
Análise de ciclo de vida de processos e produtos baseados em microalgas

Gilvana Scoculi de Lira, Beatriz Jacob-Furlan, Rafael Silva Ribeiro Gonçalves, Paulo Alexandre Silveira da Silva, Michelle Aparecida Coelho Moreira, José Viriato Coelho Vargas, André Bellin Mariano

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-8-1.c9>

Resumo

O aquecimento global é uma questão considerável que vem sendo discutida recentemente e, devido às altas taxas de emissão de gases de efeito estufa (GEE), tem sido um dos principais fatores que pode comprometer a segurança hídrica, alimentar e energética mundial. Dessa maneira, é imprescindível atuar por meio de estratégias e aplicações sustentáveis a fim de minimizar esses impactos negativos. Este capítulo compila informações a respeito de análise de ciclo de vida (ACV) aplicada à processos e produtos a partir do cultivo de microalgas. O trabalho salienta que são necessárias investigações para compreender melhor os prejuízos causados pelas emissões de gases poluentes e a importância da aplicação de métodos sustentáveis com a finalidade de atender metas e acordos globais de desenvolvimento sustentável. Por fim, é descrita uma visão geral a respeito dos impactos, produtos e metodologia de ACV.

Palavras-chave: bioenergia, gases de efeito estufa, microalgas, mudanças climáticas, sustentabilidade.

1. Introdução

As atividades antrópicas vêm causando diversos prejuízos ao planeta, dentre eles é possível citar as alterações climáticas e a consequente extinção de diversas espécies (animais, vegetais e microrganismos), incluindo aquelas que sequer foram descritas, portanto, causando perda irreversível da biodiversidade não só local, mas global (CAVICCHIOL *et al.*, 2019).

Microalgas são organismos unicelulares, procariontes ou eucariontes que utilizam dióxido de carbono (CO₂) e a luz solar como forma de sintetizar compostos e converter em biomassa. Devido à rápida taxa de crescimento e capacidade de adaptação em ambientes com condições extremas, esses organismos possuem grande potencial para aplicações industriais, sendo necessário uma seleção de cepas adequadas para o processo de interesse (TANG *et al.*, 2020).

A biomassa a partir das microalgas pode ser utilizada na produção de biocombustíveis, cosméticos, químicos, ração animal, fármacos, alimentos e biofertilizantes (FERNÁNDEZ *et al.*, 2021; NAGARAJAN, CHANG, LEE, 2021). Além disso, as microalgas vêm despertando o interesse voltado ao desenvolvimento sustentável, pois utilizam a seu favor o CO₂ e outros poluentes que eventualmente estejam em excesso no ambiente (TANG *et al.*, 2020).

O CO₂ é considerado um dos maiores responsáveis pelo efeito estufa e aquecimento global, portanto é fundamental reduzir tais emissões. Assim, uma das maneiras para contornar este problema seria com a utilização de biocombustíveis, pois quando comparado com a eficiência de absorção arbórea, as microalgas apresentam eficiência fotossintética superior. Enquanto uma árvore é capaz de fixar entre 1 e 3,5 ton/ha ano de CO₂, as microalgas podem biofixar cerca de 6,3 a 16,2 ton/ha ano (CARVALHO *et al.*, 2010). Dessa forma, o CO₂ atua como nutriente na fisiologia das microalgas, e quando combinado com a aeração de cultivo, é possível elevar de 2 a 5 vezes a densidade e volume da biomassa algal (HAJINAJAF, MEHRABADI, TAVAKOLI, 2021).

Portanto, para que seja possível obter informações a respeito da sustentabilidade dos sistemas baseados em microalgas e redução dos prejuízos ambientais, é necessária a aplicação de um método de avaliação sobre a magnitude dos impactos causados a partir de um produto ou processo (RISCH, BOUTIN, ROUX, 2021).

Diante desse contexto, a análise do ciclo de vida (ACV) pode ser utilizada para quantificar a carga ambiental das tecnologias de remoção de CO₂. O objetivo de uma ACV é determinar os possíveis impactos ambientais referente a um produto ou processo ao longo da sua vida útil. Além disso, a ACV é definida por uma série de normas segundo a Organização Internacional de Normalização (ISO), ISO 14040 e ISO 14044 (TERLOUW *et al.*, 2021).

Neste cenário, é indispensável impulsionar novos métodos de produção com menor impacto ambiental a fim de manter ecossistemas vitais, aumentar a eficiência dos recursos naturais e, em paralelo, apoiar a sustentabilidade dentro das cadeias de abastecimento (BARTEK *et al.*, 2021).

