

# MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE:

FORMAÇÃO INTERDISCIPLINAR E CONHECIMENTO CIENTÍFICO



**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

# MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE:

FORMAÇÃO INTERDISCIPLINAR E CONHECIMENTO CIENTÍFICO



**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial****Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> 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

## Meio ambiente e sustentabilidade: formação interdisciplinar e conhecimento científico 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Soellen de Britto  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M514 Meio ambiente e sustentabilidade: formação interdisciplinar e conhecimento científico 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0724-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.249221011>

1. Sustentabilidade e meio ambiente. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Meio ambiente e sustentabilidade: Formação interdisciplinar e conhecimento científico 2” é constituído por treze capítulos de livro, divididos em três áreas distintas: *i)* formação, conscientização e práticas em Educação Ambiental; *ii)* gestão de resíduos sólidos e logística reversa e *iii)* desenvolvimento de ações para um ambiente mais sustentável.

O primeiro tema é constituído por quatro capítulos de livros que propuseram trabalhar tanto a importância da formação/conscientização para uma educação ambiental mais efetiva para todas as pessoas em especial alunos de uma instituição pública federal de ensino e consumidores que utilizam sacolas plásticas, quanto o desenvolvimento de ações e ferramentas a fim de promover uma educação ambiental capaz de chegar a pessoas de diferentes classes sociais por intermédio do ensino formal ou não-formal capaz de estimular a conscientização em relação à interação homem-meio ambiente.

Os capítulos de 5 a 8 apresentam trabalhos que procuraram avaliar: *i)* projetos de gestão de resíduos na Baixada Santista; *ii)* a importância da gestão e implementação de práticas mais sustentáveis para o desenvolvimento da apicultura em comunidades rurais localizadas no estado do Ceará; *iii)* implementação de programa de gestão e gerenciamento de resíduos provenientes da indústria madeireira e; *iv)* a importância da logística reversa de produtos que possuem metais pesados em sua composição.

Por fim, os cinco últimos capítulos apresentam trabalhos que reforçam a importância do desenvolvimento de ações que proporcionem menor impacto ambiental aos diferentes ecossistemas, entre os quais: *i)* a redução do calor em centros urbanos, a partir da implementação de áreas verdes; *ii)* presença de metais em águas residuárias lançadas no mar; *iii)* aplicação de biossorvente na remoção de alumínio em águas para fins potáveis e; *iv)* estudo de detecção de cafeína e degradação de metabolitos presentes no rio Meia Ponte em Goiás.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**CAPÍTULO 1 ..... 1**

PERCEPÇÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS PLÁSTICOS  
DESCARTÁVEIS POR ALUNOS DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA FEDERAL  
DE ENSINO

Alexandre da Silva  
Gabriella Gontijo Lopes Ferreira  
Luísa Oliveira De Sousa  
Valéria Cristina Palmeira Zago  
Elizabeth Regina Halfeld da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210111>

**CAPÍTULO 2 ..... 8**

AÇÕES E FERRAMENTAS PARA O ENSINO E DEMOCRATIZAÇÃO DA  
EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Lucas de Souza  
Claudia Guimarães Camargo Campos  
Daiana Petry Rufato  
Andressa Ellen Bastos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210112>

**CAPÍTULO 3 ..... 21**

A PERCEPÇÃO DO CONSUMIDOR SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SACOLAS  
PLÁSTICAS NA CIDADE DE MANAUS-AM

Clara Francy da Costa Backsmann  
Stacy Ana da Silva  
Fabrício Nunes de Freitas  
Ariadne Freitas da Silva  
Larissa Inácio Soares de Oliveira  
Antonio Emerson Fernandes da Silva  
Katarine Farias de Souza  
Janaína da Silva Mariano  
Gabriele Lorrane Santos Silva  
Pedro Henrique Farias Vianna  
Celino Juvêncio Ribeiro Pereira Junior  
Francinéia de Araújo Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210113>

**CAPÍTULO 4 .....32**

PRÁTICAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NÃO-FORMAL PARA O  
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTUDO DE CASO NO  
MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL – RS

Michele Barros de Deus Chuquel da Silva  
Juliana Araújo Pereira  
Bianca Rocha Martins  
Valter Antonio Becegato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210114>

**CAPÍTULO 5 .....44**

ESTUDO COMPARATIVO DO IMPACTO AMBIENTAL DOS PROJETOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, NO CONTEXTO BAIXADA SANTISTA

