



Produção de biocombustíveis a partir de microalgas – uma revisão

Production of biofuels from microalgae – a review

Antonio Rony da Silva Pereira Rodrigues.

Universidade Estadual do Ceará.

E-mail: antonio.rony@aluno.uece.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8980-6451>

Resumo – O petróleo, gás natural, carvão mineral entre outros materiais, estão na classe dos combustíveis fósseis, esses por serem de matéria orgânica libera altas quantidades de CO₂. O uso de matérias primas alternativas são meios viáveis para diminuir essa emissão, sendo as microalgas uma possibilidade para isso. Foi realizado a busca de trabalhos entre os meses de fevereiro e março de 2022, em 3 bases de dados: PubMed ScienceDirect e Redalyc. Após seleção de trabalhos, 13 artigos foram selecionados para integrar a versão final do estudo, sendo 7 da ScienceDirect e 6 da PubMed, nenhum artigo da Redalyc foi selecionado. Foi possível observar que inúmeras microalgas estão sendo matéria de estudo em diversas partes do planeta, com o propósito de utilizar as mesmas como matéria prima para produção de biocombustíveis. Vale destacar, o uso da microalga *Chlorella vulgaris* que é uma das espécies mais estudadas e mais promissoras como matéria prima para produção de biocombustíveis, por ter a capacidade de ser cultivadas em águas residuais em sistemas de lodo ativado. O presente trabalho contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões acerca do uso de microalgas como método alternativo para a produção de biocombustíveis em substituição dos combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Microalgas; biocombustíveis; biomassa.

Abstract - Oil, natural gas, coal and other materials, are in the class of fossil fuels, these because they are organic matter releases high amounts of CO₂. The use of alternative raw materials are viable means to reduce this emission, and microalgae are a possibility for this. work was searched between February and March 2022, in 3 databases: PubMed ScienceDirect and Redalyc. After selection of papers, 13 articles were selected to integrate the final version of the study, 7 from ScienceDirect and 6 from PubMed, no Redalyc articles were selected. It was possible to observe that numerous microalgae are being a material of study in various parts of the planet, with the purpose of using them as raw material for biofuel production. It is worth mentioning, the use of microalgae *Chlorella vulgaris* which is one of the most studied and promising species as raw material for biofuel production, because it has the capacity to be grown in wastewater in activated sludge systems. This work contributes to the deepening and development of new reflections on the use of microalgae as an alternative method for the production of biofuels in place of fossil fuels.

Keywords: Microalgae; biofuels; biomass.



Introdução

O consumo de energia, principalmente de combustíveis fósseis (petróleo e gás natural) cresceu bruscamente após a revolução industrial, trazendo consequências drásticas como a poluição do ar e mudanças climáticas, principalmente relacionadas ao efeito estufa e ao aquecimento global (PINTO, 2008).

Nos países em desenvolvimento, a energia consumida no setor de transportes tem apresentado forte tendência de crescimento nos últimos anos, e a expectativa é de que esta tendência se repita caso não ocorram mudanças radicais no padrão de consumo de energia (WBSCD, 2004).

Mas a produção petrolífera em ambiente marinho provoca inúmeros problemas de contaminação, como muitos outros problemas ambientais graves, exigem uma prevenção, precaução e correção das atividades afim de evitar impactos ambientais derivados dos derramamentos de petróleo nesse meio. Tem-se observado uma preocupação crescente em relação a esse tipo de poluição, por ser cada vez mais frequente e causar muitas vezes, danos irreversíveis ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2012).

O mundo continua fortemente dependente dos combustíveis fósseis, apesar da crescente preocupação com os efeitos do uso desses combustíveis sobre o clima. Por serem biodegradáveis, os biocombustíveis causam menos impactos ao meio ambiente do que os combustíveis fósseis, se tornando uma alternativa promissora para substituir, parcialmente ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão (ANP, 2019).

O biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira, através da Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005 que fixou para todo o território nacional o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao diesel de 2% em volume ao diesel vendido ao consumidor final, a partir de janeiro de 2008 e de 5% a partir de janeiro de 2013 e estabeleceu o modo de utilização e o regime tributário distinguido por região de plantio (BRASIL, 2005).