Em suma, o proposto trabalho destaca os prejuízos provocados por emissões de poluentes atmosféricos e notoriedade de práticas sustentáveis com interesse em alcançar metas e acordos globais voltados ao desenvolvimento sustentável. Ademais, é retratado um panorama integral referente aos impactos, produtos e metodologia de ACV.

2. Microalgas

Microalgas são microrganismos clorofilados, eucarióticos ou procarióticos, responsáveis por aproximadamente metade de todo CO₂ fixado no mundo. Na presença da luz solar, esses microrganismos são capazes de converter o CO₂ (carbono inorgânico presente na atmosfera) e água, em oxigênio e biomassa, por meio do processo conhecido como fotossíntese (VILEM, BISOVA, VITOVA, 2016).

As microalgas podem ser facilmente encontradas em ambientes aquáticos, tais como, rios, lagos e oceanos. Devido à diversidade metabólica, esses organismos podem ser cultivados em águas salinas e não potáveis, como efluentes, sem a necessidade de um meio rico em nutrientes. Além disso, as microalgas podem ser cultivadas em áreas relativamente pequenas. Nesse cenário, a simplicidade desses microrganismos permite ampla aplicabilidade industrial (DANESHVAR *et al.* 2021).

Geralmente, as microalgas são cultivadas fotoautotroficamente, mas podem ser cultivadas em regimes fotoheterotróficos, heterotróficos e mixotróficos, de acordo com os parâmetros de luminosidade e fonte de carbono as quais são submetidas. Em cultivos fotoautotróficos, as microalgas necessitam de carbono de origem inorgânica e luz como fonte de energia. Se o carbono for de origem orgânica em um cultivo com fonte luminosa, chamamos de cultivo fotoheterotrófico. Em cultivos heterotróficos não há fonte luminosa, toda energia é requerida para o crescimento das microalgas, é provido pela fonte de carbono de origem orgânica. Caso haja fonte de energia luminosa no cultivo e for

suplementado com fonte de carbono orgânico e inorgânico, então é chamado de mixotrófico (GOSWAMI *et al.* 2020; DANESHVAR *et al.* 2021).

O cultivo de microalgas pode ser realizado em sistemas abertos ou fechados. Entre os sistemas abertos, os lagoas no formato *raceway ponds* e os tanques circulares apresentam a maior área superficial total, tendo relatos de sistemas de até 5000 m². Eles apresentam baixo custo e facilidade de implementação e escalonamento. As lagoas *raceway* são piscinas rasas, com cerca de 0.2 – 0.4 m de profundidade, tendo sua superfície dividida em pistas para circulação e recirculação de efluentes contendo microalgas. A baixa profundidade é devido a necessidade de priorizar a penetração da luz no sistema, para manter a atividade fotossintética. Entre as principais desvantagens, pode-se destacar a influência do meio ambiente no sistema, exposição a contaminações e baixa produtividade (SATYANARAYANA *et al.* 2011; ACIÉN *et al.* 2017).

Os sistemas de fechados de produção de biomassa apresentam altas taxas de transferência de energia luminosa e produtividade, porém, há problemas quanto a transferência de massa e dificuldade para manter a homogeneidade dentro do biorreator (ACIÉN *et al.* 2017; DANESHVAR *et al.* 2021). Dentre os fotobiorreatores, a configuração tubular é a mais promissora. Este fotobiorreator normalmente é construído por tubos de plástico transparentes de aproximadamente 0.1m de diâmetro interno, dispostos em *loops*. O sistema tende a ter tubos mais estreitos, otimizando a captação da luz, melhorando as propriedades hidrodinâmicas e aumentando a produtividade. O fotobiorreator deve ter um *design* apropriado para que não haja acúmulo de O₂ nos tubos, por isso, muitos modelos contam com um tanque de retenção, o qual possui a finalidade de dispersar o oxigênio dissolvido e homogeneizar o meio. Entre as principais vantagens, pode-se destacar o escalonamento linear, alta produtividade (chegando a 900 mg L⁻¹d⁻¹) e a possibilidade de automação. Por outro lado, as desvantagens estão relacionadas a manutenção do sistema, e alto consumo energético (SATYANARAYANA *et al.* 2011; ABDEL-RAOUF *et al.* 2012; ACIÉN *et al.* 2017).