Bruno Eduardo Baptista Rodrigues Torres

Luis Gustavo Bet

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210115>

**CAPÍTULO 6 .....56**

GESTÃO E SUSTENTABILIDADE DO SEGMENTO APÍCOLA EM COMUNIDADES RURAIS DO CEARÁ

Jose Edivaldo Rodrigues dos Santos

Daniel Paiva Mendes

Sérgio Horta Mattos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210116>

**CAPÍTULO 7 .....72**

O SETOR MADEIREIRO E A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DOS RESÍDUOS

Cassiano dos Reis Oliveira

Jaqueline Morbach

Ketrin Muterle

Letícia de Vargas Terres

Lucas Augusto Nitz

Valesca Costantin

Suzana Frighetto Ferrarini

Ana Carolina Tramontina

Daniela Mueller de Lara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210117>

**CAPÍTULO 8 .....85**

LOGÍSTICA REVERSA DE PRODUTOS PÓS CONSUMO CONTENDO METAIS PESADOS: UM ESTUDO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Jeferson Luis da Silva Rosa

Karin Buss Dias Bernardo

Marco Antônio Trisch Mendonça

Rafael Fernandes

Rita de Cássia dos Santos Silveira

Thais Fantinel Malta

Suzana Frighetto Ferrarini

Ana Carolina Tramontina

Daniela Mueller de Lara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210118>

**CAPÍTULO 9 .....98**

LATITUDINAL TRENDS IN FOLIAR OILS OF *Hyptis suaveolens*

Tatiane Martins Lobo

Raquel Ferreira dos Santos

Elaine Rose Maia  
Pedro Henrique Ferri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2492210119>

**CAPÍTULO 10..... 107**

CLIMA URBANO E VEGETAÇÃO: O PAPEL DE UMA ÁREA DE MATA NA  
FORMAÇÃO DE UMA ILHA FRIA EM UMA ÁREA URBANA

Gilson Campos Ferreira da Cruz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24922101110>

**CAPÍTULO 11 ..... 127**

PERFIL METÁLICO EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS PROVENIENTE DE SISTEMAS  
DE DRENAGEM COM DESPEJO NO MAR

Andreia Borges de Oliveira

Fernanda Engel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24922101111>

**CAPÍTULO 12..... 148**

AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE ALUMÍNIO DE ÁGUA UTILIZANDO  
ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DE FOLHAS DE *PERSEA AMERICANA*  
*MILL*

Fabiola Tomassoni

Cristiane Lisboa Giroletti

Maria Eliza Nagel-Hassemer

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24922101112>

**CAPÍTULO 13..... 157**

DETECTION OF CAFFEINE, ITS HUMAN METABOLITES, DEGRADATION  
PRODUCTS; AND TIBOLONE IN THE MEIA PONTE RIVER, BRAZIL

Kátia Maria de Souza

Paulo de Tarso Ferreira Sales

Mariângela Fontes Santiago

Sérgio Botelho de Oliveira

Fernando Schimidt

Rivanda da Costa Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24922101113>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 169**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 170**

# AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE ALUMÍNIO DE ÁGUA UTILIZANDO ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DE FOLHAS DE *PERSEA AMERICANA* MILL

Data de aceite: 01/11/2022

### Fabiola Tomassoni

Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC), Florianópolis - SC

### Cristiane Lisboa Giroletti

Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC), Florianópolis - SC

### Maria Eliza Nagel-Hassemer

Professora titular no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis - SC

**RESUMO:** A presença de alumínio na água tem gerado uma crescente preocupação, pois o excesso de alumínio residual na água de consumo humano pode trazer efeitos tóxicos ao corpo humano como: demência de Parkinson, esclerose lateral amiotrófica, osteomalácia, Alzheimer, entre outras doenças do foro neurológico. A adsorção, vem sendo investigada como um dos possíveis tratamentos para remoção de alumínio da água. A possibilidade de utilização

de adsorventes alternativos, produzidos a partir de resíduos agroindustriais, tem proporcionado a otimização e redução de custos deste processo. Neste estudo avaliou-se a remoção de alumínio de água sintética usando carvão ativado produzido a partir de folhas de *Persea americana Mill.* (abacateiro). Foram realizados ensaios otimizando o processo de adsorção através do método estatístico delineamento composto central rotacional (DCCR) a fim de se investigar os efeitos da velocidade de agitação, pH do meio e concentração inicial do alumínio. O resultado do DCCR revelou o potencial de aplicação do novo adsorvente, onde valores de velocidade de agitação de 145 rpm, pH da solução de 6,5 e concentração inicial de alumínio de  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , proporcionaram remoção de alumínio na ordem de 100%. Todos os ensaios atingiram concentrações de alumínio menores do que a máxima permitida pela legislação federal para água potável de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorvente alternativo, *Persea americana Mill.*, Remoção de Alumínio, Tratamento de Água, Método Estatístico DCCR.

