

PAULO OZERIDE DA SILVA

MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Agrárias – como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

Orientadora: **Prof^a. Francinete Veloso Duarte**

Montes Claros

2013

**S586m
2013**

Silva, Paulo Ozeride da.

Métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil / Paulo Ozeride da Silva. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2013. 39 f.: il.

Monografia (Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias.

Orientadora: Francinete Veloso Duarte.

Banca examinadora: Edson de Oliveira Vieira, Roberta Torres Careli, Francinete Veloso Duarte.

Inclui bibliografia: f. 38-39.

1. Corantes têxteis. 2. Efluentes têxteis. 2. Lodos ativados. 3. Água. I. Silva, Paulo Ozeride da. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 628

Elaborada pela BIBLIOTECA COMUNITÁRIA DO ICA/UFMG

PAULO OZERIDE DA SILVA

MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Aprovado em 04 de Julho de 2013

Prof. Edson de Oliveira Vieira
Coordenador (ICA/UFMG)

Prof. Roberta Torres Careli
(ICA/UFMG)

Prof. Francinete Veloso Duarte
Orientadora (ICA/UFMG)

Montes Claros

2013

Dedico
esta pesquisa a todos aqueles que acreditam em
mim, dando de si o que podem, me estimulam
sempre. Em especial aos meus familiares pela
certeza da vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que tudo pode tornar possível, Ele que direciona os nossos passos e nos conduz pelos caminhos da luz, da verdade e da realização. Sou grato também os meus amigos e colegas, que souberam me tolerar nas horas de empolgação. Minha gratidão é muito grande pela minha família, nas pessoas de Marly, Thelly e Samuel, que esperaram, confiantes, este momento de graças. À professora Francinete Veloso Duarte, a sua disposição e tão importante ajuda para que esta pesquisa fosse realizada.

“Quando fizeres algo nobre e belo e ninguém notar, não fiques triste. Pois o sol toda manhã faz um lindo espetáculo e, no entanto, a maioria da platéia ainda dorme...”
(Jhon Lennon).

RESUMO

A indústria têxtil, por fazer uso de grande volume de água no processo de confecção e beneficiamento de tecido, é responsável por uma considerável carga de efluente contendo uma diversificada quantidade de diferentes contaminantes, seja de corantes ou dos diversos produtos usados durante todo o processo de produção. Fato que exige tratamentos adequados e eficientes dos efluentes, a fim de atender às exigências sanitárias legais e garantir a continuidade da atividade industrial. São diversos os métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil, no entanto a eficiência do tratamento é melhor se métodos diferentes forem utilizados, uma vez que o método usado para retirada da cor muitas vezes não garante o sucesso na retirada de outras substâncias contidas no efluente como é o caso de gases que provocam mau cheiro. Esta pesquisa teve como objetivo analisar o método de tratamento de efluentes têxteis mais utilizado pela indústria do segmento. Constatou-se que os métodos mais usados na indústria têxtil são os processos relacionados aos lodos ativados.

Palavras-chave: Corantes têxteis. Efluentes têxteis. Lodos ativados.

ABSTRACT

The textile industry for make use of large water volumes in the process of manufacture and processing of tissue is responsible for a considerable load of effluent containing a diverse amount of different contaminants, either dyes or of the various products used throughout the whole process of production, fact that requires adequate and efficient treatment of effluents in order to meet the sanitary standards legal and to ensure the continuity of industrial activity. There are several methods for treating effluents from the textile industry, however, the treatment efficiency is better if different methods are used, since the method used for the removal of the color often does not guarantee success in removal of other substances contained in the effluent such as the gas which cause bad smell. This study aimed to highlight the method of treating textile effluents most used by industry segment. Achieved this goal with the realization that the methods used in the textile industry are the processes related to activated sludge.

Keywords: Textile dyes. Textile effluents. Activated sludge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Estruturas típicas de alguns corantes utilizados na Indústria Têxtil.....	16
FIGURA 2 -	Esquema do sistema de tratamento de efluentes indústria têxtil.....	27
FIGURA 3 -	Esquema do tratamento de efluentes por lodos ativados.....	33
FIGURA 4 -	Tanque de equalização.....	35
FIGURA 5 -	Tanque de aeração em funcionamento.....	36
QUADRO 1 -	Comparações entre alguns métodos de tratamento de efluentes têxteis.....	30

ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA -	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO -	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO -	Demanda química de oxigênio
MO -	Matéria orgânica
O₂ -	Oxigênio
PH -	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Específicos.....	12
3	METODOLOGIA.....	13
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
4.1	CORANTES TÊXTEIS.....	16
4.2	A Legislação Ambiental Brasileira.....	20
4.3	Métodos de Tratamento.....	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem ganhado dimensões maiores nas últimas décadas, pois os problemas ambientais também têm se tornado cada vez maiores e mais frequentes, tendo em vista o aumento das atividades industriais, objetivando a satisfação das necessidades e dos desejos da população humana também em forte crescimento. Os reflexos das ações antrópicas podem ser observados no ar, no solo e na água. Nesse contexto, a contaminação de águas naturais tem se tornado um grande problema da sociedade atual (KUNZ *et al.*, 2002).

Com o objetivo de minimizar os efeitos da contaminação dos recursos naturais por efluentes industriais, tem crescido o interesse de pesquisadores em busca de novas tecnologias para tratamentos químicos, biológicos ou em conjunto, visando cada vez mais a uma melhor eficiência e eficácia nas ações de redução dos compostos que possam causar danos ao meio ambiente, bem como uma redução dos custos de operação e manutenção dos sistemas de tratamento dos efluentes gerados pelas indústrias de modo geral.

A indústria têxtil, por se tratar de uma atividade que faz uso de grande volume de água, durante a operação de confecção e principalmente na estampagem de tecidos, produz conseqüentemente, uma grande quantidade de efluente, que, por sua vez é de fácil detecção no meio aquoso, podendo ser observado mesmo em quantidades muito pequenas como 1 mg L^{-1} . Por esse motivo pode causar danos incalculáveis ao meio ambiente se lançados nos receptores, sem o devido tratamento, sendo passivo de causar desde prejuízos estéticos até problemas de redução da atividade biológica nos corpos hídricos (ALMEIDA *et al.*, 2004).

Nesse sentido, a presente pesquisa levantou, dentro da literatura, os principais métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil no Brasil, bem como suas eficiências, pontos positivos e negativos e assim definir se há, entre eles, um que melhor atenda ao setor ou quais os métodos são necessários para tratar de modo satisfatório os efluentes têxteis, garantindo inclusive o cumprimento das exigências legais brasileiras.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral:

Analisar o método de tratamento de efluentes mais usado na indústria têxtil no Brasil.

