

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2



Daniel Sant'Ana
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

Daniel Sant'Ana
(Organizador)


Atena
Editora
Ano 2021



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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^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/Secconal 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. Alexsandro 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 Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andreza 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
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. 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª 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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª 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
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Daniel Sant'Ana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 2 / Organizador Daniel Sant'Ana. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-745-1

DOI 10.22533/at.ed.451211901

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. 2.
Conhecimentos. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.
CDD 628

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

A coleção *“Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária”* tem como objetivo disseminar o estado atual do conhecimento das diferentes áreas das ciências ambientais e sanitárias, apresentando a evolução do campo científico por meio de diferentes tipos de trabalhos que abordam os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, sociais e ambientais desta disciplina.

Os processos de produção industrial têm gerado grandes volumes de efluentes que podem causar sérios danos ambientais caso os contaminantes presentes na água não sejam removidos. Efluentes da indústria têxtil descarregam corantes em seus resíduos e, com isso, os primeiros três capítulos apresentam diferentes processos de tratamento para sua remoção.

Um dos desafios atuais no tratamento de efluentes está na remoção eficaz de contaminantes emergentes. Os capítulos subsequentes apresentam técnicas de adsorção são apresentadas para remoção de antibiótico em efluentes doméstico (Capítulo 4) e fosfato em sistemas de tratamento de águas residuárias (Capítulo 5). Soluções alternativas no processo de tratamento do esgoto doméstico (Capítulo 7), ou até mesmo o reúso de água provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 6), promovem economia financeira e reduzem impactos ambientais.

Ainda há muito o que evoluir na gestão de resíduos sólidos, desde sua geração até a sua disposição final. Mesmo assim, diferentes estudos vêm apontando soluções com o intuito de mitigar impactos ambientais. Por exemplo, no Capítulo 8, vemos a busca de soluções no processo de secagem de lodo provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 8) para seu aproveitamento como fertilizante ou condicionador de solo.

Evidentemente, quanto maior o número de habitantes de uma cidade, maior são os problemas gerados por resíduos urbanos. Com isso, o Capítulo 9 apresenta indicadores de geração de resíduos domésticos como forma de categorizar o tipo de resíduo e estimar o volume sendo gerado diariamente. É de suma importância traçar um plano de ação para estimular a reciclagem de resíduos sólidos, otimizar os processos de reciclagem (Capítulo 10) e promover a conscientização e educação da população (Capítulo 11). Pois o descuido no descarte de resíduos pode causar sérios danos ambientais pela contaminação do solo (Capítulos 12 e 13).

Um dos maiores desafios do século XXI está na redução da emissão de poluentes na atmosfera, não apenas pelo seu impacto sobre as mudanças climáticas, mas também pelo seu impacto na saúde pública. Com isso, os últimos capítulos abordam os danos ambientais causados por queimas controladas na agricultura, indústria e queima de combustíveis fósseis.

Este segundo volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes

partes do país, México e Inglaterra, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos ao tratamento de efluentes industriais, tratamento de esgotos domésticos, reúso de água, gestão de resíduos, contaminação ambiental e qualidade do ar. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Daniel Sant'Ana

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE PROCESOS FOTOCATALÍTICOS APLICADOS A COLORANTES INDIGOIDES

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Marina Violeta Gómez Chávez

Verónica Camargo

DOI 10.22533/at.ed.4512119011

CAPÍTULO 2..... 13

DECOLORACIÓN DEL COLORANTE ÍNDIGO CON *ASPERGILLUS NIGER* INMOVILIZADO SOBRE CELULOSA OBTENIDA DE ESPINAS DE NOPAL

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Federico Augusto Trampe Torija

Raymundo Guzmán Gil

Margarita González-Brambila

José Luis Contreras Larios

Marina Violeta Gómez Chávez

DOI 10.22533/at.ed.4512119012

CAPÍTULO 3..... 25

DESCOLORAÇÃO DE ALARANJADO DE METILA EM BATELADA E EM PROCESSO CONTÍNUO

Cássia Sidney Santana

Otávio Henrique Campos Hamdan

Alisson Henrique Marques da Silva

Bruno Andrade Trindade

Daniele Massote Gibram

Marcelo da Silva Batista

DOI 10.22533/at.ed.4512119013

CAPÍTULO 4..... 35

ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO

Ismael Laurindo Costa Junior

Bruna Ataíde Barros Fonseca

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

DOI 10.22533/at.ed.4512119014

CAPÍTULO 5..... 55

AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE FOSFATO POR GOETHITA NATURAL OBTIDA POR PROCESSO DE DISSOLUÇÃO SELETIVA EM COMPARAÇÃO COM GOETHITA NANOPARTÍCULA SINTÉTICA

Marcelo Hidemassa Anami

Nathalia Pravatto dos Santos

Gabriella de Moraes Valentim

Maria Eduarda Aranega Pesenti

Leonardo Carmezini Marques
Jefferson Sussumu de Aguiar Hachiya
DOI 10.22533/at.ed.4512119015

CAPÍTULO 6..... 66

AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE REÚSO COM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Marcel Chacon de Souza
Andre Luis Calado Araújo
Juliana Delgado Tinôco Araújo

DOI 10.22533/at.ed.4512119016

CAPÍTULO 7..... 74

USO DE FLOCOS DE PEAD RECICLÁVEL (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) COMO MEIO SUPORTE EM REATOR MBBR TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Bruno de Oliveira Freitas
Maria Teresa Hoffmann
Luiz Antônio Daniel

DOI 10.22533/at.ed.4512119017

CAPÍTULO 8..... 82

ESTUDO DE SECAGEM DE LODO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTUFA AGRÍCOLA

