médios entre elas. Para a determinação da cor, utilizou-se a medida de absorvância, que foi realizada no espectrofotômetro (marca Hach – modelo DR 2800), no qual, o comprimento de onda usado foi o de 500 nanômetros. Para esta determinação foi avaliada uma faixa entre 400 e 600 nanômetros, pois o efluente possuía cor azul/verde, sendo escolhido o comprimento de onda de 500 nm pelo fato da grande absorvância observada.

Para a determinação do ferro, foi utilizada a metodologia do Standard Methods, baseada em titulação com solução de permanganato de potássio.

As análises de dados foram realizadas no Microsoft Excel, no qual foram projetados os gráficos e as tabelas, além dos cálculos realizados. Ainda foi utilizado o suplemento de estatística do Excel, Action, e a partir deste, foi realizada a análise do DCC.

Além dos 28 ensaios tratados analisados, 14 ensaios com o efluente têxtil e 14 ensaios de eletrofloculação empregando-se a água destilada em substituição ao efluente, foram efetuadas análises no efluente bruto em duplicata, para fins de avaliação da eficiência da técnica.

3.2.1 Método da avaliação do parâmetro: Determinação de Ferro

Inicialmente, foi preparada uma solução com 1,64 g de permanganato de potássio (KMnO_4), assim, observa-se:

$$\frac{1,64 \text{ g}}{158 \text{ g/mol}} = 1,038 \times 10^{-2} \text{ mols de permanganato (1)}$$

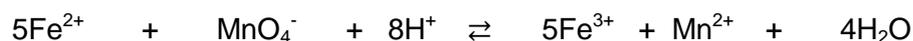
Para o preparo da solução, dissolveu-se o permanganato em 0,5 L, dessa forma, a concentração de permanganato será:

$$\frac{1,038 \times 10^{-2} \text{ mols de permanganato}}{0,5 \text{ L}} = 2,08 \times 10^{-2} \text{ mol/L (2)}$$

A solução foi diluída na proporção 1:20, onde se têm:

$$\text{Concentração de Permanganato} = \frac{2,08 \times 10^{-2} \text{ mol/L}}{20} = 1,04 \times 10^{-3} \text{ mol/L (3)}$$

Então, esta é a concentração da solução de permanganato utilizada na titulação. Analisando-se o ponto de equivalência, e considerando a reação, temos:



Como necessita-se de 5 mols de Fe^{2+} para reagir com 1 mol de MnO_4^- , no ponto de equivalência temos:

$$\frac{1}{5} C_{\text{Fe}} V_{\text{amostra}} = C_{\text{permanganato}} V_{\text{titulante}}$$

Assim, a concentração de Ferro é dada por:

$$C_{\text{Fe}} = \frac{5 C_{\text{permanganato}} V_{\text{titulante}}}{V_{\text{amostra}}} \quad (4)$$

Substituindo os valores da equação (4), se têm:

$$C_{Fe} = \frac{5,104 \times 10^{-3} V_{titulante} (em mL)}{1 mL} \quad (5)$$

$$C_{Fe} = 5,2 \times 10^{-3} V_{titulante} (em mL) \quad (6)$$

A concentração de Fe, apresentada na equação (6), será dada em mol/L. Para comparar com a legislação foi necessário a conversão para mg/L, dessa forma, temos:

$$C_{Fe} = 290,4 \cdot V_{titulante} (em mL) \quad (7)$$

A solução a ser titulada foi preparada da seguinte forma:

1. Pipetou-se 1,0 mL de amostra e diluiu-se à aproximadamente 50 mL;
2. Adicionou-se 1,0 mL de H₂SO₄ concentrado;
3. Adicionou-se mais 50 mL de água;
4. Titulou-se com KMnO₄ padrão até a persistência da coloração rósea por 20 segundos.

Após a titulação de todos os ensaios, foram determinadas as concentrações de ferro a partir da equação (7).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DA COR

A partir da Tabela 3, da Figura 6 e Figura 7, pode-se observar os resultados obtidos na remoção da cor do efluente tratado por eletrofloculação. A média é referente ao ensaio e a duplicata.

