

A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes.

Érica Janaina Rodrigues de Almeida¹, Guilherme Dilarri¹, Carlos Renato Corso¹.

¹Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida 24 A, nº 1515, 13506-900, Rio Claro - SP.

RESUMO

Os resíduos das atividades industriais causam sérios prejuízos ao meio ambiente, em especial aos corpos hídricos. Dentre esses resíduos podemos citar os efluentes descartados pelas indústrias têxteis, que se caracterizam por apresentar alta carga de compostos químicos orgânicos. Os corantes são os principais resíduos desses efluentes, sendo estes compostos de difícil degradação e altamente tóxicos para o meio ambiente. Existe uma extensa variedade de métodos para tratar esses compostos, e com esse objetivo foi feito neste trabalho uma revisão dos métodos adsorptivos, oxidativos e biodegradação, utilizados no tratamento desses contaminantes. Abordamos as principais vantagens e aplicações de cada um dos métodos, de modo a analisar melhor sua ação no tratamento do efluente têxtil. Discutiui-se também a possível origem dos corantes e todas as suas variações presentes atualmente no mercado têxtil, bem como os atuais métodos utilizados para analisar sua toxicidade, avaliando a importância desses testes antes e após os tratamentos de efluente. Desta maneira este trabalho permitiu avaliar a utilização e os impactos causados por essas substâncias quando descartadas incorretamente no meio ambiente.

Palavras-chave: Adsorção, biodegradação, corantes, oxidação, teste de toxicidade.

1. INDÚSTRIA TÊXTIL E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

A indústria têxtil no Brasil tem grande valor sócio econômico, sendo esse setor o segundo maior empregador da indústria de transformação, com aproximadamente 1,6 milhões de empregados diretos. Além do país ser o 5º maior produtor mundial de têxteis (ABIT, 2016). Mas apesar de todos os benefícios econômicos, esse segmento industrial é um dos maiores consumidores de água, quando se compara os diferentes setores industriais.

O maior consumo ocorre principalmente nas etapas de tinturaria e acabamento, gerando em torno de 50 a 100 L de efluente por quilo de tecido produzido. Do ponto de vista ambiental a etapa de tingimento é a mais preocupante devido à variedade e complexidade dos produtos químicos empregados no processo. Entre todos os compostos químicos utilizados os corantes têm atraído mais atenção, devido ao alto potencial de poluição que eles apresentam (ARSLAN-ALATON et al., 2008).

Os corantes sintéticos se enquadram na categoria de poluentes emergentes, que são definidos como qualquer substância química que não foi incluída em programas de monitoramento, nem em legislação pertinente a qualidade ambiental, mas estão constantemente sendo introduzidas no ambiente devido às atividades antrópicas (HORVAT et al., 2012).

O descarte dos efluentes têxteis sem tratamento nos ambientes aquáticos podem levar rapidamente ao esgotamento do oxigênio dissolvido, tendo como consequência o desequilíbrio desse ecossistema. A presença de corantes nessas águas, impede a penetração da luz solar nas camadas mais profundas, alterando a atividade fotossintética do meio, resultando em deterioração da qualidade dessa água, diminuindo a solubilidade de oxigênio, e resultando em efeitos tóxicos sobre a fauna e flora aquática (LALNUNHLIMI; KRISHNASWAMY, 2016).

Nesse contexto, o Brasil possui um forte setor têxtil, representando uma parte importante da economia do país, porém existe uma ausência da responsabilidade ambiental dos descartes dos efluentes gerados por esse setor. Calcula-se que quase toda a carga orgânica de corantes que entram no meio ambiente é através dos efluentes industriais têxteis (REVANKAR; LELE, 2007). Apesar do alto desenvolvimento desse setor, é muito pouco o investimento feito para tratar os resíduos gerados pela indústria têxtil. De acordo com Abreu et al. (2008) as empresas investem apenas o

básico no tratamento de seus resíduos, pois seu único objetivo é evitar multas, sem pensar na preocupação social e ambiental. Outra problemática é a falta de fiscalização e monitoramento dos resíduos descartados por essas indústrias, podendo ocorrer farsas ou alterações nos supostos tratamentos dos efluentes.

2. CORANTES SINTÉTICOS

O uso de corantes pelo homem é uma atividade bem antiga, podendo encontrar registros de sua utilização em tecidos e hieróglifos egípcios datados de 2.500 anos a.C. Pode se encontrar também registros de sua utilização em outras civilizações antigas como na Babilônia, Grécia, Roma, entre outras. Os antigos nativos do continente americano, também já usavam corantes para pintar seus corpos ou objetos. Desta forma é possível afirmar que o uso de corantes pelo homem está em sua cultura desde os primórdios da civilização. Porém até hoje a origem do uso dos corantes é incerta (ZOLLINGER, 1987).

