

A Diversidade de Debates na Pesquisa em Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

A Diversidade de Debates na Pesquisa em Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernando da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
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
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
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 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
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
D618	<p>A diversidade de debates na pesquisa em química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistemas: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-036-0 DOI 10.22533/at.ed.360202105</p> <p>1. Química – Pesquisa – Brasil. 2. Pesquisa – Metodologia. I.Nardeli, Jéssica Verger.</p> <p style="text-align: right;">CDD 540.7</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A coleção “A Diversidade de Debates na Pesquisa em Química 2” é uma obra que tem um conjunto fundamental de conhecimentos direcionados a industriais, pesquisadores, engenheiros, técnicos, acadêmicos e, é claro, estudantes. A coleção abordará de forma categorizada pesquisas que transitam nos vários caminhos da química de forma aplicada, inovadora, contextualizada e didática objetivando a divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõem seus capítulos.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos relacionados a revestimentos inteligentes – *smart coatings*; técnicas eletroquímicas; modificação de superfície; processo foto-Fenton; dessulfurização adsortiva de diesel; otimização de sensores; contaminantes orgânicos; degradação de compostos; nanotubos de carbono hidrofílicos; oxidação parcial do metano; produção de etanol; tratamento de efluente aquoso; produção de biogás; processo oxidativo avançado; partição de íons metálicos; ensino de polímeros; reutilização de óleo industrial; análise complexométrica de alumínio e modelagem molecular. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à caracterização, aplicação, otimização de procedimentos e metodologias, entre outras abordagens importantes na área de química, ensino e engenharia química. A diversidade de Debates na pesquisa em Química tem sido um fator importante para a contribuição em diferentes áreas.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de química tecnológica, bacharel e licenciatura. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, aplicações de processos, caracterização com diferentes técnicas (eletroquímica, microscopia, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier e raios-X) substanciais é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Portanto, esta obra é oportuna e visa fornecer uma infinidade de estudos fundamentados nos resultados experimentais obtidos pelos diversos pesquisadores, professores e acadêmicos que desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática.

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
SMART COATING FOR CORROSION PROTECTION OF ALUMINIUM ALLOYS: GLOBAL AND LOCALIZED STUDY OF ANTI- CORROSION PERFORMANCE	
Jéssica Verger Nardeli Cecílio Sadao Fugivara Fátima Montemor Assis Vicente Benedetti	
DOI 10.22533/at.ed.3602021051	
CAPÍTULO 2	13
FACTORIAL EXPERIMENTAL DESIGN APPLIED FOR OPTIMIZATION OF TARTRAZINE REMOVAL BY PHOTO-FENTON PROCESS USING Cu_2FeSn_4 CATALYST	
Julia da Silveira Salla Vitória Segabinazzi Foletto Jivago Schumacher de Oliveira Gabriela Carvalho Collazzo Evandro Stoffels Mallmann Edson Luiz Foletto	
DOI 10.22533/at.ed.3602021052	
CAPÍTULO 3	23
TRANSFORMACIÓN DE ÁCIDO FERÚLICO CON HONGOS AISLADOS DE BAGAZO DE CAÑA	
Miguel Ávila Jiménez Myriam Gisela Gutiérrez Rueda Julia Aguilar Pliego María del Rocío Cruz Colín María Teresa Castañeda Briones	
DOI 10.22533/at.ed.3602021053	
CAPÍTULO 4	32
APLICAÇÃO DE MATERIAIS MCM-41 E SBA-15 COMO SINTETIZADOS E MODIFICADOS COM ÍONS NÍQUEL E PRATA NA DESSULFURIZAÇÃO ADSORTIVA DE DIESEL	
Clenildo de Longe Rafael Viana Sales Anne Beatriz Figueira Câmara Adriano Santos de Sousa Leila Maria Aguilera Campos Maritza Montoya Urbina Tatiana de Campos Bicudo Luciene Santos de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.3602021054	
CAPÍTULO 5	43
AVALIAÇÃO DO SENSOR BASEADO GRAFENO E COBRE PARA DETECÇÃO DE GLIFOSATO E AMPA	
Sarah Setznagl Ivana Cesarino	
DOI 10.22533/at.ed.3602021055	

CAPÍTULO 6	57
COMPORTAMENTO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS EM SUBSUPERFÍCIE	
Vivian Maria de Arruda Magalhães	
Oswaldo Chiavone Filho	
Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna	
DOI 10.22533/at.ed.3602021056	
CAPÍTULO 7	76
INVESTIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO FENOL EM MEIO AQUOSO UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E IRRADIAÇÃO SOLAR	
Julia da Silveira Salla	
Humberto Neves Maia de Oliveira	
André Luís Novais Mota	
Cláudio Augusto Oller do Nascimento	
Edson Luiz Foletto	
Oswaldo Chiavone-Filho	
DOI 10.22533/at.ed.3602021057	
CAPÍTULO 8	89
PRODUÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO HIDROFÍLICOS	
Leila Cottet	
Luís Otávio de Brito Benetoli	
Nito Angelo Debacher	
DOI 10.22533/at.ed.3602021058	
CAPÍTULO 9	98
ÓXIDOS DO TIPO PEROVSKITA $\text{Nd}_{0,95}\text{FeO}_3$ E $\text{Nd}_{0,95}\text{CrO}_3$ PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE ATRAVÉS DA OXIDAÇÃO PARCIAL DO METANO	
Karina Tamião de Campos Roseno	
Rodrigo Brackmann	
Rita Maria de Brito Alves	
Reinaldo Giudici	
Martin Schmal	
DOI 10.22533/at.ed.3602021059	
CAPÍTULO 10	107
PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO BAGAÇO DE SORGO BIOMASSA	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Charles Nunes de Lima	
Fernanda Maria da Silva Costa	
Érik Ramos da Silva de Oliveira	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.36020210510	
CAPÍTULO 11	118
UTILIZAÇÃO DAS CINZAS PESADAS DE TERMOELÉTRICA COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON PARA REMOÇÃO DE CORANTE TÊXTIL EM EFLUENTE AQUOSO	
Fernanda Caroline Drumm	
Patrícia Grassi	
Jivago Schumacher de Oliveira	
Julia da Silveira Salla	
Sérgio Luiz Jahn	
Edson Luiz Foletto	
DOI 10.22533/at.ed.36020210511	

CAPÍTULO 12 128

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA SELEÇÃO DE UM CULTIVAR DE SORGO SACARINO NO ESTADO DE MATO GROSSO

Cristian Jacques Bolner de Lima
Fernanda Maria da Silva Costa
Érik Ramos da Silva de Oliveira
Francieli Fernandes
Charles Souza da Silva
Juniele Gonçalves Amador
Monique Virões Barbosa dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.36020210512

CAPÍTULO 13 141

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETE) DA UFRN

Oscar Eduardo Reyes Cavalcanti
Ana Beatriz de Gois Lima
Thalita Gomes Ferreira
Nathalia Souza Teixeira
Rosangela Dala Possa
Leila Maria Aguilera Campos
Maritza Montoya Urbina
Adriano Santos de Sousa
Luciene Santos de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.36020210513

CAPÍTULO 14 154

REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM NAFTALENO: ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS HOMOGÊNEO E HETEROGÊNEO

Vivian Maria de Arruda Magalhães
Gabriela Paupitz Mendes
Rayanne Macêdo Aranha
Oswaldo Chiavone Filho
Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna

DOI 10.22533/at.ed.36020210514

CAPÍTULO 15 170

SISTEMA AQUOSO BIFÁSICO: CONCEITOS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES NA PARTIÇÃO DE ÍONS METÁLICOS

Ednilton Moreira Gama
Roberta Pereira Matos
Guilherme Dias Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.36020210515

CAPÍTULO 16 179

UTILIZAÇÃO DE ANALOGIAS E ATIVIDADES CONTEXTUALIZADAS: UMA PERSPECTIVA DE APRIMORAMENTO DE COMPETÊNCIAS PARA O ENSINO DE POLÍMEROS

