

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR – MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
THAÍS LAUDARES SILVA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL
TÊXTIL POR REAGENTE FENTON

FORMIGA -MG
2017

THAÍS LAUDARES SILVA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL
TÊXTIL POR REAGENTE FENTON

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia Química do UNFOR,
com o requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Antônio J. dos Santos Júnior

FORMIGA -MG

2017

S586 Silva, Thaís Laudaes.
Avaliação da eficiência do tratamento de efluente industrial têxtil por
reagente Fenton / Thaís Laudaes Silva. – 2017.
46 f.

Orientador: Antônio José dos Santos Júnior.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Têxtil. 2. Tratamento de efluente. 3. Reação Fenton. I. Título.

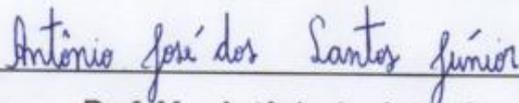
CDD 628.5

THAÍS LAUDARES SILVA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL
TÊXTIL POR REAGENTE FENTON

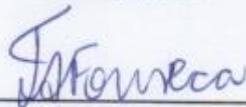
Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Engenharia Química do UNFOR,
com o requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Química.

Banca Examinadora



Prof. M.e Antônio José dos Santos Junior

Orientador



Prof. M.^a Tânia Aparecida de Oliveira Fonseca

UNIFOR – MG



Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira

UNIFOR – MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

... Gratidão é virtude de quem reconhece em Deus e no outro o valor que ele tem e o que ele faz sem exigir nada em troca. Quem sabe AGRADECER está apto a crescer!

“Cecília Sfalsin”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que está no controle de tudo me dando forças nos momentos de desânimo.

Ao meu orientador Prof. M.e Antônio José dos Santos Júnior, pela sabedoria e dedicação.

Aos colegas de trabalho da empresa AMBIENTAL pela colaboração e apoio.

Aos amigos da “Turma do Fundão” que dividiram comigo lágrimas e sorrisos, tornando essa caminhada mais leve e divertida.

Aos meus pais, Irmã e André pelo companheirismo, paciência e compreensão.

RESUMO

A atividade têxtil consome muita água e, conseqüentemente, gera uma grande quantidade de efluente contendo substâncias com elevada carga orgânica, cor e compostos químicos tóxicos ao meio ambiente. O efluente industrial necessita de um tratamento para que o descarte esteja dentro das especificações de lançamento, e não ultrapassar limites e padrões do controle de qualidade de água, que geralmente são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Desta forma, nem sempre os tratamentos convencionais são aplicáveis a esse setor, tendo em vista os Processos Oxidativos Avançados (POA's) que apresentam eficiência para trata-los. O POA pelo reagente Fenton é baseado em gerar hidroxilas (OH^{\bullet}) altamente reativos, capazes de transformar as substâncias poluentes em compostos não poluentes. Trata-se de um processo de oxidação que ocorre na presença de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e sal ferroso (Fe^{2+}), em meio ácido. Neste sentido, o presente trabalho compara a eficiência do processo da Estação de Tratamento de Esgoto Industrial (ETEI) de uma empresa têxtil localizada em Itaúna-MG, com o tratamento utilizando Reagente Fenton. Os resultados obtidos, após um tratamento físico-químico, referentes às proporções de $[\text{Fe}^{2+}]:[\text{H}_2\text{O}_2]$ de 1:2 e 1:5 em meio ácido, utilizando pH's 3 e 4, foram máximos ao longo do período de 120 minutos, atingindo uma média de 95% de remoção de cor, 70% de remoção de DQO e 97% de remoção de DBO. O processo Fenton através de Peróxido de Hidrogênio e Sulfato de Ferro é uma alternativa de tratamento que pode substituir o tratamento convencional da empresa Têxtil.

Palavras-chave: Têxtil. Tratamento de efluente. Reação Fenton.

ABSTRACT

The textile activity consumes a lot of water and, consequently, generates a large amount of effluent containing substances with high organic load, color and chemical compounds toxic to the environment. The industrial effluent needs a treatment so that the discharge is within the launch specifications and does not exceed limits and standards of water quality control, which are generally established by the National Council of the Environment (CONAMA). In this way, conventional treatments are not always applicable to this sector, in view of the Advanced Oxidative Processes (POAs) that are efficient to treat them. The POA by the Fenton reagent is based on generating highly reactive hydroxyls (OH^*) capable of transforming the polluting substances into non-polluting compounds. An oxidation process occurs in the presence of hydrogen peroxide (H_2O_2) and ferrous salt (Fe^{2+}) in acidic medium. In this sense, the present work compares the efficiency of the process of the Industrial Sewage Treatment Station (ETEI) of a textile company located in Itaúna-MG, with the treatment using Fenton Reagent. The results obtained after a physical-chemical treatment of the proportions of $[\text{Fe}^{2+}]:[\text{H}_2\text{O}_2]$ of 1:2 and 1:5 in acid medium using pH 3 and 4, were maximum over the 120 minutes period, reaching an average of 95% of color removal, 70% of COD removal and 97% BOD removal. The Fenton process through Hydrogen Peroxide and Iron Sulphate is an alternative treatment that can replace the conventional treatment of the textile company.

Keywords: Textile, Treatment of Effluent, Fenton Reaction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Trabalhadoras em uma fábrica têxtil em 1834..... | 13 |
| Figura 2: Locomotiva, importante avanço nos meios de transporte no séc. XIX..... | 14 |
| Figura 3: Exemplo de uma estrutura química característica de um grupo cromóforo de um azocorante..... | 18 |
| Figura 4 – Esquema de tratamento por lodos ativados..... | 25 |
| Figura 5 – Fluxograma do processo de tratamento da ETE da Industria têxtil..... | 31 |
| Figura 6 – Resultado antes e depois da reação Fenton..... | 37 |
| Figura 7 – Amostra depois do tratamento físico-químico..... | 37 |
| Figura 8 – Coloração da amostra ao colocar os reagentes Fenton..... | 38 |
| Figura 9 – Resultado da oxidação da Cor após 120 minutos..... | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Condições de qualidade para lançamento do efluente em corpos d'água.. | 16 |
| Tabela 2 – Vazão específica média da indústria têxtil..... | 19 |
| Tabela 3 – Processos de tratamento de efluentes..... | 20 |
| Tabela 4 – Processos de tratamentos da etapa terciária..... | 26 |
| Tabela 5 – Especificações dos reagentes..... | 34 |
| Tabela 6 – Caracterização do efluente bruto..... | 35 |
| Tabela 7 – Porcentagem de remoção da Cor, DQO e DBO pelo tratamento da empresa Têxtil..... | 35 |
| Tabela 8 – Porcentagem de remoção da cor e DBO em diferentes tempos para a as relações $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ | 37 |
| Tabela 9 – Porcentagem de remoção de DQO em diferentes tempos para as relações $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ | 38 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETEI – Estação de Tratamento de Esgoto Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

CO₂ – Gás Carbônico

H₂O – Água

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

Fe²⁺ – Sal ferroso

Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O – Sulfato Ferroso Amoniacal

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. OBJETIVO | 12 |
| 2.1. Objetivo Geral..... | 12 |
| 2.2. Objetivos específicos | 12 |
| 3. JUSTIFICATIVA | 13 |
| 4. REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 4.1. Revolução Industrial | 14 |
| 4.2. Consequências Ambientais da Revolução Industrial | 16 |
| 4.3. Os Efluentes Industriais | 17 |
| 4.4. Efluentes Têxteis | 18 |
| 4.5. Tratamento Convencional de Efluentes Têxteis | 20 |
| 4.5.1. Tratamento Preliminar de Efluentes..... | 22 |
| 4.5.2. Tratamento Primário de Efluentes | 23 |
| 4.5.3. Tratamento Secundário de Efluentes..... | 24 |
| 4.5.4. Tratamento Terciário de Efluentes..... | 27 |
| 4.6. Matéria Orgânica..... | 28 |
| 4.6.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)..... | 28 |
| 4.6.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)..... | 29 |
| 4.7. Reagente Fenton..... | 30 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 5.1. Local do Experimento..... | 32 |
| 5.2. Análise de Qualidade do Efluente | 32 |
| 5.3. Proposta de Tratamento – Reagente Fenton..... | 34 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 6.1. Avaliação Preliminar da Viabilidade Econômica do Processo | 41 |
| 7. CONCLUSÃO | 43 |
| REFERÊNCIAS | 44 |

1. INTRODUÇÃO

Geralmente o destino final do esgoto sanitário é o encaminhamento a um corpo de água, sendo que muitas das vezes, acontece em sua forma bruta. Como consequência desses lançamentos, podem ocorrer diversos fatores inconvenientes, como maus odores, presença de sabor na água, mortandade de peixes, além da ameaça à saúde pública, gerando risco de grandes contaminações aos que usufruem da água. No caso da indústria têxtil, existem várias operações ao longo de todo processo produtivo que geram resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, desde o plantio do algodão até a peça confeccionada.

