

Atena
Editora
Ano 2021

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2021

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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. 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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T758 Trabalhos nas áreas de fronteira da química 2 / Organizador
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-822-9

DOI 10.22533/at.ed.229211202

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

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

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

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

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DETERMINAÇÃO DO PERFIL INORGÂNICO DE CHÁS DERIVADOS DA CAMELLIA SINENSIS

Ana Flávia Loureiro Martins Nascimento

Carlos Guilherme Tissi Batista

Cibele Maria Stivanin de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.2292112021

CAPÍTULO 2..... 14

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

Alline Laiane Borges Dias

Cassia Cristina Fernandes

Mayker Lazaro Dantas Miranda

DOI 10.22533/at.ed.2292112022

CAPÍTULO 3..... 24

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

Adriana da Veiga Torres

Juliana Baptista Simões

DOI 10.22533/at.ed.2292112023

CAPÍTULO 4..... 34

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

Luana Cristina Diniz Santos

Luciana Alves Rodrigues dos Santos Lima

Ana Hortência Fonseca Castro

DOI 10.22533/at.ed.2292112024

CAPÍTULO 5..... 43

SÍNTESE ELETROQUÍMICA DE ELETRODOS DE CARBONO VÍTREO MODIFICADO COM FILMES DE HEXACIANOFERRATO DE METAIS E ATIVIDADE PARA DETECÇÃO DE COMPOSTOS SULFURADOS

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Edervaldo Buffon

Demetrius Profeti

Luciene de Paula Roberto Profeti

DOI 10.22533/at.ed.2292112025

CAPÍTULO 6..... 56

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

José Fernando de Macedo

Anderson Alex Conceição Alves

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

DOI 10.22533/at.ed.2292112026

CAPÍTULO 7..... 72

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

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

DOI 10.22533/at.ed.2292112027

CAPÍTULO 8..... 85

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

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

DOI 10.22533/at.ed.2292112028

CAPÍTULO 9..... 99

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

Bruna Maria Rodrigues Gonçalves
Elton Patrick Barbano

DOI 10.22533/at.ed.2292112029

CAPÍTULO 10..... 112

PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA E APLICAÇÃO DE ELETRODOS

MODIFICADOS COM FILMES HÍBRIDOS DE HEXACIANO FERRATO DE METAIS

Edervaldo Buffon

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Demetrius Profeti

Luciene de Paula Roberto Profeti

DOI 10.22533/at.ed.22921120210

CAPÍTULO 11..... 128

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

Emanueli do Nascimento da Silva

Tercio Paulo Felix Xisto

Ana Carolina Ferreira Castelo Borges

Emylle Emediato Santos

Roberta Eliane Santos Froes

DOI 10.22533/at.ed.22921120211

CAPÍTULO 12..... 140

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

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

DOI 10.22533/at.ed.22921120212

CAPÍTULO 13..... 153

BIOACESSIBILIDADE DE ELEMENTOS TRAÇOS ESSENCIAIS E POTENCIALMENTE TÓXICOS

Wagna Piler Carvalho dos Santos

Rita Maria Weste Nano

Daniele Cristina Muniz Batista dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.22921120213

CAPÍTULO 14..... 167

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

Geilson Rodrigues da Silva

Hygor Rodrigues de Oliveira

João Vítor de Andrade dos Santos

Jussara de Oliveira Ferreira

Daniely Alves de Souza

Angela Kwiatkowski

Ramon Santos de Minas

Mariana Messias Soares

Mariane Ocanha

DOI 10.22533/at.ed.22921120214

CAPÍTULO 15..... 178

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

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

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

DOI 10.22533/at.ed.22921120215

CAPÍTULO 16..... 184

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

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

DOI 10.22533/at.ed.22921120216

SOBRE O ORGANIZADOR..... 198

ÍNDICE REMISSIVO..... 199

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

Data de aceite: 01/02/2021

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Universidade Federal de Uberlândia

Instituto de Química

Uberlândia – Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>

RESUMO: A Química Verde é uma área da Química que busca diminuir ou eliminar o uso de substâncias que promovem ou podem promover a poluição, bem como recuperar a qualidade do meio ambiente. Para isso se fundamenta em doze princípios que buscam: reduzir custos e geração de resíduos; desenvolver novas tecnologias e reações químicas que minimize o impacto ao ambiente; busca por solventes com menor toxicidade e provenientes de fontes renováveis; desenvolvimento de processos mais seguros; controle em tempo real, reações mais rápidas e eficientes. Neste contexto, o método QuEChERS e as técnicas cromatográficas podem contribuir de forma a colaborar e consolidar os princípios da Química Verde em relação a etapa de preparo de amostras e análise química. Visto que estes estão em constante aprimoramento e aperfeiçoamento, melhorando o preparo de amostra para uma maior diversidade e quantidade de substâncias químicas; aumentando a sensibilidade das técnicas cromatográficas em relação à detecção e a quantificação de substâncias a níveis traços ($\mu\text{g L}^{-1}$ a pg L^{-1}), com redução de tempo de análise, menor consumo de solventes e redução do volume de resíduos gerados.