Tabela 3 - Eficiência na Remoção da Cor

| Ensaio | Média Cor Efluente Tratado ($\lambda = 500 \text{ nm}$) | Media Cor Efluente Bruto ($\lambda = 500 \text{ nm}$) | Eficiência de Remoção da Cor (%) |
|--------|---|---|----------------------------------|
| 1 | 0,138 | 0,708 | 80,5 |
| 2 | 0,030 | 0,708 | 95,8 |
| 3 | 0,072 | 0,708 | 89,9 |
| 4 | 0,057 | 0,708 | 92,0 |
| 5 | 0,353 | 0,708 | 50,8 |
| 6 | 0,305 | 0,708 | 57,0 |
| 7 | 0,311 | 0,708 | 56,1 |

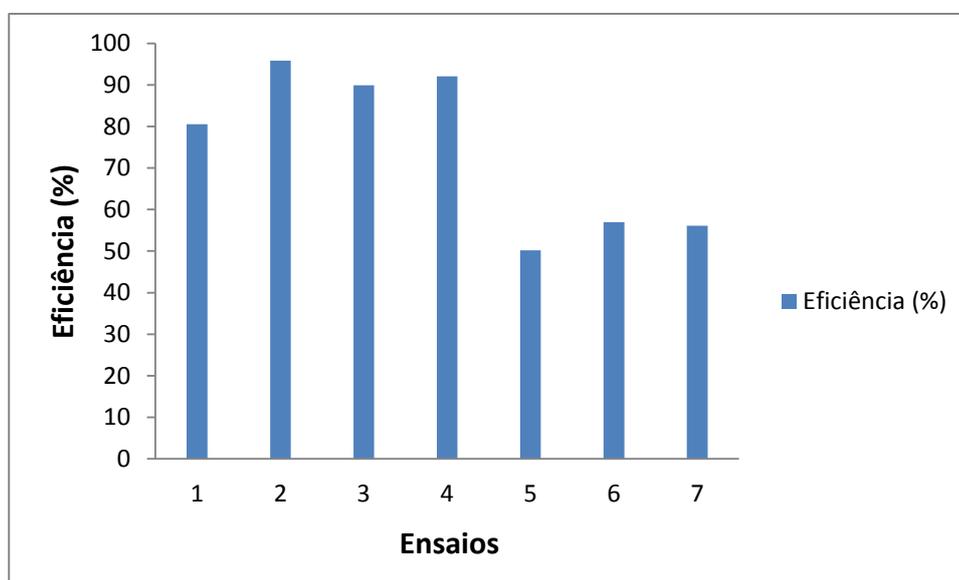


Figura 6. Representação gráfica da eficiência de remoção da cor

Ainda na Tabela 3 e na Figura 6, pode-se observar a variação da eficiência do tratamento, no qual, obteve-se a máxima eficiência, chegando a 95,83% de remoção da cor no ensaio 2. Em contrapartida, a mínima eficiência chegou a 50,2% no ensaio 5.

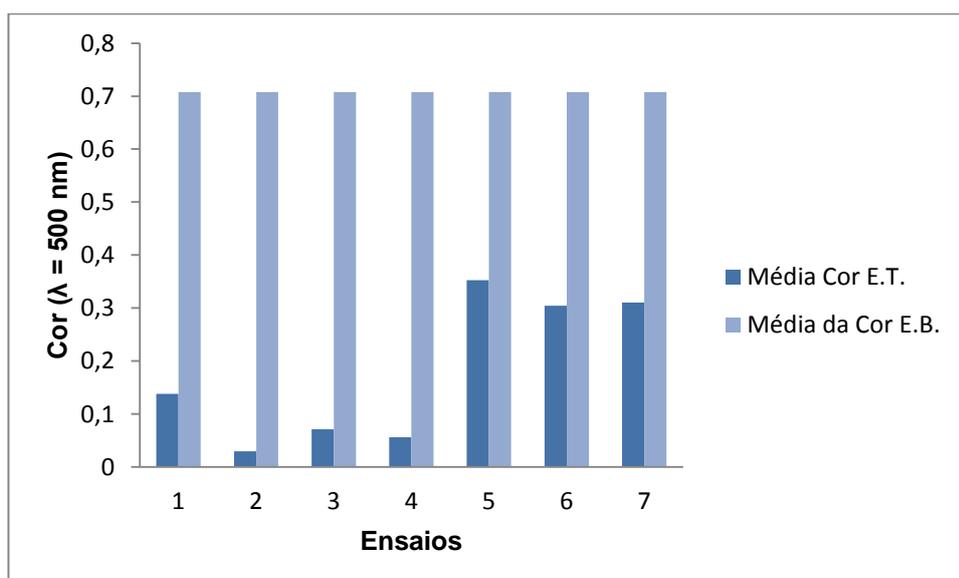


Figura 7. Representação gráfica entre a remoção da cor do efluente tratado e o efluente bruto

Observa-se facilmente na Figura 7, que a remoção da cor do efluente tratado (azul escuro) foi significativa em relação ao efluente bruto (azul claro).

