



Estratégias Inovadoras na Transformação de Lipídios Descartados no Ambiente em Insumos Econômicos

Innovative Strategies in Transforming Lipids Discarded in the Environment Into Economic Inputs

Danielle Lourenço Ferreira

Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9508-5982>

José Alexandre Mariano Oliveira

Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5088-712X>

Joyce Alves de Oliveira

Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1384-1991>

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Escola de Tecnologia e Comunicação Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. Universidade de Pernambuco – UPE. 52050-900 Recife, PE ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>

Galba Maria de Campos-Takaki

Escola de Tecnologia e Comunicação, Coordenadora do Centro Multiusuário Biomoléculas e Superfície de Materiais – CEMACBIOS, MCTI/ Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. 52050-900 Recife, PE ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>

Resumo: Protocolos de logística reversa foram aplicados às diversas fontes de lipídios descartadas por indústrias e fontes residuais, analisando o potencial como insumo na economia circular. Caracterizado por demonstrar elevada toxicidade quando descartado de forma precária, este efluente acarreta danos deletérios ao solo, aos recursos hídricos e à atmosfera. Considerando a necessidade de mitigar passivos ambientais e liberar a exploração de matérias-primas primárias, a reciclagem emerge como um instrumento estratégico como alternativa sustentável. O estudo destaca a versatilidade do óleo e de outros resíduos pós-consumo, que transcende a manufatura convencional de sabão para atuar como substrato primordial na síntese de biodiesel. Discute-se, ainda, de forma comparativa a produção de biodiesel por microrganismos oleaginosos, como microalgas e leveduras nesse processo, em que a ação metabólica de microrganismos específicos converte o resíduo em biodiesel, reduzindo a dependência de combustíveis de fontes fósseis. Portanto, o reaproveitamento industrial abrange desde massas asfálticas até insumos químicos, configurando um nicho de elevada viabilidade ecológica e econômica para o empreendedorismo sustentável.

Palavras-chave: logística reversa; óleo residual; biotecnologia; sustentabilidade; economia circular.

Abstract: Reverse logistics protocols were applied to various sources of lipids discarded by industries and residual sources, analyzing their potential as inputs in the circular economy. Characterized by exhibiting high toxicity when improperly disposed of, this effluent causes deleterious damage to soil, water resources, and the atmosphere. Considering the need to mitigate environmental liabilities and reduce the exploitation of primary raw materials, recycling emerges as a strategic instrument and a sustainable alternative. The study highlights the versatility of oil and other post-consumption residues, which goes beyond the conventional

manufacture of soap to act as a primary substrate in biodiesel synthesis. It also comparatively discusses biodiesel production by oleaginous microorganisms, such as microalgae and yeasts, in this process, in which the metabolic activity of specific microorganisms converts waste into biodiesel, reducing dependence on fossil fuel sources. Therefore, industrial reuse ranges from asphalt mixtures to chemical inputs, constituting a niche of high ecological and economic viability for sustainable entrepreneurship.

Keywords: reverse logistics; waste oil; biotechnology; sustainability; circular economy.

INTRODUÇÃO

Os lipídios são biomoléculas presentes em animais, vegetais e organismos microbianos que desempenham funções estruturais, como composição de membranas celulares, formação de lipoproteínas, sais biliares, armazenamento energético, hormônios e vitaminas lipossolúveis (Domínguez *et al.*, 2022). Entre os compostos lipídicos destaca-se o óleo vegetal, uma substância hidrofóbica formada por cadeias orgânicas, obtida de sementes oleaginosas através do processo de prensagem ou extração e caracterizada por apresentar estado líquido à temperatura ambiente, elevada viscosidade e baixa volatilidade (Silva *et al.*, 2023).

Devido à sua imiscibilidade e menor densidade em relação à água, o óleo descartado em corpos hídricos forma uma película superficial que reduz as trocas gasosas e os níveis de oxigênio dissolvido (Merman *et al.*, 2023; Santana; Nascimento, 2025), criando um bloqueio que dificulta a penetração da luz solar, comprometendo a fotossíntese e causando impactos à fauna e flora aquáticas podendo levar a hipóxia e a mortalidade da fauna aquática (Qi *et al.*, 2009; Santana; Nascimento, 2025). O descarte inadequado de óleo promove a fitotoxicidade, infertilidade do solo e maior suscetibilidade à erosão ao criar uma barreira hidrofóbica que prejudica a infiltração de água e a absorção de nutrientes pelas plantas (Stephens, 2025).

No Brasil, o consumo de óleo vegetal alcançou cerca de 9,78 bilhões de litros em 2023, com projeção de 11,4 bilhões de litros para 2025. Apesar do consumo elevado, menos de 10% do óleo é reciclado, enquanto a maior parte é descartada inadequadamente, causando impactos ambientais irreversíveis (ABIOVE, 2026). Portanto, investigações e estratégias de valorização de óleos residuais têm sido desenvolvidas através de rotas tecnológicas, possibilitando sua conversão em produtos de valor econômico, como sabão, biodiesel, emulsificantes, cosméticos, plásticos biodegradáveis e fungicidas, contribuindo para a redução dos danos ambientais (ABIOVE, 2026).

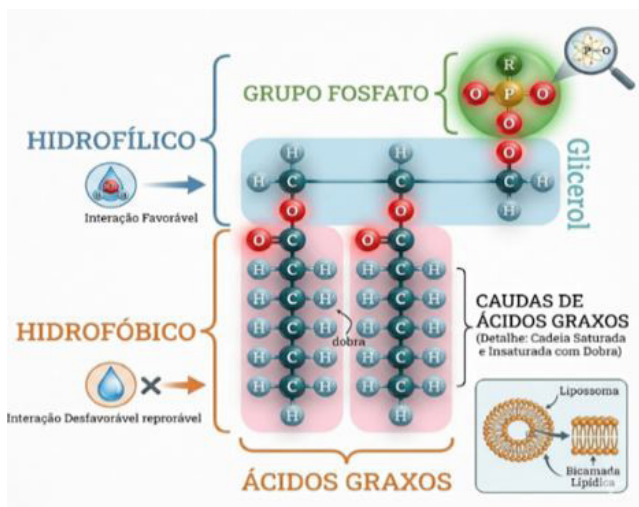
METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão narrativa integrativa com busca e seleção de artigos, relatórios e demais documentos científicos publicados, majoritariamente, entre 2010 e 2025. As pesquisas foram direcionadas para conteúdos relacionados à definição de lipídios, à contextualização sobre lipídios, impactos ambientais gerados por seu descarte de forma indevida e à importância da sua reutilização.

