

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
LICENCIATURA EM QUÍMICA
DISCENTE: RAPHAEL FRANCISCO PEREIRA

**FOTODEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO POR FOTOCATÁLISE
HETEROGÊNEA**

CERES – GO
2019

DISCENTE: RAPHAEL FRANCISCO PEREIRA

**FOTODEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO POR FOTOCATÁLISE
HETEROGÊNEA**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química, sob orientação da Prof. Dra. Marcela Dias França.

CERES – GO

2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

PP436f Pereira, Raphael Francisco
Fotodegradação do corante azul de metileno
por fotocatalise heterogênea / Raphael
Francisco Pereira;orientadora Dra. Marcela
Dias França. -Ceres, 2019.
39 p.

Monografia (em Licenciatura em Química)
-Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2019.

1. Azul de metileno. 2. Degradação. 3.
Dióxido de Titânio. 4. Fotocatálise. 5. Reator. I.
França, Dra.
Marcela Dias, orient. II. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Raphael Francisco Pereira
 Matrícula: 2014203221550010
 Título do Trabalho: Foto degradação do corante azul de metileno por fotocatalise heterogênea

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 27/11/19

- O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
 O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Leves _____ 13/11/2019
 Local Data

Raphael Francisco Pereira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Marcela Dias Franca
 Assinatura do(a) orientador(a)

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) treze dia(s) do mês de novembro do ano de dois mil e dezanove, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Raphael Francisco Pereira, do Curso de Licenciatura em Química, matrícula 201420322150010, cujo título é "Fotodegradação do corante azul de metileno por fotocatalise heterogênea". A defesa iniciou-se às 14 horas e 05 minutos, finalizando-se às 14 horas e 25 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho aprovado com média 8,23 no trabalho escrito, média 8,5 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 8,40 de pontos, estando o(a) estudante aprovado para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Marcela Dias Franca
Assinatura Presidente da Banca

Lauro de Melo Saviatillo
Assinatura Membro 1 Banca Examinadora

Cristian André da Franca
Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, que me deu forças para prosseguir em meio as adversidades e me permitiu chegar até aqui.

Gostaria de agradecer ao apoio da professora Dra. Marcela Dias França por toda sua orientação ao longo do projeto, pelo incentivo, por transmitir calma, confiança perante o trabalho desenvolvido e um pouco de seu conhecimento durante toda a trajetória de pesquisa.

Agradeço também aos amigos e familiares que me apoiaram durante essa caminhada, em especial aos meus pais que tanto fizeram por mim e são responsáveis pelas minhas conquistas me motivando a nunca desistir dos meus sonhos.

A todos os docentes que fizeram parte da minha graduação, que direta ou indiretamente influenciaram nesse percurso me transmitindo não só conceitos relacionados as disciplinas, mas lições de vida que contribuíram de forma significativa a minha formação como químico, professor e como pessoa, aos quais não teria palavras para descrever o quanto sou grato pelas oportunidades que esse curso promoveu.

Agradeço a instituição pelo apoio, pela infraestrutura fornecida sem a qual não seria possível a realização deste trabalho, pelo estímulo a pesquisa, pelas ações desenvolvidas pela instituição, pelos projetos e atividades que tanto contribuíram com minha capacitação acadêmica.

“Na vida, não existe nada a se temer, apenas a ser compreendido”.

Marie Curie

RESUMO

Devido à necessidade ambiental de um tratamento capaz de degradar e mineralizar cargas orgânicas não biodegradáveis, visando um descarte adequado dos resíduos industriais, realizou-se estudos utilizando como princípio a fotocatalise heterogênea. Na prática experimental utilizou-se como insumo químicos o catalisador TiO_2 a fim de obter-se resultados significativos na degradação de efluentes. Desenvolveu-se um fotorreator catalítico composto por mecanismo de agitação, irradiação UV e recipiente para conter a solução. No estudo dos fatores que podem influenciar no processo de tratamento realizou o estudo da eficiência do catalisador perante a variações de pH das soluções de azul de metileno submetidas a tratamento. Os testes foram realizados em duplicata coletando-se a cada 2 min uma amostra de solução. Ao se avaliar o desempenho frente a irradiação da lâmpada sem uso do catalisador os testes tiveram duração de 1h e 30 min sendo retirada uma amostra da solução a cada 10 min. Os procedimentos realizados propiciam a determinação da descoloração das soluções de azul de metileno preparadas em laboratório em concentração inicial de 5,5 mg/L, por meio da análise dos dados de absorvância da amostra foi determinada a degradação de 98% da amostra com utilização do catalisador TiO_2 ativado pela irradiação da lâmpada germicida evidenciando a eficácia do tratamento na degradação do corante azul de metileno.

Palavras chave: Azul de metileno, Degradação, Dióxido de Titânio, Fotocatalise, Reator.

ABSTRACT

Due to the environmental need for a treatment capable of degrading and mineralizing non-biodegradable organic fillers, aiming at an adequate disposal of industrial waste, studies were carried out using heterogeneous photocatalysis as a principle. In experimental practice, the TiO₂ catalyst was used as chemical input in order to obtain significant results in the degradation of effluents. A catalytic photoreactor composed of stirring mechanism, UV irradiation and container to develop the solution was developed. In the study of the factors that can influence the treatment process, the catalyst efficiency was studied in relation to the pH variations of the treated methylene blue solutions. The tests were performed in duplicate collecting every 2 min a sample of solution. When evaluating the performance against lamp irradiation without catalyst use the tests lasted 1h and 30 min and a sample was taken from the solution every 10 min. The procedures performed allow the determination of the discoloration of the laboratory prepared methylene blue solutions at an initial concentration of 5.5 mg/L, by analyzing the absorbance data of the sample, the degradation of 98% of the sample was determined using the TiO₂ catalyst activated by the germicidal lamp irradiation showing the effectiveness of the treatment in the degradation of the methylene blue dye.

Keywords: Methylene blue dye, Degradation, Titanium Dioxide, Photocatalysis, Reactor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mecanismo simplificado da fotoativação de um semicondutor (Machado et al.,2012b).....	20
Figura 2 A – Estrutura externa do reator.....	23
Figura 2 B – Estrutura interna do reator.....	24
Figura 2 C – Estrutura interna do reator.....	24
Figura 3 - Curva de calibração azul de metileno no UV-vis.....	27
Figura 4 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório. Condições experimentais: Tempo total de reação: 100 minutos; [AM] = 5,5 mg L ⁻¹ ; pH = sem ajuste. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.....	28
Figura 5 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório catalisada pelo TiO ₂ P25 Degussa. Condições experimentais: Tempo total de reação: 20 minutos; [AM] = 5,5 mg L ⁻¹ ; [TiO ₂] = 100 mg L ⁻¹ ; pH = sem ajuste. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.....	29
Figura 6 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório catalisada pelo TiO ₂ P25 Degussa. Condições experimentais: Tempo total de reação: 20 minutos; [AM] = 5,5 mg L ⁻¹ ; [TiO ₂] = 100 mg L ⁻¹ ; pH = 3. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.....	30
Figura 7 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório catalisada pelo TiO ₂ P25 Degussa. Condições experimentais: Tempo total de reação: 20 minutos; [AM] = 5,5 mg L ⁻¹ ; [TiO ₂] = 100 mg L ⁻¹ ; pH = 10. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.....	32
Figura 8 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L em pH natural da solução. Cinética = 0,155.....	33
Figura 9 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L em pH 10. Cinética = 0,4 em R ² =0,85 / Cinética = 0,09 em R ² =0,81.....	33
Figura 10 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L em pH 3. Cinética = 0,13.....	34

