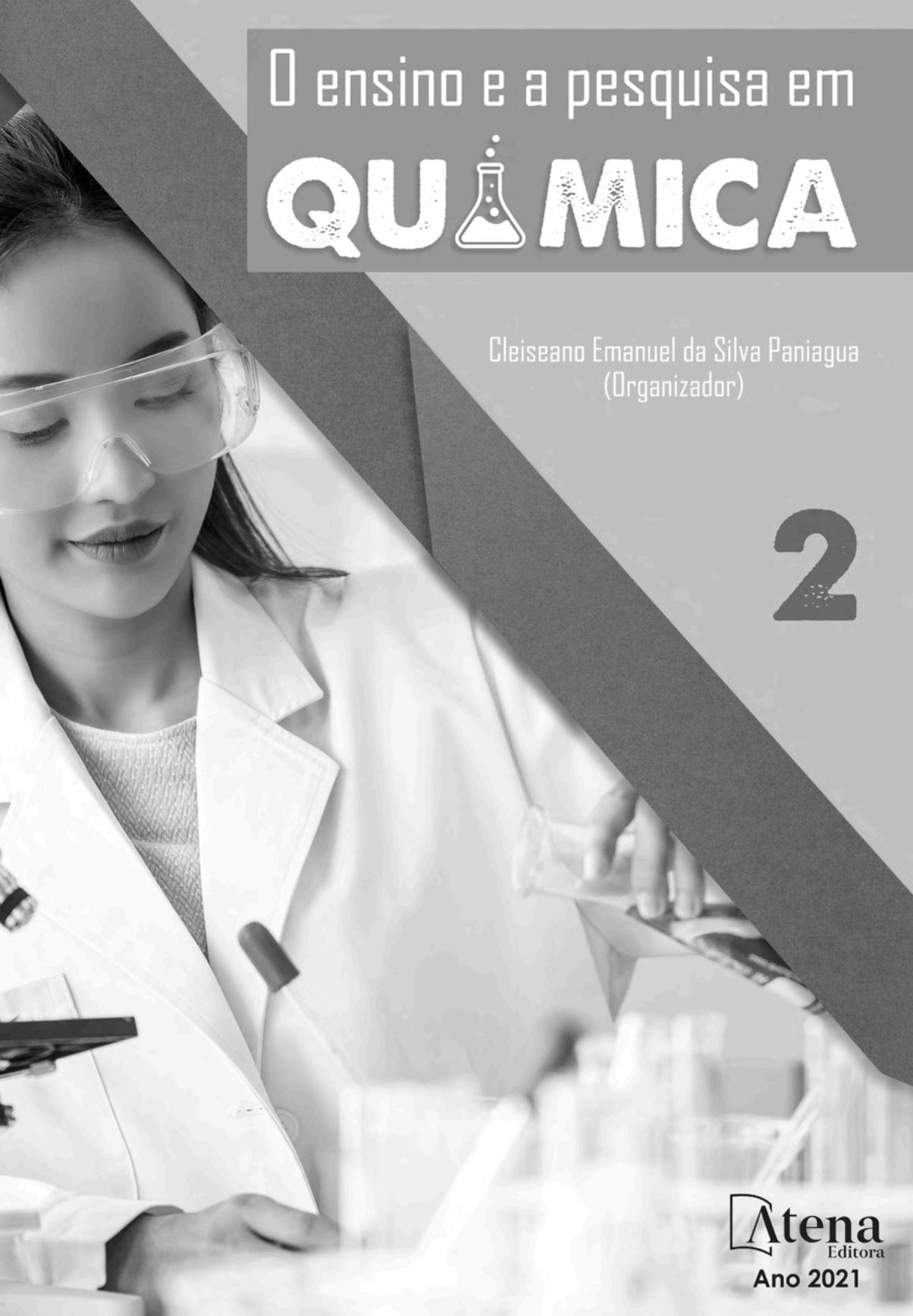


O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

2


Atena
Editora
Ano 2021



O ensino e a pesquisa em
QU  **MICA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

2

 **Atena**
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
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
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
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 Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Miraniilde 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

Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E59 O ensino e a pesquisa em química 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-423-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.235213108>

1. Química - Estudo e ensino. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 540.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 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 ensino e a pesquisa em química” volume II é constituído por quinze capítulos de livro que foram reunidos em três grandes áreas temáticas, a saber: *i)* química analítica: determinação, otimização e validação; *ii)* desenvolvimento de adsorventes e catalisadores para remoção de diferentes classes de contaminantes e aplicação industrial e *iii)* temas diversos.

A primeira temática é constituída por seis capítulos e apresentam diversos estudos, entre os quais: *i)* determinação quantitativa de glicazida em comprimidos e os problemas provenientes do uso de comprimidos pelo sistema de partição não homogêneo; *ii)* a determinação de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) empregando-se a técnica de voltametria; *iii)* a validação de um sistema fotocolorímetro em análises para o ensino de química na Universidade Tecnológica de Gutiérrez Zamora na cidade de Vera Cruz no México; *iv)* a importância da otimização para melhor entendimento dos estudos cinéticos em uma reação de hidroalogenação; *v)* a triagem fitoquímica e análise de propriedades antioxidantes e *vi)* avaliação de estruturas metálicas orgânicas como fase estacionária em Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC).

A segunda temática é composta por cinco capítulos e apresentam: estudo de revisão que demonstram: *i)* o potencial de extração de fósforo em efluentes líquidos; *ii)* estudo de Montmorilonita como potencial adsorvente e aplicação em sistemas de fluxo contínuo e *iii)* avaliação e estudo de diferentes catalisadores para remoção de inúmeras classes de poluentes em matrizes aquáticas e reforma do etanol com vapor d’água.