Leticia Amadeu Freddi
Danielle Bolandim Costa
Tsunao Matsumoto

DOI 10.22533/at.ed.4512119018

CAPÍTULO 9..... 95

GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO

José Luis Guevara Franco
Laura Patricia Flores Castillo
Norma Angélica Oropeza García
José Alfonzo Canche Uuh
Alondra Martínez Flores

DOI 10.22533/at.ed.4512119019

CAPÍTULO 10..... 99

IDENTIFICAÇÃO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS PELO TESTE DE CHAMA

César Augusto Canciam

DOI 10.22533/at.ed.45121190110

CAPÍTULO 11..... 107

PROJETO ESCOLA RESÍDUO ZERO – PERZ (ESTUDO DE CASO EM GOIÂNIA)

Diógenes Aires de Melo
Giovane Moraes Toledo
Camila Batista do Carmo

Fabiola Adaienne Oliveira
Patrícia Elias Sahium
DOI 10.22533/at.ed.45121190111

CAPÍTULO 12..... 125

CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM ATERROS: IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA

Lúrian Sâmia de Lacerda Ferreira
Luze Daiane da Silva Pereira
Ruy Bessa Lopes

DOI 10.22533/at.ed.45121190112

CAPÍTULO 13..... 130

EFEITO DO PH NA LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

Luanna Di Mario Rocha
Maria Magdalena Ribas Döll
Lilian Tais de Gouveia

DOI 10.22533/at.ed.45121190113

CAPÍTULO 14..... 145

MUDANÇA TEMPORAL DO USO DO SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PEDRA DO CAVALO

Israel Henrique Ribeiro Rios
Ana Júlia Dantas Pitangueira
Lis Correia Barreto

DOI 10.22533/at.ed.45121190114

CAPÍTULO 15..... 159

¹⁴C COMO TRAZADOR DE QUEIMA DE BIOMASSA EN MÉXICO

Marina Violeta Gómez Chávez
Maria Elba Ortiz Romero Vargas
Corina Solís Rosales
Efraín Chávez Lomelí
Javier Miranda del Campo
Javier Aragón Navarro
Miguel Ángel Martínez Carrillo
Telma Gloria Castro
Oscar Augusto Peralta Rosales

DOI 10.22533/at.ed.45121190115

CAPÍTULO 16..... 170

ESTUDO DA DEMANDA DE QUEIMA CONTROLADA DE CAMPOS NATIVOS EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA NOS ANOS DE 2009 A 2018

Débora Cristina Correia Cardoso
Daniely Neckel Rosini
Jordana dos Anjos Xavier
Valter Antonio Becegato

Vitor Rodolfo Becegato
Alexandre Tadeu Paulino

DOI 10.22533/at.ed.45121190116

CAPÍTULO 17	185
MEASUREMENT AND MATHEMATICAL MODELLING OF ODOR GASES IN A COLLAGEN AND GELATINE PLANT	
Rafael Geha Serta	
Ângelo Breda	
Juliana Pilato Rodrigues	
Marcio Barreiro Gonçalves	
Antônio Augusto Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.45121190117	
SOBRE O ORGANIZADOR	192
ÍNDICE REMISSIVO	193

¹⁴C COMO TRAZADOR DE QUEMA DE BIOMASA EN MÉXICO

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Marina Violeta Gómez Chávez

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<https://orcid.org/0000-0002-7623-6875>

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Área de Química y Físicoquímica Ambiental,
UAM
Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México
<https://dcbi.azc.uam.mx/siapi/personal/490/>

Corina Solís Rosales

Instituto de Física, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<https://www.fisica.unam.mx/es/personal.php?id=137>

Efraín Chávez Lomelí

Instituto de Física, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<https://www.fisica.unam.mx/es/personal.php?id=55>

Javier Miranda del Campo

Instituto de Física, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<https://www.fisica.unam.mx/es/personal.php?id=14>

Javier Aragón Navarro

Instituto de Física, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México

Miguel Ángel Martínez Carrillo

Facultad de Ciencias, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<http://www.fciencias.unam.mx/directorio/48372>

Telma Gloria Castro

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<https://www.atmosfera.unam.mx/ciencias-ambientales/aerosoles-atmosfericos/telma-gloria-castro-romero/>

Oscar Augusto Peralta Rosales

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,
Ciudad de México
<https://www.atmosfera.unam.mx/ciencias-ambientales/aerosoles-atmosfericos/oscar-augusto-peralta-rosales-2/>

RESUMEN: La contaminación del aire en la Ciudad de México y Área Metropolitana es un tema de gran importancia en las últimas décadas. Más de 20 millones de habitantes en la CMAM están expuestos a una mala calidad del aire a nivel mundial. Los aerosoles atmosféricos carbonosos afectan la salud humana y potencializan el cambio climático. Por lo tanto, las autoridades de la Ciudad han establecido una red para monitorear los contaminantes críticos

del aire (NO_2 , SO_2 , O_3 , Pb, CO, $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}), gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O , $\text{H}_2\text{O}_{\text{gas}}$) y carbono negro (BC). Sin embargo, debido a la escala y complejidad de los contaminantes como son los aerosoles carbonosos, se necesitan estudios continuos para observar cambios en la calidad del aire debido a las acciones de mitigación tomadas por el gobierno mexicano. En este trabajo, se colectaron aerosoles en la fracción gruesa (PM_{10}) en la ZMMV y Cuernavaca (ubicada a 80 Km al sur de la Ciudad de México), se les analizó el radiocarbono (^{14}C) con espectrometría de masas con acelerador (AMS, por sus siglas en inglés) para determinar la distribución de fuentes biogénicas y fósiles de los aerosoles carbonosos. Se estimó el carbono proveniente de la quema de biomasa (carbono biogénico, bC) y por el uso de combustibles fósiles (carbono fósil, fC) y se midió el carbono total (TC), carbono elemental (CE) y carbono orgánico (OC). Se midieron iones y elementos químicos en los aerosoles recolectados en 3 sitios en ZMMV y un sitio en Cuernavaca durante casi tres semanas, del 19 de noviembre al 6 de diciembre de 2012. Se discuten las diferencias entre las dos ciudades.

