

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2



Daniel Sant'Ana
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2



Daniel Sant'Ana
(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 Cremona

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
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
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
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
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. 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

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci 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

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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. 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
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 Miranilde 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. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andreza 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. 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. 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 Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
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/UFPA
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/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
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
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. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
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. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Daniel Sant'Ana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 2 / Organizador Daniel Sant'Ana. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-745-1

DOI 10.22533/at.ed.451211901

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. 2.
Conhecimentos. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.
CDD 628

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

A coleção *“Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária”* tem como objetivo disseminar o estado atual do conhecimento das diferentes áreas das ciências ambientais e sanitárias, apresentando a evolução do campo científico por meio de diferentes tipos de trabalhos que abordam os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, sociais e ambientais desta disciplina.

Os processos de produção industrial têm gerado grandes volumes de efluentes que podem causar sérios danos ambientais caso os contaminantes presentes na água não sejam removidos. Efluentes da indústria têxtil descarregam corantes em seus resíduos e, com isso, os primeiros três capítulos apresentam diferentes processos de tratamento para sua remoção.

Um dos desafios atuais no tratamento de efluentes está na remoção eficaz de contaminantes emergentes. Os capítulos subsequentes apresentam técnicas de adsorção são apresentadas para remoção de antibiótico em efluentes doméstico (Capítulo 4) e fosfato em sistemas de tratamento de águas residuárias (Capítulo 5). Soluções alternativas no processo de tratamento do esgoto doméstico (Capítulo 7), ou até mesmo o reúso de água provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 6), promovem economia financeira e reduzem impactos ambientais.

Ainda há muito o que evoluir na gestão de resíduos sólidos, desde sua geração até a sua disposição final. Mesmo assim, diferentes estudos vêm apontando soluções com o intuito de mitigar impactos ambientais. Por exemplo, no Capítulo 8, vemos a busca de soluções no processo de secagem de lodo provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 8) para seu aproveitamento como fertilizante ou condicionador de solo.

Evidentemente, quanto maior o número de habitantes de uma cidade, maior são os problemas gerados por resíduos urbanos. Com isso, o Capítulo 9 apresenta indicadores de geração de resíduos domésticos como forma de categorizar o tipo de resíduo e estimar o volume sendo gerado diariamente. É de suma importância traçar um plano de ação para estimular a reciclagem de resíduos sólidos, otimizar os processos de reciclagem (Capítulo 10) e promover a conscientização e educação da população (Capítulo 11). Pois o descuido no descarte de resíduos pode causar sérios danos ambientais pela contaminação do solo (Capítulos 12 e 13).

Um dos maiores desafios do século XXI está na redução da emissão de poluentes na atmosfera, não apenas pelo seu impacto sobre as mudanças climáticas, mas também pelo seu impacto na saúde pública. Com isso, os últimos capítulos abordam os danos ambientais causados por queimas controladas na agricultura, indústria e queima de combustíveis fósseis.

Este segundo volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes

partes do país, México e Inglaterra, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos ao tratamento de efluentes industriais, tratamento de esgotos domésticos, reúso de água, gestão de resíduos, contaminação ambiental e qualidade do ar. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Daniel Sant'Ana

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE PROCESOS FOTOCATALÍTICOS APLICADOS A COLORANTES INDIGOIDES

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Marina Violeta Gómez Chávez

Verónica Camargo

DOI 10.22533/at.ed.4512119011

CAPÍTULO 2..... 13

DECOLORACIÓN DEL COLORANTE ÍNDIGO CON *ASPERGILLUS NIGER* INMOVILIZADO SOBRE CELULOSA OBTENIDA DE ESPINAS DE NOPAL

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Federico Augusto Trampe Torija

Raymundo Guzmán Gil

Margarita González-Brambila

José Luis Contreras Larios

Marina Violeta Gómez Chávez

DOI 10.22533/at.ed.4512119012

CAPÍTULO 3..... 25

DESCOLORAÇÃO DE ALARANJADO DE METILA EM BATELADA E EM PROCESSO CONTÍNUO

Cássia Sidney Santana

Otávio Henrique Campos Hamdan

Alisson Henrique Marques da Silva

Bruno Andrade Trindade

Daniele Massote Gibram

Marcelo da Silva Batista

DOI 10.22533/at.ed.4512119013

CAPÍTULO 4..... 35

ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO

Ismael Laurindo Costa Junior

Bruna Ataíde Barros Fonseca

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

DOI 10.22533/at.ed.4512119014

CAPÍTULO 5..... 55

AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE FOSFATO POR GOETHITA NATURAL OBTIDA POR PROCESSO DE DISSOLUÇÃO SELETIVA EM COMPARAÇÃO COM GOETHITA NANOPARTÍCULA SINTÉTICA

Marcelo Hidemassa Anami

Nathalia Pravatto dos Santos

Gabriella de Moraes Valentim

Maria Eduarda Aranega Pesenti

Leonardo Carmezini Marques
Jefferson Sussumu de Aguiar Hachiya
DOI 10.22533/at.ed.4512119015

