

Síntese de *single cell oil* a partir do glicerol bruto: uma revisão sistemática da literatura

Synthesis of *single cell oil* from crude glycerol: a systematic literature review

Síntesis de *single cell oil* a partir de glicerol crudo: una revisión sistemática de la literatura

Recebido: 16/11/2022 | Revisado: 28/11/2022 | Aceitado: 01/12/2022 | Publicado: 09/12/2022

Raimundo Adson Andrade Navarro Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8980-4026>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: raimundo_adson@hotmail.com

Bruno Vinicius Daquila

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3540-3187>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: bv.ds@hotmail.com

Helio Conte

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2090-0554>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: hconte@uem.br

João Arthur dos Santos Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6864-1523>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: joaoarthur_oliveira@hotmail.com

Resumo

O biodiesel tem sido uma importante alternativa energética para a redução da emissão de gases poluentes, contudo, os óleos vegetais e gorduras animais utilizados como matérias-primas para sua síntese possuem restrições que limitam o processo produtivo. Este trabalho trata-se de uma revisão da literatura sistemática que discute possíveis aplicações para o reaproveitamento do glicerol bruto oriundo da transesterificação do óleo vegetal ou gordura animal da produção do biodiesel. Neste viés, apresentamos alguns microrganismos que podem ser empregados na produção de óleo microbiano (*single cell oil*) a partir do glicerol bruto. As leveduras *Rhodotorula mucilagenosa* e *Rhodospidium toruloides*, com teor lipídico de 65% e 64%, respectivamente, e o fungo filamentosso *Mortierella isabellina* com 66%, são potenciais produtores de *single cell oil*. Em *M. isabellina*, os lipídios armazenados são em sua maioria neutros, além disso, sua composição total de ácidos graxos apresenta notáveis semelhanças com o óleo de *Brassica napus*, um excelente óleo para a produção de biodiesel. O perfil de ácidos graxos de *R. mucilagenosa* é rico em ácido oleico (61,88%), ácido linoleico (16,17%) e ácido linolênico (1,03%) compreendendo ~80% de ácidos graxos monoinsaturados e ácidos graxos poli-insaturados de lipídios totais. Já em *R. toruloides*, os perfis de ácidos graxos dos lipídios se assemelham ao óleo de *Jatropha curcas*, matéria-prima amplamente utilizada para a produção de biodiesel. Deste modo, espera-se que esta revisão estimule o desenvolvimento de novos processos, principalmente para a destinação do glicerol bruto oriundo da cadeia dos biocombustíveis em *single cell oil*.

Palavras-chave: Biodiesel; Fungos; Leveduras; Óleo; Transesterificação.

Abstract

Biodiesel has been an important energy alternative for reducing the emission of polluting gases, however, vegetable oils and animal fats used as raw materials for its synthesis have restrictions that limit the production process. This work is a systematic literature review that discusses possible applications for the reuse of crude glycerol from the transesterification of vegetable oil or animal fat from biodiesel production. Thus, we present some microorganisms that may be used in the production of microbial oil (*single cell oil*) from crude glycerol. The yeasts *Rhodotorula mucilagenosa* and *Rhodospidium toruloides*, with lipid content of 65% and 64%, respectively, and the filamentous fungus *Mortierella isabellina* with 66%, are potential producers of *single cell oil*. In *M. isabellina*, the stored lipids are mostly neutral, in addition, its total composition of fatty acids presents remarkable similarities with *Brassica napus* oil, an excellent oil for biodiesel production. The fatty acid profile for *R. mucilagenosa* is rich in oleic acid (61.88%), linoleic acid (16.17%), and linolenic acid (1.03%) comprising ~80% monounsaturated fatty acids and fatty acids polyunsaturated fats from total lipids. In *R. toruloides*, the fatty acid profiles of the lipids are similar to *Jatropha curcas* oil, a raw material widely used for the production of biodiesel. Overall, it is expected that this review will stimulate the development of new processes, mainly for the destination of crude glycerol from the biofuel chain in *single cell oil*.

Keywords: Biodiesel; Fungi; Yeasts; Oil; Transesterification.

