

The background features a blue-to-white gradient with faint molecular structures in the upper corners. In the lower half, several test tubes are arranged in a row, and a pipette is shown dripping a drop of liquid into one of them.

O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)



O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## O papel fundamental da química entre as ciências naturais

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

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

P214 O papel fundamental da química entre as ciências naturais /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-950-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.506222202>

1. Química. 2. Ciências naturais. 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



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “O papel fundamental da química entre as ciências naturais” apresenta vinte e sete capítulos de livros que foram organizados em quatro temáticas: *i)* química e sociedade: em busca da ressignificação e contextualização do processo de ensino-aprendizagem; *ii)* química orgânica e de produtos naturais; *iii)* síntese, caracterização e avaliação de materiais nanoestruturados e *iv)* química e remediação ambiental.

O primeiro tema é constituído por doze capítulos que procuraram avaliar o processo de ressignificação e contextualização do ensino de química a partir: *i)* da percepção dos estudantes em relação ao consumo de água; *ii)* o ensino de química por meio de projetos; *iii)* a visão do aluno em relação ao processo de aprendizagem; *iv)* utilização de recursos tecnológicos e midiáticos como ferramentas facilitadoras no processo de aprendizagem; e *v)* utilização de materiais alternativos para a experimentação no ensino de química.

O segundo tema possui seis capítulos que procuraram avaliar o desempenho de novas substâncias químicas com inúmeras propriedades biológicas, entre as quais: a redução do número de larvas do mosquito *Aedes Aegypti*, bem como propriedades anti-inflamatória, antimicrobiana entre outras de interesse biológica. O terceiro tema é constituído por três capítulos que investigaram a síntese de nanopartículas de polianilina para composição de tintas utilizadas na impressão e do mineral hidroxiapatita. Por fim, o último tema é composto por seis capítulos que investigaram a remediação ambiental que se utilizou de resíduos de biomassa para remoção de metais pesados, a síntese de nanopartículas de sílica para a remoção de  $Ba^{2+}$  em matrizes aquosas, remediação de efluente contaminado com cádmio e chumbo e a aplicação de diferentes Processos Oxidativos Avançados para remoção de contaminantes.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos que são disponibilizados de forma gratuita no site da Editora e em outras plataformas digitais.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **QUÍMICA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE: UMA ABORDAGEM SOBRE O LIXO**


Kalebe Pinheiro Ramos  
Alice Pantoja Trindade  
Brennda Monteiro Gama  
Fabricia Oliveira da Silva  
Laura Cristina Ponte Moraes  
Mateus de Jesus Silva Matos  
Ruan Brandão Quintela  
Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos  
Filipe dos Anjos Queiroz  
Francisco Diniz da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222021>

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### **CARACTERIZAÇÃO DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NA CONCEPÇÃO DE LICENCIANDOS EM QUÍMICA QUE DIFICULTAM O DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO PROFISSIONAL DOCENTE**


Graziele Borges de Oliveira Pena  
Nyuara Araújo da Silva Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222022>

### **CAPÍTULO 3..... 34**

#### **A QUÍMICA E O USO CONSCIENTE DA ÁGUA: PERCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DE ESCOLA DA REDE PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA - MG**


Luísa Resende Lobato de Almeida  
Carlos Alexandre Vieira  
Alexandre Fernando da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222023>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

#### **CONTRIBUIÇÕES PEDAGÓGICAS DAS METODOLOGIAS DE PROJETOS NO ENSINO DE QUÍMICA**


Luiz Gabriel Araújo da Fonseca  
Maria Fabiana Sousa Rosa  
Ronilson Freitas de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222024>

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **ENSINO DE QUÍMICA: INVESTIGAÇÃO DAS CONCEPÇÕES DE APRENDIZADO SEGUNDO A VISÃO DOS ALUNOS**


Alan Stampini Benhame de Castro  
Hauster Maximiler Campos de Paula  
Cristiana Resende Marcelo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222025>

**CAPÍTULO 6..... 70**

**CONSTRUÇÃO DE JOGOS LÚDICOS E BRINQUEDOS A PARTIR DE GARRAFAS PET'S:  
UM PROJETO DE AÇÃO EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE PARINTINS, AM**


Clailson Lopes dos Santos  
Gabriela Rodrigues Conceição  
Ivan Souza Tavares  
Pedro Campelo de Assis Junior  
Raymara Fonseca dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222026>

**CAPÍTULO 7..... 80**

**CONSTRUÇÃO DE UM KIT ALTERNATIVO PARA TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE**


Adriano Olímpio da Silva  
Regiane Auzier Coelho  
Valeria Lopes Amorim  
Luciane Lasle Cordeiro da Silva  
Rosângela da Silva Lopes  
Aline Alves dos Santos Naujorks

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222027>

**CAPÍTULO 8..... 89**

**INSTRUMENTOS ALTERNATIVOS PARA AULAS PRÁTICAS DE QUÍMICA NO ENSINO  
REMOTO**


Alcy Favacho Ribeiro  
Anderson Rogério Beltrão Franco  
Geane da Silva de Souza  
Karla do Socorro Ramos Gatinho  
Natasha de Jesus Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222028>

**CAPÍTULO 9..... 100**

**APLICAÇÃO DO CONTEÚDO DE RADIOATIVIDADE E SUA INTERDISCIPLINARIDADE  
ATRAVÉS DE UM JOGO LÚDICO NO ENSINO REMOTO**

Celine Eveli Teixeira de Barros  
Yasmim dos Santos Barros  
Alexsandro Sozar Martins  
Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte  
Kelly das Graças Fernandes Dantas


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5062222029>

**CAPÍTULO 10..... 107**

**O USO DE MÁSCARAS COMO TEMA PARA AULA DE GASES E DIVULGAÇÃO  
CIENTÍFICA NO CONTEXTO DA PANDEMIA DE COVID-19**

Igor Andrade Ribeiro  
Poliane Moreira Pereira  
André Luigi Soares de Souza  
Matheus Conceição Jacaúna

Rosenir Xavier Tavares  
Jackson Guerreiro de Almeida  
Crisquelen Guimarães de Souza  
José Nilton Almeida da Silva Filho  
Alex Izuka Zanelato  
Ataiany dos Santos Veloso Marques

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220210>

**CAPÍTULO 11..... 111**

**O ENSINO DE CHUVA ÁCIDA POR MEIO DE MÍDIAS DIGITAIS**


Alice Pantoja Trindade  
Brennda Monteiro Gama  
Fabricia Oliveira da Silva  
Kalebe Pinheiro Ramos  
Laura Cristina Ponte Moraes  
Mateus de Jesus Silva Matos  
Ruan Brandão Quintela  
Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos  
Filipe dos Anjos Queiroz  
Francisco Diniz da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220211>

**CAPÍTULO 12..... 119**

**O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA POR MEIO DE JOGOS E SIMULADORES DIGITAIS**

Fabricia Oliveira da Silva  
Alice Pantoja Trindade  
Brennda Monteiro Gama  
Kalebe Pinheiro Ramos  
Laura Cristina Ponte Moraes  
Mateus de Jesus Silva Matos  
Ruan Brandão Quintela  
Yasmim Cristini Ribeiro dos Santos  
Filipe dos Anjos Queiroz  
Francisco Diniz da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220212>

**CAPÍTULO 13..... 126**

**DESENVOLVIMENTO DE UM CARBOIDRATO CONTENDO UMA UNIDADE ACEPTORA DE MICHAEL APLICADO NO COMBATE ÀS LARVAS DO MOSQUITO AEDES AEGYPTI**


Herbert Igor Rodrigues de Medeiros  
Rodrigo Ribeiro Alves Caiana  
Rayane de Oliveira Silva  
Jonh Anderson Macêdo Santos  
Cláudia Laís Araújo Almeida Santos  
Juliano Carlo Rufino de Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220213>