Sendo assim, esses impactos podem ser evitados ou amenizados quando o esgoto é submetido a um tratamento adequado. Para lançar esses efluentes em corpos receptores de água doce, deve-se atender simultaneamente as especificações e condições de lançamentos de efluentes e não ultrapassar limites e padrões do controle de qualidade de água, que geralmente são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (CONAMA, Resoluções N°357/2005 e N°430/2011).

Os estudos que visam o tratamento de esgoto devem considerar a realidade socioeconômico do país, realidade onde os potenciais benefícios das ações tomadas pelas empresas e da pesquisa se aplicarão.

Tratamentos tradicionais de esgotos consistem numa sequência de processos físicos químicos e biológicos, para a separação de sólidos suspensos e eliminação de elementos patológicos.

O presente trabalho busca formas alternativas de tratamento de efluentes, principalmente em meio têxtil, que representa uma grande contribuição de materiais orgânicos e químicos, que são lançados diariamente nos cursos de água.

Conforme Moravia, Lange e Amaral (2011), a forma alternativa conhecida pela simplicidade de uso, acessibilidade e custo moderado é o reagente Fenton, que é um processo oxidativo avançado (POA) do qual transforma substâncias poluentes em não poluentes ou em substâncias biodegradáveis.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Comparar a eficiência do processo da Estação de Tratamento de Esgoto Industrial (ETEI) de uma empresa têxtil localizada em Itaúna-MG, com o tratamento utilizando Reagente Fenton.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), cor e pH do efluente de entrada e saída da ETE de acordo com a Deliberação Normativa Conjuntiva COPAM/CERH nº 01;
- Avaliar a eficiência do processo da estação de tratamento de esgoto da empresa têxtil quanto aos parâmetros DBO, DQO, cor e pH.
- Avaliar e comparar com o processo já usual a eficiência do Reagente Fenton quanto aos parâmetros DBO, DQO, Cor e pH.

3. JUSTIFICATIVA

Atualmente o descarte de efluente industrial causa muito impacto ao meio ambiente devido à utilização de matérias-primas prejudiciais em seu processo. Nas estações de tratamento de esgoto utilizam-se reagentes e métodos para reduzir o impacto ambiental. No entanto, tais tratamentos podem sobrecarregar as estações devido ao alto volume recebido em relação ao tempo necessário para que todo o ciclo seja eficiente e se atenda as demandas de operações.

A utilização de um novo reagente pode reduzir as impurezas presentes no efluente, tornando os indicadores favoráveis ao descarte no corpo receptor conforme as normas do COPAM/CERH nº1. Conforme Lustosa, Moita Neto e Da Silva (2013) e vários outros estudos já existentes, mostraram a eficiência do reagente Fenton na degradação de compostos poluentes.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Revolução Industrial

A maioria dos produtos utilizados atualmente são resultantes de algum tipo de processo revolucionário industrial, desde objetos simples, como o lápis, até equipamentos sofisticados, como computadores e robôs.

De acordo com Alves e Oliveira (2013), a Revolução Industrial foi um conjunto de mudanças que aconteceu inicialmente na Inglaterra nas últimas décadas do século XVIII. A contribuição para o sucesso da atividade industrial foi a oferta da mão-de-obra. A maioria da população vivia no campo e produzia o que consumia. Com a mecanização da indústria têxtil e da agricultura, muitas famílias migraram para as cidades e passaram a trabalhar como assalariados nas fábricas.

A exploração da força do trabalho permitiu o rápido acúmulo de lucros, porém, com a ambição de muitos empresários, o trabalhador era forçado a trabalhar até 15 horas por dia em troca de um salário baixo. A figura 1 mostra que, as condições das fábricas eram precárias e chegavam a empregar o trabalho de forma exploratória e infantil.

Figura 1: Trabalhadoras em uma fábrica têxtil em 1834.



Fonte: ALVES, 2013, p. 103.

Em consequência, os trabalhadores começaram a reivindicar pelos seus direitos e lutar por melhores condições de trabalho. Apareceram então, as primeiras legislações em defesa a saúde e integridade dos trabalhadores.

A Revolução Industrial pode ser dividida em várias fases, segundo Faria (1997).

A primeira fase se refere ao final do século XVIII e início do século XIX, com a revolução do carvão e do ferro. Houve o aparecimento da indústria de tecidos de algodão e o aprimoramento da máquina a vapor, que modificaram a estrutura social e comercial e, conseqüentemente, mudanças nas áreas econômica, social e política do país.

A Inglaterra possuía grandes reservas de carvão mineral, principal fonte de energia para movimentar as máquinas de vapor, transformando as oficinas, transportes, comunicações e agricultura.

Nos primórdios dos séculos XIX e XX, acontece a segunda fase da Revolução Industrial com a revolução do aço e da eletricidade, que substituiu o ferro na indústria básica e o vapor como fontes de energia. Nesse período, houve inovações como, a invenção do motor explosão, a locomotiva a vapor representada na figura 2, e o desenvolvimento de produtos químicos derivados do petróleo (FARIA, 1997).

Figura 2: Locomotiva, importante avanço nos meios de transporte no séc. XIX.



Fonte: FARIA, 1997.

Os efeitos da Revolução Industrial chegaram ao Brasil no final do século XIX e começo do século XX, com os ricos cafeicultores de São Paulo e Rio de Janeiro. Inicialmente, foram criadas fábricas de tecidos, calçados e outros produtos de fabricação mais simples. A cafeicultura, que estava em desenvolvimento, necessitava de mão de obra, o que estimulou a entrada de imigrantes trazendo novas técnicas de produção. Esses trabalhadores que vieram de fora se transformaram em trabalhadores assalariados e o Brasil mudou seu modelo econômico para industrial.

4.2. Consequências Ambientais da Revolução Industrial

A busca pelo desenvolvimento econômico do país em um ritmo acelerado, fez a produção em massa ganhar força, substituindo o trabalho manual por máquinas e sistemas automatizados. A industrialização fez com que o padrão de vida das pessoas melhorasse.

Em consequência, junto com os benefícios, a revolução industrial trouxe muitas desvantagens ao meio ambiente entre elas, o aumento da poluição e desmatamento provenientes do descarte de lixo e produtos químicos das indústrias nos rios. (BRANCO, 2010).

A grande variedade das atividades industriais possibilita a geração de efluentes que podem impactar o solo e a água. Na tentativa de regularizar tamanha poluição, criaram-se normas para diminuir o descarte contaminado das indústrias através do tratamento de esgoto e de efluentes. A ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas) desenvolveu a norma NBR 9800/1987, com o objetivo de criar o equilíbrio entre a manutenção da rentabilidade e a redução do impacto ambiental.

NBR 9800/1987, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanações de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. (ABNT NBR 9800:1987).

O lançamento de efluentes líquidos não tratados em rios ou lagos, provocam desequilíbrio no ecossistema aquático devido a concentração de metais pesados e tóxicos, que logo contaminam a água causando mortalidade dos peixes. Assim como a poluição aquática, a poluição atmosférica também compromete a saúde pública provocando doenças graves, como asma, doença pulmonar e pode ocasionar até câncer. Além de agravar o efeito estufa e destruição da camada de ozônio.

Desta forma, o descarte de efluentes líquidos deve seguir padrões conforme a legislação ambiental que estabelece as condições de lançamento. De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2017), as indústrias localizadas no estado de Minas Gerais, que geram efluentes líquidos devem seguir as normas descritas na Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008, Resolução CONAMA nº 357/2005 e Resolução CONAMA nº 430/2011 (Alteração da 357/2005). Como mostrado na TAB.1, ambas estabelecem as condições e padrões de lançamento de

efluentes, e dá outras providências.

Tabela 1 – Condições de qualidade para lançamento do efluente em corpos d'água.

| Parâmetro | Condições de lançamento (VM*) |
|-------------------|--|
| pH | Entre 6,0 a 9,0 |
| DBO | Até 60 mg/L ou eficiência de no mínimo 60% |
| DQO | Até 180 mg/L ou para indústria têxtil o padrão é 250 mg/L |
| Sólidos suspensos | Até 100 mg/L sendo 150 mg/L no caso de lagoas de estabilização |

Fonte: Adaptação da Deliberação normativa COPAM/CERH Nº01, 2008.

Condições e parâmetros devem ser atendidos para lançamento de efluente conforme o art. 29 da deliberação normativa, pois o descarte do efluente não pode ultrapassar tais condições e padrões de qualidade da água como observado na TAB. 1, não podendo causar poluição ou contaminação das águas.

