

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Fernando Freitas Pinto Júnior | Jonathas Araújo Lopes
(Organizadores)



CIÊNCIAS AGRÁRIAS:

Estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 3


Atena
Editora
Ano 2023

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Fernando Freitas Pinto Júnior | Jonathas Araújo Lopes
(Organizadores)



CIÊNCIAS AGRÁRIAS:

Estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 3


Atena
Editora
Ano 2023

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

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 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-Não-Derivativos 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
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Fernando Freitas Pinto Júnior
Jonathas Araújo Lopes

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C569	<p>Ciências agrárias: estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 3 / Organizadores Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos, Fernando Freitas Pinto Júnior, Jonathas Araújo Lopes. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0968-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.687231601</p> <p>1. Ciências agrárias. I. Silva-Matos, Raissa Rachel Salustriano da (Organizadora). II. Pinto Júnior, Fernando Freitas (Organizador). III. Lopes, Jonathas Araújo (Organizador). IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 630</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

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.

As correntes ideológicas que cercam o ambiente agrário têm promovido muitas discussões dentro do conceito de sustentabilidade e saúde humana, além de estudos acerca do uso de recursos da natureza e dos animais. Tendo em vista esse panorama atual, cada vez mais o estudo das Ciências Agrárias é visto como uma necessidade a fim de desencadear diálogo e novas visões que futuramente possam contribuir para com a humanidade.

Nesse sentido, diversos pesquisadores junto a órgãos de pesquisa nacionais e internacionais tem unido forças para contribuir no âmbito agrário, e assim possibilitar novas descobertas neste setor. Este estudo constante possibilita o surgimento de novas linhas de pesquisa, as quais podem desencadear soluções para entraves que afetam a produtividade na agropecuária.

Dessa forma, partindo dessa perspectiva de aprimorar o conhecimento por meio de pesquisas, o livro “Ciências Agrárias: Estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 3” surge como uma ferramenta prática que apresenta estudos com temas variados aplicados em diferentes regiões, a fim de proporcionar novas visões, indagações e contribuir para o surgimento de possíveis soluções para problemáticas que afetam o cenário agrário atual.


Pensando nisso, o presente material contém 21 capítulos organizados em temas que variam de sustentabilidade a assuntos pertinentes à saúde animal, além de estudos voltados para uma maior produtividade no campo das grandes culturas.

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Fernando Freitas Pinto Júnior
Jonathas Araújo Lopes

CAPÍTULO 1 1

ÁGUA NO SOLO E BALANÇO CATIONICO DO SOLO SOB CULTIVO DE GENÓTIPOS DE SOJA NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR


Rafael Domingues
 André Belmont Pereira
 Eduardo Fávero Caires

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316011>

CAPÍTULO 2 16

A IMPORTÂNCIA DA LEGISLAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NO BRASIL: UM LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO


Gustavo Ravazzoli Fernandes
 Lucas Wickert
 Maria Fernanda Oliveira dos Reis Wickert
 Reginaldo Aparecido Trevisan Junior
 Vinicius Rogério Zwiezyński

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316012>

CAPÍTULO 3 21

AMAZÔNIA IRRIGADA: ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL


Douglas Lima Leitão
 Maria do Bom Conselho Lacerda Medeiros
 Lorena de Paula da Silva Maciel
 Caio Pereira Siqueira
 Laís Costa de Andrade
 Gisela Nascimento de Assunção
 Adriano Anastácio Cardoso Gomes
 Luciana da Silva Borges
 Pedro Daniel de Oliveira
 Joaquim Alves de Lima Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316013>

CAPÍTULO 4 38

AQUAPONIA

Anderson Rodrigo Cordeiro Dionisio
 Ana Carolina Maia Souza
 Breno Jorge Zeferino Monteiro
 Elaine Patrícia Zandonadi Haber
 Tercio Raphael de Oliveira Nonato


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316014>

CAPÍTULO 5 42

THE GREEN REVOLUTION AND THE PARTICULARITIES OF ITS ADOPTION IN BRAZIL

Jefferson Levy Espindola Dias

Cleonice Alexandre Le Bourlegat

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316015>

CAPÍTULO 669

BRUCELOSE ANIMAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Adriana Prazeres Paixão

Tânia Maria Duarte Silva

Herlane de Olinda Vieira Barros

Sara Ione da Silva Alves


Carla Janaina Rebouças Marques do Rosário

Amanda Mara Teles

Nancyleni Pinto Chaves Bezerra

Danilo Cutrim Bezerra

Viviane Correa Silva Coimbra


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316016>

CAPÍTULO 785

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

Renan de Oliveira Almeida

José Celso Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316017>

CAPÍTULO 890

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DE REBOLOS NO PLANTIO MECANIZADO E FALHAS NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Murilo Battistuzzi Martins


Aldir Carpes Marques Filho

Fernanda Scaranello Drudi

Jefferson Sandi

João Vitor Paulo Testa

Kléber Pereira Lanças

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316018>


CAPÍTULO 995

LEVANTAMENTO DE DOENÇAS BIÓTICAS EM ROSA DO DESERTO (*Adenium obesum*) Forssk. Roem

Carlos Wilson Ferreira Alves

Daiane Lopes de Oliveira

Solange Maria Bonaldo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6872316019>

CAPÍTULO 10.....110

LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR NA AMAZÔNIA TOCANTINA

Glaucilene Veloso Costa


Lenize Mayane Silva Alves
 Silas Eduan Pompeu Amorim
 Taciele Raniere da Silva Nascimento
 Mariana Casari Parreira
 Melcleyre de Carvalho Cambraia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160110>

CAPÍTULO 11 116

LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ-EMERGÊNCIA EM SOLO COM COBERTURA VEGETAL


Beatriz Aparecida Blanco Gonsales
 Kamilla Ferreira Rezende
 Daniela Stival Machado
 Miriam Hiroko Inoue
 Ana Carolina Dias Guimarães
 Júlia Rodrigues Novais
 Gabriel Casagrande Castro
 Rafael Rodrigues Spindula Thomaz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160111>

CAPÍTULO 12..... 127

MANEJO MICROBIOLÓGICO DE TRIPES NA CULTURA SOJA


Emanuele Finatto Carlot
 Giovani Finatto Carlot
 Jenifer Filipini de Oliveira
 Thais Pollon Zanatta
 Daniela Meira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160112>