2.2 Específicos:

- Relatar os principais corantes usados na indústria têxtil no Brasil e no mundo.
- Descrever os principais métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil.

3 METODOLOGIA

Para elaboração da presente pesquisa fez-se um apanhado geral sobre o assunto, por meio de consultas bibliográficas, obras e sites, visita à estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil, bem como uma análise da Resolução CONAMA430/2011 (BRASIL, 2011). Trata-se um estudo descritivo. As consultas foram feitas entre Dezembro de 2012 e Julho de 2013.

4 REVISÃO DE LITERATURA

A indústria têxtil é, talvez, a mais tradicional do segmento, sendo de suma importância econômica para países de todo o mundo. A produção industrial têxtil requer um consumo muito grande de água e, por esse motivo presume-se que a produção de rejeitos também é consideravelmente proporcional. São rejeitos líquidos contendo inúmeras substâncias químicas, tóxicas recalcitrantes, que se despejados em corpos de água ou no solo, sem o devido cuidado, podem causar muitos danos ao meio ambiente. Por produzir grande volume de efluente, a indústria têxtil tem contribuído para a contaminação ambiental, uma vez que os rejeitos industriais da atividade são de difícil degradação, incluindo parte de corantes usados no tingimento (SOUZA; ROSADO, 2009).

Desde tempos remotos é utilizada a tintura em tecidos como uma arte e atualmente é uma atividade onde é empregada, em larga escala, enorme variedade de corantes. Industrialmente, há uma grande disponibilidade desses no mercado. Os corantes são misturas de compostos químicos com estruturas moleculares complexas, com características que dão a essa molécula estabilidade e, conseqüentemente, uma difícil degradabilidade. Dentro do complexo industrial têxtil, são utilizadas outras substâncias no processo de colorização do tecido, além dos corantes, como soda cáustica, gomas, detergentes, ante-espumantes, formóis, cloro, emulsões, óleos, resinas, entre outros. São compostos que serão adicionados aos efluentes oriundos da produção (SOUZA; ROSADO, 2009).

Atualmente, diversas tecnologias são usadas no tingimento de tecidos. Os corantes são escolhidos de acordo com a natureza da fibra a ser tingida, a classificação, as características estruturais e a disponibilidade do corante no mercado, considerando inclusive questões econômicas e destino do material a ser tingido (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Contudo é sabido que todo processo de tintura em tecido envolve como operação final lavagem dos tecidos em banhos correntes, a fim de se

retirar o excesso de corantes, o que acarreta um grande volume de efluente, que, se não tratado corretamente, pode trazer grandes problemas ao meio ambiente como um todo.

Leão *et al.* (2002) defendem uma otimização no uso de recursos e materiais durante todo o processo de produção, a busca por insumos menos agressivos ao meio ambiente, a fim de reduzir o volume e a toxicidade do efluente ao final das diversas etapas, às quais o produto é submetido no decorrer das atividades, desde a preparação dos fios para a confecção do tecido até o acabamento final. Propem ainda, o tratamento o mais próximo possível da fonte geradora do efluente.

O efluente têxtil é, por sua natureza, altamente detectável, por apresentar coloração característica, fato que permite aos órgãos que lidam com a legislação ambiental uma maior facilidade em detectar o problema, porém, pode causar uma acentuada mudança na coloração de corpos hídricos, dificultando a penetração de raios solares, impedindo a oxigenação e, com isso, causar mortandade de animais do meio.

Assim, muitos esforços têm sido empregados na busca de novas tecnologias, capazes de minimizar a toxicidade e o volume dos efluentes industriais, de forma a reduzir as substâncias contaminantes e até a sua total mineralização.

Nesse sentido, a indústria têxtil está inserida na problemática ambiental, uma vez que os seus efluentes, além de serem em grandes proporções, apresentam a agravante de ser colorido, podendo ser percebido em um corpo hídrico mesmo em pequenas quantidades como 1 mg L^{-1} . E em se tratando de corantes reativos, esses são detectáveis em quantidades muito menores, cerca de 5 pg L^{-1} (BERTAZZOLLI; PELEGRINI, 2002).

O agravante do uso dos corantes reativos é que, por ser largamente usado pela indústria, pela sua propriedade de ligar-se às fibras por meio de ligações covalentes, são também descartados como efluentes em maiores quantidade, visto que apesar de terem boa aceitação no tingimento têxtil, de 10 a 40% é eliminado por não se aderir às fibras (KAMIDA *et al.*, 2005). Contudo o corante reativo é empregado por aproximadamente 60% das indústria do ramo têxtil no mundo.

A FIG. 1 ilustra estruturas de alguns corantes utilizados na indústria têxtil:

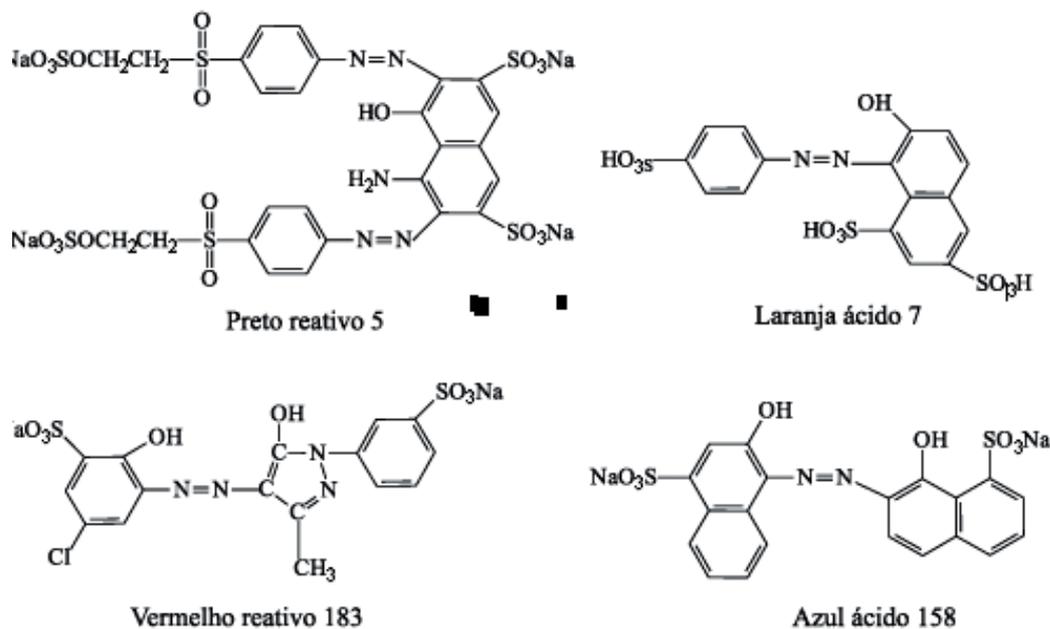


FIGURA 1 - Estruturas típicas de alguns corantes utilizados na Indústria Têxtil
Fonte: ALMEIDA *et al.*, 2004.