Os corantes utilizados até o século XIX eram todos de origem natural, derivados de moluscos, insetos, vegetais e outros tipos de matéria orgânica. Porém em 1856 o primeiro corante sintético (malveína) foi descoberto pelo químico inglês William H. Perkin, revolucionando a formulação e fabricação de corantes, permitindo sintetizar uma grande quantidade de corantes, com diferentes tonalidades e fórmulas em escala industrial (ZOLLINGER, 1987).

Têxtil, couro, cosméticos, papel, impressão, entre outras atividades industriais utilizam corantes sintéticos para colorir seus produtos (SHARMA et al., 2011). Mais de 10 mil corantes sintéticos são produzidos em escala industrial, sendo que aproximadamente 2 mil encontram-se disponíveis para o segmento têxtil, onde sua utilização é extensivamente grande (DALLAGO et al., 2005; RODRIGUES, 2003).

Mais de 700.000 toneladas de corantes são produzidos anualmente para uso nas indústrias têxteis (BURKINSHAW; SALIHU, 2013), ou seja, o setor têxtil tem uma quota de dois terços do mercado total de corante (SAFARIKOVÁ et al., 2005) e é responsável pela maior parte da produção, uso e descarte de efluentes contendo essas substâncias (DILARRI et al., 2016). Durante a produção e consumo, cerca de 10% destes corantes são descartados em efluentes, causando diversos problemas ambientais (GHAZI MOKRI et al., 2015).

Existem vários tipos de corantes têxteis diferentes, que podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou pelo método de fixação nas fibras dos tecidos. Desta forma de acordo com Guaratini e Zanoni (2000) temos a seguinte classificação:

- **Corantes Ácidos:** São corantes solúveis, possuem pelo menos um grupo sulfônico ($-\text{SO}_3^-$) em sua estrutura química, e apresentam uma forte afinidade com a fibra celulósica do tecido.
- **Corantes Azoicos:** São corantes insolúveis em água, neste caso a fibra tem que ser impregnada com um agente de acoplagem para que o corante se fixe nela. Eles possuem no mínimo um grupo azo em sua constituição ($-\text{N}=\text{N}-$).
- **Corantes Branqueadores:** Apresentam grupos carboxílicos azometino ($-\text{N}=\text{CH}-$) ou etilênicos ($-\text{CH}=\text{CH}-$) ligados à anéis aromáticos em suas estruturas químicas.
- **Corantes a Cuba:** São insolúveis em água, são aplicados com ditonito em solução alcalina para se fixar à fibra de tecido. Apresentam mais de um anel aromático em sua estrutura química.
- **Corantes Diretos:** São corantes solúveis em água que possuem mais de uma cadeia química azo, interagindo com a fibra de tecido por forças de van der Waals.
- **Corantes Dispersivos:** São insolúveis em água, e aplicados através de suspensão. Não apresentam grupos azos em suas cadeias químicas.
- **Corantes de Enxofre:** São insolúveis em água e apresentam em sua estrutura química polissulfetos ($-\text{S}_n^-$).
- **Corantes Pré-Metalizados:** Apresentam íons metálicos ligados em suas estruturas químicas.
- **Corantes Reativos:** Possuem grupos químicos eletrofílicos reativos, que formam ligações covalentes com os principais sítios de ligação da fibra do tecido. Contêm a função antraquinona e azo como grupos cromóforos.

Devido a sua estrutura química conter anéis aromáticos, grupos aminas e azos, grupos sulfônicos, e íons metálicos em sua constituição, os corantes acabam sendo moléculas de difícil degradação, permanecendo no ambiente por um longo período de tempo. Outra problemática dos corantes é que devido a sua estrutura química eles muitas vezes são compostos inibidores de micro-organismo, diminuindo ainda mais as chances de serem degradados naturalmente no ambiente.

Os corantes azoicos correspondem ao maior e mais diversificado grupo de corantes sintéticos utilizados na indústria, pois são facilmente sintetizados e têm amplo espectro de cores. Em geral eles podem ser classificados como monoazo, diazo, triazo e poliazo, sendo que os monoazo representam a grande maioria (GENG et al., 2015). O grande problema desses corantes, é que a sua degradação quando realizada de maneira incompleta pode gerar subprodutos altamente tóxicos ao homem e aos organismos aquáticos. Portanto, devido a sua toxicidade e persistência no meio ambiente, a remoção desses corantes das águas residuárias tornou-se questão de grande interesse da comunidade científica e de dos órgãos ambientais que regem as leis de descarte de substâncias com alto poder de poluição nos ambientes aquáticos (ALMEIDA; CORSO, 2014).