**CAPÍTULO 14..... 138**

**MOLECULAR INTERACTION PROFILES OF SOLIDAGENONE WITH INFLAMMATORY MARKERS**


Simone Sacramento Valverde  
Bruna Celeida Silva Santos  
Temistocles Barroso de Oliveira  
Orlando Vieira de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220214>

**CAPÍTULO 15..... 146**

**ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DE SUBSTÂNCIAS ISOLADAS DE *Usnea steineri* FRENTE A FITOPATÓGENOS**


Lucas Silva Cintra  
Marcos Gomide Tozatti  
Maria Anita Lemos Vasconcelos  
Carlos Henrique Gomes Martins  
Márcio Luis Andrade e Silva  
Ana Helena Januário  
Patricia Mendonça Pauletti  
Wilson Roberto Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220215>

**CAPÍTULO 16..... 160**

**USO DE PROCESSOS MULTICOMPONENTES NA SÍNTESE DE NOVOS PEPTOIDES DE INTERESSE BIOLÓGICO**


Paulo Marcos Donate  
Mike Gustavo Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220216>

**CAPÍTULO 17..... 172**

**REAÇÃO DE DEBUS-RADZISZEWSKI – RELEVANTE METODOLOGIA PARA A SÍNTESE DE 1,3-IMIDAZÓIS E 1,3-OXAZÓIS**

Sidney Silva Simplicio  
Victória Laysna dos Anjos Santos  
Cristiane Costa Lima  
Matheus Vieira Castro  
Arlan de Assis Gonsalves  
Cleônia Roberta Melo Araújo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220217>

**CAPÍTULO 18..... 189**

**ATUAÇÃO DOS NEUROTRANSMISSORES NO COMBATE À ANSIEDADE NO CENÁRIO DA PANDEMIA**

Wallyson Oliveira de Sousa  
Danilo Batistuta da Silva Lopes  
Alexsandro Sozar Martins  
Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte

Kelly das Graças Fernandes Dantas


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220218>

**CAPÍTULO 19..... 196**

**ANÁLISE DE FATORES QUE MELHORAM O ÍNDICE DE FLUIDEZ EM POLIPROPILENO**

Juliano Antonio Frizzo

Andrei Goldbach

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220219>


**CAPÍTULO 20..... 204**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE POLIANILINA PARA USO EM TINTAS DE IMPRESSÃO**

Cristiane Krause Santin

Manuela Arend Prediger

Tatiana Louise Avila de Campos Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220220>


**CAPÍTULO 21..... 211**

**AVALIAÇÃO DA ROTA DE SÍNTESE PARA OBTENÇÃO DE HIDROXIAPATITA NANOESTRUTURADA**

Thaíla Gomes Moreira

Kaline Melo de Souto Viana

Amanda Melissa Damião Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220221>

**CAPÍTULO 22..... 218**

**MONITORAMENTO DE RESÍDUOS DE ANTIBIÓTICOS EM LEITE PRODUZIDOS EM SERGIPE E COMERCIALIZADO NA CIDADE DE ARACAJU**

Gislaine Santos Santana Leal

Adalberto Menezes Filho

Antônio Sérgio Oliveira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220222>

**CAPÍTULO 23..... 228**

**REMOÇÃO DE METAL PESADO POR BIOMASSA OBTIDA A PARTIR DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL**

Helder Lopes Vasconcelos


Isamara Godoi

Divair Christ

Débora Danielle Virginio Silva

Maria das Graças Almeida Felipe

Luciane Sene

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220223>

**CAPÍTULO 24..... 239**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE SÍLICA**


## MESOPOROSA PARA REMOÇÃO DE Ba<sup>2+</sup> DE MEIO AQUOSO

Daniel Walker Tondo

Caroline Mayara Meurer Reolon

Renata Mello Giona

Alessandro Bail

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220224>

## **CAPÍTULO 25.....252**

### REMEDIÇÃO DE EFLUENTE CONTAMINADO COM CÁDMIO E CHUMBO: UMA ABORDAGEM ECO AMIGÁVEL

Ana Lúcia Eufrazio Romão


Katiany do Vale Abreu

Dalila Maria Barbosa Davi

Maria Roniele Félix Oliveira

Carlos Emanuel Carvalho Magalhães


Carlucio Roberto Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220225>

## **CAPÍTULO 26.....265**

### DETECÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E DEGRADAÇÃO EMPREGANDO DIFERENTES PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA REMOÇÃO DOS FÁRMACOS GEMFIBROZIL, HIDROCLOROTIAZIDA E NAPROXENO EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220226>

## **CAPÍTULO 27.....280**

### PROCESSO FOTO-FENTON E FOTO-FENTON SOLAR: FUNDAMENTOS, APLICAÇÃO E PANORAMA CIENTÍFICO

Aline Aparecida Carvalho França

Carlos Ernando da Silva

Leonardo Madeira Martins

Ludyane Nascimento Costa

Gabriel e Silva Sales


Felipe Pereira da Silva Santos

Ana Karina Borges Costa

Kerlane Alves Fernandes

José Milton Elias de Matos

José Luiz Silva Sá

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.50622220227>

## **SOBRE O ORGANIZADOR.....295**

## **ÍNDICE REMISSIVO.....296**

# CAPÍTULO 27

## PROCESSO FOTO-FENTON E FOTO-FENTON SOLAR: FUNDAMENTOS, APLICAÇÃO E PANORAMA CIENTÍFICO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 15/12/2021

### **Aline Aparecida Carvalho França**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0002-7325-4365

### **Carlos Ernando da Silva**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0001-5653-0359

### **Leonardo Madeira Martins**

Centro Universitário UNINOVAFAPI  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0001-9674-6015

### **Ludyane Nascimento Costa**

Instituto Federal do Maranhão  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0002-2965-6631

### **Gabriel e Silva Sales**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0003-0769-3447

### **Felipe Pereira da Silva Santos**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0001-9079-952X

### **Ana Karina Borges Costa**

Universidade Estadual do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0001-9006-6545

### **Kerlane Alves Fernandes**

Universidade Estadual do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0002-4078-2727

### **José Milton Elias de Matos**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0003-3476-399X

### **José Luiz Silva Sá**

Universidade Estadual do Piauí  
Teresina – Piauí  
ORCID: 0000-0002-5504-011X

**RESUMO:** A contaminação de águas por espécies tóxicas ou recalcitrantes presentes em efluentes residuais e industriais tem gerado grandes impactos ambientais ao longo dos anos e despertado a atenção em razão do aumento da complexidade e dificuldade no tratamento o que, por sua vez, tem motivado a busca por novas metodologias para a remediação desses rejeitos. Nesse cenário, surgem os Processos Oxidativos Avançados (POA's), tecnologias que utilizam principalmente o radical hidroxila (HO.) para a oxidação dos poluentes, e em especial os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar que têm se destacado como métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais e efluentes industriais. Estes processos têm sido considerados eficaz do ponto de vista técnico, econômico e ambiental para a degradação de diversos poluentes presentes em amostras de águas contaminadas. O presente trabalho buscou fazer um levantamento e análise dos dados por

meio de extensa consulta à literatura sobre os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar e apresentar dados sobre a eficiência desses processos na degradação de diversos poluentes, bem como é apresentado um estudo sobre o panorama científico dos últimos 10 anos para os referidos processos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluentes, Processos Oxidativos Avançados, Foto-Fenton, Foto-Fenton Solar.

## FOTO-FENTON AND FOTO-FENTON SOLAR PROCESS: FUNDAMENTALS, APPLICATION AND SCIENTIFIC OVERVIEW

**ABSTRACT:** The contamination of water by toxic or recalcitrant species present in waste and industrial effluents has generated great environmental impacts over the years and has attracted attention due to the increased complexity and difficulty in treatment, which, in turn, has motivated the search for new methodologies for the remediation of these tailings. In this scenario, Advanced Oxidative Processes (POA's) appear, technologies that mainly use the hydroxyl radical (HO.) for the oxidation of pollutants, and in particular the Foto-Fenton and Foto-Fenton Solar processes that have stood out as promising alternative methods in the treatment of waste water and industrial effluents. These processes have been considered effective from a technical, economic and environmental point of view for the degradation of various pollutants present in contaminated water samples. The present work sought to survey and analyze data through extensive consultation of the literature on the Foto-Fenton and Foto-Fenton Solar processes and to present data on the efficiency of these processes in the degradation of various pollutants, as well as a study on the scientific panorama of the last 10 years for these processes.