4.1 CORANTES TÊXTEIS

A arte da tintura em tecido iniciou-se há milhares de anos e a disponibilidade de corantes para a indústria têxtil é muito grande.

Atualmente, a tecnologia no tingimento de tecido consiste de várias etapas definidas levando-se em conta a natureza da fibra a ser tingida, características estruturais, classificação e disponibilidade, propriedade de fixação, de acordo com o destino do material a ser tingido, bem como considerações econômicas, dentre outros (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Em conformidade com Guarantini e Zanoni (1999), as etapas principais do processo de tingimento de tecido são: a montagem, a fixação e o tratamento final. “O processo de tingimento do tecido é um dos fatores fundamentais no sucesso comercial dos produtos têxteis” (GUARANTINI; ZANONI, 1999, p. 71).

Em decorrência da demanda, milhares de compostos químicos coloridos foram sintetizados nos últimos 100 anos e cerca de 10000 são

produzidos em escala industrial. Só para o setor têxtil, estima-se que 2000 tipos de corantes estão atualmente disponíveis, fato justificado pela necessidade de tingimento das diversas fibras utilizadas e que cada uma requer corantes com características próprias e definidas (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Os corantes podem ser classificados de acordo com a estrutura química, podendo ser: antraquinona, azo, dentre outros, ou de acordo com o método de fixação à fibra têxtil (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Na classificação dos corantes, quanto a sua fixação à fibra a ser tingida, o corante pode ser:

- REATIVOS: são corantes que contêm um grupo eletrofílico, capaz de formar ligações covalentes com grupos hidroxilas das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxilas e tióis das fibras proteicas além de grupos amino das poliamidas. Esse tipo de corante tem como característica alta solubilidade em água e o estabelecimento de ligações covalentes entre o corante e a fibra a ser tingida, garantindo maior estabilidade na cor do tecido tingido.

- CORANTES DIRETOS: são corantes caracterizados como compostos solúveis em água, capazes de tingir fibras de celulose, por meio de interações Van Der Waals.

- CORANTES AZOICOS: são compostos coloridos insolúveis em água. Nesse processo, a fibra é impregnada com composto solúvel em água (agente de acoplamento), que apresenta alta afinidade por celulose. A adição de um sal de diazônio provoca uma reação com o agente de acoplamento já fixado na fibra, produzindo um corante insolúvel em água.

- CORANTES ÁCIDOS: são corantes do grupo dos aniônicos, portadores de um a três grupos sulfônicos. Esses corantes se caracterizam por substâncias com estrutura química com base em compostos azo, antraquinonas, triarilmetano, azina, entre outros.

- CORANTES À CUBA: são corantes que se caracterizam pela insolubilidade em água. Os compostos são aplicados quase insolúveis em água, porém, durante o processo de tintura, são reduzidos com ditonito, em solução alcalina, transformando-se um composto solúvel e, posteriormente, a

subsequente oxidação pelo ar regenera a forma original do corante sobre a fibra.

- CORANTES DE ENXOFRE: classe de corantes, que, após aplicação, se caracteriza por compostos micromoleculares com pontes de polissulfetos, os quais são insolúveis em água.

- Corantes Dispersivos: são corantes insolúveis em água, aplicados em fibras hidrofóbicas, por meio de suspensão. No decorrer do processo de tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma original insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa sobre o acetato de celulose.

- CORANTES PRÉ-METALIZADOS: essa classe de corantes caracteriza-se pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, possibilitando a formação de complexos com íons metálicos.

- CORANTES BRANQUIADORES: são corantes caracterizados pela presença de grupos carboxílicos, azometino ou etilênicos aliados a sistemas benzênicos, naftalônicos, entre outros que proporcionam reflexão por fluorescência na região de 430 a 440nm quando excitados por luz ultravioleta (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Para Kunz *et al.* (2002), os corantes reativos são os mais usados mundialmente, sendo largamente aplicados no tingimento de fibras têxteis, por apresentarem boas características de tingimento, solidez e estabilidade química.

A poluição de corpos hídricos, como rios, córregos, por corantes reativos, provocam, além da poluição visual, alterações nos ciclos biológicos, afetando, principalmente, o processo de fotossíntese. Estudos comprovam que algumas classes de corantes, principalmente Azocorantes, que são corantes caracterizados pela presença de um ou mais grupamentos $-N=N-$, chamado "azo", ligados a sistemas aromáticos, podem ser chamados de corantes monoazo, diazo, triazo, tetrazo e poliazo, e seus subprodutos podem ser carcinogênicos e ou mutagênicos (KUNZ *et al.*, 2002).

Portanto, quando lançados em corpos aquáticos, mesmo em quantidades muito reduzidas, poderão alterar o estado natural, podendo

causar desde a mortandade de animais aquáticos até graves consequências estéticas, visto que o efluente têxtil apresenta variada composição química, reduzida degradabilidade por ação biológica, alta DQO (Demanda Química de Oxigênio), além de substâncias recalcitrantes, que podem estar relacionadas à toxicidade crônica e aguda (ALMEIDA *et al.*, 2004).

Substâncias recalcitrantes são compostos orgânicos de difícil degradação, hidrofóbicos e bioacumulativos. Apresentam alta estabilidade química, fotoquímica e taxa de biodegradação muito lenta. Alguns desses compostos encontram-se no ambiente aquático em concentrações que não são perigosas ou tóxicas. No entanto em consequência do fenômeno da bioacumulação, a sua concentração no tecido dos organismos aquáticos pode ser relativamente alta, caso não possuam mecanismos metabólicos que eliminem os compostos após a sua ingestão.

Para a classificação dos corantes da indústria têxtil, são utilizados parâmetros relacionados à sua estrutura química: antraquinona, azo, entre outros, como descrevem Almeida *et al.* (2004), acrescentando que também podem ser classificados pelo método de fixação do corante à fibra, reativos, diretos, azóicos, ácidos, dispersos, etc.

No entanto pesquisas referentes ao tratamento dos efluentes têxteis dão ênfase aos corantes reativos por apresentarem entre 20 e 30% de todos os corantes utilizados na atividade, porém essas pesquisas constataam que, de todo o corante usado na indústria têxtil, aproximadamente 30% é transformado em resíduo, por apresentarem baixa fixação às fibras celulósicas e a reduzida eficiência na remoção destes corantes dos efluentes pelos tratamentos biológicos convencionais (ALMEIDA *et al.*, 2004).