A partir das análises estatísticas no suplemento Action, para a variável resposta cor, têm-se os seguintes resultados, expressos na Tabela 4.

Tabela 4. Anova

| Fatores | G.L. | Soma Quad | Quadrado Médio | Estat. F | P-valor |
|----------|------|-----------|----------------|----------|---------|
| pH | 1 | 7,793 | 7,793 | 0,011 | 0,923 |
| tempo | 1 | 76,177 | 76,177 | 0,107 | 0,766 |
| pH:tempo | 1 | 43,663 | 43,663 | 0,061 | 0,821 |
| Resíduos | 3 | 2144,325 | 714,775 | | |

Ainda, observa-se na Tabela 4, que nenhum dos parâmetros apresentou o p-valor menor que 0,05, dessa forma, não sendo significativos para este modelo.

O teste F também foi realizado para avaliar os dados em relação à cor do efluente têxtil, e seus resultados estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5. Teste F para a Cor

| Fonte de Var. | SQ* | GL** | MQ*** | Fcalculado | Ftabelado | p-valor |
|------------------|----------|------|---------|------------|-----------|---------|
| Regressão | 127,632 | 3 | 42,544 | 0,060 | 9,277 | 0,978 |
| Resíduos | 2144,325 | 3 | 714,775 | | | |
| Total | 2271,957 | 6 | | | | |
| R2= 80,65 | | | | | | |

*: Soma dos Quadrados dos Erros. **: Grau de Liberdade. ***: Média dos Quadrados dos Erros.

A partir da Tabela 5, pode-se afirmar que o modelo sugerido não é válido, pois o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi novamente menor que o apresentado pelo F_{tabelado} , e o p-valor foi superior a 0,05, o modelo não explica satisfatoriamente o fenômeno para a cor. Porém, apesar do modelo não ser válido, é possível analisar os efeitos dos fatores (Tabela 6), e neste caso, todos os fatores influenciaram negativamente a variável resposta, ou seja, são diretamente proporcionais.

Tabela 6. Análise dos efeitos

| Preditor | Efeitos | P-valor |
|------------|---------|---------|
| Intercepto | | 0,005 |
| pH | -2,792 | 0,923 |
| tempo | -8,728 | 0,766 |
| pH:tempo | -6,608 | 0,821 |

4.2 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO FERRO

A partir da Tabela 7 e da Figura 8, pode-se observar a concentração residual de ferro após o tratamento por eletrofloculação do efluente, do grupo de controle (água destilada) e a concentração de ferro já obtida no efluente bruto. Além disso, pode-se fazer a comparação com a concentração de ferro permitida na Resolução nº 430/2011, como já citada.

Tabela 7. Concentrações de ferro analisadas

| Ensaio | Concentração de Ferro E.T. (mg/L) | Concentração de Ferro Grupo de Controle (mg/L) | Concentração de Ferro do E.B. (mg/L) | Concentração de Ferro Permitida (mg/L) |
|--------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| 1 | 3,0 | 3,1 | 4,2 | 15,0 |
| 2 | 6,0 | 4,7 | 4,2 | 15,0 |
| 3 | 3,7 | 3,4 | 4,2 | 15,0 |
| 4 | 3,9 | 3,8 | 4,2 | 15,0 |
| 5 | 4,0 | 3,9 | 4,2 | 15,0 |
| 6 | 3,9 | 4,5 | 4,2 | 15,0 |
| 7 | 3,3 | 3,9 | 4,2 | 15,0 |

Analisando tais concentrações mostradas na Tabela 7, pode-se concluir que o tratamento sugerido no presente trabalho se mostrou eficiente, pois em nenhum dos ensaios, tanto no tratamento com efluente, quanto no tratamento com água destilada, foi encontrada concentração de ferro superior ao permitido pela legislação. Ainda, na maioria dos ensaios, a concentração de ferro do efluente diminuiu em relação ao efluente bruto, com exceção apenas, do ensaio 2 para o tratamento com efluente e o ensaio 6 para o tratamento com o grupo de controle.

