

FRAÇÃO DE ÉSTERES LEVES DO BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DO ÓLEO DA AMÊNDOA DA GUEIROBA (*SYAGRUS OLERACEA* BECC), PARA COMPOR, EM MISTURA COM O QUEROSENE MINERAL, COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO

Samuel Peres Chagas^{1,*}, Douglas Queiroz Santos², José Domingos Fabris^{1,3}, Luiz Vitor Leonardi Harter¹, Juliana Quierati da Silva¹

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química, Uberlândia, MG, 38.400-902, Brasil¹

Escola Técnica de Saúde, Universidade Federal de Uberlândia, 38408-100 Uberlândia – MG, Brasil²

Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha, 31270-901 Belo Horizonte – MG, Brasil³

* S P Chagas (samuel.chagas@ufu.br); D Q Santos (douglas.ufu@gmail.com); J D Fabris (jdfabris@gmail.com); L V L Harter (vitorharter@yahoo.com); J Q Silva (juliana.quierati@gmail.com)

RESUMO

A busca por fontes alternativas de energia torna-se cada vez mais foco de discussão. No setor de aviação, crescem os estudos sobre bioquerosene e biodiesel leve, como este trabalho. A matéria-prima para extração do óleo da gueiroba foi obtida a partir do tratamento de cocos coletados na região de Monte Carmelo, Minas Gerais. O óleo das amêndoas foi obtido a partir de um processo de extração via soxhlet com uso de solvente hexano, com rendimento de 62,77%. O processo de transesterificação deu-se com uso de metanol e hidróxido de potássio (KOH) como catalisador. A destilação do material obtido foi realizada em condições atmosféricas, com recolhimento da fração de 60% do volume total para melhor aproveitamento dos FAME's da fase leve, com aproveitamento de 59,79%. O produto obtido foi misturado ao querosene mineral em blends de 2%, 5%, 10% e 20% e foram analisados parâmetros de densidade, umidade, análise de destilação, ponto de fulgor e poder calorífico para verificar adequação quanto as resoluções ANP 778 e ASTM D1655, que tratam do querosene mineral e suas misturas. Diante dos resultados obtidos nas análises realizadas pôde-se verificar conformidade dos parâmetros quanto às normas regulamentadoras para blends de 2%, 5%, 10% e 20% em todas as análises realizadas. Porém, o biocombustível em seu estado puro não atinge os parâmetros estabelecidos.

Palavras-chaves: Óleo vegetal; gueiroba; biodiesel leve; bioquerosene; ANP; ASTM; blends; querosene mineral.



1. INTRODUÇÃO

Considerada um fator essencial para o crescimento e desenvolvimento das economias dos países, a demanda energética cresce cada vez mais; e ao contrário das fontes convencionais, não renováveis, o uso de energias renováveis traz diversos benefícios. (CAN ŞENER; SHARP; ANCTIL, 2018).

Um produto muito utilizado no setor de transportes, que é um dos destilados do petróleo é o **querosene**. Quimicamente, o querosene é uma mistura de hidrocarbonetos de petróleo principalmente formado por hidrocarbonetos alifáticos e ainda derivados de benzeno e naftaleno. (SC GAD; T PHAM, 2014). É um líquido oleoso, amarelo pálido ou incolor, com odor característico; obtido entre a faixa de 150° C a 300° C da coluna de destilação do petróleo, e sua volatilidade é intermediária entre a gasolina e o óleo diesel. (SPEIGHT; EL-GENDY, 2018).

O seu principal uso atual é na aviação sob a forma de querosene de aviação, chamado de Jet-A1 ou QAV-1. Nacionalmente o querosene era regulado pela Resolução ANP número 37 de 2009; porém, foi substituído pela Resolução 778/2019, que traz as especificações para o querosene de aviação, chamado de QAV-1, querosenes alternativos (QAV alternativo) e as misturas entre eles, chamados de QAV-C.

