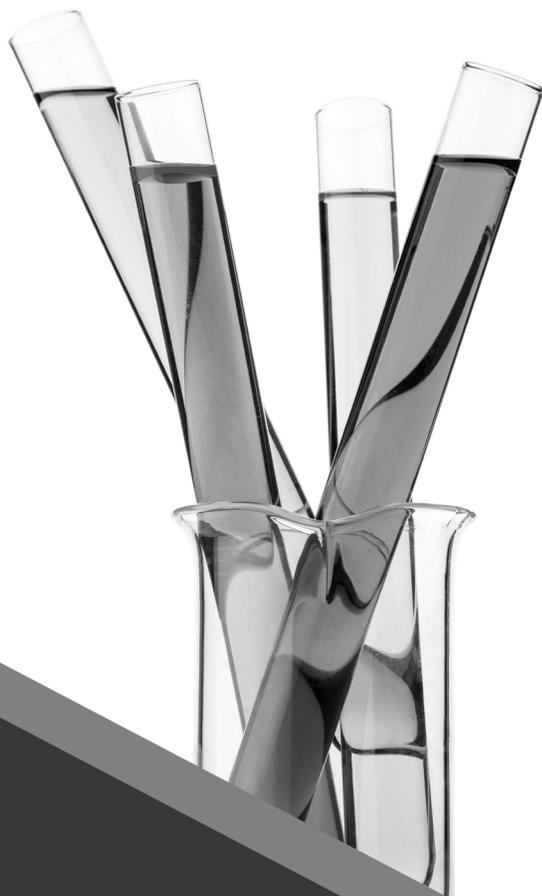




# O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

  
Ano 2020



# O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

Atena  
Editora  
Ano 2020

**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

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de 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  
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 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  
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<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> 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<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. 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> Dr. 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  
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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
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 Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. 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  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
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 Alborno – 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. Lillian 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
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. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

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

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

## O conhecimento científico na química 2

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Érica de Melo Azevedo

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

C749 O conhecimento científico na química 2 / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-563-1

DOI 10.22533/at.ed.631202011

1. Química. 2. Conhecimento científico. I. Azevedo, Érica de Melo (Organizadora). 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](mailto: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.

## APRESENTAÇÃO

O livro “O conhecimento científico na Química 2” apresenta artigos na área de ensino de química, tecnologia química, química verde, química ambiental e processos químicos.

O e-book contém 29 capítulos, que abordam temas sobre desenvolvimento e aplicação de jogos didáticos, aprendizagem significativa; análise de livros didáticos; história da química; reaproveitamento de resíduos agroindustriais; desenvolvimento de novos materiais de interesse ambiental; adsorventes sustentáveis; fotocatalise, tratamento de água e efluentes; síntese de líquidos iônicos; hidrólise enzimática e quantificação de enzimas; estudos de toxicidade; análise química de óleos essenciais; aplicação de extratos de frutos da região amazônica na atividade enzimática; desenvolvimento de eletrodo; desenvolvimento de compósitos a partir de resíduos; produção de fertilizantes de liberação controlada; tecnologias e técnicas para aplicação de plasma em química; síntese e aplicação de nanotubos de carbono.

Os objetivos principais do presente livro são apresentar aos leitores diferentes aspectos do conhecimento científico no Brasil e suas relações esta ciência. Nos tempos atuais é perceptível a importância da pesquisa acadêmica no Brasil para o desenvolvimento de novas tecnologias, fármacos e vacinas que auxiliem no combate às doenças e na qualidade de vida. Dessa forma, mais uma vez a Atena Editora reúne o conhecimento científico em forma de ebook, destacando os principais campos de atuação da química no país.

Os artigos constituintes da coleção podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de pesquisa, para o ensino dos temas abordados e até mesmo para a atualização do estado da arte nas áreas de química, tecnologia química, química ambiental e ensino de química.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a obra “O conhecimento científico na Química 2”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

A VIAGEM DA TEOBROMINA DO CACAU AO CHOCOLATE: UMA ABORDAGEM QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Jorge Hamilton Sena Dias

**DOI 10.22533/at.ed.6312020111**

### **CAPÍTULO 2..... 9**

QUÍMICA AMBIENTAL, USO DE IMAGENS E DIALÓGICA DE PAULO FREIRE NO ENSINO MÉDIO TÉCNICO: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA

Priscila Ketlen Negreiros Sousa

Dorian Lesca de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.6312020112**

### **CAPÍTULO 3..... 17**

ANÁLISE E ESTUDO DA APLICAÇÃO DO JOGO DIDÁTICO DE QUÍMICA INTITULADO “ UNO ELEMENTAR PERIÓDICO ” PARA O ENSINO MÉDIO DO INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS PARANAÍ

Maiara dos S. Faria

Glaucio Testa

**DOI 10.22533/at.ed.6312020113**

### **CAPÍTULO 4..... 35**

O CONCEITO DE LIGAÇÃO QUÍMICA NO LIVRO DIDÁTICO

Olívia Maria Bastos Costa

Gislene Santos Silva

Marcelo Alves Lima Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.6312020114**

### **CAPÍTULO 5..... 49**

A HISTÓRIA DA QUÍMICA COMO ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA PARA O APRENDIZADO DE ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Ana Deuza da Silva Soares

Cliciane Magalhaes da Silva

Jamilla de Nazaré de Oliveira Almeida

Daniela Duarte de Sousa

Raimme Paola do Nascimento Pinto

Carlos Arthur Araújo Assunção

**DOI 10.22533/at.ed.6312020115**

### **CAPÍTULO 6..... 60**

APLICAÇÃO DE JOGO DIDÁTICO COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO-APRENDIZAGEM DE QUÍMICA ORGÂNICA

Herbert Gonzaga Sousa

Patrícia e Silva Alves

Aline Aparecida Carvalho França

Maciel Lima Barbosa

Gilmânia Francisca Sousa Carvalho  
Renata da Silva Carneiro  
Dihêgo Henrique Lima Damacena  
Beneilde Cabral Moraes  
Valdiléia Teixeira Uchôa  
Katiane Cruz Magalhães Xavier  
Rita de Cássia Pereira Santos Carvalho  
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.6312020116**

**CAPÍTULO 7..... 72**

**O SÉCULO XX E UMA NOVA DIMENSÃO DAS ATIVIDADES CIENTÍFICAS NO BRASIL  
POUCO INSERIDAS NOS CONTEXTO DIDÁTICO DOS LIVROS**

Alcione de Nazaré Dias Silva  
Débora da Cruz Arruda

**DOI 10.22533/at.ed.6312020117**

**CAPÍTULO 8..... 80**

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA PARA PRODUÇÃO DE  
NOVOS MATERIAIS: O CONHECIMENTO QUÍMICO À SERVIÇO DO DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL, CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO**

Igor Andrade Rodrigues  
Adilson de Santana Santos  
Vanessa da Silva Reis  
Márcio Souza Santos  
Alexilda Oliveira de Souza  
Marluce Oliveira da Guarda Souza

**DOI 10.22533/at.ed.6312020118**

**CAPÍTULO 9..... 94**

**ESTUDO COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO E ATIVIDADE  
FOTOCATALÍTICA DE  $\alpha$ -Ag<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> PARA O CORANTE RODAMINA B**

Francisco das Chagas Marques da Silva  
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.6312020119**

**CAPÍTULO 10..... 105**

**DEGRADAÇÃO DA TETRACICLINA EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO PROCESSOS  
OXIDATIVOS AVANÇADOS E AVALIAÇÃO DO EFEITO DE INIBIÇÃO SOBRE *Escherichia  
coli***

Ismael Laurindo Costa Junior  
Marcia Antônia Bartolomeu Agustini  
Felipe Augusto Barbieri  
Letícia Maria Effting  
Cesar Augusto Kappes  
Kevin Augusto Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.63120201110**

**CAPÍTULO 11..... 126**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE LARANJA ATIVADO COM CLORETO DE CÁLCIO E SUA APLICAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM NITRATO**

Lucas Fernandes Domingues  
Greice Queli Nardes Cruz  
Idel Perpetua de Castro  
Isadora Aparecida Archioli  
Lorena Cristina Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.63120201111**

**CAPÍTULO 12..... 135**

**PREPARAÇÃO DE NOVOS LÍQUIDOS IÔNICOS ALCANOSULFONATOS DE INTERESSE AMBIENTAL**

Michelle Budke Costa  
Giselle Back  
Melissa Budke Rodrigues  
Paulo Rodrigo Stival Bittencourt  
Fernando Reinoldo Scremin

**DOI 10.22533/at.ed.63120201112**

**CAPÍTULO 13..... 146**

**AMIDO DE BATATA DOCE HIDROLISADO COM ENZIMAS DO MALTE DE CEVADA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL**

Renata Nascimento Caetano  
Felipe Staciaki da Luz  
Adrielle Ferreira Bueno  
Cinthy Beatriz Fürstenberger  
Everson do Prado Banczek

**DOI 10.22533/at.ed.63120201113**

**CAPÍTULO 14..... 158**

**EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE LIPASE DE GRÃOS DE SOJA**

Isabela Cristina Damasceno  
Marcela Guariento Vasconcelos  
Lívia Piccolo Ramos Rossi

**DOI 10.22533/at.ed.63120201114**

**CAPÍTULO 15..... 172**

**DETERMINAÇÃO DA CITOTOXIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Origanum vulgare***

Daiane Einhardt Blank  
Gabriela Hörnke Alves  
Rogério Antonio Freitag  
Silvia de Oliveira Hübner  
Marlete Brum Cleff

