

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
Profª 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
Profª Drª 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
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª 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
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª 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
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª 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
Profª 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 EXTRAIDO

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

DEGRADAÇÃO DA AMOXICILINA POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO EM REATOR CONTÍNUO COM TiO_2 FIXADO AO LEITO

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Bruno Rampanelli Dahmer

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
PPGBiotec
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0002-5695-436X

Sabrina Grando Cordeiro

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
PPGBiotec
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0003-1725-6662

Giovana Wanessa Franke Bohn

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0001-5252-9377

Jéssica Adriane Barth

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0001-7394-0894

David Green

School of Business, Innovation and Sustainability,
Rydberg Laboratory for Applied Sciences
University of Halmstad
Halmstad - Sweden
ORCID: 0000-0002-0578-2369

Eduardo Miranda Ethur

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
PPGBiotec
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0003-1731-3778

Elisete Maria de Freitas

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
PPGBiotec
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0002-9292-1557

Gustavo Reisdorfer

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0003-3550-9977

Lucélia Hoehne

Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
PPGBiotec
Lajeado – Rio Grande do Sul
ORCID: 0000-0002-3221-7007

RESUMO: O uso indiscriminado e a presença de antibióticos no ambiente representam um grande risco para a saúde, principalmente por sua influência sobre a microbiota e sua associação ao aumento do número de microrganismos multirresistentes. A amoxicilina é um antibiótico de amplo-espectro, pertencente à classe das penicilinas, de grande uso na medicina humana e/ou veterinária. Devido a sua baixa metabolização no organismo, a amoxicilina muitas vezes está presente nos efluentes domésticos ou hospitalares. Dessa forma, o presente projeto de pesquisa avaliou a degradação da amoxicilina por fotólise com diferentes doses de peróxido de hidrogênio em meios ácido, neutro e alcalino, através de um protótipo de reator contínuo com dióxido de titânio fixado ao leito. A maior

degradação (67%) foi obtida nas condições de 500 mg/L de peróxido de hidrogênio e pH 9, com tempo de residência de 20 minutos. O dióxido de titânio fixado ao leito apresentou baixa atividade fotocatalítica, provavelmente devido a sua morfologia e granulometria.

PALAVRAS-CHAVE: Amoxicilina. Processos Oxidativos Avançados. Micropoluentes. Fotocatálise.

AMOXICILLIN DEGRADATION VIA ADVANCED OXIDATIVE PROCESS IN A FIXED-BED CONTINUOUS-FLOW TiO₂ REACTOR

ABSTRACT: The indiscriminate usage and the presence of antibiotics in the environment represent a major health concern, especially due to their influence on the microbiota and association with an increase on the number of multidrug resistant microorganisms. Amoxicillin is a derivative of penicillin, and a broad-spectrum antibiotic, largely used in both human and veterinary medicine. Due to its relatively low metabolism, amoxicillin is often times present in domestic and hospital sewage. Thus, this work seeks to evaluate amoxicillin degradation via photocatalysis, under different dosages of H₂O₂ in acidic, neutral and alkaline mediums, in a TiO₂ fixed-bed continuous-flow reactor prototype. The highest degradation (67%) was achieved with the addition of 500 mg/L H₂O₂, pH 9, and a residence time of 20 minutes. The TiO₂ fixed-bed showed low photocatalytic activity, likely due to its morphology and granulometry.

KEYWORDS: Amoxicillin. Advanced Oxidative Processes. Micropollutants. Photocatalysis.

1 | INTRODUÇÃO

Os produtos farmacêuticos, mesmo que benéficos à saúde, cujos princípios ativos nem sempre são completamente metabolizados pelo organismo, têm se tornado um assunto de grande interesse público, nas áreas ambiental e da saúde, devido aos seus sérios riscos e efeitos às vezes irreversíveis nos ambientes aquáticos e terrestres. Os antibióticos são uma classe de compostos especialmente problemática, pois podem ter efeitos agudos e crônicos, assim como influenciar no aumento da resistência bacteriana nos ecossistemas (MARTINS et al., 2009).