Por fim, a terceira temática que apresenta quatro diferentes estudos que contemplam a corrosão obtida por pulverização de gás frio, a importância e utilização de supressores de poeira na mineração, preparação de nanopartículas poliméricas enriquecidas com óleos essenciais poliméricas e estudo de revisão das propriedades químicas da série de lantanídeos.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando por meio do incentivo de publicações de trabalhos de pesquisadores de todas as regiões do Brasil e de outros países com o intuito de colaborar com a publicação de e-books e, conseqüentemente, sua divulgação de forma gratuita em diferentes plataformas digitais de fácil acesso. Logo, a Atena Editora contribui para a divulgação e disseminação do conhecimento científico gerado dentro de instituições de ensino e pesquisa e que pode ser acessado de qualquer lugar e em tempo real por qualquer pessoa interessada na busca pelo conhecimento.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE GLICLAZIDA EM COMPRIMIDOS SULCADOS

Jacqueline Cristinne Guimarães Vidal

Maria Amélia Albergaria Estrela

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131081>

CAPÍTULO 2..... 13

DETERMINAÇÃO VOLTAMÉTRICA DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS USANDO UM ELETRODO DE PASTA DE CARBONO MODIFICADO COM FTALOCIANINA DE ZINCO

Daniel Jackson Estevam da Costa

Rhayane Silva Rodrigues do Nascimento

Larissa da Silva Pereira

Janete Clair da Silva Santos

Camila Luciana Silva de Mesquita

Fátima Aparecida Castriani Sanches-Brandão

William Farias Ribeiro

Francisco Antonio da Silva Cunha

Mário César Ugulino de Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131082>

CAPÍTULO 3..... 25

VALIDACIÓN DE UN FOTOCOLORÍMETRO PARA ANÁLISIS CUANTITATIVOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Raúl Alejandro Limón Hernández

Verónica López Hernández

Fidel Alejandro Aguilar Aguilar

Iriana Hernández Martínez

José Luis Xochihua Juan

Arsenio Sosa Fomperosa

Oscar Enrique Morales Moguel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131083>

CAPÍTULO 4..... 40

OTIMIZAÇÃO NUMÉRICA E ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE HIDROALOGENAÇÃO DO ALFA-PINENO

Vladimir Lavayen

Thágor Moreira Klein

Chádia Schissler

Leticia Antunes Natividade

Alexandre Chagas

Jacqueline Arguello da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131084>

CAPÍTULO 5..... 50

TRIAMEN FITOQUÍMICA E ANÁLISE QUALITATIVA DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS FOLIARES DE *Cinnamomum zeylanicum* E *Cinnamomum burmannii*

Ana Francisca Gomes da Silva

Valéria Flávia Batista da Silva

Carolina Lopes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131085>

CAPÍTULO 6..... 58

MOFs (METAL ORGANIC FRAMEWORKS) AS A STATIONARY PHASE IN LIQUID CHROMATOGRAPHY (HPLC)

Tamires dos Reis Menezes

Kátilla Monique Costa Santos

Silvia Maria Egues Dariva

Juliana Faccin de Conto Borges

Cesar Costapinto Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131086>

CAPÍTULO 7..... 76

POTENCIAL DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO DE EFLUENTES LÍQUIDOS – REVISÃO DE LITERATURA

Luciana Faria Caetano de Souza

Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio

Ana Carolina Ribeiro Aguiar

Ana Paula Cardoso Gomide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131087>

CAPÍTULO 8..... 84

ESTUDO DE OBTENÇÃO DE MONTMORILONITA POR PRECIPITAÇÃO SEQUENCIAL PARA USO COMO ADSORVENTE PARA SISTEMAS DE FLUXO CONTÍNUO

Kathely Priscila de Souza Trindade

Graciele Vieira Barbosa

Alberto Adriano Cavalheiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131088>

CAPÍTULO 9..... 97

OXIDAÇÃO CATALÍTICA DO CORANTE AZUL DE METILENO USANDO NOVOS CATALISADORES Fe₂O₃

Matheus de Araújo Moura

Henrique Rebouças Marques Santos

Márcio Souza Santos

Rennan Noronha de Franca

Alexilda Oliveira de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2352131089>

CAPÍTULO 10..... 107

AVALIAÇÃO DA SELETIVIDADE DO CATALISADOR FORMADO A PARTIR DO SULFATO DE MAGNÉSIO *in situ* NA PIRÓLISE CATALÍTICA DA BIOMASSA DE MACRÓFITA AQUÁTICA PARA OBTENÇÃO DE BIO-ÓLEO PIROLÍTICO

Júnior da Silva Camargo
Sonia Tomie Tanimoto
Fernando Alves Ferreira
Vitor Vinícius Anjos Bonfim Ribeiro
Regineide de Oliveira Lima
Ricardo Faustino Rits de Barros
José Alfredo Valverde
Layssa Aline Okamura
Paulo Renato dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.23521310810>

CAPÍTULO 11 120

REFORMA DO ETANOL COM VAPOR D' ÁGUA: AVALIAÇÃO DA ATIVAÇÃO PRÉVIA DO CATALISADOR Cu/Ni/Na₂O-Nb₂O₅

Laura dos Santos Costa
Maria Eduarda Bogado dos Santos
Marília de Oliveira Camargo
Marcos de Souza
Isabela Dancini Pontes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.23521310811>

CAPÍTULO 12..... 129

STUDY OF CORROSION AND MECHANISMS OF COATINGS OBTAINED BY COLD GAS SPRAY USING OPEN CIRCUIT POTENTIAL AND MICROSCOPIC ANALYSIS

Fernando Santos da Silva
Sergi Dosta
Assis Vicente Benedetti

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.23521310812>

CAPÍTULO 13..... 144

SUPRESSORES DE POEIRA DE MINERAÇÃO

Stéphane Miranda Francisco
Enio Nazaré de Oliveira Júnior
Ana Maria de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.23521310813>

CAPÍTULO 14..... 156

PREPARATION OF SUB-50 NM POLYMERIC NANOPARTICLES LOADED WITH ESSENTIAL OILS

Hened Saade Caballero

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.23521310814>

CAPÍTULO 15.....	160
QUÍMICA DE LANTANÍDEOS	
Jorge Fernando Silva de Menezes	
Rodrigo Galvão dos Santos	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.23521310815	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	192
ÍNDICE REMISSIVO.....	193

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO VOLTAMÉTRICA DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS USANDO UM ELETRODO DE PASTA DE CARBONO MODIFICADO COM FTALOCIANINA DE ZINCO

Data de aceite: 23/08/2021

Data de submissão: 18/06/2021

Daniel Jackson Estevam da Costa

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Química
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/2823297713968308>

Rhayane Silva Rodrigues do Nascimento

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Química
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/9284080008371725>

Larissa da Silva Pereira

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Química
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/4129629161779642>

Janete Clair da Silva Santos

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Química
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/9010313566747495>