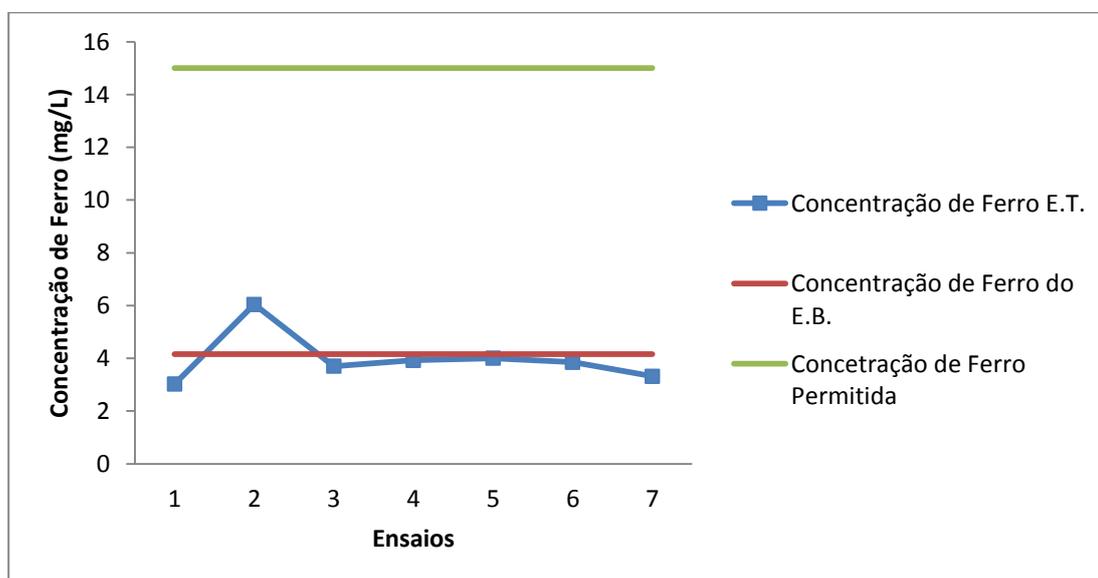


Figura 8. Representação gráfica da concentração média de ferro do Efluente Tratado (E.T), do Efluente Bruto (E.B) e Concentração de Ferro Permitida.

A Figura 8 também apresenta as concentrações residuais de ferro do efluente tratado e bruto, no qual, oferece uma melhor visualização da concentração média (ensaio e duplicata) de ferro de ambos. Onde o pico de maior concentração de ferro

no efluente tratado é 6,040 mg/L, sendo muito inferior ao permitido em legislação, que é 15 mg/L.

Já a partir da figura 9, pode-se observar a diferença entre as concentrações residuais de ferro do efluente e do grupo de controle tratado e do efluente bruto.