A nível internacional as especificações do querosene estão presentes na norma D1655, da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), que estabelece os parâmetros mínimos do Jet-A1 e do Jet-A. Importante ressaltar que o Jet A tem propriedades bastante semelhantes ao Jet-A1, mas é utilizado somente os EUA, enquanto o Jet-A1 é utilizado em todo o restante do mundo, assim como o Brasil, sob a forma de QAV-1. Ainda há o chamado Jet-B, que consiste numa mistura entre gasolina e querosene, com propriedades semelhantes ao Jet-A1, porém, diferente nas características de ponto de congelamento e densidade. É mais indicado para aeronaves militares, e possui especificação própria sob a norma ASTM D6615. (OILTANKING, 2015).

Porém, o uso do querosene traz alguns problemas envolvidos. As emissões antropogênicas de gases de efeito estufa vem provocando grande aumento nas concentrações de GEE, principalmente de dióxido de carbono (CO₂), emitido através da queima de carvão e dos combustíveis fósseis. (CLOY; SMITH, 2018).

Apesar de ser um contribuinte relativamente pequeno para o total das emissões atmosféricas antropogênicas anuais de CO₂ (2,6%), a atividade de aviação comercial segue



crescendo numa faixa de aproximadamente 5% ao ano. (STAPLES et al., 2018). Assim, buscam-se alternativas para redução das emissões atmosféricas do setor, forma os biocombustíveis se apresentam como uma opção bastante interessante para reduzir as emissões atmosféricas, já que se a biomassa é utilizada como combustível, a emissão líquida de carbono para o meio ambiente é zero, uma vez que a biomassa absorve em seu processo de crescimento uma quantidade de carbono igual a quantidade emitida na queima desta mesma biomassa se utilizada como biocombustível. Outro fator importante é o baixíssimo teor de enxofre nas biomassas, portanto a emissão de dióxido de enxofre (SO₂) também é bem menor em relação aos combustíveis fósseis. (LOHA et al., 2019).

No setor de aviação temos os chamados querosenes alternativos, ou, *Alternative Jet Fuels (AJF)* que são regulados pela ANP 778/2019, na seção de “QAV-C” e pela ASTM D7566, que trazem as especificações das rotas de produção para combustíveis de aviação que contém hidrocarbonetos sintetizados, como SPK-HEFA, SPK-FT, SPK-ATJ, SPK-A e SIP. (YANG et al., 2019).

Porém, os processos envolvendo a produção de ésteres alquílicos de ácidos graxos por uma transesterificação catalisada de óleos vegetais, não estão no grupo de “AJF’s” muito provavelmente devido a produção de somente biodiesel por esta rota, e não bioquerosene. (VIEIRA et al., 2011). Portanto, do mesmo modo que para a ANP, a especificação internacional utilizada trata do querosene mineral, neste caso, utilizando a norma da ASTM número D1655. Os biocombustíveis devem ser certificados como equivalentes às especificações ASTM D1655, a fim de alcançar uma compatibilidade desejável com a frota de aeronaves existente. (YANG et al., 2019).

A principal rota de produção do biodiesel é através de um processo químico denominado transesterificação. A transesterificação pode ser realizada utilizando catálise alcalina, ácida ou enzimática. A reação com catálise alcalina ocorre geralmente utilizando hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH), e acontece aproximadamente 4000 vezes mais rapidamente do que uma reação com a mesma quantidade de catalisador ácido, sendo assim, é a mais utilizada comercialmente. A reação ainda faz uso de um álcool, dos quais podem ser utilizados metanol, etanol, propanol, butanol e álcool amílico, porém os mais utilizados são o metanol e o etanol devido seu baixo custo e suas vantagens físico-químicas. (TAMALAMPUDI; FUKUDA, 2011).



Visando a produção de combustíveis para aviação, a principal característica de uma matéria-prima é a composição de ácidos graxos. Por fazer uso de uma “fase leve” de um biodiesel obtido, convencionou-se chamar o biocombustível obtido de biodiesel leve. Alguns trabalhos já foram realizados nesta área utilizando óleo de palma (RODRIGUES et al., 2010); (LLAMAS et al., 2012); e macaúba (HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018), este último inclusive utilizando também o processo de transesterificação seguido de destilação atmosférica.