3. TRATAMENTOS DE EFLUENTES TÊXTEIS

A preservação do meio ambiente é uma questão de grande preocupação social e uma legislação mais rigorosa está sendo imposta para o descarte de efluentes, promovendo-se a busca por novas abordagens, ideias ou projetos que visam desenvolver novas técnicas de tratamento, ou melhorar os métodos já existentes, para lidar com os poluentes não biodegradáveis e tóxicos.

Não há um sistema geral de tratamento para efluentes com alta coloração. Existem muitas formas de tratamento, mas nenhuma é totalmente eficaz e algumas necessitam de associações de técnicas para ser eficiente, tornando-se muitas vezes inviável por gerar alto custo.

Desta forma muitos estudos têm-se concentrado em aumentar a eficiência das tecnologias já amplamente conhecidas, tornando os métodos mais sustentáveis. Os corantes sintéticos presentes nos efluentes têxteis não podem ser destruídos nos tratamentos de águas residuárias convencionais e, conseqüentemente, surge urgentemente um desafio, que é o desenvolvimento de novas tecnologias ecologicamente corretas, capaz de mineralizar completamente esses compostos (BRILLAS; MARTÍNEZ-HUITTLE, 2015; MEHRJOUEI et al., 2015).

Entre os diferentes tipos de tratamentos utilizados, os biológicos quando comparado aos tratamentos físicos e químicos geralmente são considerados alternativas melhores para a remoção de corantes sintéticos das águas residuárias, por possuírem

menor custo de tratamento, alta eficiência e gerar menos poluição secundária (TAN et al., 2016). Os tratamentos biológicos baseiam-se na biorremediação, ou seja, um determinado micro-organismo pode transformar diferentes substâncias químicas tóxicas em formas menos nocivas. Esse sistema baseia-se principalmente, na biotransformação promovida por diferentes tipos de enzimas, produzidas pelos mais diversificados tipos de micro-organismos que podem ser utilizados nesses processos de degradação (SARATALE et al., 2011).

Apesar dessa falta de investimento do setor têxtil brasileiro, muitas pesquisas já comprovaram várias técnicas que possuem uma alta eficiência na remoção do corante do meio aquoso. Podemos citar como exemplo os métodos químicos de tratamento como a ozonização, fotodegradação (FARAH et al., 2007), métodos físicos por fluxo subcrítico (HOSSEINI et al., 2010) e métodos biológicos de adsorção (MENDES et al., 2015), e biodegradação (PRIYA et al., 2015).

3.1. Tratamentos Adsorativos

Um método que tem sido muito estudado para tratar efluentes com estes tipos de contaminante é a adsorção, que se caracteriza principalmente por ter uma alta eficiência na remoção do corante têxtil, removendo toda a molécula do contaminante. Esta técnica não apresenta a necessidade de uma grande área física para sua aplicação, tem um baixo custo de aplicação, e curto período de tratamento do efluente, caracterizando-a por ser uma técnica relativamente rápida. Outra vantagem da adsorção é a possibilidade de utilizar um resíduo já existente como material adsorvente.

Vários resíduos já foram testados como possíveis adsorventes, como por exemplo, cascas de alimentos, resíduos agrícolas e industriais como serragem, cinzas, entre outros (SHARMA et al., 2011). Isso agrega uma vantagem a mais na técnica, já que é possível tratar um efluente contaminado e ainda dar um destino mais apropriado a outro resíduo já existente (DALLAGO et al., 2005). Porém o material mais utilizado nos processos de adsorção é o carvão ativado (SHARMA et al., 2011).

Em geral a adsorção é considerada uma técnica superior, em comparação com outros métodos de tratamento de resíduos, em termos de custo, simplicidade de concepção e funcionamento, disponibilidade, eficácia, e a sua não geração de substâncias tóxicas após o tratamento (CHOY et al., 2000). Uma das principais

vantagens da adsorção é a total remoção da molécula do contaminante, não deixando nenhum subproduto tóxico no efluente (DILARRI et al., 2016).

A adsorção é um método de tratamento físico-químico, na qual um material adsorvente irá retirar moléculas específicas (adsorbato) de um meio líquido. Essa remoção de moléculas específicas é por interações variadas, podendo ser interações físicas ou químicas específicas. Dependendo da interação entre o adsorbato/adsorvente, podem-se formar ligações iônicas ou covalentes, caracterizando a adsorção como quimiossorção. Existem também interações físicas, como as forças de van der Waals, ligações por pontes de hidrogênio e ponte dissulfeto, sendo denominado de fisissorção.

