

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof^a Dr^a Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Prof^a Dr^a Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Prof^a Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^a Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^a Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatiany Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-922-6

DOI 10.22533/at.ed.226211904

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

Este e-book intitulado: “Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2” é composto por dezoito capítulos de livros que foram organizados e divididos em três áreas temáticas: (i) minerais e materiais lignocelulósicos; (ii) aplicações industriais e (iii) aplicação de tecnologias avançadas de tratamento com destaque para os processos oxidativos avançados (POAs).

A primeira temática é constituída por oito trabalhos que apresentam estudos de utilização de resíduos como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos e a obtenção de materiais de elevado custo e aplicabilidade a partir de matéria-prima mais abundante e economicamente mais acessível. Além disso, apresenta um trabalho que descreve um procedimento experimental para a escolha mais adequada e viável de uma biomassa de origem vegetal que pode apresentar características de um adsorvente e vir a ser utilizado tanto na forma *in natura* quanto modificada quimicamente, objetivando-se a remoção de compostos inorgânicos e orgânicos em diferentes matrizes aquosas. Neste sentido, trabalhos que investigaram a capacidade de remoção de poluentes utilizando minerais (argila) e biomassas vegetais (ricas em celulose e/ou lignina) apresentaram resultados satisfatórios em relação aos compostos-alvo de interesse, com destaque para a remoção do metal cromo hexavalente (Cr^{6+}) e fósforo e nitrogênio amoniacal que provocam a eutrofização de corpos aquáticos e morte de toda a biota.

O segundo tema está associado à aplicação dos conhecimentos de química e engenharia em diferentes seguimentos: (i) alimentação e (ii) processos industriais. No setor de alimentos é apresentado um trabalho que trata da avaliação microbiológica de biscoitos e empanados processados com filé de carpa Húngara, bastante abundante no estado de Santa Catarina. Já em processos industriais é apresentado um estudo que avalia o melhor dimensionamento de um condensador de amônia que possui grandes aplicações em diferentes seguimentos industriais; um estudo que avalia e compara os reatores CSTR e PFR para a produção de combustível proveniente de fontes renováveis e por fim um estudo de caso que avaliou a utilização de biometano em frotas de ônibus de seis cidades do estado de São Paulo.

A última temática trata da aplicação de diferentes POAs (Fenton e fotocatalise heterogênea tanto com o trióxido de tungstênio dopado com prata ($\text{WO}_3\text{-Ag}$) quanto o dióxido de titânio (TiO_2) para a degradação de diferentes CIEs (fármacos, microplásticos) que vem sendo reportado em trabalhos realizados em todo o mundo. No Brasil a falta de uma legislação mais restritiva associada a falta de fiscalização vem colaborando para a maior detecção e quantificação de diferentes CIEs nos diferentes compartimentos aquáticos afetando a qualidade e a sobrevivência dos diferentes organismos presentes nos inúmeros ecossistemas brasileiros.

Neste sentido, a Atena Editora vem colaborando com pesquisadores de todas as áreas do conhecimento possibilitando a divulgação de seus trabalhos e contribuindo com a disseminação destas informações de forma gratuita e acessível em diferentes plataformas digitais.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA PROVENIENTE DO CORTE DE GRANITO NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

Adriel Martins da Silva
Keina Dalila dos Santos
Luan Regio Pestana
Luís Ramon Silva Ferreira
Façal Gazel

DOI 10.22533/at.ed.2262119041

CAPÍTULO 2..... 13

VULCANIZAÇÃO COM PRODUTOS NATURAIS: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DA MODELAGEM MOLECULAR

Helson Moreira da Costa
Valéria Dutra Ramos

DOI 10.22533/at.ed.2262119042

CAPÍTULO 3..... 40

OBTAINING GRAPHENE OXIDE FROM GRAPHITE USING THE HUMMERS METHOD

Dailson José de Queiroz Lima
Samantha Amorim Rebolledo
Everton Fabrício Franceschi
Leonardo Auco Brochetti

DOI 10.22533/at.ed.2262119043

CAPÍTULO 4..... 56

PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS DE ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA TRIAGEM EXPERIMENTAL

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Bruno Elias dos Santos Costa
Nivia Maria Melo Coelho

DOI 10.22533/at.ed.2262119044

CAPÍTULO 5..... 69

UTILIZAÇÃO DE ARGILA TIPO CAULINITA IN NATURA E TRATADA SUPERFICIALMENTE NA ADSORÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE Cr(VI)

Lenice Campos
Robert Orlando Braz Giacomini
João Batista dos Santos Magalhães de Almeida
Pedro Roberto Araújo Santos Filho
Mario Sérgio da Rocha Gomes

DOI 10.22533/at.ed.2262119045

CAPÍTULO 6..... 81

AValiação DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS ALCALINOS NA EXTRAÇÃO DA

LIGNINA PRESENTE NA FIBRA DO MESOCARPO DO COCO

Geovanna Miranda Teixeira

Emanuel Souza de Souza

Leila Maria Aguilera Campos

DOI 10.22533/at.ed.2262119046

CAPÍTULO 7..... 95

EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE BAMBÚ ANGUSTIFOLIA “BAMBUSOIDEAE” FACTOR DETERMINANTE DEL PORCENTAJE DE CELULOSA EXTRAÍDO

Willam Esparza

Luis Chamorro

Wilson Herrera

DOI 10.22533/at.ed.2262119047

CAPÍTULO 8..... 105

OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO AMONÍACAL POR LIGNINA

Lenice Campos

Bárbara Leticia Peroni

João Batista dos Santos Magalhães de Almeida

Pedro Roberto Araújo Santos Filho

Mario Sérgio da Rocha Gomes

DOI 10.22533/at.ed.2262119048

CAPÍTULO 9..... 118

HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR: ESTUDO CINÉTICO E MODELAGEM SEMI-MECANÍSTICA

Gustavo Batista

Renata Beraldo Alencar de Souza

Antonio José Gonçalves Cruz

DOI 10.22533/at.ed.2262119049

CAPÍTULO 10..... 126

APLICAÇÃO DE WETLANDS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Camila Daniely Costa

Daylaine Aguiar Santos

Manfredo Frederico Felipe Hoppe

DOI 10.22533/at.ed.22621190410

CAPÍTULO 11..... 141

AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE BISCOITOS E EMPANADOS PROCESSADOS COM E SEM GLÚTEN A PARTIR DE FILÉ DE CARPA HÚNGARA (*CYPRINUS CARPIO*)

Arthur Mateus Schreiber

Alessandro Hermann

DOI 10.22533/at.ed.22621190411

CAPÍTULO 12..... 148

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CONDENSADOR DE AMÔNIA DO TIPO PLACA