LIPÍDIOS

Os lipídios constituem um grupo heterogêneo de compostos naturais caracterizados pela insolubilidade em água e solubilidade em solventes orgânicos apolares, embora não exista uma definição única e universalmente aceita devido à complexidade molecular (Thode Filho, 2017; Domínguez *et al.*, 2022). Quimicamente, são formados principalmente por carbono, hidrogênio e oxigênio, podendo também conter fósforo, nitrogênio e enxofre em estruturas mais complexas. Sua unidade estrutural mais comum é o ácido graxo (Figura 1), composto por uma cadeia hidrocarbonada ligada a um grupo carboxila (Domínguez *et al.*, 2022).

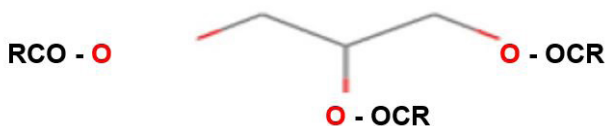
Figura 1 - Representação de uma estrutura lipídica.



Fonte: Os autores (2026).

Os lipídios possuem uma classificação física mais comum que os divide em gorduras (sólidas em temperatura ambiente) e óleos (líquidos em temperatura ambiente) (Krüger; Dourado; Nascimento, 2009; Domínguez *et al.*, 2022). Essa diferença de estado físico é determinada pelo grau de saturação das cadeias de ácidos graxos: gorduras sólidas possuem maior índice de ácidos graxos saturados, enquanto óleos líquidos apresentam elevados níveis de insaturações (Ribeiro; Seravalli, 2004; Thode Filho, 2017). Os óleos vegetais, por exemplo, são formados predominantemente por ésteres de triacilgliceróis (Figura 2), resultantes da esterificação entre o glicerol e três moléculas de ácidos graxos (Thode Filho, 2017; Santos; Pereira; Rocha, 2025).

Figura 2 - Estrutura do Triacilglicerol (TAG).



Fonte: Domínguez *et al.*, 2022 (adaptado).

Segundo a literatura de Domínguez *et al.* (2022), a classificação baseada na estrutura química é a mais precisa, dividindo-os em três grupos principais: simples, complexos e derivados, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação Estrutural dos Lipídios.

Grupo	Subtipo	Descrição
Simples	Acilgliceróis	Ésteres de ácidos graxos com glicerol (ex.: triacilgliceróis).
	Ceras	Ésteres de ácidos graxos com álcoois de cadeia longa.
Complexos	Fosfolipídios	Contêm um grupo fosfato além de ácidos graxos e álcool.
	Glicolipídios	Possuem carboidratos em sua estrutura (açúcares).
Derivados	Ácidos Graxos	Unidades básicas obtidas por hidrólise de lipídios neutros.
	Esteroides	Estrutura de quatro anéis aromáticos (ex.: colesterol).
	Isoprenoides	Compostos derivados do isoprene (ex: carotenoides).

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Seravalli (2004) e Domínguez *et al.* (2022) .

Lipídios Simples

O glicerol representam cerca de 98% dos lipídios dietéticos. Os triacilgliceróis (TAG) são os principais constituintes dos óleos e gorduras, servindo como a principal forma de armazenamento de energia. Já as ceras possuem função protetora em animais e plantas devido ao seu caráter impermeável (Domínguez *et al.*, 2022).

Lipídios Complexos

Os fosfolipídios são moléculas anfipáticas (possuem uma parte polar e outra não polar), o que os torna ideais para a formação de membranas celulares. Os glicolipídios estão presentes principalmente na face extracelular da membrana, atuando em processos de reconhecimento celular (Domínguez *et al.*, 2022).

Lipídios Derivados

Incluem os ácidos graxos livres, que podem ser saturados ou insaturados. Entre os esteroides, o colesterol é o mais abundante e importante em animais, sendo precursor de hormônios e vitamina D. Os isoprenoides, como os carotenoides, funcionam como pigmentos e antioxidantes naturais (Domínguez *et al.*, 2022).

Funções e Utilizações dos Lipídios

Os lipídios desempenham funções multivariadas que podem ser divididas em biológicas e tecnológicas: 1) Reserva Energética: Fornecem aproximadamente 9 kcal/g, sendo a principal forma de armazenamento de energia em animais e vegetais (Domínguez *et al.*, 2022); 2) Componente Estrutural: São essenciais para a formação das biomembranas (membrana celular e mitocondrial), garantindo a integridade celular (Domínguez *et al.*, 2022); 3) Isolamento Térmico e Proteção: Atuam como isolantes térmicos através da deposição subcutânea e protegem órgãos vitais (Domínguez *et al.*, 2022); 4) Precursores Metabólicos: São fundamentais para

a síntese de hormônios esteroides, sais biliares e vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) (Domínguez *et al.*, 2022; Krüger; Dourado; Nascimento, 2009); 5) Propriedades Sensoriais e Tecnológicas: Na indústria de alimentos, são responsáveis por conferir aroma, sabor e textura (palatabilidade e suculência) aos produtos. Além disso, facilitam a dispersão de antioxidantes e pigmentos (Domínguez *et al.*, 2022). 6) Aplicações Industriais: Além da alimentação, são utilizados na fabricação de biodiesel, sabões, tintas, lubrificantes e cosméticos (Krüger; Dourado; Nascimento, 2009; Thode Filho, 2017; Cruz *et al.*, 2019).

DESCARTE DOS LIPÍDIOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

O descarte inadequado de óleos vegetais e gorduras animais constitui um dos maiores desafios para a gestão de resíduos sólidos urbanos, visto que se trata de um importante problema ambiental devido ao seu descarte inadequado (Thode Filho *et al.*, 2013; ABIOVE, 2026). A maior parte é descartada predominantemente em redes de esgoto através de pias e vasos sanitários, no solo ou no lixo comum, provocando contaminação ambiental e impactos sobre diferentes ecossistemas. O descarte do óleo em recipientes plásticos, como tentativa de minimizar os danos, não impede a poluição, pois acaba se espalhando e contaminando outros resíduos ao serem prensados pelo maquinário do veículo responsável pela coleta urbana. O material pode se espalhar durante a coleta e a disposição final dos resíduos (Thode Filho, 2017).