Estima-se que, para a produção de 1 kg de tecido 100% algodão, gastam-se de 100 a 300 litros de água e a maior porcentagem desse volume hídrico é empregada no processo de preparação dos fios para a tecelagem, a lavagem, o alvejamento e o tingimento, pois para dar ao tecido as propriedades exigidas pelos clientes, várias operações são executadas e durante cada operação são adicionados novos compostos, o que acarreta no final do processo uma diversidade muito grande de diferentes despejos (ROSA *et al.*, 2012).

Essa forma é reforçada a necessidade de se buscar novas tecnologias, capazes de tornar possível o reaproveitamento total ou em parte da água utilizada no processo de produção têxtil, enfatizando a busca por tratamentos alternativos dos efluentes gerados pela indústria têxtil e integrando, assim, a indústria à sustentabilidade como forma de se manter em harmonia com o meio ambiente.

Portanto, é grande a preocupação em remover a cor dos efluentes têxteis e, por essa razão, o tratamento tem recebido atenção especial nos últimos anos.

4.2 A Legislação Ambiental Brasileira

Segundo Giordano (2011), a legislação ambiental brasileira é muito complexa, inclusive a legislação aplicada somente à indústria, onde cada estado possui sua própria legislação, em conformidade com a lei federal. Esse admite que a legislação é a primeira condicionante para a confecção de um projeto de uma estação de tratamento de efluentes industriais, destacando que as diferenças das legislações entre os estados, muitas vezes, chegam a inviabilizar a cópia de uma estação de um estado para outro, pois nem sempre os limites estabelecidos em um estado atende às exigências do outro (GIORDANO, 2011).

Os parâmetros para o controle da carga orgânica são aplicados de forma variada pelos Estados. O Rio de Janeiro utiliza os parâmetros da DQO e DBO. Com relação à DBO, a eficiência é diretamente ligada à carga orgânica em duas faixas: para as empresas produtoras de efluentes de até 100 kgDBO/dia, a remoção deve ser de 70% e acima de 100 kgDBO/dia a remoção deve ser de 90%. Em relação à DQO, o controle é feito por concentração. O estado possui uma tabela, na qual o tipo de indústria é o indicador. Já no Estado do Rio Grande do Sul, as concentrações de DBO e DQO variam inversamente com a carga orgânica: quanto maiores as cargas orgânicas, menores são as concentrações permitidas para o lançamento do efluente. No estado de São Paulo, o controle é feito, utilizando-se somente a DBO como parâmetro, onde é exigida a redução de carga orgânica de 80%

ou que a DBO apresente concentração máxima de 60mg O₂/L. O estado de Minas Gerais utiliza tanto a DBO quanto a DQO, sendo aplicados para qualquer tipo de indústria. Os limites são de 60 mg O₂/L, para DBO e 90mg O₂/L para DQO. No estado de Goiás o controle é realizado por meio do limite da carga orgânica somente com relação à DBO, no entanto estabelece que a concentração máxima seja de 60mg O₂/L ou redução em 80%, (GIORDANO, 2011).

Nos outros Estados o conceito é o mesmo do CONAMA sendo a carga controlada apenas no corpo receptor. Em relação aos sólidos em suspensão, que na maioria dos casos, são de composição orgânica, podem ser relacionados diretamente com a DQO, somente os Estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul estabelecem limites de concentração dos mesmos (GIORDANO, 2011 p.15).

De acordo com a legislação federal vigente, Resolução CONAMA n. 430, de 11 de Maio de 2011, Art. 16 define:

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedecem condições e padrões previstos neste artigo resguardando exigências cabíveis (CONAMA, 2011, art. 3º).

Nesse artigo da Resolução CONAMA 430, estão as condições de lançamento de efluentes.

- O PH do efluente deve estar entre 5 e 9, (**pH 0 a 7** - soluções ácidas, **PH=7** soluções neutras e **pH acima de 7** - soluções básicas ou alcalinas).
- A temperatura inferior a 40°C.
- Os materiais sedimentáveis até 1 ml/litro em teste de uma hora em cone Imhoff. esse método é usado para análise de materiais sedimentáveis e é realizado por sedimentação das partículas em suspensão pela ação da gravidade a partir de 1 litro de amostra em repouso durante 1 hora.
- Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade do agente poluidor.
- Com relação aos óleos e às graxas, os óleos minerais devem estar no máximo 20 ml/litro e os óleos vegetais e gorduras animais até 50 ml/litro.

- Ausência de materiais flutuantes.
- Remoção mínima de 60% de DBO.

Dentro das condições para lançamento de efluentes no corpo receptor, a resolução CONAMA 430 de 13 de Abril de 2011, traz a adição da remoção mínima de DBO, o que na resolução CONAMA 357, de 17 de Março de 2005, não estava em pauta. Determina a redução dos níveis de Cianeto total de 1,0 para 0,2 mg/l, Cromo trivalente de 1,0 para 0,5 mg/l (BRASIL, 2005).

Logo, por meio de análises laboratoriais específicas, espectrométricos, entre outros, é possível definir o grau de poluição que se encontra um determinado efluente, detectando inclusive o conteúdo químico encontrado, como o teor de corante e a sua composição e assim constatar se o efluente está ou não dentro das normas ambientais exigidas pela legislação vigente. No entanto, quando os níveis de diluição dos corantes não são percebidos na escala espectrométrica, o problema se torna muito mais grave, uma vez que envolve acumulação, biodisponibilidade, etc.

Para o tratamento dos efluentes da indústria têxtil, tem aumentado o interesse e busca por tecnologias, capazes de reduzir ou eliminar, descolorir os efluentes. As principais técnicas encontradas na literatura para a descoloração de efluentes industriais envolvem processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, biodegradação, dentre outros.

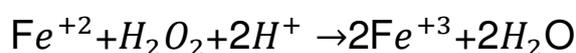
4.3 Métodos de Tratamento

Muitos são os métodos utilizados para o tratamento do efluente oriundo da indústria têxtil no Brasil. As indústrias utilizam aqueles sistemas que garantem o controle exigido pelos órgãos ambientais legais. Abaixo alguns dos métodos de tratamento de efluentes têxteis utilizados pelas indústrias brasileiras.

