



DEGRADAÇÃO DE CORANTES POR PROCESSOS FOTOCATALÍTICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

*Irineu Ferreira da Silva Neto**, *Maria Nathalya Costa Souza*,
Sheyla Cristiane Xenofonte de Almeida

Faculdade de Medicina Estácio de Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte-CE, Brasil

**Corresponding author. E-mail address: yrineuferreira@gmail.com*

RESUMO

Introdução: A água de descarte das indústrias é de grande preocupação devido à presença de corantes e aditivos que contribuem para a poluição dos ecossistemas hídricos. Como alternativa aos tratamentos convencionais estão sendo avaliados os Processos Oxidativos Avançados, que baseiam-se na formação do radical hidroxila (OH), podendo reagir com uma vasta classe de compostos, transformando-os em inócuos como CO₂ e H₂O. Dentre os Processos Oxidativos destaca-se a fotocatalise. **Objetivo:** Apresentar a importância da degradação de corantes por processos fotocatalíticos no tratamento de efluentes industriais. **Metodologia:** Trata-se de uma revisão integrativa de literatura nas bases de dados eletrônicas: *Scientific Electronic Library Online (SCIELO)* e *Google Scholar*. Os critérios de inclusão foram: estudos experimentais ou descritivos, publicados entre 2009 e 2020, no idioma inglês ou português, utilizando como descritores em Ciências da Saúde (*Decs*): “Corantes”, “Processos Oxidativos” e “Efluentes industriais”. **Resultados:** As publicações selecionadas mostram a eficiência da degradação fotocatalítica, com destaque para os corantes Azorrubina, Azul de metileno, Tartrazina, Rodamina B e outros. Os estudos apontam maior eficiência em pH ácido, sendo o semicondutor mais utilizado o dióxido de titânio. A maior eficiência da fotocatalise é associada a baixa concentração do corante no meio. **Conclusão:** Foi possível observar que a degradação de corantes por processos fotocatalíticos é uma alternativa para minimizar os efeitos dos corantes industriais perante o manejo dos efluentes.

Palavras-chave: Corantes. Efluentes industriais. Processos Oxidativos.

ABSTRACT

Introduction: Waste water from industries is of great concern due to the presence of dyes and additives that contribute to the pollution of water ecosystems. As an alternative to conventional treatments, Advanced Oxidative Processes are being evaluated, which are based on the formation of the hydroxyl radical (OH), being able to react with a wide class of compounds, transforming them into innocuous ones such as CO₂ and H₂O. Among the Oxidative Processes, photocatalysis stands out. **Objective:** To present the importance of dye degradation by photocatalytic processes in the treatment of industrial effluents. **Methodology:** This is an integrative literature review in the electronic databases: *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) and *Google Scholar*. The inclusion criteria were: experimental or descriptive studies, published between 2009 and 2020, in English or Portuguese, using as descriptors in Health Sciences (Decs): "Dyes", "Oxidative Processes" and "Industrial effluents". **Results:** The selected publications show the efficiency of photocatalytic degradation, with emphasis on the dyes Azorrubina, Methylene blue, Tartrazine, Rhodamine B and others. Studies show greater efficiency in acidic pH, with titanium dioxide being the most used semiconductor. The greater efficiency of photocatalysis is associated with low concentration of the dye in the medium. **Conclusion:** It was possible to observe that the degradation of dyes by photocatalytic processes is an alternative to minimize the effects of industrial dyes when dealing with effluents.

Keywords: Dyes. Industrial effluents. Oxidative Processes.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência dos animais e das plantas. Mas, apesar de ser um recurso em abundância na natureza, com o crescimento populacional e o desenvolvimento da indústria esse recurso vem sofrendo grande impacto. A indústria, em especial, influencia diretamente na poluição dos recursos hídricos, por meio do descarte de resíduos que possuem potencial tóxico e, em alguns casos, são compostos não biodegradáveis, dando destaque para os corantes (MORAIS, 2010).

Os aditivos químicos são amplamente utilizados no ramo industrial com variadas funções tecnológicas, dentre elas a de conferir a coloração, que torna o produto mais atraente e, em alguns casos, melhora a palatabilidade. Diversos ramos industriais utilizam



aditivos químicos, empregando-os em cosméticos, alimentos, medicamentos e produtos têxteis (DE SOUZA *et al.*, 2016).

Quando os corantes entram em contato com a água conseguem reduzir a penetração dos raios solares, inibindo o desenvolvimento de organismos fotossintéticos. Além disso, alguns destes produtos químicos possuem efeitos tóxicos e carcinogênicos, o que amplia a necessidade de aplicar mecanismos para reduzir os efeitos dos efluentes industriais sobre o meio ambiente (MORAIS, 2010). Os corantes mais usados pela indústria são altamente solúveis em água e interferem no equilíbrio do ecossistema (TERAN, 2014).

