

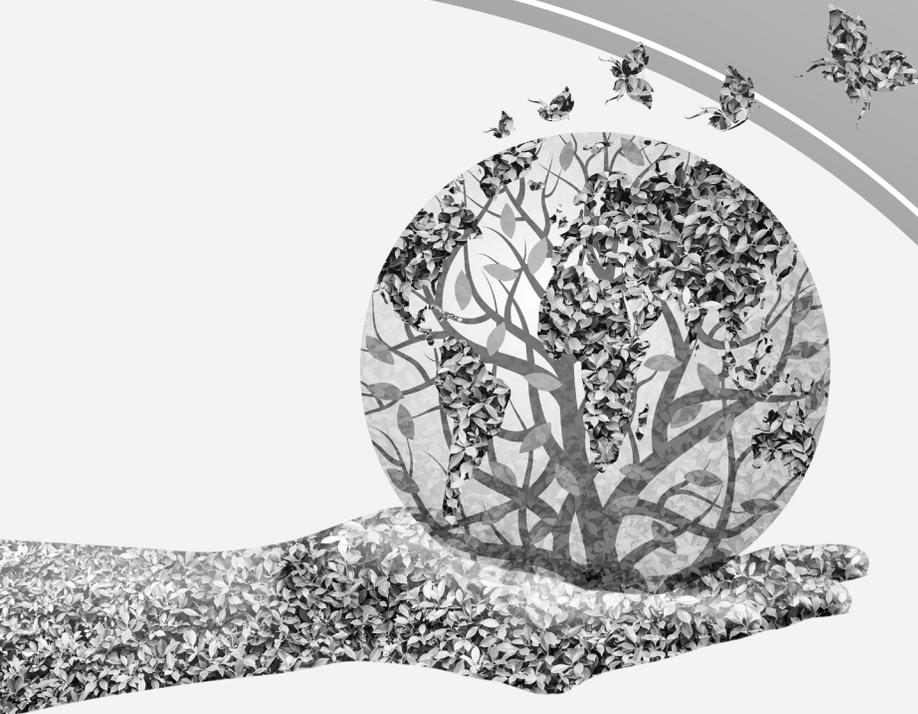
Ciências biológicas: Realidades e virtualidades 2

Edson da Silva
(Organizador)



Ciências biológicas: Realidades e virtualidades 2

Edson da Silva
(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

iStock

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.

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 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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
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. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
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. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
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^a Dr^a Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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 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^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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Brito de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramirez – 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/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Sullivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Ciências biológicas: realidades e virtualidades 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Maiara Ferreira
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizador: Edson da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências biológicas: realidades e virtualidades 2 /
Organizador Edson da Silva. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-249-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.491211207>

1. Ciências Biológicas. I. Silva, Edson da (Organizador).
II. Título.

CDD 570

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.arenaeditora.com.br
contato@arenaeditora.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.

APRESENTAÇÃO

As Ciências Biológicas integram diversas áreas do conhecimento que estudam os seres vivos e suas relações entre o meio ambiente, além de mecanismos e processos que condicionam a vida. Sua integração envolve ciências da saúde, biotecnologia, meio ambiente, biodiversidade entre outros fatores.

Descobertas e inovação no âmbito das Ciências Biológicas exigem a compreensão de que a vida se organiza no decorrer do tempo, com a ação de processos evolutivos, resultando na diversidade de formas sobre as quais atuam as condições ambientais e o desenvolvimento dos seres vivos. Diante disso, os seres humanos não estão isolados. Eles estabelecem sistemas que constituem complexas relações de interdependência.

Neste contexto a obra “Ciências Biológicas: realidades e virtualidades” foi contemplada com dois novos volumes. O volume 2 está organizado com 17 capítulos e o volume 3 com 15. Os capítulos contaram com a autoria de diversos profissionais, universitários e/ou pesquisadores de diferentes regiões do Brasil, que compartilham seus dados resultantes de pesquisas de natureza básicas e aplicadas, revisões de literatura, ensaios teóricos e vivências no contexto educacional relacionado às Ciências da Vida.

Desejamos que esta coletânea contribua para o enriquecimento da formação universitária e da atuação profissional no âmbito das Ciências da Vida. Agradeço os autores pelas contribuições que tornaram essa edição possível, e juntos, convidamos os leitores para desfrutarem as publicações.

Edson da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DESENVOLVIMENTO DAS MALFORMAÇÕES DO ESPECTRO DA POLIMICROGIRIA E SEUS CORRELATOS COM A EPILEPSIA

Cecília Santos de Brito
Luiza dos Santos Heringer
Laura Maria Borges Savoldi
Greice Nascimento Pires
Vanessa Kiill Rios
Debora Magalhães Portela
Brenda Marvila Costa e Silva
Nadine Moura Martins
Julia Rios Carvalho
Henrique Rocha Mendonça

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112071>

CAPÍTULO 2..... 19

O USO DE FIBRAS PREBIÓTICAS NA PREVENÇÃO DE DOENÇAS OBSTRUTIVAS NO JABUTI-PIRANGA (CHELONOIDIS CARBONARIA) – RELATO DE CASO

Manuele Tryuys Penteadó
Julia Maria Ribeiro
Pâmela Beatriz do Rosário Estevam dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112072>

CAPÍTULO 3..... 22

AVALIAÇÃO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E SOLUÇÕES PARA A SUA DESTINAÇÃO EM ZOOLOGICOS: REVISÃO DE LITERATURA

Brandow Willy Souza
Renan Henrique Cardoso
Pâmela Beatriz do Rosário Estevam dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112073>

CAPÍTULO 4..... 32

AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DE NANOTUBOS DE CARBONO EM *LACTUCA SATIVA*

Juliana Tatiara da Costa Siqueira
Aryane Campos Reis
Rhaisa Bernardes Silva Dias
Humberto de Mello Brandão
Michele Munk Pereira
Saulo Marçal de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112074>

CAPÍTULO 5.....39

OCORRÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DE GALHAS DE INSETOS NO PARQUE DA LAGOA COMPRIDA, AQUIDAUANA-MS

Alerrandra Ortega Nobre
Tatiane do Nascimento Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112075>

CAPÍTULO 6.....50

CLIMATIZAÇÃO DE RESIDÊNCIAS COM USO DE RECICLÁVEIS

Fabiula Aletéia de Souza Santana
Marielen de Souza Arguelho
José Carlos Santana Júnior
Bruna Gardenal Fina Cicalise

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112076>

CAPÍTULO 7.....59

ASPECTOS BOTANICOS, FITOQUIMICOS E ATIVIDADE BIOLÓGICA PRELIMINAR DE EXTRATOS DE *TRADESCANTIA ZEBRINA*

Vagner Cardoso da Silva
Alessandra da Silva Guedes
Aníbal de Freitas Santos Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112077>

CAPÍTULO 8.....74

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO E INFLUÊNCIA DO PH NA FERMENTAÇÃO DE GLICEROL RESIDUAL POR *KLEBSIELLA OXYTOCA*

Fabio Moura Cavalcante
Arnaldo Márcio Ramalho Prata

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112078>

CAPÍTULO 9.....84

A POLUIÇÃO MICROPLÁSTICA EM SISTEMAS AQUÁTICOS DO BRASIL

Maurício Zimmer Ferreira Arlindo
Andressa Rossatto
Taiana Denardi de Souza
Christiane Saraiva Ogradowski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4912112079>

CAPÍTULO 10.....88

RECICLAGEM DE ÓLEO DE COZINHA PARA FABRICAÇÃO DE SABÃO: UMA ABORDAGEM PRÁTICA NO ENSINO DE QUÍMICA

Bárbara Ferreira de Souza
Airton Gasparini Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120710>

CAPÍTULO 11..... 99

DESCOMPLICANDO A BIOQUÍMICA: PROPONDO UMA AULA EXPERIMENTAL PARA A DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES REDUTORES EM ALIMENTOS DO COTIDIANO

Tiago Maretti Gonçalves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120711>

CAPÍTULO 12..... 111

SISTEMAS FOTOBIOELETROQUÍMICOS COMO UMA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIAS E BIORREMEDIAÇÃO – UMA ABORDAGEM BASEADA EM TECNOLOGIAS LIMPAS

Vanessa Rosana Ribeiro

Marcondes Mafaciolli Pacheco

Ênio Leandro Machado

Tiele Medianeira Rizzetti

Rosana de Cassia de Souza Schneider

Lisianne Brittes Benitez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120712>

CAPÍTULO 13..... 130

INFLUÊNCIA DA BIOMETRIA E DO DÉFICIT HÍDRICO NA GERMINAÇÃO DE *CENOSTIGMA MACROPHYLLUM* TUL

Maria Jaislanny Lacerda e Medeiros

Mateus Henrique Freire Farias

Ana Caroline Ribeiro Costa

Marcones Ferreira Costa

Francisco Igor Ribeiro dos Santos

Clarissa Gomes Reis Lopes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120713>