CAPÍTULO 13..... 135

MICROALGAS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIOPRODUTOS


Alice Azevedo Lomeu
 Henrique Vieira de Mendonça

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160113>

CAPÍTULO 14..... 148


PROPAGAÇÃO DE CLADÓDIOS DE DIFERENTES COMPRIMENTOS DE DUAS ESPÉCIES DE PITAIAS

Fábio Oseias dos Reis Silva
 Renata Amato Moreira
 Ramon Ivo Soares Avelar
 Luiz Carlos Brandão Junior
 José Darlan Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160114>


CAPÍTULO 15..... 154**PROPAGACIÓN POR VARETA DE LA HIGUERA (*Ficus carica* L.) EN BAJA CALIFORNIA SUR**

Loya Ramírez José Guadalupe
 Gregorio Lucero Vega
 Carlos Pérez Soto
 Beltrán Morales Félix Alfredo
 Ruiz Espinoza Francisco Higinio
 Zamora Salgado Sergio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160115>


CAPÍTULO 16..... 159**RECOMENDAÇÃO DE LÂMINAS DE FERTIRRIGAÇÃO PARA CULTURAS AGRÍCOLAS COM BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS**

Júlia Camargo da Silva Mendonça Gomes
 Conan Ayade Salvador
 Everaldo Zonta
 Henrique Vieira de Mendonça

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160116>


CAPÍTULO 17..... 173**SISTEMA AGROINDUSTRIAL RAICILLA, EN MASCOTA, JALISCO: UN ACERCAMIENTO**

Abraham Villegas de Gante
 Miguel Angel Morales López

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160117>


CAPÍTULO 18..... 185**TEMPORAL VARIABILITY OF SOIL MECHANICAL RESISTANCE TO THE PENETRATION OF ROOTS OF AN ULTISOL**

Sidileide Santana Menezes
 Fabiane Pereira Machado Dias
 Ésio de Castro Paes
 Fagner Taiano dos Santos Silva
 João Rodrigo de Castro
 Rafaela Simão Abrahão Nóbrega
 Júlio César Azevedo Nóbrega

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160118>

CAPÍTULO 19..... 196**USO DE BLENDS DE PLANTAS MEDICINAIS NO TRATAMENTO ALTERNATIVO DO TABAGISMO**

Marina Santos Okuzono Marquês de Araújo
 Marcelo de Souza Silva
 Claudia Maria Bernava Aguillar


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160119>

CAPÍTULO 20202

USO DE MOTORES ELÉTRICOS EM SEMEADORAS E GANHO DE
PRODUTIVIDADE NA CULTURA DA SOJA

Airton Polon

Telmo Jorge Carneiro Amado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160120>


CAPÍTULO 21..... 213

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE
PLANTIO DIRETO NO CERRADO PIAUIENSE

Laércio Moura dos Santos Soares

Francisco Edinaldo Pinto Mousinho

Adeodato Ari Cavalcante Salviano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68723160121>

SOBRE OS ORGANIZADORES223

ÍNDICE REMISSIVO224

MICROALGAS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIOPRODUTOS

Data de submissão: 17/11/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Alice Azevedo Lomeu

UFRRJ, Dep. de Engenharia
Seropédica – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2780156717889377>

Henrique Vieira de Mendonça

UFRRJ, Dep. de Engenharia
Seropédica – RJ
<http://lattes.cnpq.br/8897355054570578>

RESUMO: Os desafios da recuperação econômica no pós-pandemia têm impactado diretamente as decisões tomadas pelos países em relação ao meio ambiente. As mudanças climáticas têm causado catástrofes ambientais em diversas partes do planeta e a principal preocupação é a redução dos gases de efeito estufa. Os biocombustíveis se apresentam como uma alternativa bastante atrativa para substituição de combustíveis fósseis. Microalgas são uma matéria-prima que tem sido estudada extensivamente nas últimas décadas. O principal desafio é encontrar maneiras de tornar o processo de produção de biocombustíveis a base de microalgas factível em termos de custo-benefício. O cultivo de microalgas pode seguir os mais diversos caminhos, variando a modalidade

de cultivo (heterotrófico, autotrófico ou mixotrófico), o sistema de cultivo (aberto ou fechado), condições de cultivo (meio de cultivo, temperatura, iluminação, nutrientes, entre outros). Além disso, microalgas podem ser utilizadas como matéria-prima para fabricação de suplementos alimentares para humanos e animais, pigmentos para a indústria e fertilizantes. No âmbito global, o Brasil é protagonista na produção de biocombustíveis, sendo um dos maiores produtores de etanol. Estudos mostram que o país apresenta um grande potencial para a produção de biodiesel e as microalgas podem alavancar este setor. O capítulo apresenta um estudo da arte sobre o cultivo de microalgas e seus bioprodutos. Ainda, busca discutir a produção de biocombustíveis no cenário brasileiro e os próximos passos.

PALAVRAS-CHAVE: Microalgas, Biocombustíveis, Cenário brasileiro.

MICROALGAE AS RAW MATERIAL FOR BIOPRODUCTS

ABSTRACT: The challenges for economy recover in post-pandemic have influenced the decisions taken by countries concerning the environment. The climate changes

have caused environment catastrophes in several parts of the planet and the main concern is reducing the emissions of greenhouse gases. Biofuels are a very attractive alternative to replace fossil fuels. Microalgae as feedstock has been extensively studied in the past decades. The main challenge is to find ways to make the production process of microalgae biofuel feasible regarding the cost-benefit. Microalgae cultivation can present a number of different pathways, varying the type of cultivation (heterotrophic, autotrophic or mixotrophic), system of cultivation (open or close), conditions of cultivation (medium, temperature, light, nutrients, among others). Furthermore, microalgae can be use as feedstock for human and animal supplementation, pigments for the industry and fertilizers. At a global level, Brazil is protagonist producing biofuel, being one of the biggest producers of ethanol. Studies point out that the country have a great potential to produce biodiesel and microalgae can project this sector. This chapter presents a state-of-art about microalgae cultivation and their bioproducts. Additionally, intends to discuss the biofuel production in the Brazilian scenario and the next steps.

KEYWORDS: Microalgae; Biofuel; Brazilian scenario.

BREVE HISTÓRICO DO CULTIVO DE MICROALGAS

Microalgas são microrganismos unicelulares fotossintetizantes. A primeira menção ao cultivo de microalgas com o intuito de produção de energia data da época da segunda guerra mundial, contudo foi apenas nos anos 70 que essa matéria-prima começou a ganhar espaço, graças a crise energética que se abateu no mundo (DAHIYA, 2020), contudo há registros do povo Asteca utilizando microalgas como fonte de alimento (GANTAR e SVIRČEV, 2008).

