

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

**Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**  
(Organizador)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

**Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**  
(Organizador)



**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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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 Cremona  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

T758 Trabalhos nas áreas de fronteira da 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 978-65-5706-822-9

DOI 10.22533/at.ed.229211202

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

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://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

O E-book intitulado: “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química” é constituído por dezesseis trabalhos em forma de capítulos que abordam as diferentes áreas da química de forma intra e interdisciplinar, objetivando-se à melhoria da qualidade de vida. Esta coleção trouxe trabalhos que proporcionaram: (i) avaliar as propriedades químicas, físicas e biológicas de óleos essenciais, aromáticos e ácidos graxos extraídos de diferentes partes de plantas (folhas, cascas, tronco e caule) utilizadas na alimentação e que devido a suas propriedades nutricionais, aromáticas e terapêuticas constitui-se em uma área de extrema importância – a Química de produtos naturais; (ii) a eletroanalítica vem se desenvolvendo e aprimorando sensores (dispositivos) com propriedades para: monitorar e detectar substâncias em tempo real, com baixo custo operacional, fácil operação e com ampla aplicação (em especial, detecção e quantificação de contaminantes de interesse emergente em matrizes aquosas); (iii) aplicação de figuras de mérito em técnicas analíticas visando atestar a qualidade de alimentos; e (iv) princípios e contribuições do método QuEChERS e das técnicas de cromatográficas para o estabelecimento dos princípios norteadores da Química Verde em análises químicas; (v) a importância do monitoramento e detecção de metais tóxicos ou potencialmente tóxicos presentes em água e alimentos; (vi) aplicação de processos distintos de tratamento (osmose reversa e processos oxidativos avançados) para remoção de poluentes (corantes e fármacos) em águas de superfície, com o intuito de remover substâncias capazes de desencadear efeitos deletérios a biota aquática e seus organismos.

Neste contexto, a Atena Editora reuniu trabalhos selecionados por membros do corpo editorial que pudesse apresentar temas atuais e em constante discussão, reunindo na forma do E-book: “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química”, neste volume II.

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **DETERMINAÇÃO DO PERFIL INORGÂNICO DE CHÁS DERIVADOS DA CAMELLIA SINENSIS**

Ana Flávia Loureiro Martins Nascimento

Carlos Guilherme Tissi Batista

Cibele Maria Stivanin de Almeida

**DOI 10.22533/at.ed.2292112021**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **INFLUÊNCIA DA IDADE, HABITAT E TÉCNICA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Psidium myrtoides* O. Berg**

Alline Laiane Borges Dias

Cassia Cristina Fernandes

Mayker Lazaro Dantas Miranda

**DOI 10.22533/at.ed.2292112022**

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DA CANELA EM CASCA EM SISTEMAS AQUOSOS E ORGÂNICOS VISANDO A OBTENÇÃO DE CINAMALDEÍDO**

Adriana da Veiga Torres

Juliana Baptista Simões

**DOI 10.22533/at.ed.2292112023**

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **ÁCIDOS GRAXOS VEGETAIS: COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE BIOLÓGICA E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO**

Luana Cristina Diniz Santos

Luciana Alves Rodrigues dos Santos Lima

Ana Hortência Fonseca Castro

**DOI 10.22533/at.ed.2292112024**

### **CAPÍTULO 5..... 43**

#### **SÍNTESE ELETROQUÍMICA DE ELETRODOS DE CARBONO VÍTREO MODIFICADO COM FILMES DE HEXACIANO FERRATO DE METAIS E ATIVIDADE PARA DETECÇÃO DE COMPOSTOS SULFURADOS**

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Edervaldo Buffon

Demetrius Profeti

Luciene de Paula Roberto Profeti

**DOI 10.22533/at.ed.2292112025**

### **CAPÍTULO 6..... 56**

#### **LÍQUIDO IÔNICO PRÓTICO PARA A CONSTRUÇÃO DE SENSOR ELETROQUÍMICO APLICADO NA DETECÇÃO DE PESTICIDA**

José Fernando de Macedo

Anderson Alex Conceição Alves

Mércia Vieira da Silva Sant'Anna  
Michael Douglas Santos Monteiro  
José Carlos dos Santos Junior  
Jonatas de Oliveira Souza Silva  
José Felipe dos Santos  
Pedro Rafael da Cruz Almeida  
Frederico Guilherme de Carvalho Cunha  
Eliana Midori Sussuchi

**DOI 10.22533/at.ed.2292112026**

**CAPÍTULO 7..... 72**

**DETECÇÃO DE CIPROFLOXACINA APLICANDO UM SENSOR ELETROQUÍMICO À  
BASE DE DERIVADO DO GRAFENO E LÍQUIDO IÔNICO**

Anderson Alex Conceição Alves  
Michael Douglas Santos Monteiro  
Pedro Rafael da Cruz Almeida  
Jonatas de Oliveira Souza Silva  
José Carlos dos Santos Junior  
Jose Fernando de Macedo  
Mércia Vieira da Silva Sant'Anna  
Lucas dos Santos Lima  
José Felipe dos Santos  
Eliana Midori Sussuchi

**DOI 10.22533/at.ed.2292112027**

**CAPÍTULO 8..... 85**

**BIOCARVÃO ATIVADO E ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO APLICADOS EM SENSOR  
ELETROQUÍMICO PARA A DETERMINAÇÃO DE PARAQUATE**

Mércia Vieira da Silva Sant'Anna  
Ava Gevaerd  
Jonatas de Oliveira Souza Silva  
Lucas dos Santos Lima  
José Fernando de Macedo  
Michael Douglas Santos Monteiro  
Alberto Wisniewski Jr  
Márcio Fernando Bergamini  
Eliana Midori Sussuchi

**DOI 10.22533/at.ed.2292112028**

**CAPÍTULO 9..... 99**

**PREPARAÇÃO ELETROQUÍMICA DE NANOBASTÕES DE Co-Ni POR MEMBRANAS DE  
POLICARBONATO**

Bruna Maria Rodrigues Gonçalves  
Elton Patrick Barbano

**DOI 10.22533/at.ed.2292112029**

**CAPÍTULO 10..... 112**

**PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA E APLICAÇÃO DE ELETRODOS**

## MODIFICADOS COM FILMES HÍBRIDOS DE HEXACIANO FERRATO DE METAIS

Edervaldo Buffon

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Demetrius Profeti

Luciene de Paula Roberto Profeti

**DOI 10.22533/at.ed.22921120210**

### **CAPÍTULO 11..... 128**

#### **EFEITO DE MATRIZ E FIGURAS DE MÉRITO NA DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS EM QUEIJO DE MINAS ARTESANAL POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA DE CHAMA**