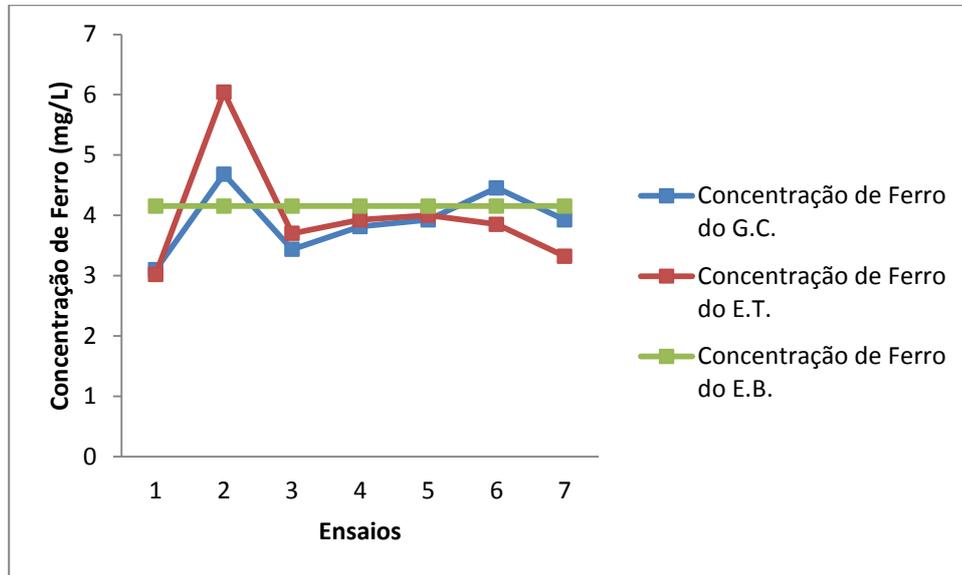


Figura 9. Concentrações residuais de ferro

Ainda na Figura 9, pode-se observar que pouco se diferem as concentrações de ferro do efluente tratado, do grupo de controle e do efluente bruto. Também, que no E.T. a diferença entre as concentrações é maior, variando de 3,0 mg/L a 6,0 mg/L.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho resumiu-se no tratamento de efluente têxtil com a utilização da técnica de eletrofloculação. O objetivo foi analisar a concentração residual de ferro (Fe) no efluente tratado, e compará-lo com o requerido pela legislação brasileira. Além disso, foi avaliada a eficiência de remoção da cor do efluente.

O tratamento de eletrofloculação se mostrou eficiente em ambos os parâmetros avaliados, pois a concentração residual de ferro atingiu valores muito inferiores ao permitido na legislação, chegando ao valor máximo de 6,04 mg/L no ensaio 2, em comparação aos 15 mg/L estabelecido na Resolução 430/2011. Além disso, a eficiência na remoção da cor mostrou resultados significativos, chegando a 95,83% de eficiência no ensaio 2.

Dessa forma, pode-se concluir que as variáveis pH (11) e tempo (1 minuto) utilizadas no ensaio 2, apresentam um resultado seguro em relação a concentração residual de ferro (Fe) e um resultado eficiente em relação a remoção da cor.

Ainda, observando-se a concentração de ferro no efluente bruto (4,2 mg/L) e as concentrações do GC, variando de 3,1 a 4,7 mg/L, teríamos uma concentração no efluente tratado variando de 7,3 a 8,9 mg/L, mas isto não foi observado, possivelmente porque o ferro se combinou com o material em suspensão do efluente, e se encontra portanto, no lodo gerado durante o tratamento. Assim, o lodo ainda é um problema e merece ser objeto de estudos para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C. **Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV**. Quím. Nova vol.29 no.1 São Paulo Jan./Feb. 2006

BAIRD, C. **Química Ambiental**; trad. Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BORBA, Fernando Henrique et al. **Avaliação da eficiência da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas**. Est tecn eng v. 6 n° 1, jan-abr 2010.

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

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. C.; RUSSO, C. **Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção**. Quím. Nova vol.34 n°1 São Paulo 2011

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, 23p.

CRESPILHO, Frank Nelson, REZENDE, Maria Olímpia Oliveira. **Eletroflotação - Princípios e Aplicações**. São Carlos: Editora Rima, 2004.

DANESHVAR, N.; SALARI, D.; KHATAEE, A.R. **Photocatalytic Degradation Of Azo Dye Acid Red 14 In Water On ZnO As An Alternative Catalyst To TiO₂**. Journal Of Photochemistry And Photobiology A: Chemistry, 162(2-3): 317- 322 (2004).

DURÁN et al. **Novas Tendências No Tratamento De Efluentes Têxteis**. 2001. Quím. Nova, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002

FORNARI, Marilda Menchon Tavares. **Aplicação Da Técnica De Eletro-Floculação No Tratamento De Efluentes De Curtume, 2007.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

FREIRE R.S.; PEREIRA W.S. Ferro Zero: **Uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes.** Quim. Nova, Vol. 28, No, 1 130-136, 2005.

GARRIDO, R. J. S., **Alguns Pontos de Referência para o Estágio Atual da Política Nacional de Recursos Hídricos.** O Estado das Águas no Brasil 2001-2002, ANA - Agência Nacional de Águas, 1º ed., 3-15, 2003.

GUARATINI, Cláudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice B. **Corantes Têxteis.** Departamento de Química Analítica – Instituto de Química – UNESP – Araraquara – São Paulo. **Rev. Química Nova**, 1999.

GUARATINI, C. C. I., ZANONI, M. V. B. **Corantes Têxteis.** Química Nova. v.23, N.1, p.71-78, 2000.

HASSEMER, M.E.N.; SENS, M.L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico, ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.7, n.1, 2002.

KOBYA M., DEMIRBAS E., CAN O.T., BAYRAMOGLU M.2005. **“Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation”.** Journal of hazardous materials 2005.