**DOI 10.22533/at.ed.63120201115**

<b>CAPÍTULO 16.....</b>	<b>180</b>
<b>AVALIAÇÃO SAZONAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E INIBIÇÃO DE ACETILCOLINESTERASE DO ÓLEO ESSENCIAL DE ALOYSIA GRATISSIMA</b>	
Adílio Macedo Santos Adonias de Oliveira Teixeira Vilisaimon da Silva de Jesus Luan Souza Santos Moacy Selis Santos Clayton Queiroz Alves Djalma Menezes de Oliveira Rosane Moura Aguiar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.63120201116</b>	
<b>CAPÍTULO 17.....</b>	<b>192</b>
<b>OBTENÇÃO E ANÁLISE QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES MEDICINAIS UTILIZADAS NA REGIÃO DE MARABÁ</b>	
Aristides Anderson Pereira Reis Sebastião da Cruz Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.63120201117</b>	
<b>CAPÍTULO 18.....</b>	<b>198</b>
<b>INFLUÊNCIA DOS EXTRATOS BRUTOS DE AÇÁI E PITANGA SOBRE A ATIVIDADE DE GLUTATIONA S-TRANSFERASE ESPECÍFICA CEREBRAL DE RATO</b>	
Tais da Silva Rosa Felipe Boz Santos Cristiane Martins Cardoso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.63120201118</b>	
<b>CAPÍTULO 19.....</b>	<b>203</b>
<b>SELETIVIDADE E SENSIBILIDADE EM ELETRODOS COMPÓSITOS MODIFICADOS USANDO POLÍMEROS COM IMPRESSÃO MOLECULAR: O CASO DO DICLOFENACO</b>	
Priscila Cervini Abigail Vasconcelos Pereira Éder Tadeu Gomes Cavalheiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.63120201119</b>	
<b>CAPÍTULO 20.....</b>	<b>216</b>
<b>PRODUÇÃO DE COMPÓSITO TRICOMPONENTE A PARTIR DA CASCA DE AMENDOIM E RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS</b>	
Giovanna Coelho Bosso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.63120201120</b>	
<b>CAPÍTULO 21.....</b>	<b>231</b>
<b>CELULOSE NANOFRIBRILADA FUNCIONALIZADA COM GRUPOS DICIANOVINIL: REDUÇÃO ELETROQUÍMICA DE CO<sub>2</sub></b>	
Robson Valentim Pereira Thais Eugênio Gallina Aparecido Junior de Menezes	

Kênia da Silva Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.63120201121**

**CAPÍTULO 22.....242**

**DETERMINAÇÃO BIOQUÍMICA, FÍSICO-QUÍMICA E MINERAL DE POLPA E CASCA DO FRUTO DE *Endopleura uchi***

Charline Soares dos Santos Rolim

Leonardo do Nascimento Rolim

Régis Tribuzy de Oliveira

Eyde Cristianne Saraiva-Bonato

Maria das Graças Gomes Saraiva

Roseane Pinto Martins de Oliveira

Cláudia Cândida Silva

Carlos Victor Lamarão

**DOI 10.22533/at.ed.63120201122**

**CAPÍTULO 23.....253**

**DESENVOLVIMENTO DE FERTILIZANTE ALTERNATIVO CONSTITUÍDO DE MICROPARTÍCULAS POLIMÉRICAS CARREADORAS DE NPK**

Júnior Olair Chagas

Gilmare Antônia da Silva

Fabiana Aparecida Lobo

**DOI 10.22533/at.ed.63120201123**

**CAPÍTULO 24.....265**

**SÍNTESE DE COMPOSTOS DE COORDENAÇÃO CONTENDO COBRE(II) COM LIGANTES DICARBOXILATOS: ESTUDO DE SUAS PROPRIEDADES VAPOCRÔMICAS**

Eduardo Dias Albino

Bruno Ribeiro Santos

Alessandra Stevanato

**DOI 10.22533/at.ed.63120201124**

**CAPÍTULO 25.....282**

**NÍVEIS DE COBRE EM AMOSTRAS AMBIENTAIS DA REGIÃO CACAUEIRA NO SUL DA BAHIA POR USO DA MICROEXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO DISPERSIVA**

Mayara Costa dos Santos

Ívero Pita de Sá

Marina Santos de Jesus

Julia Carneiro Romero

Fábio Alan Carqueija Amorim

**DOI 10.22533/at.ed.63120201125**

**CAPÍTULO 26.....292**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES A PARTIR DE ESCÓRIA DE ACIARIA**

Josielle Vieira Fontes

Liliane Nogueira Silva

José Augusto Martins Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.63120201126**

**CAPÍTULO 27.....301**

**LINEARIZAÇÃO DA CURVA DE ESFRIAMENTO DA GLICERINA**

Vinicius Canal de Carvalho

Roberto Vargas de Oliveira

Abiney Lemos Cardoso

**DOI 10.22533/at.ed.63120201127**

**CAPÍTULO 28.....306**

**O PLASMA E SUAS CARACTERÍSTICAS**

Leila Cottet

Luís Otávio de Brito Benetoli

Nito Angelo Debacher

**DOI 10.22533/at.ed.63120201128**

**CAPÍTULO 29.....319**

**NANOTUBOS DE CARBONO – UMA VISÃO GERAL**

Leila Cottet

Luís Otávio de Brito Benetoli

Nito Angelo Debacher

**DOI 10.22533/at.ed.63120201129**

**SOBRE A ORGANIZADORA.....333**

**ÍNDICE REMISSIVO.....334**

## DEGRADAÇÃO DA TETRACICLINA EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS E AVALIAÇÃO DO EFEITO DE INIBIÇÃO SOBRE *Escherichia coli*

Data de aceite: 01/11/2020

Data de submissão: 03/10/2020

### **Ismael Laurindo Costa Junior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8830429960630659>

### **Marcia Antônia Bartolomeu Agustini**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/2647557534582483>

### **Felipe Augusto Barbieri**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4794762518030831>

### **Leticia Maria Efftig**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/6204146572736247>

### **Cesar Augusto Kappes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5997103482608930>

### **Kevin Augusto Ferreira**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4909445440364419>

**RESUMO:** Em decorrência do crescimento da população mundial, o consumo de medicamentos tem aumentado de forma significativa, o que tem resultado na inserção dessas substâncias no meio ambiente. Um dos grupos de fármacos residuais que merecem atenção é o dos antibióticos devido ao seu potencial efeito no desenvolvimento de bactérias resistentes no meio ambiente. A proposição de técnicas de tratamentos voltadas a mitigação desses novos poluentes coloca-se como uma etapa fundamental para a manutenção dos recursos hídricos. Nessa direção, os processos Oxidativos Avançados (POAs) têm surgido como uma tecnologia promissora em função do seu forte poder oxidante. Este trabalho teve por objetivo estudar a degradação do antibiótico tetraciclina em matriz aquosa sintética empregando os processos fotocatalise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>) e heterogênea (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV). As condições experimentais forma otimizadas por delineamento composto central rotacional (DCCR). Os experimentos foram conduzidos em um reator em escala laboratorial, com sistema em batelada, constituído por quatro recipientes de 250 mL, equipado com quatro lâmpadas de mercúrio de 15 W. Obtiveram-se como melhores condições de degradação pH = 4, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 25 mg L<sup>-1</sup> e [Fe<sup>2+</sup>] = 15 mg L<sup>-1</sup> na fotocatalise homogênea e pH = 4, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 51 mg L<sup>-1</sup> e [TiO<sub>2</sub>] = 0,23 g L<sup>-1</sup> para a fotocatalise heterogênea. As cinéticas dos dois tratamentos correspondem ao modelo de primeira-ordem com K<sub>2</sub> = 0,007 min<sup>-1</sup> e K<sub>2</sub> = 0,02 min<sup>-1</sup> respectivamente. No teste de inibição com *Escherichia coli* observou-se menor efeito ativo após os tratamentos de degradação

empregados. Os tratamentos fotocatalise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>) e heterogênea (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) são promissores no tratamento de águas e efluentes contaminados com o fármaco tetraciclina.

**PALAVRAS-CHAVES:** Micropoluentes, Fármacos residuais, Resistência antimicrobianos, Fotocatalise.

## DEGRADATION OF TETRACYCLINE IN AQUEOUS MEDIA USING ADVANCED OXIDATIVE PROCESSES AND EVALUATION OF THE INHIBITION EFFECT ON *Escherichia coli*

**ABSTRACT:** As a result of the growth of the world population, the consumption of medicines has increased significantly, which has resulted in the insertion of these substances in the environment. One of the groups of residual drugs that deserve attention is that of antibiotics due to their potential effect on the development of resistant bacteria in the environment. The proposition of treatment techniques aimed at mitigating these new pollutants is a fundamental step for the maintenance of water resources. In this direction, Advanced Oxidative processes (AOPs) have emerged as a promising technology due to their strong oxidizing power. This work aimed to study the degradation of the antibiotic tetracycline in a synthetic aqueous matrix using the homogeneous (photo-Fenton) and heterogeneous (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) photocatalysis processes. The experimental conditions were optimized by a central rotational composite design (CRCD). The experiments were conducted in a laboratory scale reactor, with a batch system, consisting of four 250 mL containers, equipped with four 15 W mercury lamps. The best degradation conditions were obtained pH = 4, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 5 mg L<sup>-1</sup> and [Fe<sup>2+</sup>] = 15 mg L<sup>-1</sup> in homogeneous photocatalysis. For heterogeneous photocatalysis, pH = 4, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 51 mg L<sup>-1</sup> and [TiO<sub>2</sub>] = 0.23 g L<sup>-1</sup> were the best conditions. The kinetics of the two treatments correspond to the first-order model with K<sub>2</sub> = 0.007 min<sup>-1</sup> and K<sub>2</sub> = 0.02 min<sup>-1</sup>, respectively. In the *Escherichia coli* inhibition test, less active effect was observed after the degradation treatments used. The homogeneous (photo-Fenton) and heterogeneous (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) photocatalysis treatments are promising in the treatment of water and effluents contaminated with the drug tetracycline.