4.3. Os Efluentes Industriais

Os efluentes industriais líquidos são provenientes de atividades industriais, que são lançados de volta a natureza. De acordo com Cavalcanti (2009) os despejos industriais podem ser caracterizados em físicos, químicos e biológicos que variam com o tipo de indústria, período de operação, reutilização da água, matéria prima utilizada e insumos.

Os resíduos sólidos presentes na água podem ser classificados separadamente de acordo com duas classes:

- Pelas características físicas:
 - Sólidos em suspensão;
 - Sólidos coloidais;
 - Sólidos dissolvidos.

Segundo Von Sperling (1996), a divisão dos sólidos por tamanho é bem prática. As partículas menores que passam por um filtro de tamanho especificado são os

sólidos dissolvidos, e as partículas maiores que ficam retidas pelo filtro correspondem aos sólidos em suspensão. Quanto aos sólidos coloidais, são de difícil identificação pelos métodos convencionais.

- Pelas características químicas:
 - Sólidos orgânicos;
 - Sólidos inorgânicos.

Ao submeter-se a uma temperatura elevada, aproximadamente 550°C, os sólidos voláteis representam a matéria orgânica e os sólidos não voláteis (fixos) a matéria inorgânica.

Os organismos presentes na água podem ser classificados em bactérias e vírus (CAVALCANTI, 2009).

4.4. Efluentes Têxteis

Segundo Hamesser (2000), a Indústria têxtil é uma das maiores do mundo em termos de produção e quantidade de empregados por requerer grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos utilizados em operações de lavagem, tingimento e beneficiamento de fios e tecidos. A partir deste setor industrial, obtém-se os produtos têxteis derivados de fibras produzidas por algodão ou por tecidos sintéticos como o nylon.

No caso da indústria têxtil, que tem sido muito importante na industrialização e no desenvolvimento brasileiro, existem várias operações ao longo de todo processo produtivo que geram resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, desde o plantio do algodão até a peça confeccionada.

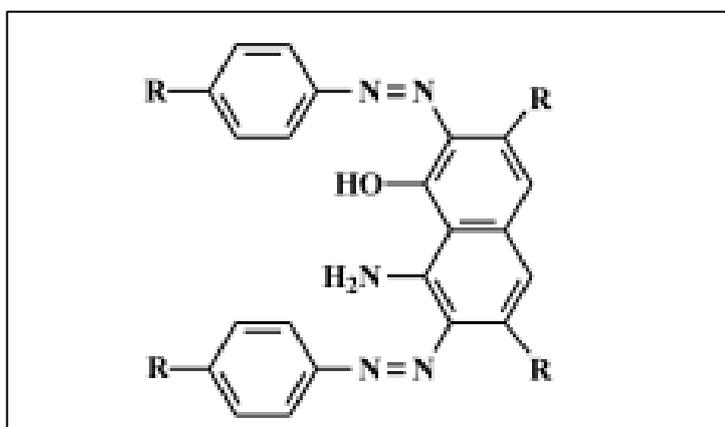
De acordo com Hamesser (2000), o processamento têxtil é gerador de grande quantidade de descartes altamente poluidores, contendo elevada carga orgânica, cor e compostos químicos tóxicos ao meio ambiente.

Segundo Kunz et al. (2002), os efluentes têxteis são caracterizados pelo alto índice de coloração devido a presença de corantes, principalmente os corantes solúveis na água. Existem vários tipos de corantes e pigmentos que são utilizados industrialmente, por exemplo ácido, direto, básico e os reativos, sendo o último muito utilizado na indústria têxtil devido sua boa solubilidade em água e pequena

biodegradabilidade.

Ainda de acordo com Kunz et al. (2002), a molécula do corante utilizada no tingimento é dividida em duas estruturas uma é responsável pela fixação à fibra, e a outra é classificada como grupo cromóforo, utilizado na síntese de corantes. Existem várias classes de grupos cromóforos, mas o mais utilizado pertence à família dos azocorantes mostrada na FIG. 3, que apresentam estruturas aromatizadas.

Figura 3: Exemplo de uma estrutura química característica de um grupo cromóforo de um azocorante.



Fonte: KUNZ et al., 2002.

As etapas do processamento têxtil são: coleta e preparo da matéria-prima, preparação da fiação e fiação, tingimento de fios onde é utilizado os corantes, engomagem, tecelagem, chamoscagem e desengomagem, mercerização, secagem, tinturaria, lavanderia, estamparia e acabamento.

A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de efluentes líquidos e consome considerável quantidade de água no seu processo, cerca de 100 m³ de água para produção de uma tonelada de tecido conforme a TAB. 2.

Tabela 2 – Vazão específica média da indústria têxtil.

| Tipo | Unidade | Consumo de água por unidade (m ³ /unid) |
|------------------|---------------|--|
| Algodão | 1 ton produto | 120-750 |
| Lã | 1 ton produto | 500-600 |
| Rayon | 1 ton produto | 25-60 |
| Nylon | 1 ton produto | 100-150 |
| Polyester | 1 ton produto | 60-130 |
| Lavanderia de Lã | 1 ton lã | 20-70 |
| Tinturaria | 1 ton produto | 20-60 |

Fonte: Adaptação de Von Sperling, 1996 – p.60.

Para a diminuição dos impactos ambientais causados pelos efluentes líquidos têxteis, estes devem passar por um tratamento antes de serem lançados ao corpo receptor.

4.5. Tratamento Convencional de Efluentes Têxteis

Os efluentes gerados pela indústria são tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais que ajudam na redução da matéria orgânica carbonácea. Nas indústrias têxteis, os efluentes caracterizam-se tanto pelo grande volume gerado durante todo o processo quanto pela concentração alta de DQO (demanda química de oxigênio) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio). (HASSEMER, 2002).

De acordo com FEAM (2014), o guia técnico ambiental da indústria têxtil, destaca-se que, o volume de resíduos produzidos em uma indústria têxtil varia tanto em relação à natureza e tamanho, quanto a eficiência dos sistemas de tratamento de efluente (ETE). Por essa razão, a escolha do tratamento a ser utilizado deve ser feita com o intuito de se garantir que o efluente final esteja dentro dos padrões da legislação Ambiental, preservando o meio ambiente e a integridade da empresa.

Segundo Von Sperling (1996, p. 22), “a qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. ”

Antigamente não havia a preocupação por caracterizar os efluentes industriais e seu impacto no ambiente. A legislação e a conscientização ambiental fizeram com

que o conhecimento da vazão e da composição do efluente industrial fosse fundamental para a caracterização do tipo de tratamento a ser utilizado. Esses parâmetros convencionais definem a qualidade do descarte, podendo ser físicos, químicos e biológicos. (VON SPERLING, 1996).

- Parâmetros físicos: Temperatura, cor, turbidez, presença de sólidos e etc.
- Parâmetros químicos: pH, alcalinidade, teor de matéria orgânica, metais e etc.
- Parâmetros biológicos: bactérias, protozoários, vírus etc.

Tais parâmetros são caracterizados em laboratórios credenciados após coleta de amostras, só assim são planejados os tipos de tratamento que serão adequados para deixar o efluente em condições de retornar ao meio sem prejudica-lo.

De forma geral, os processos de tratamento de efluente são classificados em preliminar, primário, secundário e terciário ou pós-tratamento, mostrados na TAB. 3. Ressalta-se que o tratamento tem como objetivo devolver o efluente ao corpo receptor sem modificar suas características físicas, químicas e biológicas. (IBRAHIN, 2015).

Tabela 3 – Processos de tratamento de efluentes

| Tratamento | Tipo de processo | Operação Unitária |
|-------------------|-------------------------|--|
| Preliminar | Físico | Gradeamento Peneiramento Sedimentação/Clarificação |
| Primário | Físico-Químico | Flotação Decantação Floculação/Coagulação |
| Secundário | Biológico | Lodos ativados Filtros biológicos Lagoas de estabilização Lagos aeradas Tratamento anaeróbio |
| Terciário | Físico-Químico | Coagulação/Precipitação Cloração Osmose reversa Clarificação Ultrafiltração |

Fonte: Adaptação de Beltrame, 2000.

4.5.1. Tratamento Preliminar de Efluentes

O tratamento de efluentes pode ser dividido em quatro etapas, sendo que a primeira é o tratamento preliminar que consiste na remoção de sólidos grosseiros e areia através de processos físicos, tais como:

- Gradeamento;
- Peneiramento;
- Sedimentação;

De acordo com Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012), esta etapa tem como finalidade retirar sólidos dos efluentes para facilitar o transporte do material até a próxima etapa, visando a proteção dos equipamentos e tubulações.