São muitas as formas pelas quais esses compostos podem contaminar os solos e as águas. Os resíduos de antibióticos de uso humano e veterinário estão presentes em uma vasta gama de ambientes, como águas superficiais e mananciais, efluentes de hospitais e Estações de Tratamento de Água, solos e sedimentos. Tais compostos são principalmente lançados ao ambiente através de excreções, chegando às Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), onde não são completamente removidos, e contaminando as águas receptoras. O lodo e o adubo aplicados às plantações também são uma via de entrada direta dos antibióticos para o solo e, conseqüentemente, à cadeia alimentar. Dependendo das propriedades destes compostos, podem atingir mananciais e fontes de água superficiais (HOMEM; ALVES; SANTOS, 2010).

Até 2015, mais de 200 fármacos diferentes foram identificados em águas fluviais

ao redor do mundo, com concentrações chegando a, por exemplo, 6,5 mg/L para a ciprofloxacina. No Reino Unido, a média das concentrações de amoxicilina (AMX) nas águas superficiais chegou a variar de 2,5 a 245 ng/L. O valor máximo já encontrado para o antibiótico, nas águas superficiais, chegava a 622 ng/L (PETRIE; BARDEN; KASPRZYK-HORDERN, 2015). A AMX um antibiótico semi-sintético, ativo contra um amplo espectro de bactérias gram-positivas e alguns organismos gram-negativos e pertencente à classe das penicilinas, caracterizada pela presença do anel β -lactam (RADOSAVLJEVIĆ et al., 2017). A AMX é empregada no tratamento e na prevenção de infecções bacterianas dos tratos respiratório, gastrointestinal e urinário e doenças dermatológicas devido a suas propriedades farmacológicas e farmacocinéticas. Além de suas aplicações na medicina humana, a AMX também encontra usos na medicina veterinária e na forma de promotores de crescimento para diversos animais domésticos ou de consumo, o que a torna um dos antibióticos mais prescritos e consumidos mundialmente (ELIZALDE-VELÁZQUEZ et al., 2016).

Na Europa, por exemplo, apenas no ano de 2009, a classe das penicilinas representou 47% do consumo total por pacientes, dos quais 83,9% eram constituídas pela AMX, isolada ou em conjunto com outros inibidores da β -lactamase (PEREIRA et al., 2014). Petrie, Barden e Kasprzyk-Hordern (2015) citam a prescrição de 158.231 toneladas de AMX somente no Reino Unido e apenas no ano de 2012.

A combinação desta grande quantidade de prescrições e o fato de que a AMX tem uma baixa taxa de metabolização em humanos - levando a excreção de 80 a 90% de cada dose - resulta numa presença quase constante deste fármaco em forma não-metabolizada em efluentes domésticos e hospitalares (PEREIRA et al., 2014). A AMX já foi detectada em concentrações de microgramas por litro em efluentes que já passaram por tratamento secundário e águas superficiais, enquanto sua presença em efluentes da indústria farmacêutica chega a níveis de miligramas por litro (DIMITRAKOPOLOU et al., 2012), e Pan et al. (2008) já relataram a toxicidade da amoxicilina às algas e outros microrganismos aquáticos, devido a seu efeito inibitório sobre as proteínas responsáveis pela reação de fotossíntese oxigênica.

O tratamento do efluente hospitalar em sua fonte, no geral, tem como uma de suas vantagens prevenir a entrada de bactérias e patógenos multirresistentes a antibióticos no ambiente. No entanto, os tratamentos biológicos (como lodo ativado convencional) são normalmente insuficientes para remover a carga de micropoluentes dos efluentes. Nos últimos anos, assim, os processos oxidativos avançados (POA) têm se apresentado como uma alternativa promissora para o tratamento de água e efluentes e na degradação de substâncias biorrecalcitrantes (HOMEM; ALVES; SANTOS, 2010). Os POA representam uma rota tecnologicamente eficaz para a degradação de poluentes orgânicos, especialmente em comparação com métodos mais custosos como a aplicação de carvão ativado, osmose reversa ou *air stripping*. Essas técnicas apenas transferem os poluentes de um meio para o

outro sem degradá-los ou destruí-los, enquanto os POA são capazes de oxidar substâncias tóxicas e não-tóxicas a diferentes subprodutos e, com o tempo, em produtos finais inócuos (RADOSAVLJEVIĆ et al., 2017).

