

UTILIZAÇÃO DE LEVEDURAS ISOLADAS DO FRUTO DO PEQUI (*Caryocar Brasiliense*) PARA A PRODUÇÃO DE LIPÍDIOS COMO MATÉRIA-PRIMA ENERGÉTICA

Fábio Ribeiro da Silva Júnior¹

Luiz Fernando Kitajima²

RESUMO

A inserção da utilização dos biocombustíveis no Brasil vem desde a década de 70, a priori, objetivando superar crises econômicas. Como forma de mitigar os impactos na economia devido à pandemia de Covid-19, foram realizadas alterações dos percentuais obrigatórios de Biodiesel no óleo Diesel B ora estabelecidos pelo CNPE nos anos de 2020, 2021 e 2022. Por ser detentor de uma grande extensão territorial, o Brasil apresenta uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel, como a soja, o girassol, a mamona, o milho, o pinhão-mansão, o caroço de algodão, a canola, o babaçu, o buriti, o dendê, a macaúba e o amendoim, além das de origem animal como o sebo bovino e as gorduras de frango e de suínos. A seleção de matéria-prima é imprescindível para definição do custo-benefício do biodiesel produzido, pois influenciará em diversas variáveis como rendimento, composição e qualidade. As vantagens das leveduras oleaginosas, estão na sua capacidade de crescimento rápido, alta produtividade de lipídeos, adaptação para produzir biomassa em biorreatores convencionais e a não concorrência com espaço e produção de alimentos. Leveduras são bastante úteis para a produção renovável e sustentável de óleos biodegradáveis com potencial para serem utilizados em combustíveis, produtos químicos e gêneros alimentícios. A ideia de explorar a biomassa lignocelulósica não comestível como matéria-prima para leveduras oleaginosas pode reduzir muito o custo de produção do biodiesel.

Palavras-chave: Extração de Lipídios, Biomassas, Energia renovável.

ABSTRACT

The insertion of the use of biofuels in Brazil dates back to the 1970s, primarily aiming to overcome economic crises. As a way to mitigate the impacts on the economy due to the Covid-19 pandemic, adjustments were made to the mandatory percentages of Biodiesel in Diesel B, as established by CNPE in the years 2020, 2021, and 2022. Due to its vast territorial extension, Brazil has a wide diversity of raw materials for biodiesel production, such as soybean, sunflower, castor bean, corn, jatropha, cottonseed, canola, babassu, buriti, palm oil, macaúba, and peanuts, in addition to animal-based sources like beef tallow and fats from chicken and pigs. The selection of raw material is essential for defining the cost-benefit of the produced biodiesel since it will influence various variables such as yield, composition, and quality. The advantages of oilseeds yeasts lie in their ability for rapid growth, high lipid productivity, adaptability to produce biomass in conventional bioreactors, and non-competition with food

¹ Faculdade CNA. Pós-graduação em Liderança Empreendedora e Inovação no Agronegócio, luiz.fernando@faculadecna.edu.br



space and production. Yeasts are quite useful for the renewable and sustainable production of biodegradable oils with potential uses in fuels, chemicals, and food products. The idea of exploring non-edible lignocellulosic biomass as raw material for oilseed yeasts can significantly reduce the cost of biodiesel production.

Keywords: Lipid Extraction, Biomass, Renewable energy.

INTRODUÇÃO

Devido ao aumento do uso das fontes de energia fóssil, ao aumento dos preços e à preocupação ambiental, os biocombustíveis têm sido considerados uma alternativa para mitigar esses problemas, oferecendo potencial para suprir as necessidades humanas com menor impacto ambiental (SOUZA et al., 2020).

O biodiesel é um biocombustível obtido por meio da interação química entre triglicerídeos e um álcool de cadeia curta, na presença ou ausência de um catalisador. Entre seus principais benefícios estão a alta biodegradabilidade, a não toxicidade, a baixa emissão de poluentes em comparação com o diesel de petróleo e a compatibilidade com motores de injeção de diesel convencionais (DE OLIVEIRA et al., 2020).