A etapa de gradeamento consiste na remoção dos sólidos grosseiros transportados pelos efluentes que podem causar entupimentos na unidade de tratamento. Consiste em um conjunto de grades com finalidade de separar os materiais com dimensões maiores que o espaçamento das mesmas, ficando retidos. A espessura e espaçamento das grades são adequados às características dos esgotos que se deseja tratar. (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

No peneiramento, as peneiras têm a mesma finalidade das grades, que segundo Ibrahim, I., Ibrahim J. e Cantuária (2015), é proteger as bombas e tubulações, unidades de tratamento e dos corpos receptores. Como as aberturas são pequenas, as peneiras são capazes de remover resíduos mais finos. A utilização das peneiras é indispensável em tratamento de efluentes da indústria têxtil para melhor eficiência da unidade de tratamento.

De acordo com Ibrahim I., Ibrahim J. e Cantuária (2015) a função da sedimentação é a clarificação do efluente e separação sólido (lodo) – líquido (efluente bruto) por meio da sedimentação de partículas sólidas. Nessa etapa, são sedimentados os sólidos em suspensão, com densidade maior do que a do esgoto, que vão para o fundo do decantador formando o lodo primário, que depois é retirado para dar continuidade ao processo.

4.5.2. Tratamento Primário de Efluentes

O tratamento primário ocorre após o tratamento preliminar é considerado físico-químico, pois é onde ocorre a clarificação do efluente e a separação de fases. O efluente passa para a segunda etapa que é composta pelas seguintes etapas:

- Flotação
- Decantação
- Floculação

De acordo com Ibrahim I., Ibrahim J. e Cantuária (2015) os esgotos ainda possuem sólidos em suspensão, porém não grosseiros, que no tratamento preliminar foram retirados parcialmente na etapa de sedimentação.

A flotação visa a remoção de partículas em suspensão com a injeção de bolhas de ar no efluente. O material oleoso, por exemplo, tem mais afinidade com o ar do que o meio líquido, ocorrendo a separação de fases. (ROSA; FRACETO; MOSCHINI-CALOS, 2012).

Segundo Beltrame (2000), “os efluentes têxteis têm como características a presença de óleos e graxas que podem ser eliminados apenas por flotação.”

A etapa de decantação é muito utilizada na clarificação do efluente e espessamento de lodo. É aplicada para remoção de gorduras, sólidos grosseiros (DBO insolúvel), cor, turbidez, metais precipitados, óleos e graxas, microrganismos e compostos orgânicos. Para Von Sperling (1996), essa etapa consiste na separação de lodo e efluente bruto. Os efluentes fluem pelo decantador, onde os sólidos em suspensão sedimentam no fundo do tanque pois apresentam densidade maior que a do líquido bruto. Essa massa de sólidos sedimentada no fundo é chamada de lodo primário bruto.

A floculação é um processo de coagulação, onde obtém sólidos coloidais que não podem ser removidos na sedimentação. Ocorre a adição de produtos químicos que promovem aglutinação e conseqüentemente a formação de flocos que decantam com facilidade. Por isso a floculação acompanha a decantação. (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

4.5.3. Tratamento Secundário de Efluentes

De acordo com Beltrame (2000), o tratamento secundário é considerado a etapa biológica do processo e tem como objetivo a remoção da matéria orgânica, que serviria de alimento para os microrganismos, ou seja, por meio do aceleração da biodegradação. O que indica que tal tratamento é o mais indicado para redução de DBO e DQO.

Nesta etapa, busca-se retirar sólidos dissolvidos que não foram removidos no tratamento primário, precisando passar pelo processo secundário. (VON SPERLING, 1996, p.185).

Existe uma grande variedade de métodos de tratamento a nível secundário, tais como:

- Lagoas de estabilização e suas variantes;
- Lagoas aeradas;
- Lodos ativados;
- Filtro biológico;
- Tratamento anaeróbio.

As lagoas de estabilização têm como finalidade a estabilização da matéria orgânica realizada pela oxidação de bactérias ou redução fotossintética das algas. Tem como vantagens a simplicidade, eficiência do processo, baixo custo de construção e operação. São classificadas em lagoa facultativa; lagoa anaeróbia; lagoa aerada-facultativa; lagoa aerada de mistura completa; lagoa de decantação. Em lagoas facultativas ocorre a oxidação aeróbia e a redução fotossintética, e em lagoas anaeróbias predominam processos de fermentação anaeróbia e abaixo da superfície não existe oxigênio dissolvido. (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Para Almeida, Oliveira e Chernicharo (2011), os filtros biológicos se caracterizam pela alimentação contínua do esgoto através do meio desenvolvendo uma grande variedade de microrganismos aderidos à uma superfície formando uma película microbiana (biofilme). O esgoto entra em contato com o biofilme onde a matéria orgânica fica retida até sua estabilização. São destacados pela simplicidade operacional, porém são inviáveis pelo fato do custo de implantação.

Fogaça (2011), afirma que o tratamento anaeróbio tem a finalidade de remoção da matéria orgânica e formação do biogás. Jordão e Pessoa (2011) conclui com três fatores fundamentais a serem considerados na utilização dos reatores anaeróbios:

- Grande acumulação da biomassa no interior do reator, devido à sedimentação, agregação a sólidos, ou recirculação. Estes sistemas fazem com que o tempo de residência dos microrganismos seja muito maior que o tempo de detenção hidráulico, inclusive dos organismos de mais lento crescimento;
- Melhor contato entre biomassa e despejo; e
- Melhor atividade da biomassa. (JORDÃO; PESSÔA, 2011, p.827)

Segundo Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012), os processos biológicos são usados mais frequentemente em tratamento de efluentes, transformando compostos orgânicos tóxicos em CO₂ e H₂O. As duas formas mais comuns no cenário industrial são representadas pelas lagoas aeradas e pelos sistemas de lodos ativados.

4.5.3.1. Lagoas aeradas

As lagoas aeradas são caracterizadas pela grande flexibilidade em questão de operação, e costumam ser classificadas por lagoas aeradas aeróbias ou de mistura completa e lagoas facultativas. A segunda é a mais utilizada para sistemas predominantemente aeróbios e de dimensões mais reduzidas. (JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A., 2011).

Para Von Sperling (1996), o processo de lagoas aeradas tem como finalidade a introdução do oxigênio no meio líquido através de um sistema mecânico denominado aeradores, diferentemente da lagoa facultativa convencional que é feita por fotossíntese. Esses aeradores fornecem oxigênio contínuo na massa líquida, permitindo a decomposição da matéria orgânica mais rápida. Pelo fato da mecanização dos aeradores, o sistema de lagoas aeradas facultativas são menos simples em termos de manutenção e operação.

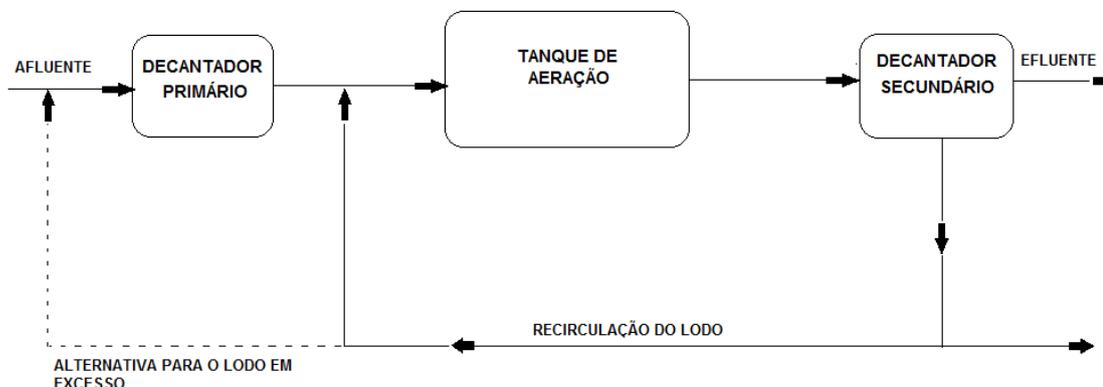
O nível de energia por unidade de volume é suficiente apenas para a oxigenação, mas não para manter os sólidos em suspensão. Em consequência, os sólidos são sedimentados formando o lodo de fundo, ocorrendo então um sistema aeróbico na parte superior e anaeróbio na parte inferior da lagoa, por isso se torna facultativa. (KONIG, 2000 apud ARAÚJO, 2007).

Segundo Von Sperling (1996), “Apenas a DBO solúvel e finamente particulada permanece na massa líquida, vindo a sofrer decomposição aeróbia.”