Emanueli do Nascimento da Silva

Tercio Paulo Felix Xisto

Ana Carolina Ferreira Castelo Borges

Emylle Emediato Santos

Roberta Eliane Santos Froes

**DOI 10.22533/at.ed.22921120211**

### **CAPÍTULO 12..... 140**

#### **CONTRIBUIÇÃO DO MÉTODO QuEChERS E DAS TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS PARA CONSOLIDAR OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE EM ANÁLISES QUÍMICAS**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**DOI 10.22533/at.ed.22921120212**

### **CAPÍTULO 13..... 153**

#### **BIOACESSIBILIDADE DE ELEMENTOS TRAÇOS ESSENCIAIS E POTENCIALMENTE TÓXICOS**

Wagna Piler Carvalho dos Santos

Rita Maria Weste Nano

Daniele Cristina Muniz Batista dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.22921120213**

### **CAPÍTULO 14..... 167**

#### **METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS E SEUS IMPACTOS NA ÁGUA E NOS ALIMENTOS: UM OLHAR PARA A LITERATURA**

Geilson Rodrigues da Silva

Hygor Rodrigues de Oliveira

João Vítor de Andrade dos Santos

Jussara de Oliveira Ferreira

Daniely Alves de Souza

Angela Kwiatkowski

Ramon Santos de Minas

Mariana Messias Soares

Mariane Ocanha

**DOI 10.22533/at.ed.22921120214**

### **CAPÍTULO 15..... 178**

#### **SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE OSMOSE DIRETA: ALTERAÇÃO DA COR E**

**CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE UMA SOLUÇÃO DE CORANTE UTILIZANDO-SE UMA MEMBRANA PERMEÁVEL DE ACETATO DE CELULOSE**

Ani Caroline Weber  
Sabrina Grando Cordeiro  
Bruna Costa  
Aline Botassoli Dalcorso  
Gabriela Vettorello  
Aline Viana  
Elisete Maria de Freitas  
Eduardo Miranda Ethur  
Lucélia Hoehne

**DOI 10.22533/at.ed.22921120215**

**CAPÍTULO 16..... 184**

**COMPARAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FÁRMACOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Ivo Amildon Ricardo  
Eduardo Oliveira Marson  
Vinicius Alexandre Borges de Paiva  
Alam Gustavo Trovó

**DOI 10.22533/at.ed.22921120216**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 198**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 199**

## COMPARAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FÁRMACOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Data de aceite: 01/02/2021

### **Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**

Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Química  
Uberlândia – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>

### **Ivo Amildon Ricardo**

Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Química  
Uberlândia – Minas Gerais  
Universidade Save, Departamento de Ciências  
Naturais e Matemática  
Chongoene, Gaza, Moçambique  
<http://lattes.cnpq.br/9989207441519479>

### **Eduardo Oliveira Marson**

Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Química  
Uberlândia – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0241315934207520>

### **Vinicius Alexandre Borges de Paiva**

Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Química  
Uberlândia – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/4502335336027294>

### **Alam Gustavo Trovó**

Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Química  
Uberlândia – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7274761440886112>

**RESUMO:** A degradação da mistura dos fármacos gemfibrozil (GEM) hidroclorotiazida (HCTZ) e

naproxeno (NAP) foi avaliada pelos processos de fotólise (UV-C), peroxidação fotoassistida ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ), fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ ) e foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) em água de superfície (AS) – rio Uberabinha, Uberlândia. Inicialmente, foi avaliada a influência da fotólise em diferentes valores iniciais de pH (4,0; 6,2 e 7,0) com radiação UV-C, apresentando melhor eficiência em pH 6,2 (natural da água do Rio Uberabinha). Para o processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ , foi avaliada a influência da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (2,0; 4,0 e 6,0  $\text{mg L}^{-1}$ ), tendo sido obtida melhor eficiência de degradação com 4,0  $\text{mg L}^{-1}$  do oxidante após 30 min de irradiação. No processo  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ , foi avaliada a influência da concentração de  $\text{TiO}_2$  (50, 100, 150 e 200  $\text{mg L}^{-1}$ ) e a da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1,0; 3,0; 6,0 e 9,0  $\text{mg L}^{-1}$ ) obtendo-se melhor eficiência ao se empregar 150  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{TiO}_2$  e 6,0  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , atingindo 87% de degradação da mistura após 120 min de tratamento. Para o processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ , foi avaliada a influência da concentração de  $\text{FeOx}$  (18, 54 e 89  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), obtendo-se melhor resultado ao se empregar 54  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de  $\text{FeOx}$  na proporção molar de 1:9 de ferro/oxalato na presença de 4,0  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Sob tais condições experimentais, as concentrações dos compostos-alvo ficaram abaixo do limite de detecção (0,0033  $\mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e 0,01  $\mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 15 min de irradiação. O tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para o processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  foi 5,2 vezes menor em relação ao processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  e 16,7 vezes menor em relação ao processo  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ . Além disso, apresentou o menor custo de tratamento por  $\text{m}^3$  de água contaminada. Assim,



o processo foto-Fenton pode ser utilizado como alternativa de tratamento para a degradação desses contaminantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Foto-Fenton modificado; ferrioxalato; fotocatalise heterogênea; peroxidação fotoassistida; radiação.