CAPÍTULO 6..... 66

AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE REÚSO COM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Marcel Chacon de Souza
Andre Luis Calado Araújo
Juliana Delgado Tinôco Araújo

DOI 10.22533/at.ed.4512119016

CAPÍTULO 7..... 74

USO DE FLOCOS DE PEAD RECICLÁVEL (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) COMO MEIO SUPORTE EM REATOR MBBR TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Bruno de Oliveira Freitas
Maria Teresa Hoffmann
Luiz Antônio Daniel

DOI 10.22533/at.ed.4512119017

CAPÍTULO 8..... 82

ESTUDO DE SECAGEM DE LODO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTUFA AGRÍCOLA

Leticia Amadeu Freddi
Danielle Bolandim Costa
Tsunao Matsumoto

DOI 10.22533/at.ed.4512119018

CAPÍTULO 9..... 95

GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO

José Luis Guevara Franco
Laura Patricia Flores Castillo
Norma Angélica Oropeza García
José Alfonzo Canche Uuh
Alondra Martínez Flores

DOI 10.22533/at.ed.4512119019

CAPÍTULO 10..... 99

IDENTIFICAÇÃO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS PELO TESTE DE CHAMA

César Augusto Canciam

DOI 10.22533/at.ed.45121190110

CAPÍTULO 11 107

PROJETO ESCOLA RESÍDUO ZERO – PERZ (ESTUDO DE CASO EM GOIÂNIA)

Diógenes Aires de Melo
Giovane Moraes Toledo
Camila Batista do Carmo

Fabiola Adaianne Oliveira
Patrícia Elias Sahium
DOI 10.22533/at.ed.45121190111

CAPÍTULO 12..... 125

CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM ATERROS: IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA

Lúrian Sâmia de Lacerda Ferreira
Luze Daiane da Silva Pereira
Ruy Bessa Lopes

DOI 10.22533/at.ed.45121190112

CAPÍTULO 13..... 130

EFEITO DO PH NA LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

Luanna Di Mario Rocha
Maria Magdalena Ribas Döll
Lilian Tais de Gouveia

DOI 10.22533/at.ed.45121190113

CAPÍTULO 14..... 145

MUDANÇA TEMPORAL DO USO DO SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PEDRA DO CAVALO

Israel Henrique Ribeiro Rios
Ana Júlia Dantas Pitangueira
Lis Correia Barreto

DOI 10.22533/at.ed.45121190114

CAPÍTULO 15..... 159

¹⁴C COMO TRAZADOR DE QUEIMA DE BIOMASSA EN MÉXICO

Marina Violeta Gómez Chávez
Maria Elba Ortiz Romero Vargas
Corina Solís Rosales
Efraín Chávez Lomelí
Javier Miranda del Campo
Javier Aragón Navarro
Miguel Ángel Martínez Carrillo
Telma Gloria Castro
Oscar Augusto Peralta Rosales

DOI 10.22533/at.ed.45121190115

CAPÍTULO 16..... 170

ESTUDO DA DEMANDA DE QUEIMA CONTROLADA DE CAMPOS NATIVOS EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA NOS ANOS DE 2009 A 2018

Débora Cristina Correia Cardoso
Daniely Neckel Rosini
Jordana dos Anjos Xavier
Valter Antonio Becegato

Vitor Rodolfo Becegato
Alexandre Tadeu Paulino

DOI 10.22533/at.ed.45121190116

CAPÍTULO 17	185
MEASUREMENT AND MATHEMATICAL MODELLING OF ODOR GASES IN A COLLAGEN AND GELATINE PLANT	
Rafael Geha Serta	
Ângelo Breda	
Juliana Pilato Rodrigues	
Marcio Barreiro Gonçalves	
Antônio Augusto Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.45121190117	
SOBRE O ORGANIZADOR	192
ÍNDICE REMISSIVO	193

CAPÍTULO 3

DESCOLORAÇÃO DE ALARANJADO DE METILA EM BATELADA E EM PROCESSO CONTÍNUO

Data de aceite: 04/01/2021

Cássia Sidney Santana

Departamento de Engenharia Química
Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal
de São João del Rei
Ouro Branco - MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3509883977768534>

Otávio Henrique Campos Hamdan

Departamento de Engenharia Química
Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal
de São João del Rei
Ouro Branco - MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9745214649692598>

Alisson Henrique Marques da Silva

Departamento de Engenharia Química
Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal
de São João del Rei
Ouro Branco - MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7696132500255779>

Bruno Andrade Trindade

Departamento de Engenharia Química
Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal
de São João del Rei
Ouro Branco - MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9159335479436325>

Daniele Massote Gibram

Departamento de Engenharia Química
Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal
de São João del Rei
Ouro Branco - MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0625305449239534>

Marcelo da Silva Batista

Departamento de Engenharia Química
Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal
de São João del Rei
Ouro Branco - MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1573905329100173>