## ASSESSMENT OF ALUMINUM REMOVAL FROM WATER USING ADSORBENT MADE FROM *PERSEA AMERICANA* MILL. LEAVES

**ABSTRACT:** The presence of aluminum in water has generated a growing concern, as excess residual aluminum in drinking water can bring toxic effects to the human body such as Parkinson's dementia, amyotrophic lateral sclerosis, osteomalacia, Alzheimer's, among other neurological diseases. Adsorption has been investigated as one of the possible treatments for removing aluminum from water. The possibility of using alternative adsorbents, produced from agro-industrial residues, has provided the optimization and cost reduction of this process. In this study, the removal of aluminum from synthetic water was evaluated using activated carbon produced from leaves of *Persea americana* Mill. (avocado). Assays were carried out optimizing the adsorption process through the statistical method of central composite rotational design (DCCR) in order to investigate the effects of stirring speed, pH of the medium and initial aluminum concentration. The result of the DCCR revealed the potential of application of the new adsorbent, where values of agitation speed of 145 rpm, pH of the solution of 6.5 and initial aluminum concentration of  $3.5 \text{ mg.L}^{-1}$ , provided aluminum removal in the order of 100%. All tests achieved aluminum concentrations lower than the maximum allowed by federal legislation for drinking water of  $0.2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

**KEYWORDS:** Alternative adsorbent, *Persea americana* Mill., Aluminum Removal, Water Treatment, DCCR Statistical Method.

### 1 | INTRODUÇÃO

A presença de alumínio nos corpos hídricos ocorre naturalmente devido ao intemperismo em rochas e minerais ou por contaminação através do descarte de efluentes e/ou resíduos contaminados (SINGH et al., 2006). Há uma crescente preocupação em relação às concentrações de alumínio presente nas águas de abastecimento público, já que o alumínio está presente na água em formas mais biodisponíveis, facilitando a sua absorção pelo organismo (WHO, 2010). O alumínio é considerado um poderoso neurotóxico e vários estudos têm indicado potenciais efeitos deletérios da presença de alumínio no cérebro. O consumo de água contendo elevados teores deste elemento pode ter um papel no desencadeamento de doenças neurodegenerativas, demência, mal de Alzheimer e de Parkinson, entre outros (SINGH et al., 2006; BAKAR et al., 2010; MONDAL e GEORGE, 2014).

As concentrações de alumínio nas águas destinadas ao abastecimento público variam de acordo com os teores presentes na água bruta e de acordo com o tipo de coagulante utilizado na Estação de Tratamento de Água. No Brasil, de acordo com a legislação federal, o valor máximo permitido de alumínio para a água potável é de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (BRASIL, 2021). Na bibliografia científica existem poucos estudos que relatam a concentração de alumínio em águas naturais, subterrâneas e superficiais. No Brasil já foram detectados em águas subterrâneas concentrações de alumínio superiores a  $0,80 \text{ mg.L}^{-1}$  em Araranguá – SC (TARPANI, 2012) e na serra gaúcha (Aquífero Guarani) de até  $0,54 \text{ mg.L}^{-1}$  (ADAMATTI e

GIOVANELA, 2011).

Desta forma, deve-se buscar por métodos de tratamento eficazes para remoção de alumínio em águas com teores superiores ao preconizado pela legislação. Dentre os processos existentes, a adsorção se destaca pela simplicidade operacional e a possibilidade de utilização de adsorventes alternativos, proporcionando otimização dos recursos naturais e redução de custos. Algumas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de averiguar a capacidade de remoção de alumínio da água através do processo de adsorção, utilizando adsorvente alternativos (SINGH et al., 2006; KUMARI e RAVINDHRANATH, 2012).

As folhas de árvores são consideradas matérias-primas promissoras para a produção de carvões ativados de baixo custo, pois apresentam em sua composição celulose, hemicelulose e lignina, que são importantes componentes nos processos de adsorção (AHMED, 2017; ROSS e POSSETI, 2018; BULGARIU et al., 2019; PRIYANTHA et al., 2021). As folhas da *Persea americana M.* (abacateiro) já foram utilizadas para produção de carvão ativado alternativo (TOMASSONI, 2019), entretanto, a remoção de alumínio da água com este adsorvente não foi reportada na literatura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de remoção de alumínio presente em amostra de água sintética envolvendo o carvão ativado produzido a partir de folhas de *Persea americana M.* Mediante a utilização de planejamento fatorial de experimentos e métodos estatísticos, buscou-se encontrar as condições operacionais que resultassem na remoção de alumínio para atender ao padrão estabelecido pela legislação federal vigente para água potável. O método do delineamento composto central rotacional (DCCR) foi utilizado, considerando como principais parâmetros o pH, a velocidade de agitação e a concentração inicial de alumínio, em função da concentração final do contaminante.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação do efluente sintético e do adsorvente proveniente das folhas de *Persea americana M.*