Resumen

El biodiesel ha sido una alternativa energética importante para la reducción de la emisión de gases contaminantes, sin embargo, los aceites vegetales y las grasas animales utilizadas como materia prima para su síntesis tienen restricciones que limitan el proceso de producción. Este trabajo es una revisión sistemática de la literatura que discute posibles aplicaciones para el reúso de glicerol crudo proveniente de la transesterificación de aceite vegetal o grasa animal proveniente de la producción de biodiesel. En este sesgo, presentamos algunos microorganismos que pueden ser utilizados en la producción de aceite microbiano (aceite unicelular) a partir de glicerol crudo. Las levaduras *Rhodotorula mucilagenosa* y *Rhodosporidium toruloides*, con un contenido de lípidos de 65% y 64%, respectivamente, y el hongo filamentoso *Mortierella isabellina* con 66%, son potenciales productores de aceite unicelular. En *M. isabellina*, los lípidos almacenados son en su mayoría neutros, además, su composición total de ácidos grasos presenta notables similitudes con el aceite de *Brassica napus*, un aceite excelente para la producción de biodiesel. El perfil de ácidos grasos de *R. mucilagenosa* es rico en ácido oleico (61,88 %), ácido linoleico (16,17 %) y ácido linolénico (1,03 %) que comprende ~80 % de ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados de los lípidos totales. En *R. toruloides*, los perfiles de ácidos grasos de los lípidos son similares al aceite de *Jatropha curcas*, una materia prima ampliamente utilizada para la producción de biodiesel. Así, se espera que esta revisión estimule el desarrollo de nuevos procesos, principalmente para el destino del glicerol crudo de la cadena de biocombustibles en aceite unicelular.

Palabras clave: Biodiésel; Hongos; Levaduras; Aceite; Transesterificación.

1. Introdução

A utilização de combustíveis fósseis pode causar danos ambientais (Pardal et al., 2017). Esses danos são resultado da queima incompleta de hidrocarbonetos, oriundos do petróleo em motores a diesel, gasolina e/ou querosene (Ramos et al., 2017). Além disso, a emissão de gases provenientes da combustão na atmosfera terrestre, tem provocado o aumento do efeito estufa. Em consequência a isso, mudanças climáticas drásticas estão ocorrendo em todo planeta (Yoshinaga et al., 2020).

Diante dos problemas ocasionados pela queima de combustíveis fósseis, eleva-se a necessidade pela busca de alternativas sustentáveis. Assim, pesquisas têm sido realizadas a fim de desenvolver melhores soluções para as demandas energéticas globais (Cardoso; et al., 2017) e, entre as alternativas, destacam-se os biocombustíveis (Schirmer & Ribeiro, 2017), com isso, avanços importantes estão ocorrendo nas produções de etanol, biogás, bioquerosene e biodiesel nas últimas décadas (Rezende & Pasa, 2017).

Esses avanços proporcionam a classificação dos biocombustíveis por gerações. Assim, as gerações dos biocombustíveis podem ser observadas tanto na síntese do etanol, quanto do biodiesel (ambos de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª geração) (Rezende & Pasa, 2017; Singh et al., 2020). Por meio dessa classificação, as tecnologias empregadas nos processos de pesquisas e produção, podem ser divulgados organizadamente no meio científico, proporcionando o compartilhamento de informações e avanços para o setor (Medina et al., 2019). Deste modo, cada geração subsequente de biocombustíveis representa uma evolução decorrente da geração anterior, ou seja, são avanços científicos (Da Silva et al., 2021).

Entre os diferentes biodieseis, o microbiano (classificado como biodiesel de 3ª geração por alguns autores) vem sendo alvo de várias pesquisas (Sagia et al., 2020). Normalmente, sua síntese ocorre pelo processo em batelada, utilizando óleo microbiano como substituto ao óleo vegetal ou gordura animal (Dobrowolski et al., 2016). O lipídio microbiano, por sua vez, é sintetizado num biorreator aeróbico ou anaeróbico, dependendo do tipo de microrganismo utilizado como agente de fermentação (Lopes; et al., 2020). Esse tipo de biodiesel trás evoluções técnicas na proposta para eliminação de resíduos, os mesmos que permanecem nas produções de 1ª e 2ª gerações.

Atualmente, o processo para produção de biodiesel mais viável economicamente é o de 2ª geração (Cintra et al., 2017). Nesse processo, emprega-se a técnica da transesterificação de óleos vegetais ou gordura animal, para a produção de ésteres (Varão et al., 2017; Hyppolito et al., 2021). Porém, esse processo produz como coproduto o glicerol bruto, que por sua vez, necessita ser purificado para posterior comercialização (Alves; et al., 2017). O processo de purificação do glicerol bruto proveniente da cadeia do biodiesel requer um investimento maior que a glicerina convencional, comercializada atualmente (Medeiros et al., 2019; Oliveira et al., 2022). Assim, a destinação do glicerol bruto tornou-se um problema complexo, que caso

não seja resolvido, transforma-se em uma grave preocupação ambiental.

Visando propor melhores destinações para o glicerol bruto oriundo da cadeia de produção do biodiesel, levantou-se o seguinte questionamento: Quais os microrganismos mais relevantes para a produção de óleo microbiano a partir do glicerol bruto proveniente da transesterificação? Diante desse questionamento, o presente estudo realizou uma revisão sistemática com o objetivo de apresentar uma breve revisão literária, sobre os principais microrganismos oleaginosos (produtores de óleo microbiano - *single cell oil*) proveniente da fermentação do glicerol bruto.