EM ESPIRAL

Maria Clara de Carvalho Aguiar
Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.22621190412

CAPÍTULO 13..... 157

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DOS REATORES CSTR E PFR PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Gabriella Santos Soares
Sabrina Rodrigues da Silva

DOI 10.22533/at.ed.22621190413

CAPÍTULO 14..... 171

BIOMETHANE FROM LANDFILL GAS IN URBAN BUS FLEETS: STUDY CASE IN SIX CITIES IN ARC, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

Mauro Donizeti Berni
Paulo Cesar Manduca
Ivo Leandro Dorileo
Leonardo G. de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.22621190414

CAPÍTULO 15..... 180

REAGENTES FENTON: TÉCNICA ANALÍTICA PARA PRÉ-TRATAMENTO DE AMOSTRAS DE ÁGUAS RESIDUAIS CONTAMINADAS POR MICROPLÁSTICOS

Andressa Rossatto
Maurício Zimmer Ferreira Arlindo
Taiana Denardi de Souza
Christiane Saraiva Ogradowski

DOI 10.22533/at.ed.22621190415

CAPÍTULO 16..... 184

UTILIZAÇÃO DE MATERIAS BIOADSORVENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS E REDUÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS

José Henrique Hammerschmidt Muhlbeier
Luís Fernando Cusioli
Laiza Bergamasco Beltran
Rosângela Bergamasco

DOI 10.22533/at.ed.22621190416

CAPÍTULO 17..... 194

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE WO₃-Ag PARA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA NA DEGRADAÇÃO DE ACETAMINOFENO

Beatriz Lara Diego dos Reis Fusari
Antonio Carlos Silva Costa Teixeira
Priscila Hasse Palharim

DOI 10.22533/at.ed.22621190417

CAPÍTULO 18.....	207
DEGRADAÇÃO DA AMOXICILINA POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO EM REATOR CONTÍNUO COM TiO₂ FIXADO AO LEITO	
Bruno Rampanelli Dahmer	
Sabrina Grando Cordeiro	
Giovana Wanessa Franke Bohn	
Jéssica Adriane Barth	
David Green	
Eduardo Miranda Ethur	
Elisete Maria de Freitas	
Gustavo Reisdorfer	
Lucélia Hoehne	
DOI 10.22533/at.ed.22621190418	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	218
ÍNDICE REMISSIVO.....	219

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE WO₃-AG PARA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA NA DEGRADAÇÃO DE ACETAMINOFENO

Data de aceite: 01/04/2021

Beatriz Lara Diego dos Reis Fusari

Universidade de São Paulo
Grupo de Pesquisa em Processos Oxidativos
Avançados (AdOx)
São Paulo

Antonio Carlos Silva Costa Teixeira

Universidade de São Paulo
Grupo de Pesquisa em Processos Oxidativos
Avançados (AdOx)
São Paulo

Priscila Hasse Palharim

Universidade de São Paulo
Grupo de Pesquisa em Processos Oxidativos
Avançados (AdOx)
São Paulo

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo sintetizar WO₃ puro e dopado com Ag em uma estrutura altamente organizada, bem como estudar o efeito dos ácidos HCl e HNO₃ nessa síntese. Os fotocatalisadores sintetizados são avaliados por técnicas de caracterização e por degradação do contaminante emergente modelo acetaminofeno, avaliando assim, a atividade fotocatalítica.

PALAVRAS-CHAVE: Síntese nanopartículas tecnologia degradação poluentes fotocatalise.

ABSTRACT: This work aims to synthesize pure WO₃ and doped with Ag in a highly organized structure, as well as to study the effect of HCl and

HNO₃ acids in this synthesis. The synthesized photocatalysts are evaluated by characterization techniques and by degradation of the emerging contaminant model acetaminophen, thus evaluating the photocatalytic activity.

KEYWORDS: Nanoparticle synthesis technology degradation pollutants photocatalysis.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o descarte inadequado de resíduos químicos e de outros efluentes industriais e domésticos tem gerado graves problemas ambientais devido à toxicidade gerada por estes resíduos ao meio aquático. Esses contaminantes, como pesticidas, fármacos, hormônios e compostos organoclorados são conhecidos como poluentes de preocupação emergente (“*pollutants of emerging concern*”) uma vez que seus efeitos têm forte impacto no ambiente aquático e os tratamentos convencionais são pouco efetivos [1].

Para lidar com esse problema ambiental, diversas alternativas de tratamento envolvendo processos de oxidação avançada (POA) vêm sendo estudadas e desenvolvidas. Dentre estas, catalisadores para a fotodegradação heterogênea de poluentes orgânicos têm se mostrado promissores em virtude de sua boa eficiência e baixo custo, além de serem ambientalmente amigáveis [2].

Nas últimas décadas, o fotocatalisador de dióxido de titânio (TiO₂, como o tipo P25,

Evonik) tem sido o mais estudado e utilizado nesses processos por apresentar baixo custo e uma boa estabilidade química em soluções ácidas. Entretanto, estudos relatam que a aplicação de TiO_2 fica restrita a somente 3-4% do espectro visível da radiação solar devido ao seu intervalo de energia entre banda de valência e banda de condução (“*bandgap*”) estar em torno de 3,2 eV, de forma a reduzir fortemente sua fotoatividade [3, 4].

Para contornar essa desvantagem do TiO_2 P25, estudos passaram a buscar compostos nanoestruturados que atendam às condições do processo com uma melhor fotoatividade ou seja, um *bandgap* menor. Dessa forma, nanopartículas de trióxido de tungstênio (WO_3) se mostraram uma alternativa de elevado potencial por possui um *bandgap* em torno de 2,5-2,8 eV, além de apresentar múltiplas funções que vão desde eletrocromatografia até aplicações fotocatalíticas [5].

Entretanto, um dos agravantes da fotoatividade do WO_3 decorre da recombinação de transportadores fotogerados, reduzindo a eficiência do processo. Para contornar esse problema, métodos para modificar o WO_3 via dopagem são aplicados. Nesse sentido, a prata (Ag) é uma opção de grande interesse, uma vez que aumenta consideravelmente a absorção de radiação solar no espectro visível, além de ter baixo custo e baixa toxicidade [5, 6].

Dessa forma, o presente projeto de pesquisa de Iniciação Científica visa sintetizar nanopartículas de WO_3 puro e WO_3 -Ag avaliando o efeito de HCl e HNO_3 no processo de síntese. A atividade fotocatalítica dos materiais vem sendo avaliada pelo processo fotocatalítico de degradação de acetaminofeno (ACT) empregando um simulador de luz solar.