PALAVRAS-CHAVE: Meio ambiente, resíduos, fontes renováveis, toxicidade.

CONTRIBUTION OF THE QuEChERS METHOD AND CHROMATOGRAPHIC TECHNIQUES TO CONSOLIDATION THE PRINCIPLES OF GREEN CHEMISTRY IN CHEMICAL ANALYSIS

ABSTRACT: Green Chemistry is a branch of Chemistry that seeks to reduce or eliminate the use of substances that promote or can promote pollution, as well as recover the quality of the environment. For this, it is based on twelve principles that seek: to reduce costs and waste generation; develop new technologies and chemical reaction that minimize the impact on the environment; search for solvents with less toxicity and from renewable sources; development of safer processes; real time control, faster and more efficient reactions. In this context, the QuEChERS method and chromatographic techniques can contribute in order to collaborate and consolidate the principles of Green Chemistry in relation to the stage of sample preparation and chemical analysis. Since these are constantly improving sample preparation for greater diversity and quantity of chemical substances; increasing the sensitivity of chromatographic techniques in relation to the detection and quantification of substances at trace levels (from $\mu\text{g L}^{-1}$ to pg L^{-1}), with reduction of the analysis time, less consumption of solvents and reduction of the volume of residues generated.

KEYWORDS: Environment, waste, renewable sources, toxicity.

1 | INTRODUÇÃO

Devido às consequências negativas do grande crescimento populacional e industrial, que vem provocando danos à saúde humana e ao ambiente, a responsabilidade ambiental vem aumentando e ficando cada vez mais visível (SERRANO; RUVALCABA, 2013; ERLÉN et al., 2017). Neste sentido, a partir da década de 90, começou a surgir uma nova forma de entender a sustentabilidade e o impacto das atividades químicas no ambiente, como resposta aos problemas gerados devido às práticas inadequadas. Logo, surgiu nos Estados Unidos (EUA) uma filosofia que procurava conduzir as análises químicas, com o intuito de reduzir o impacto ambiental ocasionado pelas mesmas (PLOTKA et al., 2013; GOMES et al., 2018).

Em 1991, após a criação da Lei de Prevenção à Poluição (LPP) dos EUA, a Agência Ambiental Norte-Americana (Environmental Protection Agency – EPA), lançou seu programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”. Em 1993, houve a inclusão de novos tópicos como solventes ambientalmente corretos e compostos inócuos. Já em 1995, o governo dos EUA instituiu o programa “The Presidential Green Chemistry Challenge”, com o objetivo de premiar pessoas e empresas que buscassem inovações tecnológicas para reduzir a produção de resíduos na fonte, sendo distribuídos em cinco categorias: (i) pesquisa acadêmica; (ii) pequenos negócios; (iii) rotas sintéticas alternativas; (iv) condições alternativas de reação e (v) desenho de produtos químicos mais seguros (GOMES et al., 2018; SOUZA, 2019), conforme resumido na Figura 1.

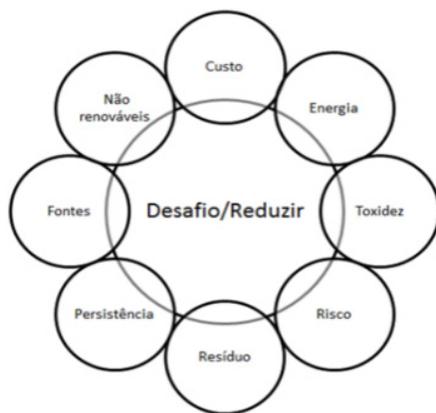


Figura 1: Desafios da Química Verde

Fonte: Gomes et al., 2018.

Com isso houve a expansão e o programa foi renomeado para Química Verde, também denominada de química limpa, química ambientalmente benigna ou química auto-

sustentável (PLOTKA et al., 2013; TARASOVA et al., 2014).

Desde então, a Química Verde vem conquistando cada vez mais espaço em todo mundo: (i) universidades; (ii) indústrias; (iii) agências governamentais e não governamentais entre outros, promovendo o uso da química para a prevenção da poluição ambiental (GHERNAOUT; GHERNAOUT; NACEUR, 2011; ERLÉN et al., 2017).

