

Atena
Editora

Ano 2021

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, INTERDISCIPLINARIDADE E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Kristian Andrade Paz de la Torre
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2021

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, INTERDISCIPLINARIDADE E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**Kristian Andrade Paz de la Torre
(Organizador)**



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

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

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

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

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

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

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
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^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

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

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

Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e ciências ambientais

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Kristian Andrade Paz de la Torre

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e ciências ambientais / Organizador Kristian Andrade Paz de la Torre. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-972-1

DOI 10.22533/at.ed.721211304

1. Ciências ambientais. 2. Sustentabilidade. I. Torre, Kristian Andrade Paz de la (Organizador). II. Título.

CDD 363.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

APRESENTAÇÃO

A coleção “Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e ciências ambientais” é uma obra que tem, como foco principal, a discussão científica, por meio dos diversos trabalhos que compõem seus capítulos. O volume 1, focado em tecnologias de estudo ambiental, abordará, de forma categorizada e multidisciplinar, trabalhos, pesquisas, relatos de casos e revisões que apresentam desde técnicas de análise do meio ambiente até estratégias para a educação ambiental.

O objetivo central foi apresentar, de forma organizada e clara, estudos realizados em diversas instituições de ensino e pesquisa. Em todos esses trabalhos, o fio condutor foi o aspecto relacionado ao desenvolvimento sustentável, em suas dimensões social, econômica e, com maior destaque, ambiental; na qual englobaram-se as esferas do solo, água, ar, seres vivos e transmissão dos conhecimentos associados a tais assuntos. Com isso, configura-se uma discussão de enorme relevância, dado que os desequilíbrios ambientais têm sido um problema há muitos anos, o que demanda ações adequadas para a correta compreensão das questões ambientais.

Assuntos diversos e interessantes são, dessa forma, abordados aqui, com o intuito de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, professores e demais pessoas que, de alguma forma, interessam-se pelo desenvolvimento sustentável. É válido ressaltar, ainda, que possuir um material que agrupe dados sobre tantas faces desse conceito é muito importante, por constituir uma completa descrição de um tema tão atual e de interesse direto da sociedade.

Desse modo, a obra apresenta uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos autores, que arduamente elaboraram seus trabalhos e aqui os apresentam de maneira concisa e didática. Sabe-se o quão importante é a divulgação científica e, por isso, evidencia-se aqui também a estrutura da Atena Editora, capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para que esses pesquisadores exponham e divulguem seus resultados.

Kristian Andrade Paz de la Torre

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DANOS PARA *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) EM CULTURA DE MILHO

Jose Celso Martins

DOI 10.22533/at.ed.7212113041

CAPÍTULO 2..... 8

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO BLOCO DE CULTIVO AXÊNICO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE *Lentinula edodes*

Samuel Vitor Assis Machado de Lima

Janaína Piza Ferreira

Nayara Clarete da Penha

José Gomes Vianna Neto

Cibelli Paula de Castro

DOI 10.22533/at.ed.7212113042

CAPÍTULO 3..... 19

ALTERAÇÕES DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE DOM ELISEU-PARÁ DE 2004 A 2014

Sabrina Benmuyal Vieira

Raquel de Oliveira Santos

Annicia Barata Maciel Ferreira

Lucieta Guerreiro Martorano

Afonso Henrique Moraes de Oliveira

Agust Sales

Marco Antonio Siviero

DOI 10.22533/at.ed.7212113043

CAPÍTULO 4..... 34

CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS PROVENIENTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - ALAGOAS

Romikson Christiano da Silva Freitas

Amanda Silva Medeiros

Joao Gomes da Costa

Mayara Andrade Souza

Paulo Rogerio Barbosa de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.7212113044

CAPÍTULO 5..... 40

DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS COBRE E ZINCO AMBIENTALMENTE DISPONÍVEIS EM SOLO DE MANGUE

Alexandre Bomfim Barros

Joaquim Alexandre Moreira Azevedo

Aline de Moraes Amaral Barros

Velber Xavier Nascimento

Paulo Rogério Barbosa de Miranda

Danyella Caroline do Couto Almeida
Ana Claudia Ávila Mendonça de Lyra
Tania Valeska Medeiros Dantas Simões
Valesca Barreto Luz

DOI 10.22533/at.ed.7212113045

CAPÍTULO 6..... 49

MOVIMENTAÇÃO DE CÁDMIO EM COLUNAS DE SOLO COM APLICAÇÃO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO: PARÂMETROS DE TRANSPORTE

Marco Aurélio Kondracki de Alcântara
Laís Pina Souza
Hélcio José Izário Filho
Patrícia Carolina Molgero da Rós
Adriano Francisco Siqueira
Diovana Aparecida dos Santos Napoleão
Leandro Gonçalves de Aguiar
Nicolý Milhardo Lourenço Nohara

DOI 10.22533/at.ed.7212113046

CAPÍTULO 7..... 64

CITOGENOTOXICIDADE DE PRODUTOS FARMACÊUTICOS UTILIZANDO-SE O BIOTESTE DE ALLIUM CEPA: UM ESTUDO

Jéssica da Rocha Alencar Bezerra de Holanda
Vera Lúcia Bobrowski
Maurizio Silveira Quadro
Jéssica Torres dos Santos
Manoela Colpes Vieira
Caroline Menezes Pinheiro
Louise Hoss
Carolina Faccio Demarco
Thays França Afonso
Manoel Ribeiro Holanda Neto
Luísa Andina Bender
Guilherme Pereira Schoeler

DOI 10.22533/at.ed.7212113047

CAPÍTULO 8..... 71

LEVANTAMENTO QUALITATIVO E QUANTITATIVO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO IGARAPÉ-SÃO LUIZ, SITUADO NO MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA-PA

Sebastião da Cunha Lopes
Roberta Rios de Sousa
Bruna Thaissa Martins Mendrade
Dayse de Nazaré Cardoso Monteiro Rabelo

DOI 10.22533/at.ed.7212113048

CAPÍTULO 9..... 80

BIOMONITORAMENTO DE METAIS PESADOS (Cu, Zn e Cd) EM AMBIENTES

ESTUARINOS USANDO OSTRAS *Crassostrea rhizophorae*

Joaquim Alexandre Moreira Azevedo
Alexandre Bomfim Barros
Aline de Moraes Amaral Barros
Velber Xavier Nascimento
Paulo Rogério Barbosa de Miranda
Danyella Caroline do Couto Almeida
Ana Claudia Ávila Mendonça de Lyra
Tania Valeska Medeiros Dantas Simões
Valesca Barreto Luz

DOI 10.22533/at.ed.7212113049

CAPÍTULO 10..... 86

UM ESTUDO SOBRE A PRESENÇA DO CONTAMINANTE EMERGENTE DICLOFENACO EM AMBIENTES AQUÁTICOS BRASILEIROS

Julia Kaiane Prates da Silva
Jéssica da Rocha Alencar Bezerra de Holanda
Jéssica Torres dos Santos
Caroline Menezes Pinheiro
Maurizio Silveira Quadro
Robson Andreazza
Cicero Coelho de Escobar
Mery Luiza Garcia Vieira
Louise Hoss
Vitória Sousa Ferreira
Carolina Faccio Demarco
Thays França Afonso