CAPÍTULO 14..... 141

CARTAS-MOLÉCULAS: JOGO DE CARTAS PARA AUXILIAR A APRENDIZAGEM DOS CONCEITOS BÁSICOS DE BIOMOLÉCULAS

Luiz Henrique Pontes dos Santos

Juliana Osório Alves

Paulo Elesson Guimarães de Oliveira

Isabele da Silva Pereira

Raquel Martins de Freitas

Stela Mirla Felipe

Christina Pacheco Santos Martin

Paula Matias Soares

Vânia Marilande Ceccatto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120714>

CAPÍTULO 15..... 158

ESTUDO DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL DOS FRUTOS DA *SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS* (ANACARDEACEAE)

Djalma Menezes de Oliveira

Juliana Lago Leite
Rosane Moura Aguiar
Vilisaimon da Silva de Jesus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120715>

CAPÍTULO 16..... 173

EXSUDADOS UTILIZADOS COMO REMÉDIOS PELOS CABLOCOS DO RIO UNINI, AM, BRASIL - CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM SEUS COMPOSTOS QUÍMICOS

Eliana Rodrigues
Juliana de Faria Lima Santos
Marcelo Funicelli de Oliveira
Fernando Cassas Salles Machado
Priscila Baptistella Yazbek
Thamara Sauini
Joao Henrique Ghilardi Lago

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120716>

CAPÍTULO 17..... 188

BIOMONITORAMENTO FISIOQUÍMICO E FITORREMEDIAÇÃO DE CAFEÍNA UTILIZANDO MACRÓFITAS

Sophia de Aquino Ilário

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.49121120717>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 203

ÍNDICE REMISSIVO..... 204

SISTEMAS FOTOBIOELETROQUÍMICOS COMO UMA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIAS E BIORREMEDIAÇÃO – UMA ABORDAGEM BASEADA EM TECNOLOGIAS LIMPAS

Data de aceite: 01/07/2021

Data da submissão: 04/05/2021

Vanessa Rosana Ribeiro

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul (PPGTA-UNISC)
Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4038484052493248>

Marcondes Mafaciolli Pacheco

PPGTA-UNISC
Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7184240896539554>

Ênio Leandro Machado

PPGTA-UNISC
Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/6922571767923420>

Tiele Medianeira Rizzetti

PPGTA-UNISC
Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3374616705744809>

Rosana de Cassia de Souza Schneider

PPGTA-UNISC
Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9388200003536324>

Lisianne Brittes Benitez

PPGTA-UNISC
Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2698873972300996>

RESUMO: Na contemporaneidade há uma crescente preocupação com a crise global de energia e seu impacto sobre o meio ambiente, impulsionando as pesquisas sobre produção de energias a partir de tecnologias mais limpas. Os sistemas fotobioeletroquímicos (PBES), podem ser uma alternativa para a recuperação de energia e ainda proporcionam a biorremediação de águas residuárias e a produção de biomassa de alto valor agregado. Este estudo buscou reconhecer os aspectos que indicam as potencialidades e as limitações dos PBES como uma tecnologia limpa e promissora para a produção de biocombustíveis e bioeletricidade. A partir de uma ampla análise bibliométrica sobre sistemas fotobioeletroquímicos, observou-se uma tendência de aumento nas pesquisas envolvendo a geração de diferentes bioenergias, a síntese de bioprodutos e a biorremediação de águas residuárias, concluindo-se, portanto, que os PBES, como sistemas alternativos, são promissores e ambientalmente amigáveis.

PALAVRAS - CHAVE: Tecnologias Limpas. Sistemas Bioeletroquímicos. PMFCs. MFCs. Desenvolvimento Sustentável.

PHOTOBIOELECTROCHEMICAL SYSTEMS AS AN ALTERNATIVE FOR BIOENERGIES PRODUCTION AND BIOREMEDIATION – CLEAN TECHNOLOGIES APPROACH

ABSTRACT: Nowadays, there is a growing concern with the global energy crisis and environmental impacts, driving research on energy production from cleaner technologies. Photobioelectrochemical systems (PBES), can

be an alternative for energy recovery and still provide a bioremediation of wastewater and a high added value biomass production. This study sought to recognize the aspects that indicate the potential and limitations of PBES as a clean and promising technology to produce biofuels and bioelectricity. From a wide bibliometric analysis on photobioelectrochemical systems, an increasing trend was observed in research involving the generation of different bioenergies, synthesizing bioproducts and the bioremediation of wastewater, concluding, therefore, that PBES, as alternative systems, are promising and environmentally friendly.

KEYWORDS: Clean Technologies. Bioelectrochemical systems. PMFCs. MFCs. Sustainable Development.

1 | INTRODUÇÃO

Há uma crescente preocupação com a crise global de energia e seu impacto sobre o meio ambiente, o que leva a uma mudança do atual paradigma de desenvolvimento para uma busca por tecnologias limpas (CHEN *et al.*, 2019). Para atingir as metas de sustentabilidade os países precisarão disponibilizar planos e ações políticas sólidas para o uso de energia renovável, especialmente energia solar, eólica e a partir de biomassa (CHILD *et al.*, 2018).

Neste contexto, tem-se a busca por novas alternativas para a substituição de combustíveis fósseis, uma vez que estes combustíveis são recursos finitos e sua utilização provoca a emissão de poluentes atmosféricos altamente prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública (KABUTEY *et al.*, 2019).

Existe um crescente interesse na transição econômica para reduzir a geração de carbono, em que vários países e regiões buscam adotar tecnologias limpas por meio de uma série de políticas. Em alguns países desenvolvidos e em desenvolvimento há subsídios governamentais que isentam de impostos empresas que apresentem inovação tecnológica. Por exemplo, os EUA fornecem subsídios e garantia de empréstimos para projetos de tecnologias limpas (YANG *et al.*, 2020). Portanto, o investimento em tecnologias limpas se beneficia em termos de redução de impostos ambientais e estímulo à demanda sensível de emissões (SHI *et al.*, 2019).

Na próxima década espera-se que seja intensificada a produção de energias alternativas (SARATALE *et al.*, 2017). Entre as possibilidades, as células de combustível microbianas (MFCs, do inglês *microbial fuel cells*) envolvendo organismos fotossintéticos podem sair do campo de pesquisa e efetivamente passa a ser uma fonte de energia renovável cíclica, onde ocorre a recuperação sustentável de carbono (FISCHER, 2018).

As MFCs tem potencialidade de oferecer uma alternativa econômica aos processos convencionais de tratamento de águas residuárias, uma vez que pode ser realizada a biorremediação e a geração de bioeletricidade (KABUTEY *et al.*, 2019). Na última década houve um crescente interesse nos estudos e aplicações sobre o uso de células de combustível microbianas de plantas (PMFCs, do inglês *plant microbial fuel cells*) para tratar

ecossistemas poluídos e gerar bioenergia (SHAIKH *et al.*, 2020).

Estes sistemas são totalmente bióticos, apresentam uma relação rizosférica entre planta e microrganismo capaz de converter energia solar em bioeletricidade. Neste sistema, biofilmes bacterianos que podem estar integrados a conversões fotossintéticas são capazes de gerar eletricidade e produção simultânea de biomassa, sendo um mecanismo de recuperação sustentável na captação de carbono e sua reutilização para a produção elétrica no mesmo sistema (GAJDA *et al.*, 2015).

As MFCs com a participação de organismos fotossintéticos são sistemas fotobioeletroquímicos (PBES, do inglês *photobioelectrochemical systems*) que se destacam como uma inovação com vários benefícios que convergem para um sistema sustentável. Nas células de combustível, acontece uma integração de microalgas e cianobactérias, em que ocorre a oxidação microbiana da matéria orgânica (LUO *et al.*, 2017). Ainda os estudos com PBES foram expandidos em questão de aplicabilidade e do avanço das tecnologias de membranas desenvolvidas para a purificação de água associado à geração de energia (YANG, E. *et al.*, 2019). Esses aspectos tornam as células de combustível atrativas para o tratamento de águas residuais.

Kabutey *et al.* (2019) afirmam que reconhecer estas tecnologias como limpas é um caminho para a valorização das iniciativas de aumento de escala e instalação. O desenvolvimento de novas tecnologias energéticas limpas, eficientes e economicamente viáveis é resultado de esforços multidisciplinares.

Além disso, a transição do modelo de produção de energia convencional para energias alternativas limpas é um elemento importante para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável da Organização das Nações unidas (ONU) (CHEN *et al.*, 2019). Então essa conversão tecnológica, da produção de energias convencionais para alternativas, pode ter contribuições das MFCs.

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo bibliométrico para compreender o quanto os sistemas PBES, estão associados a tecnologias limpas e destacar a importância do aproveitamento integral do sistema e produtos derivados para a produção de energia e biorremediação.

2 | METODOLOGIA

Foram utilizadas 3 bases de dados (*Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*) para as buscas de publicações contendo os sistemas fotobioeletroquímicos. Os documentos encontrados nestas bases foram tratados no software *Endnote* x9 para retirada de duplicações e as palavras-chave foram organizadas no software Excel para a construção de uma planilha de convergência de similaridades denominada *Thesaurus* antes da construção dos *clusters* no Software *VOSviewer* 1.6.15.

