



Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
134	Impactos das tecnologias na engenharia química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira	
Pedro Henrique Trindade Dias Cabral	
Roberta Resende Maciel da Silva	
Carla Torres Dias	
José Renato Guimarães	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901041	
CAPÍTULO 2	8
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller	
Letícia Mara Milani	
Anderson Giehl	
Évelyn Taize Barrilli	
Letícia Deoti	
Ana Carolina Lucaroni	
Viviani Tadioto	
Helen Treichel	
Sérgio Luiz Alves Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3191901042	
CAPÍTULO 3	23
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira	
Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos	
Brunno Ferreira dos Santos	
Filipe Alves Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3191901043	
CAPÍTULO 4	29
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra	
Enylson Xavier Ramalho	
Lina María Grajales Agudelo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901044	
CAPÍTULO 5	40
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901045	

CAPÍTULO 6	51
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901046	
CAPÍTULO 7	58
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901047	
CAPÍTULO 8	63
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.3191901048	
CAPÍTULO 9	68
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901049	
CAPÍTULO 10	74
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010410	

CAPÍTULO 11 79

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo
Yuri Naidon Favero
Mariany Costa Deprá
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios
Rosangela Rodrigues Dias
Mariane Bittencourt Fagundes
Roger Wager
Leila Queiroz Zepka
Eduardo Jacob-Lopes

DOI 10.22533/at.ed.31919010411

CAPÍTULO 12 85

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA

Maria Lúcia Ferreira Simeone
Patrícia Abraão de Oliveira
Kirley Marques Canuto
Rafael Augusto da Costa Parrella
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert

DOI 10.22533/at.ed.31919010412

CAPÍTULO 13 90

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO

Flávia Souza Pio
Letícia Tamara Santana
Lorena Kelly Corrêia
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010413

CAPÍTULO 14 97

RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA

Samuel Conceição Oliveira
Felipe Coelho Morilla

DOI 10.22533/at.ed.31919010414

CAPÍTULO 15 104

SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Welban Ricardo Ursino
Samuel Conceição Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.31919010415

CAPÍTULO 16 114

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf
Isabela Silveira Tobias Perassi
Nadine de Assis
Fulvy Antonella Venturi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.31919010416

CAPÍTULO 17 123

PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich
Bruno Elias Suzart Chamas
Antonio José Gonçalves da Cruz
Roberto de Campos Giordano

DOI 10.22533/at.ed.31919010417

CAPÍTULO 18 129

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone
Taciani do Santos Bella de Jesus
Leonardo Akira Kamimura Oura
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.31919010418

CAPÍTULO 19 137

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto
Gerônimo Barbosa Alexandre
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.31919010419

CAPÍTULO 20 157

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BIODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix
Aline Givisiez de Souza
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010420

CAPÍTULO 21 173

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza
Antônio Augusto Ulson de Souza

DOI 10.22533/at.ed.31919010421

CAPÍTULO 22	178
DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM	
Roque Machado de Senna Thais Santos Henrique Senna Marcelo Linardi	
DOI 10.22533/at.ed.31919010422	
CAPÍTULO 23	187
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE	
Polyana Gomes de Aguiar Daiane Ribeiro Dias Annanda Alkmim Alves Mariana Oliveira Marques João Carlos Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.31919010423	
CAPÍTULO 24	194
ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL	
Aldo Muro Júnior Nicola Pittet Muro Nelson Roberto Antoniosi Filho Maria Isabel Ribeiro Alves	
DOI 10.22533/at.ed.31919010424	
CAPÍTULO 25	213
CAPTURA DE CO ₂ UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING	
Juliana Alves da Silva Ricardo José Chimentão João Batista Oliveira dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.31919010425	
CAPÍTULO 26	224
DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO ₂ UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira José Renato Guimarães Brenda Sedlmaier Costa Coelho Camila Ceravolo de Carvalho Francine Silveira Vieira Luiza Moreira Santos Jorge David Alguiar Bellido	
DOI 10.22533/at.ed.31919010426	

CAPÍTULO 27 232

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH₄

Guilherme Andreoli Gil
Guilherme Otávio Lima
Lucas Mendes Pedro
Bianca Bastos Caruzi
Fabrício Maestá Bezerra
Murilo Pereira Moisés

DOI 10.22533/at.ed.31919010427

CAPÍTULO 28 239

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado
Luciana Rodrigues Machado

DOI 10.22533/at.ed.31919010428

CAPÍTULO 29 249

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani
Renata Piacentini Rodriguez
Leonardo Henrique Soares Damasceno
Gunther Brucha

DOI 10.22533/at.ed.31919010429

CAPÍTULO 30 255

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula
Mayara Costa Franco
Karen Sartori Jeunon Gontijo
Ana Maria de Oliveira
Enio Nazaré de Oliveira Junior

DOI 10.22533/at.ed.31919010430

CAPÍTULO 31 272

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO₃ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi
Fernanda Caroline Drumm
Siara Silvestri
Sérgio Luiz Jahn
Edson Luiz Foletto

DOI 10.22533/at.ed.31919010431

CAPÍTULO 32	281
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva	
Mariéle Schaedler Nascimento	
Matheus Severo Schalenberger	
Joana Bratz Lourenço	
DOI 10.22533/at.ed.31919010432	
CAPÍTULO 33	287
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
DOI 10.22533/at.ed.31919010433	
CAPÍTULO 34	303
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro	
Priscilla Sayuri Nakazawa	
Ana Maria Ferrari	
Ana Claudia Ueda	
DOI 10.22533/at.ed.31919010434	
CAPÍTULO 35	315
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
Mariana de Mattos Vieira Mello Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.31919010435	
CAPÍTULO 36	322
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira	
Marta Cecilia da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZnO , DO ANTIOTIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA

Luiza Barbosa Petersen Mendes

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro

Luciane Pimentel Costa Monteiro

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro

Leandro Vahia Pontual

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a degradação do Metronidazol (MTZ) a partir da fotocatalise, utilizando diferentes doses dos catalisadores ZnO e TiO_2 ($1,0 \text{ g L}^{-1}$ e $1,5 \text{ g L}^{-1}$), tempo de contato e concentração inicial de MTZ. O estudo foi realizado com soluções padrões considerando duas concentrações do MTZ, 6 mg L^{-1} e 24 mg L^{-1} . Os experimentos foram conduzidos em foto-reatores em escala laboratorial utilizando fonte artificial de UV em um período de 120 minutos. A avaliação da presença e concentração do MTZ, bem como os resultados após a fotocatalise, foi realizada através da técnica de espectrofotometria UV-vis. A atividade catalítica de ambos os catalisadores indica que o ZnO apresenta maiores taxas de oxidação que o TiO_2 quando

ambos os catalisadores foram comparados nas mesmas condições. Além disso, foi possível verificar que as concentrações do catalisador e do MTZ influenciam diretamente no resultado, sendo necessário utilizar uma quantidade ótima dos dois para que não haja diminuição na degradação do MTZ. Por fim, o UV/ ZnO foi identificado como uma técnica promissora para a remoção de antibióticos com alta eficiência em um tempo de reação relativamente curto e o melhor resultado foi encontrado no experimento com MTZ 6 mg L^{-1} e $\text{ZnO } 1,0 \text{ g L}^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVES: Antibióticos, metronidazol, fotocatalise heterogênea, espectrofotometria UV-Vis