PALABRAS CLAVE: Aerosoles, AMS, Quema de biomasa, Radiocarbono, trazador.

^{14}C AS A TRACER OF BIOMASS BURNING IN MEXICO

ABSTRACT: Air pollution in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA), continues to be one of the main issues in the last decades. More than 20 million of inhabitants of the MCMA are exposed to one of the worst air pollutions in the world. Carbonaceous atmospheric aerosols endanger human health and potentiate the climate change. Therefore the City authorities have established a network to monitoring the critical air pollutants (NO_2 , SO_2 , O_3 , Pb, CO, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}), greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , N_2O , $\text{H}_2\text{O}_{\text{gas}}$) and black carbon (BC). However, because of the scale and pollutant complexity with contaminants as carbonaceous aerosols, continuous studies are needed to observe changes in the air quality due to mitigation actions taken by the Mexican government. In this work, aerosol samples (PM_{10}) collected in the MCMA and Cuernavaca (located at 80 Km South Mexico City), have been analyzed by radiocarbon (^{14}C) with accelerator mass spectrometry (AMS) to determinate the biogenic and fossil sources apportionment of carbonaceous aerosols in PM_{10} . Carbon from biomass burning (biogenic carbon, bC) and fossil fuels (fossil carbon, fC) were estimated and compared with biomass burning marker such as AMS- ^{14}C analysis of total carbon (TC), determination of elemental (EC), organic carbon (OC), chemicals elements and ions were performed on aerosols collected at 3 sites in MCMA and one site in Cuernavaca during almost three weeks, from November 19 to December 06 in 2012. Differences between the two cities are discussed.

KEYWORDS: Aerosols, AMS, Biomass burning, Radiocarbon, Tracer.

1 | CARBONO COMO CONTAMINANTE EN AEROSOLES ATMOSFÉRICOS

Actualmente, existe un interés por conocer la concentración de aerosoles carbonosos en el ambiente debido a los efectos que éstos causan en la salud humana y en el clima; y que aún no son conocidos ni entendidos completamente. Los aerosoles carbonosos atmosféricos, influyen en el balance de la radiación, directamente por la dispersión y

absorción de luz solar e indirectamente por la formación de nubes (Szidat *et al.*, 2009) y afectan la visibilidad (Aiken *et al.*, 2010). Pueden afectar los cultivos, las edificaciones y estructuras urbanas, suelo, agua, flora y fauna, debido a la deposición de estos aerosoles por gravedad, por lluvia y por niebla, reaccionando entre si y creando compuestos aún más tóxicos, corrosivos y recalcitrantes. Además de causar problemas a la salud ocasionando enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Knaapen *et al.*, 2004).

Los aerosoles carbonosos contienen carbono orgánico (OC, por sus siglas en inglés) y carbono elemental (EC, por sus siglas en inglés). El OC está compuesto por hidrocarburos policíclicos o poliácidos débilmente refractarios y el EC por carbono altamente polimerizado y fuertemente refractario, tiene un potencial de calentamiento 460 veces mayor que el de CO₂, y causa un forzamiento radiativo negativo (Retama *et al.*, 2015; Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero en la Zona Metropolitana del Valle de México (IECEI-ZMVM), 2012). El EC y OC son derivados de la quema de biomasa y quema de combustibles fósiles (Zhang *et al.*, 2012). Se pueden dividir en dos sub-fracciones, carbono fósil y carbono contemporáneo, donde se considera que todo el carbono fósil es antropogénico.

El carbono catorce o radiocarbono (¹⁴C) es un trazador ideal en la determinación del aporte de las fuentes de aerosoles carbonosos, y permite distinguir el carbono fósil del carbono contemporáneo (Solís *et al.*, 2017; Szidat *et al.*, 2004b; Marley *et al.*, 2009). Esto debido a que, toda materia viva tiene una abundancia constante de ¹⁴C. En la materia muerta el consumo de ¹⁴C se detiene y la cantidad presente en el momento de la muerte comienza a disminuir exponencialmente con una vida media de 5370 años. Consecuentemente, los combustibles fósiles, los cuales son millones de años viejos, no contienen ¹⁴C.

Existen dos efectos antropogénicos globales que afectan la afirmación de la abundancia constante de ¹⁴C. El primero, es la dilución de ¹⁴C atmosférico, efecto causado por el incremento de CO₂ liberado por la quema de combustibles fósiles, desde el comienzo de la revolución industrial. El segundo, es la liberación significativa de ¹⁴C a la atmósfera de las pruebas de bombas nucleares en 1950 (Solís *et al.*, 2015b; Heal, 2014).

La aplicación del análisis de radiocarbono en aerosoles atmosféricos está siendo utilizada con más frecuencia en todo el mundo. En México, se usó este marcador por primera vez en 2003 durante la campaña en el supersitio CENICA.

En 2006, el uso de radiocarbono se volvió a aplicar durante la llamada campaña MILAGRO, una campaña de muestreo de Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) en la Ciudad de México en el Instituto Mexicano del Petróleo (T₀) durante el mes de marzo, realizada por varias agencias. Sólo en estas dos ocasiones se ha podido aplicar el análisis de ¹⁴C en aerosoles atmosférico en México.