Do ponto de vista da geração de energia, as microalgas não eram tidas como matéria-prima economicamente viável no começo do século 21, devido ao seu grande consumo de energia nos processos de colheita e conversão em biocombustíveis (MONDAL et al., 2022). E embora muito ainda haja muito a ser feito para tornar o processo mais viável, os autores afirmam que o cultivo de microalgas se tornou mais factível com os avanços da ciência. Hoje, o mercado global de microalgas chega a mais de 30 mil toneladas de biomassa produzida por ano (JANSSEN; WIJFFELS; BARBOSA, 2022).

TIPOS DE CULTIVO

Microalgas podem ser cultivadas em três diferentes modalidades, sendo, cultivo heterotrófico, autotrófico ou mixotrófico. O cultivo autotrófico é aquele em que a biomassa necessita de luz para assimilar o carbono inorgânico e produzir energia, processo conhecido como fotossíntese. Já no modo heterotrófico, o carbono orgânico é metabolizado pela biomassa, sem que haja necessidade de luz. E finalmente, o cultivo mixotrófico acontece quando os dois modos citados anteriormente são combinados, onde a biomassa assimila tanto o carbono orgânico quanto o inorgânico (LI et al., 2019).

De acordo com Ruiz et al. (2022), o cultivo heterotrófico leva vantagem sob o

autotrófico, já que a produtividade de biomassa e de lipídios é consideravelmente maior no primeiro. Barros et al. (2019) utilizaram o cultivo de *Chlorella vulgaris* em modo heterotrófico e autotrófico e avaliaram a possibilidade de cultivo em fotobiorreatores de painel de 100 m³. Enquanto o experimento autotrófico levou 13 dias para obter uma massa seca de 1.27 g L⁻¹, o experimento heterotrófico levou 7 dias e produziu massa seca de 174,5 g L⁻¹. Os autores sugerem que uma fase inicial de cultivo heterotrófico seja utilizado para se obter uma maior concentração de biomassa, enquanto que o cultivo autotrófico seja feito em escala real, nos fotobiorreatores de painel de 100 m³, isso permitiria atingir os mesmos níveis de produção de proteína e pigmentos vistos em cultivos exclusivamente autotróficos em um intervalo de tempo consideravelmente menor.

Em relação ao cultivo mixotrófico, Pawar (2016) afirma que este modo se mostra mais prático ao se considerar tratamento de águas residuárias em grande escala. Abreu et al. (2012) comparou o cultivo mixotrófico com autotrófico de *Chlorella vulgaris* em água residuária de laticínio. A produtividade de biomassa no ambiente mixotrófico e autotrófico foram de 0,75 ± 0,01 e 0,10 ± 0,01 g L⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Os autores atribuíram essa diferença devido a presença de glicose no meio mixotrófico. Yu et al. (2022) desenvolveram um modelo cinético para comparar a taxa de crescimento da biomassa e produção de lipídios da espécie *Chlorella sorokiniana* em modo heterotrófico e mixotrófico, concluindo que o modo mixotrófico desempenhou melhor nas variáveis analisadas.

Ao considerar o cultivo de microalgas, deve se levar em consideração não apenas o tipo de cultivo a ser utilizado, mas também o tipo de substrato, a espécie de microalga e o sistema de cultivo.

SISTEMAS DE CULTIVO

Os sistemas de cultivo de microalgas são comumente categorizados em dois sistemas: abertos, representado pelas lagoas e os fechados, comumente representados pelos fotobiorreatores. Segundo Yadala e Cremaschi (2016), as lagoas podem ser classificadas de acordo com seu *design* e operação em lagoas circulares, inclinadas ou de alta taxa. As lagoas de alta taxa são sistemas abertos, com profundidade variando de 0,15 até 0,5 m e com uma pá, que tem a função de promover a mistura do meio (BHATT et al., 2022). A Figura 1 mostra uma representação esquemática de uma lagoa de alta taxa. No contexto do tratamento de águas residuárias, Craggs, Sutherland e Campbell (2012) afirmam que as lagoas de alta taxa são as que apresentam resultados mais consistentes.

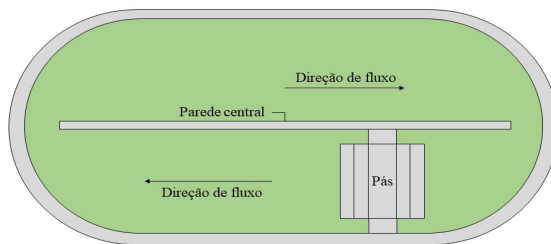


Figura 1: Representação esquemática de uma lagoa de alta taxa

As principais vantagens das lagoas são que possuem baixos requisitos de energia e baixos custos de implementação e operação (BHATT et al., 2022; COUTO et al., 2021). Contudo, nesses sistemas não é possível ter controle absoluto sob o meio, já que são sistemas abertos estão sujeitos a contaminação por outras espécies de microalgas e microrganismos (YADALA; CREMASCHI, 2016). As lagoas também são afetadas por fatores climáticos, como chuvas, iluminação e temperatura (JEBALI et al., 2018). Além disso, há grande perda de água por evaporação e difusão de CO_2 (LEONG; HUANG; CHANG, 2021). Sutherland et al. (2020) utilizaram três lagoas de alta taxa com tamanhos diferentes: mesocosmo ($1,5 \text{ m}^3$), escala piloto (90 m^3) e escala real (2.900 m^3). Em relação ao $\text{NH}_4\text{-N}$, os autores notaram que as lagoas mesocosmo e em escala piloto tiveram maiores remoções ao se comparar com a de escala real. Já em relação a remoção de matéria orgânica a lagoa em escala real teve um desempenho maior comparada com as outras duas.

Fotobiorreatores são sistemas fechados com injeção de ar para mistura e oxigenação do meio. Os fotobiorreatores podem ser tubulares (Figura 2a), de painéis (Figura 2b) ou de coluna (Figura 2c).

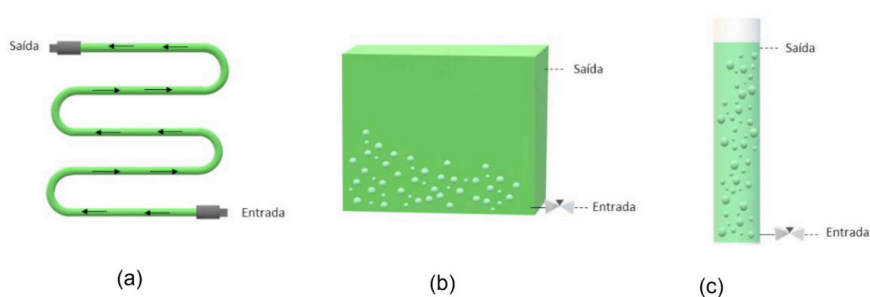


Figura 2: Representação esquemática dos fotobiorreatores (a) tubulares, (b) painel e (c) coluna

Por serem sistemas fechados os fotobiorreatores proporcionam um maior controle do ambiente, além de não serem tão susceptíveis as mudanças de clima como as lagoas.