DOI 10.22533/at.ed.72121130410

CAPÍTULO 11..... 93

LEVANTAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS VEICULARES NA UTFPR LONDRINA

Roseane de Lourdes Miguel
Joseane Debora Peruço Theodoro

DOI 10.22533/at.ed.72121130411

CAPÍTULO 12..... 102

FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL EM EMPRESAS QUE COMERCIALIZAM AGROTÓXICOS NO ESTADO DO CEARÁ

Mayco Angello Fernandes de Sena Silva
Abraão Lima Verde Maia
José Maria Tupinambá da Silva Júnior
Ana Paula Lima dos Reis
Luís Roberto Machado de Sabóia

DOI 10.22533/at.ed.72121130412

CAPÍTULO 13.....	112
IMPACTOS AMBIENTAIS DO TURISMO EM GRAMADO/RS	
Leticia Corrêa Mazotti	
Natalia Aparecida Soares	
DOI 10.22533/at.ed.72121130413	
CAPÍTULO 14.....	134
MEIO O AMBIENTE DO TRABALHO: RESPONSABILIDADE CIVIL DO EMPREGADOR PELA DOENÇA OCUPACIONAL	
Mary Monalisa de Carvalho Costa	
DOI 10.22533/at.ed.72121130414	
CAPÍTULO 15.....	141
DIFERENÇAS E DESAFIOS NA GESTÃO CONTEMPORÂNEA DO MEIO AMBIENTE NO BRASIL	
Monique Carina Caliri Schmidt	
Sérgio Luís Boeira	
DOI 10.22533/at.ed.72121130415	
CAPÍTULO 16.....	158
PRODUÇÃO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS COMO ESTRATÉGIA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM SALA DE AULA	
Geórgia Carvalho Anselmo	
Gizele Carvalho Anselmo	
DOI 10.22533/at.ed.72121130416	
CAPÍTULO 17.....	163
A UTILIZAÇÃO DA CAMPINARANA COMO FERRAMENTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA EM DUAS ESCOLAS PÚBLICAS DE IGARAPÉ-MIRI/PARÁ	
Sebastião da Cunha Lopes	
Luan dos Santos Costa	
Lauren Rubeni Pena de Lima	
Dayse de Nazaré Cardoso Monteiro Rabelo	
DOI 10.22533/at.ed.72121130417	
CAPÍTULO 18.....	174
ANÁLISE DE UMA PRÁTICA PEDAGÓGICA SOBRE ECOSISTEMAS E SUAS PROPRIEDADES	
Marllon Moreti de Souza Rosa	
Antônio Fernandes Nascimento Junior	
DOI 10.22533/at.ed.72121130418	
CAPÍTULO 19.....	185
ABORDAGEM MAIS INTEGRATIVA E HOLÍSTICA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL ATRAVÉS MODELAGEM ESPACIAL UTILIZANDO ETNOMAPEAMENTO - EDUCAÇÃO AMBIENTAL ATRAVÉS DE MODELAGEM ESPACIAL	
Simone Soraia Silva Sardeiro	

Avelar Araujo Santos Junior

DOI 10.22533/at.ed.72121130419

CAPÍTULO 20..... 191

EDUCAÇÃO AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Albenia Maria de Andrade Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.72121130420

SOBRE O ORGANIZADOR..... 203

ÍNDICE REMISSIVO..... 204

CAPÍTULO 6

MOVIMENTAÇÃO DE CÁDMIO EM COLUNAS DE SOLO COM APLICAÇÃO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO: PARÂMETROS DE TRANSPORTE

Data de aceite: 01/04/2021

Marco Aurélio Kondracki de Alcântara

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, Brasil
0000-0001-6884-0696

Laís Pina Souza

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, São Paulo, Brasil

Hélcio José Izário Filho

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil
0000-0002-3815-8327

Patrícia Carolina Molgero da Rós

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, São Paulo, Brasil
0000-0001-6176-1848

Adriano Francisco Siqueira

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, São Paulo, Brasil
0000-0002-6920-7507

Diovana Aparecida dos Santos Napoleão

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, São Paulo, Brasil
0000-0003-1056-6684

Leandro Gonçalves de Aguiar

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, São Paulo, Brasil
0000-0002-2055-9317

Nicolay Milhardo Lourenço Nohara

Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo
Lorena, São Paulo, Brasil
0000-0003-1326-4542

RESUMO: No Brasil, assim como em vários outros países em desenvolvimento, a disposição de resíduos sólidos em lixões ainda é motivo de sérias preocupações ambientais, apesar da existência de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos em vigor nesse país. Um lixão pode continuar gerando chorume (lixiviado) e gases contaminantes por vários anos. A percolação desse lixiviado pelo solo pode ser considerada um sério problema ecológico. O descarte irregular de baterias nesses lixões pode introduzir, entre outras substâncias, metais pesados como o cádmio. Este trabalho teve como objetivo estudar parâmetros de transporte de cádmio em colunas de solo que receberam lixiviado de aterro sanitário. O chorume foi proveniente de um lixão de Guaratinguetá, São Paulo, Brasil. Amostras superficiais e subsuperficiais de um Latossolo e um Argisolo foram empregadas, sem e com correção do pH. Experimentos em colunas foram conduzidos de acordo com a teoria do deslocamento miscível. Pulso com 400 mg L^{-1} de Cd foi obtido pelo enriquecimento do chorume com CdCl_2 . Utilizou-se o software STANMOD

para estimar números de Peclet (P), coeficientes de dispersão-difusão (D) e fatores de retardamento (RF). Os valores de P no Latossolo indicam a predominância de fluxo difusivo. No Argissolo, a natureza do fluxo foi alterada pela correção do pH. Os D no Latossolo com correção de pH apresentaram valores mais elevados se comparadas com as colunas sem correção. No Argissolo, os D foram da mesma ordem de grandeza para ambas condições de pH. Uma menor predominância do fluxo difusivo no Argissolo é condizente com os menores D para esse solo quando comparado ao Latossolo. Os RF obtidos para o Latossolo foram superiores aos obtidos para o Argissolo. Este trabalho estimou quantitativamente a variação de parâmetros de transporte. A estimativa desses parâmetros é essencial para utilização de diversos modelos para simulação da movimentação de solutos no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Movimentação, Colunas de Solo, Deslocamento Miscível, Parâmetros de Transporte, Choroço, Cádmiio.