## COMPARISON OF PHARMACEUTICALS DEGRADATION IN SURFACE WATER BY ADVANCED OXIDATION PROCESSES

**ABSTRACT:** The degradation of the mixture of the pharmaceutical drugs gemfibrozil (GEM) hydrochlorothiazide (HCTZ) and naproxen (NAP) by photolysis (UV-A and UV-C), photo-assisted peroxidation ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ), heterogeneous photocatalysis ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ ) and modified photo-Fenton ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) was evaluated in surface waters (SW, Uberabinha river, Uberlândia). Initially, the influence of different pH values (4.0, 6.2 and 7.0) on photolysis under UV-C radiation was evaluated, and better efficiency was obtained at pH 6.2 (natural pH of Uberabinha river surface water). For the  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  process, different  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations (2.0, 4.0 and 6.0  $\text{mg L}^{-1}$ ) were evaluated, and the best degradation efficiency was obtained using 4.0  $\text{mg L}^{-1}$  of the oxidant within 30 min of irradiation. In the  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  process, the influence of different concentrations of  $\text{TiO}_2$  (50, 100, 150 e 200  $\text{mg L}^{-1}$ ) and  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1.0; 3.0; 6.0 and 9.0  $\text{mg L}^{-1}$ ) were evaluated. The best efficiency was achieved using 150  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{TiO}_2$  and 6.0  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{H}_2\text{O}_2$ , which reached 87% degradation of the mixture after 120 min of treatment. For the  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  process, various FeOx concentrations (18, 54 and 89  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) were evaluated, and the best result was obtained using 54  $\mu\text{mol L}^{-1}$  of FeOx in a molar ratio of 1:9 iron/oxalate in the presence of 4.0  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Under such conditions, concentrations of target compounds were below the detection limit (0.0033  $\mu\text{mol L}^{-1}$  for NAP and 0.01  $\mu\text{mol L}^{-1}$  for GEM and HCTZ) after 15 min of irradiation. Half-life time ( $t_{1/2}$ ) calculated for the  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  process was 5.2 times lower than that obtained for the  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  process, and 16.7 times lower than the  $t_{1/2}$  obtained for the  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  process. Thus, the photo-Fenton process can be used as an alternative treatment for the degradation of these contaminants.

**KEYWORDS:** Modified photo-Fenton, ferrioxalate, heterogeneous photocatalysis; photo-assisted peroxidation; radiation.

## 1 | INTRODUÇÃO

O crescimento da economia global aliado ao aumento populacional tem sido apontado como precursor na expansão de atividades industriais e no aumento da produção agrícola. Essas atividades são as principais consumidoras de recursos hídricos e geram grande quantidade de resíduos, alguns dos quais com características recalcitrantes (SHUKLA et al., 2010). No entanto, a disposição e o tratamento inadequado desses resíduos geram impactos ambientais sobre o meio biótico e abiótico (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017).

Diferentes classes de compostos como fármacos, produtos de higiene pessoal, esteróides, hormônios, detergentes, pesticidas, plásticos, drogas ilícitas e metabólitos de degradação desses compostos têm sido detectados em estudos de monitoramento

ambiental (BÖGER et al., 2021; LÓPEZ-GARCÍA et al., 2021) e fazem parte dos poluentes denominados de contaminantes de interesse emergente (CIE). Os CIE são substâncias químicas de origem antrópica e natural, cuja ocorrência ou relevância no ambiente foi constatada a partir do início da década de 1990, com potencial ou real ameaça à saúde humana e/ou ambiente e que não possuem legislação que estabeleça tanto os padrões de potabilidade ou níveis de toxicidade seguro (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017; STARLING; AMORIM; LEÃO, 2019).

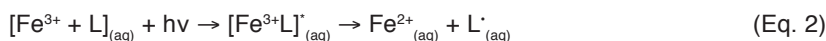
Existem várias fontes de entrada dos CIE em compartimentos aquáticos: (i) efluente doméstico e lançamento de efluentes contendo fármacos por indústrias farmacêuticas e hospitais, (ii) eliminação de medicamentos vencidos ou não consumidos, (iii) uso de fezes de animais como adubo para o solo e (iv) contaminação do solo, pela aplicação de lodos provenientes de estação de tratamento de esgoto a campos agrícolas, com posterior escoamento para águas superficiais (STARLING; AMORIM; LEÃO, 2019).

Em relação aos fármacos, vale ressaltar que muitos são lipossolúveis e apresentam baixa volatilidade e biodegradabilidade, que favorecem a sua bioacumulação e persistência no ambiente, contribuindo para o desencadeamento de alguns efeitos deletérios a biota aquática (BUENO et al., 2012). Dentre eles, destacam-se o gemfibrozil (GEM), a hidroclorotiazida (HCTZ) e o naproxeno (NAP) pelo fato de terem sido detectados em concentrações acima de  $1 \mu\text{g L}^{-1}$  em águas superficiais (CAHILL et al., 2012; DODGEN et al., 2017; MARSIK et al., 2017). Assim, é importante avaliar alternativas para a degradação desses compostos.

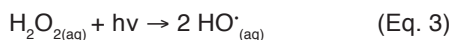
Uma das alternativas promissoras para remoção de CIE em matrizes aquosas são os processos de oxidação avançada (POA), que consistem na geração de radicais hidroxilas ( $\text{HO}^\cdot$ ) (BABUPONNUSAMI; MUTHUKUMAR, 2014) e sulfato ( $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ) (MIRALLES-CUEVAS et al., 2019) que, devido aos altos valores de seus potenciais padrão de redução ( $E^\circ = +2,6\text{-}3,1\text{V}$ ), são capazes de oxidar e mineralizar uma diversificada classe de compostos orgânicos (MIRALLES-CUEVAS et al., 2019). Os POA são classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos e podem ocorrer na presença ou ausência da radiação.

Neste trabalho, atenção especial é dada aos processos que envolvem a radiação para geração de radicais  $\text{HO}^\cdot$ , em específico os processos foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ), peroxidação foto-assistida ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ) e fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  e  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ). A principal desvantagem do processo Fenton (equação 1) é a sua faixa restrita de pH (2,5-3,0), pois, a precipitação de Fe(III) como hidróxidos insolúveis ocorre em pH acima de 3,0, diminuindo drasticamente a sua interação com o  $\text{H}_2\text{O}_2$  e, conseqüentemente, há baixa produção de radicais  $\text{HO}^\cdot$ . Por outro lado, em valores de pH abaixo de 2,5, apesar de as espécies de ferro permanecerem solúveis, a velocidade de degradação também diminui, devido aos íons  $\text{H}^+$  em altas concentrações atuarem como sequestradores de radicais  $\text{HO}^\cdot$  (LAL; GARG, 2017; PAIVA et al., 2018). Portanto, o processo foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) caracterizado pelo uso de ligantes orgânicos de

Fe(III) (equação 2) como ferrioxalato (FeOx), tem sido apontado como alternativa para superar a limitação referente ao pH no processo Fenton clássico. O uso desses ligantes permitem aplicar o processo foto-Fenton em valores de pH próximos à neutralidade devido à geração de complexos orgânicos de Fe(III) solúveis e fotossensíveis (CLARIZIA et al., 2017).