Camila Luciana Silva de Mesquita

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Química
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/1555414154385746>

Fatima Aparecida Castriani Sanches-Brandão

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Baiano
Catu – BA
<http://lattes.cnpq.br/2958245123984314>

Williame Farias Ribeiro

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia e Meio Ambiente
Rio Tinto – PB
<http://lattes.cnpq.br/6179867510942876>

Francisco Antonio da Silva Cunha

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de
Química e Biotecnologia
Maceió – AL
<http://lattes.cnpq.br/900486844232215>

Mário César Ugulino de Araújo

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Química
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/7281739070942782>

RESUMO: Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são um grupo de compostos contendo dois ou mais anéis aromáticos. São contaminantes ambientais presentes em diversas matrizes, como solo, água, ar e alimentos. Devido a isso e ao seu caráter lipofílico, a contaminação humana por essas substâncias pode ocorrer através de absorção pela pele, ingestão ou inalação, sendo rapidamente distribuídas pelo organismo. De maneira geral, tanto os HPAs quanto seus derivados são capazes de reagir diretamente, ou após sofrerem transformações metabólicas, com o DNA, tornando-se eficientes mutagênicos que estão associados ao aumento da incidência de diversos tipos de cânceres no homem. Neste contexto, é extremamente importante o desenvolvimento de metodologias analíticas para o monitoramento de HPAs e seus

metabólicos no ambiente e nos seres humanos. Os métodos eletroanalíticos, tais como a voltametria, vêm ganhando destaque na análise de diversos compostos orgânicos, pelo baixo custo da instrumentação e pouco consumo de reagentes. Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia voltamétrica em pulso diferencial, em solução tampão acetato (pH=4) com o uso do surfactante dodecil sulfato de sódio, para análise dos HPAs, benzo(a)pireno, pireno e fluoranteno, utilizando um eletrodo de pasta de carbono modificado com 5 % de ftalocianina de zinco, como eletrodo de trabalho. Obtendo uma faixa de 0,49 – 31,7 mmol L⁻¹ para o benzo(a)pireno, 0,25 – 15,8 mmol L⁻¹ para o pireno e para fluoranteno a faixa obtida foi de 0,75 – 47,5 mmol L⁻¹, limites de detecção de 0,17, 0,08,0,22 mmol L⁻¹, e limites de quantificação de 0,33, 0,19, 0,45 mmol L⁻¹, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, Voltametria, Eletrodo Modificado, ftalocianinas.

VOLTAMETRIC DETERMINATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS USING A CARBON PASTE ELECTRODE MODIFIED WITH ZINC FTALOCIANINE

ABSTRACT: Polycyclic aromatic hydrocarbons (HPAs) are a group of compounds containing two or more aromatic rings. They are environmental contaminants present in several matrices, such as soil, water, air and food. Due to this and their lipophilic character, human contamination by these substances can occur through skin absorption, ingestion or inhalation, being rapidly distributed throughout the body. In general, both HPAs and their derivatives are able to react directly, or after undergoing metabolic transformations, with DNA, becoming efficient mutagens that are associated with an increased incidence of different types of cancers in humans. In this context, the development of analytical methodologies for monitoring PAHs and their metabolics in the environment and in humans is extremely important. Electroanalytical methods, such as voltammetry, have gained prominence in the analysis of various organic compounds, due to the low cost of instrumentation and low consumption of reagents. In this work, a differential pulse voltammetric methodology was developed in an acetate buffer solution (pH=4) with the use of sodium dodecyl sulfate surfactant, for the analysis of PAHs, benzo(a)pyrene, pyrene and fluoranthene, using a paste electrode of carbon modified with 5% zinc phthalocyanine as working electrode. Obtaining a range of 0.49 – 31.7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ for benzo(a)pyrene, 0.25 – 15.8 $\mu\text{mol L}^{-1}$ for pyrene and for fluoranthene, the range obtained was 0.75 – 47.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, detection limits of 0.17, 0.08.0.22 $\mu\text{mol L}^{-1}$, and quantification limits of 0.33, 0.19, 0.45 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectively.

KEYWORDS: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Voltammetry, Modified Electrode, Phthalocyanines.

1 | INTRODUÇÃO

Várias substâncias químicas são lançadas no meio ambiente diariamente, causando desequilíbrios ambientais difíceis de serem revertidos. No intuito de minimizar o impacto gerado, buscou-se investigar os efeitos biológicos e toxicológicos de várias substâncias, e observaram que muitas destas apresentaram grande potencial carcinogênico por sofrerem

interações com moléculas de DNA. Uma classe dessas substâncias estudadas foram os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs (GALINARO e FRANCO, 2009; CARUSO e ALABURDA, 2008).

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos são formados pela queima da matéria orgânica em elevadas temperaturas, por meio da combustão incompleta ou pirólise de materiais, e são estruturas de grande interesse toxicológico pois podem ser encontrados como poluentes: no ar atmosférico, em alimentos (decorrente dos processos de defumação, torrefação), em rios, em solos, entre outros (GALINARO e FRANCO, 2009; NETTO *et al.*, 2000).

Os HPAs são constituídos basicamente de átomos de carbono e hidrogênio, são substâncias lipossolúveis, na qual podem atravessar a barreira seletiva das células, sua bicamada lipídica, sendo absorvidos pelo organismo via inalação, exposição oral e dermal, com posterior acúmulo no tecido adiposo (NETTO *et al.*, 2000).

Diferentes HPAs são encontrados na natureza, contudo apenas dezesseis deles (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, benzo[g,h,i]perileno, indeno[1,2,3-cd]pireno e o dibenzo[a,h]antraceno) foram classificados como poluentes prioritários pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US EPA), em função de sua importância industrial, ambiental e toxicológica. Destes, sete são classificados pela Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC), como cancerígenos para animais e potencialmente cancerígenos para seres humanos. Sua toxicidade tem sido observada em humanos e animais, onde contaminação se deu pelas vias: respiratória, cutânea e digestiva (CARUSO e ALABURDA, 2008; SENTÜRK, 2013).