KUNZ, A., PERALTA-ZAMORA, P., MORAES S.G.de e DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, v.25 n.1, São Paulo jan./fev p.78-82, 2002.

Lei nº 6134, de 02 de junho de 1988, Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas de Estado de São Paulo, e dá outras providências, Legislação sobre Meio Ambiente – Estado de São Paulo.

LOUREIRO, Rafael Lanschi. **Caracterização Do Chorume Segundo Alguns Parâmetros E Aplicação Do Método De Eletrofloculação**, 2008. Monografia apresentada ao Curso de Química da Universidade Federal do Espírito Santo. Pag 21.

MENDONÇA A.S.F, REIS J.S.T . **Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água**. Eng, Sanit, Ambient. Vol.14 n.3 Rio de Janeiro Jul/Set. 2009.

MIERZWA, J. C. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2005.

MUSQUERE P., ELLINGSEN F., and VIK E.A., (1983), "**Electrotecnics in drinking and waterwater**". Water supply, ss 8-1to ss 8-25.c

NOVAES, W. , RIBAS, O., OVAES, P. da C. **Agenda 21 Brasileira - Bases para discussão**. Brasília: MMA/PNUD, 2000. 196 p.

PASCHOAL, Fabiana Maria Monteiro; TREMILIOSI FILHO, Germano. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. 2005. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500006> Acesso em 19 de março de 2013.

PEREIRA. A.F.S., **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil**. Dissertação de Mestrado à Faculdade de Engenharia Química. Campinas, São Paulo, 2007. Disponível em: <
<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/cgi-bin/search.cgi?fl=p&np=6&q=Bernardo+Caro>
>. Acesso em fevereiro de 2013.

QUEIROZ, C.B. **Otimização da Técnica de Eletrofoculação Via Análise de Superfície de Resposta Aplicada ao Efluente de Uma Indústria Têxtil**, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso.

RAMALHO, A. M. Z. **Estudo de Reatores Eletroquímicos para remoção de Cu²⁺, Zn²⁺, Fenol e BTEX em Água Produzida.** Dissertação de mestrado, 2008. Disponível em: <<http://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/AdrianaMZR.pdf>>. Acesso em: 23 de outubro de 2012.

REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil.** In: REBOUÇAS, A. C. et al. (orgs.) **Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação.** São Paulo: Escrituras, 2002. 2ª Ed. Revisada e ampliada.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237, DE 19 DE dezembro DE 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>> Acesso em: 30 de outubro de 2012.

RODRIGUEZ, Jackson, et al, 2007. **Feasibility assessment of electrocoagulation towards a new sustainable wastewater treatment. Environmental Science and Pollution Research.** Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1065/espr2007.05.424>> Acesso em 18 de março de 2013.

SANTOS, T. C.; CÂMARA, J.B.D. (Orgs.). **GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil.** Brasília: Edições Ibama, 2002.

SAUER, T. **Degradação fotocatalítica de corante e efluente têxtil.** 2002. Dissertação - Mestrado em Engenharia Química (UFSC).

SILVA, P. C. F. **Tratamento de Resíduos Líquidos Industriais pelo Processo Eletrolítico: Uma Alternativa para Gerenciamento dos Resíduos Líquidos Gerados nas Indústrias Mecânicas Fabricantes de Equipamentos para Produção de Petróleo, 2005.**

SINGH G. **Electroflocculation on textile dye wastewater.** Master of techonoly in Environmental Science. Jul/2012. Roll No. 601001009

SIQUEIRA, EMA *et al.* **Papel adverso do ferro no organismo**, 2006. *Comum. Ciênc. Saúde.* 2006; 17(3): 229-236 Disponível em: http://www.dominioprovisorio.net.br/pesquisa/revista/2006Vol17_3art7papeladverso.pdf>. Acesso em: 23 de outubro de 2012.

STROHER A.P.; MENEZES L. M.; CAMACHO F. P.; PEREIRA C.N. **Tratamento de efluente têxtil por ultra filtração em membrana cerâmica**. *E-xacta*, v. 5, n.1,. Belo Horizonte p 39-44. 2012.

TREMILIOSI-FILHOS G.; PASCHOAL F.M.M. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. *Quim.Nova*, Vol. 28, No. 5, 766-772,2005.

TWARDOKUS, Rolf Guenter. **Reuso De Água No Processo De Tingimento Da Indústria Têxtil**, 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química (UFSC).

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3 ed. v.1 Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p