Uma alternativa promissora é a extração de lipídeos de microrganismos, como algas, bactérias, leveduras e fungos filamentosos, que oferecem várias vantagens em relação às fontes vegetais. Esses microrganismos não estão restritos a condições climáticas específicas, permitindo produção o ano todo, requerem menos espaço e mão de obra e têm um ciclo de produção mais curto, devido ao ciclo de vida da biomassa microbiana ser menor em comparação com as fontes vegetais. Além disso, como meio de cultura, é possível utilizar águas residuais ou resíduos agroindustriais, contribuindo para uma destinação adequada desses resíduos e promovendo a economia circular (SOUZA et al., 2020). Uma estratégia para aumentar a competitividade na produção de biodiesel é o uso de meios de cultura para as leveduras, de baixo custo, como o caroço do pequi. Embora a composição do caroço seja considerada de baixa qualidade devido ao alto teor de ácidos graxos livres, é possível produzir ésteres por meio da reação de esterificação (SOUZA et al., 2020).

O bioma cerrado é uma área de destaque na preservação da biodiversidade global e possui uma flora extremamente rica, incluindo diversas espécies frutíferas com alto potencial de aproveitamento tecnológico, conforme será apresentado nessa pesquisa.



OBJETIVOS

• Objetivo Geral:

Apresentar as leveduras oleaginosas do fruto do pequi (*Caryocar brasiliense*) como uma matéria prima renovável, com potenciais para a produzir lipídios capazes de serem convertidos em fontes energéticas.

• Objetivos Específicos:

- Apontar a usabilidade das leveduras oleaginosas do fruto do pequi.
- Apontar os impactos da escolha de diferentes matérias-primas renováveis na eficiência do processo de transesterificação para a produção de biodiesel;
- Comparar o ciclo de vida do biodiesel produzido com matérias-primas renováveis com combustíveis fósseis, focando nas emissões de gases de efeito estufa e na sustentabilidade geral.

METODOLOGIA

Será realizada uma revisão sistemática da literatura existente sobre matérias-primas renováveis para a produção de biodiesel, identificando as principais fontes, processos e resultados de pesquisas anteriores.

REFERENCIAL TEÓRICO

BIODIESEL

Os investimentos na diversificação da matriz energética abrangem a busca por fontes preferencialmente renováveis e mais baratas devido aos aspectos econômicos e ambientais. Nesse contexto, o biodiesel, por ser um combustível alternativo e renovável, merece atenção e surge como uma alternativa para atender a demanda energética mundial e substituir o óleo diesel. O biodiesel é um combustível que pode ser produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais e óleos de origem microbiana (algas, fungos e bactérias). As matérias-primas são convertidas em biodiesel por meio de uma reação química envolvendo álcool e um catalisador. Atualmente, vários tipos de sistemas têm sido estudados para desenvolver a reação de esterificação de forma mais rápida e econômica (GOMES, 2023).

A inserção da utilização dos biocombustíveis no Brasil vem desde a década de 70, a priori,