O Brasil possui alto potencial para produção de biocombustíveis, principalmente de segunda geração. Entre os anos de 2017 a 2021, foram produzidos 28,7 milhões de m³ de biodiesel no território brasileiro, com uma variação de produção de 10,1% entre 2020 e 2021. Enquanto a produção de etanol, no mesmo período foi produzido 159,6 milhões de m³, no ano de 2022 durante o mês de março ocorreu queda de 6,3% na produção de etanol, quando comparado ao mesmo período no ano de 2021. A receita da exportação de etanol anidro brasileiro gerou 2,7 bilhões de dólares nos últimos 5 anos (2017-2021), tendo gerado 72 milhões de dólares apenas nos 3 primeiros meses de 2022 (ANP, 2021).

O uso de biocombustíveis no Brasil, está vinculado principalmente a produção de etanol provindo do plantio de cana-de-açúcar. O etanol ou álcool etílico, como também é conhecido, pode ser produzido a partir da 1ª geração e 2ª geração (WETTERLUND et al., 2016). O etanol de primeira geração não é vantajoso ambientalmente, pois produz resíduos, além que o processo para produção de etanol de cana-de-açúcar libera altos níveis de CO₂ no decorrer da cadeia produtiva (LORENZI & ANDRADE, 2019).

Uma tendência de estudos globais, aponta a aplicação de microalgas como a mais promissora fonte de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, as microalgas possuem alto potencial lipídico e não estão inseridas na cadeia alimentícia. Elas utilizam a energia solar para converter o CO₂ e água em biomassa, pois são organismos fotossintéticos que se desenvolvem em



ambientes aquáticos (CARNEIRO et al, 2018).

Diante desse contexto, torna-se necessário entendimento do uso de microalgas para a produção de biocombustíveis, visando a diluição dos danos causados pelo uso de combustíveis fósseis e também pela utilização de biocombustíveis provindos de plantas, que podem prejudicar a cadeia produtiva de alimentos. Esse estudo, tem com o objetivo avaliar o potencial lipídico e de produção de biocombustíveis de microalgas, e quais espécies são descritas na literatura como potenciais matérias-primas para desenvolvimento de biocombustíveis.

Material e métodos

Trata-se de um estudo de abordagem qualitativa, realizado através de uma revisão integrativa de literatura. A revisão integrativa (RI) é um método que permite síntese de conhecimento por meio de processo sistemático e rigoroso. A condução de RI se pauta nos princípios preconizados de rigor metodológico no desenvolvimento de pesquisas. As etapas deste método são: 1) elaboração da pergunta da revisão; 2) busca e seleção dos estudos primários; 3) extração de dados dos estudos; 4) avaliação crítica dos estudos primários incluídos na revisão; 5) síntese dos resultados da revisão e 6) apresentação do método (MENDES et al., 2019).

Tendo em conta o objetivo do estudo, na primeira etapa do estudo, foi levantado o seguinte questionamento: como funciona e quais são as principais microalgas envolvidas na produção de biocombustíveis?

A segunda etapa do estudo, foi realizado a busca de trabalhos entre os meses de fevereiro e março de 2022, em 3 bases de dados: PubMed (Central: PMC- *National Library of Medicine National Institutes of Health*), ScienceDirect (*Elsevier*) e Redalyc (*Red de Revistas Científicas de Acceso Abierto no comercial propiedad de la academia*). A busca por estudos foi feita através dos termos em língua portuguesa e inglesa: “*Biofuels; Biodiesel; Biomass; Microalgae*”, incorporado ao operador booleano *and*.

Foram aplicados critérios de inclusão e exclusão para seleção dos artigos. Artigos publicados entre os anos de 2018 a 2022, em qualquer idioma, que estivessem disponíveis na íntegra e que respondessem o objetivo do estudo, foram incluídos, enquanto artigos repetidos, artigos incompletos, resumos de trabalhos, trabalhos publicados em anais de eventos, resenhas de livros e artigos que não respondiam o questionamento da RI, foram excluídos do estudo. Inicialmente, a seleção se deu através da leitura de títulos e resumos dos trabalhos obtidos na busca nas bases de dados. Em seguida, foi realizada a leitura na íntegra dos artigos selecionados na etapa de leitura de títulos e resumos, com objetivo de avaliar se respondiam à pergunta norteadora.