2 | OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo sintetizar nanopartículas (NPs) de WO_3 puro e WO_3 dopado com Ag em uma estrutura altamente organizada, bem como estudar o efeito dos ácidos HCl e HNO_3 nessa síntese para ajuste a diferentes valores de pH. A análise é feita avaliando-se a degradação do acetaminofeno e conseqüentemente, a efetividade na atividade fotocatalítica dos materiais sintetizados.

O trabalho foi desenvolvido junto ao Grupo de Pesquisa em Processos Oxidativos Avançados (AdOx), do Centro de Engenharia de Sistemas Químicos do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP (AdOx-CESQ/PQI-EPUSP) e foi conduzido com orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos S. C. Teixeira e co-orientação da M. Sc. Priscila Hasse Palharim.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais para síntese utilizados foram: tungstato de sódio di-hidratado ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ACS, $\geq 99\%$), água Milli-Q[®] (18,2 M Ω), ácido clorídrico (HCl, P.A.), ácido nítrico (HNO_3 , P.A.), nitrato de prata (AgNO_3 , $\geq 99\%$), acetaminofeno ($\geq 99\%$, HPLC) e etanol ($\geq 99\%$).

3.2 Métodos

Segundo a metodologia adotada, todos os materiais foram sintetizados via rota hidrotérmica. Para sintetizar WO_3 puro, foram preparados 15 mL de uma solução aquosa de 0,3 mol L⁻¹ de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Em seguida, o pH foi ajustado usando HCl ou HNO_3 para atingir valores de pH 0,5; 1,0 ou 1,5, produzindo um total de seis materiais. Em seguida, essa solução foi transferida para uma autoclave de 220 mL, revestida com PTFE, mantida em um forno mufla a 120 °C por 24 h. O sólido obtido foi posteriormente lavado por ressuspensão e centrifugado três vezes com etanol e uma vez com água. O material final foi secado em estufa a 80 °C por 24 horas. Os catalisadores de WO_3 dopados com Ag foram sintetizados por adição de AgNO_3 à solução aquosa de 0,3 mol L⁻¹ de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a fim de atingir WO_3 -3% Ag e WO_3 -5% Ag (m/m). Estas soluções foram mantidas em agitação magnética por 1 h, à temperatura ambiente. Posteriormente, o pH foi ajustado para 1,5 usando HCl ou HNO_3 , resultando em quatro materiais fotocatalíticos. Por fim, os procedimentos de lavagem e secagem foram seguidos como descrito anteriormente. Além disso, uma amostra de WO_3 -5% Ag (HCl 1,5) foi calcinada a 400 °C por 2 h para comparar com a amostra não calcinada. Os materiais sintetizados foram caracterizados por: difração de raios-X pelo método do pó (DRX) (equipamento D8 Focus Bruker AXS), radiação Cu K- α , filtro Ni, tensão e corrente máxima de 40 kV e 40 mA, respectivamente; espectroscopia de reflectância difusa (DRS) UV-vis (equipamento Shimadzu 2550); microscopia eletrônica de varredura (MEV) (equipamento Vega 3 LMU Tescan); espectroscopia de raios-X por dispersão em energia (EDS) (equipamento Oxford acoplado ao MEV). O fármaco acetaminofeno (ACT) foi selecionado como contaminante modelo para avaliar a atividade fotocatalítica dos materiais sintetizados.

Para os testes fotocatalíticos, o catalisador (10 mg) foi dispersado em 10 mL de solução de 5 mg L⁻¹ ACT, em um béquer de 25 mL. A temperatura da reação foi mantida a 21 °C usando um banho térmico. A suspensão foi agitada no escuro por 90 min para alcançar o equilíbrio de adsorção-dessorção. Em seguida, os experimentos foram conduzidos empregando luz solar simulada por 120 min, usando um simulador solar (Pecell Inc., PEC-L01), posicionado a 13 cm da superfície do líquido (Figura 1). A irradiância na superfície do líquido foi de 3,4 mW cm⁻², medida por um espectrorradiômetro (Luzchem, SPR-4002). Amostras de 200 μL foram coletadas ao longo do tempo, diluídas cinco vezes,

filtradas e analisadas por HPLC. Para o estudo da cinética de degradação, foram realizados testes fotocatalíticos utilizando o catalisador WO_3 -5% Ag (HCl 1,5), nas mesmas condições mencionadas anteriormente, porém variando a concentração inicial de ACT (1, 5, 10, 25 e 50 mg L^{-1}). Um cromatógrafo HPLC Shimadzu LC20 com um detector de UV-vis (SPD20A), equipado com uma coluna C18 (Prominent), foi usado para quantificar a concentração de ACT. A fase móvel consistiu em metanol: água (25:75), a uma vazão de 1,0 mL min^{-1} ; o volume de injeção e a temperatura foram de 50 μL e 28 $^\circ\text{C}$, respectivamente. O comprimento de onda de detecção foi de 243 nm e o tempo de retenção foi de aproximadamente 7 min.

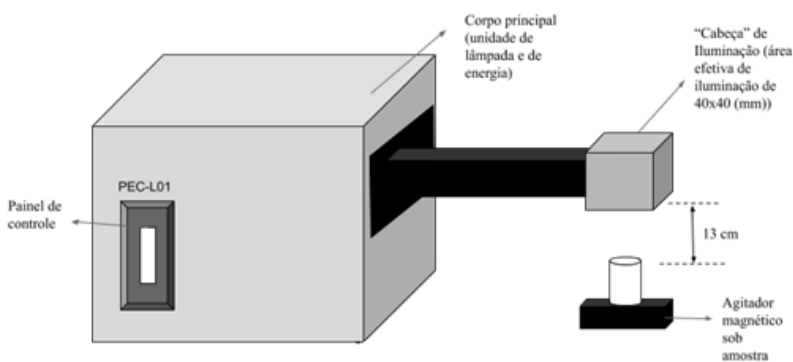


Figura 1. Representação esquemática do aparato empregado nos experimentos fotocatalíticos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a morfologia da superfície dos materiais WO_3 -5% Ag (HCl 1,5), WO_3 -5% Ag (HNO_3 1,5) e WO_3 (HNO_3 1,0) (o valor após a fórmula molecular do ácido corresponde ao pH da solução). Nas três imagens podem ser observadas partículas de WO_3 semelhantes a “flores”, com diâmetros de $\sim 4 \mu\text{m}$, $\sim 3 \mu\text{m}$ e $\sim 5 \mu\text{m}$, respectivamente. Este padrão de flores também foi observado por Meng *et al.* [7], que sintetizaram partículas de Ag-WO_3 , com diâmetro entre 2-7 μm . Estas estruturas são constituídas por inúmeras nanopartículas com superfície lisa, densamente compactadas e formadas por uma estrutura de multicamada. Os resultados para esse padrão de estrutura semelhantes a flores indicam que as partículas WO_3 podem fornecer um grande número de sítios ativos para catálise, o que explica seu elevado potencial fotocatalítico [5, 7].