El estudio de la contaminación atmosférica es prioritario e importante, principalmente en la ciudad de México. Este es el núcleo urbano más grande del país, y debido a su dinámica poblacional, su desarrollo industrial, su relieve y su clima, es un foco importante

de contaminación. La ciudad de México ha sido considerada como una de las principales ciudades con mayor densidad demográfica, con niveles altos de contaminación atmosférica, la cual es un peligro para la salud de sus habitantes (Aldape y Flores, 2005; Chow *et al.*, 2002).

En 2013, en México el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (IFUNAM) adquirió un Espectrómetro de Masas con Aceleradores (AMS, por sus siglas en inglés) de 1 MV, el cual es empleado para datación de objetos arqueológicos y otros estudios de radioisótopos aplicados a la medicina, astronomía, geofísica, biología y ahora para el estudio ambiental.

En este trabajo se realizó el análisis de radiocarbono en aerosoles atmosféricos, específicamente, para Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10}), para determinar el carbono proveniente de quema de combustibles fósiles (carbono fósil, fC) y de quema de biomasa (carbono biogénico, bC). Además de la determinación de carbono total, EC, OC, elementos químicos e iones. Para así, determinar el origen de éstos aerosoles, con el fin de obtener información sobre la fracción antropogénica que ayude a establecer medidas que lleven al cumplimiento de las normas de calidad del aire y mitigar los efectos del cambio climático (Seinfeld, 2012; Gasca *et al.*, 2004; Ortiz *et al.*, 2011).

2 I ^{14}C EN AEROSOLES ATMOSFÉRICOS - ESTUDIO DE CASO

Los aerosoles atmosféricos fueron recolectados en filtros de cuarzo (Pallflex 2500 QAT-UP; Pall Sciences, Ann Arbor, MI, USA) usando un muestreador de alto volumen de PM_{10} (Graseby Andersen SA-2000H). El período de muestreo para cada muestra fue de 48 horas, del 19 de noviembre al 06 de diciembre. El muestreo se realizó en cuatro sitios: tres en la ciudad de México, los cuales fueron, Instituto Mexicano del Petróleo (T0), Iztapalapa (Izt) y Ciudad Universitaria (CU), y como control se eligió uno en la ciudad de Cuernavaca (Cn).

Para el análisis de ^{14}C en AMS, el carbón de cada muestra se extrae y se convierte a grafito el cual es prensado en un cátodo de aluminio para ser analizado en el sistema AMS. *En el LEMA el proceso de grafitización se lleva a cabo en un equipo de grafitización automatizado AGE III.* En el AGE cada muestra es quemada en presencia de oxígeno en un analizador elemental a 950°C. El CO_2 generado es llevado con helio como gas acarreador a una trampa de zeolita a 30°C y posteriormente es transferido a uno de los reactores del AGE III. Para la grafitización se colocaron 5 miligramos de hierro (hierro Alfa Aesar 325) en la base de los tubos de reacción. El hierro primeramente se calentó por aire (150 s, 500°C), y luego se redujo en tres pasos por hidrógeno (800 mbar) a la misma temperatura. Ya que estuvieron cargados los tubos de reacción con el CO_2 generado por la combustión de la muestra, se inició la grafitización. Los tubos con el grafito se retiraron, y el grafito se prensó en un cátodo de aluminio y posteriormente se analizó directamente por AMS (Solís *et al.*,

2015b). Los resultados de la medición de ^{14}C , se reportan como porcentaje de carbono moderno (pMC, por sus siglas en inglés), que representa la relación $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = F^{14}\text{C}$ (fracción de carbono catorce) de la muestra relacionada con la proporción isotópica en el año 1950 multiplicada por cien.

Para la obtención de los componentes carbonosos (EC y OC), se tomó un pedazo del filtro de aproximadamente 17 cm² y se utilizó un analizador de carbono UIC (modelo CM5014).

Para la determinación de los elementos contenidos en los aerosoles carbonosos se utilizó la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX). Se midió Al, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu y Zn. Y para la determinación de iones se utilizó un cromatógrafo de iones. Se midió Cl⁻, F⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄⁻², PO₄⁻³, Na⁺, K⁺, Li⁺, NH₄⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺.

En la Tabla 1 se muestran los promedios y los valores máximos de las concentraciones de PM₁₀ para los cuatro sitios muestreados. Se puede observar que, en Izt la concentración de material particulado es la más alta y en Cuernavaca la más baja. Esta tendencia se presenta en el resto de las concentraciones (OC, EC y TC).

	CU		Izt		T ₀		Cn	
	Promedio	Max	Promedio	Max	Promedio	Max	Promedio	Max
PM ₁₀	43.30	52.11	83.10	121.82	60.58	87.27	32.88	48.61
OC	3.225	4.982	7.082	14.947	5.172	9.373	1.469	2.839
EC	1.797	3.701	4.430	11.366	2.506	10.158	0.725	1.497
TC	5.022	8.684	11.512	20.890	8.708	15.709	2.194	4.040

Tabla 1. Promedios y máximos de las concentraciones de PM₁₀ y sus componentes en 48 hrs en los cuatro sitios muestreados (µg/m³).

También se puede observar en la Tabla 1 que las concentraciones de OC son mayores a las de EC en los cuatro sitios. Este último es un indicador del comportamiento de las emisiones procedentes del tránsito vehicular o fuentes móviles, Se estima que las principales fuentes de emisión de éste tipo de carbono contenido en los aerosoles en México son los tractocamiones con el 49%, siguiéndole los vehículos de carga mayores a 3.8 toneladas con el 14%, autobuses con el 8%, maquinaria con 5%, autos con 3% y taxis con el 1% (IECEI-ZMVM, 2012).

Por lo que al disminuir la concentración de EC, se puede suponer que hubo menos tránsito vehicular gracias al programa “Hoy no circula” y el reforzamiento de medidas de control de la contaminación del aire (ProAire 2011-2020).