As interações químicas são mais fortes que as físicas, apresentando uma maior taxa de remoção, menor tempo de contato necessário para alcançar o equilíbrio da solução, e poucas taxas de dessorção do meio líquido. Porém cada adsorvente interage de modo diferente com o adsorbato. Desta maneira a escolha do adsorvente é fundamental para a eficiência do processo adsorptivo (SARMA et al., 2008).

Como a adsorção envolve o estudo da remoção de moléculas específicas de acordo com o tempo de contato e possíveis interações, existem diversos modelos matemáticos que fazem os ajustes do processo de sorção, indicando quais os tipos de interações podem estar ocorrendo. Os principais modelos utilizados são as isotermas de Langmuir (1918) e Freundlich (1906).

O modelo de Langmuir, Figura 1, baseia-se no princípio de que a adsorção ocorre na superfície do adsorvente, onde apenas sítios específicos irão interagir com o adsorbato, ocupando assim um número finito de sítios, ocorrendo à formação de monocamadas (PODKOSCIELNY; NIESZPOREK, 2011).

O modelo de Freundlich, Figura 1, propõe que os sítios de ligação do adsorvente são ocupados exponencialmente, formando múltiplas camadas (SABER-SAMANDARI; HEYDARIPOUR, 2015). Isso indica também a heterogenicidade da superfície do material adsorvente, onde mais de um sítio de ligação irá interagir com o adsorbato, ocupando esses sítios de ligação de forma decrescente.

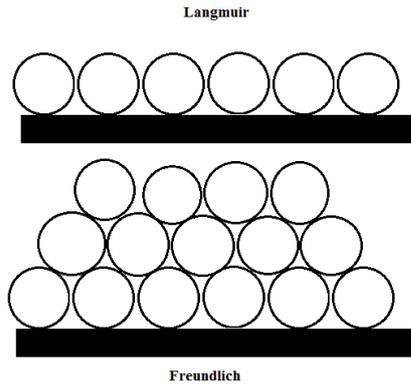


Figura 1 - Modelo esquemático da interação entre o adsorbato e adsorvente de acordo com os modelos de Langmuir e Freundlich.

Porém outros tipos de interação podem ocorrer como a difusão intrapartícula, onde o adsorbato não ficará retido apenas na camada inferior do adsorvente, mas poderá penetrar nesse material ocorrendo uma difusão, como mostrado na Figura 2.

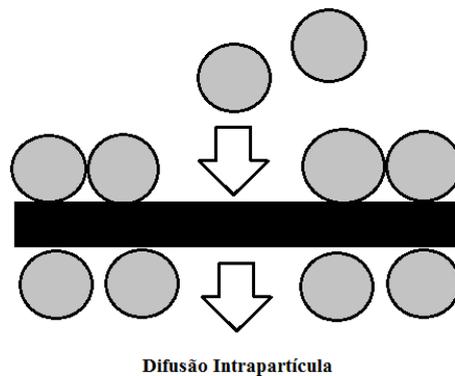


Figura 2 - Modelo esquemático da difusão intrapartícula.

Esse fenômeno é explicado pelo modelo proposto por Weber e Morris (1963). Vários modelos diferentes podem ser utilizados para interpretar o tipo de adsorção que pode estar ocorrendo em um material, podendo interpretar melhor os resultados e até aumentar a eficiência da adsorção acelerando o processo, como é relatado por Adane et al. (2015).

Desta forma a adsorção é uma técnica viável para se tratar efluentes contaminados com corantes, porém é necessário estudar o composto contaminante

presente no efluente, bem como o material adsorvente utilizado, para conseguir obter máxima eficiência da técnica. Quando feita corretamente, a adsorção se torna uma das melhores opções para se tratar efluentes têxteis a nível industrial (CHIOU et al., 2007).

3.2. Tratamento de Biodegradação

A biodegradação faz referência ao processo onde determinado micro-organismo presente no ambiente, é capaz de converter uma molécula química complexa em uma molécula mais simples. Essas moléculas são utilizadas por esses micro-organismos como fonte de carbono, a fim de se obter energia necessária ao seu crescimento e manutenção do metabolismo (BURATINI, 2008).

As pesquisas científicas buscam encontrar micro-organismos altamente eficientes para degradar as moléculas dos corantes sintéticos, que são recalcitrantes e assim garantir a eficácia dos tratamentos biológicos. Sendo que, os estudos concentram-se principalmente na utilização de fungos e bactérias.