A Figura 3 exibe os resultados de DRX, mostrando padrões com picos indexados dos catalisadores WO_3 sintetizados a pH 0,5; 1,0 e 1,5, usando HCl e HNO_3 . É possível analisar que para ambos os ácidos, quanto maior o pH, maior a cristalinidade, sendo que as amostras sintetizadas em pH 1,0 e 1,5 (HCl ou HNO_3) exibiram alta cristalinidade, com picos de difração bem definidos. Para determinar a fase cristalina do WO_3 , os picos foram comparados ao cartão JCPDS nº 75-2187, e a estrutura cristalina hexagonal foi a que

obteve melhor compatibilidade [5].

Por outro lado, as partículas de WO_3 (HCl 0,5) parecem apresentar mais de uma estrutura cristalina ou ainda, impurezas. No caso de WO_3 (HNO_3 0,5), o padrão de DRX indica a existência de uma possível fase amorfa. Vale ressaltar que o WO_3 geralmente apresenta atividade fotocatalítica para as fases hexagonal e monoclinica [5].

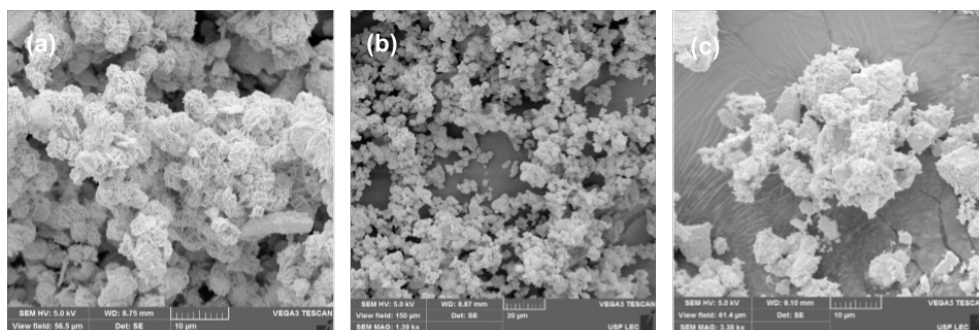


Figura 2. Imagens SEM de (a) WO_3 -5% Ag (HCl 1,5), (b) WO_3 -5% Ag (HNO_3 1,5) e (c) WO_3 (HNO_3 1,0).

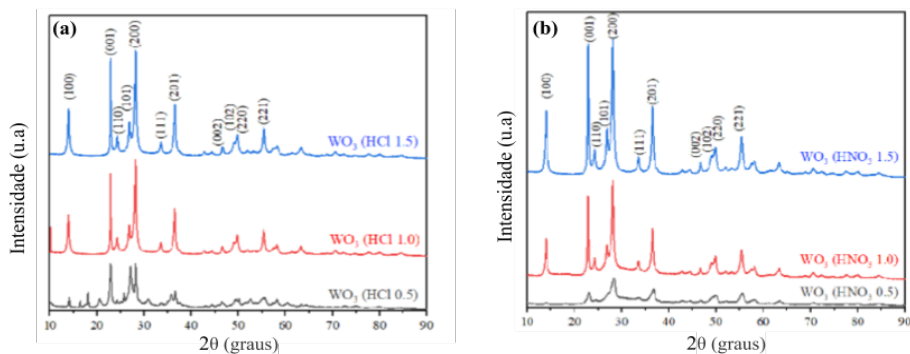


Figura 3. Imagens DRX de WO_3 sintetizado com (a) HCl e (b) HNO_3 para pH 0,5; 1,0 e 1,5.

Os espectros de EDS representados na Figura 4 confirmam a presença de W, O e Ag em ambas as amostras dopadas com Ag. Os catalisadores de WO_3 -5% Ag (HCl 1,5) revelaram maior teor de Ag em comparação com WO_3 -5% Ag (HNO_3 1,5), o que indica que provavelmente a síntese usando HNO_3 não foi muito eficiente quanto à fixação de prata.

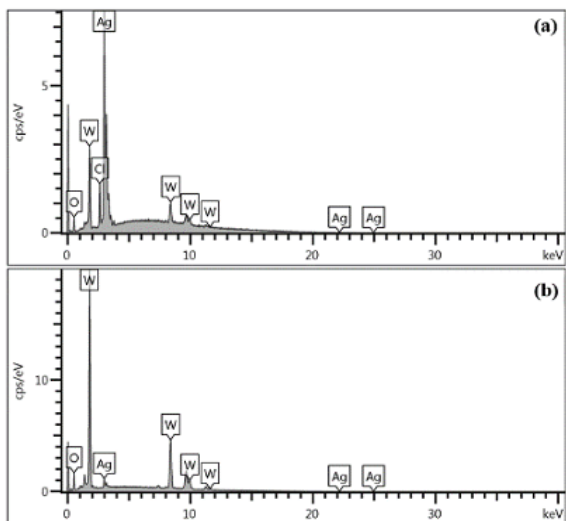


Figura 4. Espectros de raios-X por dispersão em energia (EDS) de (a) partículas WO_3 -5% Ag (HCl 1,5) e (b) partículas WO_3 -5% Ag (HNO_3 1,5).

Os espectros de refletância difusa UV-vis dos catalisadores WO_3 e WO_3 -Ag sintetizados usando HCl ou HNO_3 são exibidos na Figura 5. Todos os catalisadores mostraram absorção importante na região visível (aprox. 400-450 nm), confirmando que as amostras estão ativas para emprego com luz solar.

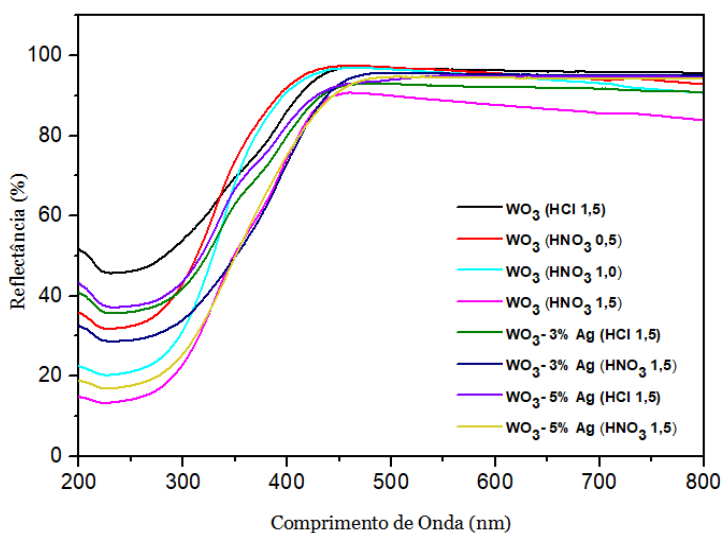


Figura 5. Espectros de refletância difusa UV-vis de catalisadores WO_3 e WO_3 -Ag sintetizados usando HCl ou HNO_3 .