Os corantes provenientes das indústrias podem atingir rios e estações de água, comprometendo o abastecimento da população. Ademais, as bactérias que ajudam a degradar os corantes, por sua vez, produzem substâncias com potencial carcinogênico, ameaçando a água e o solo das produções agrícolas (CERVANTES *et al.*, 2009).

A consequência extensiva da utilização de corantes nas indústrias se dá quando esses efluentes são descartados de forma irregular, alterando a coloração da água, comprometendo o sistema aquático. Não se sabe ainda ao certo quais os efeitos quando expostos a um longo período de contaminação, portanto, são necessários métodos de remoção de corantes em efluentes industriais mais eficientes (SOUSA, 2016).

A maioria dos tratamentos dos efluentes industriais não conseguem degradá-los totalmente, e geralmente, apenas os transformam de uma fase para outra (MORAIS, 2010). O tratamento dos efluentes geram ainda mais custos quando as indústrias não atendem aos padrões de qualidade e sofrem punições por meio da legislação ambiental (TERAN, 2014).

Uma alternativa para minimizar os efeitos dos corantes é a utilização dos Processos Oxidativos Avançados (POA), que baseiam-se na formação de radicais hidroxilas que possuem a capacidade de oxidar, ou seja, conseguem degradar ou mineralizar substâncias orgânicas (MORAIS, 2010). Além dos compostos orgânicos outros compostos inorgânicos também possuem a capacidade de fotodegradação (TERAN, 2014). Surgiram paralelos aos processos convencionais de incineração e tratamento biológico, degradando a maioria dos



poluentes (DE SOUZA *et al.*, 2016). Após o final das reações são formados compostos inócuos como CO₂, H₂O e sais inorgânicos (TERAN, 2014).

Esse estudo teve como objetivo fazer uma revisão de publicações sobre os processos fotocatalíticos para degradação de corantes no tratamento de efluentes industriais, de forma a remover a pigmentação por meio dos radicais hidroxilas. Ao sintetizar as informações, esta revisão busca contribuir para o aprimoramento dessa técnica e expõe as melhores condições vistas na literatura para remoção de variados tipos de corantes. Além disso, mostra a necessidade de técnicas que possam auxiliar as indústrias a minimizar o efeito negativo sobre o meio ambiente.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão de literatura integrativa, que aborda qualitativamente a degradação de corantes por processos fotocatalíticos no tratamento de efluentes industriais. Foram analisados artigos científicos, teses e dissertações para síntese dessa revisão, por meio das bases de dados eletrônicas: SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e Google *Scholar*. Foram utilizados descritores em Ciências da Saúde (*Decs*): “Corantes”, “Processos Oxidativos” e “Efluentes industriais”. A busca foi realizada no mês de março concomitante nas duas bases de dados. Os critérios de inclusão foram: Estudos publicados em periódicos nacionais ou internacionais que fossem experimentais e descritivos, no período de 2009 a fevereiro de 2020 nos idiomas inglês ou português, que continha pelo menos um dos descritores citados anteriormente. Publicações em outras línguas, incompletos ou fora do período estabelecido foram desconsiderados para esse estudo.

Nas bases de dados foram encontradas 313 publicações, mas após a análise crítica e aplicação dos critérios de inclusão foram selecionadas 11 publicações para o a revisão de literatura integrativa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A preocupação com o meio ambiente fez com que nos últimos anos houvesse uma busca por inovação tecnológica que interferisse sobre o impacto ambiental industrial. Dentre os métodos destaca-se a fotocatalise que é um Processo Oxidativo Avançado, podendo ser aplicados: Peróxido (H_2O_2); Combinação de peróxido com radiação UV (UV/ H_2O_2); reação de Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}); Foto-Fenton ($H_2O_2/Fe^{2+}/UV$), dentre outros (DANTAS, 2018). Algumas das vantagens encontradas nos Processos Oxidativos Avançados são a mineralização do poluente, a transformação do poluente em biodegradável, o alto poder oxidante, o grande poder cinético e o fato de não haver a necessidade de um pós tratamento (TERAN, 2014).

Os sistemas que possuem potencial para a geração de radicais hidroxilas são a fotocatalise homogênea e heterogênea (MORAIS, 2010). Diferenciam-se no fato de esta última possuir catalisadores semicondutores, dessa forma, detém mais de uma fase. A reação ocorre da seguinte maneira, há absorção de fótons pelo semicondutor (geralmente um sólido que faz a movimentação dos elétrons), havendo uma transição eletrônica e em seguida há formação de sítios oxidantes e redutores. Entre os tipos de compostos que possuem potencial de serem degradados estão os alcanos, álcoois, ácidos carboxílicos, fenóis, herbicidas e corantes (TERAN, 2014).