2. Metodologia

2.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Este estudo utilizou-se do método da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para a composição do acervo bibliográfico de estudo. Para isso, foram considerados trabalhos publicados nas plataformas Periódicos CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br>) e *ScienceDirect* (<https://www.sciencedirect.com>). A RSL proposta por Vuono (2021), foi escolhida para seleção dos trabalhos científicos publicados. Os critérios selecionados que nortearam a busca de trabalhos publicados estão descritos no Quadro 1:

Quadro 1 - Critério para identificação da RSL.

Base de Dados	CAPES / <i>ScienceDirect</i>
Idioma	Português / Inglês
Área de Abrangência	Biotechnology / Bioquímica / Engenharia Bioquímica / Engenharia Química / Bioprocessos/ Microbiologia
Período (data)	2016 a 2021
Localização	Títulos / Palavras-chaves / Resumos
Palavras-chave	<i>Single cell oil</i> / Glicerol / Biodiesel
Termos / <i>Strings</i>	" <i>Single cell oil</i> " E Biodiesel " <i>Single cell oil</i> " E Glicerol " <i>Single cell oil</i> *" AND <i>Microorganism</i> " <i>Single cell oil</i> *" AND Biodiesel " <i>Single cell oil</i> *" AND <i>Glycerol</i>
Área temática	Energia renovável

Fonte: Autores, baseado na metodologia descrita por Vuono (2021).

2.2 Critérios de inclusão e exclusão

No intuito de selecionar artigos com filtros mais específicos e rigorosos para esta pesquisa, adotou-se como critérios de inclusão e exclusão as seguintes situações:

- Na base de dados nacional - Periódicos da CAPES, utilizou-se *strings* nos idiomas português e inglês, e para a base de dados internacional - *ScienceDirect*, utilizou-se apenas *strings* no idioma inglês;
- A opção "artigos revisados por pares" também foi incluída na revisão;
- Para seleção dos artigos, utilizou-se no primeiro filtro, palavras que estivessem presentes no título dos artigos, e no segundo filtro, palavras que estivessem contidas em qualquer parte dos artigos;
- A duplicidade de artigos também foi um critério de exclusão;
- A última filtragem foi a análise dos artigos considerando título, resumo e palavras-chave, a fim de averiguar

a existência da relação com o tema desta pesquisa.

2.3 Revisão e seleção dos artigos

Refinando-se a busca, foram selecionados apenas artigos revisados por pares, conforme os resultados apresentados na Tabela 1. Considerando as duas bases de dados, foram selecionados previamente 417 artigos, utilizando-se os critérios estabelecidos no Quadro 1.

Tabela 1 - Número de artigos obtido na plataforma Periódicos CAPES e *ScienceDirect*, após aplicação de diferentes *Strings* em inglês e português.

<i>Strings</i> pesquisadas	Resultados
Periódicos CAPES	
“Óleo unicelular” e “Microrganismos”	0
“Óleo unicelular” e “Glicerol”	0
“Óleo unicelular” e “Biodiesel”	0
“ <i>Single cell oil</i> ” and “ <i>Microorganism</i> ”	37
“ <i>Single cell oil</i> ” and “ <i>Glycerol</i> ”	24
“ <i>Single cell oil</i> ” and “ <i>Biodiesel</i> ”	48
Total de artigos na plataforma	109
ScienceDirect	
“ <i>Single cell oil</i> ” and “ <i>Microorganism</i> ”	117
“ <i>Single cell oil</i> ” and “ <i>Glycerol</i> ”	104
“ <i>Single cell oil</i> ” and “ <i>Biodiesel</i> ”	87
Total de artigos na plataforma	308
Total de artigos em ambas plataformas	417

Fonte: Autores.

Posteriormente, alguns artigos foram excluídos por não estarem inseridos dentro no escopo da pesquisa, outros por duplicidade (constarem em ambas plataformas). O resultado final da seleção dos artigos está disposto na Tabela 2, apresentada a seguir conforme a base de dados utilizada.

Tabela 2 - Número de artigos selecionados ao final da aplicação dos critérios para seleção final.

Bases de dados	Número de artigos selecionados
Periódicos CAPES	18
<i>ScienceDirect</i>	28
Total de artigos selecionados	46

Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

3.1 Biodiesel a partir de *single cell oil*

O biodiesel tem sido uma importante alternativa energética para a redução da emissão de gases poluentes, contudo, os óleos vegetais e gorduras animais utilizados como matérias-primas para a síntese de biodiesel, possuem restrições que limitam o processo produtivo. Tais restrições são motivadas pela disponibilidade e competição com o consumo humano (Guerfali et al., 2018). Desta forma, pesquisas têm sido desenvolvidas no intuito de encontrar rotas de produção mais viáveis, eficientes e sem essas limitações.