Portanto, este trabalho se propõe a produzir um biocombustível para ser utilizado sob a forma de blends com o querosene mineral, obtido através de um processo utilizando transesterificação catalítica (KOH) em via metanólica de biodiesel, e um posterior processo de destilação atmosférica com corte em 60% do volume inicial (para melhor aproveitamento da fase leve) para produzir um produto denominado biodiesel leve, a partir do óleo da amêndoa oleaginosa *Syagrus Oleracea* BECC, tradicionalmente chamada de gueiroba, nativa do Cerrado, que possui mais de 75% de ácidos graxos leves em sua composição, na faixa de C8 a C14 (BUZIN et al., 2016); (COIMBRA, 2010); (NOZAKI, 2012); constituindo-se assim uma matéria prima ideal para produção de combustível de aviação.

Este biocombustível foi avaliado segundo as normas ASTM D1655 e ANP 778/2019 que tratam sobre o querosene mineral, para os parâmetros de densidade, umidade, análise de destilação, ponto de fulgor e poder calorífico. Importante ressaltar que a norma ASTM D7566 que tratam sobre os AJF's não foi utilizada pois a rota de produção deste trabalho não consta na norma regulamentadora.

2. METODOLOGIA

Foram adquiridos 5.000 cocos na região de Monte Carmelo, MG, de onde foram obtidos 5,4 kg de material por extração manual, que foram convertidos em óleo através de uma extração via Soxhlet com solvente hexano. Análises de densidade (picnômetro, ASTM D1298), umidade (Karl Fischer, ASTM D6304), índice de acidez ((MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2011), índice de peróxido ((LUTZ, 2008) foram realizadas.

A produção de biodiesel foi realizada a partir de um processo de transesterificação catalítico em via metanólica, segundo metodologia específica. (HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018).



O procedimento de destilação atmosférica do biodiesel para obtenção da fase leve foi realizado para aproveitamento da fase leve do biodiesel. (HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018). Foi realizado em condições atmosféricas. Foi feito um corte, ou seja, o procedimento foi interrompido na faixa de 60% do volume inicial, com temperatura inicial de ebulição de 180°C chegando até 270°C no topo da coluna.

Foram então preparados blends em mistura ao querosene mineral, na faixa de 2, 5, 10 e 20%, os quais foram submetidos a análises de densidade relativa (ASTM D1298), umidade (ASTM D6304), análise de destilação (NBR 9619), ponto de fulgor (NBR 7974), e poder calorífico (ASTM D4529). Os resultados obtidos foram comparados às normas regulamentadoras antes mencionadas.

3. RESULTADOS E DISCURSÃO

Análises do óleo vegetal evidenciaram viabilidade do mesmo para o procedimento de transesterificação catalítica com KOH, segundo limites encontrados na literatura. (VIEIRA et al., 2011); (EL-MASHAD; ZHANG; AVENA-BUSTILLOS, 2008); (FAUSTINO, 2015). Com densidade de 0,895 g/cm³, umidade de 651,2 ± 20,818 mg/kg, índice de acidez de 2,240 ± 0,106 mg KOH/g e índice de peróxido de 0,378 ± 0,067 meq/kg.

O processo de transesterificação teve rendimento de 62,77%, bastante satisfatório em comparação com a literatura. Um procedimento realizado com óleo de moringa também por 4 horas obteve somente 44,76% de rendimento. (ALMEIDA et al., 2015).

O procedimento de destilação atmosférica foi efetivo do ponto de vista do corte, que foi realizado na faixa de 59,79% do volume inicial. Os blends foram preparados em misturas de 2, 5, 10 e 20% e analisados.

As análises foram realizadas seguindo as metodologias expostas anteriormente. Os resultados obtidos foram comparados às normas ANP 778/2019 e ASTM D1655 que tratam sobre as especificações do querosene mineral. Os resultados das análises de densidade, umidade, ponto de fulgor e poder calorífico bem como os parâmetros estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das análises realizadas e limites da legislação.