Amanda Rebelo de Azevedo
Vinicius Fernandes Moreira

DOI 10.22533/at.ed.36020210516

CAPÍTULO 17 201

PRODUÇÃO DE SABÃO UTILIZANDO ÓLEO RESIDUAL ORIUNDO DE PROCESSAMENTO DE MÁQUINAS DE FRANGO

Gisele Carvalho Conceição
Thayssa Sales Cardoso
Diego Ribeiro Nunes
Ronald Almeida dos Santos
Sérgio Vinicius Machado dos Santos
Emanoel Oliveira de Aviz
Arlesson Pereira da Silva
Ronald Vieira Garcia
Josiney Farias de Araújo
Simonny do Carmo Simões Rolo de Deus
Ricardo Jorge Amorim de Deus
Manolo Cleiton Costa de Freitas
Leandro Marques Correia

DOI 10.22533/at.ed.36020210517

CAPÍTULO 18 221

ANÁLISE COMPLEXOMÉTRICA DE ALUMÍNIO EM ARROZ COZIDO EM PANEAS DE ALUMÍNIO E/OU INOX, EM RESTAURANTES DE SÃO LUÍS – MA

Elis Cristina de Sousa Ferreira
Ricardo Santos Silva
Anna Karolyne Lages Leal
Raissa Soares Penha Ferreira
Maria do Socorro Nahuz Lourenço

DOI 10.22533/at.ed.36020210518

CAPÍTULO 19 231

A PRIMEIRA MODELAGEM MOLECULAR POR HOMOLOGIA DA PROTEÍNA VP4 DO VÍRUS CHANGUINOLA

Bruno Rafael Costa Guimarães
Raul Alexandre Maciel Campos
Jânio di Paula Cavalleiro de Macêdo dos Santos
Adriano Santos da Rocha
Alan Sena Pinheiro
Jorddy Neves Cruz
Sandro Patroca da Silva
Davi Henrique Trindade Amador
Miguel Braga
Renato Araújo da Costa
Elaine Cristina Medeiros da Rocha
João Augusto Pereira da Rocha

DOI 10.22533/at.ed.36020210519

CAPÍTULO 20 249

POESIA COMO SIGNO ARTÍSTICO EM AULAS DE QUÍMICA

Elaine da Silva Ramos
Carlos Eduardo Laburú

DOI 10.22533/at.ed.36020210520

CAPÍTULO 21 261

ALBERTO MAGNO IN CHEMICAL TEACHING: THE COMICS AS A LEARNING METHOD

Ednalva Dantas Rodrigues da Silva Duarte
Ismael Montero Fernández

Cecilia Araujo

DOI 10.22533/at.ed.36020210521

CAPÍTULO 22 269

ESTUDO QUÍMICO DE PINTURAS RUPESTRES DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO TOCA DA BAIXA DO CAJUEIRO POR FRX PORTÁTIL E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO

Maria Conceição Soares Meneses Lage

Wilkins Oliveira de Barros

Ismin Maria Rodrigues de Sales Vieira

Anibal Gustavo Sousa Oliveira

Andressa Carvalho Lima

Benedito Batista Farias Filho

DOI 10.22533/at.ed.36020210522

SOBRE A ORGANIZADORA..... 281

ÍNDICE REMISSIVO 282

COMPORTAMENTO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS EM SUBSUPERFÍCIE

Data de aceite: 04/05/2020

Data para submissão: 12/02/2020

Vivian Maria de Arruda Magalhães

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal – RN

<http://lattes.cnpq.br/2110588393272063>

Oswaldo Chivovone Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal – RN

<http://lattes.cnpq.br/2621516646153655>

Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna

Universidade de São Paulo
São Paulo – SP

<http://lattes.cnpq.br/0798435300280612>

RESUMO: A preocupação com a poluição ambiental vem crescendo ao longo dos anos, especialmente entre especialistas da área. Os contaminantes podem ser transportados entre os diferentes compartimentos ambientais, podendo permanecer sorvidos no solo, dissolvidos nas águas subterrâneas e superficiais, ou presentes na fase vapor. A distribuição dos contaminantes entre as fases é determinada por suas propriedades, como solubilidade, densidade, viscosidade e pressão de vapor; pelas características de adsorção do

solo; e pela degradação dos contaminantes. A tendência de um contaminante particionar de uma fase para outra pode ser descrita por coeficientes de partição, como coeficiente de distribuição, solubilidade e constante de Henry. No meio subterrâneo, até cinco fases distintas podem ser formadas: fases separadas, subdivididas em livre e residual, fase vapor, fase dissolvida e fase sorvida. A remoção ou tratamento de áreas contaminadas por poluentes orgânicos é especialmente urgente, devido à elevada toxicidade e persistência no meio desses compostos. Para isso, é de grande importante que haja um entendimento prévio das características e propriedades do meio e dos contaminantes para uma melhor compreensão da distribuição nas diferentes fases, considerando ainda que esses particionamentos variam com o tempo devido à dinâmica do processo e a necessidade em reestabelecer o equilíbrio. Assim, este capítulo apresenta conceitos sobre solo, contaminantes orgânicos, com ênfase nos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, e seus mecanismos de partição em subsuperfície, apresentando os fenômenos que regem a distribuição entre as fases.

PALAVRAS-CHAVE: Solo contaminado; Mecanismos de partição; NAPL; HPAs; Fase dissolvida.

ABSTRACT: Concern about environmental pollution has grown over the years, especially among specialists in the environmental field. Contaminants can be transported between different environmental compartments, and can remain sorbed in the soil, dissolved in ground and surface water, or present in the vapor phase. The contaminants distribution between the phases is determined by their properties, such as solubility, density, viscosity and vapor pressure; by the soil sorption characteristics; and by the degradation of contaminants. The tendency for a contaminant to partition from one phase to another can be described by partition coefficients, such as the distribution coefficient, solubility and Henry constant. In the underground environment, up to five distinct phases can be formed: separate phases, subdivided into free and residual phases, vapor phase, dissolved phase and sorbed phase. The removal or treatment of contaminated areas by organic pollutants is especially urgent, due to their high toxicity and persistence in the environment. For this, a prior understanding of the characteristics and properties of the environment and of the contaminants is extremely important for a better understanding of the contaminants distribution in the different phases, considering that these partitions vary with time due to the dynamics of the process and the need to restore the equilibrium. Thus, this chapter presents concepts about soil, organic contaminants, focusing on polycyclic aromatic hydrocarbons, and the subsurface partition mechanisms, presenting the phenomena that govern the phase distribution.

KEYWORDS: Contaminated soil; Partitioning mechanism; NAPL; PAHs; Dissolved phase.

1 | INTRODUÇÃO

O solo foi considerado o “biomaterial mais complexo do planeta”, atuando como habitat de organismos vivos, fonte e reciclador de nutrientes, mediador de carbono e regulador hidrológico da qualidade e quantidade da água, sendo muito importante para a vida no planeta (DUARTE; MATOS; SENESI, 2018)2004.

A contaminação do solo é um problema atual e vêm sendo bastante discutido entre especialistas da área ambiental. O solo pode ser considerado uma fonte secundária de contaminação, em menor escala, visto que os contaminantes podem ser transportados entre os compartimentos ambientais, propagando-se pelo ar, águas subterrâneas e superficiais, aumentando os riscos envolvidos (SUN et al., 2018). Logo, a remoção ou tratamento do solo contaminado por poluentes orgânicos é especialmente urgente.

Nos últimos anos, as intensas atividades industriais foram prejudiciais ao meio ambiente, originando diversos locais contaminados. A composição de poluentes

no ambiente vem mudando com o desenvolvimento das indústrias e o absentismo do homem em relação a essas questões ambientais, não aplicando medidas adequadas de proteção ambiental, levando conseqüentemente a um aumento de áreas contaminadas. Em certos casos, podem se tornar economicamente inúteis, inviáveis à prática da agricultura e construção de moradias, devido aos riscos à saúde dos organismos vivos.

Assim, com o rápido crescimento econômico induzindo os homens a provocar distúrbios, intencional ou não intencionalmente, no meio ambiente, os solos estão sujeitos a graus variados de contaminação por diferentes tipos de poluentes. Atualmente, os poluentes mais frequentes em contaminações são provenientes de resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos, acidentes ou vazamentos de óleo, agrotóxicos, fármacos e metais pesados, podendo atingir níveis altos de concentrações, suficientes para provocar efeitos tóxicos, causando danos aos seres vivos (VODYANITSKII; KIRILOVA, 2015).