A solução de água sintética foi preparada com cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) em água destilada com concentrações iniciais de alumínio entre  $0,97 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $6,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , baseado em estudos da literatura (FOLZKE, 2013; OLIVEIRA, 2014). Os valores finais desejados de concentração de alumínio na água foram baseados na Resolução 357 do CONAMA, no qual aponta valores máximo de alumínio dissolvido em águas de classe I, II de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  e classe III de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

O adsorvente foi preparado com folhas de *Persea americana M.* (abacateiro) de acordo com a metodologia proposta por Tomassoni (2019), utilizando ativação física por carbonização. Para averiguação da efetividade do adsorvente produzido na remoção de alumínio, foi realizado um planejamento fatorial de experimentos pelo método DCCR com ensaios isotérmicos.

## 2.2 Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

O DCCR tem por finalidade buscar o ponto de ótima resposta de um sistema, realizando delineamentos fatoriais simétricos (todos os pontos são equidistantes de um ponto central) e de segunda ordem. Este método é capaz de avaliar diversos parâmetros simultaneamente, de modo a encontrar suas interações e obtendo assim, um ponto ótimo onde os valores destas variáveis resultam na maior capacidade adsorptiva do processo. Desta forma, com base nos estudos de Oliveira (2014), Nascimento (2014) e Tomassoni (2019), foram definidos três parâmetros que influenciam diretamente no processo de adsorção, sendo eles: pH da solução (2,3 a 10,7), velocidade de agitação (52,5 a 237,5 rpm) e concentração inicial de alumínio (0,98 a 6,02 mg.L<sup>-1</sup>).

Os ensaios do DCCR foram realizados em banho termostático (Dubnoff, NT232), com 150 mL de amostra, 13 g.L<sup>-1</sup> do adsorvente e tempo de contato de 24 h. No DCCR foram realizados seis ensaios com pontos axiais (+1,682 e -1,682), três ensaios com ponto central (0) e oito ensaios com pontos fatoriais (+1 e -1), totalizando dezessete ensaios realizados em duplicata. A Tabela 1 apresenta a matriz do delineamento experimental.

Ensaio	X <sub>1</sub>	pH	X <sub>2</sub>	RPM	X <sub>3</sub>	Conc. Al (mg.L <sup>-1</sup> )
1	-1	4	-1	90	-1	2
2	1	9	-1	90	-1	2
3	-1	4	1	200	-1	2
4	-1	4	-1	90	1	5
5	1	9	1	200	-1	2
6	1	9	-1	90	1	5
7	-1	4	1	200	1	5
8	1	9	1	200	1	5
9	-1,682	2,29	0	145	0	3,5
10	1,682	10,7	0	145	0	3,5
11	0	6,5	-1,682	52,49	0	3,5
12	0	6,5	1,682	237,51	0	3,5
13	0	6,5	0	145	-1,682	0,977
14	0	6,5	0	145	1,682	6,023
15	0	6,5	0	145	0	3,5
16	0	6,5	0	145	0	3,5
17	0	6,5	0	145	0	3,5

Tabela 1: Matriz do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Como variável dependente do planejamento, a concentração do alumínio no efluente foi avaliada por espectrofotometria através da leitura da absorbância, utilizando espectrofotômetro (Hach modelo DR/5000) no comprimento de onda 535 nm conforme

determina o método Eriocromo Cianina-R (ECR).

### 2.3 Método Eriocromo Cianina-R (3500-b Standard Methods) (Princípio da Análise)

A determinação da concentração de alumínio presente nas amostras estudadas foi realizada pelo método Eriocromo Cianina-R do *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* com faixa de concentração de alumínio entre 0,0 a 0,30 mgL<sup>-1</sup> (APHA, 2005). Para a análise da concentração de alumínio, as amostras foram filtradas em membrana de acetato de celulose com porosidade de 0,45 µm.