Resultados e discussão

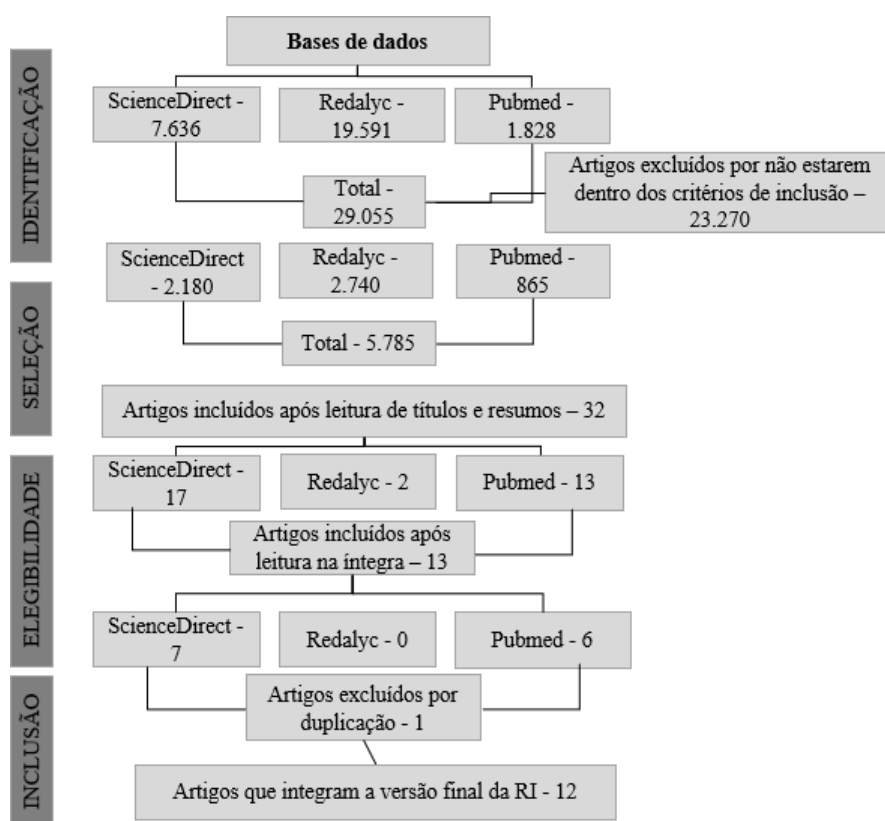
Durante a busca bibliográfica foram encontrados 29.055 trabalhos antes da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, distribuídos por 7.636 na ScienceDirect, 19.591 na Redalyc e 1.828 na PubMed. Quando aplicado os critérios de trabalhos que estivessem disponíveis na íntegra e de anos de publicação ficaram 5.785 artigos, sendo excluídos nessa etapa 23.270 trabalhos.

Na etapa seguinte se deu a seleção por leitura de títulos e resumos, onde 32 artigos foram selecionados para leitura na íntegra. Após a leitura na íntegra, 13 artigos foram selecionados para integrar a versão final do estudo, sendo 7 da ScienceDirect e 6 da PubMed, nenhum artigo da Redalyc foi selecionado. Tendo em vista que um estudo estava presente em ambas as bases de dados, esse foi excluído dando preferência para a base onde o estudo foi inicialmente encontrado.



As etapas para realização do estudo estão descritas na Figura 1.

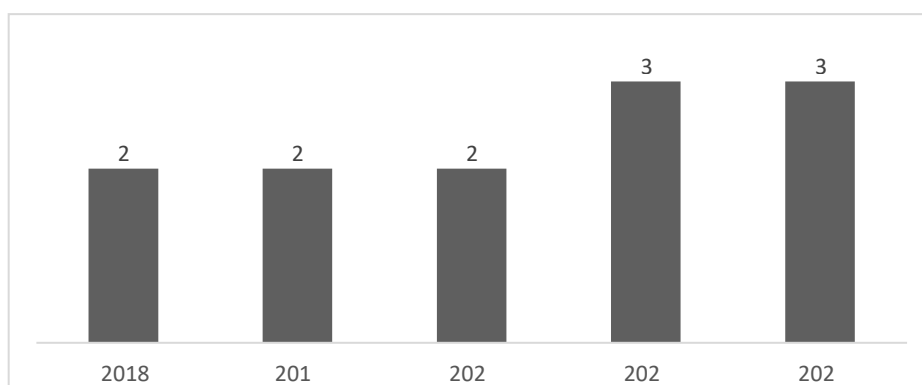
Figura 1. Fluxograma das etapas para realização do estudo.