Figura 3 - Impactos do descarte inadequado de lipídios por meio de receptor.



Fonte: Adaptado de Krüger; Dourado; Nascimento (2009); Thode Filho (2017); Santos; Pereira; Rocha (2025).

Contaminação de Águas e Solos

Os estudos de Krüger, Dourado e Nascimento (2009) e Cruz *et al.* (2019) descrevem que um único litro de óleo descartado no esgoto tem o potencial de poluir até um milhão de litros de água, o que equivale ao consumo médio de uma pessoa durante 14 anos. Nos rios, o óleo impede a oxigenação e a entrada de luz solar necessária para a fotossíntese do fitoplâncton, base da cadeia alimentar aquática (Thode Filho, 2017; Santana; Nascimento, 2025). Os autores confirmam que, no solo, os lipídios ocupam os espaços porosos destinados ao ar e à água,

impedindo que plantas e microrganismos absorvam nutrientes essenciais, além do mais, a infiltração de óleo vegetal pode atingir o lençol freático, contaminando reservatórios subterrâneos de água potável.

Impacto no Aquecimento Global

Uma outra problemática emergente e crítica é a contribuição do óleo residual para o efeito estufa. Quando o óleo descartado no solo ou em aterros se decompõe de forma anaeróbia (sem o consumo de O_2), ocorre a emissão de gás metano (CH_4) que possui um Potencial de Aquecimento Global (PAG) cerca de 25 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO_2). Estima-se que o volume de óleo coletado em apenas uma cidade de médio porte em 2023 teria potencial para gerar um impacto equivalente à liberação anual de 1.200 veículos de passeio se descartado incorretamente (Santos; Pereira; Rocha, 2025)

SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS INDUSTRIAIS

Saponificação, Transformando o Óleo Residual

Os óleos são substâncias amplamente utilizadas em diversos setores industriais e domésticos, principalmente na área alimentícia. Recomenda-se o uso racional desses produtos, e a redução da sua reutilização excessiva, especialmente em frituras, pois promovem alterações químicas que, além de gerar modificações físicas e sensoriais, como escurecimento, aumento da viscosidade, diminuição do ponto de fumaça e alterações de aroma e sabor, também reduzem a concentração de ácidos graxos poli-insaturados e favorecem a formação de ácidos graxos trans, associados ao aumento do risco de doenças cardiovasculares (Tolentino, 2015; Sanibal; Mancini-Filho, 2009). O óleo residual pode ser reaproveitado na produção de produtos como sabões e detergentes através do processo de saponificação, reduzindo impactos ambientais e contribuindo para a economia circular. Seu descarte adequado evita a contaminação da água e do solo, tornando a reciclagem uma importante estratégia de mitigação ambiental, passível de aplicação tanto em nível doméstico quanto em cooperativas (Mello, 2001 *apud* Martins; Conti; Lisboa, 2010).

Na fabricação de sabão, o óleo usado é filtrado para remoção de impurezas e submetido à reação de saponificação, na qual triglicerídeos reagem com uma base forte, geralmente um hidróxido de sódio, produzindo glicerol e sais de ácidos graxos (sabão) (Bertê; Fantinel; Fernandes, 2014). Quando a reação ocorre com hidróxido de sódio (NaOH), obtém-se sabão duro; com hidróxido de potássio (KOH), forma-se sabão mole (Bertê; Fantinel; Fernandes, 2014).

Figura 4 - Reação de saponificação, hidrólise alcalina de óleos na preparação de sabão.



Fonte: Adaptado pelos autores.

Biocombustível: Produção de Biodiesel Através de Diferentes Fontes de Lipídeos

A produção de biocombustíveis tem se mostrado cada vez mais promissora no combate à poluição ambiental, visto que possibilita a redução de gases poluentes e a reutilização de óleos descartados, tornando-se uma alternativa de energia limpa, viável e eficaz, além de uma forma de evolução, em que podemos superar cada vez mais a dependência de combustíveis fósseis.

De acordo com o relatório de Análise Estatística da Energia Mundial do Energy Institute (2025), as emissões globais aumentaram em média 2,3% ao ano desde a Covid-19. Em 2024 houve um aumento na demanda por formas de energia, algo que não ocorria desde 2006. As energias renováveis, excluindo a hidrelétrica, continuam sendo a fonte de energia de crescimento mais rápido, com um aumento de 9%, seguidas pela hidrelétrica com 4% e pela nuclear com 3%. Em termos de combustíveis fósseis, o gás natural apresentou o maior aumento, com 2,5%, seguido pelo carvão com 1%, e o petróleo registrou um aumento modesto de 0,6%. O petróleo permanece como a principal fonte de energia, atendendo a 34% da demanda total de energia, com um aumento de 0,6% da produção global, atingindo 97 milhões de barris por dia. Os EUA lideraram essa expansão, com a produção atingindo um nível recorde, ultrapassando a marca de 20 milhões de barris por dia pela primeira vez.

Ainda de acordo com a Energy Institute (2025), o Brasil está em 1º lugar na lista de fornecimento total de energia por combustível na América do Sul e em 6º lugar no mundo todo. Em relação à emissão mundial de dióxido de carbono proveniente da energia, o Brasil está em 12º lugar. A produção global de biocombustíveis cresceu mais de 8%, com os EUA como o maior produtor mundial, respondendo por 37% da produção global. Além disso, os EUA, o Brasil e a Europa, juntos, representam cerca de 75% do consumo mundial de biocombustíveis, com o Brasil produzindo 510 mil barris por dia.

O CO₂ que é liberado através da queima de combustíveis considerados limpos é consumido pelas plantas, sendo considerado assim um produto neutro

em carbono, diferentemente do que é liberado através da queima de combustíveis fósseis (Duarte *et al.*, 2022). O dióxido de carbono liberado durante a combustão dos biocombustíveis não fornece nenhum CO₂ adicional ao ambiente, visto que é consumido pelas plantas por meio da fotossíntese, fazendo parte do ciclo biogênico. No entanto, a queima dos combustíveis convencionais pode conter resquícios de fontes fósseis e, portanto, não consegue ser reabsorvida pelas plantas, tornando-se um carbono “não neutro”, contribuindo para o aumento no nível de emissões globais (SEBOS, 2022).