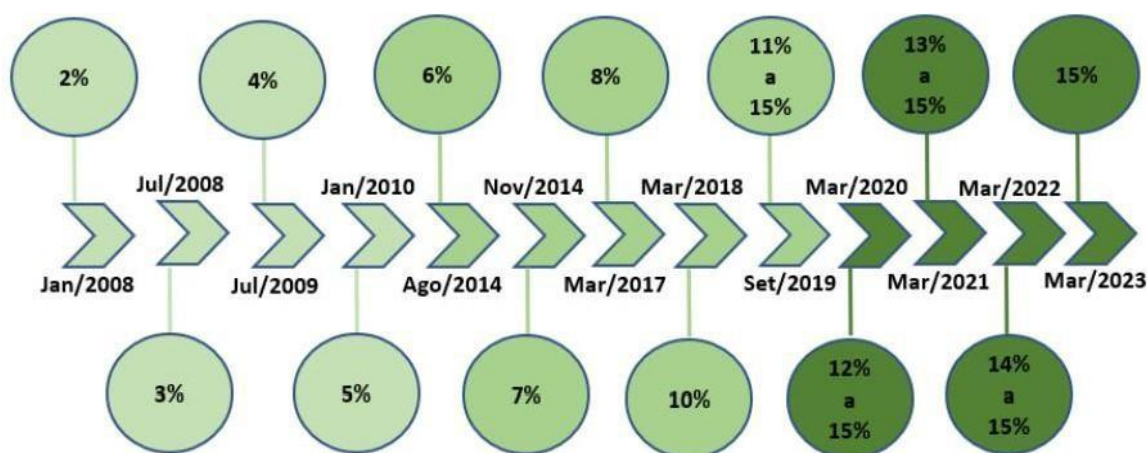
objetivando superar crises econômicas. Devido ao alto preço do petróleo, em 1983 o governo brasileiro, através do então Ministério da Indústria e Comércio, criou o Programa Nacional de Energia de Óleos Vegetais (Projeto OVEG) com o intuito de realizar pesquisas de adição de níveis de biodiesel puro ao diesel de origem mineral. Em 2002, foi criado o PROBIODIESEL, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, visando mobilizar todos os setores envolvidos no desenvolvimento de biocombustíveis para avaliar a viabilidade técnica, econômica e socioambiental, entretanto, foi descontinuado, pois não priorizava a agricultura familiar, sendo ajustado posteriormente (RAMOS et al., 2011).

Em 2003, teve início os primeiros estudos para a criação de uma política para a produção do biodiesel no Brasil, através da Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB) e do Grupo Gestor (GG) pelo governo federal. Em dezembro de 2004, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), objetivando introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira resultando na primeira fase, a definição de um arcabouço regulatório fomentando a inclusão social e o desenvolvimento regional (ANP, 2022).

A comercialização até então era opcional, porém, a partir da Lei nº 11.097/2005 em seu artigo 2º, tornou-se obrigatório a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, inicialmente, com mistura de 2% no diesel fóssil a partir de 2008 (ANP, 2022).

No decorrer dos anos, esse percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). A série histórica de ampliação e perspectiva do percentual de biodiesel na produção de óleo diesel tipo B, conforme estabelecido pela Lei nº 13.263, 23/03/2016 e pela Resolução CNPE nº 16, de 29/10/2018, é explanada na Figura 1 (ANP, 2021).

Figura 1: Linha do tempo de ampliação e perspectiva obrigatória do percentual de biodiesel na produção de óleo diesel tipo B estabelecido na Resolução CNPE nº 16, de 29/10/2018.



Fonte: ANP, 2021.

Como forma de mitigar os impactos na economia devido à pandemia de Covid-19, foram realizadas alterações dos percentuais obrigatórios de Biodiesel no óleo Diesel B ora estabelecidos pelo CNPE nos anos de 2020, 2021 e 2022. Com isso, através da Resolução nº 824, de 13 de agosto de 2020, ficou estabelecida a redução excepcional e temporária do percentual de mistura obrigatória do biodiesel ao óleo diesel dos atuais 12% (B12) para 10% (B10) no bimestre de setembro e outubro, sendo que a partir de novembro o incremento foi de 11% (B11) como medida de manutenção da continuidade do abastecimento nacional (ANP, 2020).

A CADEIA PRODUTIVA DO BIODIESEL

O Biodiesel é uma mistura de ésteres de cadeia longa derivado de ácidos graxos obtidos, na sua grande maioria, por meio de reações de transesterificação em óleos vegetais ou gorduras animais com álcoois na presença de um catalisador (SANTIN, 2013). Possui propriedades similares ao óleo diesel mineral, sendo um produto atóxico, biodegradável e renovável, sendo considerado menos prejudicial ao meio ambiente quando comparado com o diesel, pois não é utilizado enxofre no processo produtivo (CANESIN et al., 2014).

Por ser detentor de uma grande extensão territorial, o Brasil apresenta uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel, como a soja, o girassol, a mamona, o milho, o pinhão-manso, o caroço de algodão, a canola, o babaçu, o buriti, o dendê, a macaúba e o amendoim, além das de origem animal como o sebo bovino e as gorduras de frango e de suínos. Óleos de descarte, óleos de vísceras de peixes e óleos usados para cocção de alimentos (óleo de fritura) também são utilizados como matérias-primas alternativas.

