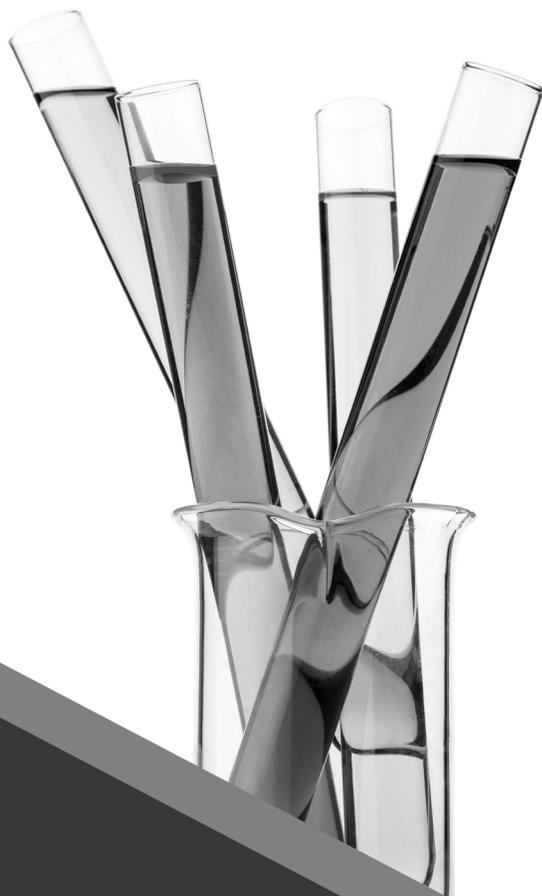




# O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

  
Ano 2020



# O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

  
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

**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

## 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  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  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  
Cinthya 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 NANOFIBRILADA 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**

## ESTUDO COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO E ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA DE $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ PARA O CORANTE RODAMINA B

Data de aceite: 01/11/2020

Data da submissão: 28/08/2020

### Francisco das Chagas Marques da Silva

Programa de Pós-Graduação em Química,  
Departamento de Química, Universidade  
Federal do Piauí, 64049-550 Teresina-PI, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1711864209556135>

### Geraldo Eduardo da Luz Júnior

GERATEC, Centro de Ciências da Natureza,  
Universidade Estadual do Piauí, 65002-150  
Teresina-PI, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6484967625971729>

**RESUMO:** Este trabalho relata a síntese de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  (tungstato de prata) pelo método sonoquímico, e a avaliação de seu desempenho para remoção de rodamina B (RhB) de soluções aquosas, por adsorção e fotocatalise. Tungstato de prata foi caracterizado por difratometria de raios X (DRX), espectroscopia de UV-vis, microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de transmissão (MET) e potencial zeta. As caracterizações evidenciaram a obtenção de nanocristais de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  sem fases deletérias, com energia de *band gap* de 3,08 eV e potencial zeta de -66,9 mV. A adsorção de RhB sobre  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  foi de 99,1% em 5 minutos e capacidade máxima de adsorção de 125 mg g<sup>-1</sup>. A adsorção de RhB se adequou à cinética de pseudo-segunda ordem e à isoterma de Langmuir. A fotocatalise reduziu a concentração de rodamina B em 75% em 120

minutos, seguindo cinética de pseudo-primeira ordem. Dessa forma, o  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  se mostrou eficiente para a remoção de RhB de soluções aquosas por adsorção e fotocatalise, mas foi mais eficiente e promissor como adsorvente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção, degradação, nanocristais.

### COMPARATIVE STUDY OF ADSORPTION CAPACITY AND PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ FOR RHODAMINE B DYE

**ABSTRACT:** This work reports the synthesis of  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  (silver tungstate) by the sonochemical method, and the evaluation of its performance for removal rhodamine B (RhB) from aqueous solutions, by adsorption and photocatalysis. Silver tungstate was characterized by X-ray diffractometry (XRD), UV-vis spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM) and zeta potential. The characterizations evidenced the obtaining of nanocrystals of  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  without deleterious phases, with a band gap energy of 3.08 eV and zeta potential of -66.9 mV. The adsorption of RhB onto  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  was 99.1% in 5 minutes and maximum adsorption capacity of 125 mg g<sup>-1</sup>. The RhB adsorption was well fitted to the pseudo-second order kinetics and Langmuir isotherm. Photocatalysis reduced the rhodamine B concentration in 75% in 120 minutes, its following pseudo-first order kinetics. Thus,  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  proved to be efficient for removal RhB from aqueous solutions by adsorption and photocatalysis, but it was more efficient and promising as adsorbent.