Fonte: Acervo dos autores.

Quanto aos anos de publicação, ocorreu predomínio de estudos publicados no ano de 2022 e 2021 (3 artigos cada), seguidos pelos anos de 2020, 2019 e 2018 (2). Em relação ao idioma dos trabalhos, ocorreu predominância de estudos em língua inglesa, sendo os 12 estudos no idioma inglês. No que se refere ao local do estudo, percebe-se prevalência entre os países asiáticos, com destaque para China com 3 trabalhos e Índia com 2. Os dados descritos podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2. Frequência dos trabalhos por ano de publicação. Fonte: acervo dos autores.





<https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>

Durante a pesquisa por artigos foram selecionadas as palavras que mais se repetiam no decorrer dos trabalhos que se vieram a integrar a revisão integrativa de literatura, essas palavras foram usadas para montar uma nuvem de palavras, realizada através do uso do *software Wordle*. A nuvem de palavras pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3. Nuvem de palavras dos achados no estudo.



Fonte: acervo dos autores

Os 12 artigos selecionados tiveram seu conteúdo analisado na íntegra, de modo a verificar suas reais contribuições para construção das novas reflexões acerca da temática. Os principais aspectos dos estudos selecionados, a distribuição dos artigos quanto a autores e ano de publicação, tipo de estudo, local de estudo, periódico e resultados, estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 1. Caracterização dos estudos incluídos na revisão

AUTOR/ANO	TIPO DE ESTUDO	LOCAL DO ESTUDO	PERIÓDICO	RESULTADO
2022				
Mendonça, H.V et al., 2022	Pesquisa laboratorial	Brasil	Science of The Total Environment	1 kg de <i>Scenedesmus obliquus</i> é possível obter ~306 g de biocombustíveis, enquanto 1 kg de <i>Chlorella vulgaris</i> produziu 276 g de biocombustíveis
Muhammad, G et al., 2022	Pesquisa laboratorial	China	Renewable Energy	O maior rendimento de éster metílico de ácido graxo é obtido em 19,90% com base no peso da biomassa seca de <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .
Tizvir, A et al., 2022	Pesquisa laboratorial	Irã	Renewable Energy	O índice de cetano e poder calorífico do biodiesel produzido a partir de <i>Dunaliella tertiolecta</i> foram 54 e 40,2 MJ kg ⁻¹ .
2021				