A cadeia produtiva do biodiesel envolve diversas etapas, desde a seleção e cultivo de matérias-primas até a produção e distribuição do biocombustível final. Aqui está uma descrição detalhada das principais etapas da cadeia produtiva do biodiesel (PORTAL BIODIESEL, 2019). Com referência a fontes consultadas:

- **Seleção das matérias-primas:** A escolha das matérias-primas é um passo fundamental na produção de biodiesel. Diversas fontes vegetais e animais podem ser utilizadas, seleção leva em consideração fatores como disponibilidade, custo, teor de lipídios, qualidade do óleo, sustentabilidade e impacto ambiental.
- **Cultivo e colheita das matérias-primas:** Para as matérias-primas de origem vegetal é necessário o cultivo agrícola. Isso envolve preparação do solo, plantio, irrigação, controle de pragas e doenças, e colheita das plantas. No caso de matérias-primas de origem animal, como gorduras animais, a obtenção ocorre por meio de processos de abate e processamento de animais.



- **Extração dos óleos ou gorduras:** Após a colheita ou obtenção das matérias-primas, é necessária a extração dos óleos ou gorduras. Isso pode ser feito por meio de métodos mecânicos, como prensagem ou moagem, ou por processos químicos, como a extração com solventes. O objetivo é separar os lipídeos das partes sólidas ou líquidas indesejadas.

- **Refino dos óleos:** Os óleos ou gorduras extraídos passam por um processo de refino para remover impurezas, como resíduos sólidos, ácidos graxos livres, pigmentos e compostos indesejáveis. O refino geralmente envolve etapas como degomagem, neutralização, descoloração e desodorização, garantindo a qualidade do óleo a ser utilizado na produção de biodiesel.

- **Transesterificação:** A transesterificação é a reação química responsável pela conversão dos óleos ou gorduras em ésteres metílicos ou etílicos, que são os principais componentes do biodiesel. Nessa etapa, os lipídeos reagem com um álcool de cadeia curta, geralmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador, como hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio. A transesterificação produz biodiesel e gera glicerina como subproduto.

- **Purificação do biodiesel:** O biodiesel produzido na etapa de transesterificação passa por um processo de purificação para remover impurezas remanescentes, como catalisadores, glicerina residual, água e sabões. Isso pode ser feito por meio de lavagem, decantação, centrifugação ou processos de filtração.

- **Armazenamento e distribuição:** O biodiesel purificado é armazenado em tanques adequados para garantir sua qualidade e estabilidade. Em seguida, o biocombustível é distribuído para postos de combustíveis, indústrias ou outros consumidores. A logística de distribuição envolve transporte, armazenamento intermediário e abastecimento dos pontos de venda.

Essa é uma visão geral da cadeia produtiva do biodiesel, mas vale ressaltar que pode haver variações e diferentes abordagens em termos de processos e tecnologias utilizadas, dependendo da região e das especificidades de cada planta de produção de biodiesel (PORTAL BIODIESEL, 2019).

BIODIESEL À BASE DE LIPÍDEOS

Os lipídeos são compostos encontrados nos organismos vegetais, animais e também nos microrganismos. Baseados nas diferenças estruturais, existem três categorias principais de lipídeos: os triacilgliceróis, os fosfolipídeos e os esteróis (PELCZAR JR, CHAN, KRIEG, 1997).

Os lipídeos encontram-se enquadrados em duas frações: os saponificáveis e os



insaponificáveis. Os mono, di e triacilgliceróis pertencem aos saponificáveis, cuja hidrólise resulta na formação de ácidos graxos e glicerol, os monoacilgliceróis contêm uma única molécula de ácido graxo ligada ao glicerol, os diacilgliceróis contêm duas moléculas e os triacilgliceróis contêm três moléculas de ácidos graxos ligadas ao glicerol. Os carotenoides, esteróis, álcoois e hidrocarbonetos pertencem a classe dos insaponificáveis (SILVA, 2014).