CADMIUM MOVEMENT IN SOIL COLUMNS WITH LANDFILL LEACHATE APPLICATION: TRANSPORT PARAMETERS

ABSTRACT: In Brazil, as in several other developing countries, the disposal of solid waste in dumping grounds is still a matter of serious environmental concerns, despite the existence of a National Solid Waste Policy in force in that country. A dumping ground may continue to generate leachate and contaminating gases for several years. The percolation of this leachate through the soil can be considered a serious ecological problem. The irregular disposal of batteries in these dumps can introduce, among other substances, heavy metals such as cadmium. This work aimed to study cadmium transport parameters in soil columns that received landfill leachate. The leachate came from a garbage dump in Guaratinguetá, São Paulo, Brazil. Surface and subsurface samples of an Latossolo (Oxisol) and an Argissolo (Ultisol) were used, without and with pH correction. Column experiments were conducted according to the miscible displacement theory. Pulse with 400 mg L⁻¹ of Cd was obtained by enriching the leachate with CdCl₂. The STANMOD software was used to estimate Peclet numbers (P), dispersion-diffusion coefficients (D) and retardation factors (RF). The P values in the Latossolo indicate the predominance of diffusive flow. In the Argissolo, the nature of the flow was altered by pH correction. The D in the Latossolo with pH correction showed higher values when compared to the columns without correction. In Argissolo, the D were of the same order of magnitude for both pH conditions. A lower predominance of the diffusive flow in the Argissolo is consistent with the lower D for this soil when compared to the Latossolo. The RF obtained for the Latossolo were higher than those obtained for the Argissolo. This work estimated quantitatively the variation of transport parameters. The estimation of these parameters is essential for the use of several models to simulate the movement of solutes in the soil.

KEYWORDS: Movement, Soil Columns, Miscible Displacement, Transport Parameters, Landfill Leachate, Cadmium.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em vários países em desenvolvimento, a disposição final de resíduos sólidos em lixões ainda é motivo de sérias preocupações ambientais. Nesse

país, a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política nacional de Resíduos Sólidos. Segundo essa lei, 100% dos lixões deveriam ter sido fechados até 2014 (BRASIL, 2010). Porém, a destinação final inadequada ainda é uma realidade em grande parte dos municípios brasileiros, mesmo após quase uma década da aprovação dessa lei. De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais (representante no Brasil da ISWA – International Solid Waste Association), foram dispostas 34,850 ton dia⁻¹ de resíduos em lixões durante o ano de 2018, o que corresponde a 17.5% em relação à disposição total (ABRELPE, 2019). A situação é agravada considerando-se que o encerramento das atividades de lixões ou de aterros controlados não é garantia de término dos problemas. Associado com o lixo, existe a geração de lixiviados ou chorume, classificados como um hazardous material pela EPA (United States Environmental Protection Agency) (item 19 07) (EPA, 2019). Um lixão pode continuar gerando chorume e gases contaminantes por 15 anos ou mais, se as condições do meio forem favoráveis à atividade biológica. A deficiência da fiscalização e adoção de técnicas não apropriadas de descarte e manutenção do aterro podem agravar esse quadro. A percolação do líquido resultante do material lixiviado de aterros sanitários, aterros controlados e lixões pelo solo pode ser considerada um dos maiores problemas ambientais, associado à operação e gerenciamento do lixo social e industrial gerados. A partir da contaminação do solo e da água, constituintes orgânicos e inorgânicos podem ser introduzidos em diversos setores do ecossistema, comprometendo a fauna, a flora e a qualidade de vida do ser humano. Apesar do crescente incentivo da coleta seletiva no Brasil, ainda persiste o descarte irregular de pilhas e baterias no lixo, as quais apresentam teores consideráveis de metais pesados, como o cádmio (entre outros, como p.ex., o chumbo). Entre os danos potenciais aos ecossistemas, encontram-se aqueles associados à movimentação desses lixiviados pelo solo. Assim, a preocupação com a movimentação de contaminantes presentes nesses lixiviados tem sido o foco de pesquisas, visando a redução desses metais (Aish et al., 2014; Pazoki et al., 2017; Mavimbela et al., 2019; Söderberg et al., 2019; Fandiño et al. (2020). Esses autores detectaram que, dependendo do metal e da região estudada, esses metais podem atingir o aquífero entre 5 a 50 anos. Esses dados são preocupantes, se considerarmos que o Sistema Aquífero Guarani é considerado o segundo maior do mundo (SGB, 2014) e fica no entorno de uma região populosa, que comporta diversas atividades antrópicas com potencial poluidor. Estudos conduzidos em diferentes regiões do mundo têm evidenciando que o cádmio presente nos lixivados pode percolar pelo solo (Campbell et al., 1983; Wu & Li, 1998; Kiddee et al., 2014).

Diferentes abordagens têm sido utilizadas para estudar a movimentação de contaminantes pelo solo. Especificamente, uma que tem recebido atenção é o desenvolvimento e a aplicação de modelos matemáticos (Alcântara & Camargo, 2004; Soto et al., 2012; Ke et al., 2018; Fandiño et al., 2020). Tais modelos costumam considerar alguns parâmetros que possibilitam análises sobre a interação solo-soluto, como o fator de

retardamento, o coeficiente de dispersão-difusão e o número de Peclet. O conhecimento desses parâmetros é importante no estudo da movimentação de solutos no solo, em destaque para a contaminação do solo e da água. No Brasil, não foram encontrados estudos que visam quantificar parâmetros de transporte para o cádmio presente nesses lixiviados.

O coeficiente de dispersão-difusão (D), ou coeficiente de difusão aparente, ou coeficiente de dispersão longitudinal é um parâmetro físico que considera a difusão iônica (diferença de concentração) e a dispersão mecânica (variação de velocidade de movimentação em poros de diferentes formatos). A expressão desse parâmetro considera a velocidade do fluido e umidade volumétrica, sendo uma função de velocidade do fluxo (Novák & Hlaváčiková, 2019) (Equação 1)

$$D = \lambda \times v^n \quad (1)$$

Em que λ é dispersividade do meio poroso [$L T^{-1}$], v é a velocidade da água nos poros [L] e n é uma constante empírica (geralmente próxima a 1).

O número de Peclet (P) possibilita interferir qual processo é predominante durante a transferência de solutos em meios porosos. Esses processos podem ser difusivos ou convectivos-dispersivos (Rapp, 2017). Tal parâmetro considera a velocidade de transporte por convecção e a de difusão molecular (Novák & Hlaváčiková, 2019). Esse parâmetro é adimensional e pode ser obtido pela Equação (2):

$$P = \frac{v \cdot L}{D} \quad (2)$$

em que v é a velocidade da água nos poros [$L T^{-1}$], L é o comprimento da coluna [L] e D é a difusividade da solução [$L^2 T^{-1}$].