Documentos originais em língua inglesa, referentes aos últimos 10 anos, foram

utilizados na pesquisa com os termos definidos na Tabela 1. Ainda, com base na pesquisa de documentos relacionados ao tema, foram analisados os principais autores que atuam na área e países que mais exploram o tema foram apresentados.

Além disso, com base na pesquisa de documentos relacionados ao tema foram analisados os principais autores que atuam na área e países que mais exploram o tema foram apresentados.

Sistema	Sigla	Aplicação	Referência
· <i>Microbial Fuel Cell</i>	MFC		(CAPODAGLIO <i>et al.</i> , 2013)
· <i>Algal Bioelectrochemical System</i>	Algal-BES		(SEVDA <i>et al.</i> , 2019)
· <i>Microalgae Microbial Fuel Cell</i>	MMFC		(HADIYANTO <i>et al.</i> , 2020)
· <i>Sludge Microbial Fuel Cell</i>	SMFC	Tratamento de águas residuárias e geração de bioeletricidade	(MOQSUD; KHONG, 2020)
· <i>Floating Treatment Wetland Microbial Fuel Cell</i>	FTW-MFC		(COLARES <i>et al.</i> , 2020)
· <i>Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor–Microbial Fuel Cell</i>	UASB-MFC		(ZHANG <i>et al.</i> , 2012)
· <i>Catalyst-Less and Mediator-Less Membrane Microbial Fuel Cell</i>	CAML-MMFC		(MANSOORIAN <i>et al.</i> , 2016)
· <i>Plant Microbial Fuel Cell</i>	P-MFC		(SHAIKH <i>et al.</i> , 2020)
· <i>Airlift-photosynthetic microbial fuel cell</i>	AL-PMFC		(LI <i>et al.</i> , 2019)
· <i>Microbial Electrolysis Cell</i>	MEC		(HAN <i>et al.</i> , 2021)
· <i>Microbial Electrolysis Cell-Reverse Electrolysis Hybrid System</i>	MEC-RED		(JWA <i>et al.</i> , 2020)
· <i>Continuous Stirred Microbial Electrolysis Cell</i>	CSMEC	Tratamento de águas residuárias, geração de bioeletricidade, produção de biohidrogênio e metano	(QUASHIE <i>et al.</i> , 2021)
· <i>Microbial Electrolysis Cell Integrated into a Constructed Wetland</i>	CW-MEC		(SRIVASTAVA <i>et al.</i> , 2018)
· <i>Microbial Electrolysis Cell Assisted Anaerobic Digester</i>	MEC-AD		(XU, S. <i>et al.</i> , 2019)
· <i>Microbial Electrolysis Cell-Fenton System</i>	MEC-Fenton		(LI <i>et al.</i> , 2017)
· <i>Microbial Electrolysis Cell-Anaerobic Membrane Bioreactor</i>	MEC-AnMBR		(DING <i>et al.</i> , 2018)
· <i>Microbial Desalination Cell</i>	MDC		(TAWALBEH <i>et al.</i> , 2020)
· <i>Photo-Microbial Desalination Cell</i>	PMDC		(LIANG <i>et al.</i> , 2016)
· <i>Ozone-Cathode Microbial Desalination Cell</i>	OCMDC	Tratamento de águas residuárias, dessalinização e geração de bioeletricidade	(GHOLIZADEH <i>et al.</i> , 2017)
· <i>Ultra Filtration Membrane in Photo Electrocatalytic Desalination Cell</i>	UF-PEDC		(RAHMANINEZHAD <i>et al.</i> , 2020)
· <i>Submerged Microbial Desalination–Denitrification Cell</i>	SMDDC		(ZHANG; ANGELIDAKI, 2013)
· <i>Tacked Microbial Electro-Deionization Cell</i>	SMEDIC		(SHEHAB <i>et al.</i> , 2014)

Tabela 1. Identificação e aplicação de sistemas bioeletroquímicos publicados nos últimos 10 anos.

3 I SISTEMAS FOTOBIOELETROQUÍMICOS (PBES) – ABORDAGEM GERAL

Os PBES oferecem uma alternativa para o tratamento de efluentes com recuperação de bioenergias e consequente produção de biomassa. Os PBES são transdutores bioeletroquímicos que empregam organismos fotossintéticos para gerar oxigênio, metabólitos orgânicos e também elétrons (WANG *et al.*, 2018). Os microrganismos são os principais agentes na operação destes sistemas, onde as microalgas atuam em conjunto com as bactérias anódicas, que geram CO_2 e eletricidade, e as microalgas fornecem oxigênio (aceptor de cátions) e consomem N e P do meio (LUO *et al.*, 2017) conforme Figura 1.

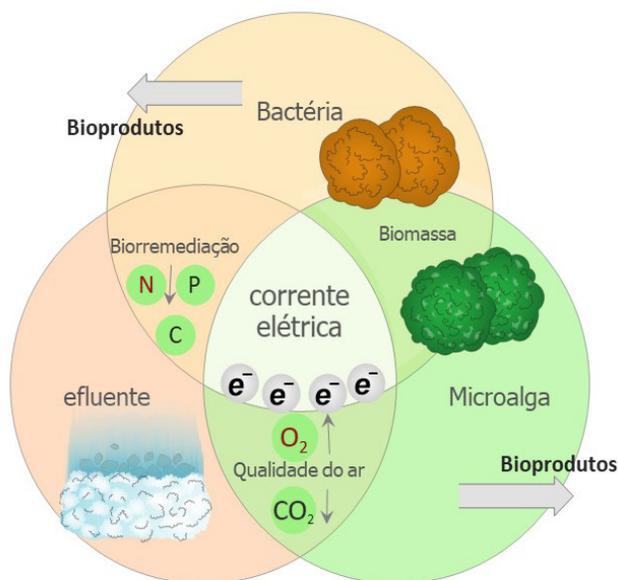


Figura 1. Representação dos benefícios do sistema fotobioeletroquímico.

Os sistemas PBES são utilizados há várias décadas para o tratamento de efluentes e geração de bioproductos. Contudo, o desenvolvimento de novas tecnologias cresceu em busca de melhorar a eficiência com diferentes configurações ambientalmente amigáveis. A base Scopus apresenta dados a partir da busca por “*bioelectrochemical systems*” em que, de 1999 a 2009 haviam sido publicados 23 artigos sobre o tema, e somente no ano de 2010 praticamente duplicou este número, com um total de 37 artigos científicos publicados. Desde então, tem sido crescente o número de estudos com base nestes sistemas, totalizando 1.602 artigos publicados sobre o tema nos últimos 10 anos.

Neste período destacam-se as MFCs associadas a organismos fotossintéticos, principalmente plantas adicionadas aos jardins filtrantes construídos para tratamento de águas residuárias. A partir das pesquisas realizadas nas bases de dados *Scopus*, *Science*

Direct e Web of Science utilizando as palavras-chave “*plant microbial fuel cell*” houve a formação de três *clusters* (Figura 2):

- (i) *cluster* rosa: sistemas de células de combustível contendo microrganismos ou microrganismos e plantas;
- (ii) *cluster* verde: geração de bioeletricidade e tratamentos de águas residuárias;
- (iii) *cluster* azul: o metabolismo microbiano e de plantas na geração de bioenergia.

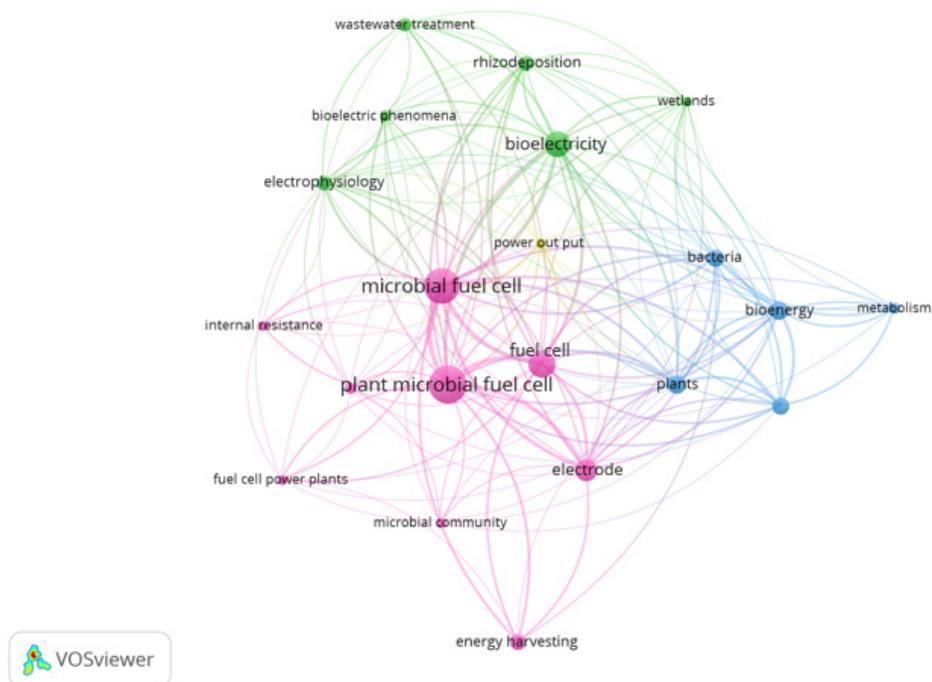


Figura 2. Figura gerada a partir das palavras-chave, *plant microbial fuel cell*. Base de dados Scopus, Science Direct e Web of Science, 2010-2020.