**KEYWORDS:** Removal, degradation, nanocrystals.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os compostos inorgânicos têm despertado o interesse da comunidade científica por apresentarem uma gama de aplicações. Neste contexto, o tungstato de prata ( $\text{Ag}_2\text{WO}_4$ ) é promissor como fotocatalisador, bactericida, fungicida e adsorvente (CHEN; XU, 2014; DUTTA *et al.*, 2014; FOGGI *et al.*, 2017; ZHU, ZHOU, ZHAN, 2020). O tungstato de prata apresenta poliformismo que é a propriedade do material existir em mais de uma forma, com distintas estruturas de cristais e propriedades químicas, mas com a mesma composição química (ROCA *et al.*, 2017). Esse óxido possui três formas cristalográficas,  $\alpha$ - (alfa),  $\beta$ - (beta) e  $\gamma$ - (gamma). A fase  $\alpha$ - (alfa) é a mais estável termodinamicamente,  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  apresenta uma estrutura tridimensional complexa que, em nível atômico, envolve estruturas octaédricas ( $\text{WO}_6$  e  $\text{AgO}_6$ ), bipirâmide pentagonal ( $\text{AgO}_7$ ), tetraédricas ( $\text{AgO}_4$ ) e angulares ( $\text{AgO}_2$ ) (FOGGI *et al.*, 2017; ZHU; ZHOU; ZHAN, 2020).

A energia de *band gap* do tungstato de prata é semelhante a do  $\text{TiO}_2$  (2,9 a 3,2 eV), absorvendo na região do visível e no ultravioleta (CHEN; CHU, 2014). Dessa forma, a aplicação do  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  em fotocatalise é bem explorada e relatada na literatura, tais como: os corantes azul de metileno e alaranjado de metila foram degradados com  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  sob radiação visível (HE *et al.*, 2016; AYAPPAN *et al.*, 2020); degradação de rodamina B com tungstato de prata na presença de luz visível (BERNARD NG; FAN, 2016; JIN; KANG, 2020); degradação do fenol e do corante azo X3B em soluções aquosas, sob radiação ultravioleta (CHEN; CHU, 2014).

O potencial de  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  como adsorvente ainda é pouco explorado na literatura. A busca de trabalhos com esse foco identificou apenas dois artigos científicos: Dutta e colaboradores, em 2014, relataram a alta capacidade de adsorção do tungstato de prata para corantes catiônicos (DUTTA *et al.*, 2014); recentemente, pesquisadores brasileiros relataram boa capacidade de adsorção de  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$ /SBA-15 para o corante catiônico rodamina B (SILVA F *et al.*, 2020). As aplicações mencionadas mostram que a adsorção e fotocatalise são tecnologias promissoras para o tratamento de efluentes e descontaminação ambiental (SILVA M *et al.*, 2020; AYAPPAN *et al.*, 2020).

Dentre os poluentes, a rodamina B merece atenção por ser um corante amplamente utilizado nas indústrias têxteis, gráficas e de couro (CHENG; LI; LIU, 2017; SILVA F *et al.*, 2020; SILVA M *et al.*, 2020). A preocupação com rodamina B se justifica devido seu potencial carcinogênico, irritação e vermelhidão na pele e nos olhos, toxicidade reprodutiva e neurotoxicidade (SHEN; GONDAL, 2017; SILVA F *et al.*, 2020; SILVA M *et al.*, 2020). Acrescenta-se ainda a perda de cerca de 10 a 50% dos corantes nas águas, durante a operação de tingimento (SHEN; GONDAL, 2017). Diante do exposto, é imprescindível eliminar a rodamina B das águas residuais antes de devolvê-las para a natureza. Dessa

forma, nosso trabalho consistiu na obtenção de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  e na avaliação do seu potencial para eliminação de rodamina B de soluções aquosas por meio da adsorção e fotocatalise.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Síntese de tungstato de prata ( $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ )

A síntese de tungstato de prata, pelo método sonoquímico (DUTTA *et al.*, 2014; SILVA *F et al.*, 2020), consistiu na dissolução de  $2 \times 10^{-3}$  mol de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$  Sigma Aldrich 99%) em um béquer com 100 mL de água destilada, seguida da adição de 0,0080 g de ácido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  Sigma Aldrich 99,5%) previamente dissolvido, formando a solução I. Em outro béquer,  $1 \times 10^{-3}$  mol de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  Sigma Aldrich 99%) foi dissolvido em 100 mL de água destilada, formando a solução II. A solução I foi adicionada à solução II e a mistura foi submetida a ultrasonicação (Digital Modelo CPX-1800h Branson com uma frequência de 40 KHz) por 3 horas. Decorrido o tempo de sonicação, o precipitado foi lavado aproximadamente 15 vezes com água deionizada (para retirar os contra-íons) e seco na estufa a  $65^\circ\text{C}$  por 10 horas. O esquema de síntese é mostrado na Figura 1.

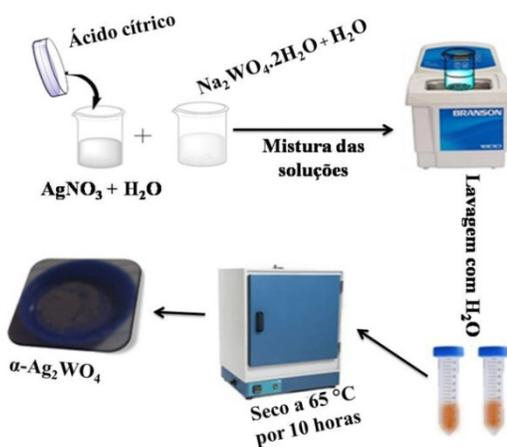


Figura 1. Esquema de síntese de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  pelo método sonoquímico

### 2.2 Caracterização do tungstato de prata ( $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ )

O tungstato de prata sintetizado foi caracterizado por difratometria de raios X (DRX), espectroscopia de UV-vis, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET) conforme procedimento já bem descrito na literatura (SILVA *F et al.*, 2020). Medidas de potencial zeta foram realizadas no equipamento Horiba

Nanoparticle analyzer SZ-100. A amostra foi diluída em água deionizada, 2 mg de amostra para 50 mL de água, e sonicada no ultrassom por 30 minutos. Após a completa diluição, verificou-se o pH do meio (pH = 6), e alíquota da amostra foi introduzida na cubeta do equipamento e realizadas as medidas em triplicatas.

### 2.3 Testes de adsorção e fotocatalise

Os testes de adsorção seguiram procedimentos análogos aos relatados na literatura (DUTTA *et al.*, 2014; SILVA *F et al.*, 2020). A mistura de 7 mg de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  com 50 mL de solução de RhB (concentração previamente conhecida) com pH = 3,5 (ajustado com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>) foi mantida sob agitação contínua (200 rpm), na ausência de luz, à temperatura de 25 °C até atingir o equilíbrio de adsorção/dessorção. Após o tempo especificado (5, 10 e 15 minutos), uma alíquota de 4 mL foi retirada, centrifugada e analisada no UV-vis observando a banda máxima em 554 nm, e por meio da equação 1 foi obtida a capacidade de adsorção.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \times V \quad (1)$$

Onde:  $q_e$  (mg g<sup>-1</sup>) é a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio;  $C_0$  (mg L<sup>-1</sup>) é a concentração inicial do corante;  $C_e$  (mg L<sup>-1</sup>) é a concentração do corante no equilíbrio;  $V$  é o volume da solução (em litro) e  $m$  é a massa do adsorvente (em grama).

A cinética de adsorção foi investigada testando os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, descritos pelas equações 2 e 3 respectivamente:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (2)$$

Onde:  $q_e$  (mg g<sup>-1</sup>) é a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio,  $q_t$  (mg g<sup>-1</sup>) é a quantidade de corante adsorvido no tempo  $t$  (min) e  $K_1$  (min<sup>-1</sup>) é a constante de velocidade.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e} + \frac{t}{q_t} \quad (3)$$

Onde:  $K_2$  a constante de velocidade de pseudo-segunda ordem (mg L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>).