1.1 Métodos Analíticos propostos para análise de HPAs

Considerando as propriedades químicas e físicas dos HPAs, de um modo geral, os métodos convencionais disponíveis para monitorá-los englobam a cromatografia líquida com detecção por fluorescência, ultravioleta-visível e arranjo de diodos; e a cromatografia a gás, acopladas a um detector de espectrometria de massas (SENTÜRK, 2013), que além de apresentar baixos limites de detecção oferecem informação estrutural dos compostos (CRISTALE, SILVA e MARCHI, 2008). Contudo, os métodos cromatográficos são dispendiosos, requerem equipe de trabalho especializada, envolvem diversas etapas para preparação das amostras, equipamentos sofisticados, além do custo.

Alternativamente, as técnicas voltamétricas são ferramentas promissoras para a determinação de HPAs em matrizes complexas. Essas técnicas baseiam-se na medida de corrente resultante de uma reação redox de uma eletrólise, na superfície de um eletrodo de trabalho, durante a aplicação de uma diferença de potencial na célula eletroquímica. De modo geral, apresentam características analíticas adequadas, como viabilidade, boa seletividade, exatidão, alta sensibilidade (BRETT e BRETT, 1998), assim como baixos

custo e impacto ambiental (pelo baixo consumo de reagentes). As principais técnicas voltamétricas empregadas em eletroanálises são: voltametria cíclica (VC), voltametria de varredura linear (VVL), voltametria de pulso diferencial (VPD) e voltametria de onda quadrada (VOQ), (BARD e FAULKNER, 2001; SKOOG, HOLLER e NIEMAN, 2002).

Associada à versatilidade das técnicas voltamétricas, a escolha do material do eletrodo de trabalho deve conferir elevada sensibilidade, seletividade e, fundamentalmente estabilidade em aplicações eletroquímicas e eletroanalíticas. Em geral, eletrodos convencionais de ouro, cobre, prata, platina, carbono vítreo (CV), fibra de carbono, grafite pirolítico (GP) e pasta de carbono (PC, mistura composta, em geral, por óleo mineral e pó de grafite e/ou uma fração de um modificante, no caso de modificação na pasta) e diamante dopado com boro (DDB) têm sido empregados para estudar a cinética, o mecanismo de transferência de elétrons e o processo de eletrodo, principalmente para evitar o uso do eletrodo de mercúrio, devido à toxicidade deste metal. A modificação química com diferentes materiais condutores (filmes de bismuto, ftalocianinas, quitosanas, surfactantes, nanotubos de carbono, ciclodestrinas etc.) é aplicada a fim de alterar a reatividade e seletividade desses sensores (BARD e FAULKNER, 2001; SKOOG, HOLLER e NIEMAN, 2002). O desenvolvimento de eletrodos quimicamente modificados baseia-se, em geral, no uso de espécies que apresentem alguma resposta ou afinidade específica a determinado tipo de analito. A modificação de eletrodos com proporções exatas da espécie eletroativa de interesse pode, segundo a Lei de Faraday, fornecer dados qualitativos e quantitativos, que tendem a ter melhor resposta eletroativa em relação ao sinal obtido pelo eletrodo liso, sem modificação (BARA et al., 2008).

1.2 Eletrodos Quimicamente Modificados

MURRAY *et al.*, na década de 70, realizou uma modificação pré-estabelecida na superfície do eletrodo a fim de monitorar a natureza físico-química da interface eletrodo-solução, de modo a alterar a reatividade e seletividade de um sensor base. Seu estudo favoreceu o desenvolvimento de eletrodos para vários fins e aplicações, que vão desde a catálise de reações orgânicas e inorgânicas, até a transferência de elétrons em moléculas de interesse (PEREIRA, A. C. *et al.*, 2002).

Um eletrodo modificado consiste de duas partes: o eletrodo base, e uma camada do modificador químico. O sensor base deve apresentar características eletroquímicas apropriadas e também ser adequado para o método de imobilização selecionado. Os sensores mais utilizados, de acordo com a literatura, são: carbono vítreo, ouro, platina, pasta de carbono, fibra de carbono e mercúrio na forma de filme (PEREIRA, A. C. *et al.*, 2002). Muitas espécies químicas de interesse podem ser utilizadas como agentes modificadores de superfícies eletródicas, como metaloporfirinas, hexacianoferratos, quinonas, nanopartículas de ouro e metaloftalocianinas. Elas são empregadas com a finalidade de melhorar a transferência de elétrons entre o analito e o eletrodo, diminuir o

potencial de oxidação ou redução e melhorar a reprodutibilidade (TELES, 2011).

As ftalocianinas (H_2Pc) são uma classe de compostos de origem sintética, aproximados às porfirinas, em que o núcleo base é constituído por quatro unidades de isoindol ligadas através de pontes aza (**Figura 1 (a)**). As primeiras alusões ao surgimento destes compostos remontam ao início século XX, e estão relacionadas com a obtenção de uma substância altamente corada durante a conversão química de alguns derivados benzênicos 1,2-dissubstituídos. Os átomos de hidrogénio da cavidade central da ftalocianina podem ser substituídos por mais de setenta elementos da tabela periódica dando origem às metaloftalocianinas (**Figura 1(b)**). As metaloftalocianinas são moléculas que podem ser cristalizadas e sublimadas com facilidade; no estágio de síntese atingem extrema pureza; podem suportar contato com ácidos e bases fortes, e somente agentes oxidantes muito poderosos como dicromato e sais cêricos, podem promover uma reação química, e convertê-las em ftalimida e/ou ácido ftálico (LEVER, 1999).

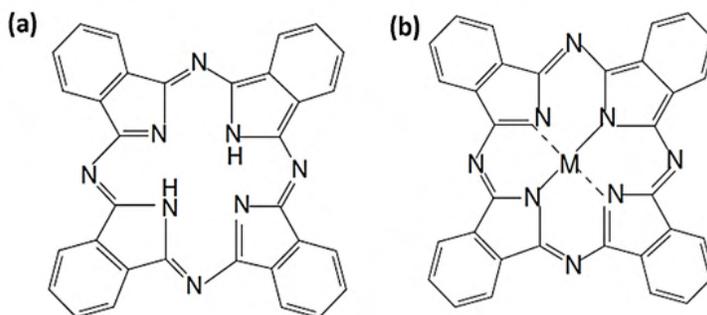


Figura 1. **(a)** Estrutura da ftalocianina na sua forma ácida (H_2Pc), **(b)** Estrutura de uma metaloftalocianina (MPc), onde M indica um metal.

Fonte: MILGRON L. R. (1997).