A presença destacada da tecnologia *fuel cell* e dos sistemas PMFC e MFC no *cluster* rosa e a grande quantidade de relações estabelecidas com os demais *clusters* deve-se possivelmente ao seu potencial de uso na geração de energias limpas e no tratamento de águas residuais.

A bioeletricidade, evidenciada no *cluster* verde, sugere que nas pesquisas publicadas nas bases de dados levantadas neste estudo a utilização de sistemas contendo células de combustível resultaram na produção de energia a partir do metabolismo microbiano isolado ou em conjunto com plantas.

Para o desenvolvimento de sistemas híbridos, um PMFC pode ser acoplado a um fotobiorreator (YANG, Z. *et al.*, 2019). Além disso, nos sistemas integrados podem ser utilizadas superfícies de sensores transparentes como partes integrantes do design dos

dispositivos de biossensor, permitindo que a luz penetre sem prejuízos nesses componentes fotossintéticos (ANTONACCI; SCOGNAMIGLIO, 2020).

Neste contexto, pesquisando “*photosynthetic microbial fuel cell*” obtêm-se documentos associados a palavras que compõem a Figura 3 (A). Observa-se a formação de *clusters* que indicam a importância de estudos científicos que compreendem a presença de bactérias e cianobactérias nos sistemas (1); o tratamento de águas residuárias e as relações com comunidades microbianas (2); microalgas e produção de biomassa (3); e, fotossíntese e eletrodos (4). As microalgas em destaque (B) estão associadas principalmente a produção de biomassa, tratamento de efluentes e à produção de bioeletricidade.

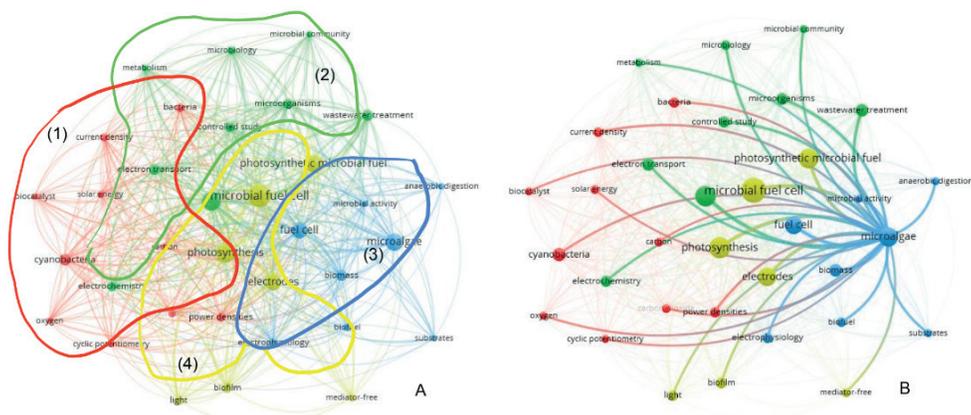


Figura 3. Clusters obtidos a partir da pesquisa com *photosynthetic microbial fuel cell*.

PBES do tipo MMFC (do inglês, *microalgae-microbial fuel cell*) provaram ser efetivos na geração de eletricidade e tratamento de águas residuais simultaneamente. Apesar da sua eficiência, estes sistemas ainda apresentam algumas barreiras para o funcionamento. Uma delas é o alto custo de alguns tipos de materiais utilizados no eletrodo. Outras barreiras são a diferença de atividade entre organismos autotróficos e heterotróficos, e a presença de compostos em suspensão, que tendem a aumentar a turbidez e reduzir a incidência de luz na cultura microalgal, diminuindo a taxa de crescimento (ELSHOBARY *et al.*, 2020). Ainda, para a aplicação comercial dos PBES em geral, a baixa produção de corrente elétrica, estabilidade baixa de fornecimento a longo prazo, escala de processamento limitada e custo de construção do reator são limites a serem vencidos para a viabilização dos sistemas (YAN *et al.*, 2020).

Por outro lado, o rápido crescimento e a eficiência fotossintética de muitas espécies de microalgas permitem que se obtenham maiores rendimentos de biomassa em comparação com culturas terrestres, assim, a utilização de microalgas na biorremediação de efluentes com consequente produção de energia, é promissora para enfrentar os desafios futuros

de energia e sustentabilidade (LAURENS *et al.*, 2017; SABA *et al.*, 2017). Na Figura 4 podem ser vistos os benefícios do sistema PBES com a formação e consumo de gases e nutrientes, produção de uma corrente elétrica e biomassa. A biomassa é matéria prima para uso industrial ou pode ser incorporada ao solo como biofertilizante.

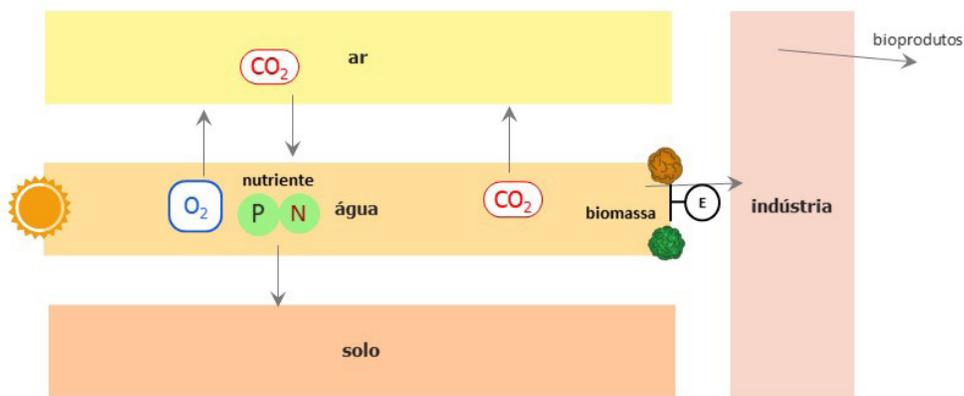


Figura 4. Principais entradas e saídas de um sistema PBES.

Os PBES do tipo PMFCs de áreas alagadas são capazes de remediar águas residuárias e gerar bioeletricidade. No entanto, os PMFCs produzem baixa potência em comparação com a produção de energia teórica estimada de $3,2 \text{ mW m}^{-2}$ de área geométrica de cultivo ($280.000 \text{ kWh ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Algumas limitações são causadas pela deposição de matéria orgânica pela oxidação das bactérias eletroquimicamente ativas (EABs, do inglês *electrochemically active bacteria*) e maior resistência interna no ânodo. Uma melhor eficiência no desempenho do sistema PMFC se dá com o estudo de novas configurações de biorreatores e também com a escolha de espécies de plantas com alta rizodeposição e EABs com alta capacidade metabólica (transferência extracelular de elétrons) (PAMINTUAN *et al.*, 2019).

Descobertas recentes impulsionaram para a geração de fotossíntese artificial, em PBES que apresentam novos cátodos e foto-ânodos enzimáticos. Estes dispositivos, completamente auto-alimentados por energia solar são eficientes e estáveis (MAJUMDAR *et al.*, 2017). Além disso, inovações são observadas na engenharia de PBES, como o desenvolvimento de uma nova célula do tipo transporte aéreo (AL-PMFC, do inglês *airlift-photosynthetic microbial fuel cell*) usando *Chlorella vulgaris* para fixar CO_2 e gerar bioenergia (bioeletricidade e biodiesel) (LI *et al.*, 2019).

Ainda Kabutey *et al.* (2019) relatam que a PMFC se tornará um processo alternativo de geração de bioeletricidade e poderá resolver os problemas de escassez de energia e deterioração ambiental quando for ampliada e aplicada *in-situ*. A fitorremediação em PMFC traz consigo a competência de geração de energia e também a remoção de poluentes,

como por exemplo, metais.

Devido a todos os processos envolvidos de remediação e produção de energia e bioprodutos, os PBES estão sendo desenvolvidos por diferentes áreas da ciência. O principal setor envolvido segundo dados da base de dados Scopus é a Ciência Ambiental (20%), Engenharia Química (16,4%) e Química (14,9%) uma vez que os sistemas inicialmente foram desenvolvidos para biorremediação de efluentes, com o objetivo de diminuir a carga poluidora ambiental dos sistemas testados.