Os modelos de Langmuir e Freundlich, descritos pelas equações 4 e 5 respectivamente, foram testados para adequação da isoterma de adsorção.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m K} \quad (4)$$

Onde:  $q_e$  (mg g<sup>-1</sup>) é a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio,  $C_e$  (mg L<sup>-1</sup>) a concentração de equilíbrio,  $K$  é uma constante de Langmuir e  $q_m$  (mg g<sup>-1</sup>) é quantidade máxima de corante adsorvido.

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f \quad (5)$$

Onde:  $q_e$  e  $C_e$  têm o mesmo significado da equação de Langmuir,  $K_f$  e  $n$  são constantes representando capacidade de adsorção e intensidade de adsorção respectivamente.

Os testes de fotocatalise consistiram na mistura de 25 mg de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  com 50 mL de RhB ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) mantida em agitação (200 rpm), na ausência de luz até atingir o equilíbrio de adsorção e dessorção. Após o tempo de equilíbrio de adsorção/dessorção, radiação ultravioleta foi fornecida ao sistema e em tempos especificados foi realizada a coleta de 4 mL de solução, que foi centrifugada e analisada no UV-vis.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O difratograma do tungstato de prata sintetizado está apresentado na Figura 2.

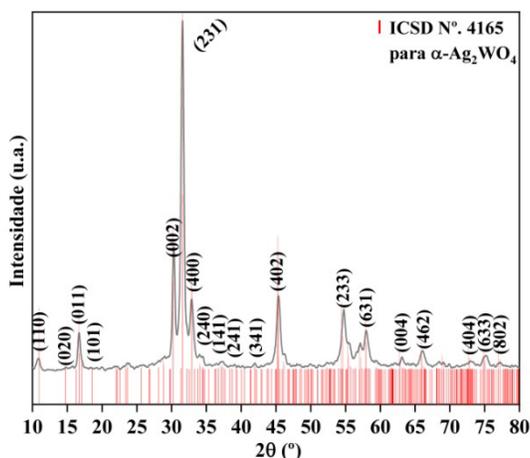


Figura 2. Difratograma do  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$

O difratograma mostra picos bem definidos e intensos indicativo de boa cristalinidade e consistente com a obtenção de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  sem mistura de fases (FOGGI *et al.*, 2017; SILVA *F et al.*, 2020). Dessa forma, o difratograma é coerente com a ficha do ICSD n° 4165, isso corrobora que o sólido sintetizado é o  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  de estrutura ortorrômbica, grupo espacial do tipo ( $Pn2n$ ) e grupo pontual de simetria ( $C_{2v}$ ) (SKARSTAD; GELLER, 1975; MACEDO *et al.*, 2018; SILVA *F et al.*, 2020).

A Figura 3 mostra o espectro de UV-vis e a energia de *band gap* do tungstato de prata na fase  $\alpha$  (alfa).

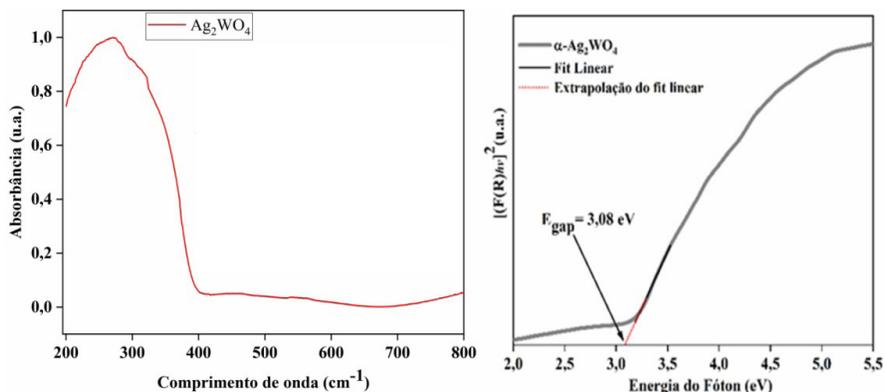


Figura 3. Espectro de UV-vis e energia de *band gap* do  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$

O espectro de UV-vis mostra que o  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  tem boa absorção na região do ultravioleta. O valor da energia de *band gap* de 3,08 eV é coerente com a literatura, bem como está em harmonia com o espectro de UV-vis (DUTTA *et al.*, 2014; SILVA *F et al.*, 2020).