A química verde pode ser então definida como projeto, desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos com o objetivo de reduzir e/ou eliminar o uso ou a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente (MELCHERT et al., 2012; GOMES et al., 2018), para auxiliar a execução deste objetivo foram criados doze princípios, a saber: (i) prevenção; (ii) economia ou eficiência atômica; (iii) redução de toxicidade; (iv) desenvolvimento de produtos seguros e eficientes (v) eliminar ou tornar seguros solventes e outros auxiliares de reações; (vi) otimização do uso de energia; (vii) uso de matérias-primas de fontes renováveis; (viii) evitar derivação desnecessária; (ix) catálise; (x) desenvolvimento de produtos degradáveis após o término de vida útil; (xi) monitoramento/controle de processos em tempo real; (xii) desenvolvimento de processos intrinsecamente seguros (LENARDÃO et al., 2003; GOMES et al., 2018).

Nos últimos anos, a química analítica vem contribuindo significativamente para a consolidação da química verde em análises químicas, aprimorando quatro prioridades principais: (i) eliminação, ou redução significativa do consumo de reagentes em procedimentos analíticos; (ii) redução da emissão de vapores e/ou gases e resíduos sólidos provenientes de laboratórios; (iii) eliminação de reagentes com alta toxicidade e/ou ecotoxicidade utilizados em procedimentos analíticos; e (iv) redução do consumo de mão-de-obra e energia dos procedimentos analíticos (ARMENTA; LA GUARDIA, 2010; RODRIGUES; SILVA; DA SILVA, 2010; GALUSZKA; MIGASZEWSKI; NAMIES'NIK, 2013).

Neste sentido, este trabalho irá apresentar algumas contribuições da química analítica para a química verde, dando ênfase em: (i) preparo de amostra; (ii) técnicas cromatográficas; (iii) diminuição e/ou substituição de solventes em cromatografia;

1.1 Preparo de amostra – Método QuEChERS

Nos últimos anos, ocorreu um rápido desenvolvimento de novos métodos de preparo de amostras com o objetivo de determinar resíduos de pesticidas em alimentos, visando promover a extração e o enriquecimento dos analitos de interesse e a remoção, tanto quanto possível, dos interferentes (PRESTES; ADAIME; ZANELLA, 2011; GONZÁLEZ-CURBELO et al., 2015).

Anastassiades e colaboradores (2003), propuseram um método de preparo de amostra para extração de resíduos de pesticidas denominado QuEChERS (do inglês “Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe”), devendo ser pronunciado “catchers”. Esse método, que tem como vantagens ser rápido, fácil, econômico, efetivo, robusto e seguro, explora as possibilidades oferecidas pela instrumentação analítica moderna (GOLGE;

KABAK, 2013; GONZÁLEZ-CURBELO et al., 2015). Durante o desenvolvimento do método QuEChERS, buscou-se um procedimento dinâmico e simplificado como representado no fluxograma da Figura 2.

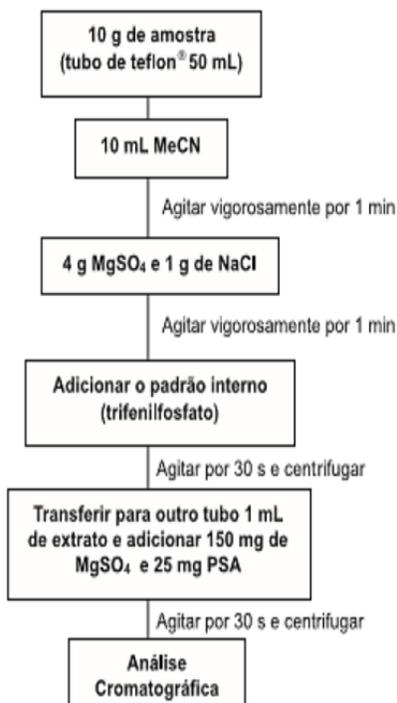


Figura 2: Fluxograma representativo do método QuEChERS original

Fonte: PRESTES et al., (2009).

O método QuEChERS se constitui na união do método de partição líquido-líquido e extração em fase sólida dispersiva, podendo ser representado pelo esquema da figura 3.

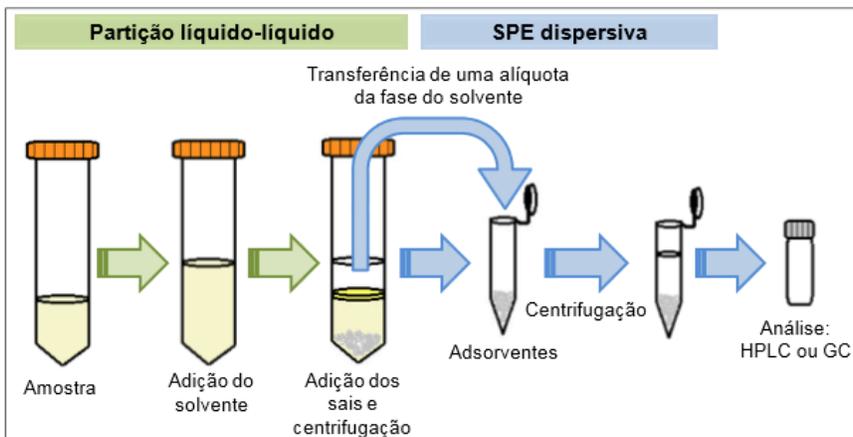


Figura 3: Esquema das principais etapas envolvidas na técnica de extração QuEChERS

Fonte: MACEDO (2012).