Os óleos microbianos, conhecidos cientificamente como *single cell oil*, possuem potencial promissor para a síntese de biodiesel (Kamoun et al., 2018; Mhlongo et al., 2021). Esses óleos são sintetizados por bactérias, leveduras e fungos filamentosos oleaginosos (Zuccaro et al., 2021). Normalmente, um microrganismo é considerado oleaginoso quando consegue acumular lipídios intracelulares, representando mais de 20% de seu peso total (biomassa seca) (Sagia et al., 2020). Os lipídios acumulados são compostos principalmente de triglicerídeos (80-90%), ésteres de esterol (20%) e formados por ácidos graxos de cadeia longa (C¹⁴-C¹⁸), assim, mostrando uma composição semelhante aos óleos vegetais (Guerfali et al., 2018).

Lipídios microbianos podem integrar diversas transformações biotecnológicas industriais, principalmente no campo da bioenergia, oleoquímica e cosmética. Outro aspecto a ser destacado é a praticidade das culturas de microrganismos em relação a cultura agrícola energética, tendo em vista que é necessário pouco espaço e mão de obra, além de não sofrer ação de agentes externos como clima e estações do ano, e sobretudo, a possibilidade do melhoramento genético microbiano (Viñarta et al., 2016). Entretanto, a viabilidade deste processo em escala industrial está vinculada ao custo das matérias-primas utilizadas como substratos (Parsons; et al., 2020).

Sendo assim, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de selecionar os melhores microrganismos e meios de cultura (Ayadi et al., 2018). Os resíduos industriais e do agronegócio, demonstram eficiência na proposta de aplicação como substratos de baixo custo (Qin et al., 2017). Portanto, o reaproveitamento dos resíduos para compor o meio de cultura destes microrganismos, torna os processos industriais mais sustentáveis, principalmente, quando se trata de resíduos com maior carga poluidora (Ram; et al., 2018).

3.2 Glicerol bruto como substrato

Coproducto da produção de biodiesel de 2ª geração, o glicerol bruto, que geralmente é tratado como subproduto devido a inviabilidade da purificação em processos em escala industrial, é um composto orgânico natural do processamento de óleos e gorduras animais (Guerfali et al., 2020). Esse pode ser obtido por processos químicos ou fermentativos, porém, a via química tem sido a mais utilizada atualmente. Isso se deve, a necessidade do abastecimento energético do país por fontes mais renováveis e biodegradáveis, devido à crise do aquecimento global provocado pela emissão de gases de efeito estufa (Madani; et al., 2017). Assim, com o aumento da demanda energética por biodiesel, conseqüentemente, aumenta-se a geração de glicerol no meio ambiente.

O glicerol puro ou glicerina, possui várias aplicações para as indústrias farmacêuticas, cosméticas, alimentícias, tinturas, couros e têxteis. A variedade de possibilidades para uso desse composto, demonstra o quanto o mesmo é valioso. Contudo, o excesso de glicerol bruto pode provocar graves problemas ambientais (Lopes; et al., 2020), como a contaminação do ar, solo e corpos hídricos (Dobrowolski et al., 2016). Deste modo, o processo de produção de biodiesel necessita ser sempre conduzido considerando também os aspectos ambientais e a sustentabilidade.

A transesterificação é o processo mais empregado convencionalmente para a produção de biodiesel (Zuccaro et al., 2021). Na reação de transesterificação o triglicerídeo (óleo vegetal ou gordura animal) reage com álcool (convencionalmente metanol ou etanol) na presença de um catalisador, produzindo ésteres (biodiesel) e glicerol (Ma et al., 2021).

Por tratar-se de um dos produtos oriundos da transesterificação na presença de um catalisador químico, o glicerol bruto possui diversas impurezas, o que dificulta a sua comercialização, isso porque, frações de componentes orgânicos e inorgânicos não reagem por completo, além das impurezas da própria matéria-prima; estima-se que para cada 10 kg de biodiesel produzido, 1 kg seja glicerol (Garlapati; et al., 2016; Guerfali et al., 2020).

O excesso de glicerol no mercado provoca queda no preço desse coproduto. Além disso, a purificação da glicerina possui um alto custo financeiro, o que dificulta ainda mais a comercialização do glicerol (Kolouchová et al., 2016; Qin et al., 2017). Na última etapa da purificação, ocorre a lavagem com água quente para remoção do catalisador, resíduos e impurezas, porém essa etapa é longa, poluente e de alto custo (Uprety; et al., 2017) resultando na inviabilidade de competição do glicerol do biodiesel purificado, com a glicerina pura comercializada atualmente no país.

Vários estudos tem apontado novas possibilidades para utilização do glicerol bruto dentro do setor dos biocombustíveis (Dobrowolski et al., 2016; Uprety; et al., 2017; Diwan; et al., 2018). Dentre eles, destaca-se a síntese de óleo microbiano, uma vez que, nesse processo, empregam-se diversas matérias-primas orgânicas e inorgânicas como substratos em meio de cultura (Dobrowolski et al., 2016; Gajdoš; et al., 2017). Logo, o glicerol torna-se uma matéria-prima atraente por ser uma fonte de nutrientes para fungos filamentosos, leveduras e bactérias, que consumam a parte orgânica e sejam resistentes a parte inorgânica.