RESUMO: Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido cada vez mais estudados como alternativa aos métodos tradicionais de tratamento de poluentes visando alcançar maior eficiência. Dentre os POAs, destaca-se a reação de Fenton que consiste na formação de radical hidroxila (HO^\bullet), de elevada capacidade para oxidação de poluentes orgânicos, a partir da reação de degradação do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) por íons ferro II (Fe^{2+}) em meio ácido. A reação de Fenton quando acompanhada de fotólise (reação foto-Fenton) pode intensificar a formação de radicais hidroxila e promover maior degradação de contaminantes em um efluente. Considerando-se o que foi exposto, nesse trabalho foi estudada a descoloração de uma solução contendo o corante alaranjado de metila, via reação de Fenton, em batelada e em processo contínuo utilizando um reator tubular de fluxo contínuo (PFR). Para o processo contínuo avaliou-se também a reação foto-Fenton, utilizando como fontes luminosas a luz negra e a lâmpada de vapor de mercúrio, ambas com potência de 30 W. De acordo com os resultados, o processo contínuo apresentou maior percentual de descoloração do alaranjado de metila que o processo em batelada. No processo contínuo observou-se 99,57% de descoloração

do alaranjado de metila para um tempo espacial de 60 min, enquanto que em batelada a descoloração foi próxima a 45% após o mesmo tempo. O acoplamento de fonte luminosa ao processo contínuo promoveu um pequeno aumento da porcentagem descoloração. Os resultados revelam o futuro promissor da utilização da reação de Fenton em processo contínuo usando um reator PFR, o qual mostrou alta porcentagem de descoloração de alaranjado de metila.

PALAVRAS-CHAVE: Reação de Fenton; alaranjado de metila; descoloração; processo em batelada; processo contínuo.

ABSTRACT: Advanced Oxidation Processes (AOP) have been studied as an alternative to conventional effluents treatment methods in order to achieve greater efficiency. Among the AOP, the Fenton Reaction is highlighted, which consists of the formation of hydroxyl radical ($\text{HO}\bullet$). This radical has a high capacity for oxidizing organic pollutants, from the reaction of degradation of hydrogen peroxide (H_2O_2) by iron (II) ions (Fe_2^+) in acid solution. The Fenton Reaction can intensify the formation of hydroxyl radicals and promote greater degradation of contaminants in an effluent when accompanied by photolysis (photo-Fenton reaction). Considering what was exposed, the discoloration of an orange methyl dye solution was studied via Fenton Reaction, in batch and in a continuous process using a Plug Flow Reactor (PFR). For the continuous process, the photo-Fenton reaction was evaluated using black light and the mercury-vapor lamp, both with 30 watts. The continuous process showed a higher percentage of discoloration of the methyl orange dye solution than the batch process. In the continuous process, 99.57% of discoloration was observed for a space time of 60 minutes, while in batch the discoloration was close to 45% after the same time. The continuous process with light source promoted a tiny increase in the percentage of discoloration. The results reveal the promising future of the Fenton Reaction in a continuous process in PFR reactors, which showed a high percentage of methyl orange discoloration.

KEYWORDS: Fenton Reaction; Methyl Orange; Discoloration; Batch Process; Continuous Process.

1 | INTRODUÇÃO

As indústrias do setor têxtil têm gerado grandes volumes de efluentes que podem causar sérios problemas de contaminação ambiental. A água é utilizada em praticamente todas as etapas do processo de beneficiamento, gerando efluentes de composição heterogênea, contendo compostos complexos e recalcitrantes. Devido ao processo de tingimento, os efluentes são detentores de forte coloração e elevada carga orgânica, apresentando grande potencial poluidor (RAMOS et al., 2020). O efluente têxtil apresenta elevado pH, altas demandas química e bioquímica de oxigênio e grande quantidade de sólidos totais, requerendo processos rigorosos de tratamento, a fim de atender as legislações vigentes. Enquanto a matéria orgânica é facilmente degradada por tratamentos biológicos convencionais, os sólidos totais tendem a persistir no meio líquido mesmo diante desses tratamentos. Os sólidos totais presentes no efluente têxtil estão majoritariamente dissolvidos, devido à variedade de corantes utilizados no processo (YASSEN e SCHOLZ,

2019). Sua estrutura aromática e complexa é resistente à luz, à atividade biológica e a outras condições ambientais degradativas, requerendo caminhos alternativos de tratamento como os Processos Oxidativos Avançados (POAs). Esses processos envolvem a geração de radicais livres que são altamente oxidantes, principalmente o radical hidroxila (HO^\bullet) (ARAÚJO et al., 2016).