A fotoperoxidação, um POA baseado na combinação da radiação UV-C com o  $\text{H}_2\text{O}_2$ , aumenta a eficiência de degradação quando comparado ao uso isolado de radiação UV-C devido à geração de radicais hidroxilas através da quebra homolítica de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (equação 3) (LEYVA et al., 2017; MONDAL; SAHA; SINHA, 2018).



Além disso, o  $\text{H}_2\text{O}_2$  é estável, solúvel em água e disponível comercialmente, o que torna o processo  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-C vantajoso em relação a outros POA e, não há formação de lodo no final do processo (MATAFONOVA; BATOEV, 2018).

Aliados aos outros POA, a fotocatalise heterogênea, um processo que consiste na excitação eletrônica de um óxido semiconductor, pela luz solar ou luz artificial, gera radicais  $\text{HO}^\cdot$  que são responsáveis pela oxidação da matéria orgânica (NEZAR; LAOUFI, 2018). Vários semicondutores podem ser utilizados na fotocatalise heterogênea, tais como:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ZnO, ZnS, CdS e  $\text{TiO}_2$  (IBHADON; FITZPATRICK, 2013). Contudo, o  $\text{TiO}_2$  é o mais amplamente utilizado devido a algumas propriedades, entre as quais: (i) insolubilidade em água; (ii) fotoestabilidade e (iii) estabilidade química em uma ampla faixa de pH (6,5 a 8,0) (KHAKI et al., 2017). Como apenas 3-5% da radiação solar incidente na superfície da Terra corresponde à luz UV, o uso de  $\text{TiO}_2$  é limitado. Devido ao valor da sua energia de gap (+3,2 eV), o  $\text{TiO}_2$  precisa de radiação UV (300-400 nm) para se tornar fotoativado (DEWIL et al., 2017; MAZIVILA et al., 2019).

Vários trabalhos avaliando a degradação dos compostos-alvo em meio ácido pelo processo Fenton e foto-Fenton (GIMENO et al., 2016) em água desionizada e, em concentrações na ordem de  $\text{mg L}^{-1}$  por diferentes POA (PAN et al., 2018) foram publicados. Contudo, após revisão da literatura, observou-se uma escassez de trabalhos que reportassem estudos de degradação simultânea destes três fármacos em água de rio e em concentrações mais próximas as detectadas nessa matriz aquosa.

Assim, o presente estudo visa avaliar a degradação da mistura dos fármacos GEM, HCTZ e NAP em água superficial do rio Uberabinha por diferentes POAs ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-A,  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-C e  $\text{TiO}_2$ /UV-A) em condições mais próximas às reais e, comparar o potencial

e a eficácia de cada processo avaliado como alternativa para a degradação deste tipo de poluente.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes

Todas as soluções foram preparadas em água desionizada e com reagentes de grau analítico. Os padrões de GEM, HCTZ e NAP com grau de pureza de 99% (m/m), foram adquiridos da Sigma-Aldrich. As análises cromatográficas foram realizadas em um HPLC-DAD, utilizando metanol grau HPLC-UV 99,9% (v/v). Os demais reagentes utilizados neste trabalho foram:  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30% v/v),  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Vetec);  $\text{C}_4\text{K}_2\text{O}_9\text{Ti} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Sigma-Aldrich  $\geq 90\%$  m/m);  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , 1, 10-fenantrolina (Synth);  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} - \text{FeOx}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (Panreac) e o  $\text{TiO}_2$  P-25 (Evonik Corporation).

### 2.2 Água superficial – rio Uberabinha

A matriz da água do rio Uberabinha (água bruta) foi coletada na Estação de Tratamento de Água (ETA Bom Jardim), a qual abastece a população de Uberlândia – Minas Gerais (Brasil). A coleta foi efetuada antes dos processos de tratamento e, as amostras foram armazenadas e mantidas sob refrigeração a 4 °C durante 3 semanas até a execução dos experimentos. Os parâmetros físico-químicos e biológicos foram fornecidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE).

### 2.3 Preparo da solução estoque da mistura dos fármacos

Preparou-se uma solução estoque dos fármacos ( $18 \text{ mmol L}^{-1}$ ) em metanol grau HPLC. A partir dessa solução foi feita a fortificação na matriz real para resultar na concentração desejada dos compostos-alvo ( $1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$  de cada composto), a qual corresponde a concentrações comuns de  $451 \mu\text{g L}^{-1}$  de GEM,  $536 \mu\text{g L}^{-1}$  de HCTZ e  $413 \mu\text{g L}^{-1}$  de NAP.

### 2.4 Determinação da concentração dos fármacos HCTZ, NAP e GEM

A concentração da mistura de fármacos (GEM, HCTZ e NAP) foi determinada usando um cromatógrafo líquido Shimadzu – (LC-6AD), equipado com injetor automático (SIL-10AF) utilizando uma coluna C-18 fase reversa - Phenomenex ( $5 \mu\text{m}$ ,  $250 \times 4,60 \text{ mm}$ ) e detector UV-DAD, SPD-M20A – Shimadzu. Em todos processos avaliados, os resultados de degradação foram apresentados em função das médias das concentrações normalizadas dos compostos-alvo em cada instante (equação 4).

$$C_{(t)} = \frac{C_{\text{GEM}(t)} + C_{\text{HCTZ}(t)} + C_{\text{NAP}(t)}}{3} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,  $C_{(t)}$ : média das concentrações dos compostos-alvo em cada tempo de

amostragem;  $C_{GEM(t)}$ ,  $C_{HCTZ(t)}$  e  $C_{NAP(t)}$ : concentração normalizada, respectivamente, de GEM, HCTZ e NAP em cada tempo de amostragem.