**KEYWORDS:** Micropollutants, Residual drugs, Antimicrobial resistance, Photocatalysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os poluentes orgânicos emergentes (POEs), são compostos químicos de origem sintética ou natural recentemente identificados nos ecossistemas ou que anteriormente não eram considerados no monitoramento ambiental. As substâncias que fazem parte desse grupo, são os compostos perfluorados, pesticidas, fármacos, hormônios, drogas ilícitas, desreguladores endócrinos, e produtos de higiene pessoal (COSTA; PLETSCHE; TORRES, 2014; GAVRILESCU et al., 2015; SAUVÉ; DESROSIERS, 2014). Devido à limitação de informações sobre a sua interação com os compartimentos ambientais e os impactos ecotoxicológicos que podem causar, não se tem a prospecção real do risco que essas substâncias representam à saúde pública (NAIDU et al., 2016).

Estima-se que a principal característica do grupo dos POEs é de não necessitarem persistir nos compartimentos ambientais por longos períodos para causarem efeitos negativos. Suas baixas taxas de remoção e transformação nos processos naturais são compensadas pelas suas contínuas introduções (pseudo-persistentes) nas matrizes ambientais, podendo levar a maiores exposições a longo prazo (BARCELÓ, 2003; BILA; DEZOTTI, 2003; NAIDU et al., 2016). É possível encontrar grande variedade de compostos orgânicos nos esgotos urbanos derivados das atividades humanas que se enquadram como microcontaminantes emergentes, entre os quais são destacados os produtos farmacêuticos utilizados em grande quantidade em todo o mundo (BILA; DEZOTTI, 2003; SCHWIENSTEK et al., 2016).

Devido ao crescimento populacional e a elevada demanda de serviços e produtos, há uma quantidade crescente de fármacos produzidos diariamente para o consumo humano e animal. Pouco se conhece sobre o destino dessas substâncias no meio ambiente. Tomando por exemplo os antibióticos, estimam-se que taxas de 30 a 90% da dose administrado, são excretados na urina com substância ativa (HALLING-SØRENSEN, 2000; MOMPÉLAT; LE BOT; THOMAS, 2009).

Três destinos possíveis são considerados como prioritários para qualquer fármaco residual quando entram nos sistemas de tratamento destinados a águas residuárias domésticas e industriais. Podem ser biodegradados, ou seja, mineralizado a gás carbônico e água, como é o caso da aspirina. Podem passar por algum processo metabólico ou serem degradados parcialmente, como ocorre com as penicilinas. Ou então, podem ser persistentes, como ocorre com o clofibrato (PETRIE; BARDEN; KASPRZYK-HORDERN, 2015; RICHARDSON; BOWRON, 1985).

As estações de tratamento de esgotos (ETEs) domésticos ou efluentes industriais são projetadas para a realização de tratamentos convencionais, baseados principalmente em processos biológicos dependentes da ação de micro-organismos. Estudos apontam que são insuficientes para eliminar fármacos devidos a suas características moleculares, estruturas complexas e baixa concentração em água. Em alguns casos a porcentagem removida desse composto pode ser menor que 10% (KÜMMERER; AL-AHMAD; MERSCH-SUNDERMANN, 2000; LISHMAN et al., 2006; RIVERA-UTRILLA et al., 2013).

Dentre os fármacos, uma das classes de grande repercussão ambiental é a dos antimicrobianos. Os antibióticos são usados extensivamente na medicina humana e veterinária com finalidade de prevenir ou tratar infecções microbianas. Além do tratamento terapêutico, são aplicados como promotores de crescimento e aditivos em rações (HALLING-SØRENSEN et al., 1998). Pesquisas recentes mostraram que vários antibióticos veterinários possuem uma ocorrência em águas superficiais, tanto em situações aeróbicas e anaeróbicas (HIRSCH et al., 1999; MATONGO et al., 2015; SABRI et al., 2020; YANG; CARLSON, 2003).

Os antibióticos apresentam diferentes efeitos sobre os organismos quando presentes no meio ambiente. A resistência microbiana é um destes efeitos que foi acelerado principalmente pelo uso indiscriminado destes fármacos. As bactérias, quando expostas a baixa dose dos antimicrobianos, vão gradualmente tornando-se tolerantes. Este quadro é agravado, uma vez que os fármacos não são completamente removidos durante os processos convencionais de tratamento de esgoto (BILA; DEZOTTI, 2003; SAHOO et al., 2010; TEUBER, 2001)

A tetraciclina (TC) pertence a um dos maiores grupos de antibióticos, obtidos através da fermentação de um fungo ou por processos semissintéticos. As tetraciclinas livres são substâncias anfóteras cristalinas de baixa solubilidade, sendo comum encontrá-la nas formas oxitetraciclina ou cloridrato de tetraciclina, que são mais solúveis e possuem boa estabilidade (BORGHI; PALMA, 2014; DAGHRIR; DROGUI, 2013; OCAMPO-PÉREZ et al., 2012).

A tetraciclina pode ser utilizada, para o controle de diversas infecções causadas por bactérias, atuando como agentes bacteriostáticos, inibindo a síntese da proteína microbiana. Este antibiótico é amplamente utilizado tanto na medicina humana quanto veterinária, por causa do seu amplo espectro de ação e de suas vantagens financeiras. Também é utilizada como aditivo na alimentação de animais confinados para aumentar a taxa de crescimento dos mesmos (JAVID et al., 2016; OKA; ITO; MATSUMOTO, 2000).

Considerando que absorção da tetraciclina é de 60 a 80%, a substância não metabolizada é eliminada pelas fezes e urina, e sem o devido tratamento de remoção podem ser inseridas como micropoluentes em rios e lagos (ADDAMO et al., 2005; JAVID et al., 2016; OKA; ITO; MATSUMOTO, 2000).

Assumindo que os tratamentos aplicados atualmente nas estações de tratamento são ineficazes para a remoção de compostos orgânicos complexos e com o objetivo de resolver esse problema ambiental existe a necessidade de desenvolver-se novas tecnologias e novos processos de tratamentos para a mitigação dessas substâncias. Uma das alternativas para tratamento de águas e efluentes contendo micropoluentes como a tetraciclina são os processos oxidativos avançados (POAs) (HAN et al., 2020; NIE et al., 2020).

POAs são alternativas que proporcionam a degradação dessas substâncias, sem troca de fase, e podem ser aplicadas tanto na saída das ETEs quanto nas etapas finais do tratamento (KIM; YAMASHITA; TANAKA, 2009; STEFAN, 2017).

Os POAs são definidos como processos envolvendo geração de agentes oxidantes fortes, sendo o principal agente radical hidroxila ( $\text{OH}\cdot$ ). Os radicais  $\cdot\text{OH}$  reagem com diferentes grupos funcionais, formando radicais orgânicos instáveis, que são oxidados em seguida à  $\text{CO}_2$ , ácidos inorgânicos e água (KUFFEL et al., 2017; MIKLOS et al., 2018; SIEVERS, 2011). Existem diferentes métodos para a geração de  $\cdot\text{OH}$ , podendo eles depender ou não da absorção de luz UV-Vis (DE ARAÚJO et al., 2016; OTURAN; AARON,

2014) (Tabela 1). Entre os métodos que dependem da absorção de luz, destacam-se a fotólise homogênea – que ocorre em uma solução homogênea contendo  $H_2O_2$  ou  $O_3$  – e a fotólise heterogênea – a qual necessita de um semicondutor (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2014; PORTELA MARCELINO et al., 2016).

Sistemas	Tipo	Processos
Irradiados ou fotoativados	Homogêneos	$O_3/UV$
		$H_2O_2/UV$
		Ultrassom
		UV/Ultrassom
	Heterogêneos	$H_2O_2/Ultrassom$
		Feixe de elétrons
		Foto-Fenton ( $UV/H_2O_2/Fe^{2+}$ )
Não-irradiados ou não fotoativados	Homogêneos	$O_3$
		$H_2O_2$
Não-irradiados ou não fotoativados	Heterogêneos	$O_3/H_2O_2$
		Eletro-Fenton

\* SC: Semicondutor ( $TiO_2$ ,  $ZnO$ , entre outros).

Tabela 1. Classificação dos principais Processos Oxidativos Avançados (POAs)

Fonte: Adaptado de DE ARAUJO (2016).

As técnicas avançadas destinadas a tratamentos específicos ou a contaminantes persistentes apresentam alto custo de implantação e operação. A seleção da fotocatalise heterogênea e homogênea como metodologia de tratamento é baseada alta eficiência de degradação, na simplicidade do aparato necessário e na viabilidade financeira quando comparada com outros processos, mais eficientes, contudo, mais onerosos (ALATON; BALCIOGLU; BAHNEMANN, 2002; ANDREOZZI, 1999)  $H_2O_2/UV-C$  and  $TiO_2/UV-A$ .

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo estudar a degradação do antibiótico tetraciclina (TC) em matriz aquosa empregando os POAs fotocatalise homogênea ( $UV/H_2O_2/Fe^{2+}$ ) e heterogênea ( $TiO_2/H_2O_2/UV$ ) como prospecção inicial à uma técnica promissora na remoção desse micropoluente.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes, padrões e soluções

O fármaco tetraciclina (TC) foi adquirido na forma de padrão analítico com pureza de  $\geq 95,0\%$  (Sigma-Aldrich®). Foram preparadas soluções estoque à  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ , avolumadas em água ultrapura e conservadas a  $4^\circ\text{C}$  sob refrigeração, protegidas da luz. As reações de fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) e heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) foram realizadas utilizando peróxido de hidrogênio P. A. ( $\text{H}_2\text{O}_2$ , Alpathec®) e sulfato de ferro (II) heptaidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Dinâmica®) e dióxido de titânio P.A. ( $\text{TiO}_2$ , Dinâmica®). Para a preparação das soluções tampões de fosfato destinadas ao ajuste de pH, foram utilizados fosfato de potássio monobásico anidro P.A. ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , Êxodo®), fosfato de potássio dibásico P.A. ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , Alphatec®) e ácido fosfórico 85% P.A. ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , Moderna®).