Estudos envolvendo metaloftalocianinas também despertam grande interesse dos pesquisadores e indústrias devido à diversidade de suas aplicações, especialmente como corantes em tecidos, plásticos, superfícies metálicas e em tintas de escrever (HART, J. P., ABASS, A. K., 1997; ZAGAL, J. H., *et al.*, 1998; ABE, T., *et al.*; ZAGAL, J. H., HERRERA, P., 1985; GERALDO, D., *et al.*, 2002). Além disso, o emprego das metaloftalocianinas tem se expandido para várias áreas comerciais como o desenvolvimento de sensores e biossensores químicos, discos de computadores óticos, polímeros condutores e metais moleculares (ALEXIOU, C., LEVER, A. P. L., 2001; HART, J. P., ABASS, A. K., 1997; ARDILES, P., *et al.*, 2001; SOTOMAYOR, M. D. P. T., *et al.*, 2002; ONI, J., NYOKONGO, T., 2001).

O emprego de metaloftalocianinas para determinação de HPAs se torna bastante viável, devido às propriedades particulares que estes complexos apresentam, tais como:

elevada resistência química e térmica – condição essa muito importante para a maior parte das aplicações tecnológicas. Além disso, vem sendo utilizadas em eletroanálise e eletrocatalise (LOPES, 2006).

Este trabalho tem como objetivo apresentar um método voltamétrico para a determinação dos HPAs benzo(a)pireno, pireno e fluoranteno, usando um eletrodo de pasta de carbono modificado com ftalocianina de zinco, como eletrodo de trabalho.

2 | MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Reagentes e soluções

Os padrões analíticos dos HPAs e os demais reagentes são de grau analítico, adquiridos da *Sigma-Aldrich*. Com exceção dos HPAs, todas as soluções foram preparadas com água ultrapura obtida por meio de sistema Millipore Milli-Q System (condutividade $\leq 0,1 \mu\text{S cm}^{-1}$).

O eletrólito suporte utilizados nas medidas voltamétricas, foi a solução tampão acetato (ácido acético/acetato de sódio, pH 4,0). E o surfactante dodecil sulfato de sódio (DSS) também foi utilizado nos experimentos eletroquímicos.

Para os experimentos eletroquímicos, preparou-se uma solução estoque dos HPAs (fluoranteno, pireno e benzo(a)pireno) $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ em acetonitrila.

2.2 Equipamentos

As medidas voltamétrica foram realizadas em potenciostato/galvanostato Eco Chemie, $\mu\text{Autolab}^{\text{®}}$ Tipo II, acoplado a um módulo polarográfico Metrohm, 663 VA Stand $^{\text{®}}$, funcionando no modo potenciostático, interfaciado a um microcomputador.

A célula eletroquímica (vidro Pyrex $^{\text{®}}$ fechada com uma tampa de Teflon $^{\text{®}}$) era equipada com três eletrodos: um eletrodo de referência Ag/AgCl – KCl ($3,0 \text{ mol L}^{-1}$), um fio de platina como eletrodo auxiliar e como eletrodo de trabalho foi empregados o eletrodo de pasta de carbono (com e sem modificações com ftalocianinas de zinco).

2.3 Eletrodo de pasta de carbono modificados com ftalocianinas

Os eletrodos de pasta de carbono modificados com ftalocianinas foram preparados pela mistura de pó de grafite, óleo mineral e a ftalocianina de Zn (**Figura 2**).

As misturas foram homogeneizadas em almofariz por 20 minutos para a preparação da pasta. Em seguida, os eletrodos foram montados preenchendo em tubos de vidro com as pastas e introduzindo uma haste de cobre para ser o contato elétrico externo.

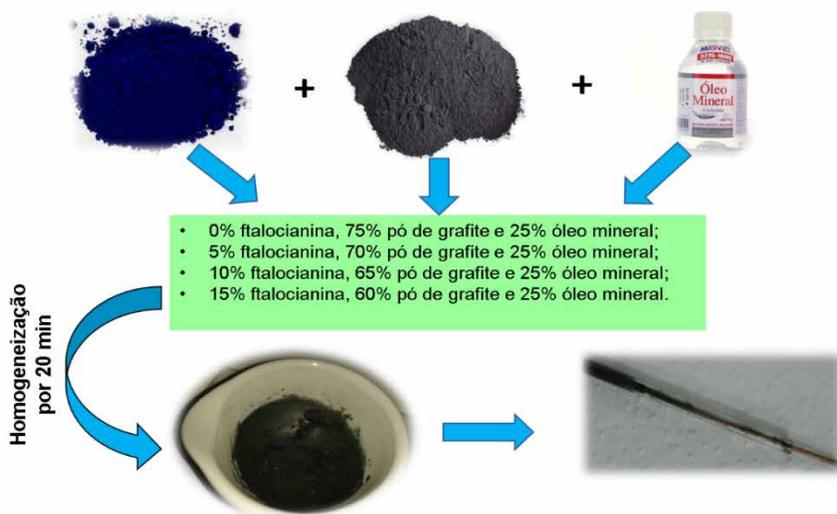


Figura 2. Preparo do eletrodo de pasta modificado com ftalocianina.

Fonte: Autoria própria.

Os eletrodos de pasta confeccionados foram polidos em papel manteiga e posteriormente lavados com água ultrapura, este procedimento foi realizado entre as medidas, quando necessário. O eletrodo foi submetido a um condicionamento em H_2SO_4 0,1 mol L^{-1} , empregando 50 sucessivas varreduras cíclicas abrangendo uma janela de potencial de $-1,2$ a $1,4$ V, com velocidade de $1,0$ V s^{-1} . Esse tratamento foi repetido entre os experimentos para garantir a limpeza da superfície do eletrodo.

2.4 Procedimentos experimentais

As medições voltamétricas foram realizadas à temperatura ambiente em eletrólito de suporte, tampão acetato pH 4,0. Para evitar contaminação, foram utilizadas duas células eletroquímicas: uma para o eletrólito de suporte (branco) e outra para eletrólito de suporte + alíquota do analito.

2.5 Parâmetros experimentais das medidas voltamétricas

Os parâmetros experimentais para as medidas eletroquímicas foram: velocidade de varredura (v) de 15 mV s^{-1} , tempo de modulação (TM) de 70 ms, intervalo de tempo (IT) de $0,2$ s e amplitude de pulso (ΔE_p) de 50 mV para VPD. A janela de potencial estudada foi de 0 a $+1,4$ V para o eletrodo de trabalho estudado.