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the degradation of Metronidazole (MTZ) from photocatalysis using different catalyst dosage of TiO_2 and ZnO ($1,0 \text{ g L}^{-1}$ and $1,5 \text{ g L}^{-1}$), contact time and initial MTZ concentration. The degradation of MTZ was performed from standard solutions with a concentration 6 mg L^{-1} and 24 mg L^{-1} of antibiotic. The experiments were conducted in laboratory scale photo-reactors using artificial source of UV in a period of 120 minutes. An evaluation of the presence and concentration of metronidazole, as well as the results after photocatalysis, was performed through the UV-vis spectrophotometry technique. The catalytic activity of

both catalysts indicates that ZnO presents a higher oxidation rates than TiO₂ when both catalysts were compared under the same conditions. In addition, it was possible to verify that the concentrations of the catalyst and the MTZ directly influence the result, being necessary to use an optimum amount so that there is no decrease in the degradation of MTZ. Finally, UV/ZnO is identified as a promising technique for the removal of antibiotic with high efficiency in a relatively short reaction time and the best result was found in the experiment with MTZ 6 mg L⁻¹ and ZnO 1.0 g L⁻¹.

KEYWORDS: Antibiotics, metronidazole, heterogeneous photocatalysis, UV-vis spectrophotometry

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, crescente atenção tem sido dada a compostos farmacêuticos, já que os mesmos são considerados como uma classe emergente de contaminantes aquáticos que vem sendo detectados em águas subterrâneas e superficiais. (Arias, 2013). A periculosidade ou a toxicidade no ambiente se dá justamente pelas substâncias que geralmente são desenvolvidas com o objetivo de combater determinadas doenças em seres humanos, mas que também podem afetar outros organismos vivos de uma forma ainda pouco estudada.

Estes compostos podem entrar no ambiente aquático após a sua ingestão e subsequente excreção sob a forma de compostos não metabolizados ou sem modificações. Várias pesquisas demonstraram que alguns compostos farmacêuticos não são eliminados durante os tratamentos de águas residuais e também não são biodegradados no ambiente (Kummerer, 2009). De fato, uma grande variedade de compostos farmacêuticos tem sido frequentemente encontrada em estações de tratamento de esgoto e rios em baixas concentrações (Fornazari, 2015; Silva, 2013). A disposição inadequada, como descarte de fármacos indesejados ou em excesso nos sanitários e pias e em lixo comum, acontece com frequência e geralmente contribui de forma significativa para presença dessas drogas em águas residuais, em águas superficiais e em lixiviados de aterros sanitários. Por isso, também se faz necessário tratar adequadamente os efluentes que contem produtos farmacêuticos antes de serem lançados ou tratar águas de admissão para estações de tratamento de água.

Os produtos farmacêuticos contem ingredientes ativos que foram projetados para ter efeitos farmacológicos e conferir benefícios significativos à sociedade. A ocorrência de produtos farmacêuticos no meio ambiente e água potável em níveis de traços (na faixa de nanogramas a baixos microgramas por litro) tem sido amplamente discutida e publicada na literatura na última década. Muitas pesquisas e estudos confirmaram a presença de produtos farmacêuticos em efluentes e águas residuais municipais, e estes foram identificados como uma fonte importante de fármacos na água potável. (Ternes, 1998)

A maioria dos antibióticos administrados entra nas matrizes ambientais por

diferentes maneiras, tais como: escoamento direto e excreção de fezes ou urina como drogas originais não metabolizadas ou metabólitos ativos e produtos de degradação. A ocorrência dos antibióticos acumulados nos ambientes naturais causa adversidades irreversíveis, ameaçando diretamente a função do ecossistema e diminuindo a taxa de degradação de poluentes. Isso também aumenta a resistência de bactérias contra drogas, espalhando os genes de resistência a antibióticos entre populações bacterianas. Esses fenômenos ameaçam a saúde do ser humano. (Ajoudanian, 2015; Nezamzadeh-Ejhieh, 2014).

O metronidazol (MTZ), de nome químico 1-(β - hidroxietil)-2-metil-5-nitroimidazol (Figura 1), pertence à família dos nitroimidazóis e é usado no tratamento de infecções causadas pela bactéria anaeróbia e protozoários tais como: *Trichomonas vaginalis* e *Giardia lamblia* (Freeman et al, 1994). Esse composto é o principal fármaco do grupo do nitroimidazóis, possuindo atividade tóxica contra microorganismos, atacando a molécula de DNA dos mesmos (Bendesky et al, 2002). MTZ tem alta toxicidade, potencial mutagenicidade e efeitos carcinogênicos e, por isso, a sua eliminação das amostras de água/águas residuais é uma questão importante a ser pesquisada. Em geral, muitos antibióticos e outros poluentes orgânicos são não biodegradáveis e difíceis de serem completamente removidos da água/águas residuais por diferentes métodos como adsorção, ozonização, etc. Conseqüentemente, tais compostos podem acumular no meio aquático e causar algumas infecções consideráveis para os seres humanos (Derikvandi, 2017).

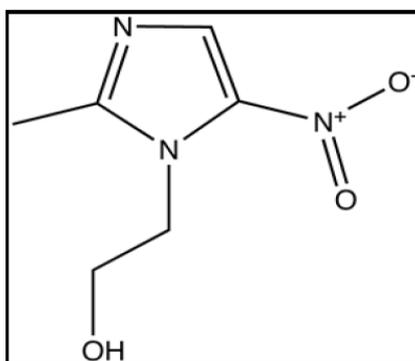


Figura 1: Fórmula estrutural do metronidazol

Os métodos empregados atualmente nas estações de tratamento de esgoto (ETE) e de água (ETA), tais como processos físicos, químicos e biológicos, não são suficientes para a remover totalmente estas substâncias. No Brasil, assim como em diversos países em desenvolvimento, existe uma expectativa maior de aparecimento de moléculas orgânicas complexas nas águas naturais por consequência da falta de sistemas públicos de coleta de esgoto. Segundo os dados mais recentes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), divulgados em janeiro de 2017 e referentes a 2015, apenas 50,3% dos brasileiros têm acesso à coleta de esgoto, o

que significa que mais de 100 milhões de pessoas utilizam medidas alternativas para lidar com os dejetos – seja através de uma fossa, seja jogando o esgoto diretamente em rios.

Uma das alternativas disponíveis, com grande potencial de aplicabilidade para contornar os problemas ambientais provenientes da poluição causada por compostos farmacêuticos, são os Processos Oxidativos Avançados (POAs). Estes processos se baseiam na geração de radicais livres (radical hidroxila – OH[•]) que possuem elevado potencial de oxidação e rápida cinética de reação que acarretam grande capacidade de mineralizar completamente os microcontaminantes e não somente a sua transferência de fase.

A fotocatalise recebeu grande importância nos últimos anos devido ao seu potencial para destruir uma ampla gama de poluentes inorgânicos em condições ambientais, sem a produção de produtos nocivos (Nezamzadeh-Ejhi, 2014). Além disso, a fotocatalise baseada em materiais semicondutores é um método bem sucedido de fotodegradação de poluentes orgânicos presentes na água e nas águas residuais. Neste método, os pares de elétrons foto gerados (e⁻/h⁺) durante a irradiação de um material semicondutor por UV ou fóton visível reagem com oxigênio dissolvido e moléculas de água para produzir radicais superóxido e hidroxila, respectivamente, como oxidantes poderosos para destruir as moléculas orgânicas em fragmentos menores e, finalmente, em água e dióxido de carbono (Esmaili-Hafshejani, 2016; Derikvandi, 2017).