A Figura 4 mostra as micrografias de microscopia eletrônica de varredura e microscopia eletrônica de transmissão do  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ .

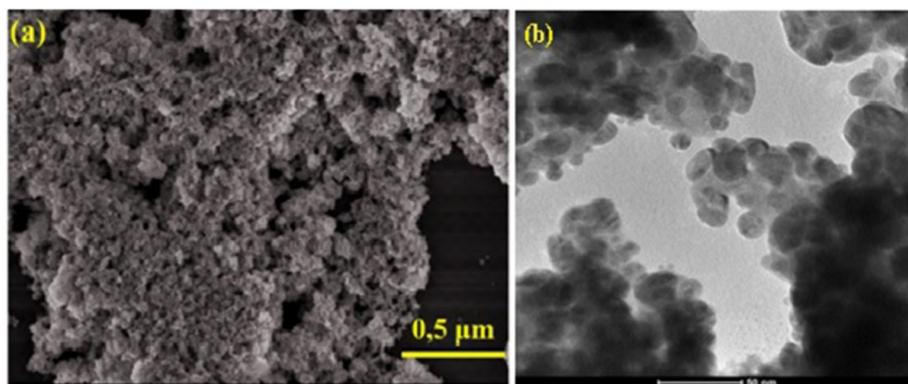


Figura 4. Micrografias de (a) microscopia eletrônica de varredura e (b) microscopia eletrônica de transmissão

A micrografia de microscopia eletrônica de varredura, Figura 4a, mostra nanocristais de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  aglomerados com morfologia não definida. Isso pode ser atribuído a influência do ácido cítrico utilizado na síntese do tungstato de prata, como agente quelante, uma vez que a literatura relata normalmente a morfologia de bastões para o tungstato de prata

(HE *et al.*, 2016; FOGGI *et al.*, 2017). A micrografia eletrônica de transmissão, Figura 4b, mostra nanopartículas de tungstato de prata com formato assemelhando a esferas com tamanho médio de 19 nm. Essas micrografias estão em harmonia com o difratograma e corroboram com a formação do  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ .

A Figura 5 mostra a adsorção de rodamina B sobre o  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  e a redução da banda de RhB no espectro de UV-vis.

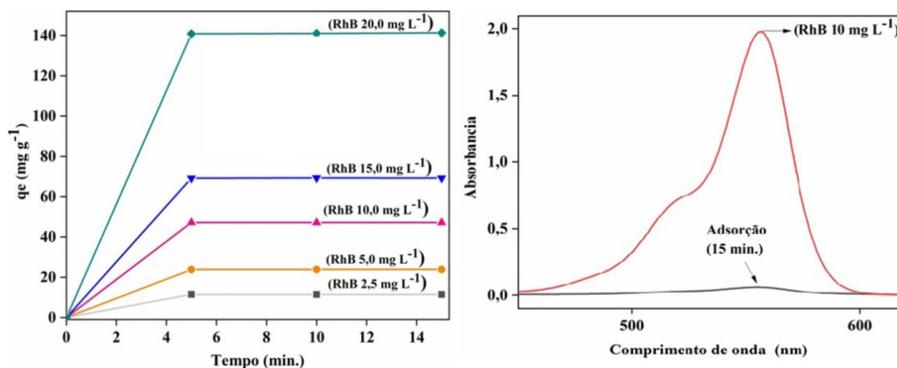


Figura 5. Adsorção de RhB sobre  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  e espectro de UV-vis da banda máxima de RhB

O  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  apresentou alta capacidade de adsorção para o corante rodamina B, atingindo o equilíbrio em 5 minutos. A capacidade de adsorção é alta, tanto em baixas concentrações (2,5 e 5,0 mg  $L^{-1}$ ) como em concentrações maiores (15 e 20 mg  $L^{-1}$ ). A adsorção atinge 99,1% de remoção de RhB, como pode ser corroborado pela redução da banda característica de rodamina B em 554 nm. Dessa forma, o tungstato de prata se mostrou eficiente e promissor para adsorção de rodamina B em soluções aquosas. Isso é muito importante porque a adsorção é rápida, não requer o uso de radiação e utiliza apenas 7 mg do adsorvente ( $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ ).