Porém, ao ser comparado com os métodos tradicionalmente utilizados para análise de resíduos, observa-se que a relação entre a quantidade de amostra: solvente (1 g mL^{-1}) obtida no método QuEChERS é baixa se comparada com os valores típicos de 2 a 5 g mL^{-1} dos métodos que utilizam solventes apolares (HIEMSTRA, 2007).

Desde então este método vem sendo empregado em diferentes tipos de matrizes: (i) fármacos e pesticidas em frutas e verduras (CHENG et al., 2020; SONG et al., 2020); (ii) pesticidas em alimentos industrializados (FENG et al., 2020); (iii) fármacos e pesticidas em água (OLIVEIRA et al., 2020); (iv) disruptores endócrinos em água (VIEIRA et al., 2020); (v) fármacos e pesticidas em carne (SATHISHKUMAR et al., 2020; WENG et al., 2020); (vi) fármacos e pesticidas em mel e abelhas (ZHANG et al., 2019; ARDALANI et al., 2021) entre outras.

1.2 Técnicas cromatográficas para análise

A cromatografia representa o mais relevante conjunto de técnicas analíticas disponíveis atualmente para análise de substâncias químicas, devido aos baixos limites de detecção que podem ser conseguidos com a técnica (COLLINS;BRAGA; BONATO, 2006; ARMENTA;LA-GUARDIA, 2010). A maioria dos métodos físico-químicos para a confirmação de contaminantes em diferentes tipos de matrizes utiliza a cromatografia e as técnicas espectrométricas que fornecem informações sobre as estruturas químicas dos analitos, sendo recomendadas para a confirmação inequívoca da identidade, evitando com isso a possibilidade de resultados falso-positivos. No que diz respeito às determinações de contaminantes em alimentos e água as técnicas cromatográficas destacam-se no âmbito analítico pela reconhecida capacidade de possibilitarem análises qualitativas e quantitativas

(LANÇAS, 2004; PLOTKA et al., 2013).

1.2.1 Cromatografia Gasosa

A cromatografia gasosa (GC) é uma técnica de separação de análise de misturas por interação de seus componentes, que devem ser voláteis e semi-voláteis, entre uma fase estacionária e uma fase móvel. O mecanismo de separação se dá pela injeção da amostra que é arrastada pela fase móvel (gás de arraste) através da coluna que contém a fase estacionária (coluna GC aquecida), onde ocorre a separação da mistura (COLLINS; BRAGA; BONATO, 2006; ARMENTA; LA GUARDIA, 2016;). Esta técnica possui um alto poder de resolução, sendo muito atrativa devido à possibilidade de detecção em escala de nano (10^{-9}) a picogramas (10^{-12}) (COLLINS; BRAGA; BONATO, 2006; LANÇAS, 2009).

Apesar da GC possuir características inerentes a química verde, é possível realizar algumas otimizações que a tornaria mais verde: (i) utilizar a tecnologia de baixa massa térmica com o objetivo de economizar energia; (ii) substituir o gás de arraste: o gás hélio (He) é o mais utilizado em GC por ser de natureza atóxica, não inflamável, inerte e seguro de manusear e possuir velocidade linear elevada que é uma propriedade cromatográfica favorável. No entanto, este gás é um recurso natural não-renovável e as reservas mundiais estão prestes a se esgotar, sendo necessária a busca de alternativas para substituí-lo e que seja preferencialmente oriundo de fonte renovável (PLOTKA et al., 2013).

Dentro deste contexto o nitrogênio surge como uma opção, porém o seu uso torna as análises longas ocasionando danos na eficiência do equipamento. Já o hidrogênio se apresenta como uma boa alternativa ao He, por ser renovável e sua velocidade linear ser maior do que dos dois gases anteriores, o que possibilita separações mais eficientes e com tempos de análises mais curtos, levando a redução de custos, tempo e economia de átomos e energia (PLOTKA et al., 2013).

Outra possibilidade de customizar análises em GC seria a utilização de colunas mais curtas do que as utilizadas atualmente, o que poderia ocasionar a redução do tempo de análise e conseqüentemente reduziria o consumo de gás pela fase móvel (PLOTKA et al., 2013).