Outra vantagem é que o risco de contaminação é baixo e possuem maiores produtividades de biomassa (BHATT et al., 2022). Contudo, os custos de implementação e energia são altos.

Muitos autores buscam otimizar o processo de cultivo de microalgas adaptando e criando novos *designs* para fotobiorreatores. Yaqoubnejad, Rad e Taghavijeloudar (2021) propuseram um fotobiorreator de painel hexagonal (HAFP) que objetivava aumentar a produtividade de biomassa e fixação de CO₂. Os autores compararam os resultados encontrados no HAFP com um fotobiorreator de painel comum (TFP) e encontraram que a produtividade de biomassa foi maior em 61% no HAFP e a biofixação de CO₂ de 70% comparado com o TFP. Já Chin-On et al. (2022), utilizaram fotobiorreatores de painéis em formato V para o cultivo de microalgas em locais de baixa latitude e avaliar a captura de luz solar nesses locais. Os autores chegaram a conclusão que a produtividade de biomassa nos painéis em V foi 1,4 maior se comparada com um painel horizontal.

Thuy Lan Chi et al. (2022) avaliaram a produtividade de biomassa e de lipídios cultivando *Chlorella sp.* em fotobiorreatores e lagoas. Os autores registraram uma produtividade de biomassa maior nos fotobiorreatores em comparação com as lagoas, 0,121 g L⁻¹ e 0,067 g L⁻¹, respectivamente. Em relação aos lipídios totais, os autores não registraram valores similares para os dois sistemas, 23,32% para os fotobiorreatores e 23,35% para as lagoas. Contudo, em relação a produtividade de lipídios, os fotobiorreatores tiveram um desempenho melhor, registrando valores de 0,028 g L⁻¹ d⁻¹, enquanto nas lagoas os valores registrados foram de 0,019 g L⁻¹ d⁻¹. Davis, Aden e Pienkos (2011) realizaram uma análise técnico-econômica do cultivo de microalgas para produção de biodiesel em fotobiorreatores e lagoas. O custo de produção de óleo bruto para a lagoa foi de US\$ 8,52/gal, enquanto a produção em fotobiorreatores foi de aproximadamente o dobro desse custo, US\$ 18,10/gal.

Os custos de produção em fotobiorreatores são maiores se comparados com as lagoas, contudo apesar das otimizações que vem sendo feitas ao longo dos anos nos sistemas de lagoas, as mesmas não conseguem obter o mesmo nível de produtividade de biomassa que os fotobiorreatores (PAWAR, 2016).

MICROALGAS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIOPRODUTOS

Microalgas podem servir como matéria-prima para uma extensa gama de bioprodutos, desde produtos voltados para alimentação até para o setor de energia. Os componentes bioativos que podem ser extraídos dessa biomassa são diversos, mas são associados com a composição da mesma. Lipídios (7 – 65%), proteínas (5 – 74%), carboidratos (8 – 70%), vitaminas e pigmentos (1 – 14%) configuram essa composição (CALIJURI et al., 2022; SIDDIKI et al., 2022).

Os lipídios presentes na biomassa podem ser utilizados na produção de biodiesel

ou na alimentação humana, através da sua fração poliinsaturada. Singh, Kumar e Sharma, (2019) obtiveram 98,41% de conversão de óleo de *Anabaena* PCC 7120 em biodiesel. Kings et al. (2017) encontraram conversão em biodiesel a partir da microalga *Euglena sanguínea* de 98,6%. Já Behera et al. (2020) obtiveram 94,91% de conversão com um consórcio de microalgas (*Chlorella sp.*, *Scenedesmuus sp.*, *Synechocystis sp.*, *Spirulina sp.*).

Os carboidratos podem ser utilizados na produção de bioetanol ou biohidrogênio. Hossain, Zaini e Indra Mahlia (2019) produziram 58,90 m³ ha⁻¹ a⁻¹ de bioetanol a partir do cultivo de *Chlorella vulgaris* em FBRs em uma área de 2 ha. Megawati et al. (2022) conseguiu obter conversão de 94,21% ou 4,80 g L⁻¹ através da fermentação de glicose presente na microalga *Chlorella*. Bala Amutha e Murugesan (2011) obtiveram 220 mL L⁻¹ de hidrogênio com microalga *Chlorella vulgaris*.

Os principais pigmentos encontrados nas microalgas utilizados para fins comerciais são a clorofila e os carotenoides. De acordo com Ferruzzi e Blakeslee (2007) a clorofila tem propriedades curativas e anti-inflamatórias, por isso atraem a atenção da indústria alimentícia e farmacêutica. Já os carotenoides são utilizados para dar coloração a alimentos, como sorvetes, laticínios ou até em cosméticos, como batons e delineadores (SPOLAORE et al., 2006). Na indústria de cosméticos, as microalgas são também utilizadas em cremes *anti-aging*, produtos para cuidados com a pele, emolientes, protetores solares e produtos para cabelo (KHOLSSI et al., 2021). Dianursanti e Pramadhanti (2020) avaliaram o componente antibactericida de um sabonete com extrato de *Spirulina platensis* e concluíram que extrato encontrado se provou eficiente contra o crescimento de bactérias.

Microalgas são organismos ricos em nutrientes, podendo ser uma fonte sustentável de biofertilizantes. O fósforo, por exemplo, é um nutriente essencial em fertilizantes, porém é um recurso não renovável e de difícil obtenção (CASTRO et al., 2020; SOLOVCHENKO et al., 2016). Em se tratando do nitrogênio, os fertilizantes nitrogenados contribuem para as mudanças climáticas através da emissão de óxido nitroso, gás de efeito estufa (FAGODIYA et al., 2017). Tendo isso em vista, microalgas se apresentam como uma alternativa a fertilizantes artificiais, já que são micro-organismos capazes de acumular N e P. Khan et al. (2019) fizeram uma projeção para produção de biofertilizante a partir de *C. minutissima* cultivada em efluente doméstico, em uma lagoa com área de 1 ha. Os resultados mostraram que seria possível acumular de N, P e K 22.958, 4.498 e 1.095 kg ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente, com uma economia com fertilizantes químicos de US\$ 55.840 ha⁻¹ a⁻¹. Castro et al. (2020) analisaram os impactos ambientais de biofertilizante a base de microalgas comparado com um fertilizante superfosfato triplo (TSP). Dentre os impactos analisados (esgotamento de recursos fósseis, ecotoxicidade da água, ecotoxicidade do solo, formação de material particulado, eutrofização, acidificação do solo e mudanças climáticas) o biofertilizante teve desempenho superior ao TSP, com destaque para mudanças climática e ecotoxicidade do solo.