De acordo com o Banco de Dados Nacional de Áreas Contaminadas, criado pelo CONAMA, dentre os 27 estados brasileiros, apenas São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro aplicam o gerenciamento de áreas contaminadas. E, com base em relatórios de áreas contaminadas e reabilitadas, 6.110 áreas foram registradas em São Paulo (CETESB, 2018), 662 áreas em Minas Gerais (FEAM, 2018) e 328 áreas no Rio de Janeiro (INEA, 2015), em que a maior proporção de contaminação nos três estados ocorre por postos de combustíveis. São Paulo destaca-se como o estado com maior número de postos de combustíveis, os quais são responsáveis por 72% das áreas contaminadas no estado (CETESB, 2018).

A cidade de Natal, no Rio Grande do Norte, possui a água subterrânea como principal fonte de abastecimento de água da população, contribuindo com mais de 70% do abastecimento. Além disso, o sistema hídrico subterrâneo da cidade é formado por um sistema hidráulico único, tornando o aquífero complexo e indiferenciado, dificultando o controle de qualidade do aquífero em relação a potabilidade da água (DIAS, 2012).

A partir de um levantamento realizado em 2009 acerca da regularidade de postos de combustíveis na cidade de Natal, foram identificados 110 postos de combustíveis em funcionamento, o que corresponde a 473 tanques, e apenas 26% dos tanques seguiam as normas técnicas correspondentes. Entre as irregularidades, muitos postos funcionavam com tanques com idade superior a 20 anos, tanques muito antigos, mais propensos a vazamentos (DIAS, 2012). Portanto, apesar de não haver um gerenciamento de áreas contaminadas na cidade de Natal, pode-se observar através dos dados apresentados que a contaminação por postos de combustíveis é uma problemática da cidade, que afeta fortemente também outros estados do Brasil, como São Paulo.

A própria Resolução 273/2000 do CONAMA, que estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços, comenta sobre um aumento significativo em vazamentos em tanques de combustíveis nos últimos anos devido à manutenção inadequada ou insuficiente, da obsolescência do sistema e equipamentos, da falta de treinamento de pessoal, e da ausência e/ou uso inadequado de sistemas confiáveis para a detecção de vazamento (CONAMA, 2000).

Postos de combustíveis são considerados fontes potenciais de contaminação, devido ao grande número de incidentes envolvendo derivados de petróleo e outros combustíveis, com substâncias perigosas presentes em óleo diesel e gasolina, podendo atingir água subterrânea, solo e ar. A gasolina possui menor viscosidade, sendo constituída por hidrocarbonetos mais leves, mais solúveis e voláteis. Já o diesel é composto por hidrocarbonetos mais pesados, com menor solubilidade e volatilidade, o que torna mais difícil o tratamento por sua contaminação (OH; SHIN, 2014).

Entre os contaminantes presentes na combustão do diesel e gasolina estão os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), os quais podem ser originados ainda a partir de fontes como a queima de carvão e madeira, fotocopiadoras, exaustão oriunda de incineração de rejeitos, fumaça do cigarro, além de vários processos industriais, como a produção de alumínio e a gaseificação do coque. Os HPAs correspondem a uma classe de poluentes orgânicos composta por anéis aromáticos fundidos com alta toxicidade, efeitos cancerígenos e persistência no meio ambiente (FERRARESE; ANDREOTTOLA; OPREA, 2008; WEI et al., 2014).

Em geral, os HPAs representam ainda cerca de 85% da composição total do creosoto, uma mistura complexa de óleo pesado formado por até 200 compostos orgânicos em baixas concentrações, muito usado como preservativo de madeiras. A contaminação por creosoto é um problema global, inclusive no Brasil, e está associada a usinas de gás manufaturadas, plantas de preservação de madeira e obras de destilação de alcatrão (FORSEY, 2004).

A avaliação da contaminação em áreas contaminadas por poluentes orgânicos requer planos de pesquisa multidisciplinares. Trata-se de uma tarefa desafiadora, a compreensão da distribuição espacial e temporal da contaminação, a quantificação e o mapeamento da área, as formas de ligação e a acessibilidade dos poluentes orgânicos no solo.

2 | SOLO

O solo é um produto do intemperismo das rochas formado ao longo de milhares de anos. Constituído por minerais e componentes orgânicos, que compõem a parte

sólida, além da fase fluida representada por líquidos e gases que preenchem os espaços porosos, habitado por organismos vivos. Os intemperismos ocorrem por um conjunto de processos químicos, físicos e biológicos que promovem constantes modificações na natureza. Esses processos dependem de fatores como material de origem, clima, relevo, organismos e tempo de exposição, sendo estes responsáveis pelas características e propriedades físicas, químicas e físico-químicas de cada formação. Assim, o solo é um material muito heterogêneo em constante alteração, sendo considerado um sistema dinâmico, multifásico e complexo (ABNT, 1995; BRAGATO, 2006; EMBRAPA, 2006). Braga et al. (2006) apresentam, em termos médios, a seguinte proporção para os componentes do solo: 45% de minerais, 5% de matéria orgânica, 25% de água e 25% de ar (BRAGA et al., 2006).

A fração inorgânica é representada pelos minerais constituintes do material de origem do solo e dos minerais formados durante os processos de intemperismo, enquanto a matéria orgânica é proveniente da decomposição de animais e vegetais, fragmentos de carvão, biomassa meso e microbiana, além dos compostos orgânicos naturais do solo, que podem estar associados aos minerais. Solos em maior profundidade apresentam menor teor de matéria orgânica e menor quantidade de microrganismos, pois encontram-se mais distantes do local onde ocorrem os processos de decomposição (BRAGATO, 2006).

As propriedades físicas e químicas do solo são muito importantes para um melhor entendimento do comportamento de diferentes substâncias no meio. As propriedades físicas do solo, como textura, estrutura, densidade, porosidade e permeabilidade, estão diretamente relacionadas à dissipação da pluma de contaminação e mecanismos de atenuação natural dos poluentes. As propriedades químicas do solo, principalmente pH, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica, têm grande influência nos processos de contaminação e atenuação dos poluentes no meio (CETESB, 2019).

O tamanho das partículas do solo, dependente do processo geológico de formação, permite a classificação da textura dos solos baseada no diâmetro da partícula, o qual pode ser determinado em análises granulométricas através de ensaios de peneiramento e sedimentação. De acordo com o sistema de classificação de solos fornecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6502 (ABNT, 1995), as partículas sólidas estão divididas com base no diâmetro das partículas nas seguintes categorias: argila (inferior a 0,002 mm), silte (entre 0,002 e 0,06 mm), areia (entre 0,06 e 2 mm), pedregulho (entre 2 e 60 mm), pedra (entre 60 e 200 mm) e matacão (superior a 200 mm).

A textura do solo pode apresentar diferentes proporções de areia, silte e argila. Solos arenosos possuem grande capacidade de absorção de água e baixa capacidade de troca catiônica e não apresentam coesão e plasticidade. Solos

siltosos apresentam pouca plasticidade, baixa capacidade de troca catiônica e ligeira coesão. Os solos argilosos caracterizam-se pela presença de coesão, plasticidade, elevada capacidade de troca catiônica e, no geral, possuem baixa permeabilidade e pouca aeração.

A estrutura está relacionada ao arranjo entre partículas e vazios, podendo ser avaliada por meio da densidade, macro e microporosidade, resistência à penetração, permeabilidade, entre outros. A densidade é definida pela relação entre a massa de solo seco e o volume total, ocupado pelas partículas e poros. A porosidade é representada por espaços entre e dentro dos agregados, os quais são ocupados por água ou ar, e divide-se em: microporosidade, composta por espaços menores (microporos – diâmetro menor que 0,05 mm) relacionados à retenção e armazenamento da água no solo por capilaridade; e macroporosidade, composta por poros maiores (macroporos – diâmetro maior que 0,05 mm) que permitem a passagem da água por ação da gravidade, sendo responsáveis pela drenagem e aeração. A permeabilidade está relacionada a capacidade de escoamento da água através da conexão entre os poros do solo, sendo uma propriedade dependente, por exemplo, da temperatura, estrutura do solo, do grau de saturação e índice de vazios. Pode ser medida pela condutividade hidráulica do meio através da Lei de Darcy (WEIL; BRADY, 2016).

O pH refere-se à quantidade de íons H^+ existentes no solo e é um dos fatores mais importantes na indicação da qualidade do solo e na avaliação e aplicação de processos de remediação de meios contaminados, devido à sua grande influência na disposição de elementos químicos, favorecendo ou não a liberação dos elementos e a reatividade (EMBRAPA, 2010).