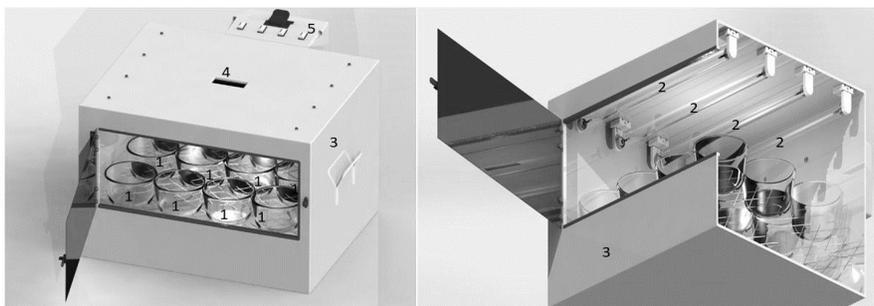
Para o preparo das soluções e meios de cultura no ensaio de inibição, foram utilizadas o ágar PCA (Plate Count Agar, KASVI®), o ágar EMB (Eosina Azul de Metileno, HIMEDIA®), Água Peptona Tamponada (ION®), cloreto de sódio P.A. (Alphatec®). A cepa padrão de referência utilizada para os ensaios microbiológicos foi a *Escherichia coli* (*E. coli*, Microbiologics® derivada da ATCC® 25922™).

### 2.2 Instrumentação e caracterização espectroscópica da tetraciclina e calibração analítica

Nos ensaios preliminares e individuais, os espectros de absorvância foram obtidos com o auxílio do espectrofotômetro de absorção molecular UV/VIS de varredura de feixe simples, (PerkinElmer™ LAMBDA XLS), no intervalo de 200 a 400 nm com resolução de 2nm. Foram utilizadas cubetas de quartzo com caminho óptico de 1 cm. Foram preparadas soluções com concentração de 5, 10, 15, 20 e  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de tetraciclina nos pH 2, 3, 4, 5 e 7 sendo então obtida a curva de calibração para identificar os máximos de absorção do fármaco e seu perfil espectroscópico.

### 2.3 Sistema reacional (reator)

Foi utilizado um reator em escala laboratorial, operando em sistema batelada, constituído por quatro recipientes de 250 mL colocados no interior do reator sobre quatro agitadores magnéticos (Fisatom®). O reator é constituído por uma caixa de metal com dimensões, 57 cm x 47 cm x 47 cm, selada a fim de aumentar a incidência de radiação UV sobre a solução, equipada com quatro lâmpadas de mercúrio PURITEC HNS 15 W de baixa pressão (OSRAM™ Germicidal) utilizada como fonte de radiação UV (Figura 1). A temperatura de operação manteve-se em torno de  $40^\circ\text{C}$  após 20 min devido a radiação gerada pela lâmpada. Por meio do teste de actinometria obteve-se que a dose para o fotoreator após 20 minutos foi igual a  $1,0 \times 10^{-4} \text{ Einstein s}^{-1}$ .



Legenda: 1 Reator ;  
2 Fonte de Radiação UV;  
3 Revestimento de metal;  
4 Visor para interior do reator;  
5 Interruptor lâmpadas.

Figura 1. Esquema do sistema utilizado para fotocatalise (homogênea e heterogênea) artificial.

As lâmpadas do reator foram ligadas com 20 minutos de antecedência e para cada experimento os recipientes do reator foram preenchidos com 125 mL da solução de trabalho contendo os tratamentos necessários, em duplicata segundo o delineamento experimental previamente definido. Aliquotas de 5 mL dessa solução foram retiradas em tempos determinados para medida de concentração.

## 2.4 Processos oxidativos aplicados

### 2.4.1 Otimização das condições de degradação

A concentração do fármaco tetraciclina (TC) foi fixada em  $20 \text{ mg L}^{-1}$  em todos os ensaios de otimização realizados. Com o propósito de verificar a influência dos fatores pH,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  e  $[\text{TiO}_2]$  para fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) e pH,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  e  $[\text{Fe}^{2+}]$  para fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) utilizou-se inicialmente um planejamento fatorial  $2^3$  com 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios (Tabela 2).

Para otimizar as condições com a resposta obtidas no planejamento fatorial, utilizou-se um delineamento composto central rotacional (DCCR) constituído de um fatorial  $2^3$  com dois níveis (-1 e +1), com 3 repetições no ponto central e 6 pontos axiais (-1,68 e +1,68), totalizando 17 ensaios (Tabela 2).

Tratamento	Variáveis Independentes	Níveis codificados e reais							
		Planejamento 2 <sup>3</sup>				DCCR			
		-1	0	+1	-1,68	-1	0	+1	+1,68
TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV	pH (A)	2	3	4	2	3	4	5	7
	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (mg L <sup>-1</sup> ) (B)	25	45	65	11,4	25	45	65	78,6
	[TiO <sub>2</sub> ] (g L <sup>-1</sup> ) (C)	0,1	0,3	0,5	0,03	0,1	0,3	0,5	0,37
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup>	pH (A)	3	4	5	3	4	5	6	7
	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (mg L <sup>-1</sup> ) (B)	15	25	35	11,6	15	20	25	28,4
	[Fe <sup>2+</sup> ] (mg L <sup>-1</sup> ) (C)	25	35	45	8,2	15	25	35	41,8

Tabela 2. Níveis codificados e reais das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2<sup>3</sup> e DCCR para fotocatalise heterogênea (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) e fotocatalise homogênea (Foto-Fenton).

O software Statistica, versão 8.0 (Statsoft™, USA), foi utilizado para determinação dos efeitos das variáveis independentes. A resposta utilizada na análise estatística foi a porcentagem de remoção de TC empregando Análise de Variância (ANOVA) no nível de significância de 95%.

#### 2.4.2 Cinética de degradação e tempo de meia vida

Obtidas as condições experimentais otimizadas pelo DCCR foram realizados ensaio cinéticos no tempo de 180 min com tomada de alíquotas em tempos regulares para acompanhamento da degradação pelos processos testados. Os modelos de ordem zero, primeira-ordem e segunda ordem foram avaliados quanto o ajuste aos dados experimentais obtidos a partir das condições otimizadas para a fotocatalise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>) e heterogênea (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) visando determinar-se as taxas de reação ao longo do tempo de experimento, assim como o tempo de meia-vida da tetraciclina.

A determinação da relação entre a taxa de fotodegradação dos fármacos e suas respectivas concentrações (ordem da reação) é uma importante etapa no estudo da cinética das reações químicas (Equação 1). A ordem da reação é entendida como a dependência da velocidade da reação com a concentração. Onde  $C_0$  é a concentração inicial do reagente, e  $C$  a concentração do reagente decorrido um tempo  $t$  de reação.

Se  $dC/dT$  satisfazer à Equação 2,  $n$  será a ordem da reação.

$$\frac{dC}{dt} = -k \cdot C^n \quad \text{Equação 1}$$

Quando  $n = 0$  (reação de ordem zero),  $n = 1$  (reação de primeira-ordem) e  $n = 2$  (reação de segunda-ordem), a Equação 1 levará, respectivamente, às Equações 2, 3 e 4.

$$C = C_0 - k_0 \cdot t \quad \text{Equação 2}$$

$$C = C_0 \cdot e^{-k^1 \cdot t} \quad \text{Equação 3}$$

$$C = \frac{C_0}{1 + C_0 \cdot k_2 \cdot t}$$

Equação 4

Em estudos de fotodegradação envolvendo micropoluentes orgânicos, empregados na avaliação da persistência e susceptibilidade à radiação ultravioleta, os modelos representados nas equações 2, 3 e 4 são comumente aplicados para avaliação cinética (SADEF; POULSEN; BESTER, 2014; XIE et al., 2018). Os ajustes foram realizados em empregando o software *originPro* 8.0.

## 2.5 Ensaio de inibição empregando *Escherichia coli* como bioindicador

Para os ensaios microbiológicos foi utilizada a cepa padrão ATCC (American Type Culture Collection) *Escherichia coli* (*E. coli*, Microbiologics® derivada da ATCC® 25922™). Antes da realização dos bioensaios, a reconstituição da cepa ocorreu por meio de incubação em água peptonada previamente esterilizada, em estufa de incubação por 24 horas a  $35 \pm 2$  °C. Para o isolamento das colônias de *E. coli*, com auxílio de uma alça de platina utilizou-se da técnica de esgotamento em estrias em placas de Petri contendo o meio de cultura ágar Eosina Azul de Metileno (EMB). Posteriormente, incubou-se as placas contendo as estrias na estufa a temperatura de  $35 \pm 2$  °C por 24 horas.

Utilizaram-se cinco colônias isoladas de *E. coli* para a realização de uma diluição seriada ( $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ ) em solução de água salina estéril. Transferiu-se 100 µL da solução contida dentro de cada tubo para placas de Petri vazias, onde realizou-se a técnica de semeadura *Pour-plate*, adicionando cerca de 20 mL do meio de cultura Plate Count Agar (PCA) fundido e resfriado a uma temperatura de  $45 \pm 2$  °C. Em seguida, homogeneizou suavemente com movimentos circulares, o procedimento foi realizado em triplicata para ter maior precisão dos resultados, totalizando 18 placas, sendo três 3 placas para cada diluição.

As placas preparadas pelo método de *Pour-plate* foram incubadas na estufa a uma temperatura de  $35 \pm 2$  °C durante 24 horas. Após o tempo de incubação, realizou-se a contagem das colônias. Selecionou-se a diluição de  $10^{-4}$  por apresentar um número médio de 181 colônias nas três placas. Os cálculos para o número de UFC (Unidades Formadoras de Colônias) por mL, onde obteve-se padronização dos inóculos em  $1,81 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup>.