Microalgas também são uma excelente fonte para suplementação alimentar, já que possuem altos teores de lipídios, carboidratos, proteínas, vitaminas e até ômega-3. Pereira et al. (2020) avaliaram a inserção de uma suplementação alimentar a base de *Tetraselmis sp.* CTP4 na criação de dourados (*Spaurus aurata*). Os autores concluíram que o suplemento teve um desempenho melhor em relação ao coeficiente de digestibilidade e plasma cortisol do que a dieta de controle (ração de soja). Em seu estudo, Mendonça et al. (2018) concluíram que as microalgas *Scenedesmus obliquus* e *Chlorella vulgaris* poderiam ser utilizadas para suplementação alimentar de animais devido ao alto teor de proteína encontrada na biomassa, 68 e 150 mg L⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Além da suplementação para animais, microalgas também podem ser utilizadas em dietas humanas, contudo apenas algumas espécies são consideradas para este fim, sendo elas *Spirulina (Arthrospira platensis)*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella luteoviridis*, *Odontella aurita* e *Tetraselmis chui* (ZANELLA e VIANELLO, 2020).

A aplicabilidade das microalgas é bastante vasta, podem ser utilizadas para geração de energia, pela indústria farmacêutica, na suplementação alimentar e ainda no sequestro de CO₂ e tratamento de águas residuárias. O mercado global de microalgas está estimado entre US\$ 3,8 e 5,4 bilhões (BRASIL et al., 2017), com os principais atores concentrados no continente americano, especialmente nos Estados Unidos e na Europa (MENDONÇA et al., 2021).

BIOCOMBUSTÍVEIS NO CENÁRIO BRASILEIRO

Os biocombustíveis produzidos a partir de microalgas são classificados como de terceira geração. As principais vantagens que estes apresentam são a não necessidade de áreas agricultáveis, o sequestro de CO₂, menores tempos de cultivo e a não necessidade de água para o cultivo (ANANTHI et al., 2021; MOSHOOD; NAWANIR; MAHMUD, 2021; VASISTHA et al., 2021). Em se tratando de produção de óleo, microalgas levam vantagem em relação a plantas terrestres. Por exemplo o milho tem produção média de óleo de 172 L ha⁻¹, a soja, 446 L ha⁻¹, a palma 5.366 L ha⁻¹, enquanto que microalgas produzem cerca de 100.000 L ha⁻¹ (MENDONÇA et al., 2021; GANESAN et al., 2020; KATIYAR et al., 2017).

Um dos grandes problemas enfrentados para a produção de biocombustíveis a base de plantas terrestres é a competição por áreas agricultáveis. O exponencial aumento da população mundial exige que a produção de alimento acompanhe esse crescimento, por isso é importante encontrar alternativas que supram as demandas do mundo moderno. Tendo isso em vista, a produção de biocombustíveis de terceira geração pode ter protagonismo nos próximos anos não apenas para suprir as condições para diminuição das emissões de gases de efeito estufa, mas também para garantir segurança alimentar. Ainda microalgas podem produzir em uma mesma área biodiesel e bioetanol (MENDONÇA et al., 2022). Correa et al. (2017) realizaram um estudo comparando a área necessária para

diferentes culturas e microalgas e a produção de biocombustíveis necessárias para suprir a demanda de gasolina em diversos países. Para o cenário brasileiro, os autores reportam que a área necessária para microalgas atingirem a meta de gasolina seria de 3% da área necessária para a soja (biodiesel), 20,4% para o coco (biodiesel) e 24,4% para a cana-de-açúcar (etanol). Os resultados deste estudo evidenciam o grande potencial que microalgas apresentam para produção de biocombustíveis.

Contudo, apesar das evidentes vantagens, essa matéria-prima ainda apresenta obstáculos, especialmente no processo de conversão do óleo em biodiesel. A transesterificação é o processo mais utilizado para conversão. A transesterificação é uma reação reversível que ocorre quando um triglicérides reage com um álcool primário (usualmente metanol ou etanol) formando um éster (biodiesel) e glicerol (ATHAR; ZAIDI, 2020). O emprego de tecnologias como catalisadores, auxílio por micro-ondas, ultrassom, cossolventes e membranas, entretanto o emprego dessas tecnologias encarece o processo de conversão. No Brasil, a Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural (ANP) é o órgão responsável por regular a produção de biocombustíveis e determina que para ser considerado biodiesel a conversão mínima deve ser de 96,5% (ANP, 2014). Nem sempre esse valor é alcançado, já que não existe um padrão nem no cultivo da biomassa ou no processo de conversão (é possível variar a concentração de reagente, tempo de reação e mistura e temperatura). Behera et al. (2020) obtiveram conversão de 94,9% utilizando como catalisador *biochar* de casca de amendoim. Cheng et al. (2017) realizaram a transesterificação assistida com micro-ondas e utilizaram óxido de grafeno como catalisador e obtiveram conversão de 95,1%. O desafio ainda se torna maior quando se planeja a produção de biodiesel em grandes escalas.

Branco-Vieira et al. (2020) analisaram os custos de produção de biodiesel a partir do cultivo de *P. tricornutum* em água do mar em 100.000 unidades de fotobiorreatores de coluna com volume total de 80.000 m³. A produção de biodiesel foi de 171.705 L ano⁻¹ com o custo de produção estimado de 0,33 € L⁻¹. Tredici et al. (2016) obtiveram resultados promissores ao avaliaram economicamente a produção de biodiesel a partir de *Tetraselmis suecica* em uma área de 1 ha. Os autores chegaram à conclusão que a produção em uma área 100x maior diminuiria o custo de produção em mais da metade.

Políticas públicas são vitais para que o setor de biocombustíveis cresça no Brasil, assim como foi com o etanol e o ProÁlcool. A introdução do biodiesel na matriz energética do país se deu através da criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), misturando o biodiesel ao diesel (BRASIL, 2021). Contudo, apenas 4 anos após a criação do PNPB é que a mistura se tornaria obrigatória. De lá até 2021 a porcentagem de mistura aumentou gradativamente de 2 a 13% e até 2023 espera-se que esse valor passe a ser de 15% (ANP, 2021). Com este aumento, Rodrigues (2021) estima que pode haver um aumento da demanda de biodiesel para 9 bilhões de litros em 2024.