4.5.3.2. Lodos ativados

De acordo com Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012), o tratamento biológico por lodos ativados é o mais utilizado pela maioria das indústrias, para degradação da matéria orgânica do efluente, principalmente na indústria têxtil. É constituído por um tanque de aeração em que o afluente é misturado com o lodo ativado por microrganismos (bactérias, fungos e protozoários). Logo é agitado e aerado em tanques de aeração ocorrendo a oxidação da matéria orgânica, para em sequência, passarem por sedimentação em decantadores e serem novamente separados. A maior parte do lodo (biomassa) é recirculada de volta para o tanque de aeração, mostrado na FIG. 4, e os microrganismos continuam no meio por um longo tempo, e a menor parte é retirada para tratamento específico.

Figura 4 – Esquema de tratamento por lodos ativados



Fonte: Adaptação de Jordão e Pessôa, 2011.

O tempo de retenção dos sólidos no sistema é denominado idade do lodo que varia de 4 a 10 dias no tratamento por lodos ativados, garantindo a eficiência do tratamento, do qual a biomassa metaboliza toda a matéria orgânica. (VON SPERLING, 1996).

Segundo Jordão e Pessôa (2011), o tratamento por lodos ativados apresenta diversas vantagens e desvantagens respectivamente:

- maior eficiência de tratamento,
- maior flexibilidade de operação; e

- menor área ocupada em relação à filtração biológica.
 - operação mais delicada,
 - necessidade de completo controle de laboratório; e
 - custo maior de operação em relação à filtração biológica.
- (JORDÃO; PESSÓA, 2011, P.514).

4.5.4. Tratamento Terciário de Efluentes

O tratamento terciário tem por objetivo remover poluentes que não foram removidos nas etapas anteriores. É normalmente chamado de pós-tratamento constituído por tratamento físico-químico, empregado para remover os poluentes específicos como micronutrientes (fósforo e nitrogênio) e patogênicos (bactérias, fungos). Nesta fase podem ser usadas diversas etapas ou processos para a complementação do tratamento secundário, tais como, lagoas de maturação, cloração para desinfecção, ozonização para desinfecção, remoção de nutrientes, remoção de complexos orgânicos, eletrodialise, osmose reversa, troca iônica, remoção de nutrientes, como mostra a TAB. 4. (ROSA; FRACETO; MOSCHINI-CARLOS, 2012).

Segundo Ibrahim I., Ibrahim J. e Cantuária (2015), caso haja substâncias tóxicas que não podem ser removidas pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) pública, a indústria deverá construir sua ETE para tratar do seu próprio efluente.

Tabela 4 – Processos de tratamentos da etapa terciária.

| Remoção de sólidos dissolvidos | Remoção de sólidos suspensos | Remoção de compostos orgânicos | Desinfecção |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Osiose Reversa | Macrofiltração | Ozonização | Cloro |
| Troca Iônica | Microfiltração | Carvão Ativado | Ozônio |
| Eletrodialise Reversa | Ultrafiltração | | Dióxido de cloro (ClO ₂) |
| Evaporação | Nanofiltração | | Permanganato de potássio |
| | Clarificação | | Cloramidas |
| | Ozonização | | Radiação ultravioleta |
| | | | Outros meios |

Fonte: Adaptação de Ibrahim I., Ibrahim J. e Cantuária, 2015.

4.6. Matéria Orgânica

Os indicadores globais como matéria orgânica, óleos e graxas, toxicidade e sólidos são avaliados através de determinados métodos. De acordo com Araújo (2009), a determinação da matéria orgânica é feita com a medição do consumo de oxigênio dissolvido (OD), através dos métodos: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

4.6.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De acordo com Von Sperling (1996), a DBO consiste na quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica do efluente através de processos bioquímicos. Este método foi condicionado para medir o potencial de poluição de um determinado poluente pelo consumo de oxigênio, sendo então uma quantificação indireta.

NBR 12614: Para os efeitos desta Norma é adotada a definição de Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): Quantidade de oxigênio necessária para a oxidação biológica e química das substâncias oxidáveis contidas na amostra, nas condições do ensaio. (ABNT NBR 12614).

Ainda segundo o mesmo autor, a DBO é um parâmetro muito importante no controle de poluição das águas residuárias, sendo o mais prático e confiável, obtendo as seguintes vantagens:

- Indicação aproximada da fração biodegradável do despejo;
- Indicação da taxa de degradação do despejo;
- Indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo;
- A determinação aproximada da quantidade de oxigênio requerido para a estabilização biológica da matéria orgânica presente. (VON SPERLING, 1996, p.68).

Segundo a norma NBR 12614, é medida a concentração de OD da amostra no primeiro dia da incubação e, após cinco dias, em frasco de vidro fechado a 20°C, mede-se a nova concentração, que foi reduzida devido ao consumo do oxigênio ao longo do tempo de incubação. Von Sperling (1996) complementa que a diferença entre as duas determinações de OD, ou seja, do primeiro e quinto dia, é o valor da DBO_5^{20} , sendo que tal indicação representa o período (5 dias) e a temperatura (20°C) de incubação. Se o esgoto possui uma grande quantidade de matéria orgânica, todo o

oxigênio dissolvido é consumido rapidamente, até mesmo antes dos cinco dias. Então, é preciso uma diluição para que a concentração da matéria orgânica seja reduzida.

“Admite-se que nessas condições 80% da matéria orgânica carbonada já estejam mineralizados e começando a nitrificação. Uma oxidação total, em geral leva cerca de 20 dias.” (BAIRD, B.R. et al., 2012).

Em contrapartida às vantagens mencionadas anteriormente e devido ao processo da DBO_5^{20} , Marais e Ekama (1976 apud Von Sperling, 1996, p.68) relatam algumas desvantagens referentes ao teste DBO_5^{20} sendo as principais:

- Pode-se encontrar baixos valores de DBO caso os microrganismos responsáveis pela decomposição não estejam adaptados ao despejo;
- A relação DBO_w/DBO_5 varia em um mesmo despejo, ao longo da linha de tratamento da ETE;
- O teste demora 5 dias, não sendo útil para efeito de controle operacional de uma estação de tratamento de esgotos. (VON SPERLING, 1996, p.68).

4.6.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

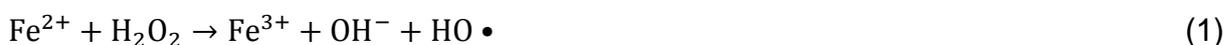
A DQO representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar quimicamente a matéria orgânica do efluente, ou seja, para oxidar a substância biodegradável ou não. O teste de DQO é definido como número de miligramas de oxigênio absorvidos em um litro de amostra do efluente em meio ácido e solução de dicromato de potássio. Sua principal vantagem é um teste mais simples e rápido, cerca de 2 a 3 horas para ser realizado, mais utilizado que a DBO e a desvantagem é a interferência de constituintes inorgânicos que podem ser oxidados e interferir no resultado. (Beltrame, 2000).

De acordo com Baird et al. (2012), as matérias orgânicas e inorgânicas da amostra são oxidadas em meio ácido por uma quantidade conhecida de um agente oxidante forte, o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Alguns compostos orgânicos não são oxidados de forma apreciável, devido em parte ao pouco contato entre os vapores do composto com o agente oxidante. Estes compostos são oxidados de forma mais eficiente quando se adiciona o Sulfato de Prata (Ag_2SO_4) como catalisador. O teste de DQO é realizado por 2 horas do qual a amostra é colocada sob refluxo para que haja oxidação. A quantidade da matéria oxidada expressa como equivalente em oxigênio é proporcional à quantidade do agente oxidante consumido.

4.7. Reagente Fenton

Para Oliveira e Leão (2009), o efluente têxtil é considerado um grande poluidor e possui altas concentrações de DBO e DQO devido a presença dos corantes no processo de produção. As estruturas dos corantes são complexas e variáveis, com baixa biodegradabilidade, o que exige a implementação de tratamento mais integrado para a redução também do custo de instalação de ETE (estação de tratamento de esgoto).

Os processos oxidativos avançados (POA) são baseados em gerar hidroxilas (OH^*) altamente reativos, capazes de transformar as substâncias poluentes em compostos não poluentes, como CO_2 e H_2O em caso de oxidação completa ou em alguns casos de oxidação parcial, se transformam em substâncias biodegradáveis. O POA pelo reagente Fenton é a técnica mais promissora utilizada entre os processos oxidativos, trata-se de um processo de oxidação que ocorre na presença de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e sal ferroso (Fe^{2+}), em meio ácido conforme a equação 1 a seguir. (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011).



Os íons ferrosos catalisam a decomposição de H_2O_2 o que resulta na geração de hidroxila $\text{HO} \bullet$ que é um poderoso oxidante com capacidade de degradação de compostos orgânicos, atacando as moléculas pela abstração de hidrogênio ou adição de dupla ligação. Na ausência de um substrato, a hidroxila formada pode oxidar os íons férricos, como mostrado na equação 2:



As equações 3 a 7 mostram que os radicais livres $\text{HO} \bullet$ podem ser eliminados reagindo com íons férricos e peróxido de hidrogênio (H_2O_2).