Com a diluição selecionada anteriormente ( $10^{-4}$ ), realizou-se a de degradação do antibiótico tetraciclina através dos processos de fotólise direta (UV) (A), fotocatalise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>) (C) e heterogênea (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) (D) com recolhidas do tratado nos tempos de 0 min e 180 min (Tabela 3). Para controle foram realizados tratamentos com o inóculo e possível efeito isolado do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sob radiação UV (B) (Tabela 4).

A degradação foi realizada em faixa de pH = 4, conforme o DCCR. Posteriormente, as alíquotas de cada tratamento foram neutralizadas com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L<sup>-1</sup> e 1,0 mL foi transferida para tubos de ensaio contendo 8,0 mL de solução de água salina 0,85% e 1,0 mL do inóculo da diluição selecionada ( $10^{-4}$ ).

Os tratamentos permaneceram em contato com o inóculo durante 2 horas onde

foram incubados em estufa a  $35 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ . Posteriormente, transferiu-se  $100 \mu\text{L}$  da solução de cada tubo para placas de Petri vazias, onde, realizou-se a técnica de semeadura *Pour-plate*, colocando cerca de 20 mL do meio de cultura *Plate Count Agar* (PCA) fundido e resfriado a uma temperatura de  $45 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ . Em seguida, homogeneizou suavemente com movimentos circulares, o procedimento foi realizado em triplicata, totalizando 27 placas. As placas foram incubadas na estufa a  $35 (\pm 2) ^\circ\text{C}$  por 24 horas, por fim, realizou-se as contagens das colônias para cálculo de UFC.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização espectroscópica da tetraciclina

O espectro de absorção do fármaco tetraciclina com concentração de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  e pH na região do ultravioleta visível possui duas bandas máximas de absorção nas regiões de 268 e 360 nm, faixas que são abrangidas no ultravioleta médio, sendo a primeira banda, escolhida para acompanhar a concentração de TC nos ensaios (Figura 2).

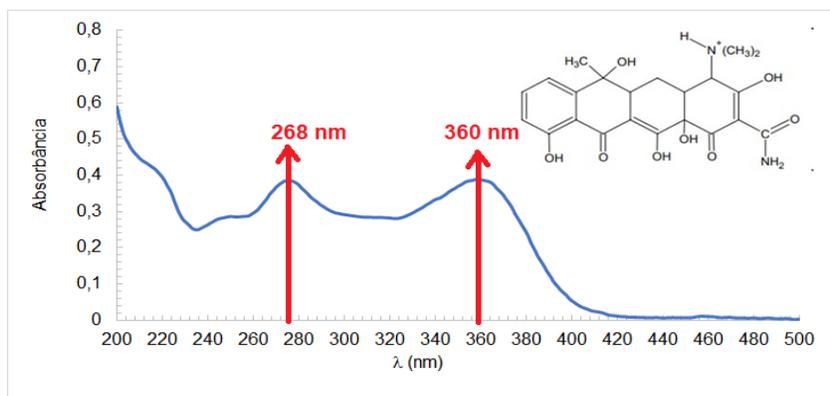


Figura 2. Espectro de absorção UV-VIS da TC. Concentração de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  de TC e pH= 4.

### 3.2 Otimização das condições de degradação

Utilizando como ferramenta o planejamento experimental e análise da superfície de resposta é possível investigar a influência das variáveis em um processo e a forma de interação entre estas, além de possibilitar a obtenção dos valores das variáveis que otimizem os resultados.

O delineamento usando o planejamento fatorial completo  $2^3$  indicou que o fator pH influenciou de forma significativa a remoção do fármaco TC. A eficiência de remoção tende a aumentar com o pH. Para o processo heterogêneo ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) as taxas de remoção mais efetivas, com média de 54%, acontecem em faixa de pH ácida acima de

3 e nas maiores concentrações de  $[\text{TiO}_2]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  testadas. No processo de fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) as maiores taxas de remoção, com valores médios entre 40% e 87%, foram observadas na faixa de pH de 4 a 5 e nos menores teores de  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ . Visando à otimização das condições experimentais obtidas com o planejamento inicial, utilizou-se o DCCR. Optou-se por deslocar os valores dos fatores iniciais (Tabela 2) com base nas observações feitas anteriormente visando melhorar a remoção e aplicou-se o DCCR (Tabela 2).

Com a aplicação do DCCR obtiveram-se as superfícies de resposta (Figura 3) com base no modelo quadrático para a remoção de TC. Nos processos estudados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo quadrático explicou 71,4% da variância na fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) e 85,% na fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ). Em ambos os tratamentos efeitos lineares e quadráticos dos valores estudados de pH,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ ,  $[\text{TiO}_2]$  e  $[\text{Fe}^{2+}]$  foram considerados representativos.

Observou-se se que a eficiência na remoção de tetraciclina no processo heterogêneo ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) apresentou valores médios entre 22% e 54% (Figura 3 a). Na fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) verificaram-se valores médios entre 16% e 95% (Figura 3 b). De acordo com a metodologia da superfície de expostas os pontos de máximo indicados foram em  $\text{pH} = 4$ ,  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 51 \text{ mg L}^{-1}$  e  $[\text{TiO}_2] = 0,23 \text{ g L}^{-1}$  e  $\text{pH} = 4$ ,  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 25 \text{ mg L}^{-1}$  e  $[\text{Fe}^{2+}] = 15 \text{ mg L}^{-1}$  respectivamente para cada processo. Estes valores foram aplicados no estudo cinético da reação de degradação e nos ensaios de inibição.

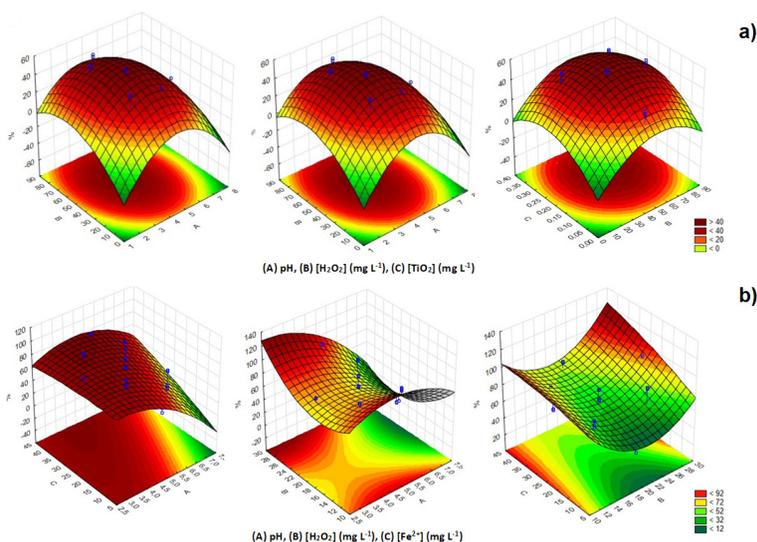


Figura 3. Superfícies de resposta da eficiência de remoção TC (%) a) por fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) e b) fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) segundo o DCCR

A adição de um catalisador aumenta a taxa da reação em sistemas fotocatalíticos

conforme observado nos dois processos. Entretanto, o uso excessivo de partículas sólidas de catalisador no sistema pode diminuir a absorvância de radiação UV. As taxas iniciais de degradação fotocatalítica são diretamente proporcionais à quantidade de catalisador até certo valor limite, pois nesse ponto é onde ocorre a máxima quantidade de catalisador para o qual todas as partículas tenham, acesso à energia advinda dos fótons (HERRMANN, 2005).

O catalisador quando em excesso no meio reacional, bloqueia a radiação para partículas catalíticas que estão abaixo da superfície do fluido, tornando-as inativas, pois não serão ativadas pela luz da fonte luminosa. Este efeito justifica a menor percentagem de remoção no processo de fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) (HERRMANN, 2005; TSENG; HUANG, 1990). O processo foto-Fenton ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ), por sua vez, tem como vantagem ser homogêneo e não apresentar tal efeito, levando a maiores remoções, contudo seu custo é mais elevado (PIGNATELLO, 1992).

### 3.3 Cinética de degradação em solução aquosa

A avaliação da cinética do processo de fotodegradação por fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) e fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) do antibiótico tetraciclina em meio aquoso ao longo de 180 min considerou o ajuste dos dados experimentais a modelos cinéticos por meio de regressão não linear às Equações 2, 3 e 4 (Figura 4 e Tabela 3).

No processo de fotocatalise heterogênea, em 30 min de operação a remoção de TC foi cerca de 40 %, com 180 min houve um aumento a aproximadamente de 65 %. No processo de catálise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ), em 30 min o percentual foi cerca de 50 % e com 180 minutos houve um salto à cerca de 80 %. A inspeção do comportamento ao longo do tempo sugere remoção mais elevada para o processo foto-Fenton nos tempos iniciais.