ANÁLISE	PARÂMETRO NACIONAL ANP 778/2019	PARÂMETRO INTERNACIONAL ASTM D1655	0% (Querosene mineral)	2%	5%	10%	20%	100% (Biodiesel leve)
DENSIDADE A 15°C (kg/mg ³)	-	775 a 840	817,5	818,6	821,9	822,9	828,4	872,5
DENSIDADE A 20°C (kg/mg ³)	771,3 a 836,6	-	814,0	815,5	816,2	818,7	823,5	866,7
UMIDADE (ppm)	-	-	5	1,4	1,6	4,3	4,9	25
PONTO DE FULGOR (Mín. °C)	38 ou 40	38	47	53,5	52	51	49	60
PODER CALORÍFICO (Mín. °C)	42,8	42,8	45,553	44,966	44,586	44,492	43,564	34,861

A **análise de densidade** dos blends evidenciou um aumento linear no parâmetro de acordo com o aumento da participação de biodiesel leve na mistura, sendo uma propriedade aditiva e parâmetros diretamente proporcionais. Este aumento crescente pode ser explicado pela participação de ésteres de ácidos graxos na mistura, quanto mais ésteres, maior a densidade. Outro ponto é a diminuição do valor com a diminuição da temperatura, o que é explicado pela relação massa e volume que nos dá a ideia de densidade. Uma vez que temos o aumento da temperatura, temos também a dilatação do combustível, que leva a um aumento do volume e consequentemente diminuição entre a relação peso e volume, diminuindo assim o valor absoluto de densidade. Todos os blends atendem aos parâmetros estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais. Somente a amostra de biodiesel leve puro não atende aos valores estabelecidos.

A **análise de umidade** evidenciou que a adição de biodiesel leve ao querosene mineral tem a propriedade de diminuir o seu teor de água. Embora não haja especificação nas normas regulamentadoras, é sabido que o teor de água em combustíveis de aviação é indesejável e perigoso, uma vez que pode acarretar problemas de formação de gelo, corrosão, desgaste e entupimento de filtros. (LLAMAS et al., 2012).

Na literatura temos um limite de 90 ppm-v para teor de água em combustíveis de aviação em operações normais e até 260 ppm-v para operações de emergência. (BAENA-ZAMBRANA et al., 2013). Porém, podemos tomar como parâmetro a umidade do querosene mineral, que foi de 5



ppm. Tendo em vista que o combustível mineral, comercial e já aceito para utilização possui este valor de umidade, podemos inferir que este seja um limite aceitável para o teor de água em combustíveis de aviação. Para ambos os casos – limite da literatura ou limite do querosene mineral – todos os blends atendem as propostas. Isso evidencia que os processos de remoção de água realizados na etapa de produção de biodiesel foram bastante eficazes (evaporação rotatória, estufa e dessecador) e descarta a necessidade de um novo processo de remoção de água. Assim como para a densidade, o valor de umidade da amostra pura se mostrou fora dos padrões adotados.

A **análise do ponto de fulgor** é uma variável importante do ponto de vista de segurança e manuseio do combustível, comumente utilizada para avaliar o risco geral de inflamabilidade durante armazenamento ou transporte. (YANG et al., 2019). Esta análise evidenciou que todas as misturas e até o biodiesel leve em sua forma pura atendem a legislação, que estabelece um valor mínimo para o ponto de fulgor. Os resultados apresentaram a tendência de redução no ponto de fulgor dos blends conforme o aumento da participação de biodiesel leve. Isto pode ser explicado pela presença de frações leves, que é inversamente proporcional ao ponto de fulgor, ou seja, quanto mais frações leves presente na mistura, menor será o ponto de fulgor (FARAH, 2012), o que explica os resultados obtidos.

A **análise do poder calorífico** demonstrou que todos os blends estão de acordo com os parâmetros estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais. Há um fator de linearidade que mostra que com o aumento da participação de biodiesel leve na mistura, ocorre uma diminuição do poder calorífico do combustível.