O glicerol bruto é um substrato heterogêneo rico em carbono, metais, saponáceos, sais, álcoois, óleos e compostos orgânicos sólidos, além de vestígios do catalisador (Cozendey et al., 2021). Desta forma, uma possibilidade de reaproveitamento do glicerol é aplicá-lo como fonte de carbono no meio de crescimento de microrganismos oleaginosos, para síntese de lipídios microbianos (Bettencourt et al., 2020). Essa é uma proposta interessante para resolver problemas ambientais relacionados com o excesso desta substância no meio ambiente. Assim, com a fermentação do glicerol bruto, novas rotas de escoamento para o mesmo podem ser desenvolvidas por meio de processos biotecnológicos (Kumar et al., 2021).

3.3 Microrganismos potenciais

Os lipídios microbianos transesterificáveis a biodiesel, devem possuir composição molecular semelhante aos óleos vegetais e gorduras animais, uma vez que, nem todas as espécies de microrganismos conseguem sintetizar lipídios com tais características (Viñarta et al., 2016). Dessa forma, existem fatores que condicionam o acúmulo de lipídios e contribuem para composição molecular, como por exemplo, a fisiologia do microrganismo, a relação carbono/nitrogênio no meio de cultura, a limitação de nutrientes e outras condições ambientais (Kamoun et al., 2018). Durante o processo fermentativo, à medida que os microrganismos crescem, a fonte de nitrogênio é completamente consumida no substrato, até que o carbono passa a ser a principal fonte de nutriente, assim, resultando na síntese de lipídios intracelular (Wang et al., 2018).

Os óleos lipídicos são formados por ácidos graxos característicos, ou seja, algumas espécies de microrganismos e substratos utilizados determinarão o perfil de ácidos graxos sintetizado (Madani; et al., 2017). Os ácidos considerados mais relevante pelos pesquisadores são os ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico (Cao et al., 2021). Esse perfil

pode influenciar em propriedades importantes no biodiesel produzido, como o fluxo a frio, a estabilidade oxidativa e o valor iônico (Madani; et al., 2017). Tendo isso em vista, faz-se necessário avaliar a composição de ácidos graxos presentes nos óleos microbianos, para que a qualidade do biodiesel não seja comprometida (Wang et al., 2018).

Os processos biotecnológicos contribuem para a construção de sistemas de produção sustentáveis. Assim, considerando a produção de biodiesel, observa-se na literatura, pesquisas sendo realizadas visando o reaproveitamento do glicerol bruto (Kumar et al., 2021). Diferentes microrganismos são utilizados a fim de obter a melhor conversão lipídica, ou seja, a melhor qualidade e concentração de lipídios no óleo microbiano, como também, o menor custo financeiro para sintetizá-lo (Dobrowolski et al., 2016; Garlapati; et al., 2016).

Na Tabela 3, são indicadas algumas espécies de microrganismos oleaginosos capazes de converter o glicerol bruto da transesterificação em *single cell oil*. Observa-se também, que dentre as pesquisas realizadas, os microrganismos mais promissores para a conversão do glicerol bruto oriundo da transesterificação do biodiesel em *single cell oil* são as leveduras *R. mucilagenosa* e *R. toruloides*, com teor lipídico de 65% e 64%, respectivamente, e o fungo filamentososo *Mortierella isabelina* com 67%.

Tabela 3 - Microrganismos oleaginosos utilizados para conversão de glicerol bruto na transesterificação em *single cell oil*, suas fontes de carbono e percentual de lipídeos obtidos.

Organismos	Espécie	Fontes	Lipídios	Referências
Levedura	<i>Yarrowia lipolytica</i>	Glicerol bruto	25%	Dobrowolski et al., 2016
Levedura	<i>Candida viswanathii</i>	Glicerol bruto	41%	Guerfali et al., 2020
Levedura	<i>Yarrowia lipolytica</i>	Glicerol	40%	Gajdoš; Nicaud & Čertík, 2017
Levedura	<i>Yarrowia lipolytica</i>	Glicerol bruto	29%	Kumar et al., 2021
Levedura	<i>Cutaneotrichosporon oleaginosus</i>	Glicerol bruto	49%	Di Fidio et al., 2021
Levedura	<i>Rhodotorula mucilagenosa</i>	Glicerol bruto	65%	Bansal et al., 2020
Levedura	<i>Rhodotorula glutinis</i>	Glicerol bruto	34%	Karamerou; Theodoropoulos & Webb, 2016
Levedura	<i>Rhodospiridium toruloides</i>	Glicerol bruto e casca de laranja	64%	Carota et al., 2020
Fungo filamentososo	<i>Mortierella ramanniana</i>	Glicerol bruto	43%	Papanikolaou et al., 2017
Fungo filamentososo	<i>Mortierella isabelina</i>	Glicerol bruto	67%	Papanikolaou et al., 2017
Fungo filamentososo	<i>Mucor sp.</i>	Glicerol bruto	43%	Papanikolaou et al., 2017

Fonte: Autores, de acordo com as plataformas CAPES e *ScienceDirect*, 2021.