Segundo GilPavas, Dobrosz-Gómez e Gómez-García (2012), as principais vantagens desse processo utilizando Reagente Fenton são a simplicidade de uso, acessibilidade e custo moderado. Porém, para grande quantidade de efluente só é economicamente viável quando associado a outros tratamentos físico-químicos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

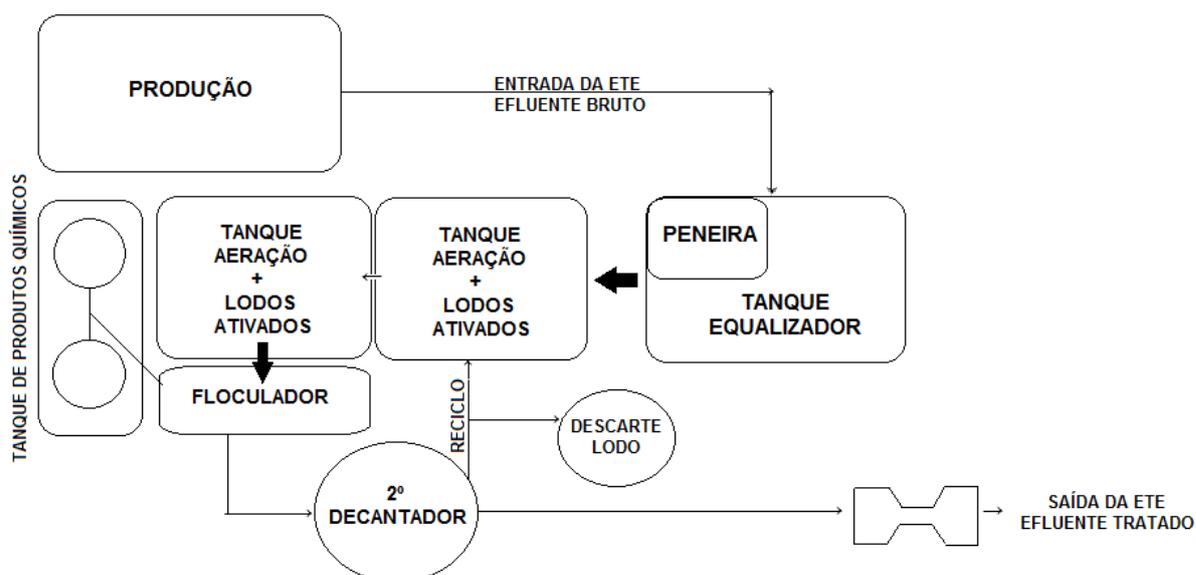
5.1. Local do Experimento

A empresa têxtil aqui em questão localiza-se no município de Itaúna no Centro Oeste mineiro e utiliza os tratamentos físico-químicos e biológico mostrados na FIG. 5. Tal empresa possui uma frequência bimestral de análises laboratoriais.

As amostras foram coletadas nos pontos de entrada e saída do processo de tratamento da própria ETE, ou seja, o efluente bruto e o efluente tratado respectivamente.

As análises realizadas foram feitas em laboratório credenciado de análises ambientais, onde os resultados são calculados pelo programa Análisis.

Figura 5 – Fluxograma do processo de tratamento da ETE da Indústria têxtil



Fonte: A autora, 2017.

5.2. Análise de Qualidade do Efluente

Para análise da qualidade do efluente, os seguintes parâmetros foram avaliados: pH, cor, DBO e DQO.

- pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é a quantidade de íons H^+ ou OH^- presentes no meio e indica a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Se houver maior concentração de H^+ o meio é considerado ácido, e se houver maior concentração de OH^- é considerado básico. A faixa de medição do pH é de 0 a 14. (VON SPERLING, 2005).

Para a medição do pH foi utilizado um potenciômetro de platina marca HI322x, o qual foi imergido na amostra que foi agitada levemente para aguardar a estabilização, e assim efetuou-se a leitura diretamente no visor do aparelho.

- Cor

A cor do efluente industrial é proveniente da presença de corantes, partículas suspensas, sólidos dissolvidos, orgânicos e outros produtos químicos que causem cor, que devem ser removidos antes do lançamento nos corpos receptores, por razão de saúde e de estética. (VON SPERLING, 2005).

A cor verdadeira é aquela que houve remoção de materiais suspensos na água, e a cor aparente, é aquela sem a remoção de materiais suspensos e partículas coloidais. Primeiramente o pH da amostra foi ajustado para 7, em seguida foram filtrados 50mL da amostra na membrana de porosidade 0,45 μm utilizando filtro de fibra de vidro. A leitura da absorbância da amostra foi efetuada pelo espectrofotômetro Skyray F7230G no comprimento de onda entre 450 a 465nm, em cubetas de vidro. A amostra foi lida contra o branco, ou seja, água deionizada.

- DQO

Foram usados tubos de cultura de tamanho 16x100mm, onde foram adicionados 1,5mL de solução de Dicromato de Potássio, 2,5mL de amostra e 3,5mL de solução de Ácido Sulfúrico com Sulfato de Prata. Os tubos foram fechados firmemente e invertidos cuidadosamente para homogeneização completa e para evitar aquecimento local no frasco. Logo, os tubos foram mantidos por 2 horas no digestor de bloco a 150°C e em seguida, após esfriar em temperatura ambiente, a DQO foi lida sobre absorbância 600 nm pelo espectrofotômetro Shimadzu UV 1201.

- DBO

Primeiramente o pH da amostra foi ajustado na faixa de 6,5 a 7,5. A amostra foi diluída em água deionizada, logo, transferida para o frasco de DBO e completou-se com água própria para o tipo de amostra (com semente) até transbordar. Em seguida, utilizou-se o oxímetro Orion 850 para medir o oxigênio dissolvido da amostra. Após incubar a amostra na incubadora EBOD 02 por 5 dias a 20°C, mediu-se novamente o oxigênio dissolvido presente na mesma.

- Eficiência DBO e DQO

O cálculo de eficiência de remoção da DBO e DQO é feito através da equação:

$$\text{Eficiência} = \frac{(C_0 - C_F)}{(C_0)} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

C_0 : Concentração inicial (mg / L);

C_F : Concentração final (mg / L).

Tal cálculo é feito pelo programa Análisis, disponibilizado no laboratório onde foram feitas todas as análises em questão.

5.3. Proposta de Tratamento – Reagente Fenton

A fim de se comparar com o método de tratamento já adotado pela empresa têxtil, foi proposto o tratamento pelo Reagente Fenton.

Para isso, 10 litros de amostra foram coletados do efluente bruto, ou seja, ponto de entrada da ETE da empresa. De acordo com Koslowski, Licodiedoff e Riella (2016), a reação de Fenton ocorre favoravelmente em meio ácido. Então, na atual análise avaliou-se o pH ótimo em 3,0 e 4,0, sendo ajustado utilizando-se ácido sulfúrico 0,1N e hidróxido de sódio 0,1N.

As concentrações de sulfato ferroso e peróxido de hidrogênio foram avaliadas em proporção mássica de 1:2 e 1:5, para a determinação da relação ótima. Para cada

1000mL de amostra foram utilizados 100mL de cada reagente de Fenton. Para a proporção 1:2 utilizou-se 4.200mg de sulfato ferroso como catalisador, em seguida, adicionou-se 2,76mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), com concentrações de 600mg/L e 1200mg/L, respectivamente. Para a proporção 1:5, foram utilizados 4.200mg de sulfato ferroso e 6,9mL de peróxido de hidrogênio, respectivamente com concentrações de 600mg/L e 3000mg/L, de acordo com a literatura (ADÁRIO, M., 2014).

As especificações dos reagentes utilizados são mostradas na TAB. 5, as quais ajudaram para efetuar os cálculos.

Tabela 5 – Especificações dos reagentes.

| | Peróxido de Hidrogênio - (H_2O_2) | Sulfato Ferroso Amoniacal - $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$ |
|------------|---|---|
| Marca | Synth | Synth |
| Lote | 190388 | 184575 |
| Fabricação | 07/07/2015 | 18/11/2014 |
| Validade | 07/07/2018 | 18/11/2017 |
| Pureza | 29% | 100% |

Fonte: A autora, 2017.

O meio racional foi agitado constantemente durante 120 minutos para que houvesse homogeneização da amostra com os reagentes, ou seja, sofresse a oxidação desejada. Foram retiradas amostras nos intervalos de tempo 0, 30, 60, 90 e 120 min para avaliação da reação Fenton.