Cada um dos POA é caracterizado por uma variedade de reações por espécies altamente reativas (principalmente o radical hidroxila, mas também superóxidos do ânion O_2^- e hidroperóxidos (HO_2^-)) (WANG; XU, 2012) envolvendo combinações de agentes químicos (como O_3 , H_2O_2 , metais de transição ou óxidos metálicos) e fontes de energia alternativas (radiação UV, corrente elétrica e ultrassom). O radical OH^\cdot é o principal oxidante nos POA por sua característica não-seletiva, prontamente reagindo com diversos poluentes orgânicos presentes nas águas, transformando-os em compostos mais hidrofílicos, dióxido de carbono e água (VERLICCHI; AL AUKIDY; ZAMBELLO, 2015).

O dimensionamento de um POA consiste na seleção de um processo para a produção dos radicais hidroxila, na estimativa da cinética da reação de acordo com os compostos de interesse e o projeto de um reator no qual a reação se desenvolverá. No geral, os POA têm sido estudados como alternativa ou complemento aos tratamentos convencionais. Como complementos, costumam ser desenvolvidos como processos de pré-tratamento, nos quais os poluentes são oxidados a seus metabólitos menores que são mais biodegradáveis e menos tóxicos, prevenindo a morte dos microrganismos envolvidos nos estágios subsequentes e no ambiente (HOMEM; ALVES; SANTOS, 2010).

O dióxido de titânio (TiO_2) é o fotocatalisador mais utilizado para o tratamento de poluentes em soluções aquosas, sendo altamente eficiente, barato, comercialmente disponível em diversas formas cristalinas, estável contra a fotocorrosão e de fácil manuseio. O tratamento de águas residuárias por POA, como a combinação entre TiO_2 e radiação UV, também denominada fotocatalise heterogênea, possui grande potencial como método alternativo de purificação da água e tem sido assunto de crescente interesse nas últimas décadas. O processo une a luz UV de baixa energia a semicondutores que agem como fotocatalisadores. Nesse processo, pares elétron-lacuna executam a degradação *in situ* de poluentes. As lacunas atuam como bons oxidantes de compostos orgânicos enquanto os elétrons podem reduzir íons metálicos, passíveis de posterior recuperação através de extração por solventes (RAY, 2009).

Logo, o presente projeto pretende avaliar a aplicabilidade de um reator em operação contínua para processos oxidativos avançados envolvendo fotólise e reações fotocatalíticas para a degradação da AMX, a partir da elaboração e construção de um protótipo de reator contínuo com TiO_2 fixado ao leito e a avaliação de sua eficiência na degradação da AMX em diferentes condições.

2 I METODOLOGIA

2.1 Procedimento experimental

Conforme a Figura 1, os ensaios de fotólise foram realizados em conduto de cloreto de polivinila (PVC), sobre o qual uma lâmpada de vapor de mercúrio de potência nominal de 95 W (Philips®) foi suspensa, com vistas a simular o escoamento contínuo do efluente. Alíquotas de 200 mL de soluções de AMX (25 mg/L) eram transferidas ao reator por uma bomba dosadora Exatta® EX0114, ajustada para 10 injeções por minuto. Uma cabeceira de 5 mm de altura definiu o volume retido e o tempo de residência de aproximadamente 20 minutos.