**KEYWORDS:** Effluent, Advanced Oxidative Processes, Photo-Fenton, Solar photo-Fenton.

## 1 | INTRODUÇÃO

A necessidade de se reduzir o impacto gerado pelo descarte inadequado de efluentes para o meio ambiente tem despertado na comunidade científica o interesse pelos processos oxidativos avançados, (POA's). Estes processos apresentam como principal característica a conversão da maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e sais inorgânicos, e sua aplicação tem-se mostrado eficiente no tratamento de diferentes efluentes contendo compostos de difícil degradação como pesticidas, fármacos, lixiviados de aterros sanitários e corantes, além de atuarem como tratamento avançado de águas para abastecimento.

Dentre os POA's, merece especial atenção o processo Foto-Fenton (Figura 1A) que utiliza radiação ultravioleta e consiste em uma fonte de radicais hidroxila (OH $\cdot$ ), que são espécies altamente oxidantes devido ao seu elevado potencial padrão de redução de 2,8 V, e responsável pela decomposição de poluentes. Este processo tem ainda outra vantagem muito importante no que diz respeito ao meio ambiente, que é a possibilidade de se utilizar a luz solar como fonte de radiação durante o tratamento sendo conhecido como Foto-Fenton Solar (Figura 1B), e desta forma, é possível tornar este processo uma alternativa



ambientalmente mais econômica.

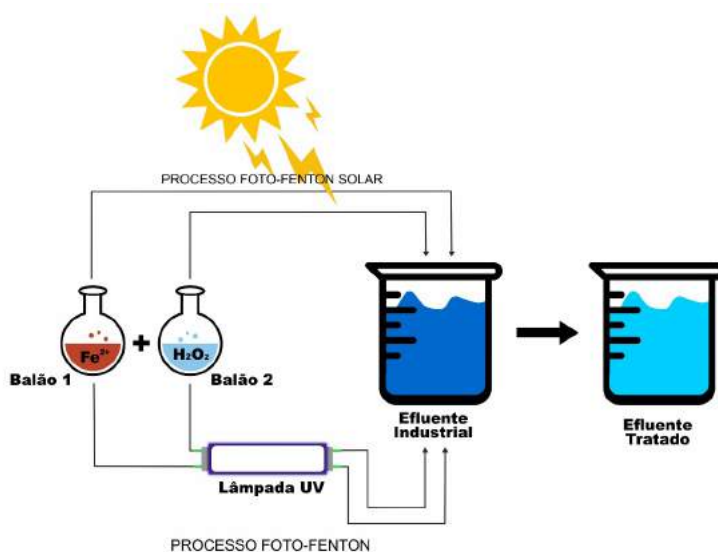


Figura 1: Processo Foto-Fenton (A) e Foto-Fenton Solar (B)

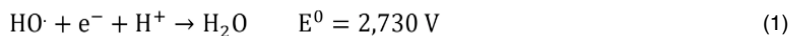
## 2 | PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA'S)

Diante das limitações apresentadas pelos sistemas convencionais de tratamento para os efluentes industriais e a imposição de legislações cada vez mais restritivas quanto ao seu descarte na natureza, faz-se necessário a busca por tecnologias de tratamento que sejam eficientes na degradação dos poluentes, transformando-os em substâncias inertes de modo a reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Neste contexto de descontaminação ambiental, os processos oxidativos avançados (POA's) apresentam-se como técnicas de elevada eficácia para o tratamento de substâncias recalcitrantes, reduzindo a toxicidade das águas residuais e aumentando a biodegradabilidade do poluente a ser tratado (Mandal, Maity, Dasgupta e Datta, 2010; Baldissarelli et al. 2019). Os processos oxidativos avançados são baseados na produção de radicais hidroxila ( $HO\cdot$ ), espécies não seletivas e extremamente reativas, que atacam a grande maioria das moléculas orgânicas, com constantes de velocidade na ordem de  $10^6$ – $10^9$   $M^{-1}S^{-1}$  (Andreozzi, Caprio, Insola e Marotta, 1999).

A capacidade de oxidar uma grande quantidade de compostos orgânicos a  $CO_2$ ,  $H_2O$  e sais inorgânicos ou converte-los em produtos inócuos se deve ao alto potencial padrão de redução apresentado pelos radicais hidroxila (Equação 1). Estes radicais formam-se a partir de oxidantes como  $O_3$  ou  $H_2O_2$  e o aumento da eficiência do processo se dá pela combinação de radiação ultravioleta (UV) ou visível e uso de catalisadores

(Nogueira, Trovó, Silva, Villa, & Oliveira, 2007).

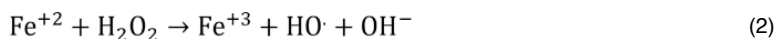


Dependendo da estrutura do composto alvo, os radicais hidroxila podem oxidar os compostos orgânicos por meio de três mecanismos básicos: abstração do átomo de hidrogênio, adição eletrofílica e transferência eletrônica (Queiroz *et al.* 2019).

As pesquisas voltadas para o desenvolvimento dos POA's já vêm sendo amplamente divulgadas na comunidade científica em virtude da diversidade de tecnologias envolvidas e das inúmeras áreas de potencial aplicação. Klavarioti, Mantzavinou e Kassinos (2009) destacam que estes processos encontram grande aplicação no tratamento de águas subterrâneas, remediação de solos contaminados, controle de odor e etc... Os POA's podem ser classificados em processos homogêneos, que se subdividem em processos que utilizam energia e os que não utilizam, e processos heterogêneos. A Figura 2 resume os POA's mais utilizados.

Dos processos heterogêneos, grande destaque vem recebendo a fotocatalise heterogênea, que teve início na década de 70 com intensas pesquisas voltadas para as células fotoeletroquímicas com a finalidade de se produzir combustíveis a partir de materiais baratos tendo em vista a transformação da energia solar em energia química. Este processo baseia-se na oxidação química dos contaminantes mediada por um semicondutor, ativado por radiação UV, sendo o óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) o semicondutor mais utilizado neste tipo de processo em virtude de inúmeras propriedades vantajosas como estabilidade química em uma vasta faixa de pH, não toxicidade, resistência à corrosão, baixo custo e possibilidade de reutilização (Nogueira e Jardim, 1998; Pascoal, Lima, Sousa, Lima & Vieira, 2007; Oliveira *et al.* 2019).

Nos processos homogêneos, os tratamentos Fenton, Foto-Fenton e UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  são os mais utilizados. O processo Fenton ocorre na presença de íons  $\text{Fe(II)}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  através de uma reação em cadeia, produzindo radicais hidroxila ( $\text{HO}\cdot$ ) que é a espécie oxidante com capacidade de oxidar inúmeras classes de compostos orgânicos em uma reação espontânea que ocorre com ausência de luz (Costa, Campos, Fonseca & Bila (2015). A reação de Fenton é descrita conforme Equação (2).



Quando a produção de radicais  $\text{HO}\cdot$  ocorre mediante presença de irradiação UV tem-se o processo Foto-Fenton, que aumenta a eficácia da oxidação, regenerando o  $\text{Fe(II)}$  para a reação com  $\text{H}_2\text{O}_2$ , produzindo radicais hidroxila adicionais (Equação 3).

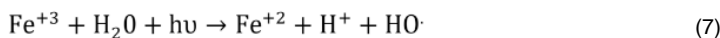
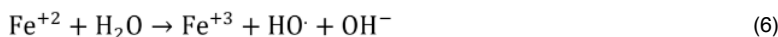


No sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a geração de radicais HO· ocorre de forma direta sob radiação UV, gerando dois radicais hidroxila (Equação 4) que degradam a matéria orgânica originando compostos mais simples (Equação 5).