A reação de Fenton clássica, uma das mais conhecidas entre os POAs, promove a geração dos HO^\bullet a partir da degradação catalítica do H_2O_2 por íons Fe^{2+} (Equação 1: $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO}^\bullet + \text{HO}^-$, $k = 50\text{-}80 \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$) (NIDHEESH, GANDHIMATHI, RAMESH, 2013). Devido à alta reatividade, esses radicais podem reagir com uma grande variedade de compostos orgânicos, inclusive com os corantes utilizados na indústria têxtil, promovendo a descoloração de efluentes (PLIEGO et al., 2015). O interesse pelos POAs tem crescido por serem consideradas tecnologias limpas, podendo, em muitas situações, atingir a completa mineralização dos poluentes e promover a decomposição de contaminantes orgânicos não biodegradáveis, tais como aromáticos halogenados (ARAÚJO et al., 2016).

Com o intuito de favorecer a formação de mais radicais hidroxila, a reação de Fenton pode ser acompanhada do uso de radiação. Essa reação, denominada foto-Fenton, tem por objetivo alcançar maiores porcentagens de descoloração e degradação da matéria orgânica (TORRADES e GARCÍA-MONTAÑO, 2014). As reações Fenton e foto-Fenton podem ser conduzidas em batelada ou em processo contínuo. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a descoloração de alaranjado de metila via reação de Fenton e foto-Fenton em processo contínuo comparando com o processo em batelada.

2 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Ensaios realizados no processo em batelada

Inicialmente foram realizados quatro ensaios reacionais para o processo em batelada, conforme Tabela 1. Esses ensaios foram realizados em um béquer ao abrigo da luz. Em intervalos de tempo de 30, 40 e 60 min, com o auxílio de uma micropipeta, coletaram-se amostras de 2 mL do meio reacional que foram transferidas para uma cubeta de vidro. Imediatamente após a coleta de cada amostra, mediu-se a absorbância em um espectrofotômetro Micronal, modelo AJAX-1600, usando comprimento de onda de 508 nm, no qual o alaranjado de metila apresenta a máxima absorbância em pH 2,5-3,0 (SANTANA et al., 2020).

Ensaio	Reagente	Concentração da solução / Volume adicionado
1	Alaranjado de metila	300 $\mu\text{mol L}^{-1}$ / 200 mL
	Ácido sulfúrico	20 mmol L^{-1} / 100 mL
	Água destilada	1700 mL
2	Alaranjado de metila	300 $\mu\text{mol L}^{-1}$ / 200 mL
	Ácido sulfúrico	20 mmol L^{-1} / 100 mL
	Peróxido de hidrogênio	4,5 mmol L^{-1} / 200 mL
	Água destilada	1500 mL
3	Alaranjado de metila	300 $\mu\text{mol L}^{-1}$ / 200 mL
	Ácido sulfúrico	20 mmol L^{-1} / 100 mL
	Sulfato de Ferro II	1,2 mmol L^{-1} / 50 mL
	Água destilada	1650 mL
4	Alaranjado de metila	300 $\mu\text{mol L}^{-1}$ / 200 mL
	Ácido sulfúrico	20 mmol L^{-1} / 100 mL
	Peróxido de hidrogênio	4,5 mmol L^{-1} / 200 mL
	Sulfato de Ferro II	1,2 mmol L^{-1} / 50 mL
	Água destilada	1450 mL

Tabela 1. Reagentes, concentrações e volumes usados nos ensaios no processo em batelada.

Ensaio realizado no processo contínuo

Para o processo contínuo foi construído um sistema constituído de três partes: (A) alimentação, (B) reator tubular com escoamento contínuo (do inglês PFR, *Plug Flow Reactor*) e (C) coleta e análise da solução com alaranjado de metila, conforme ilustrado na Figura 1. O sistema de alimentação compõe-se por (i) um tanque contendo solução de peróxido de hidrogênio ($450 \mu\text{mol L}^{-1}$), (ii) um tanque contendo solução de alaranjado de metila ($30 \mu\text{mol L}^{-1}$), sulfato de ferro II ($30 \mu\text{mol L}^{-1}$) e ácido sulfúrico (1 mmol L^{-1}) e (iii) uma bomba dosadora para alimentação dos reagentes no reator PFR. O reator PFR apresenta volume total de 1250 mL, divididos em quatro tubos de borossilicato por onde circula o efluente. Esses tubos apresentam diâmetro hidráulico de 2,30 cm e comprimento de 75,20 cm. Os tubos de borossilicato foram escolhidos devido a sua fácil manipulação, menor custo, excelentes propriedades ópticas, resistência ao ataque químico, resistência mecânica e térmica. Avaliaram-se os tempos de residência de 5, 30 e 60 min, utilizando-se vazões volumétricas de alimentação dos reagentes de 250 mL min^{-1} , $41,67 \text{ mL min}^{-1}$ e $20,83 \text{ mL min}^{-1}$, respectivamente.