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo representa a quantidade de cátions trocáveis ligadas à superfície do material. As partículas de solo possuem cargas negativas e a CTC refere-se à quantidade de cátions e moléculas polarizadas atraídos e que podem se ligar ao material de forma reversível. Assim, a CTC é calculada pela soma dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , Al^{3+}) em relação a massa de amostra seca (CETESB, 2019; EMBRAPA, 2010).

Quanto à classificação pelo teor de óxidos de ferro, o solo pode ser separado em: hipoférrico, solos com baixo teor de óxidos de ferro, teor menor que 80 g/kg; mesoférrico, com médio teor, variando de 80 a 180 g/kg; férrico, solos com alto teor, variando de 180 a 360 g/kg; ou perférrico, solos com teor muito alto, maior que 360 g/kg (EMBRAPA, 2006).

3 | CONTAMINANTES ORGÂNICOS

Os poluentes orgânicos são divididos em classes, sendo os mais frequentemente encontrados no solo os hidrocarbonetos de óleos (como alcanos, cicloalcanos, alcenos), clorados, hidrocarbonetos monoaromáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), pesticidas e seus produtos de degradação. A ocorrência global e os efeitos adversos dos poluentes orgânicos ocasionaram uma crescente preocupação, pois alguns são considerados tóxicos, persistentes e bioacumuláveis, podendo ser transportados por longas distâncias (DUARTE; MATOS; SENESI, 2018; SUN et al., 2018). O avanço das técnicas analíticas, como cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GCMS), contribuiu para a identificação e quantificação de concentrações baixas de uma grande variedade de poluentes orgânicos, especialmente no solo.

Ainda assim, faz-se necessário o aprimoramento de metodologias analíticas avançadas para solucionar algumas dificuldades ainda existentes, como: detecção de concentrações em amostras de solo extremamente baixas; extração eficiente para remoção dos poluentes do solo, devido à força de suas interações com os componentes orgânicos e inorgânicos do solo; poluentes com propriedades químicas muito diferentes; falta de padrões analíticos que possibilitem a quantificação, pois alguns poluentes orgânicos e produtos de degradação ainda não podem ser quantificados (DUARTE; MATOS; SENESI, 2018).

Os HPAs são um grupo de compostos formados pela fusão de dois ou mais anéis aromáticos, obtidos a partir da combustão incompleta de praticamente toda matéria orgânica, como carvão, petróleo, gás, madeira, lixo ou outras substâncias orgânicas como tabaco e carne grelhada (ATSDR, 1995). São considerados contaminantes persistentes e pouco disponíveis no meio, pois podem estar fortemente ligados à matriz do solo, pelos constituintes orgânicos e minerais. Aproximadamente 130 HPAs já foram identificados, entre os quais 16 são classificados como poluentes prioritários pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US EPA), os quais estão presentes na Figura 1 (SHIH et al., 2016; YAN et al., 2004).

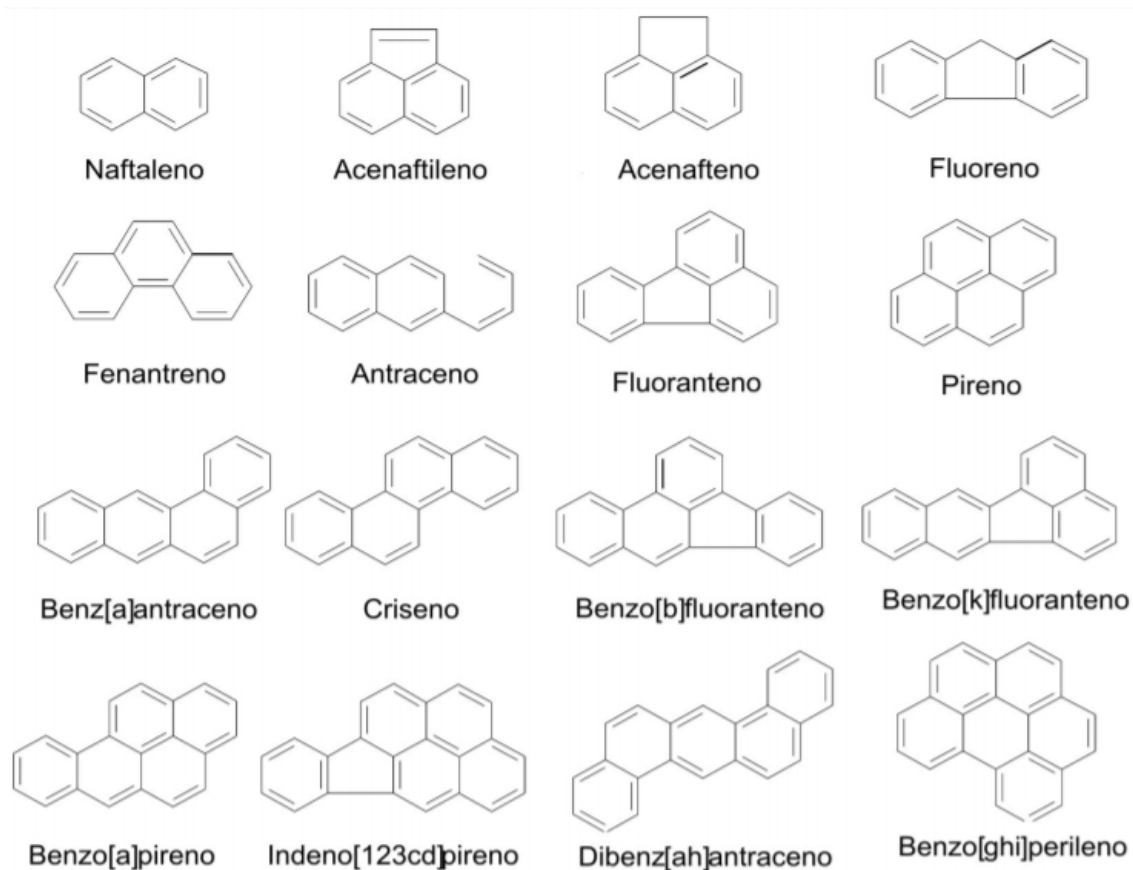


Figura 1. Estrutura e nomenclatura dos 16 HPAs listados como poluentes prioritários pela US EPA.

Os HPAs geralmente ocorrem naturalmente em misturas complexas, não como compostos individuais. Em sua forma individual pura, na maioria das vezes, aparecem como sólidos incolores, brancos ou levemente verde-amarelo, com odor suave e agradável. Podem ser usados em medicamentos, na fabricação de corantes, plásticos e pesticidas, ou ainda podem estar contidos no asfalto, carvão, petróleo bruto, creosoto e alcatrão de hulha. Podem ocorrer em todos os compartimentos ambientais: ar, água e solo (ATSDR, 1995).

Os HPAs são caracterizados por possuírem alta hidrofobicidade, conseqüentemente, essas espécies tendem a ficar sorvidas no solo (KUEPER et al., 2003; RIVAS, 2006; SUN et al., 2018). Em termos gerais, os parâmetros que mais influenciam a sorção dos HPAs no solo são a solubilidade dos diferentes compostos e a fração orgânica do solo. Porém, outros fatores potenciais também exercem alguma influência na sorção devido a interferência na solubilidade de compostos aromáticos, como: temperatura, salinidade ou presença de matéria orgânica dissolvida (RIVAS, 2006).

O fenômeno conhecido por “sequestro” está intimamente relacionado ao processo de sorção. Trata-se de um estágio de envelhecimento, no qual há um fortalecimento da sorção das substâncias hidrofóbicas ao longo do tempo, apresentando assim menor disponibilidade à extração química e biorremediação.

Fisicamente, esse processo consiste na interação das substâncias sorvidas com a matéria orgânica condensada e com microporos inacessíveis presentes no geossorvente (RIVAS, 2006).

O solo ainda é capaz de sorver compostos apolares, como os HPAs, na superfície dos minerais por forças de Van der Waals (WATTS; LOGE; TEEL, 2006). Sui et al. (2016) observaram interações por adsorção entre os HPAs e a superfície interior de nanoporos de sílica decorrente predominantemente de forças de Van der Waals (SUI et al., 2016). Lion (1990) confirma que o solo com baixo teor de carbono orgânico (teor de carbono fracionário menor que 0,001) é suficiente para dominar a partição de fenantreno, usado como modelo de HPA no estudo, e provavelmente causar um impedimento cinético à sua retirada do solo (LION, 1990).