A GC vem sendo utilizada em determinações de contaminantes em diferentes matrizes: (i) retardantes de chamas e pesticidas em peixe (CASTRO; POCURULL; BORULL, 2020); (ii) pesticida em chá (LY et al., 2020); (iii) pesticida em urina e sangue humano (IQBAL et al., 2020); (iv) pesticidas em frutas e vegetais (CHENG et al., 2017); (v) pesticida em suco de uva (VENKATACHALAPATHY et al., 2020); (vi) pesticida em chá verde (HOU et al., 2016); (vii) pesticida em pimenta (SONG et al., 2019) entre outros.

1.2.2 Cromatografia Líquida

A cromatografia líquida de alta eficiência (do inglês: “*Hiper Performance Liquid*”

Chromatography" - HPLC) é uma técnica de separação bem estabelecida e é empregada nas mais diversas áreas, entre elas, química, forense, toxicológica, clínica e ambiental, para solucionar inúmeros problemas analíticos (LANÇAS, 2009). Esta técnica utiliza uma fase móvel líquida que é bombeada por uma bomba de alta pressão, fazendo-a percorrer a coluna cromatográfica. A separação ocorre pelas diferentes interações da amostra com as fases móvel e estacionária, ocorrendo por diversos tipos de mecanismos e resultando em diferentes graus de migração para cada composto (JARDIM; COLLINS; GUIMARÃES, 2006; LANÇAS, 2010).

Durante os últimos anos, muitas melhorias vêm sendo incorporadas a esta técnica, como desenvolvimentos de novas fases estacionárias (FE) e suportes cromatográficos, avanços na instrumentação, entre outros, permitindo que análises se tornem mais rápidas e maiores eficiências sejam alcançadas, colaborando com aumento do rendimento e redução de custos em análises e consequentemente contribuindo com a Química Verde (ARAGÃO; VELOSO; ANDRADE, 2009; LANÇAS, 2009).

A técnica de HPLC vem sendo utilizada na determinação de contaminantes em diferentes matrizes: (i) pesticida em peixe (BRBIERI et al., 2019); (ii) pesticida em arroz (LIU et al., 2020); (iii) pesticida em cereais (NI et al., 2018); (iv) disruptores endócrinos (HEIJI et al., 2021); (v) pesticida em chá verde (HUANG et al., 2019); (vi) fármacos em mel (ZHANG et al., 2019); (vii) metabolitos de ftalatos em leite humano (AN et al., 2020) dentre outras.

1.2.3 Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência

A cromatografia líquida de ultra eficiência (do inglês: "ultra-high pressure liquid chromatography ou ultra-high performance liquid chromatography -UHPLC) desenvolveu-se a partir da introdução das partículas de FE porosas $\leq 2 \mu\text{m}$, em resposta à busca contínua por análises mais rápidas e eficientes (BELTRAN et al. 2014; MALDANER; JARDIM, 2012).

A UHPLC fundamenta-se nos mesmos princípios de separação da HPLC, tendo como principais diferenças as colunas cromatográficas empregadas que são de dimensões reduzidas (5-10 cm de comprimento e diâmetros internos de 1-2mm), recheadas com partículas de FE $\leq 2 \mu\text{m}$, as quais, juntamente com as altas velocidades lineares de fase móvel (FM) aumentam a resolução e a detectabilidade, diminuem o tempo das análises, porém geram um aumento significativo na pressão cromatográfica. Em vista disso, um equipamento adequado, capaz de operar a altas pressões, acima de 1000 bar (~15000 psi), é empregado para extrair um desempenho cromatográfico máximo dessa técnica (LANÇAS, 2011; MALDANER; JARDIM, 2012).

Sendo assim a UHPLC apresenta como vantagens a diminuição considerável no tempo de análise, a facilidade de transferência de um método desenvolvido por HPLC para UHPLC, uma grande variedade de colunas, de equipamentos e de detectores disponíveis

comercialmente, indicando que, possivelmente, num futuro próximo, ela venha a superar a HPLC em análises de rotina, por também gerar menores quantidades de resíduos, atendendo aos apelos da Química Verde (MALDANER; JARDIM, 2009).

A técnica de UHPLC está tão bem estabelecida que vem sendo utilizada na determinação de contaminantes em diferentes matrizes, tais como: (i) pesticida em peixe (HAN et al., 2020); (ii) pesticida em arroz, laranja e espinafre (LEE et al., 2018); (iii) pesticida em chá verde (LY et al., 2020); (iv) pesticida e fármacos em ovos (XU et al., 2019); (v) parabenos e filtros ultravioletas em leite humano (VELA-SORIA et al., 2018) entre outras.

1.3 Substituição e/ou diminuição de solventes

Em HPLC em suas várias etapas (purga, corrida prévia, corrida e limpeza) utilizam-se solventes com velocidades de fluxo que variam de (0,1 a 20 ml min⁻¹) o que implica na geração de grandes volumes de resíduos que não são, em geral, recuperados e/ou reaproveitados. Em HPLC os solventes mais utilizados são: acetonitrila, metanol entre outros solventes.