Las Tablas 2 y 3 muestran los promedios y los valores máximos de iones y elementos químicos contenidos en las muestras de aerosoles colectados en los cuatro sitios muestreados. Izt muestra los valores más altos en casi todas las concentraciones, a

excepción del Cr que fue la concentración más baja en comparación con los otros sitios de muestreo. Cn presenta los valores más bajos en casi todas las concentraciones, y la más alta para el Cr. T0 muestra cuatro concentraciones más altas, F, Al, V y Zn; y una más baja, la de NO₂. CU muestra dos concentraciones más altas, S y V; y una más baja, la de K⁺.

	CU		Izt		T0		Cn	
	Promedio	Max	Promedio	Max	Promedio	Max	Promedio	Max
F ⁻	0.003	0.007	0.013	0.024	0.024	0.060	-	-
Cl ⁻	0.047	0.087	0.232	0.591	0.123	0.292	0.010	0.044
NO ₂	0.037	0.068	0.053	0.086	0.029	0.066	0.029	0.150
NO ₃	1.133	2.235	2.935	6.754	1.247	2.282	0.356	1.718
PO ₄ ³⁻	0.024	0.037	0.095	0.184	0.064	0.122	0.014	0.083
SO ₄ ²⁻	1.882	2.953	3.185	6.453	3.031	4.849	1.066	3.727
Na ⁺	0.071	0.120	0.257	0.598	0.210	0.419	0.034	0.159
NH ₄ ⁺	0.670	0.928	1.114	1.962	0.854	1.295	0.424	1.340
K ⁺	0.087	0.126	0.270	0.528	0.181	0.354	0.104	0.424
Mg ²⁺	0.032	0.049	0.086	0.187	0.063	0.110	0.019	0.079
Ca ²⁺	0.669	1.161	1.692	3.318	1.222	2.016	0.558	2.541

Tabla 2. Promedios y máximos de las concentraciones de iones (µg/m³) contenidos en PM₁₀ en 48 hrs en los cuatro sitios muestreados.

	CU		Izt		T0		Cn	
	Promedio	Max	Promedio	Max	Promedio	Max	Promedio	Max
Al	0.707	1.064	0.727	1.224	0.807	1.217	0.614	1.302
P	0.248	0.319	0.277	0.380	0.255	0.335	0.190	0.247
S	0.234	0.323	0.221	0.324	0.230	0.365	0.155	0.205
K	0.445	0.521	0.657	0.993	0.441	0.640	0.341	0.415
Ca	1.884	2.326	2.884	4.928	2.062	2.815	1.510	1.872
Ti	0.114	0.153	0.177	0.315	0.103	0.137	0.082	0.137
V	0.074	0.141	0.072	0.101	0.074	0.095	0.061	0.091
Mn	0.051	0.109	0.059	0.120	0.045	0.078	0.035	0.065
Fe	1.234	1.461	1.684	3.083	1.151	1.507	0.674	0.918
Cu	0.437	0.728	0.464	0.784	0.320	0.487	0.131	0.251
Zn	0.085	0.112	0.158	0.386	0.236	0.372	0.032	0.049
Cr	0.069	0.166	0.060	0.086	0.063	0.088	0.072	0.097

Tabla 3. Promedios y máximos de las concentraciones de elementos químicos (µg/m³) contenidos en PM₁₀ en 48 hrs en los cuatro sitios muestreados.

En la Figura 1 se muestran las variaciones temporales de PM₁₀, EC y OC para los cuatro sitios muestreados. Las concentraciones de PM₁₀ muestran una variación temporal, con mayores cambios y una tendencia a aumentar en la segunda mitad de la campaña en T0 y Izt. Menos variación se observa en CU y Cuernavaca. En CU, se observa un comportamiento constante en un incremento a principios de diciembre en el EC y OC. En contraste En Izt se observa un comportamiento muy variado pero con tendencia a aumentar tanto de PM₁₀ como de EC y OC.

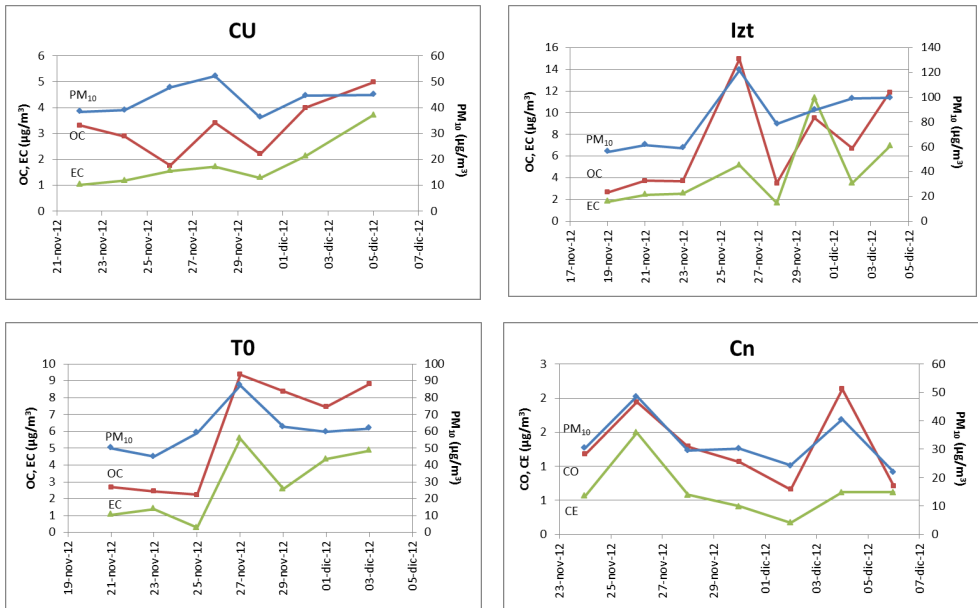


Figura 1. Variação temporal em las concentrações de EC, OC e PM₁₀ para los quatro sitios muestreados.