<https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>

Gomma, M; Ali, M.M.A 2021	Pesquisa laboratorial	Egito	Biomass and Bioenergy	A produção de biomassa de <i>Tetradosmus obliquus</i> e <i>Aphanocapsa</i> foi promovido para 39,1 e 40,57 mg L ⁻¹ dia ⁻¹ na presença de 0,5 g L ⁻¹ de oligômeros de N - acetilglucosamina (GlcNAc), que foi estimado em ~1,9 e ~2 vezes maior que as condições autotróficas.
Silambarasan, S et al., 2021	Pesquisa laboratorial	Chile	Chemosphere	A linhagem LS04 obteve a biomassa (1,31 ± 0,08 g L ⁻¹). O teor de lipídios de LS04 foram 14,85 ± 0,86% (peso celular seco). A alta proporção de ácidos graxos C16-C18 encontrada nos lipídios do LS04 indicou a adequação a produção de biodiesel.
Vasistha, S et al., 2021	Pesquisa laboratorial	Índia	Journal of Water Process Engineering	Melhoria de biomassa (3,43 g L ⁻¹) e lipídio (36 %) são observados pela associação de <i>Chlorosarcinopsis</i> -ZnO NPs.
2020				
Sorokina, K.N et al., 2020	Pesquisa laboratorial	Rússia	Bioresource Technology	A biomassa residual obtida após a transesterificação direta com LIs foi submetida à hidrólise ácida (rendimento de açúcar foi de 81,1 ± 2,4%). O hidrolisado purificado foi fermentado utilizando <i>Actinobacillus succinogenes</i> 130Z para obter um rendimento de ácido succínico de 0,67 gg ⁻¹ de açúcares fermentescíveis.
Vignesh, N.S et al., 2020	Pesquisa laboratorial	Índia	Fuel	O conteúdo lipídico de <i>Coelastrella</i> e <i>Dictyococcus</i> sp. melhora sob estresse de N e os parâmetros de qualidade do biodiesel estão de acordo com as normas ASTM e europeias.
2019				
Abinandan, S et al., 2019	Pesquisa laboratorial	Austrália	Bioresource Technology	A transesterificação in situ da biomassa indicou maior rendimento de biodiesel com concentrações metais, sugerindo que a <i>Desmodesmus</i> sp. e <i>Heterochlorella</i> sp. são produtoras de lipídios e consequentemente de biocombustíveis.
Sakarika, M; Kornaros, M, 2019	Pesquisa laboratorial	Grécia	Bioresource Technology	O poder calorífico da biomassa seca de <i>C. vulgaris</i> é 24.538 ± 182 kJ kg ⁻¹ e a produtividade lipídica de 442,9 ± 6,5 mg L ⁻¹ d ⁻¹ pode ser alcançada sob limitação de enxofre.
2018				



<https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>

Jiang, Y et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Biotechnology Biofuels	A produtividade de biomassa e o teor de lipídios de <i>D. ehrenbergianum</i> cultivados no sobrenadante precipitado com estruvita foram 161,06 mg/l/dias e 34,33%, respectivamente, que foi maior do que quando cultivado no meio padrão BG-11.
Yang, H et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Bioresource Technology	O conteúdo lipídico de <i>Monoraphidium dybowskii</i> e a produtividade lipídica aumentam em 20% na indução industrial de sal em dois estágios, enquanto a produtividade da biomassa aumenta em 80% para aumentar a LP no modo semi-contínuo em ORPs de 5 m 2.
Gomma, M; Ali, M.M.A 2021	Pesquisa laboratorial	Egito	Biomass and Bioenergy	A produção de biomassa de <i>Tetrademus obliquus</i> e <i>Aphanocapsa</i> foi promovido para 39,1 e 40,57 mg L ⁻¹ dia ⁻¹ na presença de 0,5 g L ⁻¹ de oligômeros de N-acetilglucosamina (GlcNAc), que foi estimado em ~1,9 e ~2 vezes maior que as condições autotróficas.
Silambarasan, S et al., 2021	Pesquisa laboratorial	Chile	Chemosphere	A linhagem LS04 obteve a biomassa (1,31 ± 0,08 g L ⁻¹). O teor de lipídios de LS04 foram 14,85 ± 0,86% (peso celular seco). A alta proporção de ácidos graxos C16-C18 encontrada nos lipídios do LS04 indicou a adequação a produção de biodiesel.
Vasistha, S et al., 2021	Pesquisa laboratorial	Índia	Journal of Water Process Engineering	Melhoria de biomassa (3,43 g L ⁻¹) e lipídio (36 %) são observados pela associação de <i>Chlorosarcinopsis</i> - ZnO NPs.
2020				
Sorokina, K.N et al., 2020	Pesquisa laboratorial	Rússia	Bioresource Technology	A biomassa residual obtida após a transesterificação direta com LIs foi submetida à hidrólise ácida (rendimento de açúcar foi de 81,1 ± 2,4%). O hidrolisado purificado foi fermentado utilizando <i>Actinobacillus succinogenes</i> 130Z para obter um rendimento de ácido succínico de 0,67 gg ⁻¹ de açúcares fermentescíveis.