O poder calorífico está positivamente relacionado a razão entre hidrogênio e carbono (relação H/C), o que explica um maior poder calorífico do querosene comercial, que tem hidrocarbonetos em sua composição. (YANG et al., 2019). Outro fator que contribui para a diminuição do poder calorífico e do baixo valor encontrado na amostra pura, é o poder calorífico dos ácidos graxos presentes no biocombustível. O óleo que deu origem ao biodiesel leve é rico em ácido láurico (C12) e também ácido mirístico (C14), com mais de 50% (BUZIN et al., 2016). Estes dois ácidos possuem baixos valores de poder calorífico, sendo 35,854 MJ/kg e 37,446 MJ/kg, respectivamente; outro fato importante é que entre os ácidos saturados quanto maior a cadeia carbônica, maior é o poder calorífico. (OLIVEIRA, 2015). Dessa forma, a riqueza em ácidos graxos



de cadeias carbônicas curtas do biodiesel leve tem influência direta no poder calorífico do combustível na forma de blend.

Os resultados obtidos na **análise do perfil de destilação e do resíduo** são evidenciados na Tabela 2. Assim como para as análises anteriores, todos os blends atenderam aos limites estabelecidos pela legislação nacional e internacional, que possuem os mesmos limites. Não foi evidenciado nenhum padrão linear que indique algum comportamento específico dos pontos de evaporação e ebulição do combustível com a adição do biodiesel leve. Fato de destaque é que a adição do biodiesel leve ao querosene mineral faz com que ocorra uma diminuição no valor de resíduo, o que é um ponto bastante positivo, pois a presença de resíduos no combustível pode favorecer a formação de borras no motor, que traz problemas de entupimento de bicos e queima ineficiente.

Além disso, por mais que a amostra pura não atenda aos limites estabelecidos, os resultados obtidos estão bem próximos dos limites, exceto para o baixo valor de P.I.E – Ponto Inicial de Ebulição, o que é comum para óleos vegetais compostos por ésteres de ácidos graxos.

Tabela 2 – Resultados e parâmetros para a análise de destilação.

CARACATERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO (ANP e ASTM)	QUEROSENE MINERAL	BLEND 2%	BLEND 5%	BLEND 10%	BLEND 20%	BQ 100%
P.I.E (°C)	Anotar	154,0	162,0	156,0	151,0	131,0	64,0
10% evaporado (°C)	Máx. 205,0	173,0	180,0	178,0	178,0	180,0	212,0
50% evaporado (°C)	Anotar	202,0	207,5	206,0	206,5	211,0	249,0
90% evaporado (°C)	Anotar	233,0	234,0	231,0	239,0	247,0	272,0
P.F.E (°C)	Máx. 300,0	245,0	252,0	257,0	263,0	271,0	303,0
Resíduo (% volume)	Máx. 1,5	1,5	1,2	1,3	1,4	1,4	1,8

4. CONCLUSÕES

No presente estudo do processo de produção de biodiesel leve para utilização como combustível de aviação em mistura com o querosene, foi evidenciado viabilidade técnica das misturas de 2, 5, 10 e 20% em volume de acordo com os limites estabelecidos pela ANP 778/2019 e pela ASTM D1655, que tratam sobre o querosene mineral. O processo de