Para o cálculo da energia de *bandgap* (E_g) foi utilizada a função Kubelka-Munk através do espectro de reflectância difusa UV-vis. Foi plotada a curva Tauc que possui $(F(R)hv)^{1/2}$ [eV cm⁻¹]^{1/2} no eixo das ordenadas e energia [eV] no eixo das abscissas, em que $F(R)$ é a função do coeficiente de absorção molar dividido pelo fator de dispersão, h a constante de Planck e ν , a frequência de radiação. A energia corresponde a $1240/\lambda$, sendo λ o comprimento de onda em nanômetros. Da equação de Planck ($E = hc/\lambda$), pode-se encontrar o λ_g (comprimento de onda de maior absorção) correspondente à energia E_g .

Ao extrapolar o coeficiente linear da curva obtida, obtém-se um ponto de cruzamento no eixo das abscissas, que corresponde ao valor de *bandgap*. Na Tabela 1 estão os valores obtidos de E_g e λ_g para WO₃ e WO₃-Ag. É possível observar que o E_g de muitas das amostras foi menor quando comparado ao TiO₂ comercial (3,0-3,2 eV), sugerindo que a atividade fotocatalítica dos materiais WO₃ sintetizados pode ser intensificada sob energia da luz solar.

Catalisador	E_g (eV)	λ_g (nm)
WO ₃ (HCl 1,5)	2,64	469
WO ₃ (HNO ₃ 0,5)	3,29	377
WO ₃ (HNO ₃ 1,0)	3,32	373
WO ₃ (HNO ₃ 1,5)	2,38	521
WO ₃ -3% Ag (HCl 1,5)	2,91	426
WO ₃ -3% Ag (HNO ₃ 1,5)	2,79	444
WO ₃ -5% Ag (HCl 1,5)	2,63	471
WO ₃ -5% Ag (HNO ₃ 1,5)	2,40	516

Tabela 1. Energia de *bandgap* e pico de absorção para os catalisadores WO₃ e WO₃-Ag.

Analisando-se os valores da Tabela 1, constata-se que os catalisadores que possuem maior quantidade de Ag apresentaram menores valores de *bandgap*. Além disso, os catalisadores dopados com prata, sintetizados com HNO₃, apresentaram menores valores de E_g quando comparado com os catalisadores dopados e sintetizados com HCl. Entretanto, esse resultado é contraditório, visto que, após a síntese, o catalisador WO₃-5% Ag (HCl 1,5) apresentou maior teor de Ag em relação ao WO₃-5% Ag (HNO₃ 1,5) (Figura 4) e, portanto, teriam sido esperados valores menores de E_g para o primeiro.

Dessa forma, como trabalho posterior, a síntese e caracterização do catalisador WO₃-5% Ag (HNO₃ 1,5) devem ser refeitas para investigar o efeito do tipo de ácido na fixação da prata ao catalisador e verificar os resultados obtidos. Em relação aos catalisadores não dopados sintetizados com HNO₃, verifica-se que aqueles em valores menores de pH (0,5 e 1,0), apresentaram E_g consideravelmente maior do que o sintetizado em pH

1,5. Ademais, para um mesmo valor de pH (por exemplo 1,5), quando sintetizados com HNO₃, os valores de E_g foram menores do que quando sintetizados com HCl. Conforme Ramkumar e Rajarajan [8], a prata melhora o desempenho do material fotocatalítico devido a propriedades como alta solubilidade, pequeno tamanho iônico e energia orbital mínima. Além disso, o raio iônico de Ag (138 pm) é menor em comparação com o de W (142 pm). Dessa forma, o íon Ag pode substituir facilmente na estrutura da rede do tungstênio, o que acarreta no aumento da eficiência fotocatalítica do material.

A Tabela 2 mostra a porcentagem de degradação de ACT ao final de 120 min de reação para cada catalisador sintetizado, juntamente com as respectivas constantes cinéticas de pseudo-primeira ordem; e a Figura 6 apresenta a variação da concentração de ACT com o tempo, para as mesmas condições de irradiação. A cinética de degradação dos fotocatalisadores foi aproximada à cinética de pseudo-primeira ordem, conforme Equação 1. Em que k (min⁻¹) é a constante cinética de pseudo-primeira ordem, t (min) é o tempo, $[ACT]$ e $[ACT]_0$ (mg L⁻¹) são as concentrações de acetaminofeno em qualquer tempo e no tempo zero, respectivamente.

$$- \ln\left(\frac{[ACT]}{[ACT]_0}\right) = kt \quad \text{Equação 1}$$

Catalisador	Degradação de ACT (%)	k (x10 ⁻³ min ⁻¹)	R ²
WO ₃ (HCl 1,0)	19,98	1,9	0,992
WO ₃ (HCl 1,5)	15,4	1,5	0,982
WO ₃ (HNO ₃ 0,5)	15,1	1,3	0,992
WO ₃ (HNO ₃ 1,0)	24,7	4,8	0,998
WO ₃ (HNO ₃ 1,5)	19,8	1,8	0,993
WO ₃ -3% Ag (HCl 1,5)	53,3	10,5	0,988
WO ₃ -5% Ag (HCl 1,5)	76,8	26,4	0,973
WO ₃ -3% Ag (HNO ₃ 1,5)	21,6	2,4	0,991
WO ₃ -5% Ag (HNO ₃ 1,5)	47,1	5,0	0,991

Tabela 2. Resultados de degradação de ACT para os catalisadores sintetizados, ao final de 120 min de reação e valores das constantes cinéticas de pseudo-primeira ordem (k).

Em relação aos testes de adsorção/dessorção, não foi constatada nenhuma remoção apreciável de ACT nos primeiros 90 min (sem luz). Já sob condições de irradiação, os fotocatalisadores WO₃ puros sintetizados com HCl ou HNO₃ não apresentaram diferença significativa na remoção do contaminante, mostrando degradação máxima do ACT de apenas 24,7% após 120 min de reação. Este resultado implica que o tipo de ácido utilizado

na etapa de síntese não influenciou significativamente na atividade fotocatalítica das partículas de WO_3 não dopadas.