4 | TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM PBES

A expansão de aplicações da tecnologia de células de combustível microbianas ultrapassou o potencial de geração de bioeletricidade, e recebe mais atenção para o tratamento de efluentes contendo corantes, metais pesados, lixiviados, nitrogênio, sulfato e efluentes ricos em sulfeto, entre outros, além do foco da recuperação de nutrientes (N e F), como fosfato e estruvita, juntamente com oligoelementos (KUMAR *et al.*, 2019).

A integração de tratamento ecológico empregando microrganismos fototróficos em sistemas PBES tem a vantagem de compensar a deficiência de capacidade em remover nutrientes e catalisar a produção de eletricidade a partir de águas residuárias. Em comparação a sistemas de tratamento de águas residuárias convencionais, os PBES apresentam uma série de vantagens inerentes, como o uso reduzido ou nulo de produtos químicos, a não geração de odores desagradáveis, a facilidade de operação e baixo custo, e ainda são considerados ecologicamente complexos, ambientalmente corretos e mecanicamente simples (HE *et al.*, 2017).

Em PBES s utilizando águas residuárias, microrganismos heterotróficos metabolizam a matéria orgânica, degradando-a, e produzindo gás carbônico e bicarbonatos, que por sua vez são assimilados por organismos fotossintetizantes (SIVASANKAR *et al.*, 2018). Esse sistema também é efetivo no tratamento de efluentes de diferentes fontes residuais, como por exemplo, a biodegradação de poluentes refratários, corantes, metais pesados, lixiviados, nitrogênio, sulfato e efluentes ricos em sulfeto, entre outros (FISCHER, 2018). A biorremediação em MFC é uma tecnologia promissora para o tratamento de águas residuais e produção de energia renovável, a qual poderá ser de baixo custo (KHALILI *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2019).

No entanto, uma das principais limitações associadas à operação do PBES no tratamento de águas residuárias é a remoção limitada de nutrientes pelas bactérias presentes na câmara anódica. A integração de microrganismos fotossintetizantes como microalgas a estes processos, como por exemplo, a introdução de microalgas no compartimento catódico, apresenta-se como uma alternativa tecnológica viável para superar esta e outras limitações, uma vez que as necessidades nutricionais e químicas das microalgas são em geral menores, embora tenham como característica o elevado potencial de assimilação de

nutrientes de meios aquosos, oferecendo assim oportunidade para o tratamento avançado de águas residuárias (REDDY *et al.*, 2019).

Os PBES por empregarem microrganismos fotossintetizantes, efetuam concomitantemente além da assimilação e metabolização de contaminantes orgânicos presentes em águas residuárias, o sequestro e fixação de CO_2 e outros poluentes gasosos, exercendo assim função de grande relevância no controle da poluição atmosférica (ENAMALA *et al.*, 2018).

O sistema pode ser aberto ou fechado, as águas residuais são usadas como um meio de cultivo para degradação orgânica no lado anódico, e então o efluente é descarregado em biorreatores para ser meio de cultivo para recuperação e aproveitamento da biomassa (XIAO; HE, 2014). Onde a biomassa obtida pode ser utilizada para geração de bioprodutos. E ainda podem ser aplicados diferentes microrganismos para remoção de poluentes, sejam, poluentes farmacêuticos, industriais, domésticos e até mesmo poluentes atmosféricos.

5 | BIOPRODUTOS A PARTIR DE PBES

Uma abordagem promissora para a produção de energia limpa é através do uso de microrganismos para converter compostos orgânicos em energia. Os PBES aproveitam o conteúdo energético encontrado na matéria orgânica contida em águas residuárias em formas mais facilmente aproveitáveis, como o caso dos biocombustíveis (GAJDA *et al.*, 2013).

Os processos envolvidos em PBES são baseados nos processos metabólicos microbianos onde ocorre principalmente a redução de CO_2 em CH_4 podendo produzir energia elétrica (FU *et al.*, 2020). Estes sistemas são compostos principalmente por duas câmaras: um compreende ao lado anódico onde a água se divide em O_2 , H^+ e e^- , e o outro em um lado catódico onde o CO_2 é reduzido em CH_4 pelos microrganismos que compõe a câmara. Comumente é utilizada uma membrana de troca catiônica que separa os compartimentos anódico e catódico (GEPPERT *et al.*, 2016).

A obtenção de biocombustíveis a partir de microalgas tem sido sugerida como uma forma competitiva de desenvolvimento de energia renovável e sustentável, com as principais vantagens de implicar uso de menor volume de água para seu cultivo em comparação com plantas, além de possibilitarem melhorias em termos de impactos ambientais como a eutrofização através do uso de águas residuárias como meio de cultivo e fonte de nutrientes (MA *et al.*, 2017).

A eletrólise da água pode ser realizada em BES com diferentes métodos como, fotofermentação, gaseificação e também com aplicação de microalgas. As tecnologias de células de eletrólise microbianas estão sendo desenvolvidas e estudadas focando na produção eficaz de hidrogênio verde e a estabelecer uma economia viável de hidrogênio (YANG *et al.*, 2021).

5.1 Bioeletricidade

As MFCs são uma das poucas tecnologias que são capazes de capturar a resposta metabólica microbiana, transformando-a em corrente elétrica, devido aos microrganismos serem muito sensíveis, característicos e precisos do seu próprio ambiente (SANTORO *et al.*, 2017).

A geração de bioeletricidade nas MFCs é ocasionada pelo fluxo de elétrons a partir do metabolismo bacteriano que atua na degradação dos compostos orgânicos (KUMAR *et al.*, 2017). Onde, os elétrons gerados no processo são transferidos direta ou indiretamente com a ajuda de mediadores para o eletrodo, passa do ânodo para o cátodo com a difusão de prótons através de uma membrana de troca de íons, o fluxo de elétrons dá origem à bioeletricidade e sua eficiência bioeletroquímica pode então ser testada (LIN *et al.*, 2014). A adesão bacteriana no ânodo é um dos fatores que mais influenciam na eficiência na transferência de elétrons entre as bactérias e o eletrodo, logo é recomendável a utilização de bactérias com alta taxa de produção de biofilme (HINDATU *et al.*, 2017).

LI *et al.* (2018) representa um MMFC usando uma membrana permeadora de H⁺. No ânodo ocorre a reação de biodegradação da matéria orgânica formando CO₂ e elétrons. A diferença de potencial com a câmara catódica permite uma corrente, uma vez que nesta câmara ocorrem reações com o oxigênio gerado na fotossíntese, o qual utiliza elétrons provenientes da câmara anódica.

Uma comunidade bacteriana capaz de se adaptar às flutuações do estresse ambiental e a disponibilidade de nitrogênio são importantes para melhorar o desempenho dos PBES (IFTIMIE; DUMITRU, 2019). Da mesma forma, o aumento da proporção N/C na superfície do eletrodo pode ajudar a melhorar a sua hidrofiliabilidade, a adesão bacteriana e conseqüentemente a geração de energia (MA *et al.*, 2016). Portanto, tratamentos com amônia para aumentar o teor de nitrogênio anódico são estudados, segundo o autor são um caminho para melhorar o desempenho das MFCs (SAITO *et al.*, 2011). As microalgas, organismos fotossintéticos tendem a remover fósforo e, portanto, tem uma influência positiva no tratamento de águas residuais (HOU *et al.*, 2016; XU, B. *et al.*, 2019).

Ademais, consórcios microbianos que usam microalgas e bactérias também recebem destaque na produção de bioeletricidade e biorremediação. Oferecem vantagens na síntese de produtos de alto valor agregado fixando carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa e produzindo oxigênio (SARATALE *et al.*, 2017).

5.2 Produção de gases

O hidrogênio molecular (bio-H₂) é considerado um combustível limpo e promissor devido ao seu alto conteúdo de energia por unidade de massa (142MJ Kg⁻¹ e poder calorífico de cerca de 3042 cal m⁻³) e por sua composição livre de carbono. A fotossíntese é responsável pelo primeiro passo na conversão de luz em energia química e elétrons,

portanto, responsável pela produção de H⁺ e elétrons empregados na biossíntese e geração de bio-H₂ (MARTÍN DEL CAMPO *et al.*, 2014).

Microalgas exibem grande potencial de geração sustentável de bio-H₂ de forma direta a partir do metabolismo de compostos orgânicos em fotobiorreatores diversos, incluindo PBES, ou indiretamente através do processamento da biomassa microalgal recuperada após seu crescimento (RAHEEM *et al.*, 2018; SHUKLA; KUMAR, 2018). Microrganismos como as microalgas, bactérias e arqueas vem sendo utilizadas na produção e modernização tecnológica de biogás, sejam eles metano ou hidrogênio (WANG *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2020). Existem sistemas MFC produtores de metano, onde as bactérias metanogênicas utilizam o dióxido de carbono e elétrons produzidos, para converter em gás metano (GEPPERT *et al.*, 2016).

Modernas tecnologias de produção do biogás vêm se desenvolvendo rapidamente nos últimos anos, como tecnologias físicas, químicas e biológicas, entre as quais as tecnologias com processos físicos e biológicos são mais amplamente utilizadas tendo em vista que o processo biológico pode reciclar o CO₂ e transformar em novos produtos (FU *et al.*, 2020).