En T₀ se observa un gran incremento a partir del domingo 25 de noviembre en las tres concentraciones, en PM₁₀ se observa un ligero aumento, a excepción del día 25 de noviembre, desde el inicio del muestreo hasta el último día de muestreo. Y finalmente en Cn se puede observar un comportamiento casi contante en las tres concentraciones, con un ligero decremento en OC y PM₁₀, con respecto al primer día de muestreo.

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de carbono moderno (pMC, por sus siglas en inglés) contenido en el TC de las muestras de PM₁₀ de los cuatro sitios. Se puede observar que Cn es el sitio con mayor porcentaje de carbono moderno (promedio de 66.5%), seguido por lzt (promedio de 52.4%), CU (promedio de 44.1%) y por último T₀ (promedio de 42.7%).

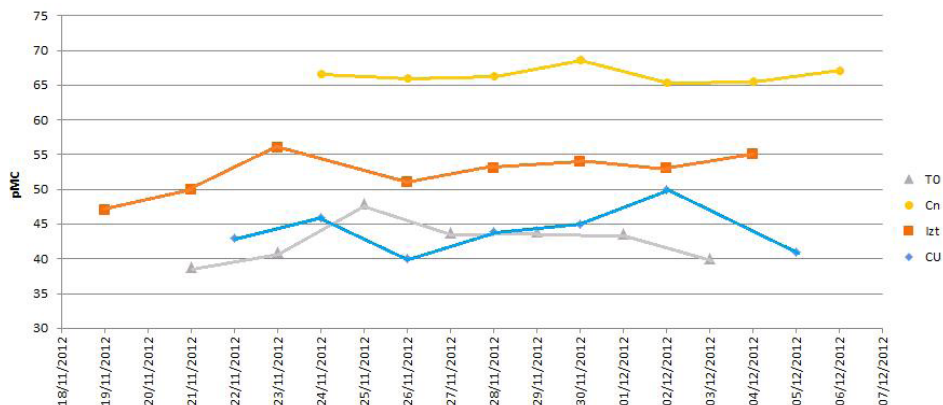


Figura 2. Porcentaje de carbono moderno para los cuatro sitios muestreados.

Cuernavaca fue el sitio con más carbono moderno, lo que quiere decir que las muestras colectadas contienen un mayor porcentaje de bC o carbono procedente de la quema de biomasa y partículas biológicas primarias. Lo cual engloba, quema natural (incendios forestales) o deliberada de biomasa (biocombustibles, basura, etc.), aerosoles orgánicos secundarios (terpenos) y polen (Gómez *et al.*, 2016).

El sitio con menor porcentaje de carbono moderno fue T₀, lo que indica que la mayoría de sus emisiones son debidas al uso de combustibles fósiles, aproximadamente el 57%, ya que el 42.7% son emisiones biogénicas (ya que el porcentaje de carbono moderno es 42.7).

En la Figura 3 se muestra la variación temporal del contenido en porcentaje de bC y fC contenido en PM₁₀ colectado en los cuatro sitios. En CU se observa un comportamiento paralelo del fC y bC con un aumento a principios de diciembre. En T₀ se observa un aumento exponencial tanto en fC como en bC, y un valor mínimo y muy similar en los dos conceptos en el día domingo 25 de noviembre. Cabe mencionar que en estos dos sitios el fC esta por encima del bC.

Las concentraciones de bC y fC fueron calculadas a partir de la fracción de carbono moderno (F¹⁴C) y el porcentaje de carbono total (%TC), usando las ecuaciones 1 y 2 propuestas por Takahashi y colaboradores (2007).

$$bC = (F^{14}C \times \%TC) \times f \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$fC = \%TC - bC \quad \text{Ecuación (2)}$$

dónde *f* es el factor de corrección igual a $1/1.053 = 0.949$. El valor 1.053 corresponde al valor de F¹⁴C de plantas que crecieron en Tlalnepantla y la Merced (sitios cercanos a

los sitios de muestreo en la Ciudad de México) y que fueron colectadas en abril de 2013 (Beramendi *et al.*, 2015).

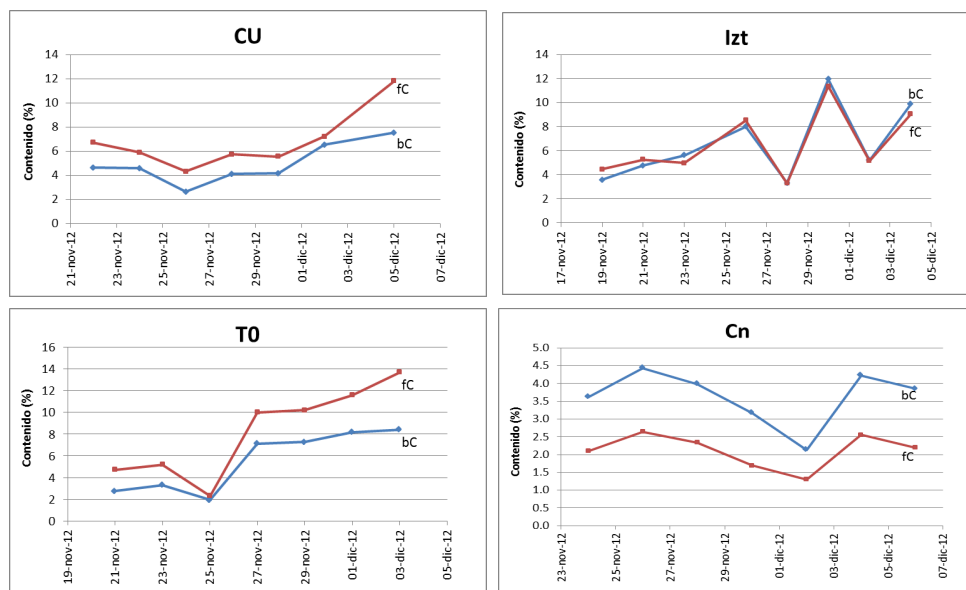


Figura 3. Variación temporal del porcentaje de bC y fC para los cuatro sitios muestreados.