Devido a uma floculação da amostra durante o processo, foi necessário um segundo experimento. Primeiramente, realizou-se um tratamento físico-químico da amostra. Como o efluente possui pH básico, foi feito um choque de pH fazendo com que a amostra floculasse. Após sedimentação da mesma, retirou-se o sobrenadante e executou-se a reação Fenton. Do tratamento físico-químico foram recuperados 800mL da amostra para o processo de Fenton e utilizou-se 80mL de cada reagente, seguindo as mesmas proporções e os mesmos intervalos de tempo.

Após a retirada da amostra nos diferentes intervalos de tempo, ajustou-se o pH do efluente para 7,0 com solução de hidróxido de sódio 0,1M, a fim de se interromper a reação no tempo determinado.

E ao final, os parâmetros pH, cor, DBO e DQO foram avaliados para esta

amostra tratada com o reagente Fenton. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos a partir da amostra tratada da empresa.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efluente bruto da empresa Têxtil foi caracterizado de acordo com os parâmetros e os resultados são apresentados na TAB. 6.

Tabela 6 – Caracterização do efluente bruto.

| | DQO (mg/L) | COR | DBO (mg/L) |
|----------------|-------------------|------------|-------------------|
| Efluente Bruto | 8.056,7 | 6,56 | 1119,6 |

Fonte: A autora, 2017.

Como pode ser observado na TAB. 6, os valores encontrados dos parâmetros estão acima dos valores permitidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008. Pelos resultados da DQO (< 250mg/L) e DBO (< 60 mg/L), evidencia-se uma necessidade de tratamento do efluente para o lançamento no corpo hídrico.

Na TAB. 7 são mostrados os resultados de porcentagem da remoção de Cor, DQO e DBO do tratamento tradicional da empresa, que são considerados dentro do permitido.

Tabela 7 – Porcentagem de remoção da Cor, DQO e DBO pelo tratamento da empresa.

| DQO (mg/L) | Remoção de DQO (%) | DBO (mg/L) | Remoção de DBO (%) | COR (leitura) | COR (%) |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|----------------|
| 2.238,8 | 72.21 | 587,5873 | 47.52 | 1,538 | 76.55 |

Fonte: A autora, 2017.

Na avaliação do Reagente Fenton para tratamento do efluente, ao se fazer o primeiro experimento, inicialmente, não deu certo devido a amostra flocular impedindo uma melhor remoção de cor, como mostra a FIG. 6, onde o primeiro béquer representa o efluente bruto e o segundo, depois do tratamento com o reagente Fenton.

Figura 6 – Resultado antes e depois do tratamento com reagente Fenton.



Fonte: A autora, 2017.

Ao adicionar o sulfato ferroso, os sólidos que estavam presentes na amostra, ou seja, quantidade de matéria orgânica em suspensão concorreu com a matéria orgânica que estava dissolvida, fazendo com que o ferro reagisse primeiro com a matéria orgânica suspensa. Devido a essas interferências, foi necessário um tratamento físico-químico antes da reação Fenton, através do choque de pH que já fez a amostra flocular e assim, como mostra a FIG. 7, retirou-se o sobrenadante para executar a oxidação com o Fenton.

Figura 7 – Amostra depois do tratamento físico-químico.



Fonte: A autora, 2017.

Ao remover praticamente toda a matéria orgânica em suspensão, o Ferro disponível reagiu com o Peróxido, obtendo um melhor resultado devido à oxidação da amostra. Ao introduzir os reagentes Sulfato ferroso e Peróxido de Hidrogênio, já observou-se uma mudança na coloração da amostra, indicando que a reação de Fenton já havia começado, como mostra a FIG.8.

Figura 8 – Coloração da amostra ao colocar os reagentes Fenton.



Fonte: A autora, 2017.

Na TAB.8 são mostrados os resultados de remoção da Cor e DBO referentes às proporções de $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ de 1:2 e 1:5. Constatou-se uma grande melhoria na remoção de cor e DBO ao longo de todo o período de tempo, em relação ao tratamento convencional, adquirindo uma média de porcentagens de 95% de remoção de cor e 97% de remoção de DBO, em ambas as concentrações.

Tabela 8 – Porcentagem de remoção da Cor e DBO em diferentes tempos para as relações $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$.

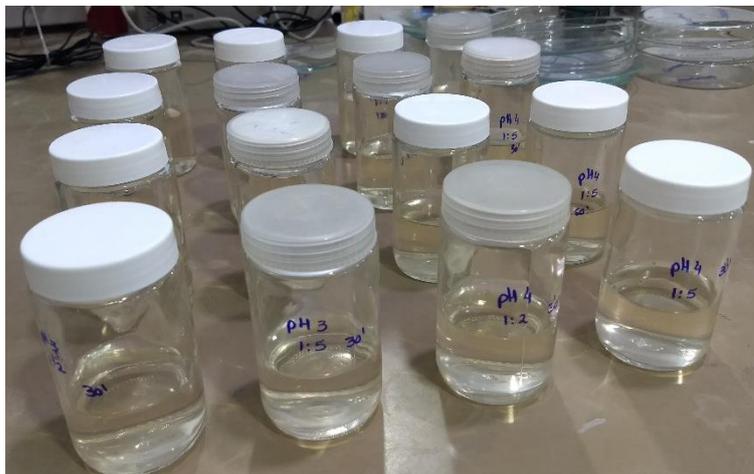
| Tempo (min.) | pH | Remoção de Cor (%) $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ de 1:2 | Remoção de Cor (%) $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ de 1:5 | Remoção de DBO (%) $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ de 1:2 | Remoção de DBO (%) $[Fe^{2+}]:[H_2O_2]$ de 1:5 |
|--------------|------|--|--|--|--|
| 30 | 3.00 | 94.98 | 95.12 | 96.52 | 96.76 |
| | 4.00 | 93.20 | 93.03 | 96.80 | 96.63 |
| 60 | 3.00 | 95.26 | 95.20 | 96.78 | 96.72 |
| | 4.00 | 93.14 | 92.39 | 96.80 | 96.70 |
| 90 | 3.00 | 96.04 | 95.50 | 96.86 | 96.78 |
| | 4.00 | 93.23 | 92.58 | 96.78 | 96.72 |
| 120 | 3.00 | 96.28 | 96.34 | 96.80 | 96.54 |
| | 4.00 | 93.51 | 92.41 | 96.87 | 96.71 |

Fonte: A autora, 2017.

Observa-se na TAB. 8, que a oxidação obteve ótimos resultados já em 30 minutos de reação. Isso se deve ao pH baixo, pois a reação Fenton acontece em meio ácido. E também, pela quantidade de Peróxido em excesso, que é um poderoso oxidante capaz de oxidar numerosas substâncias orgânicas. Houve muitas diferenças entre os dois pH's, apesar de os resultados com pH = 3,0 serem ligeiramente superiores.

Os melhores resultados se devem à oxidação da matéria orgânica disponível, com a liberação de hidroxilas provenientes da reação do Peróxido, diminuindo principalmente a cor, o que consta na FIG. 9.

Figura 9 – Resultado da diminuição da Cor após 120 minutos.



Fonte: A autora, 2017.

Os resultados de porcentagem da remoção de DQO referentes às proporções de $[\text{Fe}^{2+}]:[\text{H}_2\text{O}_2]$ de 1:2 e 1:5, são apresentados na TAB. 9. Observou-se uma redução equivalente com o tratamento convencional da empresa Têxtil, adquirindo uma média de porcentagem de 71% de remoção de DQO.

Tabela 9 – Porcentagem de remoção de DQO em diferentes tempos para as relações $[\text{Fe}^{2+}]:[\text{H}_2\text{O}_2]$.

| Tempo (min.) | pH | Remoção de DQO (%) [Fe ²⁺]:[H ₂ O ₂] de 1:2 | Remoção de DQO (%) [Fe ²⁺]:[H ₂ O ₂] de 1:5 |
|--------------|------|--|--|
| 30 | 3.01 | 76.04 | 70.70 |
| | 4.00 | 70.94 | 70.21 |
| 60 | 3.02 | 68.89 | 64.87 |
| | 4.00 | 68.40 | 71.6 |
| 90 | 3.00 | 66.59 | 66.59 |
| | 4.00 | 72.92 | 72.94 |
| 120 | 3.00 | 68.81 | 66.51 |
| | 4.00 | 70.12 | 71.36 |

Fonte: A autora, 2017.