Entre vários semicondutores, o TiO₂ e ZnO tem sido utilizados como opções eficazes, baratas e não tóxicas para produção de fotocatalisadores para a degradação de uma ampla gama de diferentes poluentes nos últimos anos (Nezamzadeh-Ejhi, 2014). O TiO₂ (como composto estável para foto corrosão e corrosão química) provou ser o mais adequado para aplicações ambientais generalizadas. A banda de valência (E_{VB}) e as energias da banda de condução (E_{CB}) do TiO₂ são, respectivamente, estimado cerca de +3,1 e 0,1 V, o que significa que a sua energia de gap é de 3,2 eV, que pode absorver na região UV (comprimento de onda λ < 387 nm) (Zabihi-Mobarakeh, 2015). Embora o ZnO seja menos estudado, apresenta resultados promissores devido a sua atividade eletrônica semelhante ao TiO₂. Além disso, o ZnO recebeu recentemente mais atenção devido a sua boa estabilidade ambiental, ao seu baixo custo e alta atividade em diversos processos fotoquímicos, apresentando uma energia de band gap semelhante à do TiO₂ (3,2 eV) (Esmaili-Hafshejani, 2016). Alguns trabalhos publicados mostraram que o ZnO apresenta maior eficiência que o TiO₂ na degradação de alguns contaminantes. (Machado, 2011).

O processo fotocatalítico é iniciado quando um semicondutor absorve fótons com uma energia igual ou superior à sua banda, promovendo os elétrons da banda de valência ao nível de energia da banda de condução (Eq. (1)). Os elétrons na banda de condução (e⁻_{CB}) podem se recombinar com as vacâncias foto geradas (buracos, h⁺_{VB}), diminuindo a eficiência do processo fotocatalítico (Eq. (2)). Por outro lado, os elétrons podem migrar para a superfície da partícula do catalisador sendo aprisionada

por moléculas de oxigênio adsorvidas, formando assim o ânion superóxido ($O_2^{\cdot-}$) aumentando a eficiência do processo (Eq. (3)). Em paralelo, as vagas geradas na banda de valência (h^+_{VB}) podem ser retidas na superfície do catalisador, promovendo a divisão de moléculas de água adsorvidas ou de ânions hidróxidos gerando radical hidroxila (HO^{\cdot}) (Eqs. (4) e (5)). Esses radicais hidroxila foram considerados os responsáveis pela oxidação da matéria orgânica devido a sua alta capacidade de oxidação. Finalmente, os buracos podem oxidar diretamente a matéria orgânica adsorvida conduzindo a intermediários oxidados (Eq. (6)) (Palominos et al, 2009):



Muitos experimentos indicam que a oxidação fotocatalítica de degradação de contaminantes pode ser avaliada a partir do modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood (L-H) para reações unimoleculares. O modelo de L-H identifica três etapas principais: adsorção do reagente na superfície do catalisador, reação superficial e dessorção dos produtos, sendo a etapa de reação superficial mais lenta e responsável pela cinética da reação. A equação proposta por L-H modela um mecanismo de reação em que coexistem dois parâmetros: pré- equilíbrio de adsorção e reação superficial lenta. Matematicamente, a taxa de reação observada apresenta uma dependência com as concentrações do soluto pela expressão abaixo (MACHADO, 2011).

$$-r_i = -\frac{dC_i}{dt} = \frac{\kappa_s \cdot K \cdot C_i}{1 + K \cdot C_i} \quad (7)$$

Onde:

$-r_i$ = taxa de reação

κ_s = velocidade específica da reação superficial

C_i = concentração do reagente

K = constante de adsorção do reagente na superfície do catalisador

Para sistemas onde o reagente encontra-se suficientemente diluído o termo $K C_i$ no denominador pode ser desprezado, pois é muito menor que 1 (MACHADO, 2011). Desta maneira, a equação fica:

$$-r_i = -\frac{dC_i}{dt} = \kappa_s \cdot K \cdot C_i \quad (8)$$

$$\ln\left(\frac{C_{i0}}{C_i}\right) = \kappa_s \cdot K \cdot t = \kappa \cdot t \quad \text{ou} \quad C_i = C_{i0} \cdot e^{-\kappa t} \quad (9)$$

Nesta última equação as constantes de reação superficial (κ_s) e de equilíbrio de adsorção (K) são contidas em uma única constante k , denominada de constante cinética aparente da reação. O gráfico de $\ln C_{i0}/C_i$ versus tempo representa uma linha reta, sendo k dado pelo coeficiente angular (MACHADO, 2011).

Neste contexto, o principal objetivo desse trabalho foi avaliar a degradação do antibiótico metronidazol (MTZ) pelo processo de fotocatalise heterogênea a partir da técnica de espectrofotometria UV/Visível. Os experimentos fotocatalíticos foram realizados, utilizando o TiO_2 e ZnO como catalisadores, em um sistema contínuo com recirculação total. As taxas de degradação e eficiência foram comparadas e discutidas, com base no tempo, entre as duas concentrações definidas do MTZ (6 e 24 mg L^{-1}) e dos catalisadores (1,0 e 1,5 g L^{-1}).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O metronidazol (100% de pureza) foi fornecido por uma empresa farmacêutica. Óxido de zinco P.A. (pureza mínima 99%) e dióxido de titânio (com grau de pureza de 99,4%, coloração branca e na forma de pó) foram adquiridos da Synth e utilizados sem mais purificação. NaOH 1 M e H_2SO_4 1 M foram obtidos da Merck e usados para ajustar o pH. A solubilização e as diferentes concentrações foram preparadas em água deionizada (DI).

2.2 Procedimento experimental

Uma alíquota de 100mL da solução aquosa do MTZ foi colocada em um erlenmeyer de 250 mL erlenmeyer junto com catalisador, a solução foi misturada por um agitador magnético. O pH foi ajustado até 7,0 a partir das soluções de H_2SO_4 1M e NaOH 1M. A solução foi mantida no escuro por 30 minutos com o intuito de alcançar o equilíbrio de adsorção na superfície do catalisador. Os experimentos fotocatalíticos foram realizados em um reator de fluxo em escala laboratorial, o qual não concentra irradiação UV e baseia-se na irradiação de uma lâmina de solução. O composto-alvo passa em fluxo dentro de mangueiras de silicone e tubos de vidro delgado. (Figure 2a).

Esse processo ocorreu dentro de uma incubadora (Figura 2b) para garantir a temperatura do processo em 20°C a fim de eliminar mais uma variável no estudo, ou seja, para que o experimento ocorresse sem a interferência da temperatura, e também

evitar o caimento da taxa global de reação. E foi equipado com duas fontes de UV que possuem 2 lâmpadas de emissão de radiação UV (Figura 2c), uma de onda curta (254 nm) e a outra de onda longa (365 nm), ambas de 6W de potência. Elas foram colocadas uma em cada lado dos tubos delgados onde estava passando a solução de MTZ.