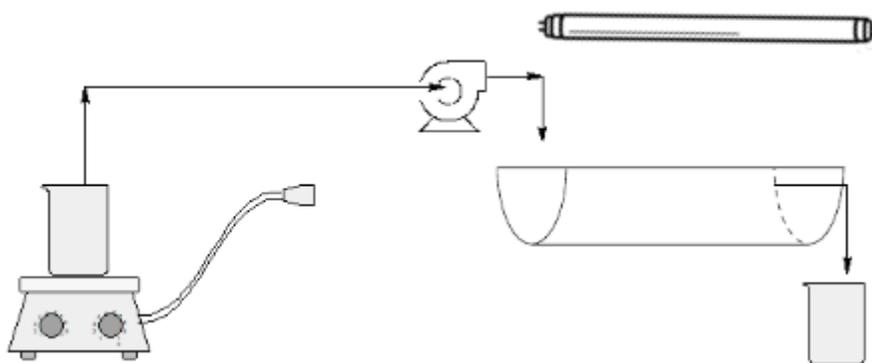


Figura 1 – Esquematização do aparato experimental

Com base no método de Machado et al. (2010), a fixação das partículas de TiO_2 (Labsynth®) na superfície interna do reator foi obtida a partir do preparo de uma suspensão do catalisador em ciclohexanona e o subsequente pincelamento dessa sobre o leito. Uma vez que o solvente tenha evaporado, o TiO_2 foi seco e fixado.

Objetivando avaliar os efeitos da camada de TiO_2 fixada, um teste preliminar foi realizado na ausência de catalisador, em meio ácido e com a maior dosagem de H_2O_2 . Em sequência, fez-se a avaliação do processo fotocatalítico aprimorado com H_2O_2 . A influência da dosagem de H_2O_2 foi avaliada nas concentrações de 50, 200 e 500 mg/L, adicionadas imediatamente antes do bombeamento das soluções de AMX. Os efeitos do pH do meio também foram estudados em meio ácido (4), neutro (7) e alcalino (9). Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

3.2 Métodos analíticos

As partículas de TiO_2 foram caracterizadas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O espectro de absorção UV de cada solução final foi monitorado através

de um espectrofotômetro Genesys 10S (Thermo-Scientific®), objetivando identificar quaisquer alterações à concentração da AMX. A concentração final e a consequente taxa de degradação da AMX foram determinadas de acordo com a variação da absorvância correspondente ao comprimento de onda de 230 nm.

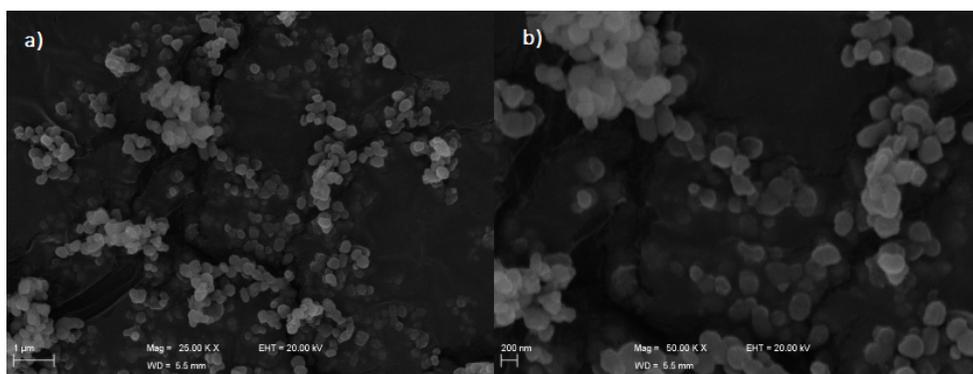
A mineralização da AMX após os experimentos foi avaliada a partir da medição do decréscimo do Carbono Orgânico Total (COT), com o uso de um analisador de COT Shimadzu® TOC-V_{CPH}, e sua eficiência é dada pela Equação:

$$\text{Mineralização (\%)} = \left[1 - \frac{COT_f}{COT_0} \right] \cdot 100$$

Em que COT_f e COT_0 representam as concentrações final e inicial, respectivamente, em mg/L.