O fator de retardamento (RF) é utilizado em diversos modelos de transporte de solutos no solo, em especial aqueles baseados no fluxo advectivo-dispersivo. É um parâmetro adimensional, definido pela razão entre a velocidade do fluido percolante e a velocidade da frente de contaminação (Bégin et al., 2003). Tal relação expressa o atraso entre a velocidade de avanço do soluto e a frente de molhamento da solução que percola (Novák & Hlaváčiková, 2019). O RF está relacionado com a retenção de íons existentes em um solvente pelo solo, através das interações entre a fase sólida e líquida a percolação da solução no solo. Tal relação pode ser dada pela Equação (3) (Valocchi, 1984):

$$RF = 1 + \frac{K \cdot \rho}{\theta} \quad (3)$$

Em que K é o coeficiente empírico de distribuição (igual a zero quando não há interação entre soluto e o solo, adimensional), ρ é a densidade do solo [$M L^{-3}$] e θ a umidade volumétrica do solo [$L^3 L^{-3}$].

Com base nesse contexto, este trabalho teve como objetivo estudar o transporte de cádmio em colunas de solo que receberam lixiviado de aterro sanitário enriquecido com esses metais. Para essa finalidade os principais parâmetros de transporte avaliados foram fator de retardamento, número de Peclet e coeficiente de difusão-dispersão.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Chorume utilizado

Foi utilizado o líquido percolado de um antigo lixão, localizado no município de Guaratinguetá, Estado de São Paulo, Brasil (22° 48' 15" S 45° 13' 40" W). Essa área de 30.000 m² funcionou como depósito de lixo durante 30 anos, tendo sido desativado no ano de 2006. Atualmente, a área é ocupada por um parque ecológico. As metodologias analíticas utilizadas na caracterização do efluente encontram-se descritas em APHA (2012).

2.2 Solos avaliados

Foram utilizadas amostras superficiais (0 – 10 cm de profundidade) e superficiais (40 – 60 cm). Os solos foram coletados no município de Lorena, SP, Brasil, respectivamente nas seguintes coordenadas: UTM 7.490.171m N, 488.50 m E e UTM 7.490.885m N, 489.405m E. De acordo com a classificação brasileira (EMBRAPA (2018), esses solos são classificados respectivamente como: a) Latossolo Amarelo Distrófico húmico textura argilosa relevo suave ondulado; b) Argissolo Amarelo Distrófico tipo A, moderado textura média/argilosa relevo suave ondulado. Esses solos foram aqui denominados de LA-A, LA-B, PA-A e PA-B. São solos de ocorrência geográfica bastante expressiva na região em que este estudo foi conduzido. Os solos coletados foram secos ao ar, tamisados em peneira de inox com abertura de 2 mm e armazenados em sacos plásticos até o momento de sua utilização. De acordo com a Soil Taxonomy (NRCS, 2014), esses solos são classificados como Oxisol e Ultisol, respectivamente. Os atributos dos solos foram determinados ou estimados de acordo com Camargo et al. (2009) e Raji et al. (2001).

Para verificar a influência da adição de carbonatos na movimentação, esses solos e horizontes foram submetidos a dois tratamentos: sem adição de carbonatos (condições “naturais” de pH) e com adição de carbonatos, de modo a elevar a saturação por bases a 70%, segundo metodologia descrita em Raji et al. (2001). Os solos que receberam carbonatos foram incubados úmidos a 80% da capacidade de campo durante 60 dias.

2.3 Metodologia para quantificação de cádmio

Para determinação de Cd digeriu-se 5 mL de amostras com 2 mL de água régia (HCl + HNO₃ na proporção 3:1 v v⁻¹) durante 1 h a 180 °C em sistema fechado com refluxo. A quantificação dos teores de metais foi feita em um Espectrômetro de Absorção Atômica *PerkinElmer*TM, modelo *AAnalyst 800*. Essa metodologia foi previamente validada pelo teste de adição e recuperação de analito (INMETRO, 2010).

2.4 Tratamentos aplicados

Na Tabela 1, encontram-se descritos os tratamentos aplicados às colunas de lixiviação.

Tratamento	Descrição
LA-A-NAT	Latossolo Amarelo, horizonte A, pH "natural".
LA-B-NAT	Latossolo Amarelo, horizonte B, pH "natural".
LA-A-COR	Latossolo Amarelo, horizonte A, pH corrigido.
LA-B-COR	Latossolo Amarelo, horizonte B, pH corrigido.
PA-A-NAT	Argissolo Amarelo, horizonte A, pH "natural".
PA-B-NAT	Argissolo Amarelo, horizonte B, pH "natural".
PA-A-COR	Argissolo Amarelo, horizonte A, pH corrigido.
PA-B-COR	Argissolo Amarelo, horizonte B, pH corrigido.

Tabela 1 Tratamentos aplicados às colunas de lixiviação

2.5 Experimentos em colunas de solo

A lixiviação em colunas de solo foi realizada tendo em vista a teoria do deslocamento miscível, descrita detalhadamente em Reichardt & Timm (2012). As colunas (5.6 cm de diâmetro interno e 30 cm de altura) foram preenchidas com solo, em camadas de 3 cm, com auxílio de um funil de haste longa, reduzindo o efeito de segregação por tamanho de agregados do solo. Em cada camada, o solo foi compactado para atingir a densidade desejada. Após o preenchimento com solo, as colunas foram saturadas a partir da base com uma solução de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 5 mmol L⁻¹ (denominada neste trabalho de solução deslocadora). Após a saturação, aplicou-se a solução deslocadora na superfície do solo, até obtenção de um fluxo q constante. Imediatamente após a obtenção de um fluxo constante, aplicou-se 100 mL de pulso. Esse pulso era constituído pelo chorume enriquecido com Cd, contendo uma concentração inicial (C_0) do metal. O início da aplicação do pulso coincidiu com a contagem de tempo de condução ($t = t_0 = 0$ min) e da quantificação do volume aplicado ($V = 0$ mL). Terminada a aplicação do pulso, retornou-se a aplicação da solução deslocadora, até o final do experimento. O fluxo no interior da coluna foi mantido saturado durante a condução dos experimentos. A coleta do lixiviado da coluna foi feita em intervalos regulares, a partir do início da aplicação do pulso. Na Fig. 1, encontra-se o esquema do sistema de condução das colunas. Os principais parâmetros de condução encontram-se na Tabela 2.

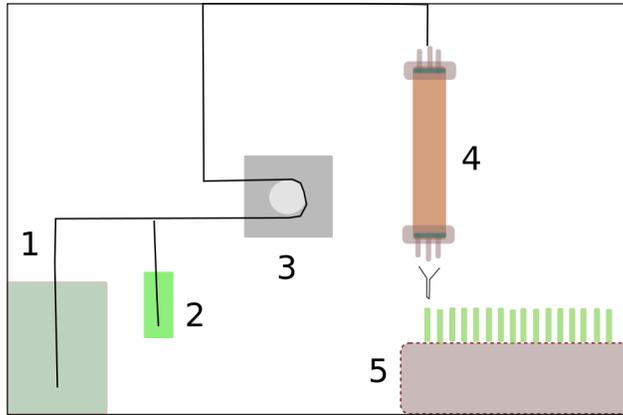


Fig. 1 Esquema do sistema de lixiviação utilizado. 1: reservatório da solução deslocadora; 2: reservatório do pulso (chorume enriquecido com Cd); 3: bomba peristáltica; 4: coluna de lixiviação e 5: amostrador automático com tubos para coleta. Os suportes necessários para sustentar cada parte não estão representados na figura.