### 3 | PROCESSO FOTO FENTON

O processo Fenton (Equação 2), largamente conhecido pela sua simplicidade operacional e grande eficiência de degradação, pode tornar-se um método ainda mais eficiente com a utilização de radiação ultravioleta que é responsável pelo aumento da taxa de degradação do poluente orgânico, sendo conhecido como processo Foto-Fenton (Equações 6-8) (Martins, Silva, Moita -Neto, Lima & Moreira, 2011).



A redução de Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> é responsável pelo efeito positivo da radiação sobre a reação. O íon ferroso regenerado continua a reagir com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dando seguimento à reação de Fenton e gerando radicais hidroxila adicionais (Equação 8). Huang, Huang, Chang e Chen (2008) aplicaram o processo Foto-Fenton na degradação do corante reativo Black B obtendo 93% de mineralização da solução, por sua vez, quando a mesma solução foi tratada pelo processo Fenton convencional, a taxa de mineralização foi de apenas 70%. Ainda sobre a eficiência do processo, os autores relatam que este, permitiu uma rápida e completa destruição dos intermediários ácido fórmico e ácido oxálico presentes na solução.

Durigan, Vaz e Zamora (2012) também atestam a capacidade de destruição de intermediários e potencial capacidade de mineralização do processo Foto-Fenton. Os autores acompanharam a degradação de poluentes emergentes através dos processos Fenton e Foto-Fenton e puderam concluir que a degradação mediante radiação é muito mais eficiente, pois além de permitir completa degradação das substâncias alvo, também promove uma considerável eliminação dos intermediários da reação, o que consequentemente contribui para uma mineralização mais efetiva. A Tabela 1 traz alguns trabalhos científicos aplicando o processo Foto-Fenton.

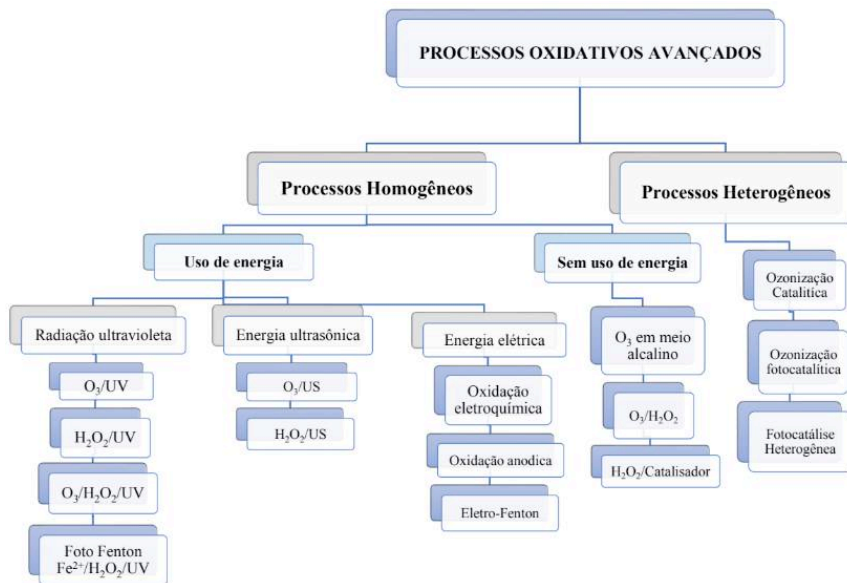


Figura 2: Classificação dos processo oxidativos avançados.

Fonte: Poyatos *et al.* (2010).

Material degradado	Resultados obtidos	Referência
Herbicidas Diuron e Terbutiuron	Elevada mineralização dos herbicidas no tempo de 30 minutos	Trovó, Villa e Nogueira (2005).
4-cloro-2-nitrofenol (substância presente em resíduos de pesticida)	92% de mineralização em 120 minutos de reação e 90% de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Saritha, Aparna, Himabindu e Anjaneyulu (2007).
Lixiviados de aterro	74% de remoção de COT Remoção de cor maior que 95% 78% de remoção de DQO	Primo, Rivero e Ortiz (2008).
Benzeno, tolueno e xileno presentes em águas contaminadas por gasolina.	Remoção dos poluentes a partir de 5 minutos de reação	Tiburtius, Zamora e Emmel (2009).
Efluente sintético contendo suco de maçã	Remoção de 91% de COT 59% de remoção de DQO 68% de remoção de DBO	Durán, Monteagudo e Carnicer (2011).
Corantes têxteis: Azul reativo QR 19(SI) e Laranja reativo 16 (CI).	Elevada remoção de cor e degradação das espécies aromáticas presentes	Salvador, Marcolino e Zamora (2012).
Cafeína	66% de mineralização do efluente tratado	Trovó <i>et al.</i> (2013)
Etilenoglicol	85% de degradação do composto químico	Arias, Arriola, Calle, Mesa e Zurita, (2016).
Corante azo Amarantho	80 % de remoção de COT	Oliveira <i>et al.</i> (2019).

Tabela 1: Principais aplicações do processo Foto-Fenton

## 4 | PROCESSO FOTO-FENTON SOLAR

Uma das grandes vantagens do processo Foto-Fenton é a possibilidade de utilização da radiação solar que resulta no aumento da taxa de degradação do poluente. A utilização de processos irradiados por radiação solar deve ser sempre incentivada, já que apresentam eficiência de degradação compatíveis aos processos assistidos por radiação artificial. O uso da radiação ultravioleta artificial acaba por tornar o processo dispendioso em virtude do consumo de energia e da necessidade de materiais como o quartzo que apresenta preços elevados. A eficiência do processo Foto-Fenton conduzido por radiação solar tem sido bastante documentada no meio científico. Nogueira, Trovó, & Modé (2002) avaliaram a fotodegradação solar do ácido dicloroacético e 2,4 – diclorofenol em meio aquoso. Os autores relatam que na degradação do diclorofenol, apenas 10 minutos de reação foi suficiente para remover 25% do teor de TOC (Carbono Orgânico total) e alcançar 57% de descoloração, demonstrando, desta forma, que a radiação solar aumenta significativamente o processo de degradação.

Gernjak *et al.* (2004) aplicaram dois processos assistidos por radiação solar para o tratamento de efluente da indústria de azeite de oliva: Foto-Fenton e fotocatalise heterogênea utilizando  $\text{TiO}_2$ . Os autores destacam que a aplicação do processo utilizando  $\text{TiO}_2$  não apresentou resultados significativos, porém, quando o efluente foi submetido ao processo Foto-Fenton, este foi responsável por 85% de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e quase 100% de degradação do fenol presente na amostra.

Vilar, Pinho, Pintor e Boaventura (2011) aplicaram processos homogêneos e heterogêneos utilizando radiação solar como fonte de energia no tratamento de efluente têxtil. Os autores constataram que o processo Foto-Fenton foi o mais eficiente dentre os processos estudados, apresentando taxa de 89% de mineralização em termos de carbono orgânico dissolvido contra 30 a 36% para os processos  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  e  $\text{TiO}_2/\text{UV}$ . Katsumata, Koike, Kaneco, Suzuki & Ohta (2010) realizaram um estudo comparativo, aplicando o processo Foto-Fenton assistido por radiação artificial e solar na degradação do corante reativo Yellow 86, concluindo que a eficiência de descoloração do corante sob degradação solar foi similar ao processo utilizando radiação artificial. Estes resultados reforçam a iniciativa de que sempre que possível deve-se optar pela utilização da energia solar como fonte de radiação ultravioleta.