Segundo Sui et al. (2016), é possível acontecer uma competição à adsorção entre os compostos HPAs numa mistura, podendo estar associados às suas concentrações relativas. Em seu estudo, observaram uma competição entre fenantreno e pireno, que foi atribuída à semelhança entre as propriedades físico-químicas desses compostos. De acordo com Yuan et al. (2010) e Cornelissen et al. (2005), a adsorção de HPAs no solo geralmente ocorre em duas etapas: a primeira envolvendo adsorção não competitiva, onde os HPAs ocupam rapidamente alguns locais de adsorção hidrofóbica facilmente acessíveis; e a segunda etapa envolvendo adsorção competitiva, onde os HPAs ocupam os locais mais difíceis de alcançar, como microporos (CORNELISSEN et al., 2005; YUAN et al., 2010).

Alguns HPAs podem evaporar da superfície dos sólidos diretamente para o ar (ATSDR, 1995). Um estudo de transferência de HPAs entre ar e solo apresentado por Sun et al. (2018) mostrou que os compostos de menor massa molecular eram mais facilmente volatilizados a partir do solo, enquanto os de maior massa molecular foram mais facilmente adsorvidos pelo solo, devido à maior hidrofobicidade, e exibiram uma deposição líquida da atmosfera, menor tendência a volatilização (SUN et al., 2018). Além disso, observou-se que a umidade do solo poderia acelerar a volatilização dos HPAs do solo. Mendes et al. (2019) avaliaram a distribuição do naftaleno e a redução de massa no sólido, líquido e vapor através do balanço de massa. O monitoramento de cada fase permitiu a avaliação das variabilidades ao longo do processo, demonstrando a importância de avaliar a presença de compostos orgânicos semi-voláteis e voláteis na fase vapor durante a remediação, para que haja maior controle do sistema.

Os HPAs são considerados o grupo mais amplamente distribuído de agentes com potencial de causar câncer em humanos presentes no ambiente, sendo vários deles classificados como cancerígenos por diversas agências internacionais. Nos sistemas aquáticos, a toxicidade desses compostos aumenta com o aumento do peso molecular, e a bioacumulação tende a ser rápida (RIVAS, 2006). Além disso,

verificou-se que os HPAs alteram a abundância de genes funcionais nos solos, e são capazes de danificar as defesas antioxidantes enzimáticas e não enzimáticas e prejudicar a saúde humana (SUN et al., 2018).

O Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos (DHHS) determinou que o benz(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(j)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenz(a, h)antraceno e indeno(1,2,3-c,d)pireno são cancerígenos em animais. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), da Organização Mundial de Saúde das Nações Unidas, determinou que: benz(a)antraceno e benzo(a)pireno provavelmente são cancerígenos para os seres humanos; benzo(b)fluoranteno, benzo(j)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno e indeno(1,2,3-c,d)pireno são possivelmente carcinogênicos para os seres humanos; e antraceno, benzo(g, h, i)perileno, benzo(e)pireno, criseno, fluoranteno, fluoreno, fenantreno e pireno não são classificáveis quanto à sua carcinogenicidade para seres humanos. A US EPA determinou que benz(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenz(a, h)antraceno e indeno(1,2,3-c,d)pireno são prováveis agentes cancerígenos humanos e que o acenafileno, antraceno, benzo(g, h, i)perileno, fluoranteno, fluoreno, fenantreno e pireno não são classificáveis quanto à carcinogenicidade humana. O acetafeno não foi classificado para efeitos carcinogênicos pelo DHHS, IARC ou US EPA (ATSDR, 1995).

4 | FASE OLEOSA: LNAPL E DNAPL EM SUBSUPERFÍCIE

Fase líquida não aquosa (NAPL, do inglês *nonaqueous phase liquid*) é um termo usado para representar a fase oleosa, formada por compostos orgânicos com baixa solubilidade em água. As diferenças físicas e químicas entre um NAPL e a água resultam em uma interface física entre os componentes da mistura, uma superfície divisória física entre as fases, devido à imiscibilidade (HULING; WEAVER, 1991).

Os NAPLs foram divididos em duas categorias gerais de acordo com a densidade do líquido em relação a água: DNAPL (do inglês, *dense nonaqueous phase liquid*), que representa a fase oleosa mais densa que a água; e LNAPL (do inglês, *light nonaqueous phase liquid*), que representa a fase oleosa menos densa que a água (HULING; WEAVER, 1991).

Os NAPLs podem aparecer no meio subterrâneo em até cinco fases distintas: fase separada ou NAPL, subdividida em fases livre e residual, fase vapor, fase dissolvida e fase sorvida. É possível acontecer partições frequentemente entre as fases devido à dinâmica do processo e a necessidade em reestabelecer o equilíbrio. A distribuição dos contaminantes entre as fases é determinada por suas propriedades, como solubilidade, densidade, viscosidade e pressão de vapor; pelas

características de sorção do solo; e pela degradação dos contaminantes.

A fase residual ocorre em resposta a instabilidades hidrodinâmicas na escala de poros e será formada tanto em meios insaturados (camada acima do nível d'água) quanto em meios saturados. O NAPL residual é considerado como uma fase separada sem mobilidade, em que o óleo permanece retido nos poros por forças capilares, na forma de gânglios (Figura 2) (KUEPER et al., 2003).

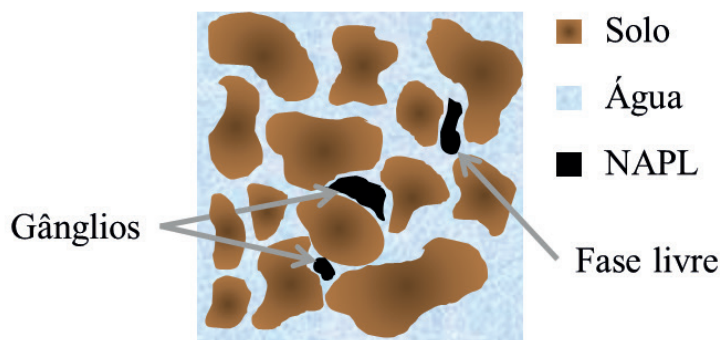


Figura 2. NAPL em fase livre e em fase residual, retido nos poros na forma de gânglio.

Fonte: Autoria própria.

Os compostos da mistura quando estão acima da solubilidade efetiva atingem grandes acúmulos e são denominados como fase livre ou próprio NAPL. Porém, diferente da fase residual, a fase livre é relativamente fácil de se mobilizar, ocupando poros interligados formando um corpo contínuo (Figura 2). As fases livre e residual são consideradas como fase separada ou imiscível e representam fonte de contaminação primária (KUEPER et al., 2003).

As gotículas de NAPL, tanto pela fase livre como pela fase residual, são expostas ao ar e à água na zona insaturada ou zona vadosa, que é a camada acima do lençol freático, permitindo a vaporização na fase do ar através das interfaces NAPL-ar, formando a fase vapor, e a solubilização na água nas interfaces NAPL-água, formando a fase dissolvida, também presente na zona saturada, camada abaixo do lençol freático. Os contaminantes podem ainda ser solubilizados nas interfaces ar-água, processo conhecido por volatilização. A fase dissolvida é capaz de promover o transporte dos contaminantes por longas distâncias (KUEPER et al., 2003). A fase sorvida é formada a partir da fase dissolvida pela interação com o material geológico, tanto pela fração inorgânica quanto pela fração orgânica do solo, assim não possui mobilidade no meio.

Após a liberação na superfície, o NAPL migrará vertical e lateralmente na subsuperfície, governado pela gravidade, fluatibilidade e forças capilares. No caso do LNAPL (Figura 3), o espalhamento ocorre até atingir uma camada de condutividade hidráulica muito baixa (pouco permeável) ou o nível do lençol freático. Enquanto

para o DNAPL, o espalhamento ocorre por longas profundidades até atingir uma camada com condutividade hidráulica muito baixa ou impermeável, sendo capaz de ultrapassar o lençol freático (Figura 4).