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos sistemas de cultivo.

Sistemas	Vantagens	Desvantagens
Aberto	Facilmente escalável; Baixo custo de construção, manutenção e operação.	Dificuldade em controlar as condições de cultura; Baixa produtividade de biomassa; Susceptível à contaminação por outros microrganismos; Susceptível às alterações do tempo (evaporação excessiva de água e fonte de luz inconsistente); Aporte insuficiente de luminosidade.
	Distribuição uniforme da luminosidade; Baixa taxa de evaporação; Fechado Baixo risco de contaminação; Maior controle dos parâmetros operacionais de cultivo.	Investimento oneroso (custo capital e operacional); Adesão de microalgas na superfície dos tubos pode causar bloqueio e/ou biofilme. Alto consumo energético.

Fonte: Adaptado de TANG *et al.* 2020.

2.1. Bioprodutos a partir de microalgas

Com o uso das microalgas para tratamento de águas residuais e limpeza de gases de combustão, a biomassa remanescente é produzida com um baixo

custo, mantendo o potencial energético, além de poder ser aplicada como matéria-prima na produção de biocombustíveis, como biodiesel, bioetanol, biohidrogênio, biometano e bioquerosene (FERNANDEZ *et al.*, 2021; NAGARAJAN, CHANG, LEE, 2021).

As microalgas são consideradas promissores recursos para sintetizar compostos orgânicos com propriedades terapêuticas e nutritivas devido ao teor de macromoléculas como proteínas, hidratos de carbono, fibras, carotenóides, ácidos graxos, sais minerais, vitaminas, enzimas, peptídeos e esteróis. No entanto, a concentração dessas macromoléculas pode variar de acordo com a espécie das microalgas (BARROS *et al.*, 2019).

2.1.1. Biocombustíveis a partir de microalgas

As razões mais importantes para a disseminação dos biocombustíveis são os desafios ambientais causados pelos combustíveis fósseis e o seu esgotamento. Com a gradativa mudança para fontes renováveis, espera-se que haja redução no que concerne aos impactos ambientais. A fim de garantir a segurança energética e atender o critério “desenvolvimento sustentável”, é necessário explorar novos métodos de produção com menor impacto ambiental e conseqüentemente expandir a eficiência de recursos naturais, garantindo processos sustentáveis (ANGILI *et al.*, 2021; GANI, 2021).

Espera-se que os biocombustíveis a partir de microalgas possam atender objetivos específicos relacionados à emissão de GEE e consumo de água. Embora a comercialização de biocombustíveis a partir de microalgas esteja em seu início, o planejamento pode garantir a sustentabilidade da cadeia de abastecimento (EFROYMSON *et al.*, 2021).

Os biocombustíveis podem ser classificados de acordo com suas tecnologias de produção. Sendo de primeira, segunda, terceira (NAZARI *et al.*, 2020) ou quarta geração de biocombustíveis (ARON *et al.*, 2020). Os biocombustíveis de primeira geração podem ser produzidos a partir de culturas alimentares terrestres, como milho, trigo, arroz, batata, cevada, óleo vegetal e cana-de-açúcar. A segunda geração é oriunda de culturas não-alimentares, ou seja, resíduos florestais e biomassa lignocelulósica, como palha de trigo e bagaço de cana-de-açúcar. A terceira geração de biocombustíveis é produzida a partir da biomassa de microalgas, algas, leveduras, fungos e cianobactérias

(ARON *et al.*, 2020; NAZARI *et al.*, 2020). A quarta geração de biocombustíveis, por sua vez, é baseada na modificação genética de microalgas, cujo objetivo é produzir microalgas que capturem altas quantidades de CO₂, aumentem a produtividade dos biocombustíveis e adaptabilidade das microalgas em águas residuais para crescerem em ambientes com poucos nutrientes (ARON *et al.*, 2020).

Contudo, a produção de biocombustíveis pode ter vários impactos dependendo do tipo de matéria-prima utilizada, das condições locais, da concepção e implementação do respectivo processo de conversão. Assim, para identificar os encargos ambientais do sistema de produção, é necessária uma avaliação exaustiva, podendo ser realizada por meio de uma análise de ciclo de vida (ANGILI *et al.*, 2021).

3. Análise de ciclo de vida (ACV)

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia normalizada pelas norma ISO, séries 14040 e 14044 (ANGILI *et al.*, 2021), baseada na ciência e utilizada para avaliar e mensurar os impactos associados ao ciclo de vida de produtos e processos no ambiente, podendo ajudar a compreender as implicações ambientais das estratégias da economia circular (EC) (PEÑA *et al.*, 2021).