Lucena, Rocha, Silva e Cahino (2018) otimizaram o processo Foto-Fenton solar no tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Os autores investigaram três variáveis operacionais: razão de reagentes  $[\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ , fator de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e pH inicial, a fim de otimizar a remoção de matéria orgânica, em termos da DQO, alcançando taxas de 70,97 a 84,74% de redução em 3 horas de fotocatalise solar. Dependendo da composição do efluente, o processo Foto-Fenton utilizando radiação solar também pode ser acoplado a um método biológico, o que de acordo com Perez, Torrades, Domenech e Peral (2002) é

positivo economicamente, pois promove uma redução de custos em 30% para o processo de tratamento de águas residuárias. Justino *et al.* (2019) aplicaram o processo Foto-Fenton Solar como polimento final, após processo de lodos ativados para o tratamento de efluente têxtil, obtendo resultados satisfatórios. A Tabela 2 traz outras aplicações na literatura científica para o processo Foto-Fenton Solar.

Material degradado	Resultados obtidos	Referência
Pesticida Vyoline (C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> CLN <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	Degradação de 88% do pesticida em apenas 40 minutos de irradiação solar. Diminuição de 65% de toxicidade.	Momani, Shawaqfeh e Shawaqfeh, (2007).
Corante reativo Blue 4	66% de redução de COT. Completa remoção de cor. 82% de remoção de DQO.	Durán, Monteagudo e Amores, (2008).
Águas residuárias contendo suco de maçã	97% de mineralização em 67 minutos de reação. Mostrou ser um processo economicamente viável.	Durán, Monteagudo, Carnicer, Martín e Serna (2012).
Efluente de fábrica de celulose	90% de remoção de DQO e remoção dos polifenóis presentes.	Lucas <i>et al.</i> (2012)
Antibióticos oflaxacina (OFX) e trimetoprim (TMP).	Redução da toxicidade do efluente e eliminação de substâncias patogênicas presentes.	Michael <i>et al.</i> (2012)
Herbicida Paraquat (PQT)	Elevada eficiência de remoção e mineralização do herbicida. Diminuição da toxicidade.	Trovó <i>et al.</i> (2013)
Dipirona	Altas taxas de degradação do medicamento	Napoleão <i>et al.</i> (2015).
Efluente têxtil	Elevada sedimentabilidade dos sólidos do efluente final, resultando em um sobrenadante clarificado.	Justino <i>et al.</i> (2019).

Tabela 2: Aplicações do processo Foto-Fenton Solar.

## 5 | FATORES QUE AFETAM O PROCESSO FOTO-FENTON

O desempenho do processo Foto-Fenton, seja assistido por radiação artificial ou solar, depende de alguns fatores como: pH, concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e concentração de Fe<sup>2+</sup>. O pH é um fator importante para a eficiência do processo Foto-Fenton, pois este é um processo catalisado por íons Fe<sup>2+</sup>/ Fe<sup>3+</sup> os quais são hidrolisados formando hidróxidos insolúveis em pH elevados, dessa forma o pH do meio pode afetar a velocidade de degradação de compostos orgânicos (Nogueira *et al.* 2007).

Estima-se que a faixa de pH entre 2,5 e 3,0 seja a mais adequada para proporcionar a eficiência de degradação do processo. A limitada faixa de pH é uma das grandes restrições do processo Foto-Fenton, pois faz-se necessário o ajuste do pH antes de iniciar

o tratamento bem como é indispensável a neutralização do efluente após o tratamento e antes deste ser descartado em corpos d'água. Quando o processo se dá em pH acima de 3 ocorre precipitação do Ferro (II), o que diminui acentuadamente sua interação com  $H_2O_2$  e consequentemente compromete a produção de radicais hidroxila. Por outro lado, quando o valor de pH se encontra abaixo de 2,5 a velocidade de degradação diminui, pois, elevadas concentrações de  $H^+$  pode favorecer o sequestro dos radicais hidroxila (Silva, Maniero, Peres & Guimarães, 2014).

Uma concentração adequada de  $H_2O_2$  é uma das grandes dificuldades encontradas no processo Foto-Fenton. Neste processo, a degradação ocorre de forma acelerada em função da geração de elevadas quantidades de  $\cdot OH$ , contudo, nestas condições, a cinética da reação se torna desfavorável devido ao rápido consumo de  $H_2O_2$ . Quando se adiciona elevadas concentrações de  $H_2O_2$ , o processo de degradação é prejudicado em virtude do excesso de peróxido, que atua sequestrando o radical hidroxila gerando assim o radical hidroperoxila que apresenta menor poder oxidante, diminuindo assim a eficiência do processo (Brito & Silva, 2012).

A concentração de  $Fe^{2+}$  é outro fator importante para o processo Foto-Fenton. Estima-se que a principal atuação do íon ferroso seja na cinética do processo, ou seja, a concentração de  $Fe^{2+}$  tem maior influência na velocidade da reação do que na taxa final de degradação. Quando este íon se encontra em elevadas quantidades no meio reacional, pode consumir o radical hidroxila gerado no processo e assim afetar a eficiência da degradação (Silva, Maniero, Peres & Guimarães, 2014).

Entre as desvantagens do processo Foto-Fenton pode-se citar a sensibilidade do pH que pode mudar durante a reação, a necessidade de se acidificar o efluente antes do início do tratamento, os custos de  $H_2O_2$ , a necessidade do controle de  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  no efluente final e a elevação do pH no final do processo (Justino *et al.* 2019).

## 6 | PANORAMA CIENTÍFICO

Realizou-se uma prospecção científica na base de dados SCOPUS afim de se avaliar o número de publicações sobre os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar nos últimos dez anos. Utilizando as palavras – chave “Photo-Fenton” e “Solar Photo-Fenton” optou-se por considerar válidos apenas os documentos que apresentassem esses termos no título.

Para a busca relacionada ao processo Foto-Fenton, a pesquisa de publicações científicas retornou 1370 documentos e para a pesquisa sobre aplicação do processo Foto-Fenton Solar foram 179 documentos obtidos. Os resultados estão apresentados em forma de gráficos, por ano de publicação, países e áreas de conhecimento.

O Gráfico 1 apresenta os números de publicações obtidos no período de 2010 – a 2020. O maior número de publicações concentra-se no processo Foto-Fenton irradiado

por luz artificial, sendo 2019 o ano com maior número de publicações na área (207 artigos científicos). Importante destacar que o número de publicações para o ano de 2020 (159) já superou os anos de 2010 a 2018.

Quanto ao processo Foto-Fenton irradiado por luz solar, observa-se um número de publicações muito inferior ao processo com luz artificial. A quantidade de publicações segue de forma estacionária ao longo da década.

Os Gráficos 2 e 3 mostram os países que mais publicaram documentos científicos relacionados aos processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar respectivamente.

Para o processo Foto-Fenton, a China lidera o número de publicações, com 361 artigos, (sendo 73 para o atual ano de 2020) seguido da Espanha com 239 documentos. O Brasil aparece em terceiro lugar com 180 publicações sobre a temática.

O número de publicações da China superior a outros países pode ter sua origem num grave problema que o país vem enfrentando nos últimos anos: a poluição hídrica. Veículos de informação noticiam que a grave poluição se dá em quase todos os lençóis freáticos e na maioria dos rios e lagos da China.

Desde 1990, a China tornou-se o maior consumidor de fertilizantes nitrogenados do mundo, que, se por um lado, ajudarem no crescimento rápido do cultivo, aumentando a oferta de alimentos, por outro deterioram o solo e poluem agressivamente os lençóis freáticos. As indústrias químicas com seus resíduos da produção, com ênfase para o setor têxtil (que geram metais pesados, tóxicos e substâncias cancerígenas) são outra fonte significativa de poluição no país.

Sobre isso, observou-se que alguns dos trabalhos envolvendo o processo Foto-Fenton de autoria da China teve como principais alvos de degradação, inseticidas como acetamiprid (Wang *et al.* 2020), thiacloprid (Zhong *et al.* 2020), clorofenol (Long *et al.* 2020) e corantes como Metil Orange (Xiang *et al.* 2020) e Rodamina B (Ye, Yang, Zhang & Jiang, 2018).