Os resultados foram plotados numa curva de calibração (Equação 1), onde a absorbância diminui linearmente com o aumento da concentração de alumínio na faixa de concentração utilizada.

$$\text{Concentração de Al} = 0,2816 \times \text{Absorbância} - 0,0319 \quad \text{Equação 1}$$

## 3 | RESULTADOS

O intuito da realização do DCCR foi encontrar o ponto ótimo dos parâmetros experimentais avaliados a fim de atingir a maior capacidade de remoção de alumínio. Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros experimentais da matriz do DCCR para avaliação do processo de remoção do alumínio e os resultados obtidos.

Ensaio	pH		Velocidade de Agitação		Concentração inicial		Concentração final	Eficiência de remoção
	Valor	Nível	Valor (rpm)	Nível	Valor (mg.L <sup>-1</sup> )	Nível	Valor (mg.L <sup>-1</sup> )	Valor (%)
1	4,0	-1	90	-1	2,00	-1	0,03	96,5
2	9,0	+1	90	-1	2,00	-1	<LQ	100,0
3	4,0	-1	200	+1	2,00	-1	<LQ	100,0
4	4,0	-1	90	-1	5,00	+1	0,14	85,6
5	9,0	+1	200	+1	2,00	-1	<LQ	100,0
6	9,0	+1	90	-1	5,00	+1	0,09	90,8
7	4,0	-1	200	+1	5,00	+1	<LQ	100,0
8	9,0	+1	200	+1	5,00	+1	<LQ	100,0
9	2,3	-1,682	145	0	3,50	0	0,01	99,4
10	10,7	+1,682	145	0	3,50	0	<LQ	100,0
11	6,5	0	52,5	-1,682	3,50	0	0,08	91,2
12	6,5	0	237,5	+1,682	3,50	0	<LQ	100,0
13	6,5	0	145	0	0,98	-1,682	<LQ	100,0
14	6,5	0	145	0	6,02	+1,682	0,04	96,1
15	6,5	0	145	0	3,50	0	<LQ	100,0
16	6,5	0	145	0	3,50	0	<LQ	100,0

17	6,5	0	145	0	3,50	0	<LQ	100,0
----	-----	---	-----	---	------	---	-----	-------

Tabela 1: Matriz DCCR com os resultados obtidos.

Conforme apresentado na Tabela 2, atingiu-se eficiência de 100% de remoção de alumínio em onze dos ensaios realizados. Além disso, todos os ensaios obtiveram valores abaixo do valor máximo permitido pela legislação federal de 0,2 mg.L<sup>-1</sup> para água potável (BRASIL, 2021). Pode-se concluir que é possível utilizar uma dose menor do que 2 mg.L<sup>-1</sup> de material adsorvente, e ainda assim atingir o valor estabelecido pela legislação federal.

Um estudo estatístico permitiu calcular os efeitos dos parâmetros, produzindo um modelo preditivo e possibilitando construir uma representação gráfica do ponto ótimo do experimento. Para que os efeitos calculados sejam estatisticamente significativos, o valor de *p* deve ser menor que 0,05 (nível de significância de 95%). Para as variáveis velocidade de agitação e concentração inicial de alumínio, os valores de *p* encontrados indicam que as variáveis analisadas não foram significativas neste intervalo de confiança. No gráfico de Pareto (Figura 1) estão apresentados os efeitos estimados para as variáveis experimentais investigadas na remoção do alumínio.

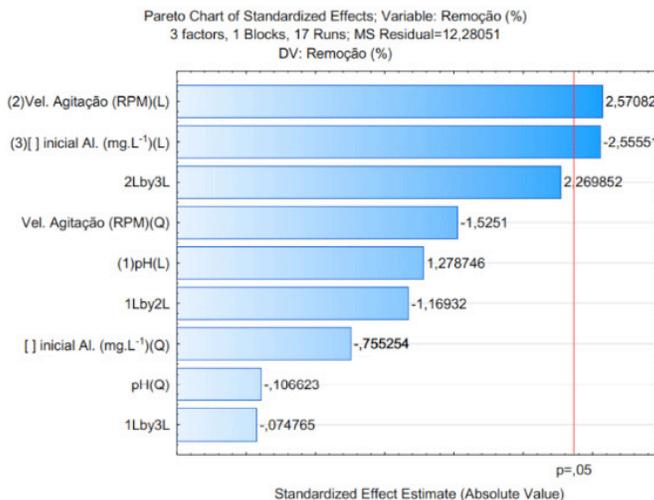


Figura 1: Gráfico de Pareto dos resultados da remoção de alumínio.