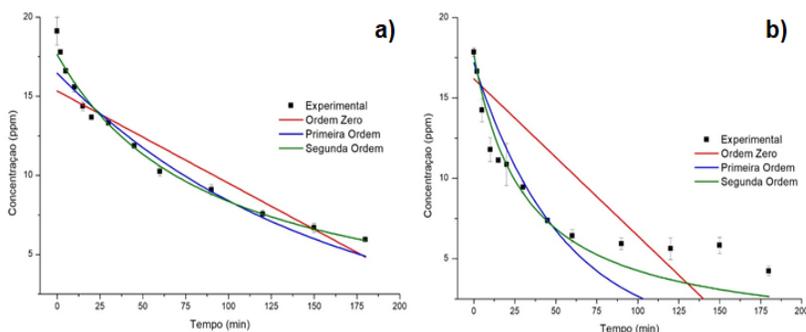


Figura 4. Ajuste dos dados experimentais aos modelos cinéticos de Ordem-Zero, Primeira ordem e Segunda-ordem para a) para fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) em pH 4,  $[\text{TC}] = 20 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 51 \text{ mg L}^{-1}$  e  $[\text{TiO}_2] = 0,23 \text{ g L}^{-1}$  e b) fotocatalise homogênea ( $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) em pH 4,  $[\text{TC}] = 20 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 25 \text{ mg L}^{-1}$  e  $[\text{Fe}^{2+}] = 15 \text{ mg L}^{-1}$

Em um estudo sobre a fotodegradação da tetraciclina em meio aquoso irradiado

por luz UV ( $\lambda = 300$  nm foram testados a fotólise direta e a fotocatalise heterogênea. Os resultados apresentados para o sistema de fotólise direta revelaram uma fotodegradação muito lenta e parcial (DI PAOLA et al., 2004). A aplicação do processo foto-Fenton (UV/ $H_2O_2/Fe^{2+}$ ) para oxicetetraciclina em meio aquoso reportada em um estudo indicou remoção de 91% após 60 min de tratamento (ZOUANTI; BEZZINA; DHIB, 2019). Dados estes semelhantes aos observados nessa pesquisa.

Processo	Ordem-Zero			Primeira-Ordem			Segunda-Ordem		
	$K_0$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$t_{1/2}$ (min)	$R^2$	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$t_{1/2}$ (min)	$R^2$	$K_2$ ( $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$t_{1/2}$ (min)	$R^2$
$(TiO_2/H_2O_2/UV)$	0,06 ( $\pm 0,06$ )	127,75	0,87	0,007 ( $\pm 0,0006$ )	99,02	0,98	0,0006 ( $\pm 0,0003$ )	94,54	0,95
$UV/H_2O_2/Fe^{2+}$	0,10 ( $\pm 0,02$ )	80,90	0,67	0,02 ( $\pm 0,002$ )	34,66	0,98	0,002 ( $\pm 0,0001$ )	28,25	0,93

Tabela 3. Dados cinéticos para a fotocatalise heterogênea ( $TiO_2/H_2O_2/UV$ ) e homogênea ( $UV/H_2O_2/Fe^{2+}$ ) do fármaco TC em meio aquoso.

Para ambos os tratamentos se observou melhor ajuste do modelo de primeira-ordem aos dados experimentais ( $R^2 = 0,98$ ), sendo, portanto, superior ao do modelo de ordem-zero e próximo ao de segunda-ordem. Esses dados corroboram com outras pesquisas, onde um estudo de oxidação da sulfametazina em solução aquosa, utilizando diferentes semicondutores ( $TiO_2$  e  $ZnO$ ) apresentou melhor ajuste ao modelo de primeira-ordem ( $k_1 = 0,018 \text{ min}^{-1}$ ) (KANIOU et al., 2005). Especificamente para a degradação fotocatalítica da tetraciclina empregando  $TiO_2$  suportado, também observou-se cinética de degradação de primeira ordem ( $k_1 = 0,090 \text{ min}^{-1}$ ) (BUTH, 2009).

Quanto a fotocatalise para esse composto com concentração inicial de  $200 \text{ mg L}^{-1}$  e usando uma variante do processo Fenton e nanopartícula de óxido de ferro revestida de carbono, uma pesquisa reportou remoção superior a 99% no tempo de 250 min e de acordo com a cinética de primeira-ordem obteve taxa de reação da ordem de  $k_1 = 0,023 \text{ min}^{-1}$  (JONIDI JAFARI et al., 2017).

O parâmetro tempo de meia vida comumente é destacado em quatro níveis, onde as degradações rápidas ocorrem entre 0 e 60 minutos, as moderadas entre 60 a 300 minutos, lentas de 300 a 1440 minutos e estáveis àquelas acima de 1440 minutos. Neste sentido, a fototransformação do antibiótico TC pode ser classificada como moderada no processo heterogêneo e como rápida no processo foto-Fenton (Tabela 4).

Em termos de eficiência de remoção, ambos os métodos parecem ser promissores para o tratamento de efluentes com baixas cargas de matéria orgânica, como rios, águas subterrâneas e água potável contendo o antibiótico tetraciclina.

### 3.4 Ensaio de inibição empregando *Escherichia coli*

Após as 24 horas de incubação em estufa a  $35 \pm 2$  °C do inóculo com a concentração de  $1,8 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup> este foi aplicado nos tratamentos (Tabela 4). O controle foi utilizado na ausência dos demais componentes da solução tratada e do sistema de degradação e não apresentou alteração na contagem de colônias.

No tratamento A, em 0 min, após permanecer 2 horas em contato com o inoculo em estufa a  $35 \pm 2$  °C, contaram-se  $1,3 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> (Tabela 4). Após 180 min do processo de fotólise direta da solução contendo apenas a tetraciclina, obteve-se  $1,6 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>. Observou-se um aumento de 25,98 % no número de UFC de *E. coli*. Ou seja, ocorreu uma pequena taxa de degradação do antibiótico, que justifica o aumento do número de colônias.

Tratamentos	x10 <sup>8</sup> UFC mL <sup>-1</sup>	
	0 min	180 min
Controle	1,8	1,8
A (TC + UV)	1,3	1,6
B (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV)	1,0	2,6
C (TC + TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV)	1,3	3,0
D (TC + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup> /UV)	1,3	2,2

TC=Tetraciclina

Tabela 4. Relação do número de UFC de *E. coli* x tratamentos

Para o tratamento B, contendo apenas o inóculo e a solução de TC tratada com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e radiação UV, em 0 min contaram-se  $1,0 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>. Para a alíquota de 180 min obtiveram-se  $2,6 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> e, portanto, aumento de 160 % no número de UFC de *E. coli*. Sabe-se que o uso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> favorece a ocorrência de estresse oxidativo nos organismos presentes no sistema (SIGLER et al., 1999). Essa observação justifica a menor ocorrência de UFCs neste tratamento quando comparado ao controle na ausência desse agente.

No tratamento C (TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) (Figura 5), no tempo de 0 min foram contadas  $1,3 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> e com 180 min  $3,0 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>. O aumento foi de 130,76 %, indicando que houve a degradação do fármaco TCT e que os produtos formados não apresentam uma maior toxicidade em relação ao tratamento no tempo inicial.

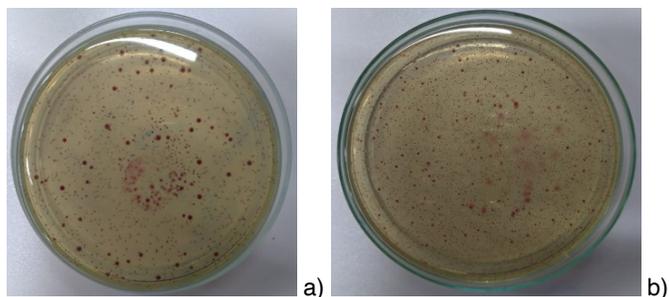


Figura 5. Crescimento bacteriano no tratamento C a) 0 min e b) 180 min.

Em um estudo da degradação da TCT pelo processo com  $\text{TiO}_2/\text{UV}$ , com foco na determinação de biodegradabilidade, toxicidade e identificação dos produtos formados durante o tratamento fotocatalítico foi observada uma redução de 24% na concentração do carbono orgânico e toxicidade reduzida em *Pseudomonas aeruginosa*. Comportamento que corrobora com a observação feita pelo aumento da UFCs após 180 min de degradação por este processo (MAROGA MBOULA et al., 2012).

No tratamento D ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$ ), no tempo de 0 min, contaram-se  $1,3 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$  e em 180 min  $2,2 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ . Houve um aumento de 69,23 % no número de UFCs confirmando a degradação do fármaco TCT e que os produtos formados não apresentam uma maior toxicidade em relação ao tratamento D no tempo inicial. Em linhas gerais o ensaio de inibição confirma a degradação da tetraciclina pelos processos oxidativos testados e que os possíveis subprodutos gerados não exercem efeitos de maior inibição (menos ativos) quando presentes sobre o organismo *E. coli*.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram eficiência dos processos propostos para o tratamento de soluções sintéticas contendo o fármaco tetraciclina. O uso do planejamento fatorial e DCCR permitiu a definição das melhores condições de operação dos sistemas homogêneo e heterogêneo testados. No sistema de fotocatalise heterogênea ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ ) foi verificada menor taxa de reação quando comparado ao processo homogêneo (foto-Fenton) explicada pelo efeito do catalizador em suspensão.

A cinética da reação se ajustou ao modelo cinético ao modelo de primeira-ordem apresentando os coeficientes de correlação de  $R^2 = 0,98$  para ambos os processos. A determinação dos tempos de meia vida e taxa de degradação ( $k_1$ ) do fármaco apresentou semelhanças com alguns estudos pioneiros já realizados, apesar da dificuldade de comparação devido a variabilidade das condições experimentais.

O teste de inibição com a bactéria *Escherichia coli* indicou que os produtos formados são menos tóxicos após tratamento quando comparadas as alíquotas nos tempos de 0 e 180 min.

Com isso, os tratamentos de fotocatalise homogênea ( $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ ) e heterogênea ( $H_2O_2/TiO_2/UV$ ) são promissores no tratamento de águas e efluentes contaminados com o fármaco TC, embora em escala industrial outros fatores devem ser avaliados, como a remoção de carbono orgânico total relacionado aos subprodutos formados além da complexidade do efluente real.

Para estudos futuros, sugere-se a utilização de cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massa com detector de massa afim de identificação dos subprodutos gerados, uma vez que eles podem ser mais tóxicos do que os parentais, além de avaliar a toxicidade associada a cada um dos tratamentos e seus subprodutos com outros organismos alvos.