A acetonitrila (ACN) constitui-se no solvente orgânico mais utilizado atualmente em HPLC, porém a partir de outubro de 2008, a disponibilidade deste solvente foi drasticamente reduzida, implicando no seu aumento de preço acima de patamares aceitáveis para este solvente. As razões que levaram ao aumento do preço deste solvente foram a diminuição de empresas que purificam tal solvente em larga escala e a diminuição da demanda de acrilonitrila. Sendo assim surge a necessidade de minimizar, substituir, ou eliminar o uso de acetonitrila assegurando a continuidade de trabalhos com HPLC (LANÇAS, 2010).

LANÇAS (2010) apresenta em seu trabalho, dez maneiras de minimizar o uso da ACN em HPLC: (i) diminuição no diâmetro interno da coluna: pode levar a economizar mais de 90% do uso de ACN; (ii) diminuição no comprimento da coluna; (iii) diminuição do tamanho das partículas da fase estacionária; (iv) diminuição do tamanho das partículas da fase estacionária; (v) eliminação de ACN como eluente; (vi) uso de fluidos no estado supercrítico; (vii) reciclagem do solvente; (viii) aumento da temperatura em HPLC: requer bastante pesquisa ainda; (ix) programação de temperatura e (x) mudando características das fases estacionárias. A adoção dessas medidas contribuiria para diminuição e/ou eliminação de ACN.

Vários trabalhos vêm sendo publicados nos últimos anos, visando substituir os atuais solventes utilizados em HPLC por solventes considerados mais verdes, destacando-se trabalhos: (i) obtenção de solventes de novas fontes (GUPTA; WILSON; VADLANI, 2016); (ii) uso de novos solventes (JÇDRKIEWICZ et al., 2016); (iii) aplicação de novos processos de obtenção de solventes (TARASOVA et al., 2014).

21 CONCLUSÕES

O método QuEChERS possibilitou um avanço considerável na melhoria do preparo de amostra tanto em termos de tempo e complexidade, quanto a economia com diferentes custos. Já o aperfeiçoamento e o aprimoramento das técnicas analíticas possibilitam a detecção e quantificação de resíduos de substâncias em diferentes matrizes, indicando a necessidade para a regulação de novas legislações de contaminantes presentes em todo o ambiente.

Portanto, podemos inferir que tanto o método QuEChERS quanto o aperfeiçoamento da cromatografia líquida e gasosa vem colaborando para reduzir o tempo de preparo e análise; os custos com energia, reagentes e quantidade de resíduos gerados e a substituição de solventes por outros mais seguros e ecologicamente mais corretos. Tais medidas vão ao encontro dos doze princípios norteadores da química verde.

REFERÊNCIAS

AN, J. et al. Development and investigation of a QuEChERS-based method for determination of phthalate metabolites in hum milk. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 181, p. 113092, 2020.

ANASTASSIADES, M. et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partition in and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. **Journal of AOAC International**, v.86, p.412-431, 2003.

ARAGÃO, N. M.; VELOSO, M. C. da C.; ANDRADE, J. B. de. Validação de métodos cromatográficos de análise – um experimento de fácil aplicação utilizando cromatografia de alta eficiência (CLAE) e os princípios da “Química Verde” na determinação de metilxantina em bebidas. **Química Nova**, vol. 32, n. 9, p. 2476-2481, 2009.

ARDALANI, H. et al. Dietary quercetin impacts the concentration of pesticides in honey bees. **Chemosphere**, v. 262, p. 127848, 2021.

ARMENTA, S.; LA GUARDIA, M. Green chromatography for the analysis of foods of animal origin. **Trends in Analytical Chemistry**, v.80, p.517-530, 2016.

BARBIERI, M. V. et al. Analysis of 52 pesticides in fresh fish muscle by QuEChERS extraction followed by LC-MS/MS determination. **Science of the Total Environment**, v. 633, p. 958-967, 2019.

BELTRAN, E. et al. Determination of patulin in apple and derived products by UHPLC-MS/MS. Study of matrix effects with atmospheric pressure ionization sources. **Food Chemistry**, v. 142, . 400-407, 2014.

CASTRO, O.; POCURULL, E.; BORULL, F. Determination of organophosphate Ester flame retardants and plasticisers in fish samples by QuEChERS followed by gás chromatography-tandem massa spectrometry. Exposure and risk assessment through fish consumption. **Journal of Chromatography A**, v. 1626, p. 461356, 2020.

CHENG, Z. et al. Simultaneous determination of organophosphorus pesticides in fruits and vegetables using atmospheric pressure gas chromatography quadrupole-time-of-flight mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 231, p. 365-373, 2017.