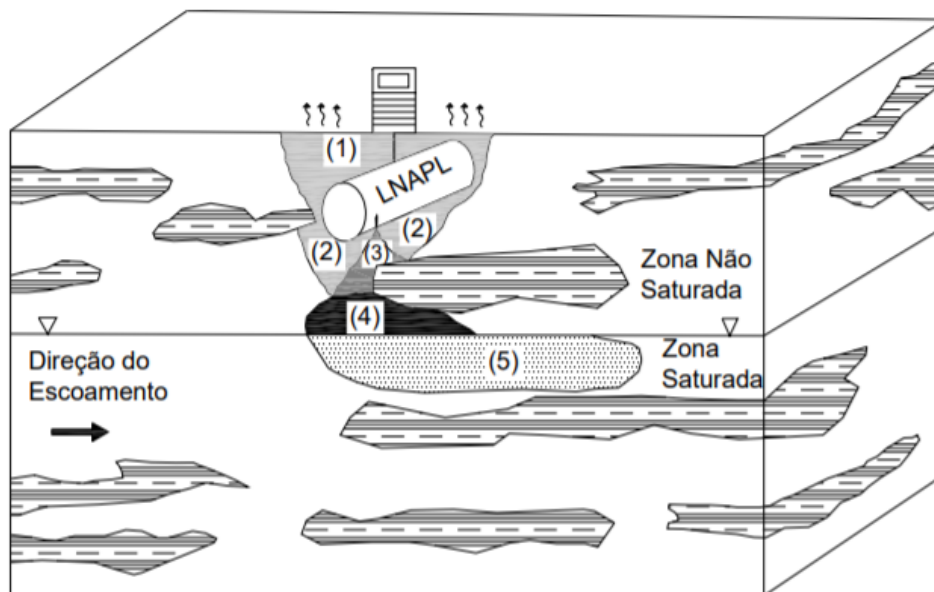


Figura 3. Representação de contaminação por LNAPL em subsuperfície, com as fases: (1) vapor, (2) adsorvida, (3) residual, (4) livre e (5) dissolvida.

Fonte: Penner (2005).

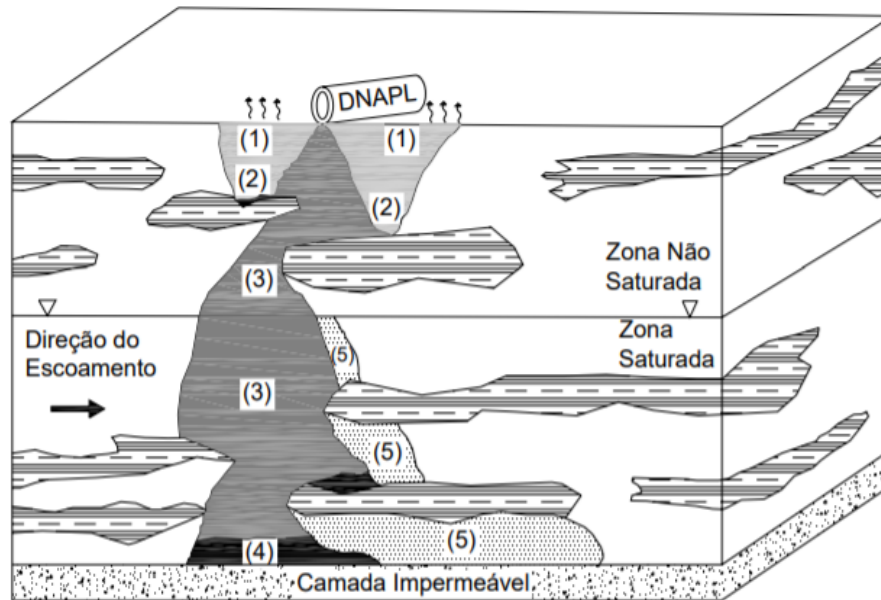


Figura 4. Representação de contaminação por DNAPL em subsuperfície, com as fases: (1) vapor, (2) adsorvida, (3) residual, (4) livre e (5) dissolvida.

Fonte: Penner (2005).

Em geral, quando o NAPL é formado por apenas um composto é chamado de NAPL de único componente, por exemplo o tetracloroetano, que é usado como fluido de limpeza a seco. Já os NAPLs de múltiplos componentes, normalmente

encontrados no meio, são formados por dois ou mais compostos químicos. Misturas como gasolina, diesel e querosene de aviação fazem parte da classe dos LNAPLs. Os DNAPLs são representados por misturas como creosoto, alcatrão de hulha, óleos de bifenilas policloraradas e solventes clorados. As propriedades físico-químicas do DNAPL podem variar fortemente de uma área contaminada para outra de acordo com o uso e do histórico da área (KUEPER et al., 2003).

5 | GEOQUÍMICA DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS: MECANISMOS DE PARTIÇÃO

Os contaminantes presentes na mistura NAPL podem particionar entre as fases dissolvida (presente na água), sorvida (interagindo com solo), vapor e separada ou NAPL, na forma livre ou residual, conforme a Figura 5. Por exemplo, os compostos do NAPL podem se dissolver durante o contato com a água subterrânea, ou adsorver em uma superfície sólida com subseqüentemente dessorção em água subterrânea. A tendência de um contaminante particionar de uma fase para outra pode ser descrita por coeficientes de partição, como a constante da Lei de Henry para partição entre água e vapor. Os coeficientes de partição empíricos dependem das propriedades do meio subterrâneo e do NAPL. A compreensão acerca da distribuição de fases dos contaminantes é importante para aplicação das medidas corretivas do meio, considerando ainda que esse particionamento não é estático, varia com o tempo devido a ações corretivas e processos naturais (NEWELL et al., 1995).

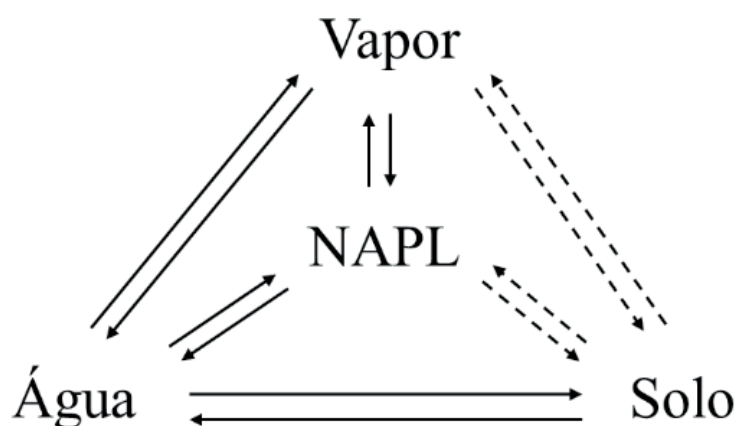


Figura 5. Particionamento do NAPL entre as quatro fases.

Fonte: Adaptado de NEWELL et al. (1995).

5.1 Sorção: fase dissolvida ↔ fase sorvida

O processo de interação entre os contaminantes e o material sólido do aquífero é definido pelo fenômeno de sorção, termo genérico que não considera a natureza do processo. A principal via de transferência para a fase sólida ocorre a partir da

fase dissolvida. Inúmeros parâmetros afetam o grau de sorção dos contaminantes, incluindo solubilidade, polaridade, carga iônica, pH, potencial redox, coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}), além das características do material geológico (NEWELL et al., 1995).

A sorção pode ser classificada principalmente como adsorção e absorção. Adsorção é um fenômeno de superfície que se refere à interação dos componentes na superfície real da matéria sólida, tanto com a matéria orgânica quanto com o mineral, por forças de atração resultantes de cargas desequilibradas. Essas ligações podem estar relacionadas a forças relativamente fracas de curta distância, como Van der Waals, ou forças de longa distância, como forças eletrostáticas. A adsorção é apenas um dos mecanismos de retenção de substâncias orgânicas (FERREIRA, 2010).

A absorção é um fenômeno volumétrico relacionado à difusão dos contaminantes no espaço poroso dos grãos do solo. Nesse caso, a interação com a matéria orgânica do solo funciona como meio solubilizante capturando os contaminantes da água, fenômeno que pode ser expresso pelo coeficiente de partição octanol/água (FERREIRA, 2010).

O fenômeno de sorção causa um retardamento no transporte dos contaminantes no aquífero, fazendo com que suas taxas de migração sejam menores que a velocidade de escoamento da água subterrânea (AATDF, 1997). A razão entre a velocidade da água subterrânea e a velocidade do contaminante pode ser caracterizada pelo fator de retardo ou coeficiente de retardamento (R_F), parâmetro que descreve a interação entre o contaminante e o solo, sendo, portanto, um valor adimensional específico do local, estimado através da Equação 1.

$$R_F = 1 + (\rho_{\text{solo}}/n)K_D \quad \text{Equação 1}$$

Em que ρ_{solo} é o peso específico do solo seco, n é a porosidade do solo e K_D é o coeficiente de distribuição.