Figura 11 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L sem uso do catalisador apenas irradiação da lâmpada germicida. Cinética = 0,01.....34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cinética dos tratamentos. Análise das variáveis: tempo, catalisador e pH.....	35
--	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	19
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	22
3.2	REAGENTES.....	22
3.3	MÉTODOS.....	23
3.3.2	PREPARO DAS SOLUÇÕES ANALISADAS.....	25
3.3.3	ANÁLISE DAS AMOSTRAS	25
3.3.4	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO EM pH ÁCIDO E ALCALINO 25	
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	CONSTRUÇÃO DO REATOR FOTOCATALÍTICO	26
4.2	CURVA DE CALIBRAÇÃO	26
4.3	DESEMPENHO DO REATOR	27
4.4	CINÉTICA DAS REAÇÕES	32
5.	CONCLUSÃO	36
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

Existem inúmeras leis ambientais que regulamentam o descarte adequado de rejeitos industriais, porém os métodos comumente utilizados no tratamento de água não são capazes de degradar a maior parte das substâncias presentes nos resíduos descartados por diferentes ramos da indústria (KUNZ et al., 2002).

Um descarte inadequado desse tipo de resíduo nos corpos hídricos ou até mesmo no solo sem o devido tratamento, pode causar incalculáveis danos ao meio ambiente, afetando todo um ecossistema. Impacto que se torna visível afetando fauna e flora próximas as regiões contaminadas por rejeitos industriais (KUNZ et al., 2002).

No Brasil o órgão responsável por fiscalizar esse descarte é o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) , o maior órgão brasileiro responsável por assuntos inerentes a política nacional do meio ambiente, regulamentando como esses efluentes devem ser eliminados de maneira a minimizar os impactos ambientais (CONAMA, 2011).

Os métodos tradicionais de tratamento desempenham de forma positiva a purificação da água em efluentes de carga orgânica biodegradável mas, devido a necessidade de tratamentos complementares em casos específicos, os processos oxidativos avançados (POA) vem tomando destaque. Considerados métodos atuantes na purificação de efluentes industriais por serem processos capazes de degradar diversos tipos de carga orgânica, além de efluentes que não são biodegradáveis (OLIVEIRA, 2013).

No ramo têxtil, por exemplo, a maior parte dos corantes utilizados são de difícil degradação necessitando de procedimentos mais complexos do que os usados nas estações de tratamento, para um descarte seguro ao meio ambiente. Nesse aspecto, os POA desempenham um papel importante dentro do descarte de efluentes seguindo os parâmetros ambientais determinados (OLIVEIRA, 2013).

O Azul de metileno (AM) é um corante catiônico que possui carga positiva descentralizada e o mesmo apresenta faixa de absorção em 664 nm. Esse corante pertence à classe das fenotiazinas e é solúvel em soluções aquosas. Sua aplicação encontra-se presente em variados ramos da indústria, no setor têxtil é utilizado no tingimento de tecidos, porém também possui aplicações em colorações de tinturas e até mesmo na produção de papel, sua descoloração representa a possibilidade de tratamento de efluentes que possuem corantes presentes no meio reacional viabilizando uma possível maneira de evitar

mais danos ambientais recorrentes de descartes realizados sem tratamento prévio (LIMA et al., 2007).

Os corantes em geral apresentam determinado grau de toxicidade que quando alcançado pode afetar os organismos vivos que entram em contato com esse composto, o descarte incorreto de efluentes residuais pode gerar grandes impactos ao meio ambiente contaminando fauna, flora e influenciando diretamente na manutenção do bioma onde se realizam esses descartes de maneira indevida sem tratamentos prévios (LIMA et al., 2007).

Com o estudo do fotorreator ao evidenciar-se a descoloração das soluções preparadas, pode-se supor o rompimento da ligação responsável pela cor, esperando-se assim que ao final de cada ciclo de tratamento ocorra a descoloração total da solução (FRANÇA, 2015).

Pensando nisso e devido à complexidade dos corantes em relação a sua descoloração e degradação frente aos métodos de purificação, busca-se processos como os POA que sejam capazes de realizar tal degradação, contribuindo para encontrar possíveis alternativas no tratamento de diversos efluentes industriais, levando em consideração a existência de diversas indústrias têxteis na região e cidades como Jaraguá, que são polos têxteis e poderiam ser beneficiados com esse tipo de tratamento (OLIVEIRA, 2013).

Nessa vertente podemos citar fotólise-direta, um processo que degrada moléculas orgânicas por meio de irradiação luminosa. Porém nem sempre apenas essa irradiação é capaz de causar a descoloração e degradação de corantes. Devido a isso a fotólise pode ser realizada com acréscimo de um agente oxidante, um exemplo de fotólise-direta que vem ganhando destaque em conjunto com de peróxido de hidrogênio (YASSUMOTO; MONEZI; TAKASHIMA, 2009).

Dentre essas tecnologias, pode-se citar a fotocatalise que se trata de um processo de catalise ativada por fótons, no qual a partir da irradiação luminosa ocorre a absorção desses fótons por parte do catalisador ativando-o. Atualmente a fotocatalise vem sendo evidenciada como método atuante na degradação de carga orgânica e purificação de efluentes. Por se fazer parte dos POA, a fotocatalise possui como característica a utilização de agentes oxidantes e catalisadores, que por sua vez podem gerar a liberação de radicais hidroxila no meio reacional, radical este que possui alto nível oxidativo propiciando a degradação de uma série de compostos (NOGUEIRA, JARDIM, 1997).

Na fotocatalise podemos citar a utilização de agentes oxidantes como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ozônio (O_3) e catalisadores como Manganês (Mn), Ferro (Fe), dióxido de

titânio (TiO_2), óxido de zinco (ZnO) capazes de mineralizar substâncias orgânicas refratárias (FERREIRA,2005).

As substâncias refratárias também conhecidas como matéria inerte fazem parte de um grupo de substâncias orgânicas que não são biologicamente utilizáveis, pois esses compostos apresentam estruturas complexas que não possuem atividade biodegradável sendo resistentes a degradação natural e necessitando de processos específicos para mineralização desses compostos (FRANÇA, 2015).

Pode-se dividir a fotocatalise em dois tipos, sendo estes fotocatalise homogênea na qual o catalisador utilizado é solubilizado no meio reacional, enquanto na fotocatalise heterogênea se utilizam insumos químicos que permanecem como sólidos em suspensão no meio reacional. Nessas técnicas pode-se optar pelo uso dois ou mais de agentes oxidantes com objetivo do aprimoramento da técnica visando um aumento de eficiência, ciclos mais rápidos e uma maior porcentagem de degradação, aumento da atividade química fotocatalítica. No setor industrial, a duração dos procedimentos realizados representa um ponto importante no setor de produção, onde uma maior quantidade de ciclos em menor tempo significa maior produtividade e maior retorno financeiro (FERREIRA,2005).

A técnica utilizada nesse trabalho baseia-se no uso do dióxido de titânio como catalisador ativado pela irradiação de luz ultravioleta (UV). Nessa técnica pode-se utilizar o peróxido de hidrogênio - ele é capaz de potencializar o efeito do catalisador escolhido aumentando a eficiência do processo (RUAS, 2008).

Nesse viés, é observado a aplicação do TiO_2 em diversos trabalhos na área de fotocatalise devido a alguns fatores como sua disponibilidade de obtenção, o baixo custo do catalisador, além da estabilidade estrutural do composto (FRANÇA, 2015).