A degradação bacteriana envolve uma etapa enzimática onde ocorre a clivagem das ligações azo a partir de uma enzima azoredutase e um doador de elétron. Os produtos resultantes, como por exemplo, algumas aminas aromáticas podem ser degradadas pelas enzimas hidroxilase e oxigenase, produzidas por essas bactérias. Contudo, muitos outros subprodutos da descoloração das soluções, tais como amino benzeno sulfônicos ou ácidos naftilaminos sulfônicos são recalcitrantes ao ataque bacteriano, uma vez que os grupos sulfonilos correspondem a um elemento estrutural xenobiótico, onde sua porção aniônica fortemente carregada impede a penetração do composto através da membrana das bactérias. Assim a aplicação de bactérias no tratamento de azo corantes torna-se um pouco restrita (TAN et al., 2016).

Por outro lado, os fungos podem degradar, ou mesmo mineralizar várias substâncias orgânicas recalcitrantes, devido ao seu sistema lignolítico extracelular com baixa especificidade ao substrato. Os fungos mais utilizados nos tratamentos biológicos são os filamentosos que estão presentes de forma abundante no meio ambiente, são capazes de adaptar rapidamente seu metabolismo a diferentes fontes de carbono e nitrogênio na busca pela sua sobrevivência (SOLÍS et al., 2012).

Esta atividade metabólica dos fungos é obtida através da produção de um grande conjunto de enzimas intra e extracelulares, capazes de degradar poluentes orgânicos

complexos tais como hidrocarbonetos poliaromáticos, resíduos orgânicos, efluentes contendo corantes, dentre outros. Essas enzimas são lignolíticas, como por exemplo a lignina peroxidase, manganês peroxidase e lacase (SARATALE et al., 2011). Os fungos mais utilizados são *Phanerochaete chrysosporium*, *Aspergillus oryzae* (SANTOS; CORSO, 2014), *Aspergillus terreus*, *Aspergillus niger* (ALMEIDA; CORSO, 2014); *Trametes* sp (ZHANG et al., 2016 a) dentre outros.

3.3. Tratamentos Oxidativos Avançados

O crescente volume de águas residuais contendo poluentes não biodegradáveis descartados no ambiente aquático diariamente exige a busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias de descontaminação, que sejam limpas e seguras. Nesse contexto os processos oxidativos avançados podem ser utilizados no tratamento da água contendo corantes, pois possuem elevado potencial para degradar, seja parcialmente ou totalmente, essas moléculas que não são completamente degradadas em sistemas biológicos de tratamento (MALDONADO et al., 2007).

Embora existam diferentes sistemas de reação para os processos oxidativos avançados, todos eles são caracterizados pela produção de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), o qual é capaz de mineralizar praticamente qualquer molécula orgânica, produzindo CO_2 , H_2O e íons inorgânicos não tóxicos ou com baixa potencialidade toxicológica (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; MALDONADO et al., 2007).

A oxidação eletroquímica vem sendo amplamente utilizada como técnica alternativa para o tratamento de efluentes orgânicos e inorgânicos. A utilização de processos eletroquímicos para a degradação de poluentes orgânicos apresenta várias vantagens frente aos métodos convencionais, com destaque para:

- Uso de um reagente simples e não poluente que é o elétron;
- Uso de catalisadores com revestimento dos eletrodos de óxidos, o que evita problemas de separação dos catalisadores do meio reacional;
- Formação de várias espécies reativas na superfície do eletrodo (O_3 , $\bullet\text{OH}$, H_2O_2 , O_2 , etc).

O tratamento via oxidação eletroquímica é muito eficaz na degradação dos corantes, gerando subprodutos inofensivos e ambientalmente seguros. Mas o alto custo

energético desses tratamentos, dificulta a implementação desse tipo de processo em escala industrial (SARATALE et al., 2011).

Outro método oxidativo é o tratamento por ozonização que tem como alvo a oxidação de uma variedade de compostos orgânicos e a eliminação de micro-organismos presentes em águas residuárias ou água potável. O gás ozônio é a forma triatômica do oxigênio e, em fase aquosa, ele se decompõe rapidamente em oxigênio e espécies radicalares. Metais de transição podem ser utilizados para catalisar o processo de ozonização e melhorar o poder oxidante do ozônio, conduzindo a uma remoção mais rápida dos poluentes orgânicos, reduzindo significativamente a quantidade de ozônio utilizada no processo, e conseqüentemente reduzir o custo econômico do tratamento. O ozônio pode reagir diretamente com as moléculas dos poluentes orgânicos, via adição eletrofílica ou de forma indireta de reações radicalares (principalmente $\text{OH}\cdot$) (ZHANG et al., 2016 b).

Os métodos de oxidação foto-assistidos, como a fotocatalise consistem na degradação de poluentes orgânicos em meio aquoso por radicais $\cdot\text{OH}$ gerados pela incidência de luz UV no sistema eletroquímico e/ou uma fotólise intermediária rápida na solução tratada (BRILLAS; MARTÍNEZ-HUITLE, 2015).