3 | RESULTADOS

3.1 Caracterização e efeitos do TiO₂



Nota: Partículas finas de TiO₂ sob a) baixa e b) alta magnificações.

Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura de amostras de TiO₂

A MEV foi utilizada para verificar a morfologia e granulometria do pó de TiO₂. A Figura 2 apresenta imagens amplificadas das amostras. O pó mostrou-se composto por partículas finas e nanopartículas de razoável área superficial que apresentam tendência a aglomerar-se, possivelmente pelo fato de que o TiO₂ é instável em tal nível granulométrico. A magnificação de 50000 X permite avaliar o tamanho dessas partículas, de aproximadamente 200 nm, que corresponde principalmente ao TiO₂ cuja maior aplicação é em forma de pigmento (NIOSH, 2011).

Todavia, os testes preliminares mostraram que o TiO₂ empregado como catalisador

fixado ao leito não apresentou efeito significativo sobre a eficiência do processo em respeito à degradação da AMX, possivelmente devido a sua estrutura cristalina ou granulometria.

Sabe-se que o fotocatalisador TiO_2 apresenta-se principalmente nas formas de anatase e rutilo, sendo que a primeira estrutura é considerada a mais ativa. Degussa P-25 é o fotocatalisador mais comumente comercializado, um pó constituído por cristalitos de ambas as fases – anatase e rutilo – geralmente nas proporções de 80:20 e/ou 70:30. A mistura de diferentes formas morfológicas é conhecida por apresentar efeitos sinérgicos e uma maior atividade fotocatalítica pode ser observada em comparação com suas respectivas fases puras. De qualquer forma, para as fases puras, é consenso que a anatase apresenta maior atividade fotocatalítica que o rutilo. Além disso, não apenas os dois polimorfos apresentam diferente fotoatividade, mas as diferentes orientações cristalográficas do mesmo material podem exibir diferentes atividades (LUTTRELL et al., 2014).

Não obstante, de acordo com Liao D. e Liao B. (2007), a atividade fotocatalítica do TiO_2 é dependente de sua forma e tamanho, por exercerem forte influência nas propriedades ópticas, eletrônicas, adsorptivas e catalíticas devido a mudanças na área superficial, quantidade de sítios ativos e efeitos quânticos de tamanho. Além disso, o ajuste de tamanho das nanopartículas de um semicondutor permite a modificação da energia de seu *band gap* – e um *band gap* menor tem efeito positivo sobre a atividade fotocatalítica do semicondutor porque menos energia é necessária para a geração dos pares elétron/lacuna e consequente indução da reação fotocatalítica.

Por exemplo, Tan et al. (2013) sugerem que um tamanho de partícula na faixa de 25 a 40 nm apresenta a maior atividade fotocatalítica. Em seu estudo, os autores compararam a atividade catalítica de TiO_2 nanoparticulado sintético, com tamanhos que variavam de 30 nm até 550 nm, concluindo que as partículas menores que 100 nm apresentaram os melhores resultados – menor tempo de reação e maior atividade catalítica. Tais resultados fortalecem os achados de Xu et al. (1999), que já sugeriam que a constante cinética da fotocatalise de um pigmento orgânico aumentava conforme o tamanho das partículas de TiO_2 diminuía, inclusive para partículas ultrafinas menores que 30 nm.

3.2 Avaliação da degradação da AMX

O monitoramento do espectro de absorção das soluções após passagem pelo reator e a estimativa das concentrações finais revelou que a degradação da AMX aumentou conforme maior a dose de H_2O_2 , enquanto manteve-se relativamente próxima entre as diferentes condições de pH, com exceção dos experimentos sob 200 mg/L de H_2O_2 e pH básico, que apresentaram comportamento distinto das demais, conforme a Figura 3.