A determinação da concentração dos compostos-alvo foi feita conforme metodologia descrita em Paiva et al. (2018). Os limites de detecção (LD) obtidos para cada composto foram  $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Processo UV-C

Antes da aplicação dos POA, foi avaliada a influência da fotólise direta usando a radiação UV-C em diferentes valores iniciais de pH (4,0; 6,2 e 7,0) (Figura 1). Neste processo, a solução contendo a mistura de fármacos foi irradiada durante 30 min, utilizando-se duas lâmpadas germicidas de 8 W.

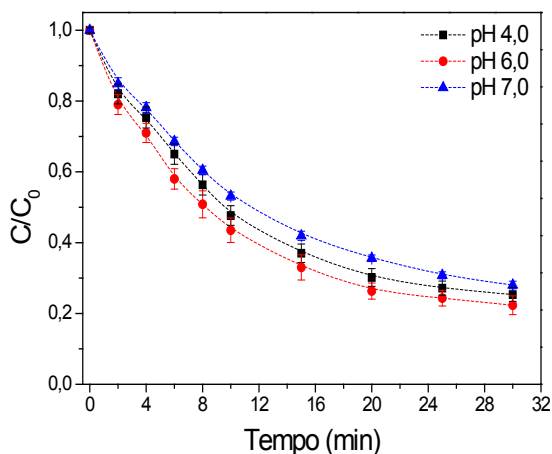


Figura 1: Influência do pH na degradação da mistura dos fármacos por fotólise UV-C. Condições iniciais:  $[GEM] = [HCTZ] = [NAP] = 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

A Figura 1 mostra que os compostos-alvo são passíveis à fotodegradação na presença de radiação UV-C, sendo obtido 78% de degradação após 30 min de irradiação em pH 6,2 (natural da matriz). Além disso, não houve diferença significativa para os valores de pH avaliados (entre 4,0 e 7,0). Assim, os experimentos seguintes combinando  $\text{H}_2\text{O}_2$  foram feitos em pH natural dessa solução.

#### 3.2 Processo $\text{H}_2\text{O}_2$ /UVC

A combinação da radiação UV-C com diferentes concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi avaliada

(Figura 2). Houve uma melhora na eficiência de degradação da mistura dos fármacos na presença de  $\text{H}_2\text{O}_2$  devido à geração de radicais  $\text{HO}^\cdot$  através da quebra hemolítica de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (equação 3).

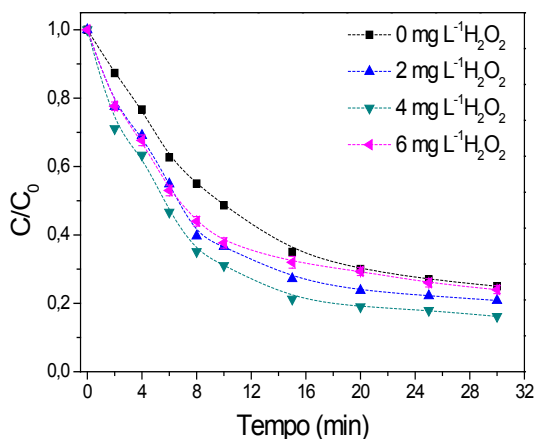


Figura 2: Influência da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  na degradação da mistura dos fármacos pelo processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ . Condições iniciais:  $[\text{GEM}] = [\text{HCTZ}] = [\text{NAP}] = 1,80 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $\text{pH} = 6,2$ .

O melhor resultado de degradação ocorreu com o emprego de  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ; uma eficiência máxima de 84% foi alcançada após 30 min de irradiação (Figura 2). Para a maior concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $6,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) avaliada ocorreu uma redução na degradação da mistura (Figura 2), a qual pode ser atribuída tanto a ocorrência de reações paralelas que atuam como sequestradores de radicais  $\text{HO}^\cdot$  (MONDAL; SAHA; SINHA, 2018), quanto por reações de recombinação entre estes radicais (LIU et al., 2016), levando a formação dos radicais hidroperoxila ( $\text{HO}_2^\cdot$ ) que, devido ao seu menor potencial padrão de redução (+1,42 V) quando comparado ao radical  $\text{HO}^\cdot$  (+2,80 V), diminuem a eficiência de degradação (LIU et al., 2016).

### 3.3 Processo $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$

A influência da concentração do catalisador  $\text{TiO}_2$  P-25 ( $50, 100, 150$  e  $200 \text{ mg L}^{-1}$ ) na presença de radiação UV-A foi avaliada e comparada ao processo isolado UV-A (Figura 3).

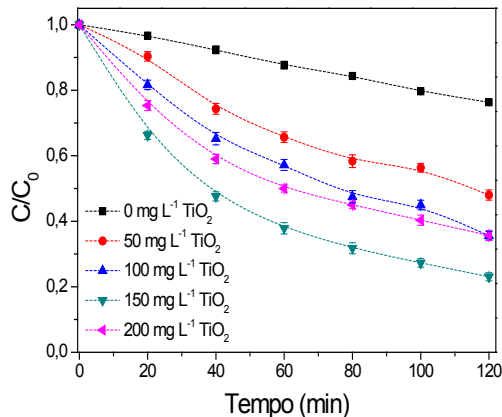


Figura 3: Influência da concentração de TiO<sub>2</sub> P-25 na degradação da mistura dos fármacos pelo processo TiO<sub>2</sub>/UV-A. Condições iniciais: [GEM] = [HCTZ] = [NAP] = 1,80 μmol L<sup>-1</sup> e pH 6,2.

A degradação da mistura dos fármacos foi de apenas 24% após 120 min de irradiação na presença isolada de irradiação UV-A (Figura 3). Por outro lado, um aumento expressivo na eficiência de degradação foi obtido ao combinar radiação UV-A com TiO<sub>2</sub> até uma concentração de 150 mg L<sup>-1</sup>, atingindo-se 67% de eficiência de degradação. Em concentrações maiores (200 mg L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>), houve uma redução na eficiência de degradação (Figura 3). Este comportamento pode ser atribuído à: (i) redução da quantidade de fotoenergia que é transferida para o meio em função da maior turbidez conferida pelas partículas do catalisador que possui um efeito inibidor sobre a penetração da luz, em função da diminuição da quantidade de fótons que serão efetivamente transferidos (KOLTSAKIDOU et al., 2017) e, (ii) agregação das partículas do catalisador em suspensão, diminuindo a área superficial que contém os sítios ativos (GOMES JÚNIOR et al., 2017).