- PROCESSO FENTON: o tratamento de efluentes têxteis pelo processo Fenton vem sendo aplicado como um processo oxidativo avançado para a destruição de compostos orgânicos. Atualmente, é utilizado para tratar uma grande variedade de compostos orgânicos tóxicos que não são

passíveis de tratamento biológico. É aplicado para tratamento de diversas e variadas águas residuais, lamas e até em remediações de solos contaminados. Sendo resultante da reação do peróxido de hidrogênio com o íon ferroso, o reagente Fenton surge como uma alternativa de tratamento, pois produz radicais que atuam como um forte agente oxidante, capaz de remover grandes concentrações de cor e turbidez. O processo Fenton tem alto potencial de oxidação, sendo inferior apenas ao Flúor (CARDOSO, 2010).

Abaixo equação simplificada do processo Fenton, segundo Cardoso, (2010 p. 29):



- ADSORÇÃO: o processo de adsorção é bastante eficiente para pequenos volumes de efluente, porém é uma técnica lenta e de custos elevados. Consiste na remoção do corante pela passagem do efluente por carvão ativo, sílica gel, bauxita, resinas de troca iônica, derivados de celulose, entre outros (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

- MEMBRANAS: o uso de membranas, nanofiltração, permite o tratamento de grandes volumes de efluentes, mas os custos são elevados e a manutenção é muito problemática devido à dificuldade de limpeza das partes filtrantes. Baseia-se na separação efetiva de moléculas de corante de tamanhos suficientemente grandes para serem separadas do efluente (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

- COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO: a técnica de coagulação/floculação, com o uso de polieletrólitos e ou floculantes inorgânicos, como sais de ferro e alumínio, oferece grau variável de sucesso na remoção da cor do efluente têxtil no tratamento terciário. Apresenta bons resultados quando utilizada na saída, ou seja, antes de serem lançados no reservatório. Esse tipo de tratamento poderá ter resultados diferentes dependendo do tipo de corante a ser removido, composição, concentração e fluxo de produção do rejeito. Por se tratar de uma técnica que usa polieletrólito como amônia, por exemplo, em

excesso para maior eficiência, irá acrescentar um resíduo extra no efluente final, o que é entendido como um ponto negativo na técnica. Na eletrólise direta, o processo ocorre na reação de transferência do elétron do poluente indesejado, acontece na superfície do eletrodo, e a eletrólise indireta se refere ao processo em que o reagente redox existe ou foi gerado a partir do eletrodo (CARDOSO, 2010).

- **ELETRÓLISE:** o uso da técnica de eletrólise é uma alternativa que consiste na degradação da molécula do corante, por meio de potencial ou corrente controlada ou ainda através de reagentes secundários gerados eletroliticamente. Tem tido menos enfoque devido ao alto custo com energia e ao inconveniente da produção de reações paralelas, cloro, hidroxilas, dentre outras, ou seja, é uma técnica pouco viável economicamente e, quimicamente, gera metabólitos com características tóxicas (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

- **DEGRADAÇÃO QUÍMICA:** a técnica da degradação química é baseada na reação oxidativa pelo Cloro ou Ozônio. É mais eficiente e efetiva quando se usa o Ozônio e não o cloro, porque, com esse último, apresenta resultado insatisfatório para alguns tipos de corantes. O tratamento com Ozônio oferece a vantagem adicional de não produzir íons inorgânicos, como no tratamento com Cloro. O tratamento feito com essa técnica consiste na remoção da cor por meio da clivagem das moléculas do corante por processo catalítico (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

- **RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA:** a radiação ultravioleta é um método bastante vantajoso, por apresentar resultados satisfatórios em tratamento de grandes volumes de efluentes com efeitos bastante rápidos, porém é um processo economicamente oneroso (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

- **DEGRADAÇÃO POR REAÇÃO FOTOQUÍMICA:** o método de degradação da cor dos efluentes baseado em reações fotoquímicas apresenta-se como alternativa na etapa primária de tratamento de alguns corantes, porque os corantes sintéticos apresentam de início alta estabilidade quando submetidos à luz visível ou ultravioleta. Nesse método, o uso de radiação eletromagnética para produzir intermediários mais reativos, capazes de promover a degradação mais rápida e eficiente, tem sido empregado a fim

de melhorar a sua aplicação como técnica de tratamento de efluentes têxteis (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

- **BIODEGRADAÇÃO:** a biodegradação tem se tornado muito promissora no tratamento de efluentes têxteis, visto que os corantes sintéticos são em grande parte ou maioria xenobióticos, os microorganismos de sistemas naturais não possuem enzimas específicas para a degradação desse tipo de composto sob condições aeróbicas, e sob condições anaeróbicas, a degradação do corante se processa muito lentamente. Contudo a possibilidade de desenvolvimento de culturas de microorganismos do gênero pseudomonas, após longo período de adaptação, tem mostrado a capacidade de mineralização de alguns tipos de corantes selecionados. Trabalhos têm evidenciado que a técnica da biodegradação, combinada com adsorção, pode aumentar o sucesso do tratamento (GUARANTINI; ZANONI, 1999).

Dentro da biodegradação, há uma infinidade de micro-organismos muito versáteis em degradar substâncias recalcitrantes. Dentre os microorganismos encontrados na literatura e utilizados no tratamento de efluentes têxteis, eficientes na degradação de corantes, a biotecnologia destaca os fungos Basidiomicetos, conhecidos como fungos da podridão branca da madeira. Eles são capazes e eficientes na degradação de grande variedade de compostos e corantes, com enorme potencial de recuperação de ambientes contaminados, (KAMIDA et al, 2005).

O interesse maior dos pesquisadores na biodegradação é pela busca por microorganismos versáteis, capazes de degradar eficientemente um maior número de compostos a um menor custo operacional possível e em períodos cada vez menores a fim de viabilizar o processo, o que não é fácil, dada a diversidade, a composição de espécies químicas e a concentração presente em cada efluente. Um exemplo de fungo capaz de mineralizar, além da lignina, parcialmente e ou completamente uma variedade de poluentes de difícil degradação, é o *Phanerochaete chrisosporium*.

O sistema lignolítico deste fungo é representado principalmente pelas enzimas lignina e manganês peroxidase, as quais são produzidas em meios contendo

fontes reduzidas de carbono e nitrogênio. Estas enzimas têm a capacidade de dispolimerizar a lignina e uma grande variedade de outros compostos (KUNZ *et al.*, 2002, p. 79).

Alternativa para o tratamento de efluentes e compostos de difícil degradação é o uso de agentes quelantes naturais, que são produzidos por fungos e bactérias. Estes quelantes apresentam alta afinidade por metais como o ferro, são os chamados Sideróforos, que têm a função biológica de seqüestrar ferro em ambientes onde há deficiência desse (KUNZ *et al.*, 2002)

A FIG. 2 ilustra as etapas do tratamento de efluente industrial, sabendo-se que o sistema de grades é onde são recolhidos os resíduos maiores incluindo fibrilas no caso da indústria têxtil, conhecido como pré-tratamento (KUNZ *et al.*, 2002).