<https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>

Vignesh, N.S et al., 2020	Pesquisa laboratorial	Índia	Fuel	O conteúdo lipídico de <i>Coelastrella</i> e <i>Dictyococcus</i> sp. melhora sob estresse de N e os parâmetros de qualidade do biodiesel estão de acordo com as normas ASTM e europeias.
2019				
Abinandan, S et al., 2019	Pesquisa laboratorial	Austrália	Bioresource Technology	A transesterificação in situ da biomassa indicou maior rendimento de biodiesel com concentrações metais, sugerindo que a <i>Desmodesmus</i> sp. e <i>Heterochlorella</i> sp. são produtoras de lipídios e consequentemente de biocombustíveis.
Sakarika, M; Kornaros, M, 2019	Pesquisa laboratorial	Grécia	Bioresource Technology	O poder calorífico da biomassa seca de <i>C. vulgaris</i> é $24.538 \pm 182 \text{ kJ kg}^{-1}$ e a produtividade lipídica de $442,9 \pm 6,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ pode ser alcançada sob
				limitação de enxofre.
2018				
Jiang, Y et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Biotechnology Biofuels	A produtividade de biomassa e o teor de lipídios de <i>D. ehrenbergianum</i> cultivados no sobrenadante precipitado com estruvita foram $161,06 \text{ mg/l/dias}$ e $34,33\%$, respectivamente, que foi maior do que quando cultivado no meio padrão BG-11.
Yang, H et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Bioresource Technology	O conteúdo lipídico de <i>Monoraphidium dybowskii</i> e a produtividade lipídica aumentam em 20% na indução industrial de sal em dois estágios, enquanto a produtividade da biomassa aumenta em 80% para aumentar a LP no modo semi-contínuo em ORPs de 5 m 2.

Fonte: acervo dos autores

Scenedesmus obliquus e *Chlorella vulgaris* foram estudadas para a produção de biomassa, cultivadas em águas residuais de laticínios tratadas por sistemas de lodo ativado. A concentração de ácido linolênico é superior a 12%, com estabilidade oxidativa satisfatória e boa qualidade. As espécies podem gerar entre $4.863.708 \text{ kg}$ e $9.246.456 \text{ kg ano}^{-1}$ de biocombustíveis. Dois hectares são necessários para produzir $24,99 \times 10^9 \text{ L ano}^{-1}$ de bioetanol de microalgas, em valor inferior ao utilizado no cultivo da cana-de-açúcar (MENDONÇA et al., 2022).

Estudos de Wang et al (2020), identificou três cepas denominadas como L7, H7 e L10 de



<https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>

organismos acumuladores de polifosfato com alto efeito acumulador de quando entra em contato com a microalga *Chlorella pyrenoidosa* em águas residuais tem efeito no crescimento da microalga e na taxa média de crescimento de rendimento lipídico das microalgas na fase estacionária aumenta em 13,6% e 90,1% no grupo H7. A identificação das espécies indicou que a cepa H7 pertence a *Klebsiella* sp.

A transesterificação direta da biomassa da espécie *Choricystis* sp. produz rendimento em ésteres metílicos de ácidos graxos, correspondendo a 422,9 mg de ésteres por grama de biomassa seca, o que é 115% maior do que o proporcionado pela soja (196,9 mg de ésteres por grama de

biomassa seca), a qual é a oleaginosa mais utilizada para produção de biodiesel no Brasil, sendo viável ao uso como matéria prima de biocombustíveis (MENEZES et al., 2013).

Produção de bioetanol a partir de *Schizochytrium* usando glucano induzido por *E. coli* foi testada com SSF (sacarificação e fermentação simultâneas), que resultou em 11,8 g de etanol/ l foi produzido a partir de 25,7 g/l de glicose, rendimento máximo teórico de etanol com base em glucano em hidrolisado é de 89,8%. Mais de 86% da energia de entrada foi contribuída pela glicose. A energia da biomassa foi cerca de 64,66% da energia total produzida quando a concentração de fosfato foi de 4 g L⁻¹ (KIM et al., 2012; LIANG et al., 2010).