A ACV oferece uma interpretação abrangente que relaciona as ações com os impactos ambientais. Ao mesmo tempo, ela fornece resultados quantitativos e qualitativos, considerando a ligação entre as funções do sistema e os impactos ambientais. Assim, é possível identificar as questões que precisam ser implementadas. O processo para a implementação de uma ACV consiste em quatro etapas essenciais: (i) planejamento (definição e metas e escopo): que consiste em limitar a atividade a ser avaliada e estabelecer a situação e efeitos ambientais que serão avaliados; (ii) análise do inventário: estágio em que as entradas e saídas são quantificadas (energia, matéria prima, água, emissões atmosféricas e resíduos sólidos) que podem ser quantificados por meio de banco de dados, pesquisas e cálculos de software; (iii) avaliação de impacto: fase que há avaliação do impacto ambiental como resultado da etapa anterior (ii) onde a entrada e os dados de saída são traduzidos em impactos ambientais; (iv) interpretação (análise de melhorias): etapa que interage com as demais etapas,

envolvendo discussões de melhorias e propõe recomendações e estratégias interligadas ao escopo definido (KYRIAKI *et al.*, 2018).

Dessa maneira, para fazer melhor uso dos recursos naturais disponíveis e, em paralelo, mitigar os impactos ambientais, é necessário um método de avaliação que seja representativo, como a ACV (ZHANG *et al.* 2020). Esta abrangente ferramenta compreende todas as trocas ambientais, como recursos, energia, emissões e resíduos, que eventualmente ocorrem ao longo do ciclo de vida de uma cadeia produtiva (ZHANG, HAAPALA, 2015). A Figura 1 apresenta as principais etapas consideradas na ACV.

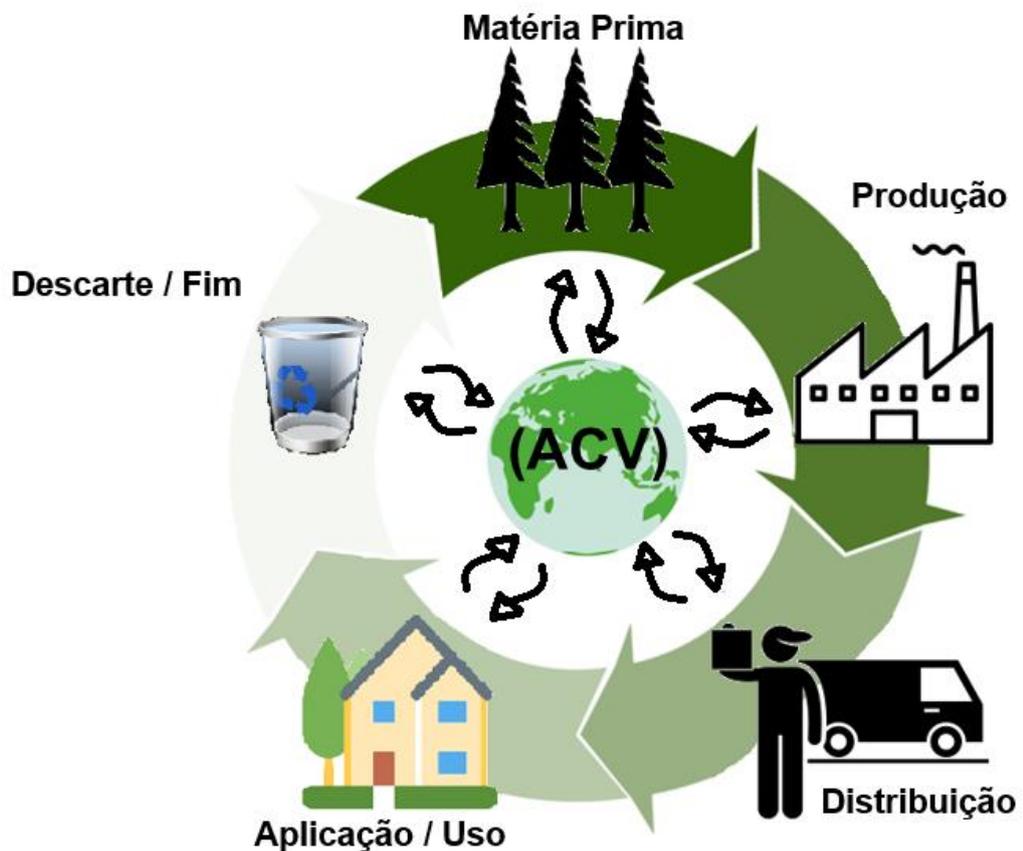


Figura 1. Interações da ACV com o ambiente.