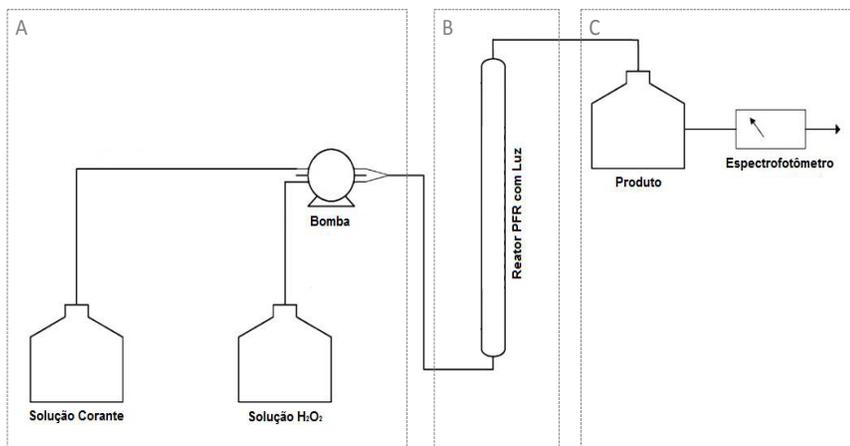


Figura 1. Representação do sistema reacional composto pela: alimentação (A), Reator (B) e coleta e análise da solução de alaranjado de metila (C).

Um tubo cilíndrico de policloreto de vinila de parede interna espelhada foi utilizado para fixar simetricamente os quatro tubos em seu interior. No centro do tubo de policloreto de vinila foi fixado um suporte para alocação da fonte de radiação para realização das reações foto-Fenton. Por fim, o sistema foi vedado em suas extremidades, com tampas plásticas, para minimizar os efeitos da radiação externa nos resultados experimentais. A Figura 2 apresenta as visões frontais e laterais do reator PFR.

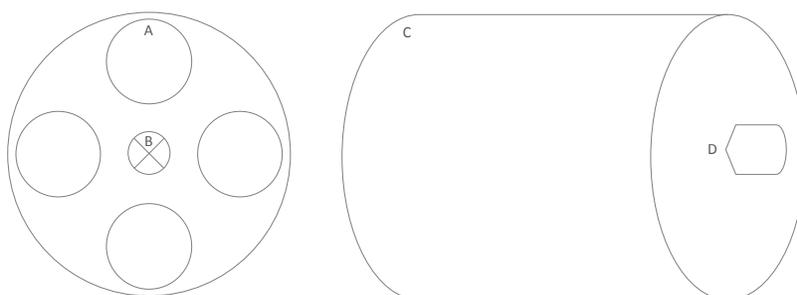


Figura 2. Representação da visão frontal e lateral do reator PFR, indicando os tubos de borossilicado (A), a lâmpada de vapor de mercúrio (B), o tubo de policloreto de vinila (C) e a tampa de vedação (D).

Para avaliar a influência da luminosidade na descoloração do alaranjado de metila via reação foto-Fenton em sistema contínuo, fixou-se a vazão para um determinado tempo de residência, e realizaram-se testes: na ausência de luminosidade (lâmpada desligada), na presença da lâmpada de vapor de mercúrio ou da lâmpada de luz negra, ambas de potência 30 W.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios em batelada (descritos na Tabela 1) são apresentados na Figura 3. Esses ensaios foram realizados para avaliar as condições reacionais que propiciariam a descoloração do alaranjado de metila. A adição da solução de ácido sulfúrico se faz necessária uma vez que esse tratamento exige limitada faixa de pH (2,5 a 3,0), pois acima de um pH = 3,0 ocorre precipitação do ferro e abaixo de 2,5 a alta concentração de H^+ reage, indesejavelmente, com o radical hidroxila, HO^{\bullet} (Equação 2: $HO^{\bullet} + H^+ + e^- \rightarrow H_2O$) (NIDHEESH, GANDHIMATHI, RAMESH, 2013). Na Figura 3 observa-se que a descoloração ocorre somente no caso em que se tem a reação de Fenton (Ensaio 4), atingindo cerca de 45% de descoloração decorridos 60 min. Na presença de íons Fe^{2+} e H_2O_2 , em meio ácido, são gerados os radicais hidroxila, os quais atuam no processo de oxidação da matéria orgânica em solução. Os íons Fe^{3+} gerados no meio reacional podem também reagir com o H_2O_2 formando, assim, o radical hidroperoxila, HO_2^{\bullet} (Equação 3: $Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + HO_2^{\bullet} + H^+$, $k = 0,002-0,01 \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$), o qual possui menor potencial para oxidação do alaranjado de metila comparado ao radical hidroxila, mas que também atua na mineralização desse corante no meio reacional (SANTANA et al., 2019).