## REFERÊNCIAS

ADDAMO, M.; AUGUGLIARO, V.; PAOLA, A. Di; GARCÍA-LÓPEZ, E.; LODDO, V.; MARCÌ, G.; PALMISANO, L. Removal of drugs in aqueous systems by photoassisted degradation. **Journal of Applied Electrochemistry**, [S. l.], v. 35, n. 7–8, p. 765–774, 2005. DOI: 10.1007/s10800-005-1630-y. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10800-005-1630-y>.

ALATON, Idil Arslan; BALCIOGLU, Isil Akmehmet; BAHNEMANN, Detlef W. Advanced oxidation of a reactive dyebath effluent: comparison of  $O_3$ ,  $H_2O_2/UV-C$  and  $TiO_2/UV-A$  processes. **Water Research**, [S. l.], v. 36, n. 5, p. 1143–1154, 2002. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00335-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135401003359>.

ANDREOZZI, Roberto. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. **Catalysis Today**, [S. l.], v. 53, n. 1, p. 51–59, 1999. DOI: 10.1016/S0920-5861(99)00102-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0920586199001029>.

BARCELÓ, Damià. Emerging pollutants in water analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, [S. l.], v. 22, n. 10, p. xiv–xvi, 2003. DOI: 10.1016/S0165-9936(03)01106-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165993603011063>.

BILA, Daniele Maia; DEZOTTI, Márcia. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 523–530, 2003. DOI: 10.1590/S0100-40422003000400015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422003000400015&lng=pt&nrm=iso&tng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000400015&lng=pt&nrm=iso&tng=pt).

BORGHI, Alexandre Augusto; PALMA, Mauri Sergio Alves. Tetracycline: production, waste treatment and environmental impact assessment. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, [S. l.], v. 50, n. 1, p. 25–40, 2014. DOI: 10.1590/S1984-82502011000100003. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1984-82502011000100003&lng=en&tng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-82502011000100003&lng=en&tng=en).

BUTH, Daniel Frederico. Degradação fotocatalítica da tetraciclina em solução aquosa empregando  $TiO_2$  suportado. **Dissertação de Mestrado**, [S. l.], 2009.

COSTA, Ismael L.; PLETSCH, Adelmo L.; TORRES, Yohandra R. Occurrence of antidepressant drugs in the environment - A review. **Revista Virtual de Química**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 1408–1431, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140092.

DAGHRIR, R.; DROGUI, P. Tetracycline antibiotics in the environment: a review. **Environmental Chemistry Letters**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 209–227, 2013. DOI: 10.1007/s10311-013-0404-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10311-013-0404-8>.

DE ARAÚJO, Karla Santos; ANTONELLI, Raissa; GAYDECZKA, Beatriz; GRANATO, Ana Claudia; MALPASS, Geoffroy Roger Pointer. **Processos oxidativos avançados: Uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais** *Revista Ambiente e Agua*, 2016. DOI: 10.4136/ambi-agua.1862.

DI PAOLA, Agatino; ADDAMO, Maurizio; AUGUGLIARO, Vincenzo; GARCÍA-LÓPEZ, Elisa; LODDO, Vittorio; MARCÌ, Giuseppe; PALMISANO, Leonardo. Photolytic and TiO<sub>2</sub>-assisted photodegradation of aqueous solutions of tetracycline. In: FRESENIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN 2004, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.]

FIGUEIREDO, Mariele; SANTOS, Eliane Pereira Dos; SCHMACHTENBERG, Natana. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO AMBIENTAL. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 18, n. 1, 2014. DOI: 10.5902/2236117010662. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/10662>.

GAVRILESCU, Maria; DEMNEROVÁ, Kateřina; AAMAND, Jens; AGATHOS, Spiros; FAVA, Fabio. Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. **New Biotechnology**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 147–156, 2015. DOI: 10.1016/j.nbt.2014.01.001.

HALLING-SØRENSEN, B. Environmental risk assessment of antibiotics: comparison of mecillinam, trimethoprim and ciprofloxacin. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, [S. l.], v. 46, n. 90001, p. 53–58, 2000. DOI: 10.1093/jac/46.suppl\_1.53. Disponível em: [https://academic.oup.com/jac/article-lookup/doi/10.1093/jac/46.suppl\\_1.53](https://academic.oup.com/jac/article-lookup/doi/10.1093/jac/46.suppl_1.53).

HALLING-SØRENSEN, B.; NORS NIELSEN, S.; LANZKY, P. F.; INGERSLEV, F.; HOLTEN LÜTZHØFT, H. C.; JØRGENSEN, S. E. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment- A review. **Chemosphere**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 357–393, 1998. DOI: 10.1016/S0045-6535(97)00354-8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653597003548>.

HAN, Chee-Hun; PARK, Hee-Deung; KIM, Song-Bae; YARGEAU, Viviane; CHOI, Jae-Woo; LEE, Sang-Hyup; PARK, Jeong-Ann. Oxidation of tetracycline and oxytetracycline for the photo-Fenton process: Their transformation products and toxicity assessment. **Water Research**, [S. l.], v. 172, p. 115514, 2020. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115514. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135420300506>.

HERRMANN, J. M. Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications In honor of Pr. R.L. Burwell Jr. (1912–2003), Former Head of Ipatieff Laboratories, Northwestern University, Evanston (Ill). **Topics in Catalysis**, [S. l.], v. 34, n. 1–4, p. 49–65, 2005. DOI: 10.1007/s11244-005-3788-2. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11244-005-3788-2>.

HIRSCH, Roman; TERNES, Thomas; HABERER, Klaus; KRATZ, Karl-Ludwig. Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 225, n. 1–2, p. 109–118, 1999. DOI: 10.1016/S0048-9697(98)00337-4. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969798003374>.

JAVID, Allahbakhsh; MESDAGHINIA, Alireza; NASSERI, Simin; MAHVI, Amir Hossein; ALIMOHAMMADI, Mahmood; GHARIBI, Hamed. Assessment of tetracycline contamination in surface and groundwater resources proximal to animal farming houses in Tehran, Iran. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 4, 2016. DOI: 10.1186/s40201-016-0245-z. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1186/s40201-016-0245-z>.

JONIDI JAFARI, Ahmad; KAKAVANDI, Babak; JAAFARZADEH, Nemat; REZAEI KALANTARY, Roshanak; AHMADI, Mehdi; AKBAR BABAEI, Ali. Fenton-like catalytic oxidation of tetracycline by AC@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> as a heterogeneous persulfate activator: Adsorption and degradation studies. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, [S. l.], v. 45, p. 323–333, 2017. DOI: 10.1016/j.jiec.2016.09.044. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1226086X16303781>.

KANIOU, S.; PITARAKIS, K.; BARLAGIANNI, I.; POULIOS, I. Photocatalytic oxidation of sulfamethazine. **Chemosphere**, [S. l.], v. 60, n. 3, p. 372–380, 2005. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.069. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653504011555>.

KIM, Ilho; YAMASHITA, Naoyuki; TANAKA, Hiroaki. Performance of UV and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes for the removal of pharmaceuticals detected in secondary effluent of a sewage treatment plant in Japan. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 166, n. 2–3, p. 1134–1140, 2009. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.12.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389408018505>.

KUFFEL, F. J. M. et al. Advanced oxidation process (AOPs) for micropollutant treatment: A review. **Periodico Tche Quimica**, [S. l.], 2017.

KÜMMERER, K.; AL-AHMAD, A.; MERSCH-SUNDERMANN, V. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test. **Chemosphere**, [S. l.], v. 40, n. 7, p. 701–710, 2000. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00439-7.

LISHMAN, Lori et al. Occurrence and reductions of pharmaceuticals and personal care products and estrogens by municipal wastewater treatment plants in Ontario, Canada. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 367, n. 2–3, p. 544–558, 2006. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.03.021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969706002518>.

MAROGA MBOULA, V.; HÉQUET, V.; GRU, Y.; COLIN, R.; ANDRÈS, Y. Assessment of the efficiency of photocatalysis on tetracycline biodegradation. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 209–210, p. 355–364, 2012. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.01.032. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389412000635>.

MATONGO, Solomon; BIRUNGI, Grace; MOODLEY, Brenda; NDUNGU, Patrick. Pharmaceutical residues in water and sediment of Msunduzi River, KwaZulu-Natal, South Africa. **Chemosphere**, [S. l.], v. 134, p. 133–140, 2015. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.03.093. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653515003434>.

MIKLOS, David B.; REMY, Christian; JEKEL, Martin; LINDEN, Karl G.; DREWES, Jörg E.; HÜBNER, Uwe. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review. **Water Research**, [S. l.], v. 139, p. 118–131, 2018. DOI: 10.1016/j.watres.2018.03.042. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135418302380>.

MOMPELAT, S.; LE BOT, B.; THOMAS, O. Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water. **Environment International**, [S. l.], 2009. DOI: 10.1016/j.envint.2008.10.008.

NAIDU, Ravi; ARIAS ESPANA, Victor Andres; LIU, Yanju; JIT, Joytishna. Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management. **Chemosphere**, [S. l.], v. 154, p. 350–357, 2016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.03.068. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653516303836>.

NIE, Mingxing; LI, Yulian; HE, Junyong; XIE, Chao; WU, Zijian; SUN, Bai; ZHANG, Kaisheng; KONG, Lingtao; LIU, Jinhui. Degradation of tetracycline in water using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanospheres as Fenton-like catalysts: Kinetics, mechanisms and pathways. **New Journal of Chemistry**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1039/d0nj00125b.

OCAMPO-PÉREZ, R.; RIVERA-UTRILLA, J.; GÓMEZ-PACHECO, C.; SÁNCHEZ-POLO, M.; LÓPEZ-PEÑALVER, J. J. Kinetic study of tetracycline adsorption on sludge-derived adsorbents in aqueous phase. **Chemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 213, p. 88–96, 2012. DOI: 10.1016/j.cej.2012.09.072. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1385894712012636>.