Os biocombustíveis são classificados conforme sua matéria-prima, podendo ser de primeira, segunda, terceira ou quarta geração. Os de primeira geração são oriundos de matérias-primas alimentares, como amido, açúcar e oleaginosas; exemplos são etanol, biodiesel e biogás. Os de segunda geração são produzidos a partir de biomassa não comestível, como resíduos agrícolas, florestais e industriais, como exemplos, o etanol 2G, biometano e biohidrogênio. Os de terceira geração são produzidos a partir de algas como fonte de energia. Biocombustíveis de quarta geração envolvem o uso de técnicas de alterações genéticas da cultura a ser empregada na produção (Fernandes *et al.*, 2024). As políticas e planos governamentais que incentivam redução dos Gases do Efeito Estufa (GEE) trouxeram uma visibilidade maior para a produção de biocombustíveis que podem ter objetivos diferente conforme cada país, como é o caso dos EUA, Brasil, China e Índia que visam a busca pela segurança energética e o desenvolvimento do setor agrícola, ou países membros da União Europeia e o Canadá que tem como incentivo questões ambientais (Duarte *et al.*, 2022).

Biodiesel – Tecnologias de produção

O biodiesel funciona como o substituto natural do diesel de petróleo e pode ser gerado através dos óleos vegetais, óleos residuais, óleos vegetais provenientes da fritura de alimentos, gorduras animais; porém, a qualidade vai depender do tipo de matéria-prima a ser utilizada e das impurezas presentes em sua composição. Outras opções inusitadas, como borra de refino do óleo de dendê, presente em rejeitos oriundos de processos de refino e de tratamento de efluentes, e ácidos graxos de tall oil, como subproduto na fabricação da pasta de celulose por processos alcalinos, também se mostraram promissores na produção de biodiesel. Produtos de reações hidrolíticas e oxidativas podem ser encontrados em óleos utilizados para a cocção de alimentos. A presença de iodo em um índice elevado faz com que o biodiesel se torne inadequado para o uso direto em motores do ciclo diesel por se tornar mais suscetível à oxidação. O alto teor de ácidos graxos saturados demonstrou problemas relacionados à solidificação em baixas temperaturas, aumentando a viscosidade de ésteres saturados e entupindo os filtros de óleo e os do sistema de injeção, tornando-se inadequado ao uso (Ramos *et al.*, 2011).

A utilização de óleos extraídos de microalgas como as cianobactérias, algas verdes, algas vermelhas ou diatomáceas. Mesmo que ainda não utilizado, diversos fatores fizeram com que estes organismos pudessem se tornar uma alternativa com elevado potencial, as altas taxas de crescimento e capacidade de produção de óleos

ricos em ácidos graxos, podendo ser convertidos em um produto de alta qualidade e uma solução para a produção em larga escala, evitando impactos ambientais que podem ser apresentados através da utilização de óleos mais comuns, como o de milho e soja, por exemplo (Chiaranda *et al.*, 2024).

A biomassa das microalgas é composta por proteínas, carboidratos e lipídios, em que os lipídios são extraídos das microalgas, podendo ser acumulados através de indução, aumentando o seu rendimento. As microalgas apresentam um alto rendimento (próximo a 100 %) e seu conteúdo lipídico pode variar de 1 a 70 % em peso seco, podendo atingir até 90 %. Elas podem produzir pelo menos 30 vezes mais energia por hectare e em áreas menores em comparação com as culturas terrestres de óleo de soja e milho, podendo produzir 137.000 litros de óleo de microalga por hectare por ano em ambientes de água salgada ou doce. Graças às suas condições climáticas e à diversidade de espécies, o Brasil possui condições ideais para que as microalgas se tornem uma das maiores fontes de biocombustível no país (Chiaranda *et al.*, 2024).

O cultivo das microalgas pode ser realizado através do sistema aberto (raceway) que é constituído por lagoas em formato de canais de recirculação independentes, chamados de pistas de corrida, onde pás fixas no início de cada lagoa proporcionam a agitação da água. A produção também pode ocorrer através de fotobiorreatores, sistemas fechados constituídos por tubos de plástico, vidro ou policarbonato que permitem controle da quantidade de nutrientes, temperatura, iluminação e pH, permitindo uma alta produtividade de biomassa quando comparados aos sistemas abertos. O cultivo de microalgas ocorre pela conversão de dióxido de carbono (CO₂), energia luminosa, nutrientes inorgânicos, elementos essenciais como nitrogênio (N), fósforo (P) e ferro, além do contato com a atmosfera que pode ser reduzido no caso de sistemas fechados ou direto no caso de sistemas abertos (Chiaranda *et al.*, 2024) (Figura 05).

Figura 5 - Tanques com canais para cultivo de microalgas (sistema raceway).



Fonte: Libreentrierios (2022).

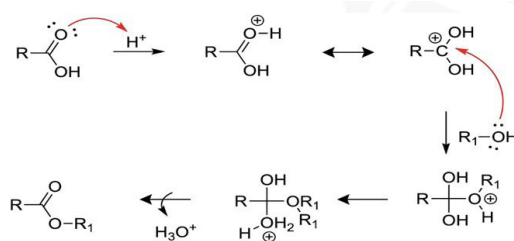
Biodiesel – Metodologias de produção

O biodiesel é produzido a partir da reação entre um álcool com ácidos graxos ou triglicerídeos e um catalisador. Dois tipos de mecanismos são os mais utilizados para a produção, a esterificação e a transesterificação.

- Produção por esterificação

Durante o processo, o álcool (etanol ou metanol) e um catalisador ácido reagem com o ácido graxo, formando éster e água (Figura 6). A catálise pode ocorrer de forma homogênea, em que a remoção do catalisador é realizada por lavagem com álcool e extração, resultando em menor rendimento, ou de forma heterogênea, utilizando catalisadores enzimáticos em baixas temperaturas, o que reduz significativamente a contaminação do produto final e facilita a recuperação e o reaproveitamento do catalisador (Santos *et al.*, 2021). Quimicamente, o catalisador ácido liga-se ao grupo carbonila do ácido graxo, formando um carbocátion. Em seguida, o álcool R₁-OH realiza um ataque nucleofílico, originando uma estrutura intermediária tetraédrica que elimina água, formando o éster e regenerando o catalisador H (Ramos *et al.*, 2011).