2.6 Tratamento dos dados voltamétricos

Os voltamogramas de pulso diferencial apresentados foram suavizados através da

função *Savitsky-Golay smooth* nível 4, visando a eliminação do ruído de fundo sobreposto ao sinal voltamétrico. Em seguida, era corrigido a linha de base através da função *moving average* com um *step window* de 2 mV, ambas disponíveis no software GPES versão 4.9. Através desse tratamento matemático realizado nos voltamogramas, melhorou a visualização e identificação dos processos oxidativos dos analitos. Além desse software, também foi utilizado o Origin® 5.0 para tratamento dos dados.

2.7 Variáveis de desempenho analítico

O desenvolvimento de um método analítico necessita de processos de avaliação que estime sua eficiência na rotina do laboratório. Este processo é conhecido como validação, no qual, consiste em demonstrar que o método analítico é adequado para seu propósito. Assim, sensibilidade, limite de detecção (LD), limite de quantificação (LQ), curva analítica, linearidade, precisão (repetibilidade e reprodutibilidade) e exatidão, são parâmetros que constituem as variáveis de desempenho analítico essenciais à validação de métodos analíticos (BRITO *et al.*, 2003; MOCÁK *et al.*, 1997; SKOOG, HOLLER e NIEMAN, 2002).

A sensibilidade da metodologia foi avaliada pelo cálculo do LD e LQ, conforme MOCÁK *et al.*, 1997. E a precisão foi avaliada com base no nível de repetibilidade e de reprodutibilidade do sensor proposto, calculados em termos do desvio padrão relativo (DPR) de acordo com PEREIRA *et al.*, 2008.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estudo com pasta de carbono modificada com ftalocianina de zinco

O HPA benzo(a)pireno de concentração $8,33 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em tampão acetato pH 4,0, utilizando a técnica VPD, para a escolha da melhor condição do eletrodo de pasta de carbono modificada com a ftalocianina de zinco está apresentado na **Tabela 1**.

% de ftalocianina de zinco	Valores de corrente (A)	
	Com surfactante	Sem surfactante
0%	$1,77 \times 10^{-6}$	-
5%	$2,24 \times 10^{-6}$	-
10%	$1,46 \times 10^{-6}$	-
15%	$1,19 \times 10^{-6}$	-

Tabela 1 – Estudo da escolha do tipo de eletrodo de pasta para as análises dos HPAs.

Como observado na Tabela 1 o uso do surfactante DSS é essencial para a determinação dos HPAs, especialmente, associado ao uso do eletrodo de pasta de carbono modificado com ftalocianina de zinco 5%, no qual obteve melhor resposta em termos de

corrente, sendo esta condição utilizada para a determinação analítica.

3.2 Curva analítica

Para a construção da curva analítica foi inicialmente feito o estudo dos parâmetros na técnica VPD, utilizando o HPA benzo(a)pireno de concentração $1,67 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em tampão acetato pH 4,0, onde foram analisados a velocidade de varredura, amplitude de potencial e pré-concentração, **Tabela 2**.

Parâmetros	Faixa de trabalho	Valor otimizado
Velocidade de varredura (mV s^{-1})	10 – 35	35
Amplitude de potencial (mV)	10 – 100	60
Pré-concentração (s)*	0 – 300	240

*Circuito aberto

Tabela 2 – Estudo dos parâmetros em VPD.

Os valores dos parâmetros obtidos para a determinação dos HPAs em VPD foram velocidade de varredura de 35 mV s^{-1} , amplitude de 60 mV, esses valores foram obtidos tendo como base o benzo(a)pireno. Contudo, o estudo de pré-concentração foi utilizando os HPAs de interesse (benzo(a)pireno, pireno e fluoranteno) para verificar o tempo de pré-concentração, como mostrado na **Tabela 2**, o valor utilizado foi de 240 s, para a análise simultânea desses HPAs.

Inicialmente, uma curva individual dos HPAs foi levantada, nas condições otimizadas, sendo fixado um valor dos outros HPAs para verificar se há ou não interferência entre eles. Na **Figura 4**, encontram-se os voltamogramas dos HPAs simultâneos, em que foram fixados valores de concentração para o benzo(a)pireno ($E_p \approx 0,846 \text{ V}$), pireno ($E_p 1,011 \text{ V}$) e fluoranteno ($E_p \approx 1,408 \text{ V}$) em $1,0 \times 10^{-6}$, $5,0 \times 10^{-5}$ e $1,5 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$, respectivamente. Em seguida, foram adicionadas alíquotas de 50 mL da solução $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ do respectivo padrão.

A curva analítica dos HPAs, **Figura 4 (d)**, apresentaram uma significativa relação linear, apresentando as seguinte equações de regressão linear:

$$I_p/A = 2,64 \times 10^{-8} (\pm 4,66 \times 10^{-9}) + 1,37 \times 10^{-2} (\pm 2,89 \times 10^{-4}) [\text{Benzo(a)pireno}]/\text{mol L}^{-1}$$

Apresentando uma faixa de concentração de $(0,49 - 31,7) \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ com $N = 14$ e R^2 igual a 0,9942, um $LD = 1,2 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ e um $LQ = 4,0 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$.

$$I_p/A = 3,78 \times 10^{-8} (\pm 7,90 \times 10^{-9}) + 4,66 \times 10^{-2} (\pm 9,79 \times 10^{-4}) [\text{pireno}]/\text{mol L}^{-1}$$

Apresentando uma faixa de concentração de $(0,25 - 15,8) \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ com $N = 14$ e R^2 igual a 0,9941, um $LD = 3,0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ e um $LQ = 9,0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$.

$$I_p/A = 1,55 \times 10^{-9} (\pm 3,92 \times 10^{-9}) + 7,93 \times 10^{-2} (\pm 1,62 \times 10^{-4}) [\text{Fluoranteno}]/\text{mol L}^{-1}$$

Apresentando uma faixa de concentração de $(0,75 - 47,5) \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ com $N = 14$

e R^2 igual a 0,9946, um LD = $1,4 \times 10^{-7}$ mol L⁻¹ e um LQ = $4,6 \times 10^{-7}$ mol L⁻¹.