Na Figura 1 observa-se que apenas os termos lineares das variáveis concentração inicial de alumínio e velocidade de agitação apresentaram significância estatística, com sinal do efeito positivo para remoção de alumínio na velocidade de agitação e sinal negativo na variável concentração inicial de alumínio. Ou seja, à medida que houve um incremento nos valores da concentração inicial do alumínio, observou-se um decréscimo na eficiência do processo de adsorção. Já a variável velocidade de agitação, mostrou-se significativa para o mesmo intervalo e com sinal do efeito positivo, indicando aumento na remoção da

concentração do alumínio no processo de adsorção. Para a variável pH em termos lineares e quadráticos, não foram observados efeitos significativos. O mesmo verificou-se entre as interações entre as variáveis (1Lby2L; 1Lby3L e 2Lby3L), não apontando significância estatística.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada com base no gráfico de Pareto utilizando as variáveis significativas com o intuito de avaliar a sua significância na remoção de alumínio. Com base nesta análise foi possível determinar o modelo preditivo para a obtenção da eficiência de remoção da concentração de alumínio com base nas variáveis independentes investigadas, obtendo-se a Equação 2 ( $R^2 = 0,77$ ).

$$ER(\%) = 87,86 + 0,15 \times x_1 - 0,35x_2^2 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: ER é a eficiência de remoção de alumínio,  $x_1$  é a velocidade de agitação (rpm) e  $x_2$  é a concentração inicial de alumínio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

O modelo matemático obtido na Equação 2 demonstrou que a remoção do alumínio não foi dependente do pH. Entretanto, sabe-se que o pH interfere diretamente nas formas de alumínio que são encontradas no meio aquoso. Com valores de pH baixo teremos a presença de  $\text{Al}^{+3}$  que pode ser removido por adsorção. Com valores de pH neutro ocorre a precipitação do  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e com pH básicos forma-se aluminato, que também pode ser removido por adsorção.

As condições mais adequadas para maximizar a remoção da concentração de alumínio podem ser observadas através da superfície de resposta que é construída pelo modelo matemático obtido. O perfil de contorno (2D), juntamente com a superfície de resposta (3D), auxiliam na visualização e na localização de um ponto ótimo para a remoção de alumínio nas condições investigadas, conforme a Figura 2.

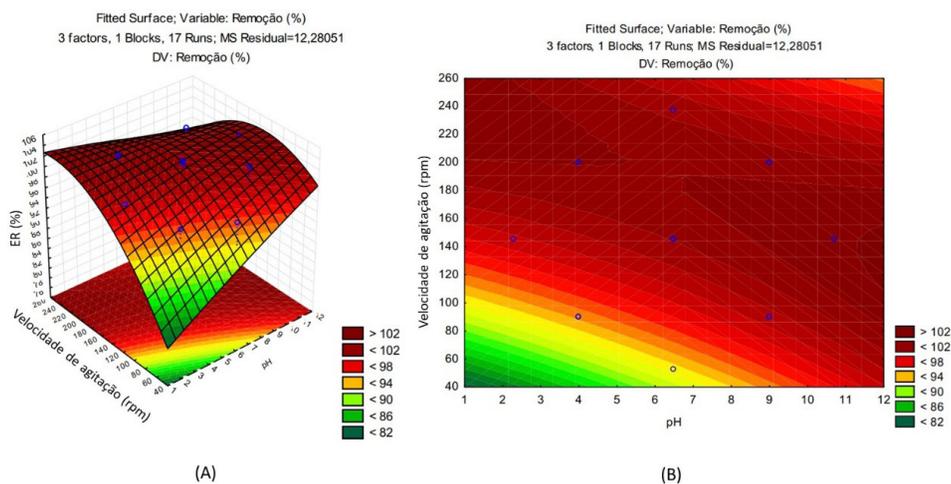


Figura 2: Perfil de contorno (A) e superfície de resposta (B) em relação à remoção de alumínio (concentração de alumínio inicial de  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

Observa-se na Figura 2, que as maiores remoções com concentração de alumínio inicial de  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , aconteceram com valores de velocidade de agitação superiores a 100 rpm e pH da solução superiores a 7,0. O resultado da otimização do processo de remoção revelou o potencial de aplicação desta tecnologia neste tipo de tratamento, onde valores de velocidade de agitação de 145 rpm, pH da solução de 6,5 e concentração inicial de alumínio de  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , proporcionaram remoção de alumínio na ordem de 100%.