O TiO_2 possui aplicação em diferentes setores da indústria, além de um semicondutor promissor na área da fotocatalise heterogênea, ademais é utilizado como aditivos no setor alimentício e até mesmo no ramo dos cosméticos devido a sua capacidade de absorção de radiação UV sendo comumente empregado em protetores solares devido a essa característica do composto (FRANÇA, 2015).

Outrossim, o TiO_2 demonstra alto índice de refração e constante dielétrica propiciando sua aplicabilidade em setores de revestimento e pigmentação. O seu uso ganhou notoriedade quando empregado na descontaminação ambiental e produção de hidrogênio (NOGUEIRA, JARDIM, 1997).

Na área ambiental observa-se sua empregabilidade em tratamentos de diferentes efluentes, desde o setor industrial na degradação de corantes até mesmo no tratamento de esgotos devido não geração de produtos como trihalometanos obtidos em processos como a cloração e que apresentam caráter carcinogênicos (FERREIRA,2005).

No tratamento das soluções a fonte de luz utilizada foram duas lâmpadas germicidas, esse tipo de lâmpada atua em um comprimento de onda de aproximadamente 254 nm e é utilizada no tratamento biológico na destruição de vírus e culturas de bactérias. Atuando numa faixa de onda um pouco menor que a lâmpada de luz negra (380-420 nm) e as fluorescentes compactas (400 -700) nm, a lâmpada germicida em relação aos outros tipos de lâmpada, possui produção de energia maior, devido a relação inversa entre comprimento de onda e energia (BITTON,1994).

Esse tipo de lâmpada é classificado como radiação UV-C, embora não cause câncer de pele pode acarretar irritações na pele e nos olhos em casos de exposição por grandes períodos de tempo ressaltando os cuidados e a importância da estrutura do fotorreator que impede o contato direto com esse tipo de radiação (BITTON,1994).

Deve-se atentar a fonte de irradiação adequada para cada caso, para que possa melhor atender a prática proposta, emitindo energia necessária para ativação do catalisador. No caso, a lâmpada germicida utilizada nas práticas exibe algumas diferenciações já supracitadas, como a alta produção de energia e a emissão de radiação do tipo UV-C (CARDOSO, 2007).

A lâmpada fluorescente é composta por vidro enquanto que no caso da adotada nos procedimentos experimentais é composta de quartzo, que permite a transmissão de alta porcentagem dos raios UV produzidos pela lâmpada. No caso do vidro esses raios UV são absorvidos em parte por esse material ocorrendo uma transmissão de pequena porcentagem dessa radiação (CARDOSO, 2007).

Pode-se dividir os fotorreatores em 3 grupos quanto a forma que o efluente será tratado sendo estes: filme corrente, tubular ou vaso agitado. Ainda pode-se classificá-los em razão do modo de aplicação do catalisador subdividindo-os entre dois grupos – suspensão ou imobilizado (DUARTE et al., 2005).

Os reatores fotocatalíticos têm evidenciado alto desempenho na degradação de compostos e purificação de efluentes aquosos, o que por sua vez permite a reutilização da água tratada. Pesquisas na área tem observado a possibilidade de reuso desses efluentes no setor agrícola em plantações, em outros processos dentro da indústria como tingimento no ramo têxtil e em diversos segmentos representando a preservação de recursos hídricos

e abordando temas como sustentabilidade e cuidado com o meio ambiente (DUARTE et al., 2005).

O projeto visou a análise da descoloração do corante azul de metileno em soluções preparadas em laboratório por meio da fotocatalise heterogênea utilizando dióxido de titânio (TiO_2) como catalisador com o intuito de determinar a eficiência dessa técnica, sendo necessário a construção de um reator para realização do tratamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O setor industrial em suas diferentes vertentes produz grandes quantidades de efluentes provenientes dos procedimentos realizados em fábricas e outros. Os resíduos industriais podem ser divididos quanto a natureza dos compostos presentes, sendo classificados em biodegradáveis e não biodegradáveis. É no segundo caso que os efluentes necessitam de tratamento especializado para degradação da carga orgânica ou mineralização das substâncias presentes nesses rejeitos (PEREIRA; FREIRE, 2005 ; MORAES et al., 1996).

Frente a essa realidade, procurando soluções a fim de realizar-se um descarte adequado e visando assim a proteção dos recursos hídricos analisou-se a utilização de processos químicos que seriam capazes de purificar esses resíduos. Por meio de estudos voltados a sanar essa adversidade e de métodos oxidativos oportunizou-se a utilização da fotocatalise como uma solução para evitar maiores impactos ao meio ambiente, a partir de práticas capazes de tratar os efluentes (NOGUEIRA, JARDIM, 1997).

Devido a essa especificidade de tratamento uma possível estratégia foi a utilização de processos oxidativos avançados na tentativa de purificação desses efluentes, visando seu uso em outras atividades na indústria. Dentre os procedimentos que vem ganhando destaque nessa perspectiva se encontra a fotocatalise heterogênea. Por meio de vários estudos na área constatou-se a eficiência desse tipo de catálise ao se utilizar como semicondutor o dióxido de titânio e agente oxidante o peróxido de hidrogênio (PEREIRA; FREIRE, 2005).

A escolha desse dióxido se dá devido a suas propriedades e características como estabilidade do composto, facilidade de obtenção, constante dielétrica entre outros. Em alguns casos opta-se por variações desse reagente como no caso dos compostos sinsetizados com corantes, no qual a junção do composto a um corante possibilita a ampliação da faixa de onda que o catalisador atua, pois há uma maior absorção de energia devido a ligação com o corante propiciando assim uma maior eficiência nessa vertente sendo indicado em casos específicos (PELAEZ, 2012). Segundo Nogueira e Jardim, (1997) o TiO_2 fabricado pela Degussa P 25 é comumente utilizado nessas práticas por apresentar maior atividade fotocatalítica.

Devido nesse reagente ser encontrado fases distintas nas quais podem apresentar diferenciações em sua fotoatividade opta-se pela utilização do composto supracitado por

se encontrar em 70% na sua fase anátase e apenas 30% nas suas fases rutilo (NOGUEIRA, JARDIM, 1997).

Nos estudos realizados com a utilização do TiO_2 foi observado sua ação como excelente semi-condutor além de sua capacidade fotocatalítica, características que tornam possível sua aplicação na área como já supracitado. A escolha de sua utilização em reação conjunta com o H_2O_2 aumenta a eficiência do processo e o caráter oxidativo da solução durante o tratamento, pois ocorre a liberação de radicais OH^* (hidroxila) e O_2^- (superóxido) esses radicais por sua vez decompõe a matéria presente no efluente. A reação envolvendo o dióxido de titânio leva a formação do radical superóxido O_2^- e OH^* que apresentam alta ação oxidante capaz de degradar o composto presente no meio reacional, ou seja, o corante de estudo. (PELAEZ, 2012)

Quando o catalisador é irradiado pela lâmpada germicida, a fonte de fótons do reator, a energia fornecida é maior ou igual ao que chamamos de energia do band gap do catalisador, quando isso ocorre leva-se a separação de carga entre a banda de valência e banda de condução o que vai gerar a promoção de um elétron entre a banda de valência e banda de condução, o que por sua vez vai gerar a formação de uma lacuna na banda de valência responsável por induzir a formação de radicais hidroxila, isso porque essa lacuna possui um potencial elevado e demasiado positivo (FRANÇA, 2015).