5.3 Biocombustíveis de biomassa

PBES também produz direta e indiretamente a energia na forma de biocombustíveis derivados da biomassa colhida ou recuperada destes sistemas. Biomassas de microalgas são ricas em biocompostos como carboidratos, proteínas e lipídios, que apresentam grande potencial e versatilidade na conversão em uma diversidade de biocombustíveis, quer sejam líquidos, sólidos ou mesmo gasosos, dentre os quais se destacam o biodiesel, o bioetanol, o biogás e o *biochar*, os assim denominados combustíveis de terceira geração (SRIVASTAVA, 2019).

A produção de biocombustíveis ocorre mediante a extração de componentes e conversão em biocombustíveis como por fermentação e transesterificação, para a obtenção de bioetanol e biodiesel, respectivamente (ONUMAEGBU *et al.*, 2018). Outra abordagem é a exploração deste potencial de geração de energia por meio da conversão direta da biomassa aplicando-se técnicas termoquímicas de processamento, como pirólise e gaseificação (SANCHEZ-SILVA *et al.*, 2013).

6 | LIMITAÇÕES, ESCALABILIDADE E PERSPECTIVAS FUTURAS

As tecnologias PBES são amplamente reconhecidas pela geração de eletricidade sustentável a partir do tratamento de efluentes. Entretanto, esta tecnologia apresenta uma série de limitações que desafiam a sua sustentabilidade no que diz respeito ao equilíbrio econômico entre investimento e produção. O custo de capital é considerado um dos principais inconvenientes para comercializar esta tecnologia no campo da geração de bioeletricidade e no tratamento de águas residuais (PALANISAMY *et al.*, 2019).

Os desafios para utilizar a tecnologia PBES em aplicações práticas e ampliação da escala estão diretamente associados a torná-los mais sustentáveis, o que implica na melhoria do desempenho destes sistemas. O desenvolvimento de tecnologias PBES requer a seleção de materiais adequados para a confecção de eletrodos e de membrana eficientes a fim de coletar a máxima energia possível disponibilizada pelo sistema com baixo custo, para viabilizar sua aplicação em ampla escala. No tratamento de águas residuárias, o principal desafio é aumentar a relação de energia ao volume de efluente tratado, que pode ser obtida aumentando-se a capacidade (volume) do MFC ou ampliando o arranjo dos eletrodos em série ou paralelo (DAS, 2017).

Segundo Gajda *et al.* (2018), existem várias maneiras de testar protótipos de grande escala. Uma delas é a integração do sistema MFC com uma instalação de tratamento de águas residuárias. Song *et al.* (2010) reportam viabilidade na utilização de sistemas de MFC em sistemas de tratamento de águas residuárias se a densidade de potência obtida for na ordem de 124 W m^{-3} . Para tanto testaram maiores dimensões do eletrodo de grafite e o número de células empilhadas sem acréscimo de resistência Ôhmica.

Sevda *et al.* (2019) sustentam que para atingir o estágio de comercialização, sistemas PBES devem integrar o aproveitamento da biomassa, da bioeletricidade e biorremediação. Ainda, segundo os autores, mais investigações devem ser conduzidas no campo da bioquímica e da microbiologia genômica no sentido de se identificar cepas de microalgas de maior potencial eletrogênico e menos dependentes de iluminação para a geração de bioeletricidade.

Sistemas do tipo MMFC ainda estão em um estágio inicial de desenvolvimento e, devido a sua complexidade, carecem de integração com outros sistemas, controle e otimização de processos. Para Zhang *et al.* (2019), ainda são necessários muitos estudos para aumentar a escala.

No intuito de superar algumas deficiências e limitações da combinação de técnicas envolvendo microalgas e microrganismos heterotróficos anaeróbios Xiao e He (2014) sugerem que os PBES sejam projetados para converter energia fotoelétrica em energia elétrica através da degradação da biomassa de algas e que a biomassa obtida possa ser utilizada para produção de biogás. Também destacam a importância da aplicação catódica de microrganismos fotossintéticos para suprimento de oxigênio *in situ* e melhor tratamento de efluentes.

Segundo Elmekawy (2014), houve um avanço na biologia molecular nas últimas décadas, portanto os genomas de vários microrganismos foram sequenciados. Assim, os próximos estudos devem focar mais nas análises genômicas, a fim de esclarecer as interações fisiológicas e genéticas e fornecer uma compreensão profunda dos mecanismos moleculares que motivam as interações microbianas e funções relacionadas.

71 CONCLUSÃO

Considerando o potencial de uso da tecnologia que emprega as células de combustível, a análise bibliométrica sobre os PBES confirmou uma tendência de aumento nas pesquisas sobre a geração de energia e remediação de águas residuárias por meio destes sistemas.

A partir dos PBES podem ser desenvolvidos sistemas com diferentes configurações para a geração de bioprodutos como bioeletricidade, biometano e biohidrogênio.

Os sistemas PMFC, que associam plantas e microrganismos, podem ser uma solução promissora para utilização em escalas maiores que as de bancada, com a vantagem de utilizarem organismos de elevada diversidade metabólica e excelente desempenho na geração de bioenergias.

A bioeletricidade representa uma alternativa complementar a outros sistemas de geração de energia, especialmente quando há interesse no uso de uma matriz energética limpa.

REFERÊNCIAS

ANTONACCI, A.; SCOGNAMIGLIO, V. Biotechnological Advances in the Design of Algae-Based Biosensors. **Trends in Biotechnology**, 38, n. 3, p. 334-347, 2020.

CAPODAGLIO, A. G. *et al.* Microbial fuel cells for direct electrical energy recovery from urban wastewaters. **The Scientific World Journal**, 2013, 2013.

CHEN, B. *et al.* Pathways for sustainable energy transition. **Journal of Cleaner Production**, 228, p. 1564-1571, 2019.

CHILD, M. *et al.* Sustainability guardrails for energy scenarios of the global energy transition. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 91, p. 321-334, 2018.

COLARES, G. S. *et al.* Floating treatment wetlands integrated with microbial fuel cell for the treatment of urban wastewaters and bioenergy generation. **Science of The Total Environment**, p. 142474, 2020.

DAS, D. **Microbial fuel cell: A bioelectrochemical system that converts waste to watts**. 2017. 1-506 p. (Microbial Fuel Cell: A Bioelectrochemical System that Converts Waste to Watts,

DING, A. *et al.* Impacts of applied voltage on microbial electrolysis cell-anaerobic membrane bioreactor (MEC-AnMBR) and its membrane fouling mitigation mechanism. **Chemical Engineering Journal**, 333, p. 630-635, 2018.

ELMEKAWY, A. *et al.* Techno-productive potential of photosynthetic microbial fuel cells through different configurations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 39, p. 617-627, 2014.

ELSHOBARY, M. E. *et al.* Recent insights into microalgae-assisted microbial fuel cells for generating sustainable bioelectricity. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2020.

- ENAMALA, M. K. *et al.* Production of biofuels from microalgae - A review on cultivation, harvesting, lipid extraction, and numerous applications of microalgae. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 94, p. 49-68, 2018.
- FISCHER, F. Photoelectrode, photovoltaic and photosynthetic microbial fuel cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90, p. 16-27, 2018.
- FU, S. *et al.* In situ Biogas Upgrading by CO₂-to-CH₄ Bioconversion. **Trends in Biotechnology**, 2020.
- GAJDA, I. *et al.* Recent advancements in real-world microbial fuel cell applications. **Current Opinion in Electrochemistry**, 11, p. 78-83, 2018.
- GAJDA, I. *et al.* Photosynthetic cathodes for Microbial Fuel Cells. **International Journal of Hydrogen Energy**, 38, n. 26, p. 11559-11564, 2013.
- GAJDA, I. *et al.* Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell system. **Biomass and Bioenergy**, 82, p. 87-93, 2015.
- GEPPERT, F. *et al.* Bioelectrochemical Power-to-Gas: State of the Art and Future Perspectives. **Trends in Biotechnology**, 34, n. 11, p. 879-894, 2016.
- GHOLIZADEH, A. *et al.* Ozone-cathode microbial desalination cell; An innovative option to bioelectricity generation and water desalination. **Chemosphere**, 188, p. 470-477, 2017.
- HADIYANTO, H. *et al.* Effects of Yeast Concentration and Microalgal Species on Improving the Performance of Microalgal-Microbial Fuel Cells (MMFCs). **International Energy Journal**, 20, n. 3, p. 337-344, 2020.
- HAN, X. *et al.* Combined microbial electrolysis cell–iron-air battery system for hydrogen production and swine wastewater treatment. **Process Biochemistry**, 101, p. 104-110, 2021.
- HE, L. *et al.* Advances in microbial fuel cells for wastewater treatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 71, p. 388-403, 2017.
- HINDATU, Y. *et al.* Mini-review: Anode modification for improved performance of microbial fuel cell. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 73, p. 236-248, 2017.
- HOU, Q. *et al.* The effect of algae species on the bioelectricity and biodiesel generation through open-air cathode microbial fuel cell with kitchen waste anaerobically digested effluent as substrate. **Bioresource Technology**, 218, p. 902-908, 2016.
- IFTIMIE, S.; DUMITRU, A. Enhancing the performance of microbial fuel cells (MFCs) with nitrophenyl modified carbon nanotubes-based anodes. **Applied Surface Science**, 492, p. 661-668, 2019.
- JWA, E. *et al.* Energy-efficient seawater softening and power generation using a microbial electrolysis cell-reverse electrodialysis hybrid system. **Chemical Engineering Journal**, 391, p. 123480, 2020.
- KABUTEY, F. T. *et al.* An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 110, p. 402-414, 2019.