Enquanto a ozonização fotocatalítica consiste na combinação das técnicas de fotocatalise e ozonização. A alta eficiência dessa técnica é explicada pelo efeito sinérgico que ocorre entre os dois métodos, onde os elétrons fotogerados podem reagir com as moléculas de ozônio gerando radicais altamente oxidantes, responsáveis pela degradação das moléculas orgânicas (MOREIRA et al., 2016).

3.4. Tratamentos consorciados

Os tratamentos baseados nos radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) é uma tecnologia poderosa, para tratar águas residuais contendo compostos orgânicos recalcitrantes. Uma vez que esse radical reage de forma não seletiva com o poluente, que é oxidado, gerando CO_2 e íons orgânicos. Mas apesar do alto desempenho desses tratamentos, sua eficiência é baixa quando há no meio altas concentrações de matéria orgânica. Outro fator é o custo energético do tratamento, em comparação com os tratamentos biológicos. Para superar esses problemas uma alternativa bastante estudada é a utilização dos tratamentos oxidativos avançados como um pré ou pós tratamento. Como pré-tratamento ele seria útil

para aumentar a biodegradabilidade dos poluentes. E como pós-tratamento, eles poderiam oxidar completamente a matéria orgânica residual oriunda do final do tratamento biológico (ESTRADA et al., 2012).

4. TOXICIDADE DE CORANTES SINTÉTICOS

A preocupação com o descarte incorreto dos corantes sintéticos nos ambientes aquáticos vai além da poluição visual causada por essas substâncias. Esses compostos apresentam efeitos nocivos aos organismos a eles expostos, principalmente devido a presença de uma grande quantidade de anéis aromáticos, ligações azoicas e grupos sulfonados presentes em sua estrutura molecular.

Os corantes e seus intermediários são suscetíveis a acumulação em plantas e outros organismos aquáticos (ARAVIND et al., 2016), além do fato de que em comparação as moléculas dos corantes, alguns intermediários produzidos durante as etapas de descoloração, tais como aminas aromáticas e compostos fenólicos, podem ser altamente tóxicos e possuir menor biodegradabilidade, dificultando assim a completa eficiência dos tratamentos biológicos (SEN et al., 2016).

Até recentemente no Brasil, assim como na maioria dos países da América Latina, a avaliação da qualidade de um efluente baseava-se apenas em suas características físico-químicas. Entretanto, em 2005 foi publicada a Resolução CONAMA nº 357, que estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes industriais, inclusive quanto ao potencial para provocar efeitos tóxicos no corpo receptor. Ainda, a Resolução nº 430 do CONAMA, publicada em maio de 2011, altera e complementa a Resolução nº 357, estabelecendo critérios para a cobrança do atendimento aos parâmetros de toxicidade pelos órgãos ambientais estaduais. Com isto, estes órgãos já estão exigindo, por meio de Portarias e Resoluções, que as empresas atendam aos limites de toxicidade estabelecidos para efluentes (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

A aplicação dos testes de toxicidade fornece informações sobre a potencialidade de uma substância química apresentar ou não efeitos tóxicos, a natureza desses efeitos e o seu grau de toxicidade. Os testes toxicológicos devem ser rápidos, de baixo custo e de fácil execução. O procedimento para a realização desses testes geralmente é muito simples, onde o efluente é diluído sucessivamente, para uma simulação da sua diluição

no corpo receptor, uma vez que ele passará pelo processo de diluição após o descarte. Os organismos-teste são expostos a essas várias diluições por períodos de tempo específicos. Os efeitos analisados após o período de exposição podem ser mortalidade, menor fecundidade, imobilidade, inibição do crescimento, dentre outros.

Portanto, é de extrema importância que para qualquer tecnologia de tratamento desses poluentes, seja realizado a avaliação da toxicidade dos poluentes e dos metabólitos formados após a descoloração, a fim de se determinar a viabilidade do método.

5. CONCLUSÕES

A busca por novas tecnologias de tratamento para poluentes emergentes, como é o caso dos corantes sintéticos, é de extrema importância na sociedade moderna. A nível industrial não há como substituir esses compostos, já que eles são matéria prima essencial em muitos segmentos, principalmente na indústria têxtil que têm representativo valor econômico no cenário brasileiro e mundial. O que nos resta é encontrar tratamentos eficientes que sejam capazes de transformar essas moléculas altamente recalcitrantes e tóxicas, em moléculas biodegradáveis e sem risco toxicológico para os organismos a elas expostos. Essa é uma tarefa árdua, mas com investimentos, conscientização ambiental, e senso de preservação dos ambientes aquáticos há como utilizar essas substâncias de maneira que elas não causem prejuízos a esses ecossistemas.