Ao utilizar um reator fotocatalítico por meio de luz solar, com o catalisador dióxido de titânio (TiO_2), De Oliveira *et al.*, (2009) aponta viabilidade no tratamento do efluente com coloração bordô. A eficiência máxima vista nos seus estudos para remoção do corante foi em cerca de 30 minutos, utilizando o pH ácido, em torno de 4. A luz solar utilizada no experimento é uma alternativa viável, por sua natureza não tóxica, comparada a outros tipos de emissões, dessa forma, é ainda mais proveitoso sua utilização para o impacto ambiental.

Ao aplicar a fotocatalise em uma indústria de cosméticos para remoção de D&C Vermelho, D&C Laranja e Carmim, pôde-se constatar que as melhores condições eram de pH=7, concentração de dióxido de titânio de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ e temperatura 20°C . Obedecendo esse padrão houve remoção da cor de 80% do efluente em apenas 15 minutos de

irradiação. No melhor resultado obteve-se o descoloramento total em apenas 30 minutos de tratamento. Foi analisado também que o efluente tratado não era biodegradável, mas após o tratamento reverteu tal condição. Além disso, houve diminuição da toxicidade, remoção da sua cor e mineralização (MORAIS, 2010).

Dantas (2018) em seus experimentos avaliou a fotocátalise com dois dopantes, cobalto e níquel, aplicando-os no corante Maxilon Blue GRL 300. Os resultados mostraram que o maior rendimento foi utilizando 5% de níquel em pH ácido, e este é um fator que interfere na fotodegradação do corante, dessa forma, ele expõe uma maior eficiência do cobalto em relação ao níquel em seus testes fotocatalíticos. Já Morais (2010) mostrou em seus estudos que os fotocatalisadores mais usados, por serem mais baratos e menos nocivos ao meio ambiente, são óxido de zinco e dióxido de titânio.

Ao avaliar a descoloração do corante Azorrubina por meio da reação de Fenton e Foto-Fenton foi possível comprovar que houve remoção da cor. A eficácia dessas reações depende de variáveis como: Concentração de peróxido de hidrogênio, íons de Fe^{2+} e Fe^{3+} , além da presença de luz ultravioleta e também visível. Esses fatores influenciam diretamente nos resultados, pois têm um papel primordial na formação dos radicais livres, responsáveis pela degradação e redução da cor (DE SOUZA *et al.*, 2016).

Ao utilizar a fotocátalise solar heterogênea, por meio do catalisador de dióxido de titânio, foi possível avaliar a eficiência desse processo para remoção do corante azul de metileno. No caso desse corante, o melhor rendimento obteve-se nas duas primeiras horas, em seguida o valor continuou constante, mostrando que o tempo citado anteriormente já seria suficiente para remoção da cor. Nas concentrações de 50 mg.L^{-1} do corante houve remoção da cor entre 98,67% e 99,39%, já nas concentrações de 20 mg.L^{-1} houve 100% de remoção da cor (SILVA *et al.*, 2016).

Ao comparar peróxido de hidrogênio e dióxido de titânio com um reator desenvolvido pelo estudo, eles se mostraram mais eficientes na remoção do corante Tartrazina. Em concentrações superiores a 76 mg.L^{-1} o peróxido de hidrogênio alcançou 100% do descoloramento, já o dióxido de titânio apresentou remoção de 82%. A degradação irá ser mais efetiva pelo aumento da concentração de peróxido de hidrogênio,



além disso, o oxigênio segundo o estudo, funciona como um aceptor de elétrons para o dióxido de titânio (SOUSA, 2016).

Na degradação do corante rodamina B pela reação fotocatalítica obteve-se uma remoção máxima de 97,84%, ou seja, de considerável eficiência. Porém, nesse caso houve um período muito longo de tempo para que houvesse resultados satisfatórios, o estudo supõe que esse fato possa ser justificado pela baixa potência das lâmpadas empregadas no experimento. Esse estudo afirma que quando a concentração do corante é baixa há uma maior eficiência do método, além de expor que em pH ácidos há uma interação superior entre a molécula e o semicondutor, otimizando assim sua desenvoltura (BELLIDO *et al.*, 2019).

Cabe salientar a importância de métodos que visem manter os efluentes industriais dentro dos limites já estabelecidos, sendo necessário também a adaptação dos processos de maneira individual por meio das indústrias, para minimizar efeitos ambientais a curto e longo prazo. O grande impasse encontrado para aplicação da fotocatalise é a dificuldade de reatores em escala industrial, por esse motivo, Pestana *et al.*, (2017) apontam que são necessárias linhas de pesquisas que busquem viabilidade na aplicação da fotocatalise perante o manejo dos efluentes industriais. Vendo a carência de um sistema para aplicação industrial Pestana *et al.*, (2017) apresentaram um sistema de fotocatalise para possível aplicação em grande escala. Esse sistema se dá por meio de um reator de vidro, difusor de ar, lâmpada ultravioleta, compressor de ar e agitador magnético, que propicia um sistema no qual se promove a remoção do corante através da reação de fotocatalise.