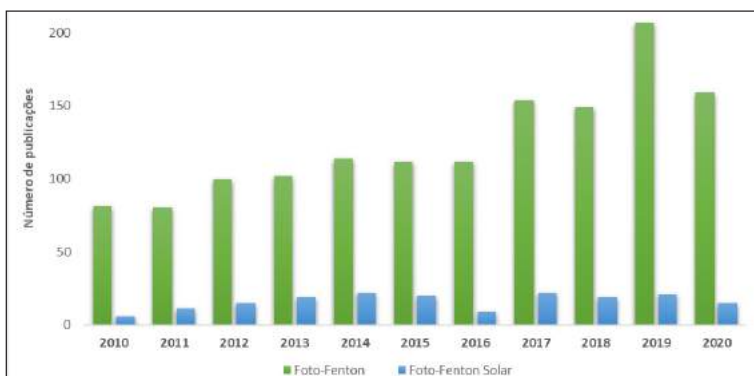


Gráfico 1: Publicações sobre Foto Fenton Artificial e Solar por ano

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).



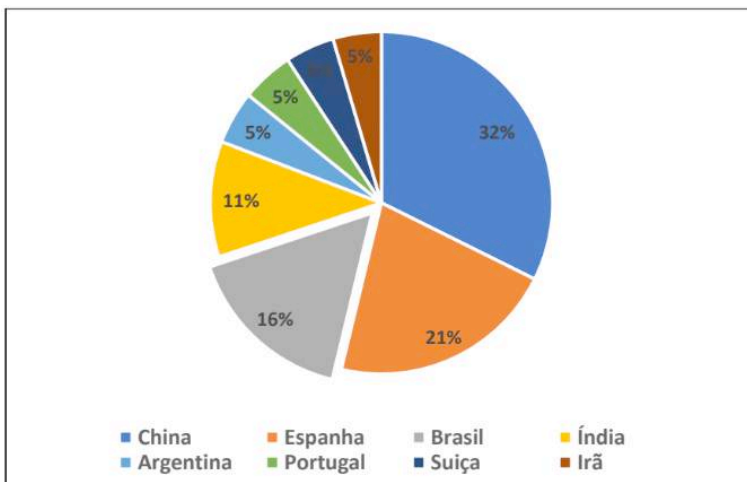


Gráfico 2 - Número de documentos publicados por país para o processo Foto Fenton

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

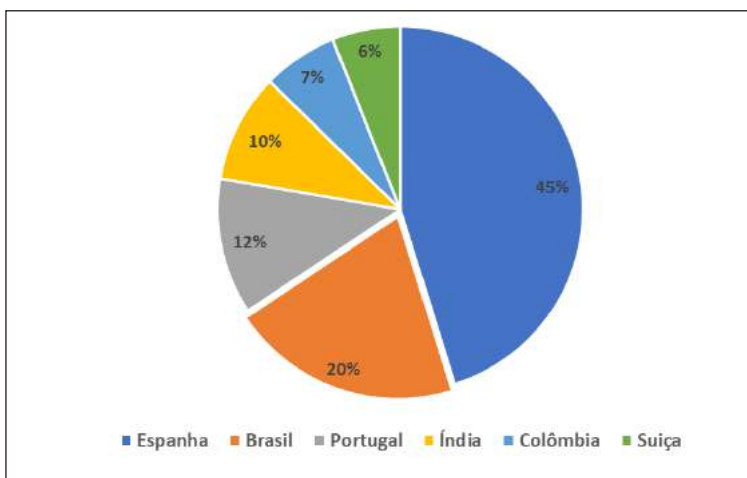


Gráfico 3: Número de documentos publicados por país para o processo Foto Fenton Solar.

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

Para o processo Foto-Fenton Solar, o país com maior número de publicações é a Espanha com 75 artigos científicos. O Brasil aparece na segunda colocação com 34 documentos publicados.

O Brasil tem potencial solar bastante significativo tendo em vista que os níveis de incidência solar são superiores aos de outros países como Alemanha e França. Assim faz-se necessário políticas de incentivo para o uso deste recurso de forma a potencializar as vantagens ambientais do sistema.

Verificando as principais áreas de publicação dos artigos observa-se que as publicações se concentram em vários ramos da ciência, como: ciências ambientais, engenharia química, química e engenharias. Por se tratar de processos que visam minimizar os impactos ambientais oriundos de atividades industriais de diversas categorias justifica-se a expressiva quantidade de publicações com ênfase na área de Ciências Ambientais para ambos processos.

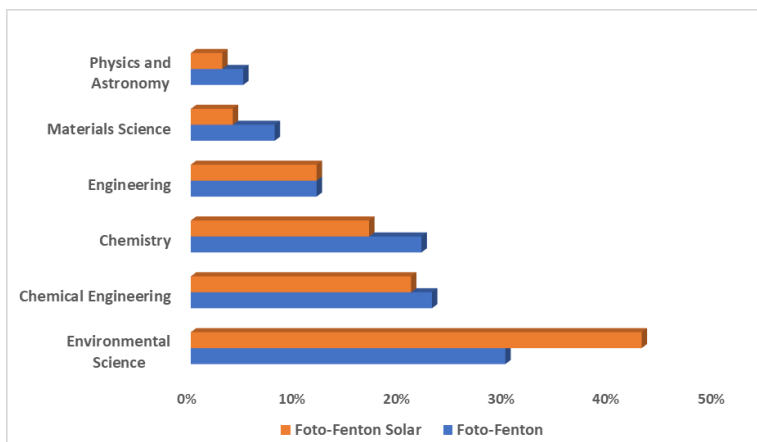


Gráfico 4: Distribuição das publicações por áreas

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020).

Quanto análise de patentes envolvendo os processos Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar em âmbito nacional, a pesquisa na base de dados do INPI retornou apenas um documento, cujo título é: “Processo de tratamento de efluentes contaminados por substâncias orgânicas, por meio da reação Foto-Fenton, com adições sucessivas”, com ano de depósito de 2004, e classificação IPC C02F 1/64. O titular da patente é a Fundação Universidade de Brasília (BR/DF) e os inventores são Clóvis Eduardo Godoy Ilha, Jurandir Rodrigues de Souza e Antônio José Moraes Guaritá dos Santos.

## 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos oxidativos avançados do tipo Foto-Fenton e Foto-Fenton Solar apresentam-se como eficientes na descontaminação de águas residuárias e efluentes industriais, com grande potencial para rápida mineralização de inúmeras espécies químicas de relevância ambiental. É importante ressaltar algumas limitações da técnica como pH ideal, concentração de  $H_2O_2$  e concentração de  $Fe^{2+}$ , demandando assim contínuos estudos sobre a técnica.

Em relação ao panorama científico, observou-se que mesmo o processo Foto Fenton Solar apresentando potencialidades tecnológica e científica e vantagens em termos

ambientais, o número de publicações de artigos científicos ainda é muito pequeno. Dessa maneira entende-se que é necessário o incentivo de mais pesquisas sobre este processo de modo a solucionar as limitações e restrições existentes, promovendo a efetivação do emprego dessas tecnologias no tratamento de águas residuárias e efluentes industriais.