Figura 6 - Representação da esterificação dos ácidos graxos.

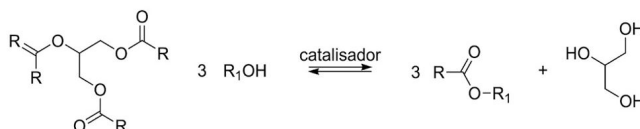


Fonte: Ramos *et al.*, 2011.

- Produção por transesterificação

A produção por transesterificação é o método mais comum para a produção de biodiesel e ocorre através da reação entre um álcool, um triglicerídeo e um catalisador ácido ou base, resultando na produção de éster e glicerol (Figura 7). Nesta reação, 3 mol de álcool irão reagir com 1 mol do triglicerídeo com a presença de um catalisador que pode ser do tipo homogêneo, heterogêneo ou enzimático, sendo o meio alcalino homogêneo mais comum. Ao ser adicionado o catalisador à reação, ocorre um ataque nucleotídico no carbono da carbonila do triacilglicerol, formando um tetraédrico que elimina uma molécula de éster metílico e forma outro íon alcóxido, originando um diacilglicerol. Essa reação é repetida mais duas vezes, originando outras duas moléculas de ésteres metílicos e uma molécula de glicerol. Ao optar pelo catalisador, deve-se levar em consideração seu resultado final, em que a alcoólise em meio alcalino pode levar à formação de sabões que inibem a alcoólise ou diminuem o rendimento do processo, em meio ácido homogêneo requer condições de trabalho mais enérgicas e temperaturas próximas da ebulição do álcool (Ramos *et al.*, 2011).

Figura 7 - Representação da transesterificação dos ácidos graxos.



Fonte: Ramos *et al.* (2011).

Microorganismos na Produção de Lipídios e suas Aplicações Tecnológicas

A implementação de biorrefinarias tem impulsionado a busca por produções inovadoras e tecnológicas voltadas à geração de bioenergia que possam suprir a necessidade industrial. A utilização de resíduos de óleos vegetais como insumos enfrenta limitações devido à baixa disponibilidade desses materiais, tornando o uso de microrganismos como produtores de insumos uma alternativa viável.

A biomassa lipídica produzida por microrganismos apresenta vantagens em relação aos insumos convencionais, principalmente pelo baixo custo e pela facilidade de obtenção de substratos residuais utilizados nos meios de cultura. Resíduos como madeira, casca de amendoim, casca e borra de café, palha de arroz, bagaço e palha de cana-de-açúcar são frequentemente descartados de forma inadequada ou subutilizados, o que reduz seu valor comercial (Bento, 2020).

A utilização de leveduras oleaginosas mostrou-se viável graças à sua maior tolerância a alguns monossacarídeos que podem ser formados durante o tratamento da biomassa, como ácido fórmico, furfural e 5-hidroxiacetilfurfural (5-HMF), que comprometem o crescimento celular e reduzem a eficiência fermentativa. Além disso, elas são capazes de metabolizar os monômeros liberados da fração hemicelulósica, inclusive pentoses, de forma eficiente (Franca, 2025).

Os lipídios de origem microbiana são semelhantes aos lipídios de origem vegetal, podendo ser utilizados na produção de biodiesel, emulsificantes, cosméticos, plásticos biodegradáveis e fungicidas, além de outros derivados oleoquímicos. A produção dos óleos ocorre após a fase estacionária de crescimento celular, em uma situação em que os níveis de nitrogênio no meio estão baixos, fazendo com que o organismo entre em um estado de estresse nutricional (Franca, 2025).

Utilização de óleo de soja em meio de cultura microbiológico

Meios de cultura microbiológicos são reagentes químicos que proporcionam nutrientes e um ambiente adequado e ideal para o crescimento e a proliferação de microrganismos como fungos e bactérias, variando conforme o microrganismo que será utilizado e suas características, necessidades e especificações. Os meios variam entre líquidos, sólidos, seletivos, diferenciais, enriquecidos e de transporte, além de terem composições diferentes. Podem ser encontrados meios de cultivo prontos ou de preparo, em que será necessário adicionar outros compostos para a criação de um ambiente propício para o crescimento do microrganismo escolhido (SPLabor, 2024).

- Óleo de soja residual no crescimento de rizobactérias amazônicas

Rizobactérias são microrganismos encontrados na rizosfera, área próxima às raízes das plantas, promovendo crescimento vegetal e beneficiando o desenvolvimento das plantas (Castaño *et al.*, 2021). Graças a isso, foi desenvolvido um interesse biotecnológico voltado para estes organismos, visando a sua utilização como estimulantes no crescimento de culturas, agentes de biocontrole,

descontaminação do solo, reflorestamento, restauração de ecossistemas, biossurfactantes, entre outros.

Um estudo elaborado por Rodrigues *et al.* (2023) visou estudar a aplicação de óleo de soja residual no crescimento de rizobactérias oriundas da Amazônia. Foram selecionadas 61 espécies com potencial biotecnológico. As rizobactérias estavam armazenadas em tubos com meio YMA (Yeast Mannitol Agar) e foram inoculadas por esgotamento em placas de Petri contendo meio YMA e incubadas em Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD) por 96 horas a $\pm 28^{\circ}\text{C}$ para a sua reativação.

Foi analisado visualmente, para o critério de seleção, o crescimento bacteriano em placa de Petri utilizando meio ágar YMA, meio ágar extrato de levedura (0,5 g.L-1) e meio ágar mineral INPA. Foi realizado o espalhamento de 200 μL de óleo residual de soja nos três meios à temperatura de $\pm 28^{\circ}\text{C}$, em quadruplicata, sendo analisado por 96 horas. Foram consideradas rizobactérias com crescimento elevado, aquelas com nota acima de 3,06 nos meios testados, possibilitando a avaliação da sua adaptabilidade e da utilização do óleo residual de soja e/ou outra fonte de carbono nos meios (Rodríguez *et al.*, 2023).