O Brasil, juntamente com a União Europeia e os Estados Unidos foram os primeiros

a reconhecerem a importância de biocombustíveis (SARAVANAN et al., 2018) e isso se deu por conta da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP) 21. Com a assinatura do Brasil no Acordo de Paris, foi criada a Lei nº 13.576/2017, que institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). O RenovaBio tinha por objetivo estimular a produção e utilização de biodiesel e ainda regular o mercado de biocombustíveis (DENNY, 2020). Em seus quase 5 anos de existência o programa trouxe discussões sobre novas tecnologias e avanços para o setor de biocombustíveis. Grangeia, Santos e Lazaro (2022) recomendam que hajam revisões sobre o programa em relação a regulamentação de impostos para evitar altas variações de preços, garantias para caso o mercado entre em crise, criar mecanismos de para mais previsibilidade e transparência para as ofertas de créditos de carbono e detalhar a elegibilidade do uso de áreas agricultáveis e das matérias-primas. A pandemia de Covid-19 trouxe incertezas ao mercado, contudo segundo dados da ANP, 2021 de 2019 para 2020 a comercialização de biodiesel cresceu 11,5%, mesmo com o mercado de combustíveis retraindo 5,97%, evidenciando o potencial que o biodiesel pode desempenhar na matriz energética brasileira.

CONCLUSÕES

Inúmeros são os fatores que podem influenciar o cultivo de microalgas. A produção de biocombustíveis de terceira geração é um caminho que vai de encontro com as preocupações mundiais relacionadas com a emissão de gases de efeito estufa. O Brasil tem potencial para ser um dos principais produtores desses biocombustíveis, para isso é necessário que o governo incentive e regulamente a produção e comercialização destes.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. P. et al. **Mixotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* using industrial dairy waste as organic carbon source.** *Bioresource Technology*, v. 118, p. 61–66, ago. 2012.

ANANTHI, V. et al. **A realistic scenario on microalgae based biodiesel production: Third generation biofuel.** *Fuel*, v. 284, p. 118965, jan. 2021.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL (2021). **Biodiesel.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 01 novembro de 2021.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL (2014). Resolução nº 45 de 25 de agosto de 2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. In: **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.

ATHAR, M.; ZAIDI, S. **A review of the feedstocks, catalysts, and intensification techniques for sustainable biodiesel production.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, n. 6, p. 104523, 2020.

- BALA AMUTHA, K.; MURUGESAN, A. G. **Biological hydrogen production by the algal biomass *Chlorella vulgaris* MSU 01 strain isolated from pond sediment.** *Bioresource Technology*, v. 102, n. 1, p. 194–199, jan. 2011.
- BARROS, A. et al. **Heterotrophy as a tool to overcome the long and costly autotrophic scale-up process for large scale production of microalgae.** *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1–7, 2019.
- BEHERA, B. et al. **Algal biodiesel production with engineered biochar as a heterogeneous solid acid catalyst.** *Bioresource Technology*, v. 310, n. January, 2020.
- BHATT, A. et al. **Techno-economic analysis of microalgae cultivation for commercial sustainability: A state-of-the-art review.** *Journal of Cleaner Production*, v. 370, p. 133456, out. 2022.
- BRANCO-VIEIRA, M. et al. **Economic analysis of microalgae biodiesel production in a small-scale facility.** *Energy Reports*, v. 6, p. 325–332, dez. 2020.
- BRASIL, B. DOS S. A. F. et al. **Microalgae and cyanobacteria as enzyme biofactories.** *Algal Research*, v. 25, p. 76–89, jul. 2017.
- CALIJURI, M. L. et al. **Bioproducts from microalgae biomass: Technology, sustainability, challenges and opportunities.** *Chemosphere*, v. 305, p. 135508, out. 2022.
- CASTRO, J. DE S. et al. **Microalgae based biofertilizer: A life cycle approach.** *Science of The Total Environment*, v. 724, p. 138138, jul. 2020.
- CHENG, J. et al. **Conversion of lipids from wet microalgae into biodiesel using sulfonated graphene oxide catalysts.** *Bioresource Technology*, v. 244, p. 569–574, nov. 2017.
- CHIN-ON, R. C. et al. **A novel V-shaped photobioreactor design for microalgae cultivation at low latitudes: Modelling biomass productivities of *Chlorella sorokiniana* on Bonaire.** *Chemical Engineering Journal*, v. 449, p. 137793, dez. 2022.
- CORREA, D. F. et al. **Biodiversity impacts of bioenergy production: Microalgae vs. first generation biofuels.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 1131–1146, jul. 2017.
- COUTO, E. et al. **Evaluation of high rate ponds operational and design strategies for algal biomass production and domestic wastewater treatment.** *Science of The Total Environment*, v. 791, p. 148362, out. 2021.
- CRAGGS, R.; SUTHERLAND, D.; CAMPBELL, H. **Hectare-scale demonstration of high rate algal ponds for enhanced wastewater treatment and biofuel production.** *Journal of Applied Phycology*, v. 24, n. 3, p. 329–337, 22 jun. 2012.
- DAHIYA, A. **Algae biomass cultivation for advanced biofuel production.** In: DAHIYA, A. *Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy*, 2^a ed, Elsevier, 2020.
- DAVIS, R.; ADEN, A.; PIENKOS, P. T. **Techno-economic analysis of autotrophic microalgae for fuel production.** *Applied Energy*, v. 88, n. 10, p. 3524–3531, out. 2011.

DENNY, D. M. T. Competitive renewables as the key to energy transition—RenovaBio: the Brazilian biofuel regulation. In: **The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions**. [s.l.] INC, 2020. p. 223–242.

DIANURSANTI; PRAMADHANTI, D. **Utilization of microalgae *Spirulina platensis* as anti-bacterial compound in soap**. AIP Conference Proceedings, v. 2255, p. 040020, 2020

FAGODIYA, R. K. et al. **Global temperature change potential of nitrogen use in agriculture: A 50-year assessment**. Scientific Reports, v. 7, n. 1, p. 44928, 21 abr. 2017.

FERRUZZI, M. G.; BLAKESLEE, J. **Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives**. Nutrition Research, v. 27, n. 1, p. 1–12, jan. 2007.

GANESAN, R. et al. **A review on prospective production of biofuel from microalgae**. Biotechnology Reports, v. 27, p. e00509, 2020.

GANTAR, M.; SVIRČEV, Z. **Microalgae and cyanobacteria: food for thought**. Journal of Phycology, v. 44, n. 2, p. 260–268, abr. 2008.