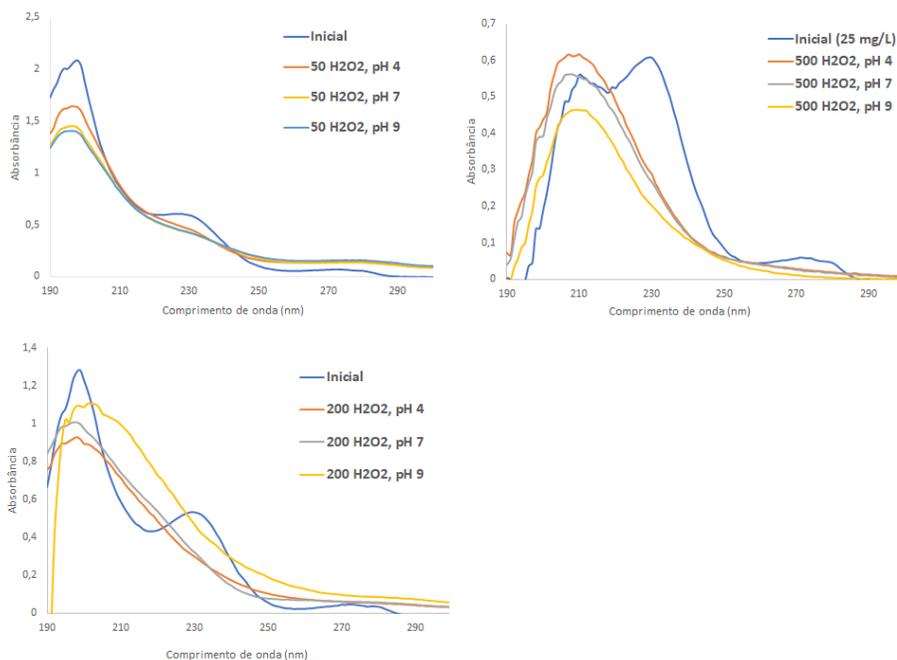


Figura 3 – Espectros de absorção no UV das soluções-teste iniciais e finais

O desaparecimento dos picos, mais proeminente no comprimento de onda correspondente a 230 nm, indica a efetiva degradação – ou quebra – das moléculas de AMX. O aumento da absorbância geral, principalmente nos experimentos com concentração de H₂O₂ de 50 mg/L, sugere a formação de subprodutos ou metabólitos derivados de fenóis, anilinas, benzenos ou quinonas, capazes de absorver luz nos mesmos comprimentos de onda. A mesma variação é menos intensa conforme a concentração de H₂O₂ aumenta devido à maior degradação do composto original e de seus subprodutos. Por conta disso, e com essas informações, as taxas de degradação da AMX estimadas em cada condição, de acordo com os efeitos respectivos a suas variáveis, estão dispostas na Figura 4:

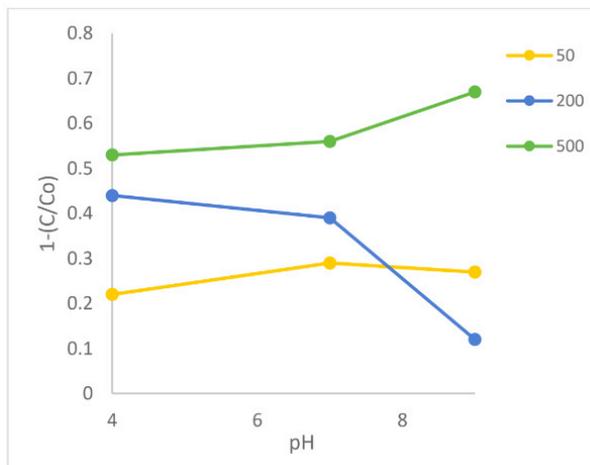


Figura 4 – Efeitos da dose de H₂O₂ e do valor de pH na concentração final de AMX

A partir das variações dos espectros de absorção, tomando o pico aos 230 nm como ponto de referência, a maior taxa de degradação estimada foi obtida na presença de 500 mg/L de H₂O₂ e pH 9 (67% em meio básico, 53 e 56% nos meios ácido e neutro, respectivamente, em um tempo de residência de 20 minutos). Suspeita-se que a maior degradação em ambiente alcalino se deve à maior disponibilidade de íons OH⁻ livres e consequente favorecimento da hidrólise do H₂O₂ em H⁺ e HO₂⁻.