Apenas 7 das 61 rizobactérias selecionadas não apresentaram um crescimento satisfatório, indicando que elas são sensíveis à presença do óleo residual de soja. Em 24 horas, do total de 61 rizobactérias, 45 mostraram crescimento classificado como ótimo em YMA (M1) (nota acima de 3,06), não havendo modificação das notas até as 96 horas de avaliação. Após 24 horas de incubação, foi possível observar que, no meio contendo apenas extrato de levedura e óleo de soja, 42 das rizobactérias mostraram crescimentos elevados, aumentando para 46 após 96 horas de incubação. Já em relação ao meio INPA acrescido de óleo de soja, nenhuma das 61 rizobactérias mostrou crescimento elevado após 24 e 96 horas de incubação, em que apenas 42 apresentaram nota mínima, 1,0. Por fim, em relação ao meio de cultura INPA contendo os micronutrientes Se^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} e tampões fosfatos, ao ser adicionado o óleo residual de soja, observou-se que as bactérias não mostraram boa adaptação quando comparadas aos outros dois meios de cultivo, também enriquecidos com o óleo de soja.

- Utilização de óleo vegetal no crescimento de fungos produtores de lipases e biossurfactantes

O processo de biorremediação utilizando microrganismos vem sendo utilizado com mais frequência com o passar dos anos, graças à capacidade de sintetizar uma série de enzimas catalíticas, as quais podem apresentar uma baixa especificidade aos substratos. Fungos filamentosos têm demonstrado ser eficientes em processos de recuperação da degradação ambiental, devido à sua maior tolerância a compostos tóxicos no ambiente, ao pH extremamente ácido ou básico, à produção de enzimas e à utilização de alguns poluentes como substratos para seu metabolismo, tornando-se uma opção ecologicamente correta, eficiente e com um bom custo-benefício (Lira, 2020).

Um estudo proposto por Costa *et al.* (2015) buscou estudar a utilização de fungos filamentosos isolados de resíduos procedentes de uma refinaria de

petróleo, localizada em Canoas (RS, Brasil) e de uma refinaria de óleo vegetal, localizada em Gaspar (SC, Brasil). Os fungos foram analisados de acordo com seus aspectos macromorfológicos, como cor, textura, relevo e bordas das colônias, e micromorfológicos através da morfologia das hifas fúngicas da colônia.

Os fungos isolados foram cultivados em placas de Petri contendo meio de cultivo sólido composto por: NaNO_3 , KH_2PO_4 , MgSO_4 , $7\text{H}_2\text{O}$, extrato de levedura, peptona e ágar bacteriológico. Foi adicionado 1% de óleo de soja como fonte de carbono. Um disco de micélio de 9 mm de cada estirpe foi inserido no centro de uma placa de Petri contendo o meio de cultivo e incubado por 5 dias a uma temperatura de 25 °C. O crescimento micelial radial foi mensurado utilizando um paquímetro, medindo-se o diâmetro em duas posições perpendiculares, obtendo-se, deste modo, o raio médio das colônias a cada 24 horas. Os ensaios foram realizados em triplicata (Costa *et al.*, 2015). Ao fim do experimento, foi possível realizar a identificação de 9 dos 24 fungos filamentosos testados, sendo eles dos gêneros *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus* e *Scopulariopsis*. Estes fungos vêm demonstrando grande capacidade de crescimento e síntese de compostos como lipases e biossurfactantes na presença de substratos oleosos, além da sua utilização em tratamentos e reutilização de águas residuais contendo óleo de oliva. Em relação aos ensaios, o fungo LEB 029 (não identificado) apresentou a mais elevada velocidade específica de crescimento no óleo de soja residual dentre os fungos estudados, com rápida adaptação já nas primeiras horas de cultivo. O fungo LEB 033 (não identificado) apresentou diferença significativa de crescimento no meio com óleo de soja virgem, mas também um bom crescimento no meio contendo óleo residual. O óleo de soja residual proporcionou indução no crescimento microbiano de LEB 022, 025, 032 e 042, identificados como *Penicillium sp.*, e apresentou elevada velocidade específica de crescimento em meio contendo óleo residual já nas primeiras 24 horas de cultivo (Costa *et al.*, 2015).

Os isolados LEB022 (*Penicillium sp.*), 025 (*Aspergillus niger*), 029, 033, 039, 040 (*Rhizopus sp.*), 042 e 044 (*Rhizopus sp.*) apresentaram melhores performances de crescimento em meio contendo óleo de soja residual quando comparado ao meio branco, com destaque para o fungo LEB 029. Isto significa que é possível selecionar e identificar fungos que apresentam potencial de crescimento em ambientes contaminados com óleo de soja virgem ou residual, e utilizá-los em remediação de ambientes contaminados, bem como sua utilização para síntese de compostos de aplicação industrial (Costa *et al.*, 2015).

Ainda segundo Costa *et al.* (2015), outras literaturas denotam a síntese de lipase e biossurfactante utilizando fungos *Aspergillus* e óleo de soja como fonte de carbono. Estudos também apontam a produção de enzimas lipolíticas extracelulares sintetizadas por *Rhizopus chinensis* em meio contendo distintos óleos, dentre eles o óleo de soja e o óleo de pequi.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação sobre as estratégias de transformação de lipídios residuais demonstra que a reciclagem desses efluentes é um instrumento estratégico de

sustentabilidade, capaz de converter passivos ambientais em insumos de alto valor econômico. A eficiência das metodologias abordadas revela-se robusta, especialmente no caso da saponificação, que transforma óleos de fritura em sabões e detergentes através da hidrólise alcalina, promovendo a economia circular de forma acessível tanto em escala doméstica quanto industrial.

A saponificação, rota tecnológica mais tradicional, alcança aproveitamento próximo a 100% dos triacilgliceróis presentes no óleo residual, convertendo-os em glicerol e sais de ácidos graxos, com baixo custo operacional e simplicidade de execução, embora gere produto de menor valor agregado. A transesterificação alcalina para produção de biodiesel apresenta rendimentos típicos entre 85% e 98%, dependendo da qualidade do óleo e das condições reacionais, sendo o método mais difundido industrialmente, porém suscetível à formação de sabões quando o resíduo apresenta alta acidez ou umidade. Já a esterificação ácida, mais adequada para óleos com elevado teor de ácidos graxos livres, atinge conversões entre 80% e 95%, demandando condições mais enérgicas (temperaturas elevadas e maior tempo reacional) e catalisadores de maior custo, mas com a vantagem de processar matérias-primas de qualidade inferior.