Em *M. isabelina*, os lipídios armazenados são em sua maioria neutros, além disso, sua composição total de ácidos graxos apresenta notáveis semelhanças com o óleo de *Brassica napus*, um excelente óleo para a produção de biodiesel (Papanikolaou et al., 2017). De acordo com Bansal et al. (2020), o perfil de ácidos graxos para a *R. mucilagenosa* é rico em ácido oleico (61,88%), ácido linoleico (16,17%) e ácido linolênico (1,03%) compreendendo ~80% de MUFA (ácidos graxos monoinsaturados) e PUFA (ácidos graxos poli-insaturados) de lipídios totais. Já em *R. toruloides*, os perfis de ácidos graxos dos lipídios se assemelham ao óleo de *Jatropha curcas*, matéria-prima amplamente utilizada para a produção de biodiesel (Carota et al. 2020).

4. Conclusão

Nessa revisão, pode-se observar a contribuição dos processos biotecnológicos para a sustentabilidade, sobretudo quando se trata de geração de energia renovável, como no caso do biodiesel. O coproduto glicerol, possui alto valor agregado, desde que possa ser reaproveitado. Assim, a utilização do glicerol residual como substrato para cultura de microrganismos demonstra ser uma rota promissora para o escoamento desse composto no mercado, como também, para a sustentabilidade dos processos para produção de Biodiesel.

Pesquisas nas áreas da microbiologia, biotecnologia e bioprocessos sugerem os óleos microbianos como uma substância versátil e de grande interesse mundial. Diante disso, a descoberta de novos microrganismos capazes de promover conversão de resíduos, demonstra ser um grande avanço para o campo científico. Deste modo, espera-se que esta revisão estimule o desenvolvimento de novos processos, principalmente para a destinação do glicerol bruto oriundo da cadeia dos biocombustíveis em *single cell oil*.

Referências

- Alves, A. P., Filho, G. M. R., & Mendes, M. F. (2017). Avaliação técnica de diferentes processos de separação para purificação do glicerol como subproduto. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 6(5), 955–982. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v6i5.52601>.
- Ayadi, I., Belghith, H., Gargouri, A., & Guerfali, M. (2018). Screening of new oleaginous yeasts for single cell oil production, hydrolytic potential exploitation and agro-industrial by-products valorization. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.07.012>.
- Bansal, N., Dasgupta, D., Hazra, S., Bhaskar, T., Ray, A., & Ghosh, D. (2020). Effect of utilization of crude glycerol as substrate on fatty acid composition of an oleaginous yeast *Rhodotorula mucilagenosa* IPL32: Assessment of nutritional indices. *Bioresource Technology*, 309, 123330. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123330>.
- Bettencourt, S. Miranda, C., Pozdniakova, T. A., Sampaio, P., Franco-Duarte, R., & Pais, C. (2020). Single cell oil production by oleaginous yeasts grown in synthetic and waste-derived volatile fatty acids. *Microorganisms*, 8(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111809>.
- Cao, X., Pan, Y., Wei, W., Yuan, T., Wang, S., Xiang, L., & Yuan, Y. (2021). Single cell oil production by *Trichosporon* sp.: Effects of fermentation conditions on fatty acid composition and applications in synthesis of structured triacylglycerols. *Lwt*, 148, 111691. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111691>.
- Cardoso, B. F., Shikida, F. A., & Finco, A. (2017). Análise Fatorial do Sistema Agroindustrial do Biodiesel no Brasil e na União Europeia. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 55(3), 551–568. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550308>.
- Carota, E., Petruccioli, M., D'annibile, A., & Crognale, S. (2020). Mixed glycerol and orange peel-based substrate for fed-batch microbial biodiesel production. *Heliyon*, 6(9), e04801. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04801>.
- Cintra, J. S. A., Portela, M. N., Silvany, T. C. de C., Pedroza, G. A. G., Santos, L. C. L. dos, & Lobato, A. K. de C. L. (2017). Influência do tempo de reação na produção de biodiesel via catálise heterogênea. *Holos*, 1, 195–204. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.5197>.
- Cozendey, D. A., Muniz, R. O., Dos Santos, R. C., De Souza, C. G., De Andrade, D. F., & D'Avila, L. A. (2021). Quantitative analysis of free glycerol in biodiesel using solidphase extraction and high-performance liquid chromatography. *Microchemical Journal*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106347>.
- Da Silva, M. P. D., Glória, J. J., Panta, D. A. S., & Vieira, G. E. G. (2021). Microalgas e a terceira geração de biocombustíveis: desafios atuais e perspectivas futuras. *Revista Desafios*, 8, 58–76, 2021. <http://dx.doi.org/10.20873/uftv8-11171>.
- Di Fidio, N., Minonne, F., Antonetti, C., & Galletti, A. M. R. (2021). *Cutaneotrichosporon oleaginosus*: A versatile whole-cell biocatalyst for the production of single-cell oil from agro-industrial wastes. *Catalysts*, 11(11), 1291. <https://doi.org/10.3390/catal11111291>.
- Diwan, B., Parkhey, P., & Gupta, P. (2018). From agro-industrial wastes to single cell oils: a step towards prospective biorefinery. *Folia Microbiologica*, 63(5), 547–568. <https://doi.org/10.1007/s12223-018-0602-7>.
- Dobrowolski, A., Mitula, P., Rymowicz, W., & Mironczuk, A. M. (2016). Efficient conversion of crude glycerol from various industrial wastes into single cell oil by yeast *Yarrowia lipolytica*. *Bioresource Technology*, 207, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.039>.
- Gajdoš, P., Nicaud, J. M., & Čertík, M. (2017). Glycerol conversion into a single cell oil by engineered *Yarrowia lipolytica*. *Engineering in Life Sciences*, 17(3), 325–332. <https://doi.org/10.1002/elsc.201600065>.
- Garlapati, V. K., Shankar, U., & Budhiraja, A. (2016). Bioconversion technologies of crude glycerol to value added industrial products. *Biotechnology Reports*, 9, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.11.002>.
- Guerfali, M., Ayadi, I., Belhassen, A., Gargouri, A., & Belghith, H. (2018). Single cell oil production by *Trichosporon cutaneum* and lignocellulosic residues bioconversion for biodiesel synthesis. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 292–304. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.11.002>.