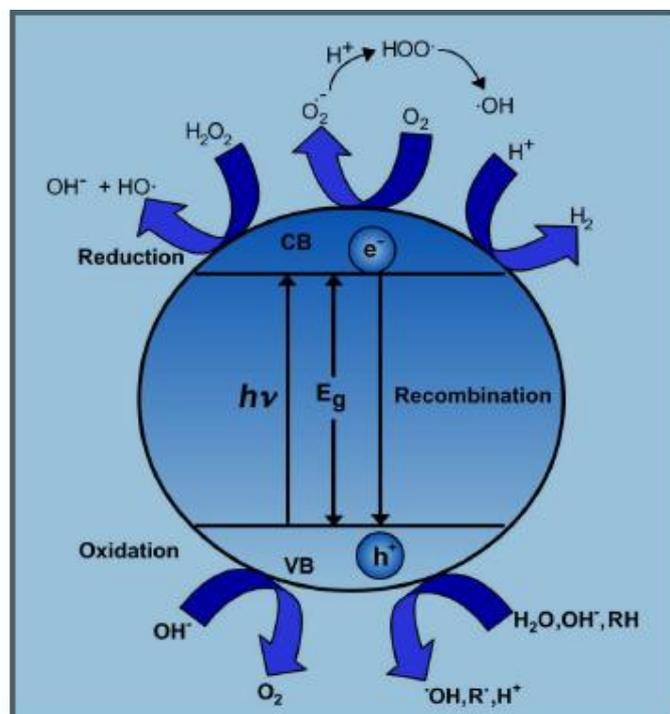


Figura 1 - Mecanismo simplificado da fotoativação de um semicondutor (Machado *et al.*, 2012b).

Os radicais supracitados quando presentes em solução atacam a matéria orgânica, devido a sua capacidade de gerar a oxidação dos contaminantes encontrados no efluente, isso ocorre devido a fatores como baixa seletividade desses radicais que são capazes de reagir com uma gama de compostos (PELAEZ, 2012).

Comumente os efluentes residuais apresentam grande concentração de espécies poluentes e de caráter tóxico, a presença de diferentes tipos de substâncias também influencia no tratamento exigindo um procedimento capaz de atuar frente a todas as substâncias existentes no meio reacional (PELAEZ, 2012).

Nessa vertente, quando trata-se de corantes em processos biológicos, não são recomendados por possuírem limitações na descoloração de resíduos, além desses compostos em geral serem resistentes a degradação biológica (BERTAZZOLI; PELEGRINI, 2001).

Sendo assim a construção e estudo de fotorreatores é uma área crescente que vem ganhando destaque por representarem uma alternativa nos tratamentos de carga orgânica de difícil degradação (DUARTE et al., 2005).

Existem vários tipos de fotorreatores, podendo adaptá-los de acordo com a necessidade e contexto, levando em consideração a origem do efluente, o método escolhido, a fonte de irradiação luminosa, a quantidade de efluente a ser tratado e até mesmo considerando variáveis como tempo de funcionamento e temperatura (DUARTE et al., 2005).

Portanto para confecção e escolha de um reator fotoquímico primeiro realiza-se um planejamento observando qual a proposta de tratamento e estudo, adotando assim a prática mais adequada, tendo por finalidade um tratamento de maior eficiência (DUARTE et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Componentes do Reator:

- Chapa de Agitação;
- Recipiente capacidade 800 mL;
- Estrutura de Compensado com duas aberturas;
- Lâmpadas germicidas (UV-C) HNS 15 W G13 OSRAM;
- Agitador magnético Solab SL 91;

Equipamentos

- Balança analítica Uni Bloc SHIMADZU AYU 220;
- Espectrofotômetro Bel photonics LGS53 UV-VIS;
- Piceta;
- Filtro Millex LCR com membrana PTFE modificada;
- Seringa de plástico;
- Pipetas graduada (1 mL e 5 mL);
- Pipetador;
- PHmetro;
- Proveta (500 mL).

3.2 REAGENTES.

- TiO_2 (Degussa - Evonick);
- Azul de metileno (Cinética Química –CQ);
- Água destilada.

3.3 MÉTODOS

3.3.1 APARATO EXPERIMENTAL

O reator construído conta com uma chapa para agitação e superfície coletora – recipiente destinado a comportar solução a ser tratada. Acoplou-se a sua estrutura duas lâmpadas do tipo germicida para irradiação de luz ao meio reacional. Criou-se a estrutura que comporta o reator por meio de material reciclado MDP e MDF provenientes de partes de móveis antigos, afim de se restaurar e reutilizar materiais que iriam ser descartados levando em conta a montagem do reator e a questão ambiental ao se escolher os recursos utilizados. Nas Figuras 2 A, B e C abaixo é possível observar a estrutura do reator utilizado e confeccionado nesse projeto:



Figura 2 A – Estrutura externa do reator confeccionado e utilizado durante as práticas.

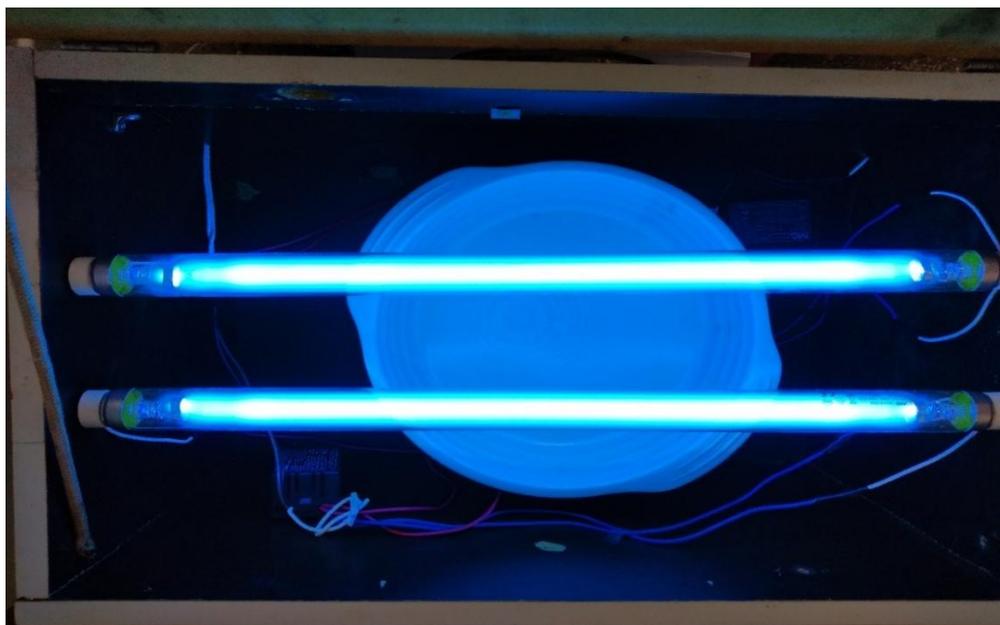


Figura 2 B – Estrutura interna do reator confeccionado e utilizado durante as práticas.



Figura 2 C – Estrutura interna do reator confeccionado e utilizado durante as práticas.

3.3.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES ANALISADAS

Por intermédio da curva de calibração feita a partir de solução estoque de 1 g/L, determinou-se a concentração de trabalho como 5,5 mg/L.

Realização de fotólise direta utilizando lâmpadas do tipo germicida com irradiação do tipo UV-C observando a descoloração do azul de metileno.

Reação com TiO_2 na descoloração do azul de metileno juntamente com as lâmpadas germicidas, observando-se o efeito do semiconductor na degradação do corante.

Todo o processo foi realizado sob agitação com uso da chapa e agitadores magnéticos.

3.3.3 ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A análise das amostras foi realizada por índice de cor, utilizando o espectrofotômetro para obtenção da absorbância, comparando o obtido a partir da solução inicial e o decaimento evidenciado a partir dos dados observados.