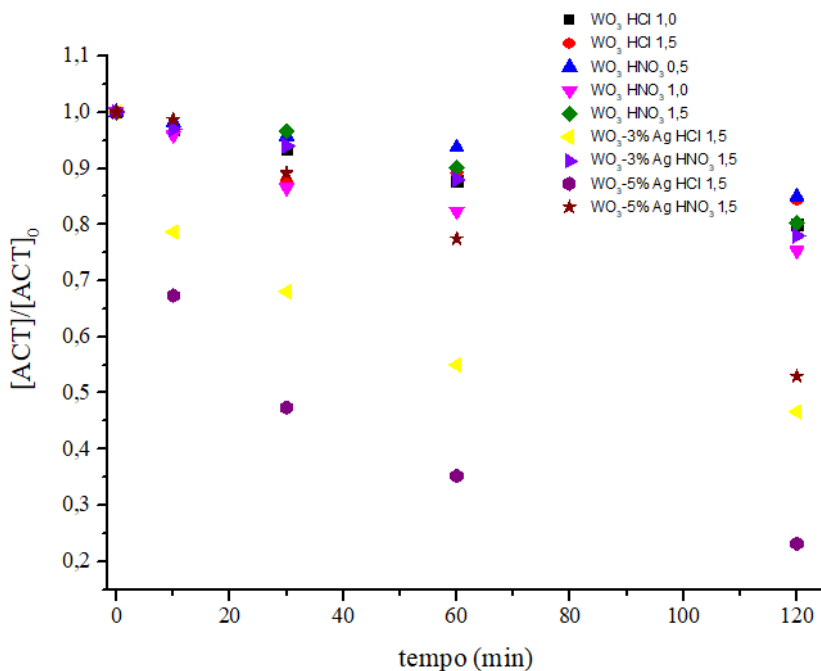


Figura 6. Degradação de ACT ($[\text{ACT}]_0 = 4,99 \pm 0,09 \text{ mg L}^{-1}$) sob irradiação solar simulada, para cada catalisador sintetizado

Quanto aos catalisadores dopados com Ag, tanto para 3% quanto 5%, sintetizados empregando HCl, a degradação se mostrou mais eficaz, comparada à observada para os catalisadores não dopados. Além disso, observa-se que quanto maior a concentração de Ag empregada na dopagem, maior a degradação de ACT. Esse comportamento pode ser explicado devido à existência de uma maior quantidade de íons de Ag disponíveis para serem substituídos nos locais de rede de tungstênio, diminuindo a energia de *bandgap* das partículas com maior concentração de Ag [8], como observado pela Tabela 1. Tais análises são importantes principalmente para os catalisadores dopados, visto que até o momento os resultados levam a supor que possivelmente ocorre uma interação diferente entre o WO_3 e a prata, a depender do ácido utilizado. Por fim, dentre todos os fotocatalisadores sintetizados, o WO_3 -5% Ag (HCl 1,5) apresentou melhor eficiência fotocatalítica, degradando 76,8% de ACT após 120 min de reação, equivalente a uma constante cinética de pseudo-primeira ordem de $0,0264 \text{ min}^{-1}$.

A fim de comparação com esse melhor resultado, a mesma amostra de WO_3 -5% Ag (HCl 1,5) foi calcinada a $400 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 h e avaliada na degradação de ACT. O teste

fotocatalítico apresentou degradação de 77,3% de ACT após 120 min de reação, equivalente a $0,0422 \text{ min}^{-1}$ de constante cinética de pseudo-primeira ordem. Nesse sentido, percebe-se que não há diferença significativa de eficiência fotocatalítica entre a amostra calcinada e não calcinada, indicando que não há necessidade de calcinação e conseqüentemente, redução de custos operacionais.

Para a avaliação da cinética de degradação, foram realizados testes fotocatalíticos com a amostra $\text{WO}_3\text{-5\% Ag}$ (HCl 1,5) utilizando diferentes concentrações iniciais de ACT. A Tabela 3 apresenta os resultados da degradação de ACT com diferentes concentrações iniciais, após 30 min de reação, bem como os parâmetros k e R^2 . A Figura 7 mostra os ajustes cinéticos de pseudo-primeira ordem variando a concentração inicial de ACT.

Concentração (mg L ⁻¹)	Degradação de ACT (%)	k ($\times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$)	R^2
1	44,25	34,0	0,974
5	47,49	26,4	0,973
10	24,83	15,0	0,999
25	17,29	7,0	0,965
50	14,25	5,2	0,985

Tabela 3. Resultados de degradação de ACT após 30 minutos de reação e constante cinética de pseudo-primeira ordem, utilizando fotocatalisador $\text{WO}_3\text{-5\% Ag}$ (HCl 1,5)

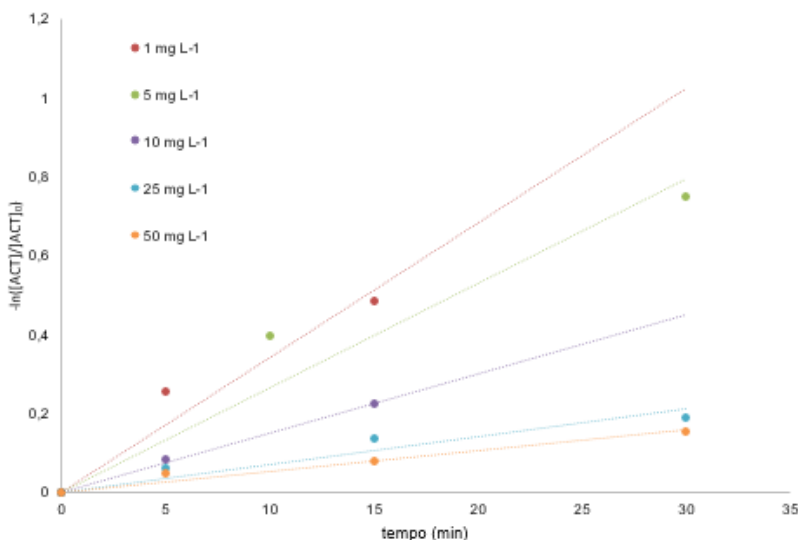


Figura 7. Ajuste dos dados experimentais à cinética de pseudo-primeira ordem para testes fotocatalíticos utilizando $\text{WO}_3\text{-5\% Ag}$ HCl (1,5) em diferentes concentrações iniciais de ACT.