TRAT.	C_o	x	θ	v	V_o	t_p	t_{tot}	V_{tot}	Δt	N tubos
	(mg L ⁻¹)	(m)	(cm ³ cm ⁻³)	(cm h ⁻¹)	(cm ³)	(h)	(h)	(L)	(h)	Adim.
LA-A-NAT	400	0,30	0,538	22,63	0,398	0,33	16,80	5,04	0,23	72
LA-B-NAT	400	0,30	0,501	24,34	0,370	0,33	19,13	5,75	0,23	82
LA-A-COR	400	0,30	0,538	22,66	0,398	0,33	19,37	5,82	0,23	83
LA-B-COR	400	0,30	0,501	24,22	0,370	0,33	22,17	6,63	0,23	95
PA-A-NAT	400	0,30	0,495	24,60	0,366	0,33	21,93	6,58	0,23	94
PA-B-NAT	400	0,30	0,505	24,21	0,373	0,33	23,57	7,09	0,23	101
PA-A-COR	400	0,30	0,495	22,64	0,366	0,33	25,20	7,57	0,23	108
PA-B-COR	400	0,30	0,505	24,21	0,373	0,33	22,17	6,67	0,23	95

C_o : concentração inicial de cádmio ou de chumbo no pulso; x , comprimento da coluna; θ : umidade volumétrica, considerado igual a porosidade do solo; v , fluxo de água nos poros, obtido dividindo-se o fluxo de Darcy (q) pela porosidade do solo; V_o : volume total dos poros do solo; t_p , tempo de aplicação do pulso; t_{tot} : tempo total de coleta do lixiviado; Δt , tempo de coleta em cada tubo; Número de tubos coletados até completar a curva de transposição.

Tabela 2 Principais parâmetros de condução das colunas de lixiviação

2.6 Obtenção dos parâmetros de transporte

O aplicativo computacional STANMOD utiliza soluções analíticas para a equação convectiva-dispersiva/advecção-dispersão de transporte de solutos (CDE ou ADE). Essa equação descreve o transporte unidimensional por um meio homogêneo saturado em regime permanente (Kirkham & Powers, 1972) (Equação 4):

$$RF \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (4)$$

em que C é concentração de soluto [$M L^{-3}$]; x é a distância (neste trabalho, corresponde ao comprimento da coluna) [L]; t é o tempo [T]; D é o coeficiente de dispersão [$L^2 T^{-1}$]; v é velocidade da água nos poros (fluxo de Darcy dividido pela porosidade do solo) [$L T^{-1}$]; RF : fator de retardamento (adimensional).

O STANMOD permite estimar no modo inverso os números de Peclet (P), os coeficientes de dispersão-difusão (D) e os fatores de retardamento (RF). Esses parâmetros são obtidos por técnicas de otimização dos mínimos quadrados, calculados no módulo CXTFIT do programa (Parker & van Genuchten, 1984). A versão 2.08 desse aplicativo foi elaborada pela PC PROGRESS Engineering Software Developer, disponível na internet gratuitamente.

Para verificar, ainda que de forma simplificada, se o modelo proposto pelo aplicativo STANMOD poderia ser utilizado para descrição da movimentação (o que inclui evidentemente a estimativa dos parâmetros), calcularam-se os coeficientes de determinação (R^2) entre os dados experimentais e os simulados pelo aplicativo, considerando a concentração (C) do cádmio lixiviado ao longo do tempo t de coleta.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição do chorume coletado encontra-se na Tabela 3.

Determinação	Valor \pm desvio	Teor permitido*
pH	8,05 \pm 0,21	De 5,00 a 9,00
Condutividade – mS cm ⁻¹	7,074 \pm 0,552	-
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)	398,02 \pm 121,45	20,0
N-org. (mg L ⁻¹)	28,80 \pm 21,64	-
Fósforo (mg L ⁻¹)	8,69 \pm 0,01	-
Cd (μ g L ⁻¹)	6,26 \pm 3,66	0,2
Pb (μ g L ⁻¹)	9,51 \pm 2,89	0,5
Ba (mg L ⁻¹)	6,68 \pm 2,55	5,0
B (mg L ⁻¹)	0,03 \pm 0,01	5,0
Cu (mg L ⁻¹)	0,14 \pm 0,05	1,0
Cr (μ g L ⁻¹)	85,73 \pm 10,93	0,5
Fe (mg L ⁻¹)	6,84 \pm 2,38	-
Hg (μ g L ⁻¹)	< 11,0	0,01
Ni (mg L ⁻¹)	4,03 \pm 0,84	2,0
Ag (μ g L ⁻¹)	68,22 \pm 55,94	0,1
Zn (μ g L ⁻¹)	0,45 \pm 0,34	5,0

*: De acordo com o Artigo 18 da CETESB e Artigo 34 do CONAMA 357/05 (CONAMA, 2006), expressos em mg L⁻¹.

Tabela 3 Caracterização do chorume utilizado

É importante notar que foi detectada presença de cádmio no lixiviado, decorrente do descarte inadequado de pilhas e baterias em lixo de origem doméstica. Isso sugere que, mesmo em aterros que recebem lixo predominantemente de origem doméstica, pode estar ocorrendo o descarte desses materiais de maneira irregular. Além disso, há que se considerar que os baixos teores de Cd ($6.26 \pm 3.66 \mu\text{g L}^{-1}$) podem ter sido influenciados pela época de coleta do lixiviado, que ocorreu em períodos de grande incidência de chuvas, contribuindo para a diluição do lixiviado. Porém, em aterros que recebem lixo predominantemente de atividades industriais, os teores desse elemento podem ser consideravelmente mais elevados. Para elevar os teores de Cd no chorume ao nível desejado (400 mg L^{-1}), foram utilizados padrões rastreáveis NIST (*Titrisol Merck™*), contendo esse elemento na forma de CdCl_2 .

Os atributos dos solos encontram-se na Tabela 4. As concentrações de Cd nos solos foram muito inferiores aos Valores de Referência de Qualidade estabelecidos pela legislação vigente no Brasil, que é de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (CONAMA, 2011).