GRANGEIA, C.; SANTOS, L.; LAZARO, L. L. B. **The Brazilian biofuel policy (RenovaBio) and its uncertainties: An assessment of technical, socioeconomic and institutional aspects**. Energy Conversion and Management: X, v. 13, p. 100156, 2022.

HOSSAIN, N.; ZAINI, J.; INDRA MAHLIA, T. M. **Life cycle assessment, energy balance and sensitivity analysis of bioethanol production from microalgae in a tropical country**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 115, p. 109371, nov. 2019.

JANSSEN, M.; WIJFFELS, R. H.; BARBOSA, M. J. **Microalgae based production of single-cell protein**. Current Opinion in Biotechnology, v. 75, p. 102705, 2022.

JEBALI, A. et al. **Pilot-scale outdoor production of *Scenedesmus* sp. in raceways using flue gases and centrate from anaerobic digestion as the sole culture medium**. Bioresource Technology, v. 262, p. 1–8, ago. 2018.

KATIYAR, R. et al. **Microalgae: An emerging source of energy based bio-products and a solution for environmental issues**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 72, p. 1083–1093, 2017.

KHAN, S. A. et al. **Microalgae based biofertilizers: A biorefinery approach to phycoremediate wastewater and harvest biodiesel and manure**. Journal of Cleaner Production, v. 211, p. 1412–1419, fev. 2019.

KHOLSSI, R. et al. **2Biotechnological uses of microalgae: A review on the state of the art and challenges for the circular economy**. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 36, p. 102114, set. 2021.

KINGS, A. J. et al. **Cultivation, extraction and optimization of biodiesel production from potential microalgae *Euglena sanguinea* using eco-friendly natural catalyst**. Energy Conversion and Management, v. 141, p. 224–235, jun. 2017.

LEONG, Y. K.; HUANG, C.-Y.; CHANG, J.-S. **Pollution prevention and waste phycoremediation by algal-based wastewater treatment technologies: The applications of high-rate algal ponds (HRAPs) and algal turf scrubber (ATS).** *Journal of Environmental Management*, v. 296, p. 113193, out. 2021.

LI, K. et al. **Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review.** *Bioresource Technology*, v. 291, p. 121934, nov. 2019.

MEGAWATI et al. **Bioethanol production from glucose obtained from enzymatic hydrolysis of *Chlorella microalgae*.** *Materials Today: Proceedings*, v. 63, p. S373–S378, 2022.

MENDONÇA, H. V. et al. **Microalgae-mediated bioremediation and valorization of cattle wastewater previously digested in a hybrid anaerobic reactor using a photobioreactor: Comparison between batch and continuous operation.** *Science of The Total Environment*, v. 633, p. 1–11, ago. 2018.

MENDONÇA, H. V. et al. **Microalgae in a global world: New solutions for old problems?** *Renewable Energy*, v. 165, p. 842–862, 2021.

MENDONÇA, H. V. et al. **Biofuel recovery from microalgae biomass grown in dairy wastewater treated with activated sludge: The next step in sustainable production.** *Science of The Total Environment*, v. 824, p. 153838, 2022.

MONDAL, S. et al. **Redefining the role of microalgae in industrial wastewater remediation.** *Energy Nexus*, v. 6, n. April, p. 100088, 2022.

MOSHOOOD, T. D.; NAWANIR, G.; MAHMUD, F. **Microalgae biofuels production: A systematic review on socioeconomic prospects of microalgae biofuels and policy implications.** *Environmental Challenges*, v. 5, p. 100207, dez. 2021.

PAWAR, S. **Effectiveness mapping of open raceway pond and tubular photobioreactors for sustainable production of microalgae biofuel.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 62, p. 640–653, set. 2016.

PEREIRA, H. et al. **Incorporation of defatted microalgal biomass (*Tetraselmis sp. CTP4*) at the expense of soybean meal as a feed ingredient for juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*).** *Algal Research*, v. 47, p. 101869, maio 2020.

RODRIGUES, A. C. C. **Policy, regulation, development and future of biodiesel industry in Brazil.** *Cleaner Engineering and Technology*, v. 4, p. 100197, 2021.

RUIZ, J. et al. **Heterotrophic vs autotrophic production of microalgae: Bringing some light into the everlasting cost controversy.** *Algal Research*, v. 64, p. 102698, maio 2022.

SARAVANAN, A. P. et al. **Biofuel policy in India: A review of policy barriers in sustainable marketing of biofuel.** *Journal of Cleaner Production*, v. 193, p. 734–747, ago. 2018.

SIDDIKI, S. Y. A. et al. **Microalgae biomass as a sustainable source for biofuel, biochemical and biobased value-added products: An integrated biorefinery concept.** *Fuel*, v. 307, p. 121782, jan. 2022.

- SINGH, R.; KUMAR, A.; SHARMA, Y. C. **Biodiesel synthesis from microalgae (Anabaena PCC 7120) by using barium titanium oxide (Ba₂TiO₄) solid base catalyst**. *Bioresource Technology*, v. 287, p. 121357, set. 2019.
- SOLOVCHENKO, A. et al. **Phosphorus from wastewater to crops: An alternative path involving microalgae**. *Biotechnology Advances*, v. 34, n. 5, p. 550–564, set. 2016.
- SPOLAORE, P. et al. **Commercial applications of microalgae**. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 101, n. 2, p. 87–96, fev. 2006.
- SUTHERLAND, D. L. et al. **Size matters – Microalgae production and nutrient removal in wastewater treatment high rate algal ponds of three different sizes**. *Algal Research*, v. 45, p. 101734, jan. 2020.
- THUY LAN CHI, N. et al. **Small scale photobioreactor, outdoor open pond cultivation of *Chlorella* sp. and harvesting at log and stationary growth phase towards lipids and methyl ester production**. *Fuel*, v. 319, p. 123813, jul. 2022.
- TREDICI, M. R. et al. **Techno-economic analysis of microalgal biomass production in a 1-ha Green Wall Panel (GWP®) plant**. *Algal Research*, v. 19, p. 253–263, 2016.
- VASISTHA, S. et al. **Current advances in microalgae harvesting and lipid extraction processes for improved biodiesel production: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 137, p. 110498, mar. 2021.
- YADALA, S.; CREMASCHI, S. **A Dynamic Optimization Model for Designing Open-Channel Raceway Ponds for Batch Production of Algal Biomass**. *Processes*, v. 4, n. 2, p. 10, 30 mar. 2016.
- YAQOUBNEJAD, P.; RAD, H. A.; TAGHAVIJELOUDAR, M. **Development a novel hexagonal airlift flat plate photobioreactor for the improvement of microalgae growth that simultaneously enhance CO₂ bio-fixation and wastewater treatment**. *Journal of Environmental Management*, v. 298, p. 113482, nov. 2021.
- YU, L. et al. **A kinetic model of heterotrophic and mixotrophic cultivation of the potential biofuel organism microalgae *Chlorella sorokiniana***. *Algal Research*, v. 64, p. 102701, maio 2022.
- ZANELLA, L.; VIANELLO, F. **Microalgae of the genus *Nannochloropsis*: Chemical composition and functional implications for human nutrition**. *Journal of Functional Foods*, v. 68, p. 103919, maio 2020.