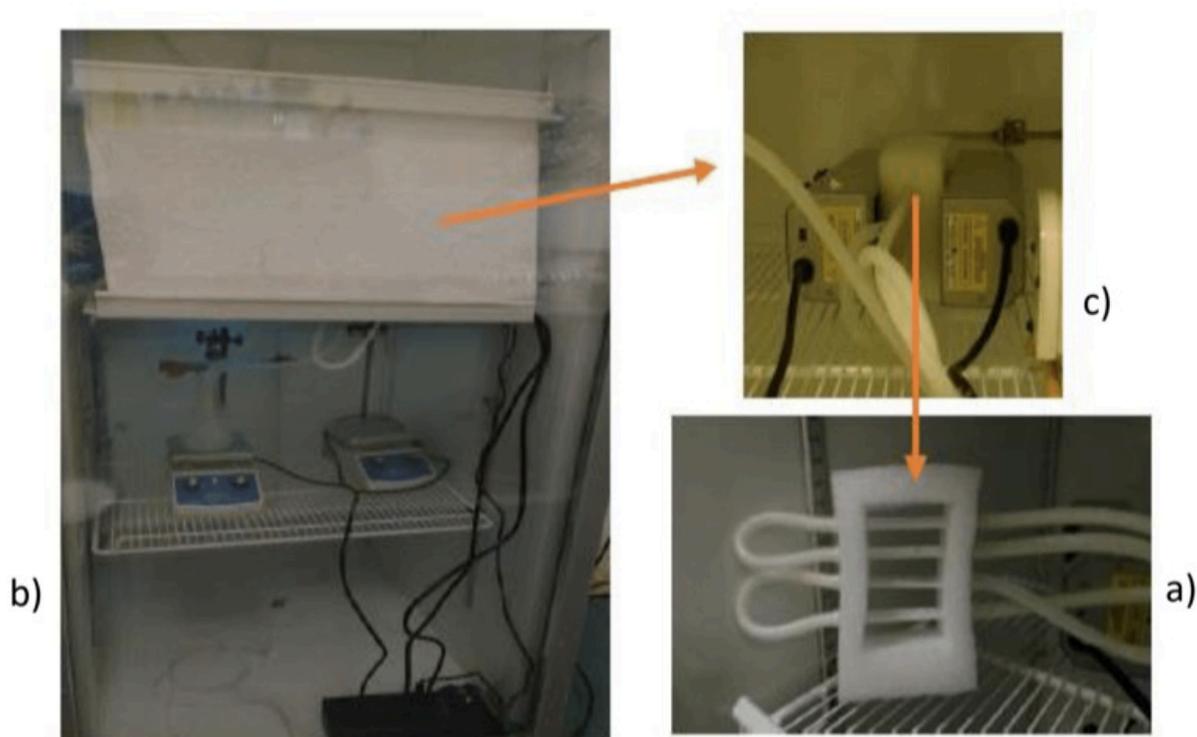


Figura 2: Esquema do reator fotocatalítico

2.3 Parâmetros operacionais

A concentração da solução do MTZ foi definida a partir de dados da literatura, considerando que a dose excretada de MTZ não modificado é considerada de 6-18% (Lansky and Halling-Sorensen, 1997), e também a partir de estudos feitos em laboratório a fim de definir os melhores parâmetros a serem utilizados no estudo em questão.

As concentrações dos catalisadores TiO_2 e ZnO foram definidas a partir de dados da literatura e de estudos feitos a fim de definir os valores ideais para o estudo. O aumento da concentração do catalisador acima de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ produz uma melhoria na degradação do antibiótico. Desta forma, para uma solução de metronidazol de 6 e 24 mg L^{-1} , as concentrações estudadas dos catalisadores foram $1,0 \text{ g L}^{-1}$ e $1,5 \text{ g L}^{-1}$ (Shemer et al, 2007; Palominos et al, 2009).

O pH é considerado um fator importante, pois influencia a propriedade de carga da superfície do semicondutor. A partir dos dados da literatura (Shemer et al, 2007; Palominos et al, 2009) e, considerando o cenário da Estação de Tratamento de Esgoto, o pH estudo foi definido entre 6,5 e 7,0 para os dois catalisadores.

2.4 Método analítico

Com a finalidade de se obter informações sobre absorção na região do visível da solução de MTZ, foram testadas algumas condições de análise, variando a concentração do MTZ no meio.

A avaliação foi realizada para acompanhar a degradação do metronidazol usando a técnica de espectrofotometria de absorção no UV/visível através do equipamento Espectrofotômetro Shimadzu UV 1800, caminho óptico de 10 mm, varredura em comprimentos de onda de 190 a 1100 nm. As análises foram realizadas a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Após o período de equilíbrio, as lanternas e o agitador foram ligados. Uma amostra de 10 mL foi retirada a cada 30 minutos e conservada em recipiente escuro para posterior análise. Durante os experimentos, a solução do reator foi constantemente agitada e mantida a uma temperatura de 20°C por 120 minutos no máximo. A amostra foi filtrada usando membrana de filtração de $0,2\ \mu\text{m}$ para eliminação do catalisador. A determinação quantitativa da concentração de MTZ foi realizada usando espectrofotômetro. Todos os experimentos foram realizados em duplicata e os valores médios são citados como resultados com o erro padrão não excedendo 5%.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5 Espectro MTZ

Os resultados obtidos para o comportamento espectrométrico do MTZ com o objetivo de elucidar melhor o mecanismo de absorção desse analito em diferentes concentrações. Os testes demonstraram que o composto apresenta máxima absorbância em 320 nm e que o espectro não se modifica em diferentes meios, conforme observado na Figura 3.