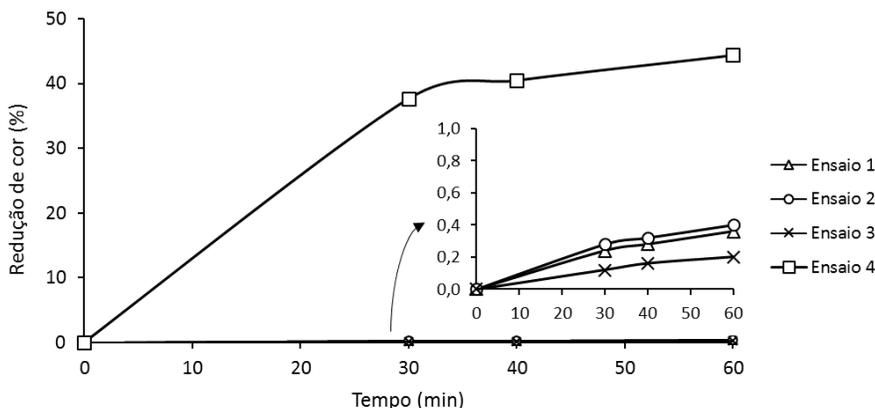


Figura 3. Porcentagens de descoloração do alaranjado de metila ($30 \mu\text{mol L}^{-1}$) na presença de H_2SO_4 (1 mmol L^{-1}) e: 1 – sem aditivo; 2 – H_2O_2 ($450 \mu\text{mol L}^{-1}$); 3 – sulfato de $Fe^{2+}_{(aq)}$ ($30 \mu\text{mol L}^{-1}$); 4 – H_2O_2 ($450 \mu\text{mol L}^{-1}$) e sulfato de $Fe^{2+}_{(aq)}$ ($30 \mu\text{mol L}^{-1}$).

Nota-se que em 30 min de reação é atingida uma porcentagem de descoloração próxima a 38%, e nos posteriores 30 min é obtida uma porcentagem de 7% (totalizando 45% de descoloração após 1 h). Estudos anteriores mostram que a descoloração dos corantes por reação de Fenton pode ser dividida em dois estágios: o primeiro corresponde àquele no qual a formação de radical hidroxila ocorre rapidamente e, portanto, a descoloração é

mais intensa e, o segundo refere-se àquele no qual, devido à menor formação de radical hidroxila e início da formação do radical hidroperoxila, tem-se uma descoloração mais lenta (NIDHEESH, GANDHIMATHI, RAMESH, 2013; SANTANA et al., 2019). Um possível mecanismo para a degradação do alaranjado de metila por reagentes Fenton foi proposto por Devi e colaboradores (2010). De acordo com os autores, a oxidação desse azocorante ocorre pela adição de um radical hidroxila ao átomo de carbono que suporta a ligação –N=N–. O substituinte -N(CH₃)₂, grupo não cromóforo presente neste corante, também é um importante local de ataque por radicais •OH (DEVI et al., 2010).

A Figura 4 mostra os resultados da descoloração do alaranjado de metila na reação de Fenton realizada em batelada e em processo contínuo usando reator PFR. Nota-se que, quando a reação de Fenton é realizada em processo contínuo, a eficiência na descoloração é muito maior que no processo em batelada. A avaliação da reação em um tempo espacial de 60 min no reator PFR mostrou uma porcentagem de descoloração de 99,57%, aproximadamente 2,2 vezes maior quando comparada ao processo em batelada para um mesmo tempo reacional (44,42%). No reator PFR, a porcentagem de descoloração no tempo espacial de 30 e 60 min foi praticamente a mesma, indicando que em processo contínuo, a reação de Fenton se processa mais rapidamente que àquela em batelada. Além disso, a descoloração de corantes em batelada torna-se praticamente inviáveis para aplicação em escala industrial, tendo em vista o grande volume de efluentes gerados (PLIEGO et al., 2015; YASSEN e SCHOLZ, 2019).

Com o intuito de avaliar o desempenho do reator PFR na descoloração do alaranjado de metila, aumentou-se a vazão da bomba, de modo que o tempo espacial fosse reduzido para 5 min e, diante dessas condições, a porcentagem de descoloração foi de 92,33%. Ou seja, mesmo diminuindo o tempo espacial em 6 vezes, a porcentagem de descoloração foi 2,44 vezes e aproximadamente 2 vezes maior do que em batelada para tempos reacionais de 30 e 60 min, respectivamente. Uma provável justificativa para a maior eficácia na descoloração de alaranjado de metila no processo contínuo está relacionada à alimentação contínua de peróxido de hidrogênio ao reator PFR e, no caso do processo em batelada, um excesso de peróxido de hidrogênio, presente no meio reacional no início da reação, pode atuar como sequestrador do radical hidroxila (Equação 4: $H_2O_2 + \bullet OH \rightarrow HO_2\bullet + H_2O$, $k = 1,7\text{-}4,5 \times 10^7 \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$) (NIDHEESH, GANDHIMATHI, RAMESH, 2013). Com a ocorrência da reação representada pela Equação 4 tem-se a formação do radical hidroperoxila (HO₂•), o qual apresenta menor potencial de redução ($E^\circ = 1,42 \text{ V}$) que o radical hidroxila (•OH) ($E^\circ = 2,81 \text{ V}$), que reduz a descoloração. Na literatura, o efeito prejudicial do excesso de H₂O₂ também foi observado na degradação de herbicidas e efluentes (PATERLINI e NOGUEIRA, 2005; TORRADES et al., 2003).