transesterificação catalítica utilizando KOH, seguida de uma destilação atmosférica para aproveitamento da fração leve do biodiesel se mostrou bastante eficiente, uma vez que as características obtidas nos blends se assemelham bastante às características do querosene mineral. Importante destacar que esta rota ainda não está presente nas normas regulamentadoras, portanto, este trabalho pode servir como base técnica para um estudo maior sobre a possibilidade do uso de ésteres de ácidos graxos na composição dos combustíveis de aviação.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à ESTES – Escola Técnica de Saúde da Universidade Federal de Uberlândia, pela disponibilização do LaBTA – Laboratório de Biocombustível e Tecnologia Ambiental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. N. C. DE et al. **Extração do óleo de moringa por diferentes métodos, visando a produção de biodiesel**. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anais...**Campina Grande, PB: 2015
- BAENA-ZAMBRANA, S. et al. Behaviour of water in jet fuel - A literature review. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 60, p. 35–44, 2013.
- BUZIN, E. J. W. K. DE et al. Perfil de ácidos graxos de folhas e amêndoas orgânicas de Guariroba. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 941–950, 2016.
- CAN ŞENER, Ş. E.; SHARP, J. L.; ANCTIL, A. Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. March, p. 2335–2342, 2018.
- CLOY, J. M.; SMITH, K. A. Greenhouse Gas Sources and Sinks. In: **Encyclopedia of the Anthropocene**. [s.l.] Elsevier Inc., 2018. p. 391–400.
- COIMBRA, M. C. **Caracterização dos frutos e dos óleos extraídos da polpa e amêndoa de Guariroba (Syagrus oleracea), Jerivá (Syagrus romanzoffiana) E Macaúba (Acrocomia aculeata)**. Tese de Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade Estadual Paulista, 2010.
- EL-MASHAD, H. M.; ZHANG, R.; AVENA-BUSTILLOS, R. J. A two-step process for biodiesel production from salmon oil. **Biosystems Engineering**, v. 99, n. 2, p. 220–227, 2008.
- FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade**. [s.l.] LTC, 2012.
- FAUSTINO, C. V. **Caracterização físico-química do óleo residual de fritura tratado com terra clarificante para utilização na produção de Biodiesel**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.



- HARTER, L. V. L.; SANTOS, D. Q.; FABRIS, J. D. Destilação atmosférica do biodiesel derivado do óleo de Macaúba ou do Palmiste para obtenção da fração de ésteres leves para uso como combustível de aviação. v. X, n. 00, p. 1–6, 2018.
- LLAMAS, A. et al. Biokerosene from coconut and palm kernel oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene. **Energy and Fuels**, v. 26, n. 9, p. 5968–5976, 2012.
- LOHA, C. et al. **Renewable Biomass: A Candidate for Mitigating Global Warming**. In: Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. Elsevier Ltd., 2019.
- LUTZ, A. Óleos E Gorduras. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**, p. 589–625, 2008.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E A. **Determinação do Índice de Acidez em Óleos Vegetais**, 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/legislacoes-e-metodos/arquivos-metodos-da-area-pov-iqa/it-pov-314-determinacao-de-umidade-em-oleos-vegetais.pdf/view>> Acesso em 23 abr. 2019.
- NOZAKI, V. T. **Potencial Nutricional da amêndoa e da polpa da Guarirova, Syagrus oleracea (Mart.)**. Dissertação de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2012.
- OILTANKING. **Aviation Fuels: Jet Fuel, Aviation Gasoline (Avgas), Jet B, Biokerosene**. Disponível em: <<https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/details/term/aviation-fuels.html>>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- OLIVEIRA, L. E. DE. **Avaliação dos parâmetros térmicos e calorimétricos das matérias-primas lipídicas e dos respectivos biodieseis produzidos**. Tese de Doutorado. Pós Graduação em Biotecnologia Industrial na área de Conversão de Biomassa. Universidade de São Paulo, 2015.
- RODRIGUES, E. N. B. et al. Estudo da produção e qualidade do Bioquerosene proveniente do craqueamento térmico catalítico do óleo de palma e do resíduo de neutralização. n. Out. 2010.
- SC GAD; T PHAM. **Kerosene**. In: Encyclopedia of Toxicology. 2014.
- SPEIGHT, J. G.; EL-GENDY, N. S. Refinery Products and By-Products. **Introduction to Petroleum Biotechnology**, p. 41–68, 2018.
- STAPLES, M. D. et al. Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels. **Energy Policy**, v. 114, n. July 2017, p. 342–354, 2018.
- TAMALAMPUDI, S.; FUKUDA, H. Biodiesel. In: **Comprehensive Biotechnology**. Second Edition. ed. [s.l.] Academic Press, 2011. p. 63–70.
- VIEIRA, J. A. V. et al. **Processo de produção de bioquerosene de aviação e composição de querosene de aviação**, 2011.
- YANG, J. et al. An overview on performance characteristics of bio-jet fuels. **Fuel**, v. 237, n. August 2018, p. 916–936, 2019.