Determinações	Solos-Horizontes			
	LA-A	LA-B	PA-A	PA-B
MOS (g dm^{-3})	45	26	11	11
pH em H_2O	3,99	3,82	4,16	3,94
P (mg dm^{-3})	10	7	2	3
K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,8	1,3	1,1	0,5
Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	14	11	3	5
Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	6	4	1	1
Na ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0	0,1	0	0
Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	14	15	26	32
H+Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	77	56	72	88
S.B. ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	22,5	16,7	5,1	6,5
C.T.C. ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	99,3	72,7	76,7	94,9
V% (%)	22	23	7	7
Fe (mg dm^{-3})	195	171	10	20
Mn (mg dm^{-3})	13,2	6,9	0,2	1,8
Cd (mg dm^{-3})	0,01	0	0	0
Cr (mg dm^{-3})	0,09	0,01	0	0
Pb (mg dm^{-3})	2,51	1,13	0,9	0,84
Argila (kg kg^{-1})	0,200	0,325	0,300	0,425
Silte (kg kg^{-1})	0,123	0,108	0,167	0,171
Areia (kg kg^{-1})	0,677	0,567	0,533	0,404
Densidade do solo (DS) (kg dm^{-3})	1,215	1,247	1,281	1,262

Densidade de Partículas (DP) (kg dm ⁻³)	2,632	2,500	2,537	2,548
Porosidade Total (m ³ m ⁻³) *	0,538	0,501	0,495	0,505
Macroporosidade (m ³ m ⁻³) *	0,248	0,163	0,144	0,115
Microporosidade (m ³ m ⁻³) *	0,290	0,338	0,351	0,389

PA-A: Argissolo Amarelo horizonte A; PA-B: Argissolo Amarelo horizonte B; LA-A: Latossolo Amarelo horizonte A; LA-B Latossolo Amarelo horizonte B. *: Porosidades calculadas de acordo com Stolf et al. (2011), Modelo I: Macroporosidade = $0,650 - 1,341 \times DS/DP + 0,321 \times \text{Areia}$; Microporosidade = $0,350 + 0,341 \times DS/DP - 0,321 \times \text{Areia}$; Porosidade Total = $1 - DS/DP$.

Tabela 4 Atributos químicos e físicos dos solos avaliados nesse trabalho

Na Tabela 5 encontram-se os números de Peclet, os fatores de retardamento e os coeficientes de dispersão-difusão para as colunas conduzidas, ajustadas pelo aplicativo computacional STANMOD.

Colunas	P (adimensional)	Fluxo*	D (cm ² h ⁻¹)	RF (adimensional)	R ²
LA-A-NAT	$6,92 \times 10^{-2}$	Dif.	$9,81 \times 10^3$	$3,52 \times 10^2$	0,992
LA-B-NAT	$4,98 \times 10^{-2}$	Dif.	$1,47 \times 10^4$	$6,76 \times 10^2$	0,985
LA-A-COR	$2,20 \times 10^{-46}$	Dif.	$3,10 \times 10^{48}$	$1,16 \times 10^{47}$	0,862
LA-B-COR	$1,22 \times 10^{-47}$	Dif.	$0,59 \times 10^{50}$	$0,58 \times 10^{49}$	0,912
PA-A-NAT	7,50	Dif.-adv.	$9,83 \times 10^1$	8,56	0,877
PA-B-NAT	9,00	Dif.-adv.	$8,07 \times 10^1$	9,13	0,901
PA-A-COR	$1,31 \times 10^1$	Adv.	$5,64 \times 10^1$	$1,05 \times 10^1$	0,869
PA-B-COR	$1,09 \times 10^1$	Adv.	$6,69 \times 10^1$	8,74	0,849

*: Fluxo predominante, de acordo com a classificação apresentada em Stolf et al. (2011). Dif: difusivo, Dif.-adv.: difusivo-advectivo e Adv: advectivo.

Tabela 5 Números de Peclet (P), Fatores de retardamento (RF), coeficientes de dispersão difusão (D) estimados para as colunas pelo STANMOD e coeficientes de determinação (R^2) entre as curvas de lixiviação experimentais e simuladas

De acordo com a faixa de valores de P , é possível inferir a natureza predominante do fluxo. Quando $P < 0,01$, há o predomínio de fluxo difusivo, enquanto que para P entre 0,01 e 50 há domínio do fluxo difusivo-advectivo e para P maior que 50 o predomínio do fluxo advectivo (Stolf et al., 2011). Os valores de P para todas as colunas do Latossolo indicam a predominância de fluxo difusivo. Para o Latossolo, esses valores foram menores em comparação ao observado para o Argissolo. O Argissolo aqui utilizado apresenta maior quantidade de macroporos em comparação com o Latossolo (Tabela 4). É interessante notar que, embora uma maior quantidade de macroporos favoreça a infiltração de água no

solo (Libardi, 2018), a predominância de fluxo difusivo ou advectivo não depende somente desse atributo. Essa predominância irá variar de acordo com os fatores apresentados na Equação (2), que envolve, além da velocidade da água nos poros, o comprimento da coluna e o coeficiente de dispersão-difusão (outro parâmetro de transporte muito importante). No Argissolo, a natureza predominante do fluxo foi alterada pela correção do pH em comparação aos solos sem correção do pH. Sem correção de pH o fluxo foi predominante difusivo-advectivo. Com a correção do pH, o fluxo passou a ser advectivo. Ferreira et al. (2019) detectaram alterações na estrutura do solo em decorrência da calagem. Segundo esses autores, a calagem promoveu, entre outros efeitos, um aumento na agregação do solo, bem como um espaço poroso entre os agregados mais homogêneo. Se essa alteração na estrutura tiver ocorrido de forma semelhante no presente trabalho, poderia ser responsável, ao menos em parte, pela mudança do fluxo predominante observado para o Argissolo aqui utilizado.

Em relação aos coeficientes de dispersão-difusão, nas colunas do Latossolo com correção de pH foram observados os valores mais elevados (10^{48} $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ e 10^{50} $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$) se comparadas com as colunas sem correção de pH (10^3 $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ e 10^4 $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$). Tais resultados indicam que, nesse solo, as alterações provocadas no solo pela correção de pH influenciaram positivamente na dispersão-difusão. Para o Argissolo, os valores do coeficiente dispersão-difusão foram da mesma ordem de grandeza para ambas condições de pH (98,3 $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ e 80,7 $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$). No Argissolo, possivelmente a correção do pH não possibilitou observar influência na natureza dispersiva-difusiva do fluxo. Isso pode ser devido, ao menos em parte, ao fato de os valores de P indicarem a predominância difusiva-advectiva e advectiva do fluxo nesse solo.

Os comportamentos encontrados para os coeficientes de difusão-dispersão são coerentes com aqueles encontrados para os números de Peclet. Nas colunas em que P foi inferior a 0,01, o fluxo é predominante difusivo. Nessas mesmas colunas, observaram-se valores elevados para o coeficiente de dispersão obtidos para o Latossolo. Já no caso do Argissolo, os valores de P foram mais elevados (em comparação ao Latossolo). Ou seja, uma menor predominância do fluxo difusivo no Argissolo, é condizente com os menores coeficientes de dispersão-difusão para esse solo quando comparado ao Latossolo.