Agradecimentos: FAPESP, CAPES, CNPq, UNESP Campus de Rio Claro, Laboratório Multidisciplinar de Pesquisas do Meio Ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em 08 nov. 2016.

ABREU, C. S. A.; SILVA, J. C. L.; OLIVEIRA B. C.; HOLANDA, F. L. Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina. **Gestão de Produção**, v. 15, n. 1, p. 159-172, 2008.

ADANE, B.; SIRAJ, K.; MEKA, N. Kinetic, equilibrium and thermodynamic study of 2-chlorophenol adsorption onto *Ricinus communis* pericarp activated carbon from aqueous solution. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 8, p. 1-12, 2015.

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*. **Chemosphere**, v. 112, p. 317–322, 2014.

ARAVIND, P.; SELVARAJ, H.; FERRO, S.; SUNDARAM, M. Na integrated (electro- and bio-oxidation) approach for remediation of industrial wastewater containing azo-dyes: Understanding the degradation mechanism and toxicity assessment. **Journal of Hazardous Material**, v. 318, p. 203-215, 2016.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v. 78, p. 117-130, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente** - CONAMA. Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente** - CONAMA. Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

BRILLAS, E.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods. An update review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 166-167, p. 203-643, 2015.

BURATINI, S. V. Biodegradação. In. ZAGATTO, P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática, Princípios e Aplicações**. 2 ed, São Carlos: RiMa, 2008. 472 p.

BURKINSHAW, S.; SALIHU, G. The wash-off of dyeing using interstitial water Part 4: disperse and reactive dye on polyester/cotton fabric. **Dyes and Pigments**, v. 99, p. 548-560, 2013.

CHIOU, M.; KUO, W.; LI, H. Removal of Reactive Dye from Wastewater by Adsorption Using ECH Cross-Linked Chitosan Beads as Medium. **Journal of Environmental Science and Health Part A**, v. 38, p. 2621-2631, 2007.

CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. Langmuir, isotherms models applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 45, p. 575-584, 2000.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A. Resíduos sólidos de curtumes como absorventes para remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 433-437, 2005.

DILARRI, G.; DE ALMEIDA, É. J. R.; PECORA, H. B.; CORSO, C. R. Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of *Saccharomyces Cerevisiae* (Meyen). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 269, 2016.

ESTRADA, A. L.; LI, Y. Y.; WANG, A. Biodegradability enhancement of wastewater containing cefalexin by means of the electro-Fenton oxidation process. **Journal Hazardous Material**, v. 227-228, p. 41-48, 2012.

FARAH, J. Y.; EL-GENDY, N. S.; FARAHAT, L. A. Biosorption of astrazone blue basic dye from an aqueous solution using dried biomass of Baker's yeast. **Journal of Hazardous Materials**, v. 148, p. 402-408, 2007.

FREUNDLICH, H. Adsorption in solution. **Zeitschrift für Physikalische Chemie**, v. 40, p. 1361-1368, 1906.

GENG, J.; DAI, Y.; QIAN H. F.; WANG, N.; HUANG, W. 2-Amino-4-chloro-5-formylthiophene-3-carbonitrile derived azo dyes. **Dyes and Pigments**, v. 117, p. 133-140, 2015.

GHAZI MOKRI, H. S.; MODIRSHAHLA, N.; BEHNAJADY, M. A.; VAHID, B. Adsorption of C.I. Acid Red 97 dye from aqueous solution onto walnut shell: kinetics, thermodynamics parameters, isotherms. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, p. 1401-1408, 2015.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 01, p. 71-78, 2000.

HORVAT, A. J. M.; PETROVIC, M.; BABIC, S.; PAVLOVIC, D. M.; ASPERGER, D.; PELKO, S.; MANCE, A. D.; KASTELAN-MACAN, M. Analysis, occurrence and fate anthelmintics and their transformation products in the environment. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 31, p. 61-24, 2012.

HOSSEINI, S. D.; ASGHARI, F. S.; YOSHIDA, H. Decomposition and discoloration of synthetic dyes using hot/liquid (subcritical) water. **Water Research**, v.44, p.1900-1908, 2010.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, p. 39-46, 2016.

LANGMUIR, I. (1918). The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**, v. 40, p. 1361–1368, 1918.

MALDONADO, M. I.; PASSARINHO, P. C.; OLLER, I.; GERNJAK, W.; FERNÁNDEZ, P.; BLANCO, J.; MALATO, S. Photocatalytic degradation of EU priority substances: A comparison between TiO₂ and Fenton plus photo-Fenton in a solar pilot plant. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 185, p. 354-363, 2007.