## 4 | CONCLUSÕES

O presente estudo demonstra que o adsorvente produzido a partir de folhas de *Persea americana M.* pode ser utilizado para remoção da concentração de alumínio do efluente sintético. Os resultados dos testes do DCCR mostraram que vários ensaios obtiveram eficiência de 100% de remoção da concentração de alumínio e mesmo os ensaios com menor porcentagem de remoção, todos estavam com concentrações de alumínio abaixo dos padrões exigidos pela legislação brasileira vigente para água potável de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Com o planejamento fatorial do experimento foi possível observar que o grau de influência da velocidade de agitação e concentração inicial de alumínio foram significativos. O modelo obtido pelo DCCR, que prevê a eficiência de remoção da concentração de alumínio em função dos parâmetros: velocidade de agitação e concentração inicial de alumínio, demonstrou que é válido num intervalo de confiança de aproximadamente 95%, mostrando que o modelo é válido para fins preditivos.

Cabe salientar que todos os ensaios atingiram valores de concentração de alumínio abaixo dos valores estabelecidos por lei. Os resultados obtidos neste estudo indicam que o carvão ativado em pó proveniente das folhas de *Persea americana M.* demonstrou ser um bom material adsorvente de alumínio em efluente sintético, sendo que além de possuir uma boa eficiência de adsorção, é um material de baixo custo.

## REFERÊNCIAS

ADAMATTI, D.S., GIOVANELA, M., “Avaliação preliminar da qualidade de amostras de água subterrânea do aquífero Guarani na serra gaúcha”, In: II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2011.

AHMED, M. Application of raw and activated Phragmites australis as potential adsorbents for wastewater treatments. Ecological Engineering, 102, 262-269, 2017.

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition, American Public Health Association, Washington, D.C., 2005.

BAKAR et al., “Effect of high aluminum concentration in water resources on human health, case study: Biga Peninsula, Northwest Part of Turkey”. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 58, 935-944, 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021: “Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”. Brasília, 2021.

BULGARIU, L., ESCUDERO, L.B., BELLO, O.S., IQBAL, M., NISAR, J., ADEGOKE, K.A., ALAKHRAS, F., KORNAROS, M AND ANASTOPOULOS, L. The utilization of leaf-based adsorbents for dyes removal: A review, *Journal of Molecular Liquids*, 276, 728-747, 2019. Doi: 10.1016/j.molliq.2018.12.001

FOLZKE, C.T., Estudo da remoção de alumínio de água para abastecimento utilizando quitosana. Dissertação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

KUMARI, A.A., RAVINDHARANATH, K., “Removal of aluminium (III) ions from polluted waters using bio-sorbents derived from *Moringa millingtonia* e *Cygium arjunum* plants”, *International Journal of ChemTech Research*, 4 (4), 1733-1745, 2012.

MONDAL, P., GEORGE, S., “A review on adsorbents used for defluoridation of drinking water”, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2014.

NASCIMENTO, R. F; LIMA, A. C. A; VIDAL, C. B; MELO, D. Q; RAULINO, G. S. C. Adsorção aspectos teóricos e aplicações ambientais 1 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014

OLIVEIRA, L. R., Processo contínuo de adsorção de alumínio em coluna de carvão ativado, Dissertação em Engenharias, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

PRIYANTHA, N., ROMZI, A.A., CHAN, C.M. AND LIM, L.B.L. Enhancing adsorption of crystal violet dye through simple base modification of leaf adsorbent: isotherm, kinetics, and regeneration, *Desalination and Water Treatment*, 215, 194-205. 2021. Doi: 10.5004/dwt.2021.26758

ROSS, B.Z.L. AND POSSETI, G.R.C. Tecnologias potenciais para o saneamento: remoção de metais de águas de abastecimento público. Curitiba: Sanepar, 2018. Disponível em: [https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/publicacoes/livro\\_tecnologias\\_potenciais\\_vol2.pdf](https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/publicacoes/livro_tecnologias_potenciais_vol2.pdf)

SINGH et al., “Investigation on the sorption of aluminium in drinking water by low-cost adsorbents”, *Water SA*, 32 (1), 49-54, 2006.

TARPANI, R.R.Z., “Remoção de alumínio monomérico de água para abastecimento através da ação da carboximetilcelulose e da quitina”, Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

TOMASSONI, F., Remoção de cor de efluente têxtil sintético por processos de eletrocoagulação e adsorção com carvões ativados produzidos a partir de folhas de *Persea americana Mill.* e *Cássia fistula L.* Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental, UFSC, 2019.

WHO, “Aluminium in Drinking Water”, acesso em Maio de 2020, World Health Organization: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/waterquality/guidelines/chemicals/aluminium.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/waterquality/guidelines/chemicals/aluminium.pdf?ua=1), 2010.