Infelizmente, nenhum resultado acerca da mineralização da AMX pôde ser obtido com razoável confiabilidade – enquanto algumas amostras sugeriam mineralização de, em média, 12%, outras apresentavam acréscimo no valor do COT em comparação com a referência inicial. Entre os motivos que podem acarretar em tais resultados discrepantes estão a possibilidade de contaminação das amostras, ou, de acordo com Mopper e Qian (2006), problemas relacionados ao método de análise.

A análise do COT foi realizada através de oxidação por UV e peróxodissulfato seguida de combustão. Segundo Mopper e Qian (2006), os problemas em métodos de oxidação por UV podem resultar da idade da lâmpada ou das diferentes eficiências de diferentes lâmpadas. Os autores ainda reiteram que colóides (como alguns polissacarídeos complexos), alginatos, materiais particulados e alguns compostos orgânicos contendo nitrogênio e enxofre podem não sofrer oxidação completa por UV, com a aparente exceção do método que inclui a catálise por TiO₂. A oxidação e consequente combustão incompleta das moléculas de AMX pode sugerir que, conforme maior a degradação da molécula de AMX em cada amostra, maior era a possibilidade de detecção pelo equipamento (em comparação com amostras que apresentaram pouca degradação) devido à prévia quebra da AMX em metabólitos de mais fácil oxidação.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou apresentar a aplicação de um POA em operação contínua para a degradação de AMX em solução aquosa a partir da elaboração de um protótipo de reator com catalisador fixado ao leito. A operação contínua oferece uma miríade de vantagens em comparação com operações semi-contínuas ou em bateladas, como custo de operação.

A partir da construção do protótipo, foi possível observar a eficiência do reator nas condições testadas. Embora o catalisador não tenha exercido o efeito desejado, possivelmente por conta de sua morfologia e granulometria, acredita-se que a aplicação de um POA em operação contínua no tratamento de águas e efluentes para a remoção de micropoluentes, como antibióticos, é promissora. Parâmetros como o tempo de residência, vazão, dosagem de reagentes, fonte de radiação e catalisador devem ser observados com cuidado a fim de que a carga poluidora seja removida por completo.

O tratamento dedicado à efluentes carregados com micropoluentes é recomendado. De qualquer fonte ou composição, a segregação e o tratamento especial parecem adequados para efluentes específicos, com carga contaminante, potencialmente tóxica e compostos biorrecalcitrantes. Em qualquer caso, a diluição desse tipo de efluente nos corpos receptores jamais deve ser a opção indicada.

REFERÊNCIAS

DIMITRAKOPOLOU, D.; RETHEMIOTAKI, I.; FRONTISTIS, Z. et al. **Degradation, mineralization and antibiotic inactivation of amoxicillin by UV-A/TiO₂ photocatalysis**. Journal of Environmental Management, vol. 92, p. 168-174, 2012.

ELZALDE-VELÁZQUEZ, A.; GÓMEZ-OLIVÁN, L.; GALAR-MARTÍNEZ, M. et al. Amoxicillin in the aquatic environment, its fate and environmental risk. *IN: LARRAMENDY, M. L.; SOLONESKY, S. (orgs.) Environmental Health Risk – Hazardous Factors for Living Species*, Chapter 10, 2016.

HOMEM, V.; ALVES, V.; SANTOS, A. **Amoxicillin degradation at ppb levels by Fenton's oxidation using design of experiments**. Science of the Total Environment, vol. 408, p. 6272-6280, 2010.

LIAO, D. L.; LIAO, B. Q.; **Shape, size and photocatalytic activity control of TiO₂ nanoparticles with surfactants**. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, vol. 187, p. 363-369, 2007.