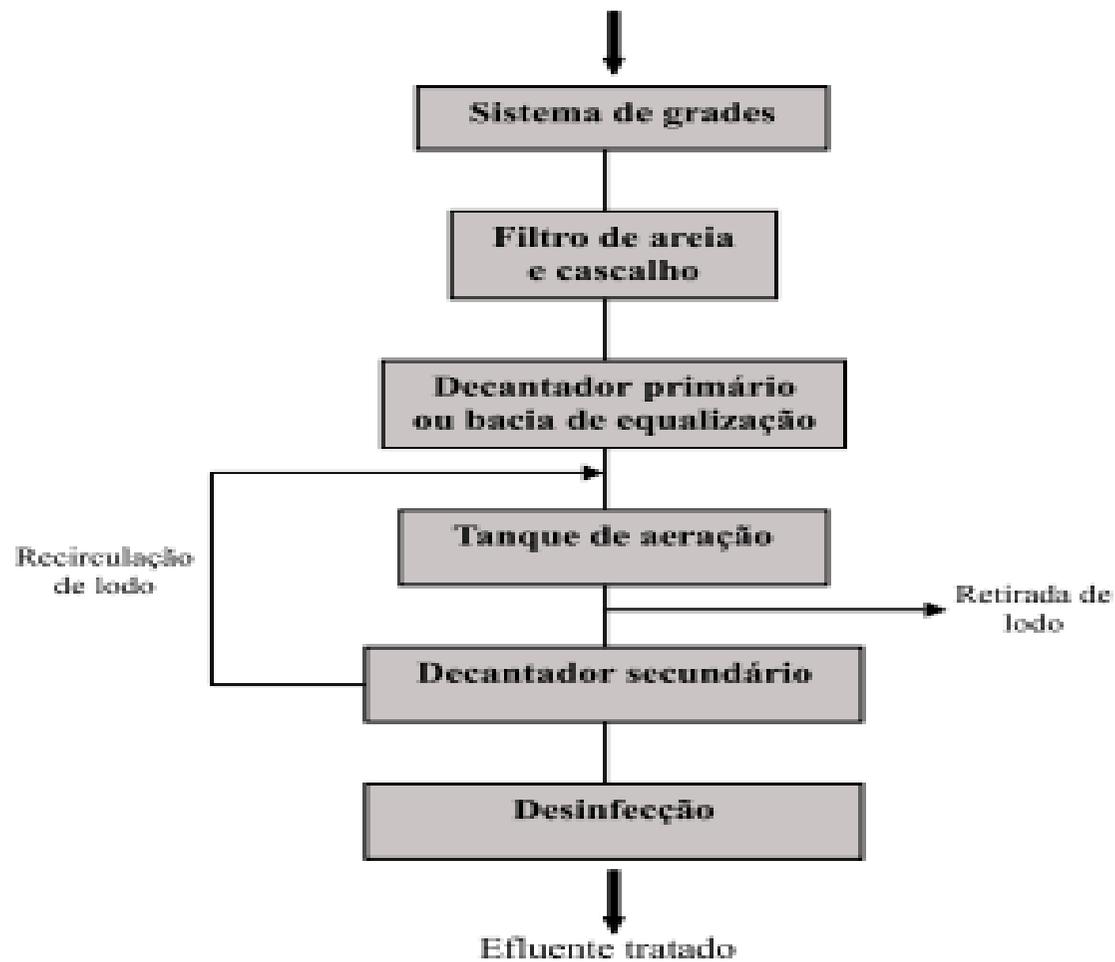


FIGURA 2 - Esquema do sistema de tratamento de efluentes indústria têxtil

Fonte:

(KUNZ

et

al.,

2002,

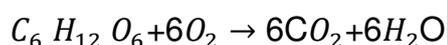
p.

O esquema acima é um modelo usado pela maioria das indústrias para tratamento de seus efluentes, o que difere de indústria para indústria. São as próximas etapas do tratamento porque a diversidade de métodos é bastante grande.

Na indústria têxtil, devido à grande e variada geração de efluentes, torna-se cada vez mais frequente o uso de sistemas de tratamento dos efluentes gerados. São buscadas tecnologias de tratamento que possam tornar possível reciclar o efluente tratado no processo de produção. Mesmo não sendo o melhor tratamento para os efluentes da indústria têxtil, o método biológico por lodos ativados é o mais utilizado pelo setor (CARDOSO, 2010):

Em geral, na indústria têxtil, os processos de tratamento estão fundamentados na utilização de sistemas físicos-químicos como precipitação e coagulação, seguidas de tratamento biológico, utilizando sistemas de lodos ativados. Estes processos são caros e não podem ser utilizados de forma eficaz para tratar a vasta gama de corantes residuais (CARDOSO, 2010, p. 29).

De todos os processos de tratamento de efluentes industriais, o método por processos biológicos é o mais usado. Dentro desse método, o sistema de lodos ativados se destaca como sendo o que melhor atende às exigências legais e ambientais, incluindo as questões de custo econômico. Os sistemas de lodos ativados se dividem em duas categorias, sendo uma o processo aeróbio e o outro, anaeróbio. O método biológico por lodos ativados aeróbio é o mais utilizado e também o mais eficiente, utiliza micro-organismos e oxigênio dissolvido no líquido para converter o material orgânico em energia necessária para garantir a sua existência e sua reprodução e, assim, a continuidade do processo. O sistema compõe-se de agitação dos efluentes na presença de micro-organismos e oxigênio, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular grande parte da matéria orgânica. Abaixo a equação que, segundo Leão *et al.* (2002), há a conversão do material orgânico a CO_2 e H_2O :



Dentre os processos aeróbios, o lodo ativado é um dos mais empregados e também o de maior eficiência. Participam deste processo uma série de microorganismos, tais como as bactéria heterotróficas e quimiotróficas, destacando-se as filamentosas, os protozoários e os micrometazoários. As bactérias degradam a matéria orgânica e constituem base nutricional dos protozoários sendo esses, por sua vez, utilizados como fonte nutricional pelos micrometazoários (LEÃO *et al.*, 2002).

No processo anaeróbio, os organismos presentes no tratamento apresentam um elevado nível de complexidade metabólica. Assim, a eficiência do processo é função das interações positivas entre as inúmeras espécies de organismos atuantes com capacidade diferentes de degradação (LEÃO *et al.*, 2002).