**A**

Adsorção 148, 150, 151, 153, 154, 155, 156  
 Agronegócio 57, 58, 59, 60, 61, 70, 71  
 Água potável 3, 12, 80, 148, 149, 150, 153, 155, 165  
 Águas residuárias 127  
 Alumínio 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156  
*Amazonian region* 98, 104  
 Apicultura 57, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 68, 70, 71  
 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) 11, 18, 33, 39  
 Atividade antrópica 8, 10

**B**

Baixada Santista 44, 45, 46, 53  
 Balanço Total de Emissões de CO<sub>2</sub> (BTE) 46  
 Biodiversidade 8, 10, 12, 15, 19, 20, 73, 128  
 Biota marinha 127, 129

**C**

*Caffeine* 157, 158, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168  
*Chemotypes* 98, 100, 101, 102, 103, 104  
 Clima urbano 107, 108, 109, 110, 112, 117, 126  
 Contaminantes 24, 127, 129, 134, 136, 137, 141, 169  
 Corpos hídricos 3, 12, 75, 149

**E**

Ecosistema 3, 128, 129, 137  
 Educação ambiental 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 53, 169  
 Efeitos deletérios 149  
*Essential oil* 98  
 Estação de tratamento de água 149  
 Exposição crônica 136

**F**

Fontes renováveis 50

*Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* 73  
Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) 76, 82, 86, 93

## G

Gases do Efeito Estufa (GEE) 45, 54  
Gestão ambiental 7, 30, 33, 41, 79, 88

## H

*Hidrocarbonetos Totais (HCT)* 49  
*Hierarchical cluster analysis (HCA)* 98, 100  
*Hormones* 143, 157, 164

## I

Ilha de calor 107, 109, 119, 120, 122, 125, 126  
Ilha fria 107, 109, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125  
Impactos ambientais 4, 16, 21, 23, 24, 29, 30, 38, 39, 51, 53, 73, 75, 83, 87, 92

## L

Latitudes 98, 99  
Lixões 1, 3, 12, 21, 22, 29  
Logística Reversa (LR) 3, 6, 41, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 95, 96, 97

## M

Madeira 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83  
Madeira 82  
Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) 76, 82, 91, 92, 94, 96, 97  
Materiais biodegradáveis 3, 7, 21  
Material Particulado (PM10) 49  
Meio ambiente 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 34, 38, 39, 41, 60, 74, 75, 76, 78, 81, 82, 83, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 127, 133, 135, 142, 143, 144, 155, 165  
Mel 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71  
Metais pesados 85, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 97, 147  
Mudanças climáticas 12, 13, 17, 45, 54, 107, 108

## O

Óleos residuais de cozinha 37  
Organismos aquáticos 136, 140, 145

**P**

Plástico 2, 3, 7, 22, 23, 24, 30, 33, 34, 42, 68, 88

Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) 10, 18, 33, 40

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 6, 7, 29, 44, 45, 51, 54, 81, 85, 87, 95, 96

Poliuição 1, 4, 7, 15, 21, 22, 24, 25, 39, 88, 95, 96, 129, 134, 144, 145, 146

Pontos de Entrega Voluntária (PEV) 91

Produção apícola 56, 57, 58, 60, 62, 64, 66, 69, 70

Produção mais Limpa (P+L) 74

**R**

Reaproveitamento 75, 81, 86, 87, 95

Reciclagem 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 22, 24, 28, 34, 38, 51, 52, 53, 74, 77, 78, 79, 80, 87, 88, 89, 92, 95

Recursos naturais 8, 10, 12, 18, 23, 29, 33, 79, 87, 92, 94, 146, 150

Resíduos sólidos urbanos (RSU) 10, 11, 44, 45, 46

Reutilização 4, 14, 51, 76, 77, 78, 87, 89, 92, 95

*River* 41, 126, 145, 157, 158, 159, 163, 164, 165

**S**

Sacolas plásticas 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

Saneamento básico 129, 130, 141, 144

Serraria 73, 75, 76, 78, 81, 82

Setor madeireiro 72, 73, 74, 78, 81, 83

Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF) 74

Socioambientais 12, 34, 38, 39

Sustentabilidade 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 24, 30, 33, 42, 54, 56, 57, 58, 70, 71, 72, 74, 78, 79, 81, 82, 85, 86, 88, 95

**T**

Tibolone 157, 158, 162, 163, 164, 165, 166, 167

**U**

Unidade de Recuperação Energética (URE) 46

# MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE:

FORMAÇÃO INTERDISCIPLINAR E CONHECIMENTO CIENTÍFICO



🌐 [www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)  
✉ [contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)  
📷 @arenaeditora  
📘 [www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

# MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE:

FORMAÇÃO INTERDISCIPLINAR E CONHECIMENTO CIENTÍFICO