Os resultados da TAB. 9 mostram que as porcentagens de remoção de DQO foram praticamente semelhantes aos resultados do tratamento convencional. Isso se deve a presença de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) na amostra. De acordo com Álvaro (2017), se houver um aquecimento na amostra, o H_2O_2 poderá ser eliminado e assim, aumentando a porcentagem de remoção de DQO (informação verbal).¹

LUSTOSA et al (2013) também verificaram que a reação de Fenton apresentou bons resultados, obtendo como principais atrativos a simplicidade e eficiência de degradação. Visto que a remoção de cor, parâmetro analisado na literatura, atingiu resultado máximo de 85%, o que se mostrou um tratamento bastante satisfatório.

6.1. Avaliação Preliminar da Viabilidade Econômica do Processo

Através dos resultados obtidos, observa-se uma grande melhoria no tratamento do efluente têxtil, cabendo então, uma comparação econômica, visando vantagens e desvantagens entre o tratamento convencional da empresa Têxtil e o tratamento com o Reagente Fenton.

Na planta convencional do tratamento da empresa Têxtil, utilizam-se produtos químicos, necessita-se de uma área elevada para sua construção, o resultado final está sujeito à variação por causa do tratamento biológico, há um consumo alto de energia para os aeradores e elevados gastos com manutenção de equipamentos, devido aos tanques e reatores utilizados, como mostra o item 5.1 no presente trabalho.

Segundo Álvaro (2017), ao se projetar uma planta utilizando o tratamento Fenton, serão necessários um tanque equalizador para homogeneizar o efluente, em seguida um decantador para o tratamento físico-químico onde se obtém um efluente clarificado e sem matéria orgânica suspensa, e ao final, um tanque para o tratamento de reação Fenton, onde serão adicionados Sulfato de Ferro e Peróxido de Hidrogênio (informação verbal).

As vantagens do processo proposto neste trabalho estão na necessidade de uma área menor, na redução de energia elétrica e manutenção de equipamentos,

maior eficiência na remoção de cor e resultado final previsível. No entanto, mais

¹ ÁLVARO, W. S. Químico, sócio proprietário da empresa JRW Ambiental. Divinópolis – MG, em entrevista. 26 de setembro de 2017.

estudos são necessários para se verificar a real viabilidade de implantação deste novo processo e a possível substituição do processo convencional já adotado pela empresa.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se através dos resultados obtidos, que o processo por Reação Fenton aqui realizado é viável para o tratamento de efluente industrial em uma empresa têxtil. Visto que a eficiência dos parâmetros (Cor, DQO e DBO) foi atingida conforme a especificação da lei, observando-se uma remoção máxima de 95%, 71% e 97% respectivamente. Essa oxidação de substâncias orgânicas através de Peróxido de Hidrogênio e Sulfato de Ferro é uma alternativa para remoção de cor e redução de DQO e DBO de efluentes têxteis. Ao se comparar o processo de reação Fenton com o tratamento convencional da empresa Têxtil, verificou-se vantagens e desvantagens econômicas que possam permitir a incorporação deste novo método no projeto já existente ou, até mesmo, substituir o processo de tratamento usado pela mesma. Estudos posteriores poderão aperfeiçoar o procedimento, incluindo um projeto de vazão para melhorar ainda mais a precisão do tratamento por reagente Fenton.

REFERÊNCIAS

- ADÁRIO, M. L. **Utilização do Processo Fenton Homogêneo no Tratamento de Efluentes Gerados em Cabines de Pintura da Indústria Moveleira.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Faculdade de Engenharia UFJF, Juiz de Fora, 2014.
- ALMEIDA, P.G.S.; OLIVEIRA, S.C.; CHERNICHARO, C.A.L. Operação de filtros biológicos percoladores pós-reatores UASB sem a etapa de decantação secundária. **Scielo: artigo técnico**, Eng. Sanitária Ambiental, v.16 n.3, jul/set 2011.
- ARAÚJO, C.L. **Avaliação da variação na eficiência de remoção de DBO e DQO em uma estação de tratamento anaeróbio de esgoto: estudo de caso na mineração nacional de grafite LDTA.** Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária)-Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG, Formiga - MG, 2009.
- ARAÚJO, I.S. **Avaliação de lagoas facultativa aerada e de maturação, em escala real, como etapas secundária e terciária de sistema de tratamento de dejetos suínos.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12614: Águas- Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) – Método de incubação (20° C, 5 dias).** Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14339 – Águas – Determinação de pH – Método eletrométrico.** Junho/ 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800:1987: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2013.
- BAIRD, B.R.; CLESCERI, S.L.; EATON, D.A.; RICE, W.E. **Standard methods for the examination of water & wastewater. Chemical Oxygen Demand (COD) - 5220 D. Closed Reflux, Colorimetric Method.** 22st edition, Washington, DC: Managing editor, 2012.p.5-20 e 5-21.
- BAIRD, B.R.; CLESCERI, S.L.; EATON, D.A.; RICE, W.E. **Standard methods for the examination of water & wastewater.** Quality Control Practices - 5220 B. 22st edition, Washington, DC: Managing editor, 2012.p.5-2 a 5-4.
- BELTRAME, L.T.C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2000.
- BRANCO, R. **Revolução Industrial e os impactos no meio ambiente.** Manutenção e suprimentos / Meio Ambiente. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/2912-revolucao-industrial-e-os-impactos-no-meio-ambiente/>> Acesso em: 22 de Fev. 2017.

CALVACANTI, J.E.W de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357**: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília-DF, 26 de Dec. 2006.

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa CERH Nº 01**: Reformula as normas e padrões para lançamentos de efluentes. Minas Gerais. 05 de Mai. 2008.

FARIA, J. C. **Administração: Introdução ao estudo**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1997. p. 6-8.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Declarações ambientais: Declaração de carga poluidora**. Disponível em: <<http://www.feam.br/declaracoes-ambientais/declaracao-de-carga-poluidora>> Acesso em: 18 de Mar. 2017.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. 2014. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_textil.pdf> Acesso em: 04 de Mar. 2017.

FOGAÇA, J, R, V. “**Tratamentos secundários de efluentes**”. Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/tratamentos-secundarios-efluentes.html>. > Acesso em: 16 de maio de 2017.

GilPavas, E.; Dobrosz-Gómez, I.; Gómez-Garcia. M.A. **Decolorization and mineralization of Diarylide Yellow 12 (PY12) by photo-Fenton process: the Response Surface Methodology as the optimization tool**. Water Science & Technology | 65.10 | 2012.

GRANER, C.A.F.; ZUCCARI, M.L.; PINHO, S.Z. de. Determinação da demanda química de oxigênio em águas por espectrofotometria simultânea dos íons crômio (III) e dicromato. **Eclét. Quím.** vol.23. São Paulo 1998.

HAMESSER, M. E. N. **Tratamento de efluente têxtil – processo físico-químico, com ozônio e floculação em meio granular**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

HAMESSER, M.E.N; SENS M.L. **Tratamento do Efluente de uma Indústria Têxtil: Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação**. Engenharia sanitária e ambiental. Vol. 7 - Nº 1 - jan/mar 2002 e Nº 2 - abr/jun 2002.

IBRAHIN, F.I.D.; IBRAHIN, F.J.; CANTUÁRIA, E.R. **Análise Ambiental: Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes**. - 1. ed. – São Paulo: Érica/Saraiva; 2015.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

KÖNIG, A. **Biología de las lagunas de estabilización: algas**. In: MENDONÇA, S. R. (coord.). *Sistemas de Lagunas de Estabilización: como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadio*. Ed.. McGraw- Hill, p. 44-67. 2000.

KOSLOWSKI, L.A. D; LICODIEDOFF, S.; RIELLA, H.G. Tratamento de um efluente modelo têxtil via reação de fenton. **HOLOS**, Ano 32, Vol.4, Santa Catarina, 2016.

KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Quim. Nova**, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.

KWASNICKA, E. L. **Teoria geral da Administração: uma síntese**. Atlas, 2. ed. p.13. São Paulo: Atlas, 1989. p. 15-16.

LUSTOSA, G.M.M.M.; NETO, J.M.M.; SILVA, C.E.da. Degradação de Efluente Têxtil pela Reação de Fenton. **Revista Virtual de Química**, Vol XX, No. XX, 2013.

MARAIS, G.V.R.; EKAMA, G.A. The Activated Sludge. Part I – Steady State Behaviour Water S.A. ed.2, Oct. 1976 apud VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. – 3. Ed. Belo Horizonte-MG, 1996.

MARTINS, L.M. **Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando o seu reuso**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), Teresina - PI, 2011.

MORAVIA, W.G.; LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, Vol.34, Nº 8, São Paulo, 2011.

NASCIMENTO, M.C.P. **Filtro Biológico percolador de pequena altura de meio suporte aplicado ao pós-tratamento de efluente reator UASB**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2001.

OLIBEIRA, D.M.; LEÃO, M.M.D. Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagente de fenton. **Química Nova**, Vol.32, Nº9, Belo Horizonte, 2009.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. – 3. Ed. - Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.