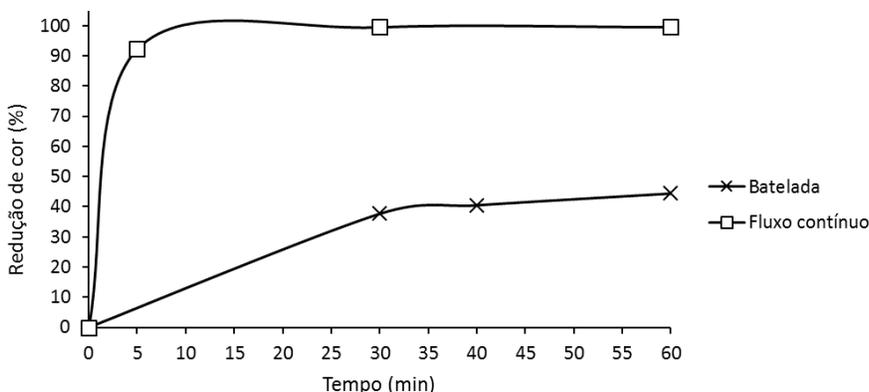


Figura 4. Descoloração do alaranjado de metila na reação de Fenton realizada em batelada e em processo contínuo usando reator PFR.

A descoloração do alaranjado de metila também foi avaliada na reação foto-Fenton, em processo contínuo, acoplado-se a lâmpada de luz negra ou a lâmpada de vapor de mercúrio de 30 W ao reator PFR. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da reação foto-Fenton em processo contínuo.

Tipo de luz	% Descoloração média para $\tau = 5$ min (\pm desvio)
Lâmpada de vapor de mercúrio (30 W)	93,21 \pm 0,20
Lâmpada de luz negra (30 W)	96,82 \pm 0,04
Sem iluminação de lâmpada	92,33 \pm 0,29

Tabela 2. Descoloração de alaranjado de metila na reação foto-Fenton em processo contínuo, usando reator PFR com tempo espacial de 5 min.

Os resultados mostram que as porcentagens de descoloração do alaranjado de metila utilizando as lâmpadas de vapor de mercúrio e de luz negra como fontes luminosas foram de 93,21% e 96,82%, respectivamente. Com a presença das lâmpadas, melhores resultados foram obtidos na descoloração do alaranjado de metila, comparado à descoloração na ausência de iluminação das lâmpadas (92,33%). Esse fato pode estar relacionado à maior formação do radical hidroxila. A fonte luminosa é capaz auxiliar no rompimento das ligações químicas entre as moléculas de H_2O_2 e, conseqüentemente, auxiliar na formação do radical hidroxila (NIDHEESH, GANDHIMATHI, RAMESH, 2013; SILVA, 2007). A maior porcentagem descoloração na presença da luz negra pode estar associada à constante cinética da reação. Silva (2007) estudando a degradação de

benzeno e fenol obteve constantes cinéticas entre 0,0004 e 0,0009 min⁻¹ para a lâmpada de luz negra e de 0,0013 min⁻¹ para a lâmpada de vapor de mercúrio, mostrando que a presença da luz negra levou à maior constante cinética da reação e, conseqüentemente, maior porcentagem de degradação, corroborando-se, assim, os resultados apresentados na Tabela 2.

Contudo, os resultados da Tabela 2 mostram que a descoloração do alaranjado de metila na reação de Fenton em processo contínuo, usando reator PFR, obteve porcentagens de descoloração superiores a 90%, fixando-se o tempo de residência em 5 min. Foi observado um pequeno aumento na reação foto-Fenton, provavelmente devido à baixa potência das lâmpadas. Entretanto, pode-se vislumbrar como promissor o uso da reação de Fenton em processo contínuo, usando um reator PFR, o qual mostrou alta porcentagem de descoloração do alaranjado de metila em menor tempo espacial.

4 | CONCLUSÃO

A descoloração de alaranjado de metila via reação de Fenton foi realizada em batelada e apresentou 44,42% de redução de coloração em 60 min de reação. No processo contínuo observou-se 99,57% de descoloração do alaranjado de metila para um tempo espacial de 60 min, usando um reator tubular de fluxo contínuo (PFR). Assim, foi concluído que o percentual de descoloração de alaranjado de metila em processo contínuo foi 2,2 vezes maior comparado ao processo em batelada. Essa maior eficácia na descoloração de alaranjado de metila no processo contínuo foi relacionada à alimentação contínua de peróxido de hidrogênio ao reator PFR.

Para o processo contínuo avaliou-se também a reação foto-Fenton, utilizando como fontes luminosas de 30 W as lâmpadas de luz negra e de vapor de mercúrio. Foi observado um pequeno aumento na reação foto-Fenton, provavelmente devido à baixa potência das lâmpadas. Entretanto, os resultados mostraram que a descoloração do alaranjado de metila na reação de Fenton em processo contínuo, usando reator PFR, obteve porcentagens de descoloração superiores a 90%, fixando-se o tempo de residência em 5 min. A alta porcentagem de descoloração do alaranjado de metila em menor tempo espacial torna promissor o uso da reação de Fenton em processo contínuo, usando um reator PFR.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. S. D.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais.** Revista Ambiente & Água, v. 11, p. 387-401, 2016.