A Figura 6 mostra a fotocatalise da rodamina B (10 mg  $L^{-1}$ ) sobre o  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  e as reduções das bandas de Rodamina B em diferentes tempos de degradação.

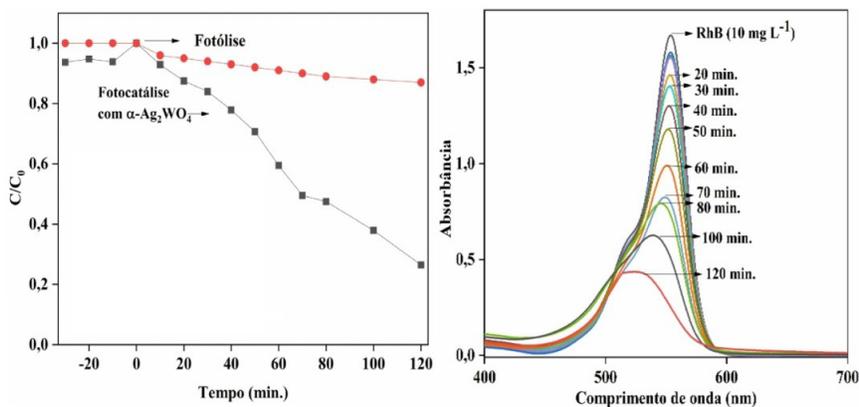


Figura 6. Fotocatálise de RhB ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) com o  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  sob radiação ultravioleta e o espectro de UV-vis de RhB durante a degradação

A Figura 6 mostra que a fotólise degrada cerca de 16% de RhB, enquanto a fotocatalise com  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  reduz a concentração de RhB em cerca de 75% em 120 minutos. Observando o espectro de RhB ao longo da degradação é perceptível tanto a redução como o deslocamento da banda. Isso é sugestivo de que a mineralização pode não ter sido total, ocorrendo também a formação de intermediários (BERNARD NG; FAN, 2016).

A tabela 1 mostra o estudo cinético para a adsorção e fotocatalise de RhB com  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ .

| Adsorção (cinética de pseudo-segunda ordem)      |   |                             |       |
|--|---|-----------------------------|-------|
| $q_e$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )                     | $q_{\text{calc.}}$ ( $\text{mg g}^{-1}$ ) | $K_2$ ( $\text{min}^{-1}$ ) | $R^2$ |
| 141,6  | 144,9                                     | $2,6 \times 10^{-2}$        | 0,99  |
| Fotocatálise (cinética de pseudo-primeira ordem) |   |                             |       |
| Tempo de meia vida                               |   | $K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ ) | $R^2$ |
| 69,3 minutos                                     |   | $1,1 \times 10^{-2}$        | 0,98  |

Tabela 1. Estudo cinético da adsorção e fotocatalise de RhB com  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$

O estudo cinético mostrou que a adsorção se ajustou ao modelo de pseudo-segunda ordem, uma vez que o valor de  $R^2$  (0,99) é bem próximo da unidade e os valores de  $q_e$  experimental e  $q_{\text{calc.}}$ , obtidos respectivamente pelo dados experimentais e pelo gráfico, estão em boa harmonia. A cinética da fotocatalise se ajustou ao modelo de pseudo-primeira ordem, como corroborado pelo valor de  $R^2$  (0,98) próximo da unidade (ANDRADE NETO *et al.*, 2019). O tempo de meia vida de 69,3 minutos e a constante de  $1,1 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$  são coerentes com o bom desempenho fotocatalítico do  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  (JIN; KANG, 2020). Ao comparar as constantes cinéticas, observa-se que a constante de adsorção é mais

do dobro da constante de fotocatalise. A rapidez do processo de adsorção sugere que o processo ocorre pela interação eletrostática entre a carga negativa de  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$ , conforme potencial zeta de -66,9 mV devido os grupos  $\text{WO}_4^{2-}$ , e o grupo positivo ( $-\text{N}^+$ ) do corante catiônico rodamina B (DUTTA *et al.*, 2014; SILVA *F et al.*, 2020).