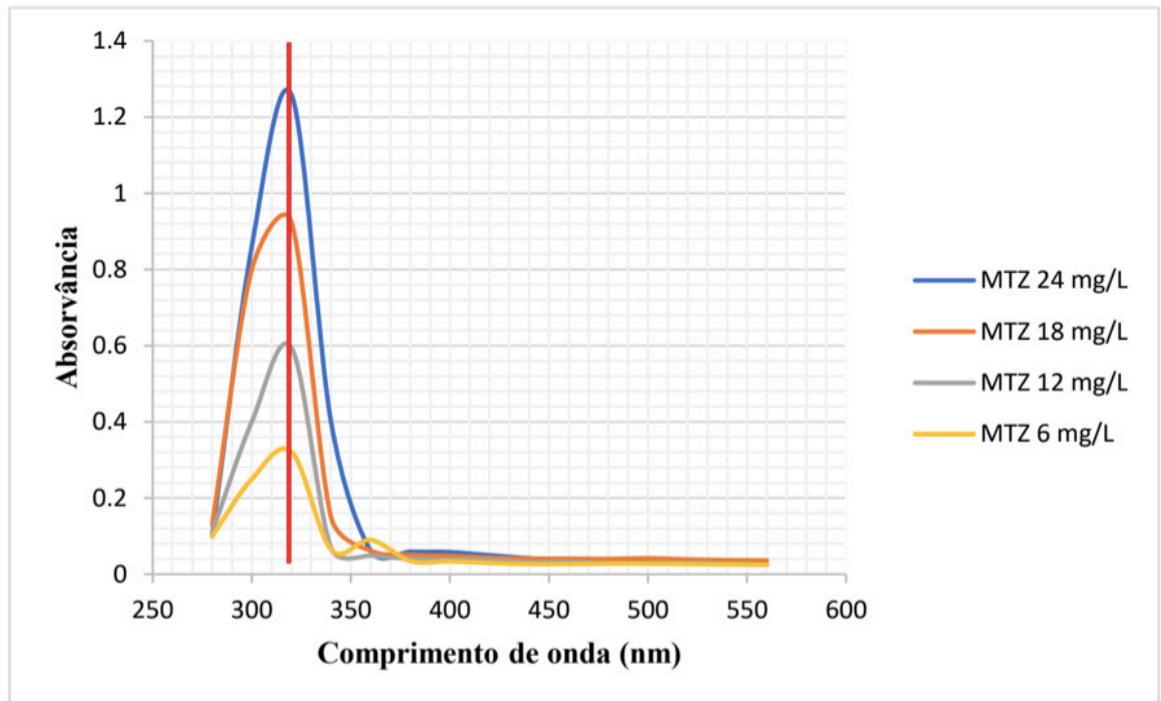


Figura 3: Espectros de absorção UV-Vis na presença de diferentes concentrações de MTZ

Foi possível verificar que o composto sofreu aumentos da absorbância quando as concentrações foram aumentando e que não houve modificação significativa no perfil espectral. Não foram identificadas mudanças como o deslocamento do lambda máximo, ou aumento da linha base.

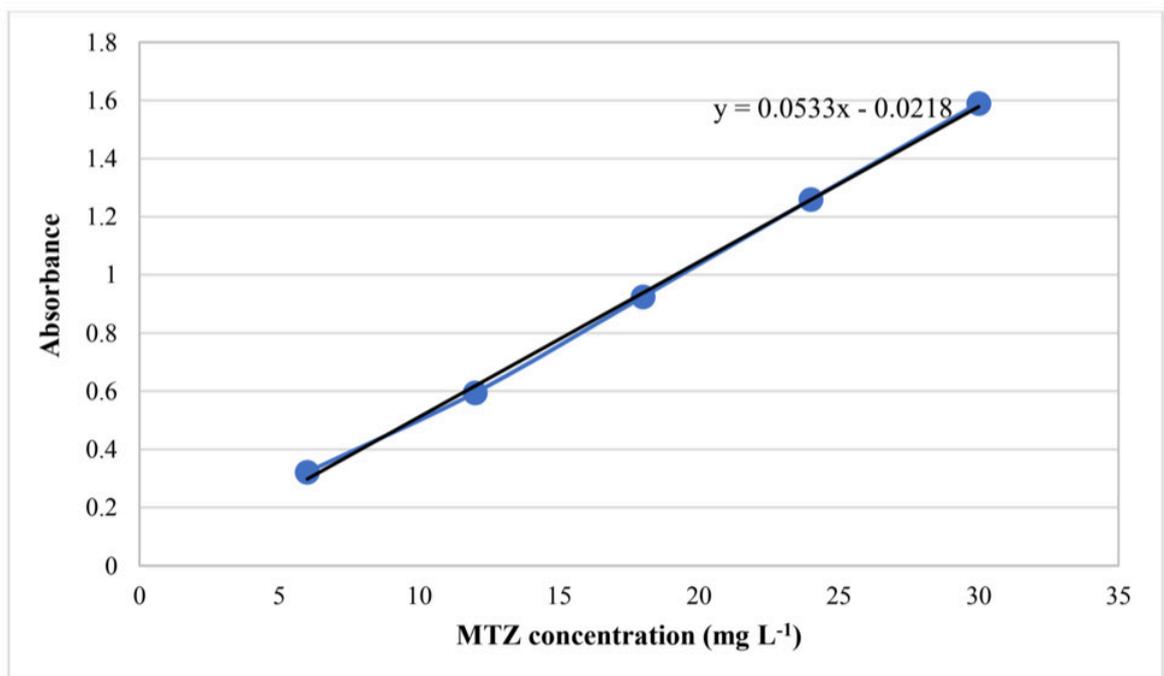


Figura 4: Curva analítica do MTZ, considerando as concentrações 6, 12, 18, 24 e 30 mg L⁻¹ (R² = 0,9986)

A lei fundamental da espectrofotometria é a Lei de Beer-Lambert, comumente

chamada de Lei de Beer. Esta lei relaciona a absorvância (A) com a concentração (c) da espécie absorvente, de acordo com a expressão: $A = \epsilon lc$, sendo ϵ a absorvidade e l a distância pela qual a luz se desloca. Sabendo que $l = 1$ cm, a equação fica: $A = \epsilon c$.

Com ajuste da curva da Figura 4 é possível determinar a absorvidade do MTZ a partir do coeficiente angular ($K=0,0533$) resultante do ajuste, como demonstrado abaixo:

$$\epsilon = K/l = 0,0533/1 = 0,0533 \text{ L/mg.cm} = 53,3 \text{ L/g.cm} \quad (10)$$

A partir do valor da absorvidade, pode-se calcular a absorvidade molar multiplicando pela massa molar do MTZ, como demonstrado a seguir:

$$\epsilon = 53,3 \times 171 = 9114,3 \text{ L/mol.cm} \quad (11)$$

Estas informações são importantes para verificar a capacidade ou não do MTZ absorver a radiação UV, pois pode afetar negativamente o desempenho do fotocatalisador nas reações fotocatalíticas, visto que o MTZ se tornaria um concorrente para o fotocatalisador na captação da radiação.

Portanto, este resultado mostra que grande parte da radiação UV será absorvida pelo MTZ nas reações de fotocatalise, já que a sua absorvidade molar é elevada e isso implica diretamente na eficácia da absorção de luz pela substância. Dessa forma, pode-se concluir que a técnica é adequada para a determinação da degradação do MTZ e que baixas concentrações de substâncias podem facilmente ser detectadas.

3.6 Avaliação de degradação do MTZ

A avaliação da degradação foi realizada com base na redução da absorvância em um comprimento de onda de 320 nm. A amostra foi coletada no momento inicial (tempo 0), antes do processo de fotocatalise, e a cada 30 minutos até completar 120 minutos de reação.

3.6.1 Processo UV/ZnO

Para observar o efeito da concentração de ZnO foi fixada em $1,0 \text{ g L}^{-1}$ e $1,5 \text{ g L}^{-1}$. As condições experimentais foram baseadas em duas concentrações diferentes de MTZ, pH 6,5 e tempo de irradiação de 120 minutos. A Figura 5 mostra o efeito da concentração do catalisador ZnO na fotodegradação, considerando a concentração de MTZ como 24 mg L^{-1} . Já a Figura 6 mostra o efeito da concentração do catalisador ZnO na fotodegradação, considerando a concentração de MTZ como 6 mg L^{-1} .