À vista disso, as indústrias têm utilizado a ACV para comparar alternativas no processo de desenvolvimento de seus produtos, relatar a intervenção ambiental, fornecer base para monitoramento ambiental e trazer uma

perspectiva holística para tomada de decisões. (PEÑA *et al.*, 2021; ZHANG *et al.* 2020), conforme sumarizado na Tabela 2.

Tabela 2. Objetivos da aplicação da análise de ciclo de vida.

Aplicações da ACV
<ul style="list-style-type: none">▪ Decisões envolvidas em processos e produtos;▪ Decisões de compra de materiais (durabilidade, reparabilidade, potencial de reciclagem, utilização dissipativa);▪ Atualização de informações;▪ Rotulagem ecológica;▪ Proibições ambientais relacionadas a produção;▪ Decisões relacionadas a regulamentações.

Fonte: Adaptado de PEÑA *et al.*, 2021; ZHANG *et al.* 2020.

Acerca de biocombustíveis de microalgas, a metodologia ACV pode ser utilizada para avaliar opções alternativas de processamento de biodiesel a partir da biomassa, como por exemplo, a utilização de solventes para extração dos lipídeos e identificar os pontos críticos nas fases de processamento, com a finalidade de contribuir para processos mais sustentáveis (ZAPATA-BOADA *et al.*, 2021).

A ACV traduz as emissões e a utilização de recursos para o impacto ambiental para as categorias de impacto selecionadas, incluindo: (i) aquecimento global, (ii) potencial de acidificação, (iii) potencial de eutrofização, (iv) uso da terra e (v) uso da água. Estas categorias estão relacionadas a indicadores e métricas de sustentabilidade que também são considerados elementos chave para a perda de biodiversidade e danos na qualidade dos ecossistemas (BARTEK *et al.*, 2021).

Considerando o ponto de vista energético, uma ACV realizada com o bioetanol, reforça que este biocombustível de primeira geração é considerado a melhor opção. Com relação ao uso da terra necessária para produzir bioetanol, a terceira e segunda gerações ocupam áreas agrícolas menores quando comparadas à primeira geração. Por outro lado, os biocombustíveis de terceira

geração não podem competir com as outras gerações de biocombustíveis em termos de eficiência energética. Por fim, é importante destacar que, em geral, as ACV's não podem considerar todos os impactos relevantes, pois a avaliação da sustentabilidade dos biocombustíveis é complexa e requer uma abordagem multifatorial para uma avaliação completa. Como geralmente as ACV's estão direcionadas aos impactos ambientais é difícil comparar e concluir a respeito da sustentabilidade dos biocombustíveis em aspectos econômicos e sociais (NAZARI *et al.*, 2020).

4. Considerações finais

O aquecimento global e as mudanças climáticas são resultados das emissões de gases nocivos à atmosfera, o que implica em grandes impactos relacionados ao ambiente e à saúde humana. Desse modo, com a aplicação de medidas e estratégias sustentáveis, é possível minimizar estes efeitos deletérios sobre os ecossistemas. Em vista disso, a utilização de microalgas pode ser uma alternativa com grande potencial para a produção de energia renovável e simultaneamente mitigação de emissões poluentes. Ademais, a eficácia desse processo pode ser demonstrada por meio de uma ACV.

5. Referências

- ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIDAN, A. A.; IBRAHEEM, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v 19, n.3, p.257–275, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>.
- ACIÉN, Gabriel *et al.* Photobioreactors for the production of microalgae. In *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, p.1-44, 2017. **Woodhead Publishing Series in Energy**. 10.1016/B978-0-08-101023-5.00001-7
- ANGILI, S. Tahereh *et al.* Life Cycle Assessment of Bioethanol Production: A Review of Feedstock, Technology and Methodology. **Energies**, v.14, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14102939>.
- 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, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50206-z>.

BARTEK, Louise *et al.* Life cycle assessment of fish oil substitute produced by microalgae using food waste. **Sustainable Production and Consumption**, v.27, p.2002-2021, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.033>.

CARVALHO, N. João Luis *et al.* Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>.