Em termos comparativos, as metodologias de produção de biodiesel por transesterificação e esterificação apresentam particularidades técnicas cruciais: enquanto a catálise homogênea é mais comum, a catálise heterogênea enzimática mostra-se superior ao operar em baixas temperaturas, ao reduzir a contaminação do produto final e permitir o reaproveitamento do catalisador. Além disso, ao confrontar as fontes de matéria-prima, nota-se que o uso de microrganismos oleaginosos (microalgas e leveduras) ganha vantagem sobre os insumos vegetais tradicionais devido ao baixo custo de aquisição de substratos residuais, como o soro de leite e a manipueira, e à não competição com o setor alimentício.

As vantagens de utilizar materiais gerados por lipídios reutilizados são multidimensionais, abrangendo benefícios ecológicos, econômicos e sociais. Ambientalmente, a reciclagem evita a formação de películas superficiais em corpos hídricos que causam hipóxia na fauna aquática, além de impedir a impermeabilização e a fitotoxicidade do solo. Economicamente, a produção de bioprodutos agrega valor a resíduos que seriam descartados, reduzindo a dependência de fontes fósseis e contribuindo para a mitigação do aquecimento global, uma vez que o biodiesel de fontes reutilizadas faz parte de um ciclo neutro em carbono (ciclo biogênico).

Em última análise, a transição do descarte indevido para a valorização tecnológica dos lipídios configura um nicho de alta viabilidade para o empreendedorismo sustentável e para a preservação dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. **Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais**. 2026. Disponível em: <https://abiove.org.br/>. Acesso em: 14 abr. 2026.

BENTO, H. B. S. **Derivados da agroindústria de cana-de-açúcar para cultivo de fungo oleaginoso: produção e modificação de lipídios**. 111 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial – Universidade de São Paulo, Lorena, 2020). DOI: 10.11606/T.97.2020.tde-25082021-125627. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97132/tde-25082021-125627/pt-br.html>. Acesso em: 24 abr. 2026.

BERTÊ, M.; FANTINEL, L.; FERNANDES, L. **Reaproveitamento de óleo de fritura para fabricação de sabão**. *Disciplinarum Scientia*, n. 2, v. 15, p. 191-200, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1353>. Acesso em 21 abr. 2026.

CASTAÑO, A. M. P.; DURANGO, D. P. M.; POLANCO-ECHEVERRY, D.; ARIAS, J. A. C. RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR): UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA 1990-2019. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, n. 2, v. 12, p. 161-178, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>. Acesso em: 22 abr. 2026.

CHIARANDA, A. J.; PASCHOAL, I.; MARÇAL, L. R.; NATIVIDADE, M. L. **Produção de biodiesel a partir do óleo de microalgas**. 45 f. Monografia (Técnico em Química) – ETEC Coronel Fernando Febeliano da Costa, Piracicaba, 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/23066>. Acesso em: 24 abr. 2026.

COSTA, T. M.; SPERB, J. G. C.; RONCHETI, A. L.; BOTELHO, T. K. R.; SELL, T. M.; BERTOLI, S. L.; TAVARES, L. B. B. AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE ESPECÍFICA DE CRESCIMENTO RADIAL DE FUNGOS EM ÓLEO VEGETAL RESIDUAL. **Revista de Estudos Ambientais**, n. 2, v. 17, p. 29-40, 2015. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/4873>. Acesso em: 23 abr. 2026.

COTRIM, K. C. F. **Viabilidade da produção de lipídios por *Papiliotrema laurentii* UFV-1 em soro de ricota**. 69 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/31420>. Acesso em 25 abr. 2026.

CRUZ, V. M. C.; TOLEDO, R. F.; SOUZA, V. A. F.; GONÇALVES, A. M. M. Limites da educação ambiental e de oficinas de reciclagem frente ao descarte inadequado do óleo de cozinha em centros urbanos. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, n. 2, v. 9, p. 137-147, 2019. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1986>. Acesso em 22 abr. 2026.

DOMÍNGUEZ, R.; PATEIRO, M.; PURRIÑOS, L.; MUNEKATA, P. E. S.; ECHEGARAY, N.; LORENZO, J. M. **Introduction and classification of lipids**. In: LORENZO, J. M.; MUNEKATA, P. E. S.; PATEIRO, M.; BARBA, F. J.; DOMÍNGUEZ, R. **Food lipids: sources, health implications, and future trends**, 1. ed. Nova Iorque: Academic Press, 2022. p. 1-16. Disponível em: <https://doi.org/>

org/10.1016/B978-0-12-823371-9.00018-6. Acesso em: 13 abr. 2026.

DUARTE, V. H.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; NDALETTI, W. C.; VIEIRA, B. **Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel.** Meio Ambiente (Brasil), v. 4, n. 2, p. 50-68, 2022. DOI: 10.5281/zenodo.7325287. Disponível em: <https://zenodo.org/records/7325288>. Acesso em: 24 abr. 2026.

ENERGY INSTITUTE. 2025 **Statistical Review of World Energy.** London: Energy Institute, 2025. Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. Acesso em: 24 abr. 2026.

FERNANDES, J. L. S.; ALVES, L. F. R. C.; MOTA, M. M. A.; TAVARES, A. C. A.; SANTOS, T. E. F.; CAVALCANTE NETO, J. L.; FERREIRA NETO, M. P.; GOUVEIA, D. S. Biocombustíveis na aviação: desafios e inovações. **Revista Foco**, n. 10, v. 17, p. 01-18, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n10-021. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n10-021>. Acesso em 24 abr. 2026.

FRANCA, B. V. **Avaliação da relação C/N e adaptação da levedura Rhodosporidium toruloides em hidrolisado hemicelulósico de biomassa de cana-de-açúcar para a produção de biolipídios.** 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2025. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/317431>. Acesso em: 24 abr. 2026.

JÚNIOR, F. R. S. **Seleção e avaliação de leveduras isoladas do fruto do pequi (Caryocar brasiliense) para a produção de lipídios como matéria-prima energética.** 60 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/8079>. Acesso em: 24 abr. 2026.

KRÜGER, A. P.; DOURADO, M. T.; NASCIMENTO, S. L. S. **Orientação quanto ao uso e recomendação para descarte correto de óleos comestíveis utilizados.** XVIII CIC, XI ENPOS, I Mostra Científica. UFPEL, 2009. Disponível em: https://www2.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/CE/CE_00734.pdf. Acesso em: 15 abr. 2026.