- KHALILI, H.-B. *et al.* Microbial fuel cell (MFC) using commercially available unglazed ceramic wares: Low-cost ceramic separators suitable for scale-up. **International Journal of Hydrogen Energy**, 42, n. 12, p. 8233-8241, 2017.
- KUMAR, S. S. *et al.* Microbial fuel cells (MFCs) for bioelectrochemical treatment of different wastewater streams. **Fuel**, 254, p. 115526, 2019.
- KUMAR, S. S. *et al.* Performance of buffered ferric chloride as terminal electron acceptor in dual chamber microbial fuel cell. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 5, n. 1, p. 1238-1243, 2017.
- LAURENS, L. M. L. *et al.* A perspective on renewable bioenergy from photosynthetic algae as feedstock for biofuels and bioproducts. **Algal Research**, 24, p. 261-264, 2017.
- LI, M. *et al.* Microbial fuel cell (MFC) power performance improvement through enhanced microbial electrogenicity. **Biotechnology Advances**, 36, n. 4, p. 1316-1327, 2018.
- LI, M. *et al.* Enhancement of CO₂ biofixation and bioenergy generation using a novel airlift type photosynthetic microbial fuel cell. **Bioresource Technology**, 272, p. 501-509, 2019.
- LI, X. *et al.* Efficient treatment of aniline containing wastewater in bipolar membrane microbial electrolysis cell-Fenton system. **Water Research**, 119, p. 67-72, 2017.
- LIANG, Y. *et al.* A high-performance photo-microbial desalination cell. **Electrochimica Acta**, 202, p. 197-202, 2016.
- LIN, C.-W. *et al.* Effects of different mediators on electricity generation and microbial structure of a toluene powered microbial fuel cell. **Fuel**, 125, p. 30-35, 2014.
- LUO, S. *et al.* Algal-microbial community collaboration for energy recovery and nutrient remediation from wastewater in integrated photobioelectrochemical systems. **Algal Research**, 24, p. 527-539, 2017.
- MA, J. *et al.* Cost-effective *Chlorella* biomass production from dilute wastewater using a novel photosynthetic microbial fuel cell (PMFC). **Water Research**, 108, p. 356-364, 2017.
- MA, X. *et al.* Municipal sludge-derived carbon anode with nitrogen- and oxygen-containing functional groups for high-performance microbial fuel cells. **Journal of Power Sources**, 307, p. 105-111, 2016.
- MAJUMDAR, P. *et al.* Integrated Photobioelectrochemical Systems: A Paradigm Shift in Artificial Photosynthesis. **Trends in Biotechnology**, 35, n. 4, p. 285-287, 2017.
- MANSOORIAN, H. J. *et al.* Evaluation of dairy industry wastewater treatment and simultaneous bioelectricity generation in a catalyst-less and mediator-less membrane microbial fuel cell. **Journal of Saudi Chemical Society**, 20, n. 1, p. 88-100, 2016.
- MARTÍN DEL CAMPO, J. S. *et al.* Hydrogen production by *Chlamydomonas reinhardtii* under light-driven and sulfur-deprived conditions: Using biomass grown in outdoor photobioreactors at the Yucatan Peninsula. **International Journal of Hydrogen Energy**, 39, n. 36, p. 20950-20957, 2014.

MOQSUD, M. A.; KHONG, V. Bioelectricity generation and remediation of contaminated intertidal zone of Yamaguchi Bay, Japan. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2020.

ONUMAEGBU, C. *et al.* Pre-treatment methods for production of biofuel from microalgae biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 93, p. 16-26, 2018.

PALANISAMY, G. *et al.* A comprehensive review on microbial fuel cell technologies: Processes, utilization, and advanced developments in electrodes and membranes. **Journal of Cleaner Production**, 221, p. 598-621, 2019.

PAMINTUAN, K. R. S. *et al.* Simultaneous phytoremediation of Cu²⁺ and bioelectricity generation in a plant-microbial fuel cell assembly growing *Azolla pinnata* and *Lemna minor*. *In: 5th International Conference on Water Resource and Environment, WRE 2019*, 2019, 344. Institute of Physics Publishing, DOI: 10.1088/1755-1315/344/1/012021.

QUASHIE, F. K. *et al.* Efficiency and key functional genera responsible for simultaneous methanation and bioelectricity generation within a continuous stirred microbial electrolysis cell (CSMEC) treating food waste. **Science of The Total Environment**, 757, p. 143746, 2021.

RAHEEM, A. *et al.* A review on sustainable microalgae based biofuel and bioenergy production: Recent developments. **Journal of Cleaner Production**, 181, p. 42-59, 2018.

RAHMANINEZHAD, S. A. *et al.* Using ultra filtration membrane in photo electrocatalytic desalination cell (UF-PEDC). **Desalination**, 486, p. 114483, 2020.

REDDY, C. N. *et al.* Chapter 3.7 - Algal Biocathodes. *In: MOHAN, S. V., et al (Ed.). Microbial Electrochemical Technology*: Elsevier, 2019. p. 525-547.

SABA, B. *et al.* Sustainable power generation from bacterio-algal microbial fuel cells (MFCs): An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 73, p. 75-84, 2017.

SAITO, T. *et al.* Effect of nitrogen addition on the performance of microbial fuel cell anodes. **Bioresource Technology**, 102, n. 1, p. 395-398, 2011.

SANCHEZ-SILVA, L. *et al.* Pyrolysis, combustion and gasification characteristics of *Nannochloropsis gaditana* microalgae. **Bioresource Technology**, 130, p. 321-331, 2013.

SANTORO, C. *et al.* Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. **Journal of Power Sources**, 356, p. 225-244, 2017.

SARATALE, R. G. *et al.* Bioelectrochemical systems using microalgae – A concise research update. **Chemosphere**, 177, p. 35-43, 2017.

SEVDA, S. *et al.* Microalgae at niches of bioelectrochemical systems: A new platform for sustainable energy production coupled industrial effluent treatment. **Bioresource Technology Reports**, 7, p. 100290, 2019.

SHAIKH, R. *et al.* Bioelectricity production using plant-microbial fuel cell: Present state of art. **South African Journal of Botany**, 2020.

SHEHAB, N. A. *et al.* Enhanced water desalination efficiency in an air-cathode stacked microbial electrodeionization cell (SMEDIC). **Journal of Membrane Science**, 469, p. 364-370, 2014.

SHI, X. *et al.* Who should invest in clean technologies in a supply chain with competition? **Journal of Cleaner Production**, 215, p. 689-700, 2019.

SHUKLA, M.; KUMAR, S. Algal growth in photosynthetic algal microbial fuel cell and its subsequent utilization for biofuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, p. 402-414, 2018.

SIVASANKAR, V. *et al.* **Microbial fuel cell technology for bioelectricity**. Springer, 2018.

SONG, Y.-C. *et al.* Surface floating, air cathode, microbial fuel cell with horizontal flow for continuous power production from wastewater. **Journal of Power Sources**, 195, n. 19, p. 6478-6482, 2010.

SRIVASTAVA, P. *et al.* Denitrification in a low carbon environment of a constructed wetland incorporating a microbial electrolysis cell. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 6, n. 4, p. 5602-5607, 2018.

SRIVASTAVA, R. K. Bio-energy production by contribution of effective and suitable microbial system. **Materials Science for Energy Technologies**, 2, n. 2, p. 308-318, 2019.

TAWALBEH, M. *et al.* Microbial desalination cells for water purification and power generation: A critical review. **Energy**, 209, p. 118493, 2020.

WANG, C.-T. *et al.* Novel bufferless photosynthetic microbial fuel cell (PMFCs) for enhanced electrochemical performance. **Bioresource Technology**, 255, p. 83-87, 2018.

WANG, H. *et al.* Microbial community response to ammonia levels in hydrogen assisted biogas production and upgrading process. **Bioresource Technology**, 296, p. 122276, 2020.

XIAO, L.; HE, Z. Applications and perspectives of phototrophic microorganisms for electricity generation from organic compounds in microbial fuel cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 37, p. 550-559, 2014.

XU, B. *et al.* Deciphering electron-shuttling characteristics of microalgal metabolites upon bioelectricity-generating community in microbial fuel cells. **Biochemical Engineering Journal**, 144, p. 148-156, 2019.