CHENG, S. C. et al. Fast screening of trace multiresidue pesticides on fruit and vegetable surfaces using ambient ionization tandem mass spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, v. 1102, p. 63-71, 2020.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P.S. **Fundamentos de cromatografia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 452p., 2006.

ERLEN, Y. C. et al. Metal-exchanged magnetic β -zeolites: Valorization of lignocellulosic biomass-derived compounds to platform chemicals. **Green Chemistry**, v.19, p.3856-3868, 2017.

FENG, C. et al. Comprehensive strategy for analysis of pesticide multi-residues in food by GC-MS/MS and UPLC-Q-Orbitrap. **Food Chemistry**, v. 320, p. 126576, 2020.

GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. NAMIES'NIK, J. The 12 principles of green analytical chemistry and the significance mnemonic of green analytical practices, **Trends Analytical Chemistry**, v. 50, p.78–84, 2013.

GHERNAOUT, D.; GHERNAOUT, B.; NACEUR, M. W. Embo dying the chemical water treatment in the green chemistry – A review. **Desalination**, v. 271, p. 1-10, 2011.

GOMES, R. N. et al. Development of green chemistry in the Brazilian industrial scenario. **Revista Fitos**. Edição Especial, p. 80-89, 2018.

GONZÁLEZ-CURBELO, M. Á. et al. Evolution and applications of the QuEChERS method. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 71, p. 109-115, 2015.

GUPTA, J.; WILSON, B. W.; VADLANI, P. V. Evaluation of green solvents for a sustainable zein extraction from ethanol industry DDGS. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, p.313-319, 2016.

HAN, L.; SAPOZHNIKOVA, Y. Semi-automated high-throughput method for residual analysis of 302 pesticides and environmental contaminants in catfish by fast low-pressure GC-MS/MS and UHPLC-MS/MS. **Food Chemistry**, v.319, p. 126592, 2020.

HEIJI, L. et al. A multi-residue method for determining twenty-four endocrine disrupting chemicals in vegetables and fruits using ultrasound-assisted solid-liquid extraction and continuous solid-phase extraction. **Chemosphere**, v. 263, p. 128158, 2021.

HIEMSTRA, M, K. A. Comprehensive multi residue method for the target analysis of pesticides in crops using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 3, P. 1154-1160, 2007.

HOU, X. et al. Optimization of a multi-residue method for 101 pesticides in green tea leaves using gas chromatography–tandem mass spectrometry. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 26, p. 401-407, 2016.

HUANG, Y. et al. Determination of multi-pesticide residues in green tea with a modified QuEChES protocol coupled to HPLC-MS/MS. **Food Chemistry**, v. 255, p. 255-264, 2019.

- IQBAL, S. et al. Modified QuEChERS extraction method followed by simultaneous quantification of nine multi-class pesticides in human blood and urine by using GC-MS. **Journal of Chromatography B**, v. 1152, p. 122227, 2020.
- JARDIM, I. C. S. F.; COLLINS, C. H.; GUIMARÃES, L. F. L. **Cromatografia líquida de alta eficiência**. In: COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. Fundamentos de cromatografia. Campinas: Editora da UNICAMP, p. 273-397, 2006.
- JÇDRKIEWICZ, R. et al. Green analytical chemistry introduction to the propanols determination at no economic and analytical performance costs?. **Talanta**, v.147, p. 282-288, 2016.
- LANÇAS, F. M. Aumentando a eficiência das colunas de HPLC por meio da diminuição do diâmetro das partículas da fase estacionária: até onde? **Scientia Chromatographica**, v.3, n.1, p. 17-23, 2011.
- LANÇAS, F. M. **Cromatografia líquida moderna: HPLC/CLAE**. Campinas –SP: Átomo, 2009.
- LANÇAS, F. M. Como economizar (ou eliminar o uso de) acetonitrila em tempos de “crise”? **Scientia Chromatographica**, v.1, n.1, 10p., 2010.
- LANÇAS, F.M. **Validação de métodos cromatográficos de análise**. São Carlos: Ed. RiMa. 62 p., 2004.
- LEE, J. et al. Simultaneous analysis of 310 pesticide multiresidues using UHPLC-MS/MS in Brown Rice, Orange, and spinach. **Chemosphere**, v. 207, p. 519-526, 2018.
- LENARDÃO, J.E. *et al.* Green Chemistry – Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**. v. 26, p. 123-129, 2003.
- LIU, L. et al. Detection of Glyamifop residues in Rice and its environment by the QuEChERS method combined with HPLC-MS. **Microchemical Journal**, v.158, p. 105157, 2020.
- LY, T. K. et al. Determination of 400 pesticides residues in green tea leaves by UPLC-MS/MS and GC-MS/MS combined with QuEChERS extraction and mixed-mode SPE clean-up method. **Food Chemistry**, v. 326, p. 126928, 2020.
- MACEDO, A. N. de. **Desenvolvimento de métodos analíticos visando atender aos princípios de química verde na análise de resíduos de medicamentos veterinários em leite bovino**. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica) – Instituto de Química – Universidade de São Paulo, São Carlos, 113p., 2012.
- MALDANER, L.; JARDIM, I. C. S. F. UHPLC – Uma abordagem atual: desenvolvimento e desafios recentes. **Scientia Chromatographica**, v.4, n. 3, p. 197-207, 2012.
- MALDANER, L.; JARDIM, I. C. S. F. O estado da arte da cromatografia líquida de ultra eficiência. **Química Nova**, v. 32, n.1, p. 214-222, 2009.
- NI, Y. et al. Analysis of four sulfonylurea herbicides in cereals using modified Quick, EASY, Cheap, Effective, Rugged, and Safe sample preparation method, coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1537, p.27-34, 2018.