Na microalga *Chlorella vulgaris* a limitação de nitrogênio (concentração de nitrato < 21,66 mg/L) e a inanição aumenta o teor de lipídios, mas diminui a produtividade da biomassa, a concentração de pigmento e o teor de proteína nas células das algas. Comparativamente, a inanição de nitrogênio por 3 dias é uma estratégia mais adequada para produzir biomassa rica em lipídios. Resultou em um aumento na produção de biomassa e teor lipídico de 266 mg/L e 31,33%, respectivamente. Sob privação de nitrogênio, ácidos graxos saturados (C-16:0, C-20:0 e C-18:C. *vulgaris* FACHB-1068 uma matéria-prima potencial para a produção de biodiesel (LIU et al., 2022).

Conclusão

Com a análise dos estudos que integram essa RI, foi possível observar que inúmeras microalgas estão sendo matéria de estudo em diversas partes do planeta, com o propósito de utilizar as mesmas como matéria prima para produção de biocombustíveis, como meio de substituir ou diminuir o uso de combustíveis fósseis e de alguns biocombustíveis que tem como matéria prima produtos que participam da cadeia produtiva de alimentos.

Vale destacar, o uso da microalga *Chlorella vulgaris* que é uma das espécies mais estudadas e mais promissoras como matéria prima para produção de biocombustíveis, por ter a capacidade de ser cultivadas em águas residuais em sistemas de lodo ativado. Apresentando alta concentração de ácido linolênico com estabilidade oxidativa satisfatória.

Vê-se que o desenvolvimento de estudos acerca da produção de biocombustíveis é promissor, estudos experimentais para analisar produtividade, poder calorífico em diferentes motores e emissão de carbono liberado na combustão de biocombustíveis de microalgas se veem necessário. Desse modo, o presente trabalho contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões acerca do uso de microalgas como método alternativo para a produção de biocombustíveis em substituição dos combustíveis fósseis.



Conflito de interesses

Os autores deste manuscrito não declaram conflito de interesse.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2021. 2021. Disponível em <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>>. Acesso em 03.05.2022.
- ABINANDAN, S.; SUBASHCHANDRABOSE, S. R.; PANNEERSELVAN, L.; VENKATESWARLU, K.; MEGHARAJ, M. Potential of acid-tolerant microalgae, *Desmodesmus sp.* MAS1 and *Heterochlorella sp.* MAS3, in heavy metal removal and biodiesel production at acidic pH. **Bioresourcetechnology**, 278, 9-16. 2019.
- ANP - **AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO**. Biocombustíveis. 2019. Disponível em:<<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2019>>. Acesso em: 04.05.2022.
- BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Seção I, p. 8. Disponível em: < <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/425092/pg8-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-14-01-2005>>. Acesso em: 04.05.2022
- CARNEIRO, G. A.; SILVA, J. J. R.; OLIVEIRA, G. A.; PIO, F. P. B. O uso de microalgas na produção de biocombustíveis. **Research, Society and Development**, 7(5), 1-12, e1075181. 2018.
- DING, W.; JIN, W.; ZHOU, X.; LI, S. F.; TU, R.; HAN, S. F.; HUANG, Y. Enhanced lipid extraction from the biodiesel-producing microalga *Chlorella pyrenoidosa* cultivated in municipal wastewater via *Daphnia* ingestion and digestion. **Bioresource Technology**, 306, 123162. 2020.
- DE MENDONÇA, H. V.; OTENIO, M. H.; MARCHÃO, L.; LOMEU, A.; DE SOUZA, D. S.; REIS, A. Biofuel recovery from microalgae biomass grown in dairy wastewater treated with activated sludge: The next step in sustainable production. **Science of The Total Environment**, 824, 153838. 2022.
- GOMAA, M.; ALI, M. M. Enhancement of microalgal biomass, lipid production and biodiesel characteristics by mixotrophic cultivation using enzymatically hydrolyzed chitin waste. **Biomass and Bioenergy**, 154, 106251. 2021.



<https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>

KIM, J. K.; UM, B. H.; KIM, T. H. Bioethanol production from micro-algae, *Schizocytrium sp.*, using hydrothermal treatment and biological conversion. **Korean Journal of Chemical Engineering**, 29(2), 209-214. 2012.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Uso de gerenciador de referências bibliográficas na seleção dos estudos primários em revisão integrativa. **Texto & Contexto-Enfermagem**, 28. 2019.

MENEZES, R. S.; LELES, M. I. G.; SOARES, A. T.; FRANCO, P. I. B.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; SANT'ANNA, C. L.; VIEIRA, A. A. H. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. **Química Nova**, 36(1), 10-15. 2013.