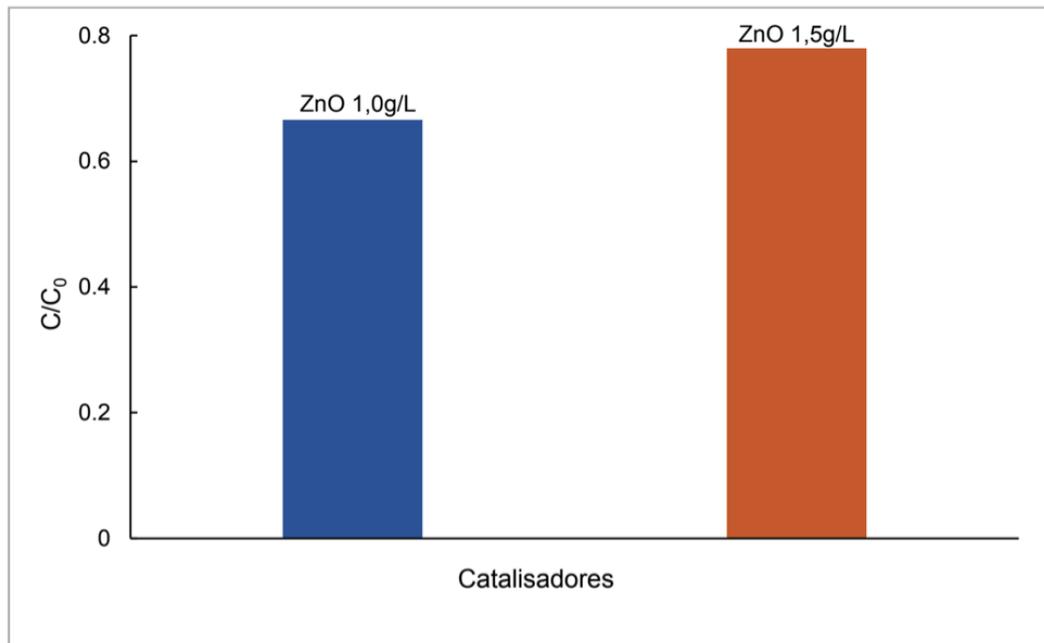


Figura 5: Efeito da concentração do catalisador ZnO na fotodegradação do MTZ (24 mg L⁻¹), pH 6,5

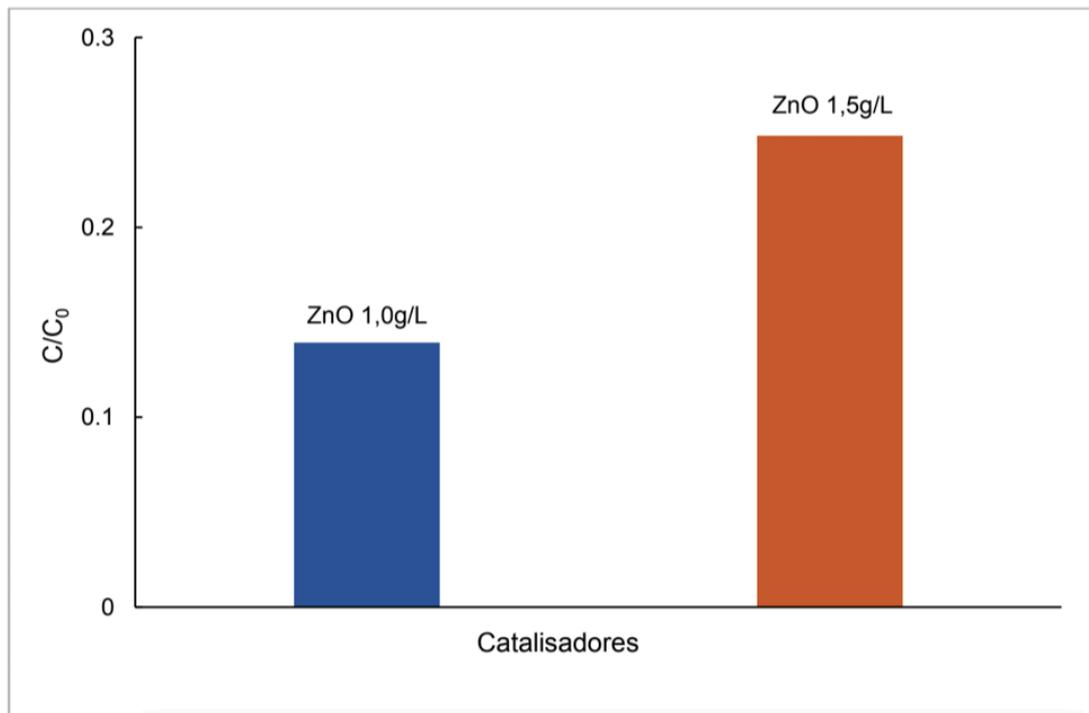


Figure 6: Efeito da concentração do catalisador ZnO na fotodegradação do MTZ (6 mg L⁻¹), pH 6,5

A partir das Figuras 5 e 6 é possível afirmar que a concentração de MTZ diminui em todos os experimentos, apresentando melhor resultado no caso onde a amostra continha MTZ 6 mg L⁻¹ e ZnO 1,0 g L⁻¹.

3.6.2 Processo UV/TiO₂

As mesmas condições dos experimentos do catalisador ZnO foram utilizadas no caso da reação catalisada por TiO₂. A Figura 5 mostra o efeito da concentração

do catalisador TiO_2 na fotodegradação, considerando a concentração de MTZ como 24 mg L^{-1} . Já a Figura 6 mostra o efeito da concentração do catalisador TiO_2 na fotodegradação, considerando a concentração de MTZ como 6 mg L^{-1} .

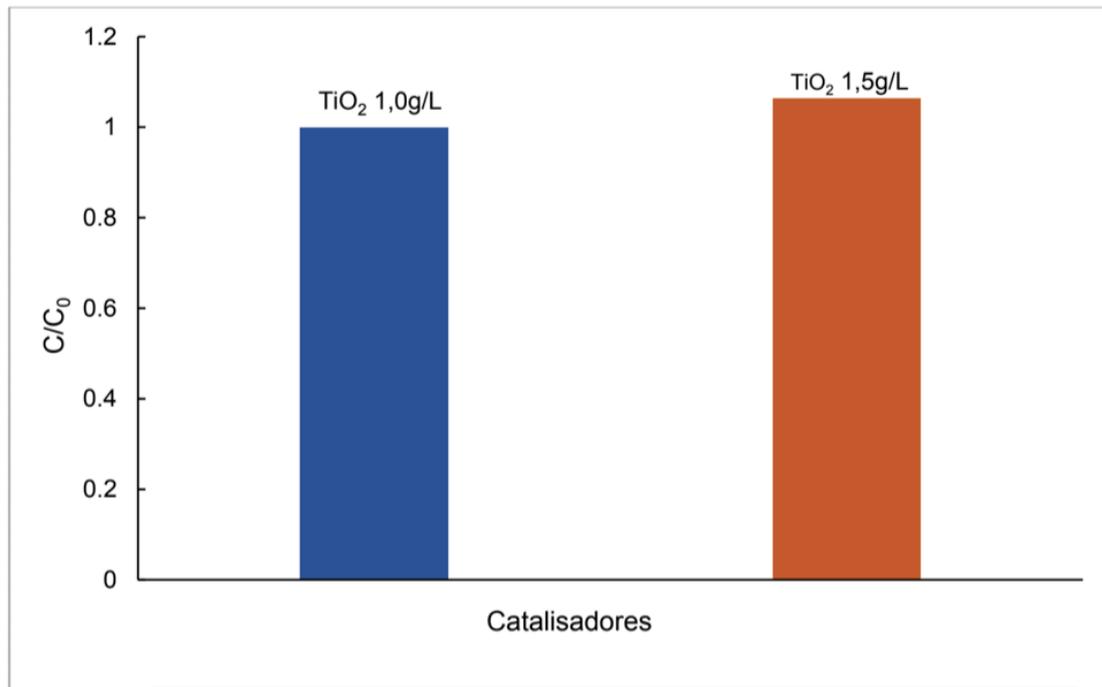


Figure 7: Efeito da concentração do catalisador TiO_2 na fotodegradação do MTZ (24 mg L^{-1}), pH 6,5