A partir da Tabela 3 e Figura 7, verifica-se que quanto maior essa concentração inicial de contaminante, menor é a degradação de ACT. Do mesmo modo, quanto maior a concentração inicial de ACT, menor é a constante cinética de pseudo-primeira ordem. Esse resultado é esperado e, conforme Gotostos *et. al* [10], ocorre devido ao aumento da quantidade de moléculas de ACT para serem oxidadas, demandando uma quantidade maior de radicais $\cdot\text{OH}$ e $\cdot\text{O}_2^-$ necessários para a oxidação.

A modelagem da degradação fotocatalítica do componente orgânico ACT foi avaliada utilizando a expressão de Langmuir-Hinshelwood (L-H). Para isso, os dados foram ajustados à equação linearizada de L-H (Equação 2), em que k (min^{-1}) é a constante cinética de pseudo-primeira ordem, k_{int} ($\text{mg L}^{-1} \text{min}^{-1}$) é a constante de reação intrínseca e K_{ACT} (L mg^{-1}) é a constante de adsorção de L-H do ACT sobre a superfície do catalisador no ambiente aquoso. A Figura 8 exhibe o ajuste do dados à equação linearizada de L-H. A equação de L-H pode ser aproximada à condição de cinética de pseudo-primeira ordem quando $K_{\text{ACT}} \cdot C_0$ (da equação original) é muito menor que 1 [9].

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{\text{int}}} \cdot C_0 + \frac{1}{k_{\text{int}} K_{\text{ACT}}} \quad \text{Equação 2}$$

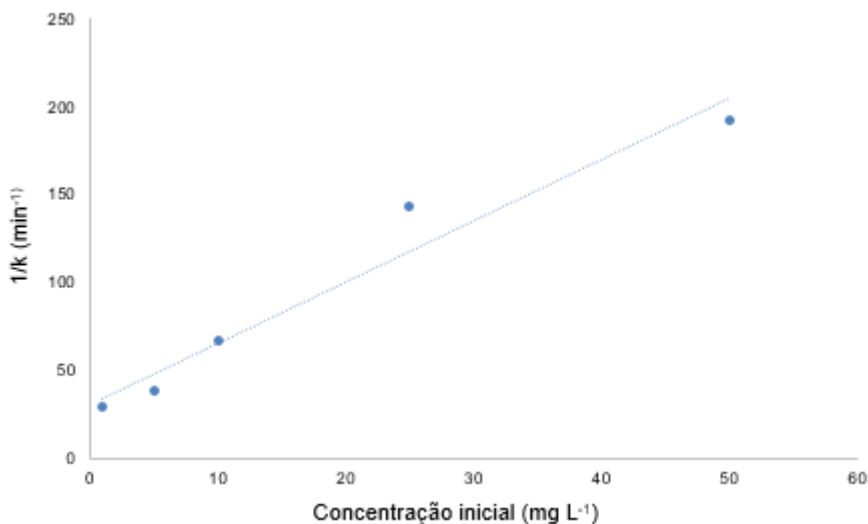


Figura 8. Ajuste dos dados experimentais da degradação fotocatalítica de ACT utilizando a expressão de Langmuir-Hinshelwood (L-H).

Os valores de k_{int} e K_{ACT} obtidos foram de $0,288 \text{ mg L}^{-1} \text{min}^{-1}$ e $0,113 \text{ L mg}^{-1}$ respectivamente, com R^2 de 0,955. No estudo cinético realizado por Gotostos *et. al* [10] também foi utilizado ACT como agente poluente, porém o fotocatalisador sintetizado e testado foi $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]/\text{TiO}_2$, obtendo como resultados k_{int} de $0,099 \text{ mg L}^{-1} \text{min}^{-1}$, K_{ACT} de

0,114 L mg⁻¹ e R² de 0,902. Comparativamente, nota-se que a constante de adsorção de L-H do ACT sobre a superfície do catalisador no ambiente aquoso foi muito similar entre ambos os estudos, o que sustenta a eficácia dos resultados obtidos e dos métodos utilizados.

5 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos até o momento, conclui-se que fotocatalisadores de WO₃ com alta cristalinidade, estrutura hexagonal cristalina, energia reduzida de *bandgap* e aumento da absorvância da luz visível foram sintetizados com sucesso. Experimentos de fotodegradação mostraram que o tipo de ácido usado no processo de síntese não influenciou significativamente no desempenho do WO₃ puro em relação à degradação do acetaminofeno.

Por outro lado, no geral as partículas dopadas apresentaram resultados mais satisfatório, sendo que as sintetizadas com HCl apresentaram-se mais eficientes na atividade fotocatalítica em relação às sintetizadas com HNO₃, para ambas as concentrações de Ag aplicadas. Além disso, para maiores concentrações de prata, os catalisadores demonstraram melhor desempenho. Os melhores resultados de degradação de ACT ao final de 120 min de irradiação em luz solar simulada foram obtidos com os materiais WO₃-5% Ag (HCl 1,5) (76,8%) e WO₃-3% Ag (HCl 1,5) (53,3%).

Ademais, os resultados obtidos entre WO₃-5% Ag (HCl 1,5) calcinado e WO₃-5% Ag (HCl 1,5) não calcinado foram bem similares, de forma que a calcinação não se faz necessária neste caso, tendo em vista a redução de custos operacionais.

Em relação à avaliação cinética dos fotocatalisadores de WO₃-5% Ag (HCl 1,5), os dados experimentais foram bem ajustados à expressão de Langmuir-Hinshelwood, resultando em parâmetros de constante de reação intrínseca e constante de adsorção de L-H do ACT sobre a superfície do catalisador foram de 0,288 mg L⁻¹ min⁻¹ e 0,113 L mg⁻¹, respectivamente.

REFERÊNCIAS

[1] AMOUZGAR, P.; WONG, M. Y.; HORRI, B. A.; SALAMATINIA, B.; Advanced Material for Pharmaceutical Removal from Wastewater. *In*: MISHRA, A. K. **Smart Materials for Waste Water Applications**. 1. ed. EUA: Scrivener Publishing LL, 2016. Cap. 7, p. 179-212.

[2] ANIPSITAKIS, G. P.; DIONYSIOUS, D. D. Radical generation by the interaction of transition metals with common oxidants. **Environmental Science & Technology**, v. 38, p. 3705-3712, 2004.

[3] PETRONELLA, F.; TRUPPI, A.; INGROSSO, C.; PLACIDO, T.; STRICCOLI, T.; CURRI, M. L.; AGOSTIANO, A.; COMPARELLI, R. Nanocomposite materials for photocatalytic degradation of pollutants. **Catalysis Today**, v. 281, p. 85-100, 2017.