LIRA, M. M. A. **POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE FUNGOS FILAMENTOSOS ISOLADOS DE EFLUENTE TÊXTIL PARA PROCESSOS DE BIORREMEDIAÇÃO.** 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/73ca32cf-10b7-42d2-b97c-c9d30dc4446b>. Acesso em: 22 abr. 2026.

MARTINS, C. T.; CONTI, T. Z.; LISBOA, V. G. **Uma alternativa consciente de reaproveitamento do óleo de cozinha: a fabricação do sabão caseiro.** Anais. XIV Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2010, p. 1-5. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/

arquivos/0236_0391_02.pdf. Acesso em: 21 de abril de 2026.

MERMAN, H.; TAGIE, G.; APANDI, W. N. W. M.; ISMAIL, I.; JAINAL, A. M. The Impact of Creative Activities Involving Cooking Oil Waste on Sustainable Environments. **Ideology Journal**, n. 1, v. 8, p. 52-63, 2023. Disponível em: <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/79763/1/79763.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2026.

QI, D.; WANG, Q.; WANG, Q.; HUANG, Q.; YIN, P. **Study on Saponification Technology of Waste Edible Oil**. IEEE, p. 1-4, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2009.5163501>. Acesso em: 13 abr. 2026.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, n. 5, v. 3, p. 385-405, 2011. DOI: 10.5935/1984-6835.20110043. Disponível em: <https://rvq-sub.sbg.org.br/index.php/rvq/article/view/190>. Acesso em: 24 abr. 2026.

RIBEIRO, E. P SERAVALLI, E. A.; **Química de alimentos**. 1 Ed. São Paulo – SP. Edgard Blücher Ltda. 2004.

RODRIGUES, S. P.; MENEZES, N. C.; OLIVEIRA, C. M.; OLIVEIRA, L. A. **Crescimento de rizobactérias amazônicas em meios de cultura contendo óleo residual de soja**. Peer review, n. 25, v. 5, p. 148-162, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.53660/1493.prw3025>. Acesso em: 24 abr. 2026.

SANIBAL, E. A. A.; MANCINI-FILHO, J. **Alterações físicas, químicas e nutricionais de óleos submetidos ao processo de fritura**. Food Ingredients, n. 18, p. 64-71, 2002. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001292666>. Acesso em: 21 abr. 2026.

SANTANA, R. M.; NASCIMENTO, V M. G. **Physicochemical Characterization of Used Cooking Oil: environmental implications and reuse potential**. B. CEPPA, n. 1, v. 43, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/cep.v43i1.101091>. Acesso em: 14 abr. 2026.

SANTOS, H. D.; PEREIRA, C.; ROCHA, E. P. **Influência do descarte inadequado de óleo vegetal de fritura no PAG**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL, Campinas. Anais [...]. Campinas: ENEDS, n. 1, v. 20, 2025. Disponível em: <https://anais.eneds.org.br/index.php/eneds/article/view/949>. Acesso em: 22 abr. 2026.

SANTOS, L. O.; MELO, G. F.; LAURENTINO, J. V. A. Study and analysis of the main and alternative oilseeds for biodiesel production: an integrative review. **Publishing Sustenere**, n. 2, v. 9, p. 81-99, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0008. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/engineeringsciences/article/view/5957>. Acesso em 24 abr. 2026.

SEBOS, L. **Fossil fraction of CO2 emissions of biofuels. Carbon Management**, n. 1, v. 13, p.154-163, 2022. DOI: 10.1080/17583004.2022.2046173. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17583004.2022.2046173>. Acesso em 24 abr. 2026.

SILVA, J.; SILVA, F. L. H.; SANTOS, S. F. M.; RIBEIRO, J. E. S.; MEDEIROS, L. L.; FERREIRA, A. L. O. Produção de biomassa e lipídios pela levedura *Rhodotorula mucilaginosa* utilizando a manipueira como substrato. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1-6, 2018. DOI: 10.1590/1981-6723.14517. Disponível em: <https://www.scielo.br/bjft/a/mWJQDTvwLK4NQRgHF5vVdPq/abstract/?lang=pt>. Acesso em 25 abr. 2026.

SILVA, T. A.; ZAVARISE, J. P.; SAMPAIO, I. C. F.; PINOTTI, L. M.; CASSINI, S. T. A.; OLIVEIRA, J. P. **Use of lipases for the production of biofuels**. In: BRAHMACHARI, G. *Biotechnology of Microbial Enzymes: production, biocatalysis, and industrial applications*, 2 ed. Nova Iorque: Academic Press, 2023. p. 621-648. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19059-9.00016-5>. Acesso em: 13 abr. 2026.

SPLABOR. **O que são meios de cultura? Conheça a microbiologia**. Blog Splabor, 2024. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/meio-de-cultura-2/o-que-sao-meios-de-cultura-para-microbiologia-saiba-mais/>. Acesso em 24 abr. 2026.

STEPHENS, L. **The Environmental Impacts of Dumping Cooking Oil in the Ground**. Beck's Sanitation, 2025. Disponível em: <https://www.bsirecycling.com/blog/the-environmental-impacts-of-dumping-cooking-oil-in-the-ground>. Acesso em: 14 abr. 2026.

THODE FILHO, S. **Avaliação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de óleos vegetais residuais em solos brasileiros**. 154 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.btdt.uerj.br/handle/1/14329>. Acesso em: 12 abr. 2026.

THODE FILHO, S.; SANTOS, A. S. S.; ALMEIDA, T. M.; SILVA, E. R. **Tecnologia ambiental aplicada ao gerenciamento e processamento do óleo vegetal residual no estado do Rio de Janeiro**. REGET, n. 15, v. 15, p. 3026-3035, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117010815>. Acesso em: 12 abr. 2026.

TOLENTINO, Nathalia Motta de Carvalho. **Processos químicos industriais: matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão**. São Paulo: Érica, 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa da CAPES concedida à Daniele Ferreira (Processo Nº 88887.289840/2026-00), José Oliveira (Processo Nº 88887.289847/2026-00) e Joyce de Oliveira (Processo Nº 88887.289855/2026-00) e à bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq concedida à Galba Maria de Campos Takaki (Processo Nº 312241/2022-4).