Ainda, segundo Leão *et al.* (2002), o método de tratamento de efluentes industriais têxteis pode apresentar melhores resultados quando associado a outros métodos. Para tanto, estabelecem relação com outros processos, como pode-se observar no QUADRO 1 e assim observar que o sistema de lodos ativados, seguido de carvão ativado em pó, pode ser vantajoso, principalmente com relação aos custos, que são um dos quesitos preponderantes na escolha do tipo de tratamento de efluentes a ser implantado pelas indústrias.

QUADRO 1

Comparações entre alguns métodos de tratamento de efluentes têxteis

PROCESSOS	QUALIDADE DO EFLUENTE TRATADO	CUSTO
Coagulação/floculação+filtro de carvão ativado	Boa	Muito elevado
Coagulação/floculação+filtro+resinas adsorventes	Boa	Muito elevado
Processo biológico+coagulação/floculação+filtração	Boa/muito boa	Elevado
Processo biológico+coagulação/floculação+resinas iônicas líquidas*+filtro	Muito boa	Elevado
Processo biológico+coagulação/floculação+osmose reversa	Muito boa	Muito elevado
Processo biológico+filtro+resinas adsorventes	Muito boa	Elevado
Processo biológico+filtro+carvão ativado granular	Muito boa	Elevado
Processo biológico de lodos ativados+carvão ativado em pó	Muito boa	moderado

Fonte: Adaptação de LEÃO *et al.* (2002).

No quadro acima Leão *et al.* (2002), comparam alguns métodos de tratamento de efluentes têxteis, levando em consideração o tipo de tratamento, a qualidade do efluente tratado e o custo. Pode-se observar que o processo biológico de lodos ativados mais carvão ativado em pó possibilita maior viabilidade do tratamento em relação aos outros métodos, principalmente quando visto o custo.

Kunz *et al.* (2002), admitem que o método de tratamento de efluentes da indústria têxtil mais utilizado é o tratamento biológico por lodos ativados:

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação/coagulação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes. Infelizmente, o problema relacionado com o acúmulo de lodo torna-se crítico, uma vez que o teor de corantes adsorvido é bastante elevado, impedindo qualquer possibilidade de reaproveitamento (KUNZ *et al.*, 2002, p. 79).

O tratamento de efluentes industriais por lodo ativado é dividido em dois: o sistema de lodos ativados convencional, onde a vazão de oxigênio utilizada é elevada e há uma considerável formação de lodo e o sistema de lodos ativados por aeração prolongada, onde é proporcionada uma aeração suficiente para oxidar, substancialmente, todo o lodo sintetizado dos resíduos e resiste melhor às variações de PH, temperatura, DBO e outros fatores de choque, além de um período de retenção do efluente nos reservatórios de 24 a 72 horas, o que torna o método bastante interessante (BELTRAME, 2000).

Em conformidade com Beltrame (2000), no sistema de lodos ativados por aeração prolongada, a remoção de DBO pode chegar a 95%, a remoção de corantes chega a 70% e a produção de lodo a ser descartado é consideravelmente menor que no sistema convencional.

Conchon (1995, citado por BELTRAME, 2000), considera que o tratamento mais indicado para o tratamento de efluente da indústria têxtil é o biológico por lodos ativados, operando na faixa de aeração prolongada, por apresentar eficiência satisfatória, grande estabilidade e baixo custo, segundo ele este sistema é capaz de remover a cor em até 90%.

Contudo as estações que operam com o sistema de lodos ativados convencional podem apresentar melhores resultados na remoção da cor, utilizando cloração/decloração após o tratamento biológico (BELTRAME, 2000).

O maior inconveniente é a produção de grande volume de lodo, o que, de certa forma, é outro problema, já que o mesmo não pode ser usado como adubo, por ser passível de conter substâncias indesejadas.

O processo é fundamentado no fornecimento de oxigênio (ar atmosférico ou oxigênio puro), para que os micro organismos biodegradem a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, transformando-a em gás carbônico, água e flocos biológicos formados por micro organismos característicos do processo.

Esta característica é utilizada para a separação da biomassa (flocos biológicos) dos efluentes tratados (fase líquida). Os flocos biológicos formados apresentam normalmente boa sedimentabilidade” (GIORDANO, 2011 p. 37).

A indústria têxtil utiliza diferentes materiais na produção, desde os fios, tecidos, acabamentos e produtos finais. Para tanto, diversas etapas são seguidas, incluindo tratamentos químicos. Os seus efluentes são ricos em produtos químicos diversos, inclusive os corantes naturais e sintéticos (GIORDANO, 2011).

O sistema de lodo ativado é bastante eficiente, garantindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes.

Na FIG. 3, esquema do tratamento de efluentes da indústria têxtil com uso do s (2011):

LODOS ATIVADOS COM SECAGEM NATURAL DE LODO

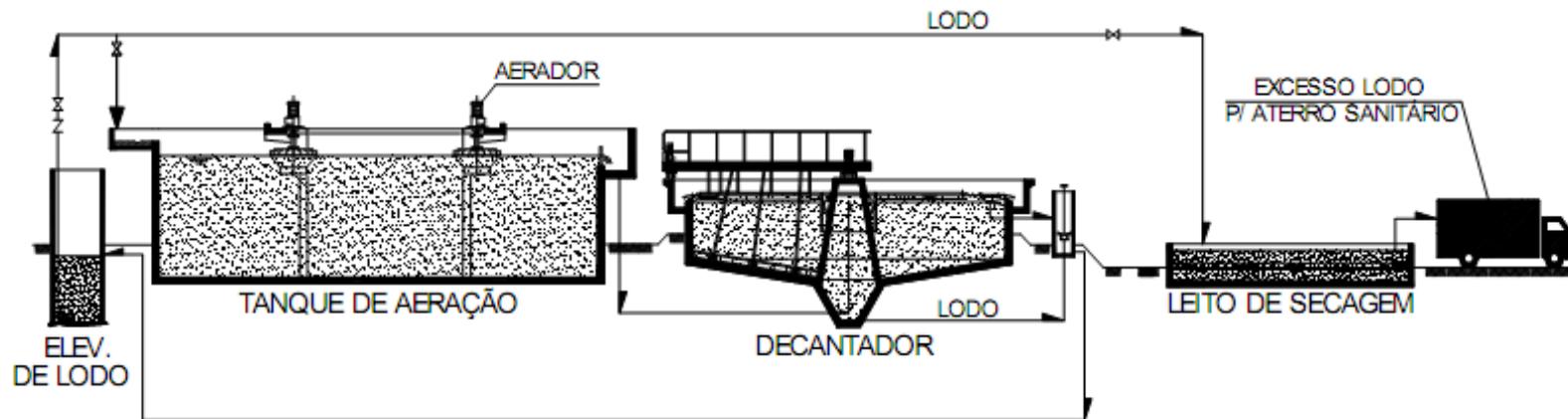


FIGURA 3 - Esquema do tratamento de efluentes por lodos ativados
Fonte: GIORDANO, (2011, p. 39).