O K_D é função das propriedades do solo e da mistura de contaminantes. Ensaio em coluna e escala piloto devem ser realizados para obtenção de valores precisos de K_D , porém esse valor é frequentemente aproximado através da Equação 2 para os casos em que a fração orgânica é maior que 0,1%. O K_{OC} é o coeficiente de partição de carbono orgânico e f_{OC} é a fração de carbono orgânico do solo. O K_{OC} pode ser estimado por relações empíricas em função do K_{ow} (coeficiente de partição octanol/água) ou da solubilidade do composto. Quanto maior o K_{ow} , e conseqüentemente maior K_{OC} e K_D , maior a tendência do contaminante interagir com o material geológico, causando um maior retardamento da pluma de contaminação.

$$K_D = f_{OC} K_{OC} \quad \text{Equação 2}$$

A sorção dos compostos orgânicos no solo pode ocorrer em situações amenas ou reversíveis, sendo quimicamente extraíveis, e outras resistentes, sob forte sorção. Mesmo nos casos reversíveis, as espécies hidrofóbicas podem migrar para regiões menos acessíveis das partículas e para a matéria orgânica condensada, dificultando a dessorção, após certo tempo de contato com o solo, fenômeno conhecido por “sequestro”. Assim, quanto maior o tempo de contaminação do solo menor a capacidade de dessorção (FERREIRA, 2010; RIVAS, 2006). Durante esse processo, as interações com as matrizes orgânicas e inorgânicas ocorrem devido à presença de microporos inorgânicos, matéria orgânica do solo, particulados de carbono de combustão e líquidos orgânicos derramados (LUTHY et al., 1997).

5.2 Dissolução: NAPL ↔ fase dissolvida

Os NAPLs multicomponentes são líquidos que contêm mais de um composto químico com propriedades diferentes. O particionamento de NAPLs para a fase dissolvida está diretamente associado a solubilidade de seus constituintes, sendo uma das propriedades de maior influência no comportamento dos contaminantes no meio (KAIPPER, 2003). A solubilidade estabelece a concentração máxima do composto que pode estar dissolvida em água no equilíbrio. Assim, nos casos de detecção de concentração do composto na fase dissolvida acima de sua solubilidade aquosa, pode-se determinar o excedente como NAPL.

As propriedades dos compostos individuais diferem das propriedades da mistura. Os HPAs, por exemplo, apresentam-se na forma sólida enquanto compostos puros à temperatura ambiente, porém estão presentes no creosoto, que é uma mistura complexa encontrada na forma líquida à temperatura ambiente. Nesse caso, é necessário o cálculo da solubilidade líquida sub-resfriada para os constituintes da mistura que possam ser sólidos em seu estado puro, através da Equação 3. Essa equação deriva de princípios termodinâmicos fundamentais no tratamento de equilíbrios de fases (PRIDDLE; MACQUARRIE, 1994).

$$S_i^L = S_i^S \exp[6,8(T_m/T - 1)] \quad \text{Equação 3}$$

Onde S_i^L é a solubilidade do composto i líquido em fase aquosa, S_i^S é a solubilidade do composto i sólido em fase aquosa, T_m é a temperatura de fusão e T é a temperatura de operação.

A solubilidade efetiva descreve a solubilidade de um componente específico presente na mistura em água. Essa propriedade indica o comportamento dos compostos de uma mistura orgânica em equilíbrio com a fase aquosa. A solubilidade efetiva de cada constituinte da mistura, calculada pela Equação 4 com base na Lei de Raoult, é proporcional à sua fração molar na mistura, sendo necessário conhecer a composição da mesma (FORSEY, 2004; PRIDDLE; MACQUARRIE, 1994).

$$S_{ef,i} = X_i S_i^L$$

Equação 4

Em que $S_{ef,i}$ é a solubilidade efetiva do composto i da mistura, X_i é a fração molar do contaminante i na mistura e S_i^L é a solubilidade do composto i líquido em fase aquosa.

Essa abordagem é uma simplificação básica das relações físico-químicas referentes à dissolução, e trata-se de uma estimativa da solubilidade efetiva para uma mistura de hidrocarbonetos usada originalmente para o petróleo (PRIDDLE; MACQUARRIE, 1994). As diferenças entre as solubilidades em fase líquida e sólida dos HPAs aumentam de forma proporcional ao ponto de fusão. As solubilidades efetivas são menores que as solubilidades dos compostos puros líquidos visto que estão diretamente relacionadas à fração molar correspondente presente na mistura (KAIPPER, 2003).

5.3 Vaporização: NAPL ↔ fase vapor e Volatilização: fase dissolvida ↔ fase vapor

O particionamento de compostos orgânicos para a fase vapor ocorre por duas vias principais: vaporização a partir do NAPL e volatilização a partir da fase dissolvida. A lei de Raoult e a lei de Henry são úteis para descrever a partição com a hipótese do equilíbrio (NEWELL et al., 1995).

O fenômeno de particionamento entre as fases NAPL e vapor, descrito pela vaporização, ocorre na zona vadosa. Os vapores se dispersam no meio insaturado, espalhando a contaminação, podendo atingir a superfície e gerar um cenário de intrusão de vapores. A taxa de vaporização e as concentrações na fase vapor são proporcionais à pressão de vapor do composto, que aumenta com a temperatura. O mecanismo de vaporização para cálculo da concentração na fase vapor é regido pela Lei de Raoult, usada para soluções mais concentradas. Para um NAPL multicomponente, a pressão efetiva de vapor deve ser calculada para cada composto, sendo igual ao produto de sua pressão de vapor de componente único e sua fração molar na mistura, conforme Equação 5 (AATDF, 1997).

$$P_{ef,i} = X_{i,NAPL} (P_i^0 / RT)$$

Equação 5

Em que P_{ef} é a pressão efetiva do composto i do NAPL na fase vapor, $X_{i,NAPL}$ é a fração molar do composto i no NAPL, P_i^0 é a pressão de vapor do composto i puro, R é a constante universal dos gases ideais e T é a temperatura de operação.

Já o particionamento de componentes da fase dissolvida para a fase vapor é conhecido por volatilização. O fenômeno de volatilização é descrito pela Lei de Henry, para soluções diluídas, e a constante de Henry é definida como a concentração de equilíbrio na fase vapor dividida pela concentração de equilíbrio na água, conforme

Equação 6 (AATDF, 1997). Uma constante de Henry alta indica uma maior tendência do composto em ir para a fase vapor.

$$K_{H,PC} = P/C_a \quad \text{Equação 6}$$

Em que $K_{H,PC}$ é a constante de Henry com unidade atm.m³/mol, P é a pressão parcial do composto na fase vapor e C_a é a concentração do composto na fase dissolvida.

REFERÊNCIAS

AATDF. Geology and Contaminant Distribution. In: PROGRAM, Advanced Applied Technology Demonstration Facility for Environmental Technology (Org.). **Technol. Pract. Man. Surfactants Cosolvents**. Houston: CH2M HILL, 1997. Disponível em: <<https://clu-in.org/PRODUCTS/AATDF/chap3.htm>>. Acesso em: 23 out. 2019.

ABNT. **NBR 6502 - Rochas e solos**. [S.l.: s.n.], 1995.

ATSDR. **TOXICOLOGICAL PROFILE FOR POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS**. Atlanta: [s.n.], 1995. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

BRAGA, Benedito. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=29967&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22BRAGA, B.%22&qFacets=autoria:%22BRAGA, B.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>. Acesso em: 15 out. 2019.

BRAGATO, Marcia. **Tratamento “in-situ” de solo contaminado por derivado de petróleo e metais**. 2006. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-15032007-011934/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

CETESB. **Qualidade do Solo - Propriedades**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/solo/propriedades/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

_____. **Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo: [s.n.], 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 273**. [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em: <http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/17_01_2011_17.30.47.12d8482d5a7677bddd44bbc18cc3bcbb.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

CORNELISSEN, Gerard et al. Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: Mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. **Environmental Science and Technology**, v. 39, n. 18, p. 6881–6895, 2005.

DIAS, Gilka da Mata. **Adequação Ambiental dos postos de combustíveis de Natal e recuperação da área degradada**. Natal: Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte, 2012. Disponível em: <<http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2018/05/Cartilha-Adequação-Ambiental-dos-Postos-de-Combustíveis-Natal.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2019.