Os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para o processo de adsorção de RhB sobre  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  são mostrados na tabela 2.

| Modelo de Langmuir                     |                             |                |                            |
|--|-----------------------------|----------------|----------------------------|
| $q_{\text{max}}$ (mg g <sup>-1</sup> ) | $K_L$ (L mg <sup>-1</sup> ) | R <sup>2</sup> | $R_L$                      |
| 125                                    | 1,82                        | 0,99           | 0,0044                     |
| Modelo de Freundlich                   |                             |                |                            |
| n                                      |                             | R <sup>2</sup> | $K_f$ (L g <sup>-1</sup> ) |
| 3,90                                   |                             | 0,38           | 64,7                       |

Tabela 2. Parâmetros das isotermas dos modelos de Langmuir e Freundlich para adsorção de RhB sobre  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$

A tabela 2 mostra que os dados da adsorção de RhB em  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  se adequou ao modelo de Langmuir, como corroborado pelo valor de R<sup>2</sup> (0,99) próximo da unidade. Isso significa que a adsorção ocorre em monocamada em sitios de energias equivalentes e que não há interação entre as moléculas de rodamina B (adsorbato) (DUTTA *et al.*, 2014; SILVA *F et al.*, 2020). O valor de  $R_L$  (0,0044), entre 0 e 1 ( $0 < R_L < 1$ ), indica que o processo de adsorção é favorável (SOUSA *et al.*, 2018; SILVA *F et al.*, 2020).

Outra informação importante obtida do modelo de Langmuir é quantidade máxima de adsorção. O valor de 125 mg g<sup>-1</sup> é compatível com o desempenho de bons adsorventes para rodamina B, conforme estudos já relatados na literatura (SILVA *F et al.*, 2020).

A adsorção de RhB não se adequou ao modelo de Freundlich, conforme valor de R<sup>2</sup> (0,38) muito distante da unidade.

## 4 | CONCLUSÕES

O  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  foi obtido com êxito pelo método sonoquímico e apresentou potencial para remoção do corante catiônico rodamina B de soluções aquosas, tanto por adsorção quanto por fotocatalise. O processo de adsorção com  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  removeu 99,1% de RhB em diferentes concentrações (2,5; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 mg g<sup>-1</sup>) em 5 minutos, com capacidade máxima de adsorção de 125 mg g<sup>-1</sup>. Os dados da adsorção se ajustou ao modelo cinético de pseudo-segunda ordem e à isoterma de Langmuir. A adsorção foi atribuída à interação eletrostática entre os grupos negativos ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) do  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  e os grupos positivos ( $-\text{N}^+$ ) da rodamina B. A fotocatalise reduziu a concentração de rodamina B (10 mg L<sup>-1</sup>) em 75%

em 120 minutos, com cinética de pseudo-primeira ordem. Dessa forma,  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  tem potencial para remoção de corante RhB de soluções aquosas por adsorção e fotocatalise, mas se mostrou mais promissor como adsorvente.

## AGRADECIMENTOS

Às universidades Federal (UFPI) e Estadual (UESPI) do Piauí e ao Laboratório de Pesquisa – Geração de novas tecnologias – Geratec.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, N. F.; OLIVEIRA, P. M.; BOMIO, M. R. D.; MOTTA, F. V. **Effect of temperature on the morphology and optical properties of  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  obtained by the co-precipitation method: Photocatalytic activity.** *Ceramics International*, v. 45, p. 15205-15212, 2019.

AYAPPAN, C.; JAYARAMAN, V.; PALANIVEL, B.; PANDIKUMAR, A.; MANI, A. **Facile preparation of novel  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  nanoparticles/rod-like  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  heterojunction photocatalysts: Continuous modulation of band structure towards the efficient removal of organic contaminants.** *Separation and Purification Technology*, v. 236, p. 116302, 2020.

BERNARD NG, C. H.; FAN, W. Y. **Preparation of highly uniform 1-dimensional  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  nanostructures with controllable aspect ratio and study of the growth mechanism.** *CrystEngComm.*, v. 18, p. 8010-8019, 2016.

CHEN, H.; XU, Y. **Photoactivity and stability of  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  for organic degradation in aqueous suspensions.** *Applied Surface Science*, v. 319, p. 319-323, 2014.