OKA, Hisao; ITO, Yuko; MATSUMOTO, Hiroshi. Chromatographic analysis of tetracycline antibiotics in foods. **Journal of Chromatography A**, [S. l.], v. 882, n. 1–2, p. 109–133, 2000. DOI: 10.1016/S0021-9673(99)01316-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021967399013163>.

OTURAN, Mehmet A.; AARON, Jean-Jacques. Advanced Oxidation Processes in Water/Wastewater Treatment: Principles and Applications. A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 44, n. 23, p. 2577–2641, 2014. DOI: 10.1080/10643389.2013.829765. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2013.829765>.

PETRIE, Bruce; BARDEN, Ruth; KASPRZYK-HORDERN, Barbara. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. **Water Research**, [S. l.], v. 72, p. 3–27, 2015. DOI: 10.1016/j.watres.2014.08.053. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135414006307>.

PIGNATELLO, Joseph J. Dark and photoassisted iron(3+)-catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide. **Environmental Science & Technology**, [S. l.], v. 26, n. 5, p. 944–951, 1992. DOI: 10.1021/es00029a012. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00029a012>.

PORTELA MARCELINO, Rafaela Brito; FRADE, Paulo Ricardo; AMORIM, Camila Costa De; LEÃO, Mônica Maria Diniz. TENDÊNCIAS E DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS AVANÇADAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS NÃO BIODEGRADÁVEIS. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, [S. l.], v. 20, n. 2, 2016. DOI: 10.35699/2316-770X.2013.2705. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/2705>.

RICHARDSON, Mervyn L.; BOWRON, Judith M. The fate of pharmaceutical chemicals in the aquatic environment. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 1–12, 1985. DOI: 10.1111/j.2042-7158.1985.tb04922.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.2042-7158.1985.tb04922.x>.

RIVERA-UTRILLA, José; SÁNCHEZ-POLO, Manuel; FERRO-GARCÍA, María Ángeles; PRADOS-JOYA, Gonzalo; OCAMPO-PÉREZ, Raúl. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. **Chemosphere**, [S. l.], v. 93, n. 7, p. 1268–1287, 2013. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.07.059. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653513010436>.

SABRI, N. A.; SCHMITT, H.; VAN DER ZAAAN, B.; GERRITSEN, H. W.; ZUIDEMA, T.; RIJNAARTS, H. H. M.; LANGENHOFF, A. A. M. Prevalence of antibiotics and antibiotic resistance genes in a wastewater effluent-receiving river in the Netherlands. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 102245, 2020. DOI: 10.1016/j.jece.2018.03.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343718301258>.

SADEF, Yumna; POULSEN, Tjalfe Gorm; BESTER, Kai. Modeling organic micro pollutant degradation kinetics during sewage sludge composting. **Waste Management**, [S. l.], v. 34, n. 11, p. 2007–2013, 2014. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.07.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X14002864>.

SAHOO, Krushna Chandra; TAMHANKAR, A. J.; JOHANSSON, Eva; LUNDBORG, Cecilia Stålsby. Antibiotic use, resistance development and environmental factors: a qualitative study among healthcare professionals in Orissa, India. **BMC Public Health**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 629, 2010. DOI: 10.1186/1471-2458-10-629. Disponível em: <http://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-10-629>.

SAUVÉ, Sébastien; DESROSIERS, Mélanie. A review of what is an emerging contaminant. **Chemistry Central Journal**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 15, 2014. DOI: 10.1186/1752-153X-8-15. Disponível em: <https://bmcchem.biomedcentral.com/articles/10.1186/1752-153X-8-15>.

SCHWIENIEK, Marc; GUILLET, Gaëlle; RÜGNER, Hermann; KUCH, Bertram; GRATHWOHL, Peter. A high-precision sampling scheme to assess persistence and transport characteristics of micropollutants in rivers. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 540, p. 444–454, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.135. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969715304770>.

SIEVERS, M. Advanced Oxidation Processes. In: **Treatise on Water Science**. [s.l.] : Elsevier, 2011. p. 377–408. DOI: 10.1016/B978-0-444-53199-5.00093-2. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444531995000932>.

SIGLER, K.; CHALOUPIKA, J.; BROZMANOVÁ, J.; STADLER, N.; HÖFER, M. Oxidative stress in microorganisms—I. **Folia Microbiologica**, [S. l.], v. 44, n. 6, p. 587–624, 1999. DOI: 10.1007/BF02825650. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02825650>.

STEFAN, Mihaela I. Advanced Oxidation Processes for Water Treatment - Fundamentals and Applications. **Water Intelligence Online**, [S. l.], v. 16, p. 9781780407197, 2017. DOI: 10.2166/9781780407197. Disponível em: <https://iwaponline.com/ebooks/book/277/>.

TEUBER, Michael. Veterinary use and antibiotic resistance. **Current Opinion in Microbiology**, [S. l.], v. 4, n. 5, p. 493–499, 2001. DOI: 10.1016/S1369-5274(00)00241-1. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369527400002411>.

TSENG, Jesseming; HUANG, C. P. Mechanistic Aspects of the Photocatalytic Oxidation of Phenol in Aqueous Solutions. In: [s.l.: s.n.]. p. 12–39. DOI: 10.1021/bk-1990-0422.ch002. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1990-0422.ch002>.

XIE, Pengchao; YUE, Siyang; DING, Jiaqi; WAN, Ying; LI, Xuchun; MA, Jun; WANG, Zongping. Degradation of organic pollutants by Vacuum-Ultraviolet (VUV): Kinetic model and efficiency. **Water Research**, [S. l.], v. 133, p. 69–78, 2018. DOI: 10.1016/j.watres.2018.01.019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004313541830023X>.

YANG, Shinwoo; CARLSON, Kenneth. Evolution of antibiotic occurrence in a river through pristine, urban and agricultural landscapes. **Water Research**, [S. l.], v. 37, n. 19, p. 4645–4656, 2003. DOI: 10.1016/S0043-1354(03)00399-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135403003993>.

ZOUANTI, Mustapha; BEZZINA, Mohamed; DHIB, Ramdhane. Experimental study of degradation and biodegradability of oxytetracycline antibiotic in aqueous solution using Fenton process. **Environmental Engineering Research**, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 316–323, 2019. DOI: 10.4491/eer.2018.343. Disponível em: <http://eeer.org/journal/view.php?doi=10.4491/eer.2018.343>.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetilcolinesterase 180, 181, 182, 184, 190

Adsorção 80, 82, 83, 84, 86, 87, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 128, 206, 238, 286

Alcanosulfonatos 135

Aloysia gratissima 180, 181, 182, 184, 185, 189, 190, 191

Alpinia 192, 193, 194, 195

Amilase 146, 148, 152, 157

Aniba canelilla 192, 193, 194, 196, 197

Aprendizagem Contextualizada 1

Aprendizagem Significativa 3, 6, 7, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 48

### C

Carvão Ativado 83, 86, 126, 128, 129, 132, 133, 134

Casca de Laranja 126, 129, 134

Compósito Tricomponente 216, 218, 220, 227

### D

Degradação 80, 84, 94, 95, 100, 101, 105, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 152, 167, 235, 255, 257, 260, 306, 307, 308, 309, 311, 312, 315, 324, 325, 327, 329

Determinação Bioquímica 242

### E

Eletrodos Compósitos 203, 204, 205, 209, 210

Endopleura uchi 242, 243, 244, 249, 250, 251, 252

Ensino de Química 1, 4, 6, 7, 33, 42, 47, 49, 51, 55, 56, 59, 62, 69, 70

Escória de Aciaria 292, 293, 294, 296, 297, 299

Extração 136, 148, 158, 160, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182, 184, 185, 193, 194, 206, 207, 208, 209, 214, 232, 282, 287, 290

Extrato de Açai 198

Extrato de Pitanga 198

### F

Fármacos Residuais 105, 106

Fermentação Alcoólica 146, 148, 149, 150, 152, 156, 157

Ferramenta de Ensino 17, 18, 21, 32

Fertilizantes 253, 254, 255, 263, 290, 291

Fotocatálise 80, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 119, 120

## **G**

Glutathione S-Transferase 198

## **H**

Hidrólise Enzimática 146, 147, 148, 152, 156, 157

Hidróxidos Duplos Lamelares 292, 293, 294, 299, 300

## **J**

Jogo Didático 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 28, 29, 32, 60, 61, 63, 64, 68, 69, 70, 71

## **L**

Ligação Química 26, 35, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Lipase 158, 159, 160, 161, 164, 166, 167, 170, 171

Líquidos Iônicos 135, 136, 137, 144, 145

Livro Didático 6, 8, 35, 36, 38, 42, 43, 45, 46, 48, 54, 58, 77, 78

## **M**

Microextração Líquido-Líquido Dispersiva 282, 286, 287

Micropoluentes 106, 108, 113

Modelagem Matemática 257, 301, 302

## **N**

Nanofibrilas de Celulose 231

Nanotubos de Carbono 204, 319, 320, 323, 327, 329

Níveis de Cobre 282

## **O**

Óleo Essencial 134, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 188, 189, 190, 192, 193

## **P**

Plasma 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 322, 324, 325, 327, 328, 329, 330, 331

Polímeros com Impressão Molecular 203, 207

## **Q**

Química Ambiental 9, 10, 16

Química do Chocolate 1, 5, 6

Química do Plasma 306, 313

## **R**

Redução Eletroquímica de CO<sub>2</sub> 231, 233

Resíduos da Agroindústria 80, 83

Rodamina B 94, 100

## **S**

Sensores Vapocrômicos 265

Sistema de Liberação Controlada 253, 255

Sustentabilidade 82, 169, 216, 220, 231, 254

## **T**

Teobromina 1, 2, 3, 4, 5, 6

Tratamento de Água 126, 128, 129, 133, 134, 315

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

  
Ano 2020

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2