O uso de diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> combinado ao processo TiO<sub>2</sub>/UV-A também foi avaliado (Figura 4).

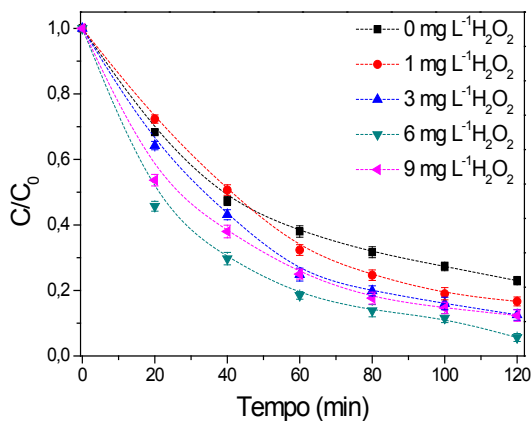


Figura 4: Influência da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na degradação da mistura dos fármacos pelo processo TiO<sub>2</sub>/UV-A. Condições iniciais: [GEM] = [HCTZ] = [NAP] = 1,80 μmol L<sup>-1</sup>; [TiO<sub>2</sub>] = 150 mg L<sup>-1</sup> e pH = 6,2.

Um aumento na eficiência de degradação da mistura dos fármacos foi observado ao se adicionar o oxidante H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chegando a 94% com 6,0 mg L<sup>-1</sup> do oxidante (Figura 4). Na presença de 9,0 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, houve uma redução na eficiência do processo (Figura 4). Isto pode ser atribuído ao excesso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que pode: (i) adsorver sobre a superfície do catalisador, ocasionando alterações tanto na superfície quanto em sua atividade catalítica; (ii) competir com os compostos-alvo e outras substâncias presentes na composição da matriz pelos radicais HO<sup>•</sup> ou (iii) reagir com os sítios de adsorção, ocasionando a diminuição na eficiência (NOSAKA; NOSAKA, 2017).

### 3.4 Processo foto-Fenton

A influência da concentração de FeOx (18, 54 e 89 μmol L<sup>-1</sup>), no processo foto-Fenton modificado na presença de uma concentração inicial de 4,0 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e em pH natural dessa matriz (pH 6,2) foi avaliada (Figura 5).



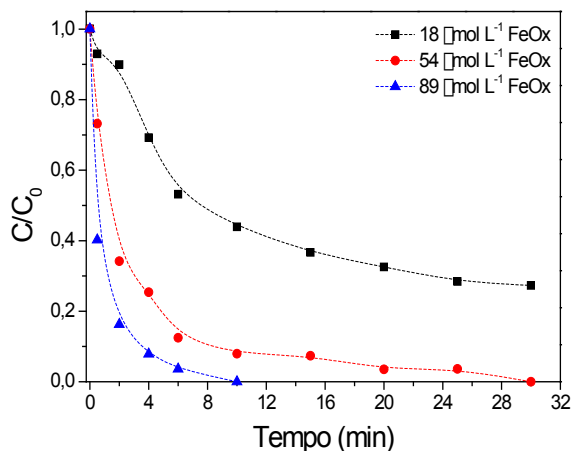


Figura 5: Efeito da concentração de FeOx na degradação da mistura dos fármacos pelo processo foto-Fenton modificado. Condição inicial: [GEM] = [HCTZ] = [NAP] =  $1,80 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 4,0 \text{ mg L}^{-1}$  e  $\text{pH} = 6,2$ .

O aumento da concentração de FeOx, de 18 para  $54 \mu\text{mol L}^{-1}$ , influenciou significativamente a cinética e a eficiência de degradação alcançando concentrações abaixo do LD ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 30 min de reação (Figura 5). Contudo, a melhor eficiência de degradação foi obtida ao se utilizar  $89 \mu\text{mol L}^{-1}$  de FeOx, pois as concentrações ficaram abaixo do LD ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) dos compostos-alvo após 10 min de irradiação. No entanto, a concentração de  $54 \mu\text{mol L}^{-1}$  foi escolhida para avaliar a influência da proporção ferro/ligante, representada como  $\text{Fe}^{3+}:\text{Ox}$ , na degradação da mistura dos fármacos, a fim de avaliar melhor a influência do excesso do oxalato (1:3; 1:6; 1:9 e 1:12) no perfil da cinética do decaimento da concentração dos fármacos (Figura 6).

Melhores resultados foram obtidos na proporção molar de  $\text{Fe}^{3+}:\text{Ox}$  de 1:9, visto que as concentrações dos compostos-alvos ficaram abaixo dos respectivos LD ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 15 min de reação. Por outro lado, na presença da maior proporção de  $\text{Fe}^{3+}:\text{Ox}$  (1:12), houve uma redução na degradação (Figura 6). Isso pode ser atribuído ao excesso do oxalato, o qual compete com os compostos-alvo pelos radicais  $\text{HO}^\bullet$  (CLARIZIA et al., 2017).

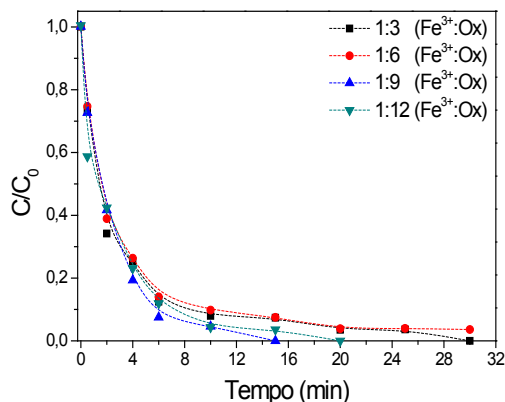


Figura 6: Influência da proporção molar  $\text{Fe}^{3+}$ : Ox na degradação da mistura dos fármacos. Condições iniciais:  $[\text{GEM}] = [\text{HCTZ}] = [\text{NAP}] = 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{Fe}^{3+}] = 54 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 4,0 \text{ mg L}^{-1}$ .

### 3.5 Estudos cinéticos

Os estudos cinéticos da mistura dos compostos-alvo foram feitos em condições otimizadas dos POA avaliados. Em todos os processos, o estudo sugeriu um modelo cinético de primeira ordem e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) foi calculado ajustando os dados por regressão linear a um modelo cinético de pseudo-primeira ordem. Os valores da constante cinética da reação ( $k$ ), o tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) são apresentados na Tabela 1.