## REFERÊNCIAS

- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., & Marotta, R. (1999). **Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery**. *Catalysis Today*, 53(1), 51–59.
- Arias, A. N. A., Arriola, E., Calle, J. R., Mesa, E. B., Zurita, G. F. (2016). **Mineralización de etilenglicol por foto-fenton asistido con ferrioxalato**. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 32(2), 213-226.
- Baldissarelli, D.P., Vargas, G.D.L.P., Korf, E.P., Galon, L., Kaufmann, C., Santos, J.B. (2019). **Remediation of soils contaminated by pesticides using physicochemical processes: A brief review**. *Planta Daninha*, 37(1), 1-13.
- Brito, N. N., Silva, V.B. M. (2012). **Processo Oxidativo Avançado e sua aplicação ambiental**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 3(1), 36-47.
- Costa, F. M., Campos, J. C., Fonseca, F. V., Bila, D. M. (2015). **Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando Processos Fenton e Foto-Fenton Solar**. *Rev. Ambient. Água*, 10(1), 107-116.
- Durán, A., Monteagudo, J.M., Amores, E. (2008). **Solar photo-Fenton degradation of Reactive Blue 4 in a CPC reactor**. *Applied Catalysis B: Environmental*, 80(1), 42–50.
- Durán, A., Monteagudo, J.M., Carnicer, A. (2011). **Photo-Fenton mineralization of synthetic apple-juice wastewater**. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 102-107.
- Durán, A., Monteagudo, J. M., Carnicer, A., Martín, I. S., Serna, P. (2012). **Solar photodegradation of synthetic apple juice wastewater: Process optimization and operational cost study**. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 107(1), 307–315.
- Durigan, B., Vaz, S., Zamora, P. (2012). **Degradação de poluentes emergentes por processos Fenton e Foto-Fenton**. *Química Nova*, 35(7), 1381-1387.
- Gernjak, W., Maldonado, M. I., Malato, S., Caceres, J., Krutzler, T., Glaser, A., Bauer, R. (2004). **Pilot-plant treatment of olive mill wastewater (OMW) by solar TiO<sub>2</sub> photocatalysis and solar photo-Fenton**. *Solar Energy*, 77(1), 567–572.
- Huang, Y. H., Huang, Y. H., Chang, P. S., Chen, C. Y. (2008). **Comparative study of oxidation of dye- Reactive Black B by different advanced oxidation processes: Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton**. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1), 655-662.
- Justino, N. M., Battistelli, A. A., Lapolli, F. R., Lobo-Recio, M. A., Souza, K. V., Nagel-Hassemer, M. E. (2019). **Degradação sazonal de efluentes têxteis por processo foto-Fenton solar mediado por ferrioxalato: descoloração e comportamento dos sólidos**. *Eng Sanit Ambient*, 24(1), 33-43.

Katsumata, H., Koike, S., Kaneco, S., Suzuki, T., Ohta, K. (2010). **Degradation of Reactive Yellow 86 with photo-Fenton process driven by solar light**. Journal of Environmental Sciences, 22(9), 1455–1461.

Klavarioti, M., Mantzavinos, D., Kassinos, D. (2009). **Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes**. Environment International, 35(1), 402–417.

Lucas, M. S., Peres, J. A., Amor, C., Prieto, R. L., Maldonado, M. I., Malato, S. (2012). **Tertiary treatment of pulp mill wastewater by solar photo-Fenton**. Journal of Hazardous Materials, 173–181.

Long, Q., Liu, F., Yuan, Y., Dai, Y., Wang, C., Li, X., Zhang, Jing. (2020). **Enhanced degradation performance of p-chlorophenol in photo-Fenton reaction activated by nano-Fe<sub>0</sub> encapsulated in hydrothermal carbon: Improved Fe(III)/Fe(II) cycle**. Colloids and Surfaces A, 59491), 124650.

Lucena, L. G., Rocha, E. M. R., Silva, F. L.H., Cahino, A. M. (2018). **Otimização multivariada do processo foto-Fenton solar na remoção da demanda química de oxigênio em lixiviados de aterros sanitários**. Eng Sanit Ambient, 23(3), 499-507.

Mandal, T., Maity, S., Dasgupta, D., & Datta, S. (2010). **Advanced oxidation process and biotreatment: Their roles in combined industrial wastewater treatment**. Desalination, 250(3), 87-94.

Martins, L. M., Silva, C. E., Moita -Neto, J. M., Lima, A. S., Moreira, R. F. P. M. (2011). **Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC**. Engenharia Sanitária Ambiental, 16(3), 261-270.

Michael, I., Hapeshi, E., Michael, C., Varela, A.R., Kyriakou, S., Manaia, C. M.; Fatta, K. D. (2012). **Solar photo-Fenton process on the abatement of antibiotics at a pilot scale: Degradation kinetics, ecotoxicity and phytotoxicity assessment and removal of antibiotic resistant enterococci**. Water research, 46(1), 5621-5634.

Momani, F. A. A., Shawaqfeh, A. T.; Shawaqfeh, M. S. (2007). **Solar wastewater treatment plant for aqueous solution of pesticide**. Solar Energy, 81(1), 1213–1218.

Napoleão, D. C., Silva, D. R. da., Díaz, J. M. R., Benachour, M., Sánchez, L. R. B., Silva, V. (2015). **Análisis comparativo de la degradación de dipirona utilizando el proceso de Foto-Fenton con radiación UV-C y luz solar**. Centro Azúcar, 42(1), 34-41.

Nogueira, R. F. P & Jardim, W. F. (1998) **A Fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental**. Química Nova, 21 (1), 69-72.

Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G., Modé, D. F. (2002). **Solar photodegradation of dichloroacetic acid and 2, 4-dichlorophenol using an enhanced photo-Fenton process**. Chemosphere, 48(1), 385–391.

Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G.; Silva, M. R. A., Villa, R. D., Oliveira, M. C. (2007). **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e Foto-Fenton**. Química Nova, 30(20), 400-408.

Oliveira, L. G., Fernandes, F. H., Mesquita, W. D., Junior, M. G., Santos, M. R. de C., Gurgel, M. F. do C. (2019). **Uma Revisão do Uso de Processos Oxidativos Avançados para Descoloração de Águas Residuais de efluentes**. Revista Processos Químicos, 111(1), 105-112.

- Pascoal, S. A., Lima, C. A. P., Sousa, J. T., Lima, G. G. C., Vieira, F. F. (2007). **Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume**. *Química Nova*, 30(5), 1082-1087.
- Perez, M., Torrades, F., Domenech, X., Peral, J. (2002). **Fenton and photo Fenton oxidation of textile effluents**. *Water Research*, 36(1), 2703–2710.
- Primo, O., Rivero, M. J., Ortiz, I. (2008). **Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates**. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1), 834-842.
- Poyatos, J. M., Muñoz, M. M., Almecija, M. C., Torres, J. C., Hontoria, E., Osorio, F. (2010). **Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: State of the Art**. *Water Air Soil Pollut*, 205(1), 187-204.
- Queiroz, M. T. A., Queiroz, C. A., Alvim, L. B., Sabará, M. G., Leão, M. M. D., & Amorim, C. C. (2019). **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos**. *Gestão & Produção*, 26(1), e1149.
- Salvador, T., Marcolino, L. H. Jr., Zamora, P. P. (2012). **Degradação de corantes têxteis e remediação de resíduos de tingimento por processos Fenton, Foto-Fenton e Eletro-Fenton**. *Química Nova*, 35(5), 932-938.
- Saritha, P., Aparna, C., Himabindu, V., Anjaneyulu, Y. (2007). **Comparison of various advanced oxidation processes for the degradation of 4-chloro-2 nitrophenol**. *Journal of Hazardous Materials*, 149(1), 609-614.
- Silva, C. R., Maniero, M.G., Peres, M. S., Guimarães, J. R. (2014). **Ocorrência e degradação de quinolonas por Processos Oxidativos Avançados**. *Quim. Nova*, 37(5), 868-885.
- Wang, Y., Zhong, Z., Muhammad, Y., He, H., Zhao, Z., Nie, S., Zhao, Z. (2020). **Defect engineering of NH<sub>2</sub>-MIL-88B(Fe) using different monodentate ligands for enhancement of photo-Fenton catalytic performance of acetamiprid degradation**. *Chemical Engineering Journal*.
- Tiburtius, E. R. L., Zamora, P. P., Emmel, A. (2009). **Degradação de benzeno, tolueno e xilenos em águas contaminadas por gasolina, utilizando-se processos Foto-Fenton**. *Química Nova*, 32(8), 2058-2063.
- Trovó, A. G., Villa, R. D., Nogueira, R. P. (2005). **Utilização de reações Foto-Fenton na prevenção de contaminações agrícolas**. *Química Nova*, 28(5), 847-851.
- Trovó, A. G., Silva, T. F.S., Gomes, O. Jr., Machado, A. E. H., Borges -Neto, W., Muller, P. S., Daniel, D. (2013). **Degradation of caffeine by photo-Fenton process: Optimization of treatment conditions using experimental design**. *Chemosphere*, v.90, p. 170-175.
- Vilar, V. J. P., Pinho, L. X., Pintor, A. M.A., Boaventura, R. A.R. (2011). **Treatment of textile wastewaters by solar-driven advanced oxidation processes**. *Solar Energy*, 85(1), 1927–1934.
- Xiang, H., Ren, Genkuan., Yang, Xiushan., Xu, Dehua., Zhang, Zhiye., Wang, Xinlong. (2020). **A low-cost solvent-free method to synthesize  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with applications to degrade methyl orange in photo-fenton system**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200(1), 110744.
- Ye, Y., Yang, H., Zhang, H., Jiang, J. (2018). **A promising Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>/LaFeO<sub>3</sub> heterojunction photocatalyst applied to photo-Fenton degradation of RhB**, *Environmental Technology*, 41(12), 1486-1503.
- Zhong, Z., Li, M., Fu, J., Wang, Y., Muhammad, Y., Li, S., Wang, J., Zhao, Z., Zhao, Z. (2020). **Construction of Cu-bridged Cu<sub>2</sub>O/MIL(Fe/Cu) catalyst with enhanced interfacial contact for the synergistic photo-Fenton degradation of thiacloprid**. *Chemical Engineering Journal*, 395(1), 125184.