3.3.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO EM pH ÁCIDO E ALCALINO

Realizou-se teste em pH controlado com utilização de solução de H_2SO_4 para acidificar o meio para obtenção do pH desejado por meio de um pHmetro para apurar o pH da solução. Até obtenção de $\text{pH} = 3$.

Realizou-se teste em pH controlado com utilização de solução de NaOH para alcalinizar o meio, para obtenção do pH desejado por meio de um pHmetro. Até obtenção de $\text{pH} = 10$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONSTRUÇÃO DO REATOR FOTOCATALÍTICO

A montagem do reator fotocatalítico se subdividiu em etapas. Primeiramente montou-se uma estrutura para comportar as partes do reator. Essa estrutura foi totalmente construída por meio de materiais recicláveis provenientes de moveis antigos, visando o reaproveitamento de matéria-prima tendo em vista a sustentabilidade e cuidado com meio procurando o reaproveitamento dos recursos.

Após a confecção dessa estrutura acoplou-se a parte interior da mesma, duas lâmpadas do tipo germicida no tamanho de 45 cm, uma chapa de agitação e o recipiente onde será comportada a solução a ser tratada.

O recipiente escolhido possui a área de 22,3 cm² e capacidade de 800 ml e este foi colocado a uma distância de 6 cm da fonte de irradiação luminosa, no caso em questão das lâmpadas germicidas. (DUARTE et al., 2005).

4.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO

A construção da curva foi feita por meio do preparo de soluções a concentrações crescentes do corante azul de metileno e análise da absorbância de cada solução, sendo necessário a realização da curva para se definir em qual concentração é evidenciada a absorção máxima do corante, para a partir dos resultados definir a concentração das soluções utilizadas no tratamento. Pode-se determinar as concentrações utilizadas do corante azul de metileno por meio da curva de calibração como mostra a Figura 3, obtendo-se os seguintes resultados:

CURVA DE CALIBRAÇÃO

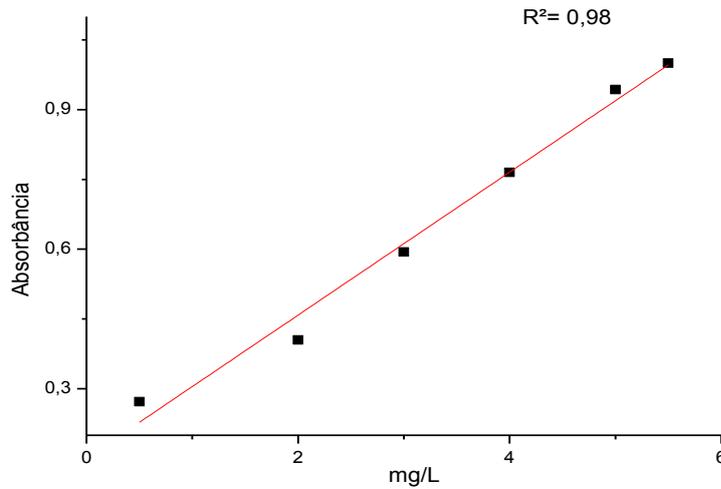


Figura 3 – Curva de calibração azul de metileno no UV-vis.

Ao ser degradado ocorre a quebra das ligações no azul de metileno, ligações estas responsáveis pela coloração tornando assim a solução incolor ou gerando o decaimento da coloração. (LIMA et al., 2007)

Sendo assim o método de análise para determinação da eficiência do processo utilizado se dá por intermédio do que chamamos índice de cor realizado por meio do espectrofotômetro.

4.3 DESEMPENHO DO REATOR

Ao submeter a solução de azul de metileno a irradiação das lâmpadas germicidas foi observado a descoloração parcial de 69% da solução em um período de tempo de 1 hora e 30 minutos, processo evidenciado na Figura 4. Nesse período foram coletados periodicamente a cada 10 minutos 5 mL de amostra da solução submetidas a análise por índice de cor utilizando o espectrofotômetro UV-Vis.

O tratamento utilizando somente a irradiação da lâmpada germicida sendo incidida sobre as soluções foi realizado em duplicata, e analisado por meio de estatística descritiva, sendo evidenciado a descoloração de 14% da solução apenas em um período de 10 min.

Ao final do tratamento, observou-se por meio dos dados obtidos, que a descoloração no período de 90 min foi de 69% em relação a concentração total da solução no início do tratamento.

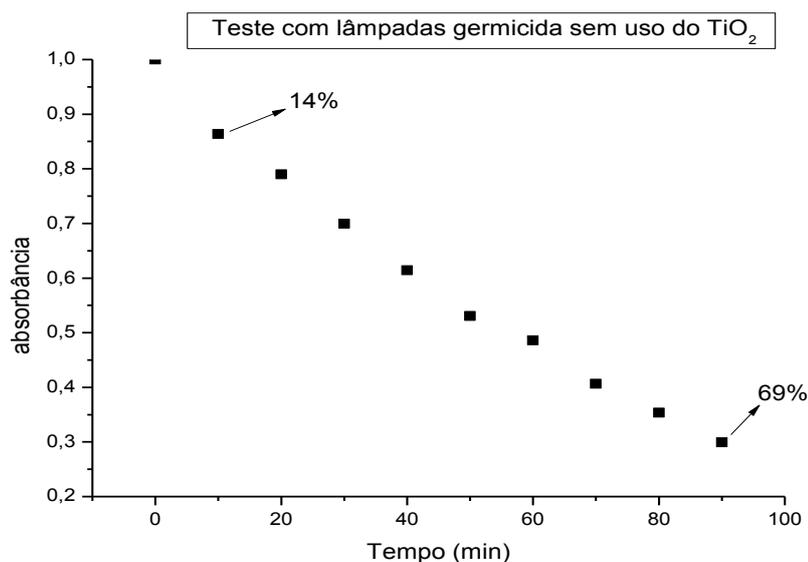


Figura 4 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório. Condições experimentais: Tempo total de reação: 100 minutos; [AM] = 5,5 mg L⁻¹; pH = sem ajuste. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.

Os testes com o TiO₂ foram realizados sobre agitação, em uma chapa de agitação e agitador magnético, além da irradiação da lâmpada germicida, responsável pela ativação do catalisador, perfazendo um período de 20 minutos de tratamento e coletadas 10 amostras a cada 2 minutos no método adotado, além da coleta de uma amostra inicial da solução antes do início da fotocatalise.

Por meio da Figura 5 pode-se observar o decaimento em relação a absorbância obtido pela análise das amostras submetidas ao tratamento com 100 mg/L de TiO₂, onde evidenciou-se uma descoloração de 98 %. Os testes com o catalisador foram realizados em duplicata.