CHENG, Z.-L.; LI, Y.-X.; LIU, Z. **Fabrication of graphene oxide/silicalite-1 composites with hierarchical porous structure and investigation on their adsorption performance for rhodamine B.** *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 55, p. 234-243, 2017.

DUTTA, D. P.; SINGH, A.; BALLAL, A.; TYAGI, A. K. **High Adsorption Capacity for Cationic Dye Removal and Antibacterial Properties of Sonochemically Synthesized  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  Nanorods.** *European Journal of Inorganic Chemistry*, v. 2014 (33) p. 5724-5732, 2014.

FOGGI, C. C.; FABBRO, M. T.; SANTOS, L. P. S.; DE SANTANA, Y. V. B.; VERGANI, C. E.; MACHADO, A. L.; CORDONCILLO, E.; ANDRÉS, J.; LONGO, E. **Synthesis and evaluation of  $\alpha\text{-Ag}_2\text{WO}_4$  as novel antifungal agent.** *Chemical Physics Letters*, v. 674, p. 125-129, 2017.

HE, H.; XUE, S.; WU, Z.; YU, C.; YANG, K.; PENG, G.; ZHOU, W.; LI, D. **Sonochemical fabrication, characterization and enhanced photocatalytic performance of  $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}_2\text{WO}_4$  composite microrods.** *Chinese Journal of Catalysis*, v. 37, p. 1841-1850, 2016.

JIN, Y.-J.; KANG, L. **CdS nanoparticles decorated  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  nanorods for increased photocatalytic performance and stability under visible light irradiation.** *Ceramics International*, v. 46, p. 18826-18831, 2020.

MACEDO, N. G.; GOUVEIA, A. F.; ROCCA, R. A.; ASSIS, M.; GRACIA, L.; ANDRÉS, J.; LEITE, E. R.; LONGO, E. **Surfactant-Mediated Morphology and Photocatalytic Activity of  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  Material**, *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 122, 8667-8679, 2018.

ROCA, R. A.; LEMOS, P. S.; GRACIA, L.; ANDRÉS, J.; LONGO, E. **Uncovering the metastable  $\gamma$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  phase: a joint experimental and theoretical study**. *RSC Advances*, v. 7, p. 5610-5620, 2017.

SHEN, K.; GONDAL, M. A. **Removal of hazardous Rhodamine dye from water by adsorption onto exhausted coffee ground**. *Journal of Saudi Chemical Society*, v. 21, p. 120-127, 2017.

SILVA, F. C. M.; SILVA, L. K. R.; SANTOS, A. G. D.; CALDEIRA, V. P. S.; CRUZ-FILHO, J. F.; CAVALCANTE, L. S.; LONGO, E.; LUZ JR., G. E. **Structural refinement, morphological features, optical properties, and adsorption capacity of  $\alpha$ - $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  nanocrystals/SBA-15 mesoporous on rhodamine B dye**. *Journal Inorganic Organometallic Polymers*, v. 30(9), p. 3626-3645, 2020

SILVA, M. S.; SILVA, L. S.; FERREIRA, F. J. L.; BEZERRA, R. D. S.; MARQUES, T. M. F.; MENEGUIN, A. B.; BARUD, H. S.; OSAJIMA, J. A.; SILVA FILHO, E. C. **Study of interactions between organic contaminants and a new phosphated biopolymer derived from cellulose**. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 146, p. 668-677, 2020.

SKARSTAD, P. M.; GELLER, S. **( $\text{W}_4\text{O}_{16}$ )<sup>8-</sup> Polyion in the high temperature modification of silver tungstate**. *Materials Research Bulletin*, v. 10, p. 791-799, 1975.

SOUSA, R. D. N.; OLIVEIRA, A. R.; CRUZ FILHO, J. F.; DANTAS, T. C. M.; SANTOS, A. G. D.; CALDEIRA, V. P. S.; LUZ JUNIOR, G. E. **Ciprofloxacin Adsorption on ZnO Supported on SBA-15**. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 229, p. 125-131, 2018.

ZHU, Z.; ZHOU, F.; ZHAN, S. **Enhanced antiouling property of fluorocarbon resin coating (PEVE) by the modification of  $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{Ag}_2\text{WO}_4$  composite step-scheme photocatalyst**. *Applied Surface Science*, v. 506, p. 144934, 2020.

## 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 Açaí 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