## 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) e em Ciências Biológicas pela Faculdade Única (2021). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase em desenvolvimento de bioadsorvente para remoção dos íons 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. Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2019 a junho de 2021) 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. Realizou seu primeiro pós-doutorado (Junho de 2020 a maio de 2021) no Instituto de Química da UFU. Atualmente realiza seu segundo pós-doutorado (julho de 2021 - atual) na UFU na mesma linha de pesquisa, cursa licenciatura em Física na Faculdade Única (Setembro de 2021 à novembro de 2022), e pós-graduação *lato sensu* em Análise Instrumental Avançada na Faculdade Unilevyva. Possui 12 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; (vi) Educação Ambiental e; (vii) processos de alfabetização e letramento científico na área de Ciência da Natureza, em especial biologia e química.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

*Aedes aegypti* 2, 5, 126, 127, 128, 131, 134, 135, 136

Águas 35, 65, 88, 118, 240, 250, 253, 262, 266, 277, 280, 281, 282, 283, 285, 287, 291, 292, 293, 294, 295

Análise termogravimétrica (TGA) 243

Ansiedade 6, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195

Antibióticos 7, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 287

Antifitopatogênico 146

Antifúngica 146, 155, 156, 157, 158, 159, 177, 263

Antimicrobiana 2, 6, 146, 149, 150, 154, 155

Atividades experimentais 46, 68, 82, 89, 91

### B

Base nacional curricular comum (BNCC) 43

Biocompatibilidade 211, 212

Bioetanol 7, 228

Biomassa 2, 7, 228, 252, 253, 254, 255, 257, 259, 260, 262

Biomateriais 211, 217

Biorreativas 160

Biossorção 228, 252, 263

Biossorvente 228, 252, 262

Biota aquática 265

### C

Cálculos estequiométricos 55, 66, 67, 119, 121, 122, 124

Carboidratos 126, 127, 128, 135, 136, 137, 219

Chuva ácida 5, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118

Clerodanos 138

Compartimentos aquáticos 265, 267, 273

Compostos-alvos 265, 273

Conhecimento químico 11, 52, 82

### D

Diterpenos 138

Dopagem 205, 207, 209

## **E**

Educação ambiental 2, 34, 35, 36, 40, 41, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 79, 295

Efeitos deletérios 265

Efluentes industriais 280, 282, 291, 292

Ensino-aprendizagem 2, 2, 8, 12, 27, 42, 43, 46, 49, 69, 89, 91, 94, 95, 98, 100, 113, 120, 189, 190, 191, 192, 193, 194

Ensino remoto 4, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 98, 100, 117

Epistemológicos 3, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 26, 27, 29, 30, 31

Escola 3, 4, 3, 5, 6, 8, 25, 30, 32, 34, 36, 39, 41, 46, 50, 51, 52, 56, 60, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 82, 84, 87, 90, 91, 98, 106, 107, 108, 111, 114, 118, 119, 121, 122, 190, 204, 210, 211

## **F**

Fármaco 138, 151, 176, 270, 272, 273

Flavonoides 138, 145

Formação docente 10, 14, 26, 30

Foto-fenton 8, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294

Fungo 147, 148, 155, 157, 158

## **G**

Gastroprotetor 138

Gemfibrozil 8, 265, 266, 268, 269, 274, 275, 276, 277

Google meet 4, 89, 91, 101, 111, 112, 114, 119, 120, 122, 191

## **H**

Hidroclorotiazida 8, 265, 270, 277, 278

Hidroxiapatita 2, 7, 211, 212, 215, 216, 217

## **I**

Impactos ambientais 3, 263, 267, 280, 291

*In vitro* 160, 163, 167, 168, 169, 170

Isotermas 239, 241, 242, 244, 245, 252, 255, 256, 259, 260

## **J**

Jogo lúdico 4, 100, 101, 103, 105

## **L**

Labdanos 138



Laboratórios 91, 94, 98, 150, 263, 295

Larvicidas 126, 128, 131, 134, 135

Leite 7, 41, 101, 189, 191, 211, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

Letramento digital 119

Lignina 228

Lixo 3, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 48, 71, 72, 73, 74, 75, 265, 267

## **M**

Materiais alternativos 2, 80, 82, 87, 88, 89

Matrizes aquosas 2, 8, 265, 267, 268, 270, 271, 272, 273, 277

Metais pesados 2, 252, 253, 254, 263, 289

Metodologias ativas 42, 43, 48, 50, 189, 190, 191, 192, 193, 194

Microscopia eletrônica de transmissão (MET) 239, 242, 246

Mídias digitais 5, 1, 3, 111, 113

Monômero 196, 198, 206

## **N**

Nanopartículas 2, 7, 204, 205, 206, 239, 240, 241, 250

Naproxeno 8, 265, 269, 271, 277

Neurotransmissores 6, 189, 190, 191, 193, 194

## **P**

Pedagogical Knowledge of Chemistry Content (PCKC) 10

Plásticos 4, 6, 196, 198

Poluentes 113, 240, 250, 253, 280, 281, 282, 284, 285, 292

Práticas inovadoras 42, 43

Processos convencionais de tratamento 265, 266

Processos oxidativos avançados 2, 8, 137, 265, 268, 280, 281, 282, 291, 293, 294, 295

Protagonistas 46, 80, 98

## **R**

Radical hidroxila 280, 288

Radioatividade 4, 45, 100, 101, 102, 103

Reação de Debus-Radziszewski 6, 172, 177, 179, 180, 187

Recalcitrantes 280, 282

Reciclagem 2, 9, 70, 71, 72, 74, 79

Recursos didáticos 52, 99

Recursos midiáticos 111, 114, 116, 117

Remediação 2, 8, 252, 253, 280, 283, 294, 295

Reutilização 3, 38, 40, 41, 70, 71, 74, 77, 283, 295

## **S**

Síntese orgânica 128, 137, 160, 163, 173

## **T**

Tecnologias avançadas de tratamento 265

Titulação 4, 80, 82, 85, 86, 87, 88

Toxicidade 126, 131, 135, 157, 163, 273, 282, 283, 287

## **U**

*Usnea steineri* 6, 146, 147, 149, 150, 152, 153, 158




O papel fundamental da


# QUÍMICA

entre as

# CIÊNCIAS NATURAIS

 [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 papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS

 [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)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022