OLIVEIRA F. F. A. **O Projeto de Monitoramento Ambiental na Etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil: Um Estudo de Caso na Bacia de Campos, Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

LIANG, Y.; SARKANY, N.; CUI, Y.; YESUF, J.; TRUSHENSKI, J.; BLACKBURN, J. W. Use of sweetsorghum juice for lipid production by *Schizochytrium limacinum* SR21. **Bioresource Technology**, 101(10), 3623-3627. 2010.

LIU, T.; CHEN, Z.; XIAO, Y.; YUAN, M.; ZHOU, C.; LIU, G.; YANG, B. Biochemical and Morphological Changes Triggered by Nitrogen Stress in the Oleaginous Microalga *Chlorella vulgaris*. **Microorganisms**, 10(3), 566. 2022.

LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. H. N. O etanol de segunda geração no Brasil – Políticas e redes sociotécnicas. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, 34, (100), e3410014. 2019.

MUHAMMAD, G.; NGATCHA, A. D. P.; LV, Y.; XIONG, W.; EL-BADRY, Y. A.; ASMATULU, E.; ALAM, M. A. Enhanced biodiesel production from wet microalgae biomass optimized via responsesurface methodology and artificial neural network. **Renewable Energy**, 184, 753-764. 2022.

PINTO, T. A. **Gasolina, Gás Natural e Etanol: Comparação dos principais impactos ambientais da produção ao consumo final**. 2008. Dissertação (Graduação) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

SAKARIKA, M.; KORNAROS, M. *Chlorella vulgaris* as a green biofuel factory: comparison between biodiesel, biogas and combustible biomass production. **Bioresource technology**, v. 273, p. 237-243, 2019.

SOROKINA, K. N.; SAMOYLOVA, Y. V.; GROMOV, N. V.; OGORODNIKOVA, O. L.; PARMON, V. N. Production of biodiesel and succinic acid from the biomass of the microalga *Micractinium* sp. IC-44. **Bioresource Technology**, 317, 124026. 2020.



SILAMBARASAN, S.; LOGESWARI, P.; SIVARAMAKRISHNAN, R.; KAMARAJ, B.; CHI, N. T. L.; CORNEJO, P. Cultivation of Nostoc sp. LS04 in municipal wastewater for biodiesel production and their deoiled biomass cellular extracts as biostimulants for Lactuca sativa growth improvement. **Chemosphere**, 280, 130644. 2021.

TIZVIR, A.; SHOJAEFARD, M. H.; ZAHEDI, A.; MOLAEIMANESH, G. R. Performance and emission characteristics of biodiesel fuel from *Dunaliella tertiolecta* microalgae. **Renewable Energy**, 182, 552-561. 2022.

WETTERLUND, E.; LEDUC, S.; DOTZAUER, E.; KINDERMANN, G. Optimal use of forest residues in Europe under different policies – second generation biofuels versus combined heat and power. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 3, 3-16. 2016.

WORLD BUSINESS COUNSEL FOR ECONOMIC DEVELOPMENT- WBSCD, 2004, Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability. Geneva, Suíça. 2004.

VASISTHA, S.; KHANRA, A.; RAI, M. P. Influence of microalgae-ZnO nanoparticle association on sewage wastewater towards efficient nutrient removal and improved biodiesel application: An integrated approach. **Journal of Water Process Engineering**, 39, 101711. 2021.

VIGNESH, N. S.; VIMALI, E.; SANGEETHA, R.; ARUMUGAM, M.; ASHOKKUMAR, B.; GANESHMOORTHY, I.; VARALAKSHMI, P. Sustainable biofuel from microalgae: application of lignocellulosic wastes and bio-iron nanoparticle for biodiesel production. **Fuel**, 278, 118326. 2020.

ZHANG, R.; WANG, J.; ZHAI, X.; CHE, J.; XIU, Z.; CHI, Z. Carbonate assisted lipid extraction and biodiesel production from wet microalgal biomass and recycling waste carbonate for CO₂ supply in microalgae cultivation. **Science of The Total Environment**, 779, 146445. 2021.