O RF , por ser um parâmetro que indiretamente expressa a capacidade do solo em reter íons, também depende das interações entre a fase líquida e sólida durante a percolação da solução no solo. De certa forma, maiores valores de RF indicam que o deslocamento do equilíbrio entre o elemento na fase sólida e na solução deslocou-se em direção à fase sólida, acarretando um retardamento no avanço do soluto em relação ao do líquido de transporte. Os RF obtidos para o Latossolo (entre $3,52 \times 10^2$ e $0,58 \times 10^{49}$) foram superiores aos obtidos para o Argissolo (entre 8,56 e $1,05 \times 10^1$). Vários constituintes do solo podem estar contribuindo para essa maior ou menor retenção de Cd, entre eles a matéria orgânica, minerais de argila, óxidos de ferro e de alumínio e pH (Karak et al.,

2005). No presente estudo, foram utilizados solos tropicais altamente intemperizados, que normalmente apresentam baixa densidade de carga negativa em condições de pH naturais (4,5 – 5,0) (Garcia-Miragaya & Page, 1978). Nesses solos, a presença de óxidos de Fe e de Al têm influência marcante na adsorção de metais (Tiller et al., 1984), ocorrendo afinidade acentuada entre metais e a superfície reativa desses óxidos (Silveira et al., 2002). Após uma rápida adsorção do Cd na superfície de troca dos óxidos de ferro e alumínio, o íon começa a migrar para a fase sólida, ocorrendo um processo de recristalização (substituição do íon na matriz) (Tiller et al., 1984). Assim, os maiores teores de Fe (e, possivelmente, de óxidos de Fe) do Latossolo em comparação com o Argissolo (Tabela 4), poderiam explicar a retenção mais acentuada naquele solo, com consequente aumento no *RF*. Além disso, a carga líquida desses óxidos é influenciada pela variação do pH (Karak et al., 2005). Na medida em que o pH aumenta, aumenta a quantidade de cargas negativas. Possivelmente, esses teores diferentes de óxidos de ferro tenham contribuído para que o efeito da calagem tenha sido mais pronunciado no Latossolo (de $3,52 \times 10^2$ para $1,16 \times 10^{47}$ no horizonte A) em comparação com o Argissolo (de 8,56 para $1,05 \times 10^1$ no horizonte A). Para o horizonte B do Argissolo, o efeito da correção do pH no *RF* foi comparativamente pequeno (passou de 9,13 para 8,74). Uma hipótese para explicar o ocorrido seria a de que, como os teores de Fe nesse caso são relativamente pequenos, tenha ocorrido também uma menor geração de novas cargas negativas pelo aumento do pH.

4 | CONCLUSÕES

O comportamento qualitativo dos parâmetros de transporte de solutos aqui estudados (*P*, *D* e *RF*) pode ser previsto até certo ponto (ao menos em teoria) pelos conhecimentos de algumas propriedades do solo, entre elas as características físicas relacionadas com o fluxo de líquidos e as químicas que afetam a adsorção. Este trabalho estimou quantitativamente a variação desses parâmetros em solos e horizontes distintos, com ou sem correção do pH. A estimativa desses parâmetros é essencial para utilização de diversos modelos para simulação da movimentação de solutos no solo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Fapesp (Processos Fapesp 2011/06710-4 e 2009/17650-2)

REFERÊNCIAS

1. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019. [S.l.]: Abrelpe, 2019. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>.
2. Aish, A., Abushbak, T., El-Nakhala, M. Investigation of the fate of MSW leachate in different soil types using soil column method. Journal of Environment and Earth Science, 4(4), 72–80, 2014. ISSN: 2225-0948 (Online).

3. Alcântara, M.A.K., Camargo, O.A. Chromium Movement in columns of two highly weathered soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35(5–6), 599-613, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120030346>.
4. APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American Public Health Association, 23th ed. 2017. ISBN 978-0-87553-287-5.
5. Bégin, L., Fortin, J., Caron, J. Evaluation of the fluoride retardation factor in unsaturated and undisturbed soil columns. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1635–1646, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1635>.
6. BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF*. BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF*. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.
7. Camargo, O.A., Moniz, A.C., Jorge, J.A., Valadares, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas, Instituto Agrônômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
8. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 375, 29 de Agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
9. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2011. 9p.
10. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 5. ed., rev. e ampl., Brasília, DF. Embrapa, 2018.
11. EPA - Environmental Protection Agency. Waste Classification: List of Waste & Determining if Waste is Hazardous or Non-hazardous. Environmental Protection Agency: Ireland, 2019. ISBN 978-1-84095-601-6. <<https://www.epa.ie/pubs/reports/waste/stats/wasteclassification>>
12. Fandiño, J.S.M., Nagalli, A., Moro Filho, R.C. Modeling of the dispersion of pollutants in porous media: case of a landfill in Brazil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104400>.
13. Ferreira, T.R., Pires, L.F., Wildenschild, D., Brinatti, A.M., Borges, J.A.R., Auler, A.C., Reis, A.M.H. Lime application effects on soil aggregate properties: use of the mean weight diameter and synchrotron-based X-ray μ CT techniques. *Geoderma*, 338, 585–596, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.035>.
14. Garcia-Miragaya, J. & Page, A.L. (1978) Sorption of trace quantities of cadmium by soils with different chemical and mineralogical composition. *Water Air Soil Pollut.* 9, 289–299. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00280677>.

15. INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial. Orientação sobre validação de métodos analíticos. Coordenação Geral de Acreditação, DOQ-CGRE-008 (3rd review). 2010. 20p.
16. Karak, T., Das, D.K., Singh, U.K., Maiti, D. Influence of pH on soil charge characteristics and Cadmium sorption in some noncontaminated soils of Indian subtropics. *The Scientific World Journal*. 5, 183–194, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1100/tsw.2005.26>.
17. Ke, H., Hu, J., Xu, X.B., Wu, X.W., Li, Y.C., Lan, J.W. Analytical solution of leachate flow to vertical wells in municipal solid waste landfills using a dual-porosity model. *Engineering Geology*, 239, 27–40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.03.016>.
18. Kiddee, P., Naidu, R., Wong, M. H., Hearn, L., & Muller, J. F. (2014). Field investigation of the quality of fresh and aged leachates from selected landfills receiving e-waste in an arid climate. *Waste Management*, 34(11), 2292–2304. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.018>.
19. Kirkham, D., Powers, W.L. *Advanced soil physics*. New York: John Wiley and Sons, 1972. Cap. 8 - Miscible displacement. p.379-427.
20. Libardi, P.L. *Dinâmica da água no solo*. 3a ed. São Paulo: EDUSP, 2018. ISBN-13: 978-8531417054.
21. Mavimbela, S.S.W., Ololade, O.O., van Tol, J.J., Aghoghowia, M.P. Characterizing landfill leachate migration potential of a semi-arid duplex soil. *Heliyon*. 5(10), e02603, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02603>.
22. Novák V., Hlaváčiková H. Modelling of water flow and solute transport in soil. In: *Applied Soil Hydrology. Theory and Applications of Transport in Porous Media*, vol 32. Springer, Cham., 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01806-1_21.
23. Parker, J.C., van Genuchten, M.Th., 1984. Determining transport parameters from laboratory and field tracer experiments. *Va, Agric. Exp. Stn., Bull.* 84-3. 108p. ISSN 0096-6088. Available in <<https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/56284>> - accessed in August, 12, 2020.
24. Pazoki, M., Ghasemzade, R., Ziaee, S.P. Simulation of municipal landfill leachate movement in soil by HYDRUS-1D model. *Advances in Environmental Technology*, 3, 177-184, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.22104/aet.2017.590>.
25. Raji, B. van, Andrade, J.C., Cantarella, H., Quaggio, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Raji, B. van, Andrade, J.C. de, Cantarella, H. e Quaggio, J.A. (ed.). Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
26. Rapp, B. E. *Fluids. Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics*, 243–263. 2017. DOI:<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3141-1.50009-5>.
27. Reichardt, K., Timm, L.C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri: SP: 2.ed. Manole, 2012. 500p.
28. SGB – Serviço Geológico do Brasil. *Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo*. Rio de Janeiro: CPRM. Diniz, J.A.O., Monteiro, A.B., Silva, R.C., Paula, T.L.F. (eds.). 2014. 43p. <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15556>>.