En Izt se observa que los valores de bC y fC son casi iguales y siguen una tendencia a aumentar a lo largo de los días muestreados. Finalmente en Cn se observa un comportamiento paralelo de fC y bC, con un mínimo en el día domingo 02 de diciembre. Cuernavaca es el único sitio en el que se observa una clara diferencia con los demás sitios, ya que el contenido de bC está por encima de fC.

Con lo mencionado en la descripción de la Figura 2 y lo observado en la Figura 3, se puede corroborar que existe mayor contaminación por carbono biogénico que fósil en Cn. Y mayor contaminación por carbono fósil en T_0 que de biogénico.

El análisis de radiocarbono mediante la espectrometría de masas con aceleradores (AMS, por sus siglas en inglés) permite determinar el aporte de fuentes biogénicas y fósiles. Por lo que hace, a ésta técnica, indispensable como herramienta para mejorar, las ya existentes, e implementar nuevas normas y políticas ambientales para reducir los efectos de los aerosoles carbonosos en el cambio climático.

El análisis de radiocarbono en aerosoles atmosféricos permite identificar y cuantificar el carbono procedente de la quema de biomasa o carbono biogénico (bC), y el carbono procedente de la quema de combustibles fósiles o carbono fósil (fC).

El sitio con mayor y menor emisión de carbono fósil (fC) es T_0 y Cn, respectivamente.

Esto quiere decir que, en T_0 hay mayor contaminación por el uso de combustibles fósiles, y en Cn hay mayor contaminación por la quema de biomasa.

Se pudieron medir iones y elementos a las muestras de aerosoles, resultando las concentraciones más altas para el sitio IZT y las más bajas para CRN. La correlación entre algunos elementos (Fe, Ca, K y Ti), presentan una disminución muy marcada en sus concentraciones cuando el ^{14}C aumenta, lo que puede indicar que, el aporte contemporáneo a los aerosoles es atribuido a fuentes distintas a la geológica, ya que éstos elementos son terrígenos.

REFERENCIAS

AIKEN, A. C., DE FOY, B., WIEDINMYER, C., DE CARLO, P., ULBRICH, I.M., WHERLI, M.N., ZIDAT, S., PREVOT, A.S.H., NODA, J., WACKER, L., VOLKAMER, R., FORTNER, E., WANG, J., LASKIN, A., SHUTTHANANDAN, V., ZHENG, J., ZHANG, R., PAREDES-MIRANDA, G., ARNOTT, W.P., SOSA, G., QUEROL X., Y JIMENEZ, J.L. **Mexico city aerosol analysis during MILAGRO using high resolution aerosol mass spectrometry at the urban supersite (T0)-Part 2: Analysis of the biomass burning contribution and the non-fossil carbon fraction.** Atmospheric Chemistry and Physics 10, 2010. 5315-5341 p.

ALDAPE, F. Y FLORES, J. **Elemental composition and source identification of $\text{PM}_{2.5}$ particles collected in downtown México city.** International Journal of PIXE, 5, 2005. 263-270 p.

BERAMENDI, L., GONZALEZ, G., MARTINEZ-JURADO, A., MARTINEZ-REYES, A., GARCÍA, A., VILLANUEVA, J., SANTOS, F.J., GOMEZ, I., AMADOR, O. **Temporal and spatial variation of atmospheric radiocarbon in the Mexico City Metropolitan Area.** Radiocarbon. 57, 2015. 363-375 p.

CHOW, J. C., WATSON, J. G., EDGERTON, S. A. Y VEGA, E. **Chemical composition of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} in México city during winter 1997.** The science of the total environment, 287, 2002. 177-201 p.

GASCA, J., ORTIZ, E., CASTILLO, H., JAIMES J. L. Y GONZÁLEZ, U. **LPG use in México City: Impact on air quality.** Atmospheric Environment. 38, 2004. 3517-3527 p.

GÓMEZ, V., SOLÍS, C., CHÁVEZ, E., ANDRADE, E., ORTÍZ, M.E., HUERTA, A., ARAGÓN, J., RODRÍGUEZ- CEJA, M., MARTÍNEZ, M.A. Y ORTÍZ, E. **^{14}C content in aerosols in Mexico City.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 371, 2016. 365-369 p.

HEAL, M. R. **The application of carbon-14 analyses to the source apportionment of atmospheric carbonaceous particulate matter: a review.** Analytical & Bioanalytical Chemistry, 406, 2014. 81-98 p.

IECEI-ZMVM. **Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero en la Zona Metropolitana del Valle de México.** Secretaría del Medio Ambiente. Gobierno del Distrito Federal, 2012.

KNAAPEN, A. M., BORM, P. J. A., ALBRECHT, C., Y SCHINS, R. P. F. **Inhaled particles and lung cancer, part A: mechanisms,** International Journal Cancer, 109, 2004. 799-809 p.