XU, S. *et al.* Startup performance of microbial electrolysis cell assisted anaerobic digester (MEC-AD) with pre-acclimated activated carbon. **Bioresource Technology Reports**, 5, p. 91-98, 2019.

YAN, X. *et al.* The micro-niche of exoelectrogens influences bioelectricity generation in bioelectrochemical systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 134, p. 110184, 2020.

YANG, E. *et al.* Critical review of bioelectrochemical systems integrated with membrane-based technologies for desalination, energy self-sufficiency, and high-efficiency water and wastewater treatment. **Desalination**, 452, p. 40-67, 2019.

YANG, E. *et al.* A review on self-sustainable microbial electrolysis cells for electro-biohydrogen production via coupling with carbon-neutral renewable energy technologies. **Bioresource Technology**, 320, p. 124363, 2021.

YANG, Y.-c. *et al.* The optimal strategies for clean technology to advance green transition. **Science of The Total Environment**, 716, p. 134439, 2020.

YANG, Z. *et al.* Coupling a photosynthetic microbial fuel cell (PMFC) with photobioreactors (PBRs) for pollutant removal and bioenergy recovery from anaerobically digested effluent. **Chemical Engineering Journal**, 359, p. 402-408, 2019.

ZHANG, B. *et al.* Investigation and optimization of the novel UASB–MFC integrated system for sulfate removal and bioelectricity generation using the response surface methodology (RSM). **Bioresource Technology**, 124, p. 1-7, 2012.

ZHANG, Y.; ANGELIDAKI, I. A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination–denitrification cell (SMDDC). **Water Research**, 47, n. 5, p. 1827-1836, 2013.

ZHANG, Y. *et al.* In-situ mineral CO₂ sequestration in a methane producing microbial electrolysis cell treating sludge hydrolysate. **Journal of Hazardous Materials**, 394, p. 122519, 2020.

ZHANG, Y. *et al.* Microbial fuel cell hybrid systems for wastewater treatment and bioenergy production: Synergistic effects, mechanisms and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 103, p. 13-29, 2019.

SOBRE O ORGANIZADOR

EDSON DA SILVA - Possui graduação em Fisioterapia pela Fundação Educacional de Caratinga (2001). Obteve seu título de Mestre (2007) e o de Doutor em Biologia Celular e Estrutural pela Universidade Federal de Viçosa (2013). É especialista em Educação em Diabetes pela Universidade Paulista (2017), em Tecnologias Digitais e Inovação na Educação pelo Instituto Prominas (2020) e Pós-Graduando em Games e Gamificação na Educação (2020). Realizou cursos de aperfeiçoamento em Educação em Diabetes pela ADJ Diabetes Brasil, *International Diabetes Federation* e Sociedade Brasileira de Diabetes (2018). É docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), desde 2006, lotado no Departamento de Ciências Básicas (DCB) da Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde (FCBS). Ministra disciplinas de Anatomia Humana para diferentes cursos de graduação. No Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente atua na linha de pesquisa Educação, Saúde e Cultura. É vice-coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Nutrição, no qual atua nas áreas de Nutrição e Saúde Coletiva. É líder do Grupo de Estudo do Diabetes credenciado pelo CNPq no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil. Desde 2006 desenvolve ações interdisciplinares de formação em saúde mediada pela extensão universitária, entre elas várias coordenações de projetos locais, além de projetos desenvolvidos em Operações do Projeto Rondon com atuações nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. É membro da Sociedade Brasileira de Diabetes, membro de corpos editoriais e parecerista *ad hoc* de revistas científicas nacionais e internacionais da área de ciências biológicas, de saúde e de educação. Tem experiência na área da Saúde, atuando principalmente nos seguintes temas: Anatomia Humana; Diabetes *Mellitus*; Processos Tecnológicos Digitais e Inovação na Educação em Saúde; Educação, Saúde e Cultura. É Editor da Revista Brasileira de Extensão Universitária (RBEU) e Diretor Científico da Coleção Tecnologia e Inovação na Educação em Saúde, Editora Appris.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Água de Matali 60

Aquidauana 11, 39, 40, 41, 44, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 57

B

Bioatividade 59, 71

Bioquímica 12, 83, 98, 99, 100, 106, 107, 109, 110, 123, 141, 142, 143, 154, 156, 157

C

Caixas Longa Vida 50, 51, 53, 54, 57

Caneleiro 130, 131, 132, 133, 135, 136, 137

Carboidratos 45, 99, 100, 107, 108, 110, 122, 141, 143, 144, 146, 154, 175

Ciências Biológicas 2, 9, 15, 50, 53, 99, 170, 203

Compostagem 22, 24, 25, 26, 27, 29, 30

D

Desenvolvimento Sustentável 23, 91, 113

Distocia 19, 20, 21

E

Educação Ambiental 24, 88, 90, 91, 97, 98

Ensino 11, 88, 90, 91, 97, 99, 100, 108, 109, 110, 141, 142, 143, 144, 154, 155, 156, 157

Epilepsia 10, 1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15

Espécie Nativa 130

Esquizencefalia 2, 3, 4, 6, 7

Etnobotânica 61, 174

F

Fitorremediação 13, 118, 188, 189, 190, 197, 199

Floresta Amazônica 132, 174

G

Germinabilidade 130, 132

Glicerol Residual 11, 74

H

Hospedeiro 11, 39, 42, 43, 44

J

Jogo de cartas 12, 141, 142

K

Klebsiella oxytoca 11, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 160

M

Malformações 10, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12

Monoterpenos 158, 160, 163, 166, 167, 168, 170

N

Nanotecnologia 32, 33, 34

O

Óleo de cozinha 11, 88, 89, 90, 92, 95, 96, 98

Óleo Essencial 12, 49, 158, 160, 162, 166, 167, 168, 170, 171, 182

P

Parasita 39, 44

Plantas Aquáticas 188

Plantas Medicinais 61, 71, 72, 159, 171, 174

Poliuição 11, 23, 25, 26, 84, 85, 88, 97, 120, 201

Processos fermentativos 74, 77

Q

Qualidade de água 188

R

Reciclagem 11, 24, 25, 26, 50, 51, 58, 88, 89, 97, 98

Répteis 19, 20, 21

Resíduos Sólidos 10, 22, 24, 25, 26, 29, 49, 89, 92, 95, 190

Reutilização 25, 50, 51, 57, 88, 97, 98, 113

S

Schinus terebinthifolius 12, 158, 159, 161, 170, 171, 172

Sistemas Bioeletroquímicos 111, 114

T

Tartaruga 19, 20

Tecnologias Limpas 12, 111, 112, 113

Triagem Fitoquímica 59, 62, 64

V

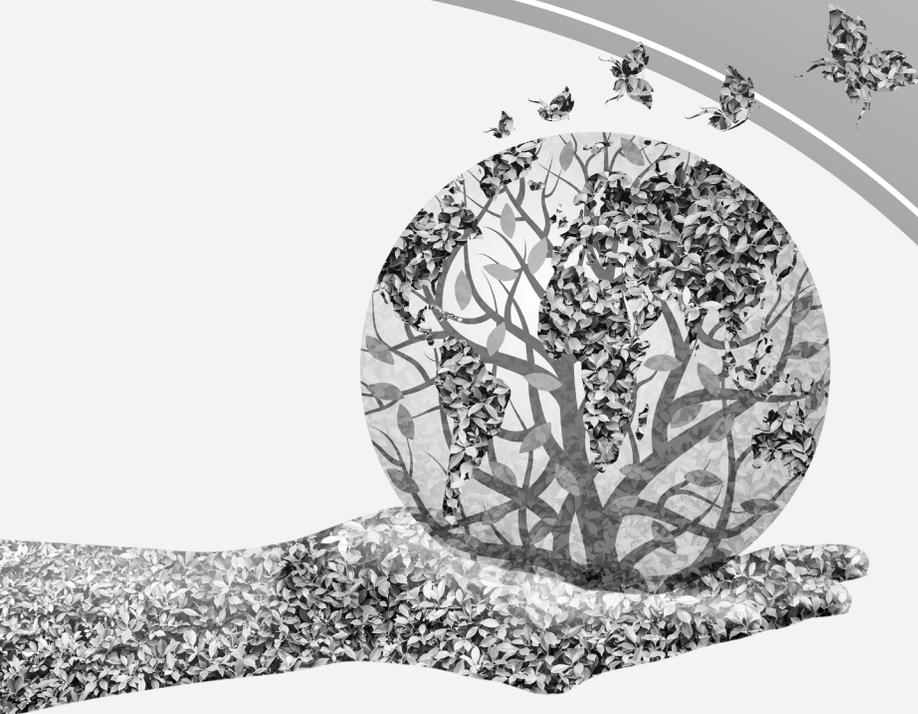
Vespas 39, 44, 45

Z

Zoológico 22, 24, 29, 30

Ciências biológicas: Realidades e virtualidades 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Ciências biológicas: Realidades e virtualidades 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