29. Silveira, M.L.A., Alleoni, L.R.F. Camargo, O.A., Casagrande, J.C. Copper adsorption in oxidic soils after removal of organic matter and iron oxides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. New York, v. 33, p. 3581–3592, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120015907>.
30. Söderberg T.U., Kleja D.B., Åström, M., Jarsjö, J., Fröberg, M., Svensson, A., Augustsson A. Metal solubility and transport at a contaminated landfill site: from the source zone into the groundwater. *Science of the Total Environment*. 668, 1064–1076, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.013>.
31. Soto, I.S., Ruiz, A.I., Ayora, C., García, R., Regadio, M., Cuevas, J. Diffusion of landfill leachate through compacted natural clays containing small amounts of carbonates and sulfates. *Applied Geochemistry*, 27, 1202–1213, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.02.032>.
32. Stolf, R., Thurler, A.M., Bacchi, O.O.S., Reichardt, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 447–459, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200014>.
33. Tiller, K.G., Gerth, J., Brummer, G. The relative affinities of Cd, Ni and Zn for different clay fractions and goethite. *Geoderma*, 34, 17–35, 1984. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(84\)90003-X](https://doi.org/10.1016/0016-7061(84)90003-X).
34. Valocchi, A.J. Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective k_d approach. *Water Resources Research*, 20(4), 499–503, 1984.
35. Wu, G., & Li, L. Y. (1998). Modeling of heavy metal migration in sand/bentonite and the leachate pH effect. *Journal of Contaminant Hydrology*, 33(3–4), 313–336. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(98\)00075-8](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(98)00075-8).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abordagem ambiental 185

Ação antrópica 112

Agrotóxicos 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 151, 152, 153

Amostragem 1, 2, 4, 6

Autos de infração 102, 106, 107, 108, 109, 110

Avaliação de danos 1, 2, 3

B

Bioacumulação 41, 82

Bioindicador 81, 83

C

Cádmio 34, 36, 37, 38, 43, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 85

Campinarana 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172

Chorume 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57

Citotoxicidade 65, 68

Cobertura florestal 19, 20, 23, 27, 28

Cogumelos 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17

Conhecimento indígena 185

Cultivo 1, 2, 8, 9, 10, 15, 16, 17

D

Degradação do solo 34

Desenvolvimento sustentável 127, 144, 147, 148, 150, 155, 156, 191, 193, 194, 195, 200, 202

Deslocamento miscível 49, 50, 54

Desmatamento 19, 20, 21, 23, 28, 30, 31, 32, 120, 126, 129, 143, 151, 152, 153

Doença ocupacional 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

E

Ecosistemas 21, 30, 40, 42, 51, 65, 66, 68, 80, 82, 83, 87, 88, 91, 104, 115, 145, 174, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 186, 195, 196, 197, 202

Educação ambiental 71, 124, 127, 143, 158, 162, 163, 164, 165, 166, 168, 169, 170, 172, 184, 185, 186, 187, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202

Efeitos deletérios 41, 44, 45

Elemento traço 41, 81

Ensino de biologia 174

Ensino de ciências 158, 160, 162, 182, 183

F

Fármacos 66, 86, 87, 88, 90, 91, 92

Floresta de manguezais 81

G

Gases 49, 50, 51, 93, 94, 135

Genotoxicidade 65, 66, 68, 69

Gestão ambiental 78, 79, 102, 106, 127, 143, 148, 151, 155, 156, 188, 189, 191, 193, 197, 199, 202

Gestão socioambiental 141, 142, 144, 145, 154

H

Histórias em quadrinhos 158, 159, 161, 162

História socioambiental 141

I

Impacto ambiental 34, 39, 92, 143, 167

Impactos 31, 34, 35, 39, 66, 70, 71, 72, 78, 88, 90, 106, 110, 112, 113, 115, 116, 118, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 133, 149, 161, 166, 168, 169, 171, 187, 188, 196

Integração ensino formal e não formal 191

L

Lixo 30, 34, 35, 51, 53, 57, 76, 78, 83, 119, 159, 161, 198, 199, 200

M

Matrizes aquáticas 64, 66, 69, 70, 86, 87, 91

Meio ambiente 9, 29, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 43, 46, 61, 69, 70, 71, 72, 76, 89, 91, 94, 101, 102, 105, 106, 110, 116, 120, 123, 124, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 135, 137, 138, 139, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 164, 165, 182, 185, 186, 187, 189, 190, 199, 202, 203

Meio ambiente do trabalho 134, 135, 137, 138

Metodologias alternativas de ensino 174, 175, 176, 180, 182

Milho 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9

Monitoramento terrestre 20

Mutagenicidade 65, 66, 68

O

Ostras de mangue 81

P

Percepção de moradores 112, 113, 128

Política socioambiental 141, 144, 148, 152, 153

Poluentes 66, 67, 80, 82, 93, 94, 95, 96, 100

Poluição do ar 72, 93, 94, 97, 99, 101

Prática pedagógica 166, 174, 191, 193, 194

Práticas ambientais 155, 191, 192

R

Recurso pedagógico 163

Recursos hídricos 32, 40, 42, 71, 90, 92, 125, 143, 149

Responsabilidade civil objetiva do empregador 137, 139

S

Shiitake 8, 9, 17

SIG 185, 188

T

Tratamento de esgoto 61, 87, 90, 91

Turismo na Serra Gaúcha 112

Atena
Editora

Ano 2021

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, INTERDISCIPLINARIDADE E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, INTERDISCIPLINARIDADE E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

www.arenaeditora.com.br 

contato@arenaeditora.com.br 

[@arenaeditora](#) 

www.facebook.com/arenaeditora.com.br 