Os triacilgliceróis são a classe mais abundante dentro do grupo dos lipídeos e são uma importante fonte de reserva de energia para os animais, principalmente nos adipócitos que são células especializadas no armazenamento de gorduras. São lipídeos formados pela ligação de três moléculas de ácidos graxos com o glicerol, um triálcool de três carbonos, através de ligações do tipo éster encontrados em gorduras e óleos (PELCZAR JR, CHAN, KRIEG, 1997).

Os fosfolipídeos são lipídeos complexos encontrados na membrana celular, onde desempenham importante papel estrutural. Diferem dos triglicerídeos pelo fato de somente duas moléculas de ácidos graxos estarem ligadas à molécula de glicerol e por um grupo fosfato estar ligado ao glicerol (PELCZAR JR, CHAN, KRIEG, 1997).

A relação entre a quantidade dessas classes de compostos, bem como os tipos de ácidos graxos dos quais são formados, depende da fonte do óleo ou da gordura e da região onde foram produzidas.

Os óleos e gorduras também são fontes de ácidos graxos essenciais como o linoleico, linolênico e araquidônico (CASTRO et al., 2004).

A seleção de matéria-prima é imprescindível para definição do custo-benefício do biodiesel produzido, pois influenciará em diversas variáveis como rendimento, composição e qualidade. Outro fator importante a ser considerado é a disponibilidade e fonte da matéria-prima a ser utilizada (SILVA, 2019).

LEVEDURAS OLEAGINOSAS

Por muitas décadas, a maioria das pesquisas relacionadas ao estudo de leveduras lipogênica tem sido voltada para espécies como *Y. lipolytica*, *Lipomyces*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula graminis*, *Cryptococcus curvatus*, *Cryptococcus albidus* e *Rhodospiridium toruloides*. Entretanto, há dezenas de espécies oleaginosas que foram descobertas ao longo dos anos, mas tem sido menos estudadas. Abordando-se uma faixa mais ampla de leveduras lipogênicas, é possível realizar a seleção de leveduras e substratos específicos, tolerância à osmose, ao pH adverso e à inibição (SITEPU et al., 2014).

O estado Tocantins, por suas características ambientais, temperatura, umidade e solo,

favorece o crescimento de microrganismos, como leveduras, sendo, portanto, um ambiente propício para a bioprospecção de novas cepas. Essas linhagens selvagens podem ser isoladas e estudadas para obter informações sobre suas características e possíveis aplicações (SILVA et al., 2019).

As leveduras oleaginosas têm sido estudadas como uma fonte microbiana de óleo para oleoquímicos, incluindo combustíveis, plataformas químicas através de tecnologias integradas de biomassa, e ingredientes de alimentação (WOODBINE, 1959). Uma levedura é considerada lipogênica quando a razão, em peso seco, dos lipídios totais em relação à biomassa é igual ou maior a 20% (SITEPU et al., 2014).

As leveduras lipogênicas têm recebido um especial interesse devido à sua capacidade de crescer rapidamente, atingindo elevadas densidades numa variedade de fontes de carbono (substratos), entre as quais se incluem matérias-primas residuais de baixo custo, provenientes da agricultura e da indústria (SILVA, 2019).

As células das leveduras oleaginosas são capazes de acumular lipídios celulares em quantidades superiores a 20% da sua biomassa quando cultivadas em meios com excesso de carbono disponível, mas quantidades limitadas de outros nutrientes, especialmente nitrogênio. Os lipídios produzidos são constituídos em sua maioria por ácidos graxos insaturados de cadeia longa, com 16-18 carbonos, semelhantes à composição de alguns óleos vegetais (SPIER et al., 2015; MUNCH et al., 2015).

As vantagens das leveduras oleaginosas, estão na sua capacidade de crescimento rápido, alta produtividade de lipídeos, adaptação para produzir biomassa em biorreatores convencionais e a não concorrência com espaço e produção de alimentos, além da flexibilidade de expansão e facilidade de manipulação genética para posterior otimização em escala industrial. (JOHNRAVINDAR et al., 2018).