Na **Tabela 3**, encontram-se os valores obtidos da curva simultânea dos HPAs, onde foram estimadas suas figuras de mérito.

Os dados obtidos sugerem que a metodologia voltamétrica em VPD é bastante eficiente para a análise simultânea dos HPAs benzo(a)pireno, pireno e fluoranteno.

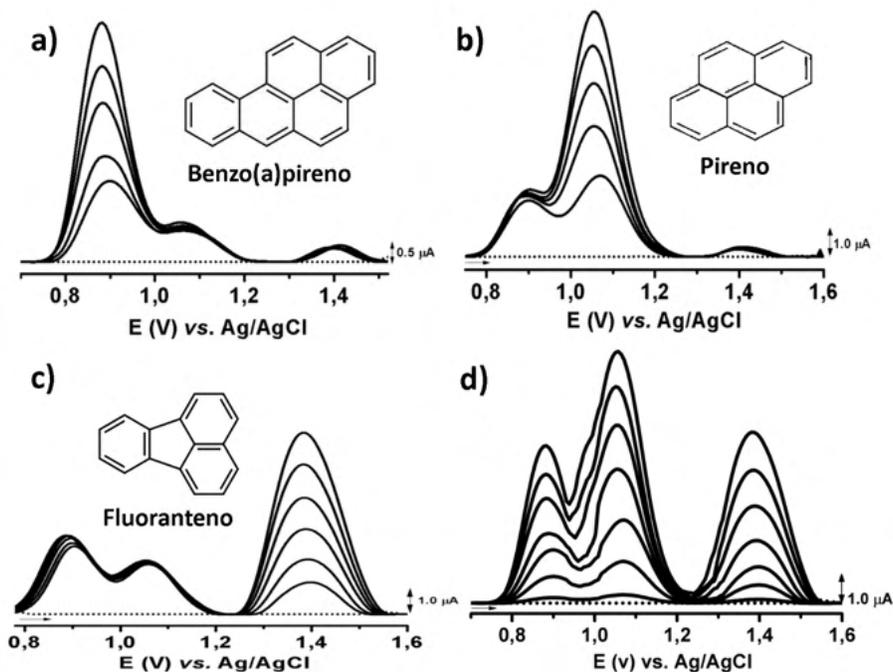


Figura 4 – Curva individual dos HPAs: a) Benzo(a)pireno, b) Pireno, c) Fluoranteno. d) Curva simultânea dos HPAs.

HPA	Faixa analítica (mmolL ⁻¹)	LD (mmolL ⁻¹)	LQ (mmolL ⁻¹)	(%) ^a	(%) ^b
Benzo(a)pireno	0,49 – 31,7	0,17	0,33	4,17	4,59
Pireno	0,25 – 15,8	0,08	0,19	3,23	4,48
Fluoranteno	0,75 – 47,5	0,22	0,45	3,88	4,73

a = repetibilidade; b = reprodutibilidade

Tabela 3 – Dados das figuras de mérito dos HPAs.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia voltamétrica em VPD para a determinação simultânea dos HPAs benzo(a)pireno, pireno e fluoranteno, utilizando um eletrodo de pasta de carbono modificado com 5% de ftalocianina de Zn, em tampão acetato (pH=4,0) com o uso do surfactante DSS. A metodologia apresentou ótimos limites de

detecção e quantificação ao ser pré-concentrado em 240s, mostrando ser promissora para futuras determinações analíticas com aplicações em amostras reais.

REFERÊNCIAS

- ABE, T., et al. Factors affecting selective electrocatalytic CO₂ reduction with cobalto phtalocyanines incorporated in polyvinylpyridine membrane coated on a grafite electrode. *Electroanalytical Chemistry*, v. 412, p. 125-132, 1996.
- ALEXIOU, C.; LEVER, A. P. L. Tuning metalloporphyrin and metallophthalocyanine redox potentials using liand electrochemical and Hammett. *Coordination Chemistry Reviews*, v. 216- 217, p. 45-54, 2001.
- ARDILES, P., et al. Electrocatalytic behavior oxidation of hidrazine at polymeric iron-tetraaminophthalocyanine modified electrodes. *Journal of Molecular Catalyts A: Chemical*, v. 165, p. 169-175, 2001.
- BARD, A. J.; FAULKNER, L. R., *Electrochemical Methods Fundamentals and Applications*. 2^a ed. New York: John Wiley & Sons, INC, 2001.
- BARA, M.T.F.; SERRANO, S.H.P; ASQUIERI, E.R.; LÚCIO, T.C. & GIL, E.S. *Lat. Am. J. Pharm.* v. 27, p. 89-92, 2008.
- BRETT, C. M. A.; BRETT, A. M. O. *Electroanalysis*. Oxford Chemistry primers, Oxford University Press, Oxford, 1998.
- BRITO, N. M.; AMARANTE JR. O. P. de; POLESE, L.; RIBEIRO, M. L. Validação de métodos analíticos: Estratégia e discussão, *Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente*, v. 13, p.129, 2003.
- CARUSO, M. S. F.; ALABURDA, J. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, v. 67(1), p. 1, 2008.
- CRISTALE, J.; SILVA, F. S.; MARCHI, M. R. R. Desenvolvimento e aplicação de método GC-MS/MS para análise simultânea de 17 HPAs em material particulado atmosférico. *Eclética Química*, v. 33 (4), p. 69, 2008
- GALINARO, C. A.; FRANCO, D. W. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em cachaça, rum, uísque e álcool combustível, *Quím. Nova*, v. 32, No. (6), 2009, 1447.
- GERALDO, D., et al. Volcano correlations between formal potential anda Hammett parameters of substituted cobalt phtalocyanines and their activity for hydrazine electro-oxidation. *Electrochemistry Communications*, v. 4, p. 182-187, 2002.
- HART, J. P.; ABASS, A. K. A disposable amperometric gas sensor for Sulphur-containig compounds based on a chemically modified screenprinted carbon electrode coated with a hydro gel. *Analytical Chemical Acta*, v. 342, p. 199-206, 1997.
- LEVER, A. B. P. The Phthalocyanines - Molecules of Enduring Value; a Two-dimensional Analysis of Redox Potentials. *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, v. 3, p. 488-499, 1999.