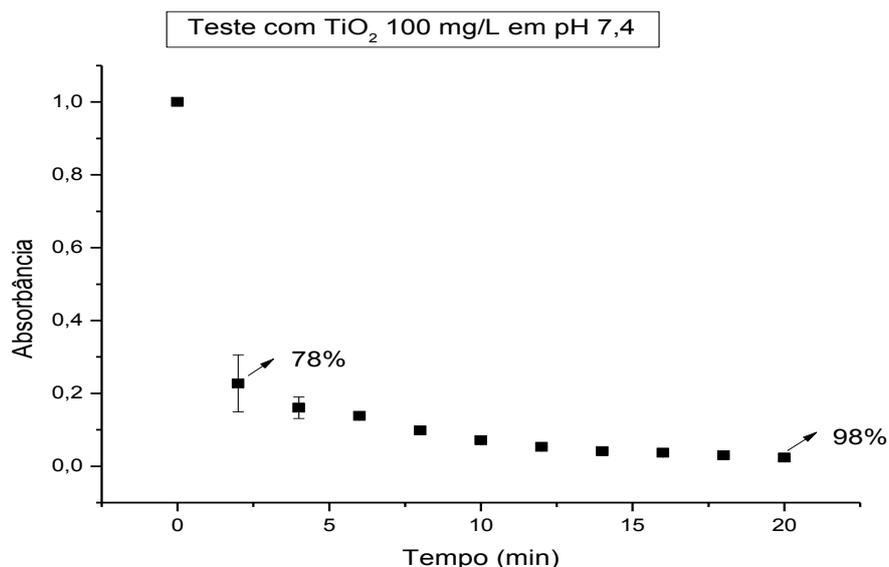


Figura 5 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório catalisada pelo TiO₂ P25 Degussa. Condições experimentais: Tempo total de reação: 20 minutos; [AM] = 5,5 mg L⁻¹; [TiO₂] = 100 mg L⁻¹; pH = sem ajuste. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.

Realizou-se experimentos em variações de pH objetivando determinar a influência da diferença de pH em relação ao tratamento proposto na descoloração do azul de metileno.

O pH de uma solução representa o potencial hidrogeniônico do meio, referindo-se a concentração de H⁺ presente e indicando a alcalinidade, acidez ou neutralidade, sendo possível determinar esse caráter da solução por meio de indicadores naturais ou sintéticos. Porém nesses casos, obtemos dados qualitativos nos quais o indicador vai determinar se o meio é ácido, básico ou neutro mas não indica de forma precisa o valor do pH da solução. (SILVA, 2012)

Desse modo, em busca de valores mais precisos do pH de um determinado meio aquoso foi utilizado um pHmetro, aparelho capaz de determinar o pH de soluções aquosas com precisão acima de 92%, sendo esses equipamentos compostos por um eletrodo vinculado a um potenciômetro.

Para tal finalidade determinou-se o pH natural da solução por intermédio da utilização de um pHmetro encontrando o valor de 7,40 ou seja, um pH levemente alcalino próximo ao pH neutro que seria 7.

Com intuito de acidificar a solução foi utilizado uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) à concentração de 3 mol/L, realizando-se testes com a solução de azul de metileno à concentração de 5,5 mg/L, ressaltando a capacidade máxima do recipiente de tratamento como de 800 mL.

Ao se analisar os resultados da descoloração das soluções de azul de metileno em pH 3 foi observado um menor índice de degradação/descoloração do corante de estudo em relação ou meio reacional com pH natural da solução. Os resultados podem ser observados por meio da Figura 6 evidenciando o menor índice de descoloração em relação ao tratamento em pH natural.

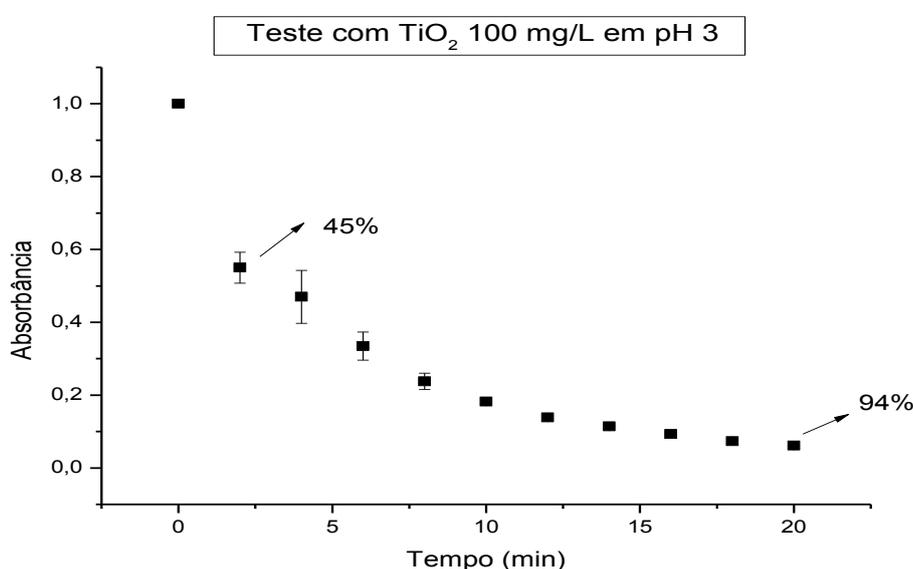


Figura 6 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório catalisada pelo TiO_2 P25 Degussa. Condições experimentais: Tempo total de reação: 20 minutos; $[\text{AM}] = 5,5 \text{ mg L}^{-1}$; $[\text{TiO}_2] = 100 \text{ mg L}^{-1}$; pH = 3. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.

Esse fato pode ser explicado pela liberação dos íons H^+ no meio reacional que por sua vez podem reagir com os radicais superóxido O_2^- e hidroxila OH^* liberados pelo catalisador interferindo assim no ataque as moléculas de corante azul de metileno presentes no meio, pois esses radicais O_2^- e OH^* que irão promover a quebra das ligações e a degradação do corante. Sendo assim se tais radicais forem consumidos ou passarem

a reagir com os íons H^+ liberados pelo ácido, pode ocorrer a inferência no desempenho do tratamento. (SILVA, 2012)

Os dados podem ser observados por meio da Figura 6 realizando um comparativo entre o decaimento em relação aos dados encontrados no meio com pH natural, de caráter levemente alcalino. (MELO, 2010)

A concentração de TiO_2 utilizada nos tratamentos foram de 100mg/L sendo utilizado as mesmas concentrações do catalisador nos diferentes testes, padronizando as condições de pressão temperatura e concentração em cada ensaio.

Após os ensaios em pH ácido e do comparativo do desempenho da técnica frente a acidez do meio reacional, foi preparada uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 3 mol/L e com o auxílio do pHmetro determinou-se necessário o uso de uma gota da solução preparada de NaOH alcançando um pH 10 caracterizando um meio reacional alcalino.

Assim como nos testes com pH 3 e 7,40 a solução de NaOH foi aplicada em 800 mL de solução do corante azul de metileno à concentração de 5,5 mg/L.

Realizando o comparativo com os experimentos anteriores foi evidenciado que quanto maior a alcalinidade do meio reacional maior foi a eficiência do tratamento, sendo maior o índice de degradação frente ao método adotado.

Por meio dos dados obtidos foi constatado uma degradação de 94% em 20 minutos de tratamento nos testes com uso de H_2SO_4 na acidificação do meio reacional, enquanto isso nos testes com pH natural o índice de degradação foi de 98% no mesmo período de tempo e no pH alcalino com uso de NaOH a degradação também foi de 98%.

Ao se analisar os dados obtidos no teste com pH 7,4 foi observado um índice de descoloração de 78% enquanto no pH 10 foi observado a descoloração de 80%, considerando a faixa de erro esses tratamentos apresentaram resultado semelhante.

Foi observado também que nos primeiros 2 minutos de reação em pH alcalino o índice de degradação era de 80% um resultado contrastante em relação aos primeiros 2 minutos em meio ácido no qual ocorreu a degradação apenas de 45% do corante, como pode ser observado no Figura 7.