Durante a fase de crescimento do microrganismo, o nitrogênio é necessário para a síntese de proteínas e ácidos nucleicos, enquanto a fonte de carbono é utilizada para processos energéticos e anabólicos. Quando a fonte de nitrogênio cessa, a taxa de crescimento do microrganismo diminui, e em oleaginosos a fonte de carbono é convertida em lipídios, que são acumulados dentro das células (AMARETTI et al., 2010).

Algumas pesquisas têm sido desenvolvidas utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* como modelo genético para melhoria na compreensão do metabolismo lipídico. Apesar desta não ser uma levedura oleaginosa, as enzimas envolvidas no processo de síntese e de degradação de triacilgliceróis são muito similares entre as espécies, principalmente em leveduras (SAWANGKEAW, NGAMPRASERTSITH, 2013).

Segundo Ferreira e colaboradores (2012), que isolou bactérias lácticas e leveduras da polpa do pequi, identificou 25 isolados de leveduras por testes bioquímicos, como *Candida*, *Cryptococcus* e *Yarrowia* com predominância de *Candida krusei* (48% dos isolados). Soares e colaboradores (2015), que avaliou a biodiversidade de microrganismo com interesse industrial obtidos do pequi, isolou na fase de decomposição do fruto 17 microrganismos e 35 microrganismos que foram recuperados da fração solo sob o pequi coletado.

APLICAÇÃO BIOTECNOLÓGICA DAS LEVEDURAS OLEAGINOSAS

A biotecnologia surgiu como ferramenta para a fabricação de produtos ou processos, para a utilização específica que derivam de sistemas biológicos, células vivas, ou seus derivados. A biotecnologia pode ser usada para converter fontes renováveis de carbono em produtos relacionados à transportes, saúde e alimentação (D'AMBROSIO, JENSEN, 2017).

Um dos benefícios naturais desses microrganismos, como por exemplo as leveduras oleaginosas, não possui influências pelas estações do ano nem pelo clima. Além disso possuem propriedades específicas de acumular lipídeos dentro de compartimentos celulares em um curto período de tempo, que varia de 5 a 9 dias, dependendo da espécie da levedura. As mesmas, possuem capacidade de utilizar um grande número de substratos renováveis e materiais baratos, como resíduos agrícolas e industriais (YAN et al., 2014; PATEL et al., 2017).

A ideia de explorar a biomassa lignocelulósica não comestível como matéria-prima para leveduras oleaginosas pode reduzir muito o custo de produção do biodiesel. Além disso, os lipídios acumulados pelas leveduras oleaginosas assemelham-se quimicamente aos óleos vegetais e gorduras animais (PATEL et al., 2016; PATEL et al., 2017).

Durante anos, sabe-se que as leveduras oleaginosas podem acumular lipídios como óleos unicelulares. É importante notar também que nem todos os microrganismos podem armazenar lipídios como triacilglicerol (TAG). Os mecanismos pelos quais as leveduras lipogênicas podem produzir TAGs através da conversão de um determinado substrato são essencialmente dois: síntese *de novo* e síntese *de ex novo* (PAPANIKOLAOU & AGGELIS, 2011).

Quando o microrganismo está sob estresse, apresentando alta relação C/N com carência de nitrogênio, ocorre a síntese *de novo*. A síntese *de ex novo*, por outro lado, envolve a hidrólise de substratos hidrofóbicos para produzir ácidos graxos e glicerol que são então transportados para dentro da célula para serem remontados em TAGs (PAPANIKOLAOU & AGGELIS, 2011).

Leveduras são bastante úteis para a produção renovável e sustentável de óleos biodegradáveis com potencial para serem utilizados em combustíveis, produtos químicos e gêneros alimentícios. Muitas descobertas foram feitas no início da década sobre a produção de óleo a partir de leveduras que impulsionaram novos estudos incluindo a descoberta de espécies que produzem grandes quantidades de lipídios, assim como condições que permitem tal produção através da conversão de resíduos de produtos em óleos microbianos em pequenas e grandes escalas (SAWANGKEAW, NGAMPRAERTSITH, 2013).