- Guerfali, M., Ayadi, I., Sassi, H-E., Belhassen, A., Gargouri, A., & Belghith, H. (2020). Biodiesel-derived crude glycerol as alternative feedstock for single cell oil production by the oleaginous yeast *Candida viswanathii* Y-E4. *Industrial Crops and Products*, 145:112103. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112103>.
- Hyppolito, M. L. De Souza, L. A., Da Silva, J. I., Da Silva, F. C., & Lopes, F. L. (2021). Production and characterization of diesel mixtures with corn oil biodiesel. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(4). <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n4e8872>.
- Kamoun, O., Ayadi, I., Guerfali, M., Belghith, H., Gargouri, A., & Trigui-Lahiani, H. (2018). *Fusarium verticillioides* as a single-cell oil source for biodiesel production and dietary supplements. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.027>.
- Karamerou, E. E., Theodoropoulos, C., & Webb, C. A. (2016). Biorefinery approach to microbial oil production from glycerol by *Rhodotorula glutinis*. *Biomass and Bioenergy*, 89, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.01.007>.
- Kolouchová, I., Mat'átková, O., Sigler, K., Masák, J., & Rezanka, T. (2016). Lipid accumulation by oleaginous and non-oleaginous yeast strains in nitrogen and phosphate limitation. *Folia Microbiol*, 61(5):431–438. <https://doi.org/10.1007/s12223-016-0454-y>.
- Kumar, L. R., Kaur, R., Tyagi, R. D., & Drogui, P. (2021). Identifying economical route for crude glycerol valorization: Biodiesel versus polyhydroxy-butyrate (PHB). *Bioresource Technology*, 323, 124565. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124565>.
- Lopes, H. J. S., Bonturi, N., & Miranda, E. A. (2020). *Rhodotorula toruloides* single cell oil production using *Eucalyptus urograndis* hemicellulose hydrolysate as a carbon source. *Energies*, 13(4), 795. <https://doi.org/10.3390/en13040795>.
- Ma, X., Liu, F., Helian, Y., Li, C., Wu, Z., Li, H., & Zhou, S. (2021). Current application of MOFs based heterogeneous catalysts in catalyzing transesterification/esterification for biodiesel production: A review. *Energy Conversion and Management*, 229, 113760. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113760>.
- Madani, M., Enshaeieh, M., & Abdoli, A. (2017). Single cell oil and its application for biodiesel production. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.027>.
- Medeiros, J. F. Berni, J. V., Diório, A., Saraiva, A. C. B., Gomes, M. C. S., & Pereira, N. C. (2019). Remoção de cor da glicerina bruta por adsorção em carvão ativado vegetal. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 8(2). <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v8i2.65658>.
- Medina, J. D. C. Magalhães Junior, A. I., Zamora, H. D., & Melo, J. D. Q. (2019). Oil palm cultivation and production in South America: status and perspectives. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(5), 1202–1210. <https://doi.org/10.1002/bbb.2013>.
- Mhlongo, S. I. Ezeokoli, O. T., Roopnarain, A., Ndaba, B., Sekoai, P. T., Habimana, O., & Pohl, C. H. (2021). The potential of single-cell oils derived from filamentous fungi as alternative feedstock sources for biodiesel production. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.637381>.
- Oliveira, M. Ramos, A., Monteiro, E., & Rouboa, A. (2022). Improvement of the Crude Glycerol Purification Process Derived from Biodiesel Production Waste Sources through Computational Modeling. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031747>.
- Papanikolaou, S., Rontou, M., Belka, A., Athenaki, M., Gardeli, C., Mallouchos, A., & Aggelis, G. (2017). Conversion of biodiesel-derived glycerol into biotechnological products of industrial significance by yeast and fungal strains. *Engineering in Life Sciences*, 17, 262–281. <https://doi.org/10.1002/elsc.201500191>.
- Pardal, A., Fernandes, M. C., Éncinar, J. M., Sanches, N., & Chaves, H. (2017). Utilização do biodiesel: perspectiva química e ambiental. *Research and Networks in Health*, 1(3), 6.
- Parsons, S., Allen, M. J., & Chuck, C. J. (2020). Coproducts of algae and yeast-derived single cell oils: A critical review of their role in improving biorefinery sustainability. *Bioresource Technology*, 303, 122862. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122862>.
- Qin, L., Liu, L., Zeng, A-P., & Wei, D. (2017). From low-cost substrates to Single Cell Oils synthesized by oleaginous yeasts. *Bioresource Technology*, 245, 1507–1519. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.163>.
- Ram, S. K., Tyagi, R. D., & Drogui, P. (2018). Effect of sludge concentration and crude glycerol matrix as a substrate on the production of single-cell oil by oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica* SKY7. *Fermentation*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/fermentation4020024>.
- Ramos, L. P., Kothe, V., César-Oliveira, M. A. F., Muniz-Wypych, A. S., Nakagaki, S., Krieger, N., Wypych, F., & Cordeiro, C. S. (2017). Biodiesel: Raw materials, production technologies and fuel properties. *Revista Virtual de Química*, 9(1), 317–369. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>.
- Rezende, D. B., & Pasa, V. M. D. (2017). Tendências e oportunidades para pesquisas em biocombustíveis. *The Journal of Engineering and Exact Sciences - JCEC*, 03, 561–572. <https://doi.org/10.18540/2446941602012016001>.
- Sagia, S., Sharma, A., Singh, S., Chaturvedi, S., Nain, P. K. S., & Nain, L. (2020). Single cell oil production by a novel yeast *Trichosporon mycotoxinivorans* for complete and ecofriendly valorization of paddy straw. *Electronic Journal of Biotechnology*, 44, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2020.01.009>.
- Schirmer, W. N., & Ribeiro, C. B. (2017). Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. *BIOFIX Scientific Journal*, 2(2), 16–22. <dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53539>.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., Sharma, K. P., & Jhalani, A. (2020). Review article A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel*, 262, 116553. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>.
- Uprety, B. K., Dalli, S. S., & Rakshit, S. K. (2017). Bioconversion of crude glycerol to microbial lipid using a robust oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides* ATCC 10788 capable of growing in the presence of impurities. *Energy Conversion and Management*, 135, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.071>.