Processos	FeOx ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	$\text{TiO}_2$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$t_{1/2}$ (min)	Custo (R\$)
FeOx/ $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-A	54	486	-	4	0,33	0,95	2,1	38
$\text{TiO}_2$ / $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-A	-	-	150	6	0,020	0,92	35	1231
$\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-C	-	-	-	4	0,062	0,95	11	54

Tabela 1. Parâmetros cinéticos obtidos durante a degradação da misturados fármacos por diferentes POA em condições otimizadas. Condições iniciais:  $[\text{GEM}] = [\text{HCTZ}] = [\text{NAP}] = 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ ; pH 6,2.

Maiores valores de constantes de velocidade ( $k$ ) e menores valores de tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) foram obtidos usando o processo foto-Fenton ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) seguido de fotoperoxidação ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ) e fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ), Tabela 1. O  $t_{1/2}$  para o processo foto-Fenton foi 5,2 vezes menor em relação ao processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  e 16,7 vezes menor em relação ao processo  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  (Tabela 1). Além disso, apresentou o menor custo de tratamento por  $\text{m}^3$  (Tabela 1), considerando a redução da concentração

inicial de cada composto em uma ordem de magnitude (BOLTON et al., 2001). Assim, o processo foto-Fenton pode ser utilizado como alternativa de tratamento para a degradação desses contaminantes.

## 4 | CONCLUSÕES

A degradação da mistura dos fármacos GEM, HCTZ e NAP foi influenciada diretamente pela fotólise UV-C, fotoperoxidação ( $H_2O_2/UV-C$ ), fotocatalise heterogênea ( $TiO_2/UV-A$  e  $TiO_2/H_2O_2/UV-A$ ) e foto-Fenton modificado ( $FeOx/H_2O_2/UV-A$ ), sendo obtido melhores resultados de degradação pelo processo  $FeOx/H_2O_2/UV-A$ . Maiores valores de constante de velocidade e menores valores de tempo de meia-vida foram obtidos usando o processo  $FeOx/H_2O_2/UV-A$ . Além disso, este processo apresentou o menor custo de tratamento quando comparado aos outros POA avaliados, o que permite inferir que o processo foto-Fenton é uma alternativa viável de tratamento para a degradação desses contaminantes. Além disso, o uso de radiação solar pode ser aplicado e contribuir para reduzir o custo do tratamento.

## REFERÊNCIAS

BABUPONNUSAMI, A.; MUTHUKUMAR, K. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 557–572, 2014.

BÖGER, B. et al. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistant bacteria in subtropical urban rivers in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 402, n. July 2020, p. 123448, 2021.

BOLTON, J. R. et al. Figures-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation technologies for both electric- and solar-driven systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 627–637, 2001.

BUENO, M. J. M. et al. Occurrence and persistence of organic emerging contaminants and priority pollutants in five sewage treatment plants of Spain: Two years pilot survey monitoring. **Environmental Pollution**, v. 164, p. 267–273, 2012.

CAHILL, M. G. et al. A critical evaluation of liquid chromatography with hybrid linear ion trap-Orbitrap mass spectrometry for the determination of acidic contaminants in wastewater effluents. **Journal of Chromatography A**, v. 1270, p. 88–95, 2012.

CLARIZIA, L. et al. Applied Catalysis B : Environmental Homogeneous photo-Fenton processes at near neutral pH : A review. **Applied Catalysis B, Environmental**, v. 209, p. 358–371, 2017.

DEWIL, R. et al. New perspectives for Advanced Oxidation Processes. **Journal of Environmental Management**, v. 195, p. 93–99, 2017.

DODGEN, L. K. et al. Characterizing pharmaceutical, personal care product, and hormone contamination in a karst aquifer of southwestern Illinois, USA, using water quality and stream flow parameters. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 281–289, 2017.

GIMENO, O. et al. Removal of emerging contaminants from a primary effluent of municipal wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 290, p. 12–20, 2016.

GOMES JÚNIOR, O. et al. Optimization of fipronil degradation by heterogeneous photocatalysis: Identification of transformation products and toxicity assessment. **Water Research**, v. 110, p. 133–140, 2017.

IBHADON, A. O.; FITZPATRICK, P. Heterogeneous photocatalysis: Recent advances and applications. **Catalysts**, v. 3, n. 1, p. 189–218, 2013.

KHAKI, M. R. D. et al. Application of doped photocatalysts for organic pollutant degradation - A review. **Journal of Environmental Management**, v. 198, p. 78–94, 2017.

KOLTSAKIDOU, A. et al. Cytarabine degradation by simulated solar assisted photocatalysis using. **Chemical Engineering Journal**, v. 316, p. 823–831, 2017.

LAL, K.; GARG, A. Utilization of dissolved iron as catalyst during Fenton-like oxidation of pretreated pulping effluent. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 111, p. 766–774, 2017.

LEYVA, E. et al. A Review on Chemical Advanced Oxidation Processes for Pharmaceuticals with Paracetamol as a Model Compound. Reaction Conditions, Intermediates and Total Mechanism. **Current Organic Chemistry**, v. 22, n. 1, p. 2–17, 2017.

LIU, Y. et al. Degradation kinetics and mechanism of oxytetracycline by hydroxyl radical-based advanced oxidation processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 284, p. 1317–1327, 2016.

LÓPEZ-GARCÍA, E. et al. Drugs of abuse and their metabolites in river sediments: Analysis, occurrence in four Spanish river basins and environmental risk assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, n. April 2020, p. 123312, 2021.

MARSIK, P. et al. Non-steroidal anti-inflammatory drugs in the watercourses of Elbe basin in Czech Republic. **Chemosphere**, v. 171, p. 97–105, 2017.

MATAFONOVA, G.; BATOEV, V. Recent advances in application of UV light-emitting diodes for degrading organic pollutants in water through advanced oxidation processes: A review. **Water Research**, v. 132, p. 177–189, 2018.

MAZIVILA, S. J. et al. A review on advanced oxidation processes: From classical to new perspectives coupled to two- and multi-way calibration strategies to monitor degradation of contaminants in environmental samples. **Trends in Environmental Analytical Chemistry**, v. 24, p. 1–10, 2019.