As leveduras oleaginosas mais conhecidas incluem os gêneros *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula* e *Yarrowia*. Estas leveduras são capazes de acumular em média 40% de lipídios com relação à sua biomassa, entretanto em condições de limitação de nutrientes este acúmulo pode atingir 70%. O conteúdo e o perfil lipídico produzido diferem de espécie para espécie. *Cryptococcus curvatus* e *Cryptococcus albidus* acumulam 58% e 65% de lipídios, respectivamente. A composição lipídica também difere já que *Cryptococcus curvatus* acumula grandes quantidades de ácido palmítico, já o principal ácido graxo acumulado por *Cryptococcus albidus* é o ácido oleico (BEOPOULOS et al., 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As crescentes preocupações ambientais e a dependência de fontes de energia fóssil têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis, destacando os biocombustíveis como uma solução viável. O biodiesel, em particular, apresenta-se como uma opção promissora, oferecendo benefícios significativos, como alta biodegradabilidade e baixa emissão de poluentes. A evolução das gerações de biocombustíveis, desde a primeira até a quarta geração, demonstra um avanço contínuo na busca por fontes mais eficientes e ambientalmente amigáveis.

A utilização de microrganismos na produção de biodiesel representa uma inovação importante. Esses organismos não apenas permitem a produção ao longo do ano,



independentemente das condições climáticas, mas também promovem a economia circular ao utilizar resíduos agroindustriais como meio de cultura. A exploração de resíduos como a manipueira e o soro de leite não apenas contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também agrega valor econômico ao transformar subprodutos em recursos valiosos.

A pesquisa sobre as leveduras oleaginosas isoladas do fruto do pequi abre novas perspectivas para o aproveitamento sustentável da biodiversidade do cerrado. O pequi não só é uma fonte rica de lipídios, mas também oferece múltiplas utilidades que podem beneficiar comunidades locais e promover práticas agrícolas sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, o desenvolvimento de biocombustíveis a partir de fontes renováveis e resíduos agroindustriais é crucial para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais. Essa pesquisa não apenas visa identificar alternativas sustentáveis para a produção de energia, mas também contribuir para um futuro mais verde e responsável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARETTI, A.; RAIMONDI, S.; SALA, M.; RONCAGLIA, L.; LUCIA, M.; LEONARDI, A.; ROSSI, M. Single cell oils of the cold-adapted oleaginous yeast *Rhodotorula glacialis* DBVPG 4785. **Microbial Cell Factories**, v. 9, p. 73-78, 2010.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Especificação Do Biodiesel**. Atualizado: Terça, 15 de setembro de 2020. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/biodiesel-bio>>. Acesso em: 24 de outubro de 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Nota Técnica Conjunta Nº 10/2021/ANP – **Proposta de um novo modelo de comercialização de biodiesel**. Rio de Janeiro, 14 de abril de 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/ntconj2021.pdf>>. Acesso em: 24 de outubro de 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**. Atualizado em 24/03/2022 16h22. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel>>. 24 de outubro de 2024.

BEOPOULOS, A. et al. Control of lipid accumulation in the yeast *Yarrowia lipolytica*. **Applied and environmental microbiology**, v. 74, n. 24, p. 7779–89, 2009.



CANESIN, E. A. et al. Caracterização de Óleos Residuais para Produção de Biodiesel. **Elétron. J. Biotechnol.** Vol.17 nº1 Valparaíso ene. 2014. Versão On-line ISSN 0717-3458. Disponível em: . Acesso em: 24 de outubro de 2024.

CASTRO, et al. Modificação de óleos e gorduras por biotransformação. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n.1, p. 146-156, fev. 2004.

D'AMBROSIO, VASIL; JENSEN MICHAEL, K.; Lighting up yeast cell factories by transcription factor-based biosensors. **FEMS yeast research**, v. 17, n. 7, 2017.

DE OLIVEIRA et al.; Estudo Da Estabilidade Oxidativa Do Biodiesel A Partir Do Óleo De Pequi Após Diferentes Tempos De Fritura. **Revista Tecnológica**, v. 29, n. 2, p. 460-474, 2020.