Pode-se atribuir esses resultados em meio alcalino devido a menor concentração de H^+ em relação ao meio ácido e a maior concentração de radicais OH^* capazes de degradar o corante azul de metileno. (MELO, 2010)

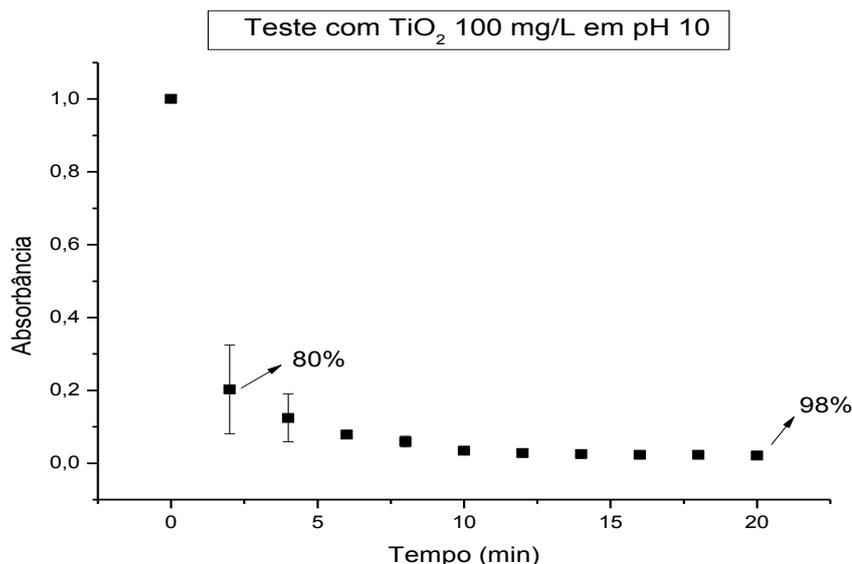


Figura 7 – Descoloração (■) do azul de metileno em reação em escala de laboratório catalisada pelo TiO₂ P25 Degussa. Condições experimentais: Tempo total de reação: 20 minutos; [AM] = 5,5 mg L⁻¹; [TiO₂] = 100 mg L⁻¹; pH = 10. Uma lâmpada germicida de 15 W foi usada como fonte de irradiação.

4.4 CINÉTICA DAS REAÇÕES

Por meio desses resultados evidencia-se a maior eficiência do método frente ao meio alcalino possibilitando a otimização da técnica em soluções com pH controlado, como observado nas soluções com meio levemente alcalino de pH = 7,4 e nas soluções alcalinas com pH ajustado para um pH = 10.

Nas reações de primeira ordem a velocidade da reação está diretamente ligada a concentração de um dos reagentes, nesse caso do corante azul de metileno, já o dióxido de titânio atua como catalisador na velocidade da reação. A cinética também explica uma queda elevada nos primeiros minutos de reação, sendo observado que após esse intervalo de tempo há estabilização quanto ao decaimento progressivo da concentração. (FRANÇA, 2015).

Para as cinéticas de descoloração foi utilizado $-\ln(A/A_0)$ pelo tempo sendo possível observar os resultados por intermédio das Figuras 8, 9, 10 e 11 nos quais é evidenciado os valores de R² e a cinética de cada reação.

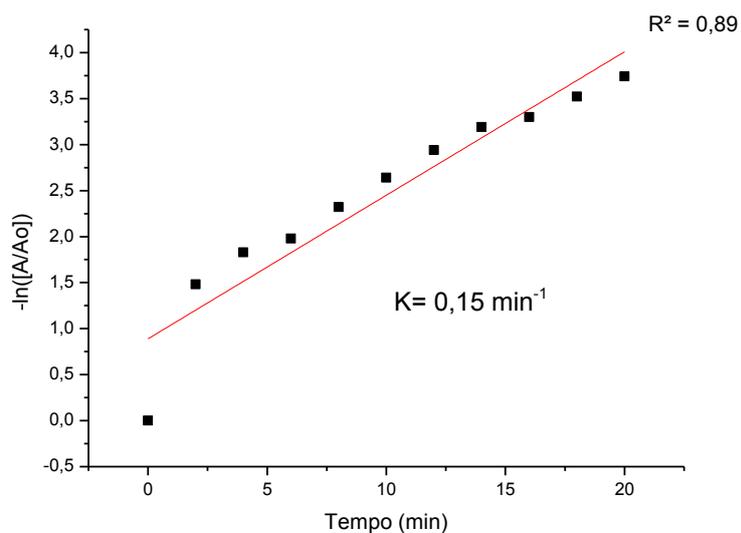


Figura 8 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L em pH natural da solução.

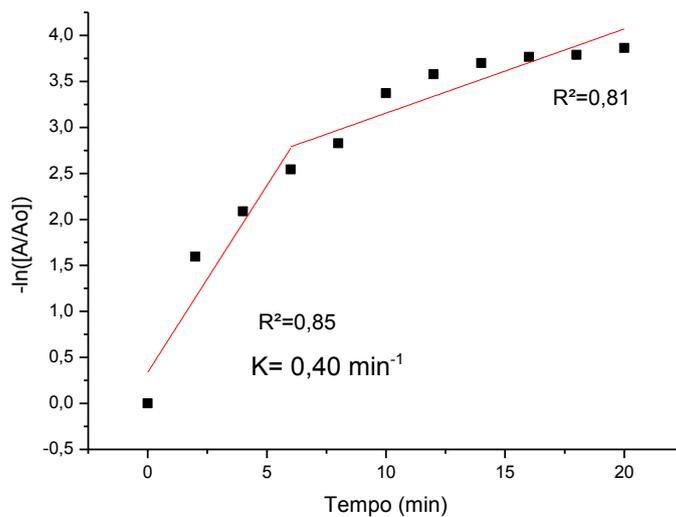


Figura 9 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L em pH 10.

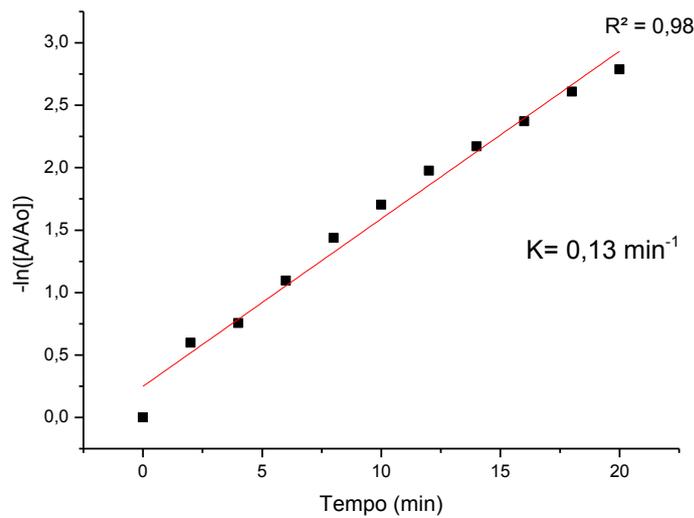


Figura 10 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L em pH 3.

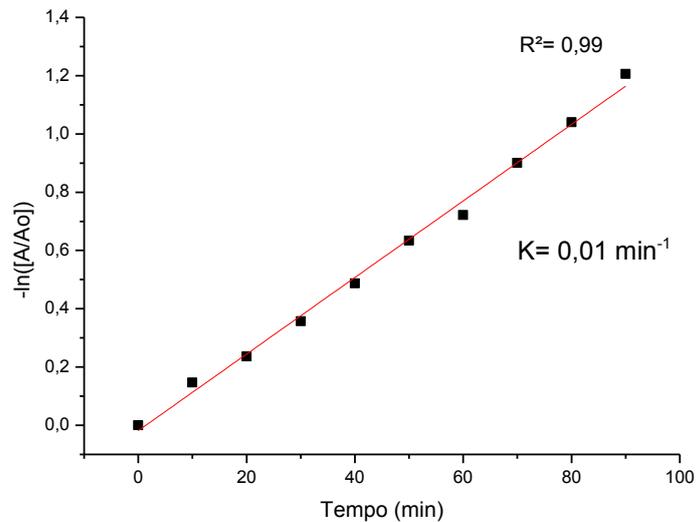


Figura 11 – Cinética do tratamento de solução do corante azul de metileno a concentração de 5,5 mg/L sem uso do catalisador apenas irradiação da lâmpada germicida.