DEVI, L. G.; KUMAR, S. G.; RAJU, K. S. A.; RAJASHEKHAR, K. E. **Photo-Fenton and photo-Fenton-like processes for the degradation of methyl orange in aqueous medium: influence of oxidation states of iron.** Chemical Papers, v. 64, p. 378-385, 2010.

NIDHEESH, P. V.; GANDHIMATHI, R.; RAMESH, S. T. **Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review.** Environmental Science and Pollution Research, v. 20, p. 2099-2132, 2013.

PATERLINI, W. C.; NOGUEIRA, R. F. P. **Influence of the iron source on the solar photo-Fenton degradation of different classes of organic compounds.** Chemosphere, v. 58, p. 384-392, 2005.

PLIEGO, G.; ZAZO, J. A.; GARCIA-MUÑOZ, P.; MUÑOZ, M.; CASASA, J. A.; RODRIGUEZ, J. J. **Trends in the Intensification of the Fenton Process for Wastewater Treatment: An Overview.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 45, p. 2611-2692, 2015.

RAMOS, M. D. N.; CLAUDIO, C. C.; REZENDE, P. H. V.; CABRAL, L. P.; SANTOS, L. A.; MESQUITA, P. L.; AGUIAR, A. **Análise crítica das características de efluentes industriais do setor têxtil no Brasil.** Revista Virtual de Química, v. 12, p. 913-929, 2020.

SANTANA, C. S.; BONFIM, D. P. F.; DA CRUZ, I. H.; BATISTA, M. S.; FABIANO, D. P. **Fe₂O₃/MCM-41 as catalysts for methyl orange degradation by Fenton-like reactions.** Environmental Progress & Sustainable Energy, e13507, 2020.

SANTANA, C. S.; RAMOS, M. D. N.; VELLOSO, C. C. V.; AGUIAR, A. **Kinetic Evaluation of Dye Decolorization by Fenton Processes in the Presence of 3-Hydroxyanthranilic Acid.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 16, p. 1602, 2019.

SILVA, F. V. **Aplicação da fotocatalise heterogênea para degradação de benzeno e fenol em um reator contínuo tipo labirinto.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

TORRADES, F.; GARCÍA-MONTAÑO, J. **Using central composite experimental design to optimize the degradation of real dye wastewater by Fenton and photo-Fenton reactions.** Dyes and pigments, v. 100, p. 184-189, 2014.

TORRADES, F.; PÉREZ, M.; MANSILLA, H. D.; PERAL, J. **Experimental design of Fenton and photo-Fenton reactions for the treatment of cellulose bleaching effluents.** Chemosphere 53, p. 1211-1220, 2003.

YASSEN, D. A.; SCHOLZ, M. **Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review.** International Journal of Environmental Science and Technology, v. 16, p. 1193-1226, 2019.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 139, 140

Aerosoles 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 168

Alaranjado de metila 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Área de proteção ambiental 145, 148, 158

Área superficial elevada 74

Aspergillus niger 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24

Aterros 125, 131, 132

C

Celulosa 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24

Colorantes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 21

Compostagem 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124

Contaminação ambiental 26, 130

Contaminação hídrica 56

D

Decantador de coluna 82

F

Fármacos 35, 36, 37, 38, 39, 46, 47

Floco decantador de manta de lodo 82

Fósforo 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71

I

Índigo carmín 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23

L

Lodo de lagoa de estabilização 82, 93

M

Mathematical air dispersion modeling 186

Meio ambiente 36, 37, 46, 56, 72, 94, 101, 120, 124, 125, 128, 129, 145, 146, 148, 170, 171, 172, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183

Meio suporte alternativo 74, 75, 76

Metais tóxicos 125, 126, 128

Micropoluentes 35, 39

O

Odour monitoring 186

Odour sensors 186

Óxidos de ferro 55, 57, 58, 59, 62, 63

P

Plástico reciclável 74

Processo contínuo 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33

Processo de lixiviação 130, 131

Processo em batelada 25, 26, 27, 28, 31, 33

Q

Queima de biomassa 159, 160, 161, 162, 166, 167, 168

R

Radiocarbono 160, 161, 162, 167

Reação de Fenton 26

Resíduo sólido 108

Resíduos sólidos domiciliares 95, 96, 97

Resíduo zero 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 123, 124

Resinas 99, 100, 101, 104

S

Saneamento rural 56

Saúde humana 37, 125, 126, 128, 170, 171, 172, 178

Secagem em estufa agrícola 82, 88, 89, 90, 93

Solubilização 130

T

Termoplásticos 99, 100, 105

Tratamiento de agua 1, 13, 14

U

Unidade de conservação 145, 146, 158

Uso do solo 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 158, 172, 178, 180, 186

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 