FERREIRA et al. Isolation and identification of yeasts and lactic acid bacteria in pulp pequi (Caryocar brasiliense Camb.) as potential biocontrol agents. **Revista Higiene Alimentar**, v. 26, n. 212/213, p. 168-172, 2012.

GOMES, R. C. S.; Biodiesel X Diesel: Uma revisão sobre a produção e aplicações. 2023. 41f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) - **Instituto do Mar**, Universidade Federal de São Paulo, Santos, 2023.

JOHNRAVINDAR et al.; Lipid accumulation potential of oleaginous yeasts: A comparative evaluation using food waste leachate as a substrate. **Bioresource technology**, v. 248, p. 221-228, 2018.

MUNCH et al. Lipid production in the under-characterized oleaginous yeasts, *Rhodospiridium babjevae* and *Rhodospiridium diobovatum*, from biodiesel-derived waste glycerol. **Bioresource Technology**, v. 185, p. 49-55, 2015.

PAPANIKOLAOU, S.; AGGELIS, G.; Lipids of oleaginous yeasts. Part I: Biochemistry of single cell oil production. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, n. 8, p. 1031-1051, 2011.

PATEL et al; Sustainable biodiesel production from oleaginous yeasts utilizing hydrolysates of various non-edible lignocellulosic biomasses. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 62, p. 836-855, 2016.

PATEL et al. Assessment of fuel properties on the basis of fatty acid profiles of oleaginous yeast for potential biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 604-616, 2017.

PELCZAR JR., M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG N. R.: **Microbiologia conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 1997. v. 1. p. 524.

PORTAL BIODIESEL BR. Disponível em <http://www.biodieselbr.com>. 2019. Acesso em: 24 de outubro de 2024.

RAMOS et al.;Tecnologias de produção de biodiesel. **Rev. Virtual Quim.** 2011, 3, 385-405. DOI: 10.5935/1984-6835.20110043.



SANTIN, C. M. T.; **Síntese de biodiesel pela transesterificação e esterificação enzimática em sistema livre de solvente em banho de ultrassom**. Tese (Doutorado). URI - Campus de Erechim. Departamento de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. 213f. Erechim, RS. Setembro de 2013.

SILVA, C. I. S.; **Otimização das condições de cultivo da levedura *Rhodosporidium toruloides* NCYC 921 para produção de lípidos carotenóides em frascos agitados**. 2014. p. 53. Dissertação (Mestre em Engenharia Alimentar) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014..

SILVA, J. A. B.; da. **Produção de biodiesel e biolubrificantes: avaliação de novos catalisadores e antioxidantes naturais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Pró- Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Instituto de Química. Programa de Pós-Graduação em Química. 170.f. Natal-RN, 2019.

SITEPU, I. R.; GARAY, L. A.; SESTRIC, R.; LEVIN, D.; BLOCK, D. E.; GERMAN, J. B.; BOUNDY-MILLS, K. L.; Oleaginous yeasts for biodiesel: current and future trends in biology and production. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 1336–1360, 2014.

SOARES et al. < b> Assessment of lipolytic activity of isolated microorganisms from the savannah of the Tocantins. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 37, n. 4, p. 471-475, 2015.

SOUZA et al.; Caracterização e Utilização de Óleo Residual de Pequi (*Caryocar brasiliense*) na Produção de Biocombustíveis Líquidos. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v.5, n. 2, p. 41-49, 2020.

SPIER, FRANCIELA; BUFFON, JAQUELINE G.; BURKERT, CARLOS AV. Bioconversion of raw glycerol generated from the synthesis of biodiesel by different oleaginous yeasts: lipid content and fatty acid profile of biomass. **Indian Journal of Microbiology**, v. 55, p. 415-422, 2015.

SAWANGKEAW, R.; NGAMPRASERTSITH, S.; A review of lipid-based biomasses as feedstocks for biofuels production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 97– 108, 2013.

WOODBINE, M.; Microbial fat: Microorganisms as potential fat producers. **Progress in industrial microbiology**, 1959, vol. 1, p. 181-245.

YAN et al. Biotechnological preparation of biodiesel and its high-valued derivatives: A review. **Applied Energy**, v. 113, p. 1614-1631, 2014.