Para melhorar ainda mais o processo de degradação de corantes foi desenvolvido um protótipo de automação e controle da direção em que a luz é emitida, e ao comparar com aquele de agitador simples possui uma eficiência maior. Dessa forma, os experimentos de fotocatalise conseguem ter um intervalo menor de tempo, otimizando o seu processo. Os testes ficaram mais evidentes sobre o corante azul reativo 5G por meio do catalisador de óxido de zinco (ERHARD, 2019).

A síntese de novos semicondutores para uso em fotocatalise solar heterogênea já foi demonstrada em estudos. França *et al.*, (2015), por exemplo, estudaram rotas



alternativas por meio de óxidos para a obtenção de dióxido de titânio com alta atividade de fotocatalise, avaliando a capacidade dos produtos encontrados. Estudos como esse contribuem significativamente para a aplicação da fotocatalise em grande escala, tornando processo viável e de baixo custo, algo muito almejado pelas indústrias.

4 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados foi possível constatar a grande eficiência da fotocatalise sobre a degradação de corantes, sendo uma alternativa para minimizar os efeitos e impactos que os efluentes industriais causam, em especial para a os recursos hídricos. A dificuldade vista nos estudos é a falta de um sistema que possa ser aplicado em grande escala para que a metodologia fique viável.

Novos estudos devem prosseguir com o intuito de otimizar os processos fotocatalíticos, aplicar em especial a fotocatalise solar que é um meio com um impacto ainda menor sobre o meio ambiente. Do mesmo modo, avaliar outras possíveis aplicações dessa metodologia, pois mostra-se promissora para diversos outros setores por meio do processo oxidativo. Acredita-se que os estudos possam beneficiar o meio ambiente, favorecendo a população como um todo, principalmente as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

BELLIDO, Jorge David Alguiar *et al.* FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA APLICADA NO TRATAMENTO DO CORANTE RODAMINA B—USO DE CATALISADOR DE TIO₂ SOB RADIAÇÃO UV. *e-xacta*, v. 12, n. 1, p. 11-19, 2019.

CERVANTES, Thiago N. M.; ZAIA, Dimas A. M.; SANTANA, Henrique de. Estudo da fotocatalise heterogênea sobre Ti/TiO₂ na descoloração de corantes sintéticos. *Quím. Nova*, São Paulo, v.32, n. 9, p. 2423-2428, 2009.

DANTAS, Suylan Lourdes de Araújo. **Síntese e caracterização de carbetos de molibdênio puro e dopado com cobalto e com níquel para degradação fotocatalítica e adsorção do corante Maxilon Blue GRL 300.** 2018. 114f. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.



DE OLIVEIRA, Rita de Cássia Gomes *et al.* **ESTUDO DA PERFORMANCE DE UM REATOR FOTOCATALÍTICO TIPO CPC PARA TRATAMENTOS DE EFLUENTES TÊXTEIS COM LUZ SOLAR.** In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009, Recife. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. P. 1-6.

DE SOUZA, Danilo Rodrigues *et al.* Degradação fotocatalítica de corante alimentício azorrubina e monitoramento de redução de toxicidade. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 1, n. 1, p. 50-56, 2016.

ERHARD, Léon Silva. **Automação de um sistema de direcionamento de luz no processo de degradação fotocatalítica de efluentes por irradiação solar.** 2019. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

FRANÇA, Marcela Dias *et al.* **Síntese e caracterização de óxidos semicondutores com atividade fotocatalítica ampliada, para aplicação em fotocatalise heterogênea solar.** 2015. 107f. Tese de doutorado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

MORAES, Larissa Ariana Roveroni. **Aplicação da fotocatalise heterogênea para a degradação de corantes de uma indústria de cosméticos.** 2010. 62f. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PESTANA, Paula Marques *et al.* A análise do uso de processos oxidativos avançados (POA) como fotólise e fotocatalise para degradação de corantes. Parte I: Construção de um reator de fotocatalise. **Ciência e Tecnologia da Unisanta**, v. 6, n. 1, p. 1-5, 2017.

SILVA, Elson Santos da *et al.* **Utilização da fotocatalise solar heterogênea no tratamento de efluentes industriais.** 2016. 92f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SOUSA, Sandro Paiva. **DEGRADAÇÃO DO CORANTE TARTRAZINA POR FOTOCATÁLISE.** 2016. 45f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

TERAN, Francisco. Aplicação de fotocatalise heterogênea e homogênea para a remoção de cor em efluentes provenientes de indústria de procesamento de couro. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 3316-3325, 2014.

Received: 28 March 2020

Accepted: 08 June 2020

Published: 02 October 2020