Reações de descoloração e mineralização realizadas por meio de processos envolvendo a fotocatalise heterogênea apresentam uma cinética de pseudo primeira ordem. Nesses casos a cinética envolvida recebe essa classificação quando há um excesso de reagentes com exceção de um, o que ocorre na fotocatalise com a liberação de radicais hidroxila no meio reacional durante todo o tratamento, sendo observado que o excesso

desses radicais confere uma concentração constante durante a reação podendo assim ser classificada dessa maneira. (FRANÇA, 2015).

Como supracitado, durante o estudo da cinética envolvida nesse tratamento se adotou uma regressão linear de $-\ln [A/A_0]$ versos o tempo de reação, além disso os tratamentos foram realizados em duplicata e realizou a normalização da reta nos gráficos plotados. Por meio da Tabela 1 é possível evidenciar o aumento crescente da cinética nas reações com TiO_2 , além de ser observado a alcalinidade do meio ou seja um maior pH favorece o aumento da velocidade da reação.

Tabela 1 - Cinética dos tratamentos. Análise das variáveis: tempo, catalisador e pH.

Tempo (min)	Lâmpada germicida	TiO₂	pH	K (min⁻¹)
100	On	-	Sem ajuste	0,01
20	On	100 mg/L	3	0,13
20	On	100 mg/L	Sem ajuste	0,15
20	On	100 mg/L	10	0,40

Ao se analisar os dados obtidos pelo tratamento em pH diferente, foi possível constatar que para uma aplicação prática, um pH sem ajuste seria a melhor escolha devido ser observado valores bem próximos de degradação do corante azul de metileno ao ser submetido pelo tratamento com pH = 10 e pH = 7,4.

5. CONCLUSÃO

Por meio dos processos fotocatalíticos é possível utilizar-se de radiação luminosa incidindo-a no meio reacional para ativação dos chamados catalisadores, afim de gerar a liberação de radicais O_2^- e OH^* , sendo estes poucos seletivos atacando diferentes substâncias presentes na carga orgânica dos efluentes.

Ao se comparar fatores como o pH do meio reacional constata-se o aumento da eficiência ao se considerar um pH controlado afim de se otimizar o tratamento utilizando o TiO_2 em conjunto com irradiação de fonte luminosa capaz de ativar a atividade fotocatalítica desse óxido, evidenciando melhoras na eficiência do tratamento relacionadas a alcalinidade do meio, fator que pode representar um diferencial no desempenho da técnica frente ao método de tratamento escolhido na descoloração de corantes como o azul de metileno.

Outro fator constatado é a maior velocidade de reação nos primeiros minutos de tratamento relacionado a cinética da reação, na qual foi evidenciado uma queda elevada na degradação do corante no início do tratamento e logo após a estabilização da reação envolvendo o corante de estudo e o uso do catalizador TiO_2 .

Nesse aspecto conclui-se a possibilidade de utilização da fotocatalise heterogênea na purificação da água residual industrial utilizando como insumo o catalisador TiO_2 , tendo em vista os resultados obtidos nos experimentos e análises, onde comprovou-se a eficiência dos métodos de estudo por meio da descoloração do corante azul dimetileno relacionando-a degradação da substância e quebra de suas ligações químicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, C.; Química Ambiental, 2ª ed., Bookman: Porto Alegre, 2002

BERTAZZOLI, Rodnei; PELEGRINI, Ronaldo. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. **Química Nova**, Campinas - Sp, v. 25, n. 3, p.477-482, 10 out. 2001.

CARDOSO, C. F. **Avaliação da esterilização de filme de polietileno com peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 30 maio 2019.

DUARTE, E. T. F. M.; XAVIER, T.P.; SOUZA, D.R.; MIRANDA, J.A.; MACHADO, A.E.H; JUNG, C.; OLIVEIRA, L.; SATTLER, C. Construção e estudos de performance de um reator fotoquímico tipo CPC ("Compound Parabolic Concentrator"). **Química Nova**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p.921-926, 2005.

KUNZ, A.; ZAMARA, P. P.; MORAES, S. G.; DURÀN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25. n. 1. p. 78-82, 2002.

FRANÇA, M. D. **Síntese e caracterização de óxidos semicondutores com atividade fotocatalítica ampliada, para aplicação em fotocatalise heterogênea solar**. 2015. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

FERREIRA, I. V. L. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário**. 2005. 187 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

LIMA, A., GRACETTO, A., BIONDO, C. E. G., BATISTELA, V., HIOKA, N., SEVERINO, D., MACHADO, A. E. da H., RODRIGUES, M. R., OLIVEIRA, H. P. M. **Efeito do Solvente Sobre as Propriedades Espectroscópicas do Azul de Metileno**. XI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE

PÓS-GRADUAÇÃO – UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, 2007, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos, São Paulo, 2007

MELO, M. B. S. Aplicação da Fotocatálise Heterogênea no Tratamento de Efluentes de Lavagem do Biodiesel. In: CONGRESSO QUÍMICO DO BRASIL, 2010. João Pessoa. **Anais...** Joao Pessoa, 2010.

MORAES, S.G., PERALTA-ZAMORA, P., ESPOSITO, E. e DURÁN, N. **Degradação enzimática de corantes e efluentes derivados da indústria têxtil.** In: REUNIÃO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO MEIO AMBIENTE, 1, 1996, Campinas. **Anais...** Campinas:UNICAMP.1997. 276p. p.121-128.

NOGUEIRA R. F. P., JARDIM W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova.** Campinas – SP, v. 21, n. 1, p. 69-72, Jul. 1997.

OLIVEIRA, C. A. S. **Tratamento de corante têxtil por eletrólise, fotólise e fotocatalise utilizando LED UV.** 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, São Paulo, 2013.

PELAEZ, M.; NOLAN, N.T.; PILLAI, S.C.; SEERY, M.K.; FALARAS, P.; KONTOS, A.G.; DUNLOP, P.S.M.; HAMILTON, J.W.J; BYRNE, J.A; O'SHEA, K.; ENTEZARI, M.H.; DIONYSIOU, D.D.; **A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications.** v. 125, n.1, p. 331-339, Aug. 2012. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apcatb>. Acesso em: 30 abr. 2019.

RUAS, D. B. **Aplicação do processo oxidativo avançado H₂O₂/UV como pós-tratamento de reator anaeróbio em efluentes de indústrias de celulose kraft branqueada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2008.

SILVA, J. S. **Redução fotocatalítica de hg (ii) e remoção de corantes em águas residuais.** 98f. 2012. **Dissertação (Mestrado em Química)** - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

WATTS, R. J.; SUNGHO, K.; ORR, M.P.; MILLER, G.C.; HENRY, M.B. Photocatalytic inactivation of coliform bacteria and viruses in secondary wastewater effluent. **Water Research**, v.29, n.1, p.95-100, Jan. 1995.

PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro Zero: Uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Química Nova**, São Paulo - Sp, v. 28, n. 1, p.130-136, 2005.

YASSUMOTO, L.; MONEZI, N. M.; TAKASHIMA, K. Descoloração de alguns azocorantes por processos de fotólise direta e H₂O₂ /UV. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 30, n. 2, p.117-124, jul./dez. 2009.