- OLIVEIRA, M. et al. Pharmaceuticals residues and xenobiotics contaminants: Occurrence, analytical techniques and sustainable alternatives for wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 705, p.135568, 2020.
- PLOTKA, J. et al. Review: Green chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1307, p. 1-20, 2013.
- PRESTES, O. D.; ADAIME, M.B; ZANELLA, R. QuEChERS: possibilidades e tendências no preparo de amostra para a determinação multirresíduo de pesticidas em alimentos. **Scientia Chromatographica**, v.3, n.1, p.51-64, 2011.
- RODRIGUES, G. D. SILVA, L. H. M.; SILVA M. C. H. Alternativas verdes para o preparo de amostra e determinação de poluentes fenólicos em água. **Química Nova**, v. 33, n. 6, p.1370-1378, 2010.
- SATHISHKUMAR, P. et al. Occurrence, interactive effects and ecological risk of diclofenac in environmental compartments and biota – a review. **Science of the Total Environment**, v.698, p. 134057, 2020.
- SERRANO, M. C. D.; RUVALCABA, R. M. Química Verde: Um tema e presente y futuro para la educación de la química. **Educacion Química**, v.24, n.1, p. 94-95, 2013.
- SONG, L. et al. Dissipation of sixteen pesticide residues from various applications of commercial formulations on strawberry and their risk assessment under greenhouse conditions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 188, p. 109842, 2020.
- SOUSA, P. G. Conceitos e adoção da Química Verde: uma revisão bibliográfica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.8, n.1, p. 248-264, 2019.
- TARASOVA, N. P. et al. The development of Green Chemistry in Russia as a tool improve the competitiveness of chemical products [na opinion poll]. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p.491-496, 2014.
- VELA-SORIA, F. et al. QuEChERS and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for the determination of parabens and ultraviolet filters in human milk samples. **Journal of Chromatography A**, v. 1546, p. 1-9, 2018.
- VENKATACHALAPATHY, R. et al. Assessing the effect of chitosan on pesticide removal in grape juice during clarification by gas chromatography with tandem mass spectrometry. **Process Biochemistry**, v. 94, p. 305-312, 2020.
- VIEIRA, W. T. et al. Endocrine-disrupting compounds: occurrence, detection methods, effects, and promising treatment pathways – a critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2020.
- XU, X. et al. Development of a modified QuEChERS method based on magnetic multiwalled carbon nanotubes for the simultaneous determination of veterinary drugs, pesticides and mycotoxins in eggs by UPLC-MS/MS. **Food Chemistry**, v. 276, p. 419-426, 2019.

WENG, R. et al. Multiresidue analysis of 126 pesticides in chicken muscle by ultra-high-performance liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 309, p.125503, 2020.

ZHANG, Y. et al. Antibiotics residues in honey: A review on analytical methods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 110, p. 344-356, 2019.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

B

- Bióticos 35

C

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

D

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

E

Eletrocatalítica 112, 123

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

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

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

Eletr o-oxidação 101

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

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

F

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

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

Filme híbrido 116, 117, 123, 124, 125

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

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

H

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

L

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

Limite de quantificação 53, 80, 86, 95

M

Matrizes ambientais 73

Mecanismos de adsorção 87, 157, 158

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

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

Microscopia eletrônica de varredura 88, 99, 103, 109

O

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

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

P

Peroxidação foto-assistida 186

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

Planejamento experimental 128, 131, 137

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

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

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

Processos metabólicos 35, 153, 155

Processos oxidativos avançados 198

Produtos naturais 2, 24, 35

Q

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

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

Quimiometria 1, 4

R

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

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

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

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

S

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

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

Sensor eletroquímico 56, 59, 72, 85, 86

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

V

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

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

Voltamograma 99, 105, 106, 121

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