LUTTRELL, T.; HALPEGAMAGE, S.; TAO, J. et al. **Why is anatase a better photocatalyst than rutile? – Model studies on epitaxial TiO₂ films**. Scientific Reports, vol. 4, no. 4043, 2014.

MACHADO, Ê. L.; KIST, L. T.; SCHMIDT, R. et al. **Secondary hospital detoxification and disinfection by advanced oxidation processes**. Environmental Technology, vol. 28, p. 1135-1143.

MARTINS, A. F.; MAYER, F.; CONFORTIN, E. F. et al. **A study of photocatalytic processes involving the degradation of the organic load and amoxicillin in hospital wastewater**. Clean, vol. 37, no. 4-5, p. 365-371, 2009.

MOPPER, K.; QIAN, J. **Water Analysis: Organic Carbon Determination**. In: Encyclopedia of Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, Ltd., 2006.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Occupational Exposure to Titanium Dioxide**. DHHS (NIOSH) Publication No. 2011-160.

PAN, X.; DENG, C.; ZHANG, D. et al. **Toxic effects of amoxicillin on the photosystem II of *Synechocystis* sp. characterized by a variety of in vivo chlorophyll fluorescence tests**. Aquatic Toxicology, vol. 89, p. 207-213, 2008.

PEREIRA, J. H. O. S.; REIS, A. C.; NUNES, O. C. et al. **Assessment of solar driven TiO₂-assisted photocatalysis efficiency on amoxicillin degradation**. Environmental Science and Pollution Research International, vol. 21, no. 2, p. 1292-1303, 2014.

PETRIE, B.; BARDEN, R.; KASPRZYK-HORDERN, B. **A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring**. Water Research, vol. 72, p. 3-27, 2015.

RADOSAVLJEVIĆ, K. D.; GOLUBOVIĆ, A. V.; RADIŠIĆ, M. M. et al. **Amoxicillin degradation by nanocrystalline TiO₂**. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, vol. 23, no. 2, p. 187-195, 2017.

RAY, A. K. **Photocatalytic reactor configurations for water purification: experimentation and modeling**. In: DE LASA, H. I.; ROSALES, B. S. Advances in Chemical Engineering, vol. 36. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 2009. cap. 5.

RODRIGUEZ-MOZAZ, E.; CHAMORRO, S.; MARTI, E. et al. **Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river**. Water Research, vol. 69, p. 234-242, 2015.

TAN, Z.; SATO, K.; TAKAMI, S. et al. **Particle size for photocatalytic activity of anatase TiO₂ nanosheets with highly exposed {001} facets**. RSC Advances, vol. 3, p. 19268-19271, 2013.

VERLICCHI, P.; AL AUKIDY, M.; ZAMBELLO, E. **What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? - And overview and a discussion on perspectives**. Science of the Total Environment, vol. 514, p. 467-491, 2015.

WANG, J. L.; XU, L. J. **Advanced oxidation processes for wastewater treatment: formation of hydroxyl radical and application**. Critical Reviews on Environmental Science and Technology, vol. 42, p. 251-325, 2012.

XU, N.; SHI, Z.; FAN, Y. et al. **Effects of particle size of TiO₂ on photocatalytic degradation of methylene blue in aqueous suspensions**. Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 38, no. 2, p. 373-379, 1999.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase em desenvolvimento de um bioadsorvente para remoção dos íons metálicos As(V), Sb (III) e Se (IV) em diferentes matrizes aquosas. Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados ($\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e $\text{TiO}_2/\text{Solar}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$) para remoção de contaminantes de interesse emergente (CIE) em diferentes matrizes aquáticas. Atualmente realiza pós-doutorado na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase em aplicação de novos agentes oxidantes empregando radiação solar para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Possui 11 anos de experiência como técnico em química no Instituto Federal de Goiás, tendo atuado como responsável por análises de parâmetros físico-químicos e biológicos de águas e efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de solventes e metais de alto valor para reutilização em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) Estudos de monitoramento de CIE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$, $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins de reutilização; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CIE em diferentes matrizes aquáticas e (vi) Educação Ambiental.

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