MIRALLES-CUEVAS, S. et al. EDDS as complexing agent for enhancing solar advanced oxidation processes in natural water: Effect of iron species and different oxidants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, n. March 2018, p. 129–136, 2019.

MONDAL, S. K.; SAHA, A. K.; SINHA, A. Removal of ciprofloxacin using modified advanced oxidation processes: Kinetics, pathways and process optimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1203–1214, 2018.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094–1110, 2017.

NEZAR, S.; LAOUFI, N. A. Electron acceptors effect on photocatalytic degradation of metformin under sunlight irradiation. **Solar Energy**, v. 164, n. March, p. 267–275, 2018.

NOSAKA, Y.; NOSAKA, A. Y. Generation and Detection of Reactive Oxygen Species in Photocatalysis. **Chemical Reviews**, v. 117, n. 17, p. 11302–11336, 2017.

PAIVA, V. A. B. et al. Simultaneous degradation of pharmaceuticals by classic and modified photo-Fenton process. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, 2018.

PAN, M. et al. Environmental Science Emerging investigators series : comparative study of naproxen degradation by the UV / chlorine and. **Environmental Science: Water Research & Technology** n. 1, p. 1219–1230, 2018.

SHUKLA, P. et al. Adsorption and heterogeneous advanced oxidation of phenolic contaminants using Fe loaded mesoporous SBA-15 and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Chemical Engineering Journal**, v. 164, n. 1, p. 255–260, 2010.

STARLING, M. C. V. M.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, n. April 2018, p. 17–36, 2019.

## **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 aquáticas. Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  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 resíduos químicos gerados 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

- Abióticos 35
- Ácidos graxos 30, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41
- Águas residuais 43, 53, 58, 115
- Amperometria 43
- Analito 4, 60, 62, 79, 89, 94, 132, 133, 156
- Ânions 43, 46, 47, 48, 74, 118
- Antibióticos 73, 74
- Anti-inflamatório 22
- Antimicrobiano 1
- Antioxidantes 1, 2, 22, 40
- Área superficial 74, 87, 91, 191
- Atividade biológica 14, 34, 174

### B

- Bióticos 35

### C

- Cascas 24, 25, 26, 29, 32
- Cátions 43, 46, 47, 48, 74, 118
- Células 35, 101, 102, 155, 157, 172, 173, 174, 175, 178, 179
- Celulose 66, 178, 179, 180, 181
- Chá 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 145, 146, 147
- Compostos voláteis 24, 26
- Condutividade 58, 65, 74, 87, 94, 178, 179, 180, 181, 182, 183
- Contaminação ambiental 74
- Contaminação de alimentos 167
- Contaminante emergente 73
- Corante 178, 179, 180, 181, 182, 183
- Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas 24
- Curva analítica 52, 60, 65, 73, 76, 80, 81, 86, 89, 90, 95, 132, 133, 135, 137

### D

- Desvio padrão relativo 57, 67, 81
- Doenças crônicas 2, 12

## **E**

Eletrocatalítica 112, 123

Eletr deposição 44, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 108, 109, 170

Eletr odo modificado 52, 56, 57, 60, 63, 65, 68, 72, 73, 76, 86, 95, 112, 116, 117, 119, 121, 123, 124, 125

Eletrólito suporte 46, 47, 48, 60, 76, 112, 115, 119, 120, 125

Eletr o-oxidação 101

Eletr oquímica 43, 44, 45, 47, 51, 57, 58, 60, 63, 70, 74, 76, 85, 89, 90, 93, 99, 101, 102, 103, 112, 115, 117

Exatidão 4, 128, 131, 133, 135, 136, 137

## **F**

Fármacos 53, 73, 144, 146, 147, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195

Figuras de mérito 7, 9, 10, 11, 128, 131, 133, 135, 136, 137, 139

Filme híbrido 116, 117, 123, 124, 125

Folhas 3, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 32, 76, 77, 92

Fotocatálise heterogênea 184, 185, 186, 187, 194, 195, 198

## **H**

Hidrodestilação 14, 15, 16, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 31

## **L**

Limite de detecção 8, 43, 53, 66, 80, 86, 95, 132, 184

Limite de quantificação 53, 80, 86, 95

## **M**

Matrizes ambientais 73

Mecanismos de adsorção 87, 157, 158

Metais 3, 11, 43, 44, 45, 48, 99, 100, 112, 114, 115, 116, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

Métodos analíticos 1, 74, 112, 133, 136, 138, 139, 150

Microscopia eletrônica de varredura 88, 99, 103, 109

## **O**

Óleos essenciais 14, 15, 16, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Osmose 178, 179, 180, 181, 182, 183



## **P**

Peroxidação foto-assistida 186

Pesticidas 45, 142, 144, 145, 151, 174, 185

Planejamento experimental 128, 131, 137

Potencialmente tóxicos 153, 154, 158, 167, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 176

Precisão 4, 7, 8, 61, 68, 76, 81, 128, 131, 133, 135, 136, 137

Preparo de amostra 58, 130, 140, 142, 148, 151

Processos metabólicos 35, 153, 155

Processos oxidativos avançados 198

Produtos naturais 2, 24, 35

## **Q**

QuEChERS 140, 142, 143, 144, 148, 149, 150, 151

Química verde 140, 141, 142, 145, 146, 147, 148, 150, 151

Quimiometria 1, 4

## **R**

Radiação 4, 32, 103, 132, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191, 195, 198

Repetibilidade 57, 61, 67, 73, 76, 81

Reprodutibilidade 57, 61, 67, 73, 76, 81

Resíduos 58, 74, 116, 140, 141, 142, 144, 147, 148, 150, 170, 185, 198

## **S**

Sensibilidade 4, 7, 56, 58, 62, 73, 74, 78, 94, 132, 135, 140

Sensor 54, 56, 57, 59, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 83, 84, 85, 86, 97, 98, 126, 127

Sensor eletroquímico 56, 59, 72, 85, 86

Solvente 16, 27, 28, 29, 31, 58, 131, 144, 147, 178, 180, 182

## **V**

Voltametria cíclica 43, 46, 50, 53, 101, 112, 116, 120, 125

Voltametria de pulso diferencial 56, 60, 76, 86, 89

Voltamograma 99, 105, 106, 121

# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