A

Adoção 29, 43, 70, 74, 80

Agave maximiliana 173, 174, 182

Água 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 75, 76, 111, 118, 119, 120, 121, 122, 137, 138, 140, 141, 142, 159, 160, 161, 163, 165, 166, 167, 169, 170, 172, 194, 214

Água residuária 137, 159, 163, 165, 166, 167, 169, 170, 172

Amazônia 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 110, 112, 115

Ambientais 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 38, 39, 41, 72, 89, 95, 135, 140, 161, 172

Amostragem 85, 86, 89, 161, 216, 219

Aquaponia 38, 39, 40, 41

Atividade 21, 22, 23, 24, 27, 29, 34, 40, 70, 78, 91, 118, 159, 160, 171, 199

Atributos físicos 186, 194, 195, 213, 214, 215, 219, 221, 222

Avaliação 5, 15, 17, 20, 28, 31, 36, 77, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 94, 109, 112, 126, 127, 130, 131, 203, 205, 206, 207, 209, 212, 220

Avaliação de danos 85, 86, 87, 89

B

Balanço catiônico 1, 2, 3, 5, 8, 10, 12, 13, 14

Benefícios 38, 39, 124, 126, 204, 212

Biocombustíveis 135, 136, 141, 142, 143

Biofertilizante 140, 159, 169

Biorecurso 159

Blends de plantas 196

Brasil 3, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 27, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 42, 43, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 86, 89, 96, 108, 111, 116, 117, 125, 128, 130, 135, 141, 142, 143, 144, 149, 159, 160, 170, 171, 186, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 212, 213, 221

Brucella abortus 70, 79, 82, 83, 84

C

Cactaceae 149

Cana-de-açúcar 90, 94, 114, 134, 164, 166, 168

Cenário brasileiro 135, 141, 142

Cerrado piauiense 213, 214, 215, 217, 218

Cobertura vegetal 116, 117, 119, 120, 121, 122

Coefficiente de variação 202, 203, 205, 206, 216, 217, 218, 220

Compostos medicinais 196

Controle 1, 4, 15, 16, 17, 20, 41, 70, 71, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 89, 117, 118, 121, 124, 127, 129, 131, 132, 133, 134, 138, 141, 143, 169, 195, 198, 199

Convencional 29, 40, 41, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 121, 123, 133, 159, 169, 170

Cultura da soja 5, 15, 123, 125, 127, 128, 129, 130, 202, 206, 210, 213, 215, 217, 220, 221

D

Dessorção 117

Doenças 16, 17, 70, 71, 75, 77, 78, 80, 81, 83, 95, 97, 108, 111, 127, 129, 131, 197, 200

Doenças bióticas 95, 97

E

Enraizador 154, 155, 156, 157

F

Falhas na cultura 90, 93

Fertirrigação 159, 166, 167, 169, 172

Fitopatologia 95, 97, 108

G

Geoestatística 213, 215, 216

Geopolítica 43

Glycine max (L.) Merrill. 2

H

Hylocereus 149, 150, 152

I

Impactos ambientais 21, 24, 25, 29, 30, 31, 35, 36, 140, 172

Insetos praga 128

Irrigação sustentável 21, 32, 33, 34

L

Lagarta do cartucho 85, 86

Legislação dos agrotóxicos 16

Leis 16, 19, 20

Levantamento fitossociológico 110, 115

Lixiviação 29, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126

M

Manejo biológico 127, 128, 129, 133

Manejo de solo 213, 214

Mapas temáticos 213

Materia seca 154

Mecanização agrícola 90, 212

Medicina alternativa 196

Microalgas 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143

Microrganismos 72, 95, 97, 98, 120, 136, 138

Milho 15, 85, 86, 87, 88, 89, 121, 122, 124, 125, 141, 165, 167, 168, 169, 171, 203, 212

Motor elétrico 202, 204

Mudas 91, 93, 96, 97, 115, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 169, 172

N

Nicotiana tabacum 196

Nitrogênio 140, 159, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171

P

Paisagismo 95

Particularidades 43

Penetração de raízes 186, 195

Pitaia 148, 149, 150, 151, 152, 153

Plantas daninhas 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119, 121, 123, 124

Plantio direto 15, 116, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 194, 195, 213, 214, 215, 221

Plantio mecanizado 90, 91, 92, 93

Pragas 16, 17, 86, 89, 111, 127, 129, 130, 133, 134

Pré-emergência 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 125

Prendimiento 154, 156, 157, 158

Produtividade 1, 2, 3, 14, 17, 23, 25, 27, 30, 31, 32, 41, 66, 67, 68, 70, 77, 111, 127, 129, 133, 137, 139, 149, 163, 166, 169, 171, 172, 202, 203, 205, 206, 207, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 218, 220, 221

Produtividade de grãos 2, 129, 169, 220

R

Relação Ca:Mg 2

Resistência mecânica 186, 195

Retenção 29, 71, 77, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 125, 162, 214, 215

Revolução verde 42, 43, 66

Rosa do deserto 95, 96, 97, 98, 99, 100, 104, 106, 107, 108, 109

S

Saccharum officinarum 110, 111

Saccharum spp. 90, 91, 94

Saúde única 70, 78, 80

Sistema agroflorestral 169, 172, 186, 194

Sistema agroindustrial 173, 175, 178, 179, 182, 183

Sistemas orgânicos 186

Sustentabilidade e avanço 22

T

Tabuleiros costeiros 186, 194

Transgênico 85, 86, 87, 88

U

Umidade do solo 1, 2, 7, 10, 22, 27, 30, 218

Z

Zoonose 70, 71, 72, 77, 79

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



CIÊNCIAS AGRÁRIAS:

Estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 3


Atena
Editora
Ano 2023

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



CIÊNCIAS AGRÁRIAS:

Estudos sistemáticos e pesquisas avançadas 3


Ano 2023