DUARTE, Regina M.B.O.; MATOS, João T.V.; SENESI, Nicola. Organic Pollutants in Soils. **Soil Pollut.** [S.l.]: Elsevier, 2018. p. 103–126. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-849873->

6.00005-4>.

EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. . Campinas: [s.n.], 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

EMBRAPA, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [S.l.: s.n.], 2006.

FEAM. **Inventário de Áreas Contaminadas de Minas Gerais**. . Belo Horizonte: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://feam.br/images/stories/2018/AREAS_CONTAMINADAS/Inventario_Areas_Contaminadas_2018.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2019.

FERRARESE, Elisa; ANDREOTTOLA, Gianni; OPREA, Irina Aura. Remediation of PAH-contaminated sediments by chemical oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 152, n. 1, p. 128–139, 2008.

FERREIRA, Márcia Bezerra. **Estudo Paramétrico do Transporte e Remediação de HPA em Solo com o Programa Modflow**. 2010. 250 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

FORSEY, Steven Philip. In situ Chemical Oxidation of Creosote/Coal Tar Residuals: Experimental and Numerical Investigation. **Thesis**, 2004.

HULING, Scott G.; WEAVER, James W. EPA Ground Water Issue - DNAPL. **Environmental Research**, p. 1–12, 1991. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/dnapl_issue_paper.pdf>.

INEA. **Avaliação de Áreas Contaminadas. Mapa de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/LicenciamentoAmbiental/Licenciamento-saiba-mais/GestaodeRiscoAmbientaTec/AvaliacaodeAreasContaminadas/index.htm>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

KAIPPER, BEATRIZ INÊS ALMEIDA. **INFLUÊNCIA DO ETANOL NA SOLUBILIDADE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS EM AQUÍFEROS CONTAMINADOS POR ÓLEO DIESEL**. 2003. 199 f. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

KUEPER, Bernard H et al. **An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface**. [S.l.: s.n.], 2003. v. 133. Disponível em: <www.environment-agency.gov.uk>.

LION, L. W. **Sorption and transport of polynuclear aromatic hydrocarbon in low-carbon aquifer materials**. . Ithaca: [s.n.], 1990.

LUTHY, Richard G. et al. Sequestration of hydrophobic organic contaminants by geosorbents. **Environmental Science and Technology**, v. 31, n. 12, p. 3341–3347, 1997.

MENDES, Gabriela Paupitz et al. Treatability studies of naphthalene in soil , water and air with persulfate activated by. **Journal of Environmental Sciences**, 2019.

NEWELL, Charles J. et al. Ground water issue: Light nonaqueous phase liquids. **United States Environmental Protection Agency**, p. 1–28, 1995. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/10002DXR.PDF?Dockkey=10002DXR.PDF>>.

OH, Seok Young; SHIN, Dong Sik. Treatment of Diesel-Contaminated Soil by Fenton and Persulfate Oxidation with Zero-Valent Iron. **Soil and Sediment Contamination**, v. 23, n. 2, p. 180–193, 2014.

PENNER, Giovanni Chaves. **Estudo de caso da contaminação do solo e da água subterrânea por descarte de resíduos vinculados a óleos lubrificantes**. 2005. 286 f. Universidade de São Paulo,

2005.

PRIDDLE, Mark W.; MACQUARRIE, Kerry T.B. Dissolution of creosote in groundwater: an experimental and modeling investigation. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 15, n. 1–2, p. 27–56, 1994.

RIVAS, F. Javier. Polycyclic aromatic hydrocarbons sorbed on soils: A short review of chemical oxidation based treatments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 138, n. 2, p. 234–251, 2006.

SHIH, Yu Jen et al. Treatability assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated marine sediments using permanganate, persulfate and Fenton oxidation processes. **Chemosphere**, v. 150, p. 294–303, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.112>>.

SUI, Hong et al. Modeling the adsorption of PAH mixture in silica nanopores by molecular dynamic simulation combined with machine learning. **Chemosphere**, v. 144, p. 1950–1959, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.053>>.

SUN, Jianteng et al. Organic contamination and remediation in the agricultural soils of China: A critical review. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 724–740, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.271>>.

VODYANITSKII, Yu. N; KIRILOVA, N P. Soil Contamination By Organic Micropollutants. **Annals of Agrarian Science**, v. 13, n. 3, 2015. Disponível em: <[http://agrscience.ge/article/view/1689%0Afile:///F:/Zotera database/storage/6QUVVSIU/1689.html](http://agrscience.ge/article/view/1689%0Afile:///F:/Zotera%20database/storage/6QUVVSIU/1689.html)>.

WATTS, Richard J.; LOGE, Franck; TEEL, Amy L. Improved Understanding of Fenton-Like Reactions for In Situ Remediation of Contaminated Groundwater Including Treatment of Sorbed Contaminants and Destruction of DNAPLs. p. 276, 2006. Disponível em: <<https://www.serdp-estcp.org/Program-Areas/Environmental-Restoration/Contaminated-Groundwater/Persistent-Contamination/ER-1288>>.

WEI, Yan Li et al. Association of soil polycyclic aromatic hydrocarbon levels and anthropogenic impacts in a rapidly urbanizing region: Spatial distribution, soil-air exchange and ecological risk. **Science of the Total Environment**, v. 473–474, p. 676–684, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.106>>.

WEIL, Ray R.; BRADY, Nyle C. **The nature and properties of soils**. 15th. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2016.

YAN, Jian et al. Photomutagenicity of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons from the US EPA priority pollutant list. **Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 557, n. 1, p. 99–108, 2004.

YUAN, Mingjiang et al. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from water using petroleum coke-derived porous carbon. **Journal of Hazardous Materials**, v. 181, n. 1–3, p. 1115–1120, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.130>>.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AA2024 alloy 1, 6, 7
Adsorção de compostos 32, 36
Advanced Oxidation Processes 14, 87, 155
Aluminum alloy 4, 8, 12
Amplitude de pulso 50, 51, 52, 53, 54
Anti-corrosion performance 4, 7

B

Biocombustível 129
Biodigestor 142, 143, 144
Bioetanol 107, 115, 129, 139
Biogás 141, 142, 143, 144, 145, 146, 150, 151, 152
Biotransformation 24, 30

C

Chemistry Teaching 250, 261, 262
Cinza volante 118
Combustíveis fósseis 33, 99, 143
Complexometria 221, 222, 224
Compostos sulfurados 32, 33, 36, 39
Contaminantes orgânicos 57, 63, 69, 125, 157
Corrosion protection 1, 2, 12

D

Decolorization 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 87
Diagrama de fase 172, 173, 174

E

Electrochemical Impedance Spectroscopy 1, 5, 7, 8, 281
Energias renováveis 129, 143
Espectroscopia fotoeletrônica de raios X 32, 36, 41

F

Ferulic acid 24, 30, 31

G

Geoquímica de Contaminantes 69

Glifosato 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 53, 54, 55, 56

Grafeno 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54

H

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos 57, 60, 63, 154, 155, 156

I

Isotermas de adsorção-dessorção 32, 36, 38

L

Localized impedance 1, 2

M

Materiais mesoestruturados 37

Mecanismos de partição 57, 69

N

Nanotubos de carbono hidrofílicos 89, 96

Negro de carbono 89, 90

O

Óleo Residual 201, 202, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216, 219, 220

Open circuit potential 1, 5, 7

Oxidação parcial do metano 98

P

Perfil cinético 113, 114, 135, 136, 137

Perovskita 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105

Persulfato 154, 155, 157, 158, 159, 160, 164, 165

Photocatalytic efficacy 14

Photo-fenton process 13, 22

Polymer coating 3

Processo oxidativo avançado 155

Processos enzimáticos 107

R

Reaction 3, 9, 14, 16, 19, 77, 99, 106, 119, 126, 169, 202

Reator solar 76, 77

Reforma do metano 99

S

Saponificação 202, 203, 204, 207, 209, 215, 216, 217, 219

Scanning Electron Microscopy 4, 281

Self-healing mechanism 3

Semiologia 249, 251, 259

Sensor eletroquímico 43

Sistema Aquoso Bifásico 170, 172, 177

Smart coating 1, 2, 9, 281

T

Teaching strategies 261

Toxicidade 46, 57, 65, 154, 156, 176, 222

V

Voltametria 43, 46, 47, 49

 **Atena**
Editora

2 0 2 0