MENDES, C. R.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 20, n. 4, p. 898-908, 2015.

MEHRJOUEI, M., MÜLLER, S., MÖLLER, D. A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 263, p. 209-219, 2015.

MOREIRA, N. F. F.; SOUSA, J. M.; MACEDO, G.; RIBEIRO, A. R.; BARREIOS, L.; PEDROSA, M.; FARIA, J. L.; PEREIRA, M. F. R.; CASTRO-SILVA, S.; SEGUNDO, M. A.; MANAIA, C. M.; NUNES, O. C.; SILVA, A. M. T. Photocatalytic ozonation of urban wastewater and surface water using immobilized TiO₂ with LEDs: Micropollutants, antibiotic resistance genes and estrogenic activity. **Water Research**, v. 94, p. 10-22, 2016.

PODKOSCIELNY, P.; NIESZPOREK, K. Adsorption of phenols from aqueous solutions: Equilibria, calorimetry and kinetics of adsorption. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 354, p. 282-291, 2011.

PRIYA, E. S.; SELVAN, P. S.; UMayAL, A. N. Biodegradation studies on dye effluents and selective remazol dyes by indigenous bacterial species through spectral characterization. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, p. 241–251, 2015.

REVANKAR, M. S.; LELE, S. S. Synthetic dye decolorization by *Ganoderma* sp. WR-1. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 775-780, 2007.

RODRIGUES, T. A. **Estudo da interação biosortiva entre o corante reativo procion blue mxg e as linhagens CCB 004, CCB 010 e CCB 650 de *Pleurotus ostreatus* paramorfogênico.** 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SABER-SAMANDARI, S.; HEYDARIPOUR, J. Onion membrane: An efficient adsorbent for decoloring of wastewater. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**, v. 13, p. 16, 2015.

SAFARIKOVÁ, M.; PTCÁKOVÁ, L.; KIBRIKOVÁ, I.; SAFARIKI, I. Biosorption of water-soluble dyes on magnetically modified *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *Uvarum* cells. **Chemosphere**, v. 59, p. 831–835, 2005.

SANTOS, G. C.; CORSO, C. R. Comparative analysis of azo dye biodegradation by *Aspergillus oryzae* and *Phanerochaete chrysosporium*. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 225, p. 1-11, 2014.

SARATALE, R. G.; SARATALE, G. D.; CHANG, J. S.; GOVINDWAR, S. P. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review. **Journal of the Taiwan institute of Chemical Engineers**, v. 42, p. 138-157, 2011.

SARMA, J.; SARMA, A.; BHATTACHARYYA, K. G. Biosorption of commercial dyes on *Azadiracta indica* leaf powder: A case study with a basic dye Rhodamine B. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 47, p. 5433–5440, 2008.

SEN, S. K.; RAUT, S.; BANDYOPADHYAY, P.; RAUT, S. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, p. 112-133, 2016.

SHARMA, P.; KAUR, H.; SHARMA, M.; SAHORE, V. A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 183, p. 151-195, 2011.

SOLÍS, M.; SOLÍS, A.; PEREZ, H. I.; MANJARREZ, N.; FLORES, M. Microbial decolorization of azo dyes: a review. **Process Biochemistry**, v. 47, p. 1723-1748, 2012.

TAN, L.; HE, M.; SONG, L.; FU, X.; SHI, S. Aerobic decolorization, degradation and detoxification of azo dyes by a newly isolated salt-tolerant yeast *Scheffersomyces spartinae* TLHS-SF1. **Bioresource Technology**, v. 203, p. 287-294, 2016.

TEIXEIRA, C. P.; JARDIM, A. **Processos Oxidativos Avançados – Conceitos teóricos**. Caderno temático, v. 3. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Química – IQ, Laboratório de Química Ambiental – LQA. Campinas, 2004.

WEBER, W. J.; MORRIS, J. C. Kinetics of adsorption on carbon from solution. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, v. 89, p. 31–60, 1963.

ZHANG, H.; ZHANG, S.; HE, F.; QIN, X.; ZHANG, X.; YANG, Y. Characterization of a manganese peroxidase from white-rot fungus *Trametes* sp.48424 with strong ability of degrading different types of dyes and polycyclic aromatic hydrocarbons. **Journal of Hazardous Materials**, v. 320, p. 265-277, 2016 a.

ZHANG, Y., GAO, F., WANJALA, B., LI, Z., CERNIGLIARO, G., GU, Z. High efficiency reductive degradation of a wide range of azo dyes by SiO₂-Co core-shell nanoparticles. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 199, p. 504-513, 2016 b.

ZOLLINGER, H. **Color chemistry, synthesis, properties and application of organic dyes and pigments**. Weinheim, New York, p. 367, 1987.