CAVICCHIOLI, Ricardo *et al.* Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. **Nature Reviews Microbiology**, v.17, p.569-586, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0222-5>.

DANESHVAR, Ehsan *et al.* Insights into upstream processing of microalgae: A review. **Bioresource Technology**, v. 329, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124870>.

EFROYMSON, A. Rebecca *et al.* Better management practices for environmentally sustainable production of microalgae and algal biofuels. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125150>.

ENZING, Christien *et al.* Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. **JRC Scientific and policy reports**, 2014. <https://doi:10.2791/3339>.

FERNÁNDEZ, A. Gabriel *et al.* The role of microalgae in the bioeconomy. **New Biotechnology**, v.61, p.99-107, 2021. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC85709>.

GANI, Azmat. Fossil fuel energy and environmental performance in an extended STIRPAT model. **Journal of Cleaner Production**, v.297, p.126526, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126526>.

GOSWAMI, K. Rahul *et al.* Microalgae-based biorefineries for sustainable resource recovery from wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101747>.

HAJINAJAF, Nima; MEHRABADI, Abbas; TAVAKOLI, Omid. Practical strategies to improve harvestable biomass energy yield in microalgal culture: A

review. **Biomass and Bioenergy**, v. 145, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105941>.

KYRIAKI, Elli *et al.* Life cycle analysis (LCA) and life cycle cost analysis (LCCA) of phase change materials (PCM) for thermal applications: A review. **International Journal of Energy Research**, v.42, p.3068-3077, 2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.3945>.

NURUL, Aron *et al.* Sustainability of the four generations of biofuels – A review. **International Journal of Energy Research** 44:9266-9282, 2020. <https://doi.org/10.1002/er.5557>.

NAGARAJAN, Dillirani; CHANG, Jo-Shu; LEE, Duu-Jong. Pretreatment of microalgal biomass for efficient biohydrogen production—Recent insights and future perspectives. **Bioresource technology**, v. 302, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122871>.

NAZARI, T. Mateus *et al.* Biofuels and their connections with sustainable development goals: a bibliometric and systematic review. **Environment, Development and Sustainability**, v.23, p.11139-11156, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01110-4>.

PEÑA, Claudia *et al.* Using life cycle assessment to achieve a circular economy. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.26, p.215–220, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>.

RISCH, Eva; BOUTIN, Catherine; ROUX, Philippe. Applying life cycle assessment to assess the environmental performance of decentralised versus centralised wastewater systems. **Water Research**, v.196, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116991>.

SATYANARAYANA, K. G.; MARIANO, A. B.; VARGAS, J. V. C. A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials. **International Journal of Energy Research**, v. 21,2011. <https://doi.org/10.1002/er>.

TANG, D. Y. Y. *et al.* Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products, **Bioresource Technology**, v.304, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122997>.

TERLOUW, T. *et al.* Life cycle assessment of carbon dioxide removal technologies: a critical review. **Energy & Environmental Science**, v.14, 2021. DOI: 10.1039/d0ee03757e.

VILEM, Zachleder; BISOVA, Katerina; VITOVA, Milada. The Cell Cycle of Microalgae. In: **The Physiology of Microalgae**, p.3-46, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24945-2>.

ZAPATA-BOADA, S. *et al.* Integrating Process Simulation and Life Cycle Assessment to Evaluate the Economic and Environmental Performance of Algae Biodiesel. **Computer Aided Chemical Engineering**, v.50, p.1903-1908, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88506-5.50295-3>.

ZHANG, Xugang *et al.* A review on energy, environment and economic assessment in remanufacturing based on life cycle assessment method, **Journal of Cleaner Production**, v.255, p.2-3, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120160>.

ZHANG, Hao; HAAPALA, R. Karl. Integrating sustainable manufacturing assessment into decision making for a production work cell. **Journal of Cleaner Production**, v.105, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.038>.

Autores

Gilvana Scoculi de Lira*, Beatriz Jacob-Furlan, Rafael Silva Ribeiro Gonçalves, Paulo Alexandre Silveira da Silva, Michelle Aparecida Coelho Moreira, José Viriato Coelho Vargas, André Bellin Mariano.

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Rua Cel. Francisco Heráclito dos Santos, nº 100 - Centro Politécnico – Prédio da Administração – 2º andar, Caixa Postal 19011, CEP 81531-980, Curitiba – Paraná, Brasil.

* Autor para correspondência: gilvanalira@ufpr.br