[4] SULIMAN, M. A.; GONDAL, M. A.; DASTAGEER, M. A.; CHUAH, G.; BASHEER, C. Method for visible light-induced photocatalytic degradation of methylparaben in water using nanostructured Ag/AgBr@m-WO₃. **Photochemistry and Photobiology**, v. 95, p. 1485-1494, 2019.

- [5] YU, C.; CHEN, F.; LIU, Z.; YANG, K.; JI, H.; LI, D.; XIE, W.; LI, S. Facile synthesis of a robust visible-light-driven AgCl/WO₃ composite microrod photocatalyst. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 809, p. 151844-151854, 2019.
- [6] ADHIKARI, R.; GYAWALI, G.; SEKINO, T.; LEE, S. W. Microwave assisted hydrothermal synthesis of Ag/AgCl/WO₃ photocatalyst and its photocatalytic activity under simulated solar light. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 197, p. 560-565, 2013.
- [7] MENG, D.; WANG, G.; SAN, X.; SONG, Y.; SHEN, Y.; ZHANG, Y.; WANG, K.; MENG, F. Synthesis of WO₃ flower-like hierarchical architectures and their sensing properties. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 649, p. 731-738, 2015.
- [8] RAMKUMAR, S.; RAJARAJAN, G. Enhanced visible light photocatalytic activity of pristine and silver (Ag) doped WO₃ nanostructured thin films. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 27, p. 12185-12192, 2016.
- [9] KUMAR, K. VASANTH.; PORKODI, K.; ROCHA, F. Langmuir-Hinshelwood kinetics - A theoretical study. **Catalysis communications**, v. 09, p. 82-84, 2008.
- [10] GOTOSTOS, M. J. N.; SU, C.; DE LUNA, M. D. G.; LU, M. Kinetic study of acetaminophen degradation by visible light photocatalysis. **Journal of Environmental Science and Health Part**, v. 49, p. 892-899, 2014.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorbância 72, 73, 205, 212, 214

Adsorção 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 121, 127, 184, 186, 189, 190, 191, 192, 196, 201, 204, 205

Adsorvente 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 71, 72, 74, 79, 184, 186, 187, 188, 189, 190, 191

Águas superficiais 208, 209

Ambiente aquático 132, 185, 194

Analito 59, 60, 61, 62, 64, 65

B

Bactérias 128, 130, 136, 142, 146, 209

Bioadsorventes 58, 184, 218

Biocombustíveis 83, 158

Biodegradável 107, 158

Biodiesel 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 173

Biogás 179

Biomassa 59, 65, 82, 83, 84, 86, 87, 92, 119, 120, 121, 123, 124, 128, 160

C

Carbono 7, 13, 16, 21, 30, 40, 54, 83, 210, 212

Celulose 59, 60, 66, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 90, 105, 116, 119, 120, 121, 124, 189

Coagulante 108, 117

Coliformes 116, 141, 142, 143, 145, 146

Condensador 148, 149, 150, 152, 153

Contaminação 26, 69, 215

Contaminantes emergentes 56, 185

Copolímero 13, 14, 20, 38

D

Degradação 65, 85, 127, 182, 194, 195, 197, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216

Densidade 11, 29, 58, 107, 108, 112, 113

Desenvolvimento sustentável 2, 11

Dessorção 196, 201

Destilação 152

Diesel 157, 158, 160, 169, 170, 172, 173, 175, 176, 177, 179

Dióxido de titânio (TiO₂) 210

E

Ecosistema 129, 130

Espectroscopia 54, 61, 83, 86, 90, 184, 196

Estação de tratamento de esgoto (ETE) 65, 218

Estrutura amorfa 82, 83

F

Fármacos 64, 184, 185, 186, 194, 208

Fibras 60, 83, 86, 87, 96

Floculante 105, 106, 107, 110

Fluido 55, 148, 149, 150, 167

Fotoatividade 195, 213

Fotocatalisador 194, 203, 204, 210, 213

Fotocatálise heterogênea 194, 210

G

Granulometria 3, 4, 63, 84, 120, 190, 208, 212, 213, 216

H

Hidrofílico 21, 58

I

Indústria química 148

In natura 14, 59, 61, 64, 65, 67, 69, 71, 73, 74, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 120, 187, 188

L

Lignina 60, 61, 66, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120

M

Mananciais 2, 208

Materiais lignocelulósicos 56, 59, 60, 61, 85, 120

Matéria-prima 2, 83

Matrizes ambientais 183

Meio ambiente 1, 2, 70, 80, 82, 87, 106, 116, 126, 128, 181, 184

Metais 2, 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 69, 70, 127, 130, 138, 186, 210, 218

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) 62, 184, 196, 211, 212

Mineral 70

Mineralização 212, 215

N

Nanomateriais 40

Nanopartículas 184, 186, 187, 188, 192, 194, 195, 197, 212, 213

O

Óleos 13, 14, 16, 17, 20, 22, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 157, 158, 160, 161, 162, 164, 169

Otimização 20, 54, 56, 58, 62, 63, 84, 105, 106, 122, 153, 165, 166, 168, 170

Oxidação 54, 63, 70, 127, 160, 194, 204, 215

P

Patógenos 127, 141, 209

Polímero 14, 60, 96, 106, 107, 112, 119

Polissacarídeos 61

Pré-tratamento 58, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 119, 120, 124, 125, 180, 182, 183, 210

Processos industriais 70, 82, 83

Processos oxidativos avançados 57, 194, 195, 208, 209, 210, 218

R

Radiação 61, 132, 195, 196, 200, 210, 216, 218

Reaproveitamento 1, 3, 12, 56, 126, 136, 138

Recursos hídricos 69, 127, 128

Remediação ambiental 56, 58, 218

Remoção 57, 59, 64, 65, 67, 69, 70, 73, 74, 78, 79, 82, 84, 87, 88, 105, 110, 113, 114, 115, 116, 127, 128, 130, 131, 139, 163, 182, 183, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 201, 216, 218

Renovável 82, 83, 158, 160, 161

Resíduo 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 67, 81, 82

Resistência 1, 2, 7, 9, 10, 11, 14, 25, 58, 82, 118, 119, 122, 123, 124, 208

S

Semicondutor 213

Superfície 21, 61, 78, 79, 84, 110, 115, 130, 131, 132, 133, 143, 149, 186, 187, 188, 190,

196, 197, 204, 205, 211

T

Temperatura 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 17, 31, 63, 84, 95, 96, 98, 111, 112, 119, 120, 127, 136, 143, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 159, 161, 164, 166, 168, 182, 183, 187, 188, 189, 196, 197

Toxicidade 70, 194, 195, 209

Tratamento de efluentes 56, 57, 58, 65, 105, 126, 139, 208

Trocador de calor 148, 149, 152, 153, 154

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021