Para Kunz *et al.* (2002), o reaproveitamento do lodo oriundo do tratamento dos efluentes têxteis por lodo ativado não é possível, pois o teor de corante adsorvido é muito grande. Sabe-se que a diversidade de compostos constantes nos corantes é também bastante numerosa. Assim, esse resíduo é depositado em aterros sanitários.

O sistema de tratamento de efluentes da indústria têxtil por lodo ativado pode ser aplicado para tratamento de grandes volumes de efluentes, o que deve ser considerado quando da escolha do tipo de tratamento a ser implantado na indústria, esse método pode ser associado a outros sistemas, a fim de melhorar a sua eficiência no tratamento. As principais unidades de pré-tratamento/tratamento primário são os separadores de grade primária, caixa retentora de areia e decantadores primários e separadores de grade secundária.

Em seguida, serão apresentadas definições das fases do esquema de tratamento de efluentes industriais, modelo utilizado pela maioria das empresas, inclusive as têxteis.

- **DECANTADOR PRIMÁRIO OU TANQUE DE EQUALIZAÇÃO:** onde o efluente é forçado a adquirir uma forma homogênea para facilitar a continuidade do tratamento. Possui a função de estabilizar o regime hidráulico, minimizar variações de concentração de carga orgânica de saída para o tanque de aeração, além de evitar picos de toxicidade onde possa afetar o ambiente microbiológico no tanque de aeração. A FIG. 4 mostra um tanque de equalização em operação.



FIGURA 4 - Tanque de equalização
Fonte: BELAFRANCA CURTUME, 2012.

- **TANQUE DE AERAÇÃO**: também conhecido como reator biológico. É o local onde ocorre a otimização da depuração do efluente. Geralmente, possui um volume reduzido e uma grande concentração de micro-organismos, ou seja, o lodo ativado. É no tanque de aeração que por meio do lodo ativado, acontecem os mecanismos de captura do material em suspensão, a absorção física e bio-absorção, por ação de enzimas, a oxidação da matéria orgânica e a síntese de novas células. Ocorre a adição de oxigênio ao efluente, por meio do sistema de aeração difusa, onde difusores submersos são no líquido, o ar é introduzido próximo ao fundo do reator biológico, para evitar a sedimentação do lodo, sendo que o oxigênio é transferido ao meio líquido devido ao empuxo exercido na bolha de ar, fazendo com que a mesma se eleve à superfície. É introduzido o oxigênio necessário à sobrevivência e ao crescimento da microbiota presente no reator. Um tanque de aeração típico pode ser visto na FIG. 5:



FIGURA 5 - Tanque de aeração em funcionamento

Fonte: HIDRA BOMBAS ANFÍBIAS E AERADORES, 2012.

- **DECANTADOR SECUNDÁRIO:** o decantador secundário exerce um papel fundamental no processo de lodos ativados, sendo responsável pelos seguintes fenômenos:

- separação dos sólidos em suspensão presentes no reator, permitindo a saída de um efluente clarificado;

- adensamento dos sólidos em suspensão no fundo do decantador, permitindo o retorno do lodo com concentração mais elevada;

- armazenamento dos sólidos em suspensão no decantador, complementando o armazenamento realizado no reator.

- **TANQUE DE DESINFECÇÃO:** onde a parte líquida do efluente é desinfetada. Só então é lançado no meio ambiente como efluente tratado.

É bom lembrar que os micro-organismos usados no tratamento são de alta capacidade em degradar poluentes. São organismos como os *Phanerochaete chrisosporium*, *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolors*, dentre outros, que vêm sendo estudados para esse fim, devido à alta capacidade de degradação de corantes que esses micro organismos possuem (Kunz *et al.* 2002).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das afirmações consultadas por meio da revisão de literatura, constatou-se que o tratamento de efluente da indústria têxtil mais utilizado é o método biológico por lodos ativados, por apresentar viabilidade econômica e resultados satisfatórios que garantem as exigências legais e ambientais atuais, além de permitir a combinação com outros métodos, a fim de melhorar a eficiência do tratamento e, assim, possibilitar, inclusive, o reúso do recurso água no processo produtivo.

O uso do sistema de lodos ativados é o mais usado não somente pela indústria têxtil, mas por grande parte das empresas do ramo industrial brasileiro, muito embora o lodo retirado do processo e depositado em aterros controlados ou não, ainda seja outro problema sem solução, pelo menos até o momento, visto os altos custos no tratamento deste resíduo.

Pode se afirmar ainda, que apesar das várias e diferentes tecnologias disponíveis, muito ainda precisa ser feito. As pesquisas em busca de melhores resultados e novos métodos precisam continuar, no sentido de garantir ao meio ambiente e a todos os envolvidos nos processos a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 818-824, set./out. 2004.

BELAFRANCA CURTUME. Meio ambiente. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.belafranca.com.br/contato.asp>>. Acesso em: 01 out. 2012.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2000.

BERTAZOLLI, R.; PELEGRINI, R. Descolação e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 477-482, maio, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio, 2011. p. 89.

CARDOSO, G. B. **Avaliação de diferentes tratamentos de efluentes têxteis simulado contendo o azocorante preto de dioresul**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Sergipe, 2010. p. 52-66.

CONCHON, J. A. Indústria têxtil e o meio ambiente. Química têxtil, São Paulo, n. 40, p. 13-16, 1995 *apud* BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2000.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: UERJ, 2011. 50 p. Apostila.

GUARANTINI, C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 71-78, jan./fev. 1999.

HIDRA BOMBAS ANFÍBIAS E AERADORES. Disponível em: www.higra.com.br/pt/a-higra. Acesso em: 20 out. 2012.

KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R.; MONTEIRO, R. T. R.; ARMAS, E. D. Biodegradação de efluente têxtil por pleurotus sajor-caju. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 629-632, jul./ago. 2005.

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

LEÃO, M. M. D.; CARNEIRO, E. V.; SCHWAB, W. K.; RIBEIRO, E. D. L.; SOARES, A. F. S.; NETO, M. L. F.; TORQUETI, Z. S. C. **Controle ambiental na indústria têxtil**: acabamento de malhas. Belo Horizonte: SEGRAC 2002. 356 p. Projeto Minas Ambiente.

SOUZA, A. F.; ROSADO, F. R. Utilização de fungos basidiomicetes em biodegradação de efluentes têxteis. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Paraná, v. 2, n. 1, p. 121-139, 2009.