MARLEY, N. A., GAFFNEY, J. S., TACKETT, M., STURCHIO, N. C., HERATY, L., MARTINEZ, N., HARDY, K. D., MARCHANY-RIVERA, A., GUILDERSON, T., MACMILLAN, A. Y STEELMAN, K. **The impact of biogenic carbon sources on aerosol absorption in Mexico City.** Atmospheric Chemistry and Physics, 9, 2009. 1537-1549 p.

ORTIZ, E., SOLÍS, C., MARTÍNEZ, M. A., IUGA, C., VIVIER, A., LUCHO CONSTANTINO, C. A. Y BELTRÁN-HERNÁNDEZ, R. I. Capítulo 9 en el libro: **Contaminación atmosférica y tecnologías de cero emisiones de carbón**. Editado por Leopoldo García Colín y Juan Rubén Varela Ham Universidad Autónoma Metropolitana, México, 2011. 173-196 p. título del libro: Identificación de las fuentes emisoras de PM10 en Tlaxcoapan, Hidalgo: Estudio de caso Contaminación Atmosférica y tecnologías cero emisiones. ISBN 978-607-477-504-4.

PROAIRE 2011-2020 **Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México**. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México y del Distrito Federal, 2011.

RETAMA, A., BAUMGARDNER, D., RAGA, G. B., MCMEEKING, G. R. YAND WALKER, J. W. **Seasonal and diurnal trends in black carbon properties and co-pollutants in Mexico City**. Atmospheric Chemistry and Physics, 15, 2015. 9693–9709 p.

SEINFELD, J. H. Y PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. Wiley-Interscience. 2012.

SOLIS, C., CHAVEZ, E., ORTIZ, M.E., ANDRADE, E., ORTIZ, E., SZIDAT S. Y, WACKER L. **AMS-C14 analysis of graphite obtained with an Automated Graphitization Equipment (AGE III) from aerosol collected on quartz filters**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 361, 2015b. 419–422 p.

SOLIS, C., GÓMEZ V., CHÁVEZ LOMELÍ E., MIRANDA J., ARAGÓN J., MARTÍNEZ-CARRILLO M. A., CASTRO T., PERALTA O. Y, ORTÍZ E. **AMS-14C and chemical composition of atmospheric aerosols from Mexico City**. Radiocarbon, 59, 2017. 321-332 p.

SZIDAT, S., JENK, T. M., GAGGELER, H. W., SYNAL, H. A., FISSEHA, R., BALTENSPERGER, U., KALBERER, M., SAMBUROVA, V., REIMANN, S., KASPER-GIEBL, A. Y HAJDAS, I. **Radiocarbon (C-14)- deduced biogenic and anthropogenic contributions to organic carbon (OC) of urban aerosols from Zurich, Switzerland**. Atmospheric Environment, 38, 2004. 4035-4044 p.

SZIDAT, S., RUFF, M., PERRON, N., WACKER, L., SYNAL, H. A., HALLQUIST, M., SHANNIGRAHI, A. S., YTTTRI, K. E., DYE, C. Y SIMPSON, D. **Fossil and non-fossil sources of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in Goteborg, Sweden**. Atmospheric Chemistry and Physics, 9, 2009. 1521–1535 p.

TAKAHASHI, K., HIRABAYASHI, M., TANABE, K., SHIBATA, Y., NISHIKAWA, M. AND SAKAMOTO, K. **Radiocarbon Content in urban atmospheric aerosols**. Water Air Soil Pollut, 185, 2007. 305-310 p.

ZHANG, Y. L., PERRON, N., CIOBANU, V. G., ZOTTER, P., MINGUILLÓN, M. C., WACKER, L., PRÉVOT, A. S. H., BALTENSPERGER, U. Y SZIDAT, S. **On the isolation of OC and EC and the optimal strategy of radiocarbon-based source apportionment of carbonaceous aerosols**. Atmospheric Chemistry and Physics, 12, 2012. 10841–10856 p.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 139, 140

Aerosoles 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 168

Alaranjado de metila 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Área de proteção ambiental 145, 148, 158

Área superficial elevada 74

Aspergillus niger 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24

Aterros 125, 131, 132

C

Celulosa 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24

Colorantes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 21

Compostagem 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124

Contaminação ambiental 26, 130

Contaminação hídrica 56

D

Decantador de coluna 82

F

Fármacos 35, 36, 37, 38, 39, 46, 47

Floco decantador de manta de lodo 82

Fósforo 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71

I

Índigo carmín 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23

L

Lodo de lagoa de estabilização 82, 93

M

Mathematical air dispersion modeling 186

Meio ambiente 36, 37, 46, 56, 72, 94, 101, 120, 124, 125, 128, 129, 145, 146, 148, 170, 171, 172, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183

Meio suporte alternativo 74, 75, 76

Metais tóxicos 125, 126, 128

Micropoluentes 35, 39

O

Odour monitoring 186

Odour sensors 186

Óxidos de ferro 55, 57, 58, 59, 62, 63

P

Plástico reciclável 74

Processo contínuo 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33

Processo de lixiviação 130, 131

Processo em batelada 25, 26, 27, 28, 31, 33

Q

Queima de biomassa 159, 160, 161, 162, 166, 167, 168

R

Radiocarbono 160, 161, 162, 167

Reação de Fenton 26

Resíduo sólido 108

Resíduos sólidos domiciliares 95, 96, 97

Resíduo zero 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 123, 124

Resinas 99, 100, 101, 104

S

Saneamento rural 56

Saúde humana 37, 125, 126, 128, 170, 171, 172, 178

Secagem em estufa agrícola 82, 88, 89, 90, 93

Solubilização 130

T

Termoplásticos 99, 100, 105

Tratamiento de agua 1, 13, 14

U

Unidade de conservação 145, 146, 158

Uso do solo 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 158, 172, 178, 180, 186

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 