LOPES, I. C. Determinação do herbicida paraquat sobre eletrodos de grafite pirolítico modificados com ftalocianina de cobalto utilizando voltametria de onda quadrada. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2006.

LUZ, R. C. S.; DAMOS, F. S.; TANAKA, A. A.; KUBOTA, L. Dissolved oxygen sensor based on cobalt tetrasulphonated phthalocyanine immobilized in poly-L-lysine film onto glassy carbon electrode. *Sensors and Actuators B*, v. 114, p.1019–1027, 2006.

MILGROM, L. R. *The colours of Life: An Introduction to the Chemistry of Porphyrins and Related Compounds*; Oxford University Press: Oxford, 1997.

MOCÁK, J.; BOND, A. M.; MITCHELL, S.; SCOLLARY, G., A statistical overview of standard (IUPAC and ACS) and new procedures for determining the limits of detection and quantification: application to voltammetric and stripping techniques. *Pure and Applied Chemistry*, v.69, p. 297, 1997.

NETTO, A. D. P.; MOREIRA, J. C.; DIAS, A. E. X. O.; ARBILLA, G.; FERREIRA, F. L. V.; MOLIVEIRA, A. S.; BAREK, J. *Quím. Nova*, v. 23 (6), p. 765, 2000

ONI, J.; NYOKONGO, T. Simultaneous voltammetric determination of dopamine and serotonin on a carbon paste electrodes modified with iron (II) phthalocyanine complexes. *Analytical Chimica Acta*, v. 434, p. 9-21, 2001.

PEREIRA, A. C.; SANTOS, A. S.; KUBOTA, L. T., Tendências em modificação de eletrodos amperométricos para aplicações eletroanalíticas, *Quím. Nova*, v.25, p.1012, 2002.

PEREIRA, E. I. P.; EMANUELLI, T.; BISOGNIN, D. A.; FREITAS, S. T. Otimização e validação de um método enzimático para a determinação de glicose em tubérculos de batata de um método enzimático para a determinação de glicose em tubérculos de batata. *Ciência Rural*, v. 38, p.1227, 2008.

RIBEIRO, W. F. Análises de traços do pesticida carbendazim por voltametria de onda quadrada com eletrodo de carbono vítreo modificado com nanotubos de carbono. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, 2009.

SENTÜRK, Z. Analysis of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS): An Overview of Modern Electroanalytical Techniques and their Applications. *Curr. Drug. Deliv.* v.10, p.76, 2013

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN T. A. *Princípios de análise Instrumental*. 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

SOTOMAYOR, M. D. P. T., et al. Development of an enzymeless biosensor for the determination of phenolic compounds. *Analytical Chimica Acta*, v. 455, p. 215-223, 2002.

TELES, J. J. S. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, 2011, 92p.

ZAGAL, J. H., et al. Linear versus volcano correlations between electrocatalytic activity and redox and electronic properties of metalophthalocyanines. *Electrochimica Acta*, v. 44, p. 1349-1357, 1998.

ZAGAL, J. H., HERRERA, P. Electrochemistry of cysteine and cystine on metalophthalocyanines adsorbed on a graphite. *Electrochimica Acta*, v. 4, p. 449-454, 1985.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 84, 85, 86, 93, 94, 95, 98, 99, 151
Adsorvente 84, 94, 95
Agência de Proteção Ambiental Americana - USEPA 15
Agência Nacional de Mineração - ANM 145, 153
Aguas residuales 25
Águas superficiais 98
Ambiente aquático 98
Análise qualitativa 50
Análise quantitativa 1
Antioxidante 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57
Argilominerais sintéticos 84

B

Biocombustíveis 108, 116
Biomassa 81, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 118

C

Câncer 15, 54
Catalisador 42, 99, 101, 107, 108, 109, 110, 111, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127
Combustíveis fósseis 120, 121
Compostos tóxicos 98
Comprimido 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11
Contaminantes ambientais 13
Corantes 17, 97, 98
Corrosion 129, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143
Cromatografia gasosa 41, 42, 46, 47, 112, 116

D

Degradação térmica 109
Desenvolvimento sustentável 144
Destilação 40, 41
Doseamento 1, 6

E

Ecosistemas aquáticos 79

Efeito estufa 121

Efluentes industriais 98

Electrochemical Impedance Spectroscopy -EIS 130

Eletrodo 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24

Espectrofotometria 25, 26

Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier - FT IR 109

Essential oils 48, 156, 157

Etanol 43, 50, 52, 120, 121, 126, 127, 184

Eutrofização 79

F

Farmacocinéticos 2

Fármacos 12, 98, 106

Fertilizantes 76, 77, 81, 98

Fitoquímica 50, 52, 53, 54, 55

Flora 51, 150

Fósforo 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83

Fotocolorímetro 25, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39

G

Green diesel 108, 116

H

Hidroalogenação 40, 42, 43

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs 13, 14, 15, 23

High Performance Liquid Chromatography - HPLC 60, 66, 69, 73, 74

I

Impacto ambiental 16, 144, 153

L

Lantanídeos 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 170, 171, 176, 180, 181, 183, 184, 185

Legislação ambiental 98

M

Material particulado em suspensão 145

Medicamentos 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10
Meio ambiente 13, 14, 23, 81, 98, 107, 120, 121, 146, 148, 152, 153
Metais pesados 84
Metais traços 98
Metal Organic Frameworks - MOF's 58
Métodos eletroanalíticos 14
Micro-organismos 152
Mineração 78, 144, 145, 153

N

Nanoparticles - NP 156, 157, 158, 159, 186
Normas Reguladoras de Mineração - NRM 145, 153

P

Partículas totais em suspensão - PTS 145
Pirólise 15, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118
Planejamento fatorial 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49
Plantas medicinais 51, 56, 57
Poluentes orgânicos 84, 98
Poluição atmosférica 145
Potencial carcinogênico 14

R

Reação de Fenton 97, 99, 101
Recursos hídricos 81, 98

S

Solução tampão 14, 18
Supressores químicos 144, 145, 146, 153
Sustentabilidade 76, 82, 107, 149

T

Taninos 50, 52, 53, 54, 56
Terpeno 40, 42
Toxicidade 5, 15, 16, 56, 184
Troca iônica 84, 85, 147

V

Voltametria 14, 16, 24

O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

2

 **Atena**
Editora
Ano 2021

O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

2