Varão, L. H. R., Silva, T. A. L., Zamora, H. D. Z., & Pasquini, D. (2017). Vantagens e limitações do sebo bovino enquanto matéria prima para a indústria brasileira de biodiesel. *Holos*, 7, 39–54. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.5010>

Viñarta, S. C., Angelicola, M. V., Barros, M., Fernandez, P. M., Cormal, W. M., Aybar, M. J., & Figueroa, L. I. C. (2016). Oleaginous yeasts from Antarctica: Screening and preliminary approach on lipid accumulation. *Journal of Basic Microbiology*, 56(12), 1360–1368. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600099>.

Vuono, F. M. (2021). *Usabilidade de ícones em Ambientes Virtuais de Aprendizagem: uma análise pela ótica da neurociência e da experiência do usuário*. Tese, Programa de Pós-graduação em Design - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Wang, G., Bai, T., Miao, Z., Ning, W., & Liang, W. (2018). Simultaneous production of single cell oil and fumaric acid by a newly isolated yeast *Aureobasidium pullulans* var. *aubasidani* DH177. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41(11), 1707–1716. <https://doi.org/10.1007/s00449-018-1994-0>.

Yoshinaga, F., Santos, A. S., Moura, B. F. S., & Bortoleto, G. G. (2020). Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras. *Bioeneria em Revista: Diálogos*, 10(1), 73–91.

Zuccaro, G., Del Mondo, A., Pinto, G., Pollio, A., & De Natale, A. (2021). Biorefinery-based approach to exploit mixed cultures of *Lipomyces starkeyi* and *Chloroidium saccharophilum* for single cell oil production. *Energies*, 14(5), 1340. <https://doi.org/10.3390/en14051340>.