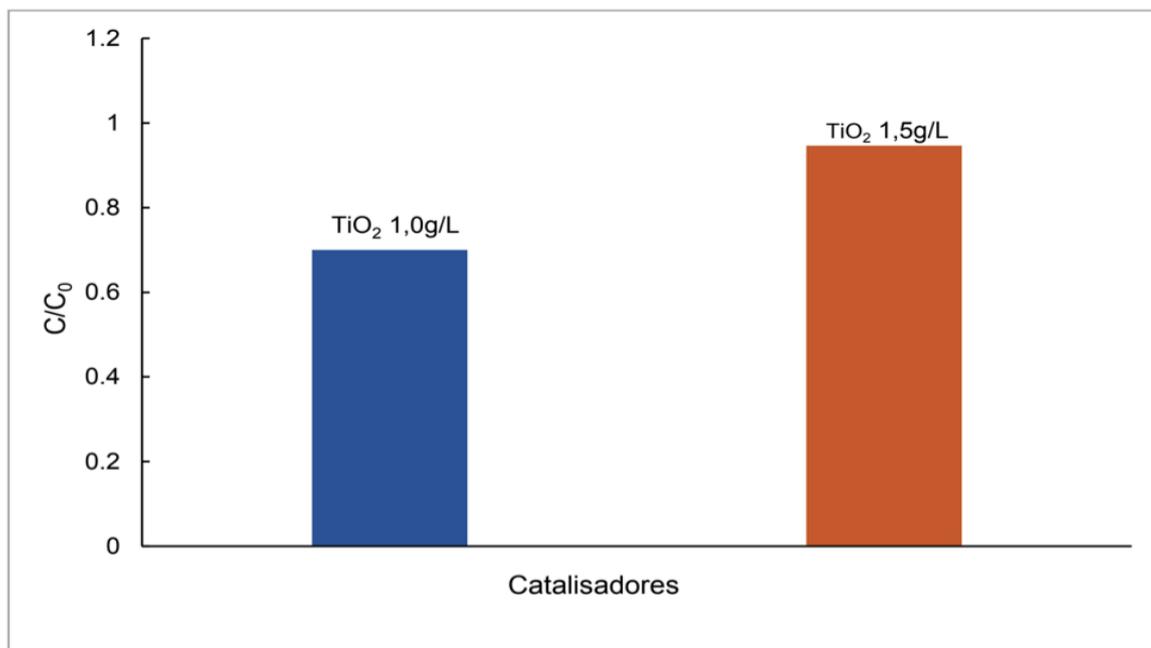


Figure 8: Efeito da concentração do catalisador TiO_2 na fotodegradação do MTZ (6 mg L^{-1}), pH 6,5

A partir das Figuras 7 e 8 é possível verificar que não houve alteração significativa na concentração do MTZ ao longo, exceto no caso onde a amostra continha 6 mg L^{-1} e ZnO $1,0 \text{ g L}^{-1}$.

A presença de TiO_2 nas amostras após a filtração foi provavelmente o fator

determinante que impediu a leitura correta das concentrações de MTZ durante o processo de fotocatalise. Mesmo com todos os cuidados experimentais, observou-se que a purificação completa das amostras não pode ser obtida com o equipamento disponível no laboratório. Portanto, não foi possível tirar conclusões satisfatórias sobre os experimentos com TiO_2 suspenso, pois os resultados dos experimentos não mostraram variações significativas.

Portanto, a reação fotocatalítica utilizando ZnO apresentou os melhores resultados, principalmente o experimento da amostra de MTZ 6 mg L^{-1} e ZnO $1,0 \text{ g L}^{-1}$. Por outro lado, as reações com TiO_2 não mostraram bons resultados. Os resultados obtidos nesses experimentos não apresentaram reprodutibilidade confiável, uma vez que os valores obtidos apresentaram grande discrepância entre eles.

De acordo com estudos já realizados, a degradação aumenta com o aumento da concentração do catalisador, pois aumentando a quantidade do catalisador o número de sítios ativos aumenta na superfície do fotocatalisador e também provoca um aumento no número de radicais OH que podem participar na degradação na solução do poluente. No entanto, o aumento na concentração do catalisador acima da quantidade ótima provoca uma redução na taxa de degradação por causa dos efeitos de espalhamento e triagem de luz. Assim, pode-se concluir que o aumento da concentração do catalisador acima do valor ideal pode não ser vantajoso tanto em vista da agregação das partículas do catalisador quanto da redução do campo de irradiação devido aos fenômenos de dispersão da luz (Nezamzadeh-Ejhieh, 2013). A quantidade de fotocatalisador a ser usado deve manter um equilíbrio entre esses efeitos opostos.

Já o aumento da concentração de MTZ, até uma quantidade ótima, aumenta a eficiência da degradação. Como a vida dos radicais hidroxila é muito curto (apenas alguns nanossegundos), eles só podem reagir onde eles são formados. O aumento da quantidade de moléculas de MTZ por volume aumenta consequentemente a probabilidade de colisão entre matérias e espécies oxidantes, levando a um aumento na degradação. É provável que a eficiência da degradação diminua com um aumento da concentração inicial do MTZ acima de 24 mg L^{-1} . A diminuição da degradação com o aumento da concentração de MTZ pode ser devido a duas razões. Com quantidades crescentes de MTZ, mais moléculas de MTZ serão adsorvidas na superfície do fotocatalisador e os sítios ativos do catalisador serão reduzidos. Portanto, com o aumento da ocupação da superfície do catalisador, a geração de radicais hidroxila será diminuído. Além disso, o aumento da concentração de MTZ pode levar a redução do número de fótons que chegam à superfície do catalisador. Quanto mais luz for absorvida por moléculas de MTZ, mais a excitação de partículas fotocatalíticas por fótons será reduzida. Como resultado, a luz incidente será largamente desperdiçada e aumentará a excitação do radical precursor. Estas são as maiores razões prováveis para a redução da degradação fotocatalítica em comparação com o aumento da concentração do MTZ (Nezamzadeh-Ejhieh, 2010). Portanto, acima de uma quantidade ótima, a adsorção pode tornar-se tão alta que pode interferir no processo fotocatalítico

subsequente, uma vez que os fótons gerados podem não conseguir atingir a superfície catalítica devido ao bloqueio promovido pela substância orgânica.

4 | CONCLUSÃO

Considerando todos os experimentos, observou-se que o melhor resultado foi a amostra contendo MTZ 6 mg L⁻¹ e ZnO 1,0 g L⁻¹. Entretanto, os experimentos realizados com TiO₂ não apresentaram um bom resultado de degradação, uma vez que não houve redução significativa na concentração de MTZ.

A não degradação de amostras contendo TiO₂ pode ter ocorrido devido à deposição do catalisador nos tubos de vidro finos, diminuindo assim a eficiência do processo e devido à concentração dos catalisadores acima do ideal após a filtração. Sistemas fotocatalíticos operados com o catalisador em suspensão podem gerar maiores taxas de degradação do fármaco, de acordo com a literatura, mas a separação do catalisador ao final do processo torna-se mais trabalhosa e na maioria das vezes não é satisfatória, pois muitas partículas finas o catalisador permanece na solução final. Outro ponto é que o catalisador de TiO₂, de acordo com a literatura, pode ser restrito na presença de radiação ultravioleta devido a sua alta band-gap, explorando menos de 5% do espectro solar.

Portanto, é necessário avaliar outras formas para que não haja interferência e iniciar novos estudos considerando todas as possíveis interferências. Esses estudos adicionais podem ser feitos: usando HPLC para avaliar as interferências que podem estar ocorrendo; troca de tubos finos por tubos de quartzo; o aumento do fluxo da bomba, a fim de reduzir a perda do catalisador; uso de concentrações mais baixas de catalisador e o uso de um sistema laminar.

REFERÊNCIAS

AJOUDANIAN, N., NEZAMZADEH-EJHIEH, A. *Enhanced photocatalytic activity of nickel oxide supported on clinoptilolite nanoparticles for the photodegradation of aqueous cephalixin*. Mater. Sci. Semicond. Proces. 36 (2015) 162-169.

ARIAS, D. G.. Contaminantes emergentes, seus efeitos no meio ambiente e desafios para novos mecanismos de purificação de água. Revista Ciência do Ambiente, UNICAMP, 2013.

BENDESKY, A.; MENÉNDEZ, D.; OSTROSKY-WEGMAN, P, *Is metronidazole carcinogenic?* Mutation Research, 511, 133-144, 2002.

BUTH, D. F. *Degradação fotocatalítica da tetraciclina em solução aquosa empregando TiO₂ suportado*. Tese de M. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CHEN, D.; RAY, A.K. *Photodegradation kinetics of 4-nitrophenol in TiO₂ suspension*. Water Research, v. 32, n. 11, p. 3223-3234, 1998.

DERIKVANDI H., NEZAMZADEH-EJHIEH, A. *Comprehensive study on enhanced photocatalytic*

activity of heterojunction ZnS-NiS/zeolite nanoparticles: Experimental design based on response surface methodology (RSM), impedance spectroscopy and GC-MASS studies. *J. of Colloid and Interface Sci.* 490 (2017) 652-664.

DERIKVANDI H., NEZAMZADEH-EJHIEH, A. *Increased photocatalytic activity of NiO and ZnO in photodegradation of a model drug aqueous solution: Effect of coupling, supporting, particles size and calcination temperature.* *J. Hazard Mater* 321(2017) 629-638.

DOBIÁS, L., et al. *Genotoxicity and carcinogenicity of Metronidazole.* *Mutation Research*, n. 317, p. 177-194, 1994.

ESMAILI-HAFSHEJANI, J., NEZAMZADEH-EJHIEH, A. *Increased photocatalytic activity of Zn(II)/Cu(II) oxides and sulfides by coupling and supporting them onto clinoptilolite nanoparticles in the degradation of benzophenone aqueous solution.* *J. Hazard Mater* 316 (2016) 194-200.

FORNAZARI, A.L.T. *Degradação de fármacos em água pelo acoplamento dos processos ferro zero e fenton.* Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FREEMAN, C. D.; KLUTMAN, N. E.; LAMP, K. C. *Metronidazole: a therapeutic review and update.* *Drugs*, v. 54(5), p. 679-708, 1997.

GARCÍA-LÓPEZ, E., MARCI, G., SERPONE, N., HIDAKA, H.. *J. Phys. Chem. C* 111, 18025, 2007.

GAYA, U.I.; ABDULLAH, A.H. *Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants over Titanium Dioxide: A Review of Fundamentals, Progress and Problems.* *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, v. 9, p. 1-12, 2008.

HARIHARAN, C. *Appl. Catal. A: Gen.*, v. 304, p. 55, 2006.

KUMMERER, K. *The presence of pharmaceutical in the environment due to human use- present knowledge and future challenge.* *Journal of Environmental Management*, 90, 8, 2354-2366, 2009.

LANZKY, P.F., HALLING-SORENSEN, B. *The toxic effect of the antibiotic metronidazole on aquatic organisms.* *Chemosphere*, v. 35, n. 11, p. 2553-2561, 1997.

MACHADO, T.C. *Degradação fotocatalítica de rosuvastina em solução aquosa empregando ZnO em suspensão. Cinética, subprodutos e toxicidade.* Tese de M. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PALOMINOS, R., et al. *Photocatalytic oxidation of the antibiotic tetracycline on TiO₂ and ZnO suspension.* *Catalysis Today* v. 144, p. 100-105, 2009.

NEZAMZADEH-EJHIEH, A., GHANBARI-MOBARAKEH, Z. *Heterogeneous photodegradation of 2,4-dichlorophenol using FeO doped onto nano-particles of zeolite P.* *J. Ind. Eng. Chem.* 21 (2015) 668-676.

NEZAMZADEH-EJHIEH, A., HUSHMANDRAD, S. *Solar photodecolorization of methylene blue by CuO/X zeolite as a heterogeneous catalyst.* *Appl. Catal. A: Gen.* 338 (2010) 149-159.

NEZAMZADEH-EJHIEH, A., KARIMI-SHAMSABADI, M. *Decolorization of a binary azo dyes mixture using CuO incorporated nanozeolite-X as a heterogeneous catalyst and solar irradiation.* *Chem. Eng. J.* 228 (2013) 631-641.

NEZAMZADEH-EJHIEH, A., KHORSANDI, S. *Photocatalytic degradation of 4-nitrophenol with ZnO supported nano-clinoptilolite zeolite.* *J. Ind. Eng. Chem.* 20 (2014) 937-946.

NEZAMZADEH-EJHIEH, A., SHIRZADI, A. *Enhancement of the photocatalytic activity of Ferrous Oxide by doping onto the nano-clinoptilolite particles towards photodegradation of tetracycline*. Chemosphere 107 (2014) 136–144.

PEIRÓ, A. M., *et al.* *TiO₂ photocatalysed degradation of phenol and ortho-substituted phenolic compounds*. Applied Catalysis B: Environmental, v. 30, p. 359-373, 2001.

SILVA, R. *Tratamento convencional de esgotos sanitários e o banheiro seco*. Universidade de Ribeirão Preto, Guarujá, 2013.

SHEMER, H. KUNUKCU, Y. K, LINDEN, K. G. *Degradation of the pharmaceutical Metronidazole via UV, Fenton and photo-Fenton processes*. Chemosphere, v. 63, p. 269-276, 2006.

TAFFAREL, S. R. *Degradação fotocatalítica de estireno em solução aquosa*. Tese de M. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VIDAL, *et al.* *Heterogeneous photocatalysis: degradation of ethylbenzene in TiO₂ aqueous suspensions*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 79, p. 213-219, 1994.

ZABIHI-MOBARAKEH, H., NEZAMZADEH-EJHIEH, A. *Application of supported TiO₂ onto Iranian clinoptilolite nanoparticles in the photodegradation of mixture of aniline and 2, 4-dinitroaniline aqueous solution*. J. Ind. Eng. Chem. 26 (2015) 315-321.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-231-9

