

Perspectivas da rota SPK-ATJ para produção de bioquerosene de aviação: uma análise do potencial brasileiro e maranhense

Perspectives of the SPK-ATJ route for the production of aviation biokerosene: an analysis of the brazilian and Maranhão potential

Perspectivas de la ruta SPK-ATJ para la producción de bioqueroseno de aviación: un análisis del potencial brasileño y de Maranhão

DOI: 10.55905/oelv23n2-099

Receipt of originals: 1/17/2025

Acceptance for publication: 2/13/2025

Gabrielle de Jesus Souza

Graduanda em Ciência e Tecnologia
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil
E-mail: gabrielle.jesus@discente.ufma.br

Diogo Sousa de Sousa

Graduado em Ciência e Tecnologia
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil
E-mail: diogo.sousa@discente.ufma.br

Renan Cavalcante Martins

Graduado em Ciência e Tecnologia
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil
E-mail: rc.mart00@gmail.com

Fernanda Hellen de Souza Santos

Mestre em Tecnologias Aeroespaciais
Instituição: Universidade Federal do Maranhão
Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil
E-mail: fernanda.hss@discente.ufma.br

Mikele Candida Sant'Anna

Doutora em Engenharia Química
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco
Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil
E-mail: mikele.candida@ufma.br

RESUMO

A indústria aeronáutica contribui significativamente para as emissões de CO₂, com o crescimento do tráfego aéreo ampliando esse impacto. A substituição do Querosene de Aviação Fóssil (QAV) pelo Bioquerosene de Aviação (bioQAV) é uma estratégia para reduzir essas emissões. Este estudo avalia a rota tecnológica SPK-ATJ para produção de bioQAV, explorando o panorama mundial, brasileiro e maranhense. A metodologia incluiu revisão bibliográfica e prospecção tecnológica. Os resultados indicam que o Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) da rota SPK-ATJ encontra-se entre 4 e 7, fase de transição entre testes laboratoriais e implementação comercial. Estados Unidos e China lideram os investimentos em estudos afins e depósito de patentes. No Brasil a pesquisa ainda é incipiente, porém o país, assim como o estado do Maranhão, destaca-se como potencial fornecedor de matéria-prima para a produção mundial, embora desafios de escala persistam no estado.

Palavras-chave: BioQAV, Rota SPK-ATJ, Emissões de CO₂, Maranhão.

ABSTRACT

The aviation industry significantly contributes to CO₂ emissions, with the growth of air traffic amplifying this impact. Replacing Fossil Aviation Kerosene (QAV) with Aviation BioKerosene (bioQAV) is a strategy to reduce these emissions. This study evaluates the SPK-ATJ technological pathway for bioQAV production, exploring the global, Brazilian, and Maranhão contexts. The methodology included a literature review and technological prospecting. The results indicate that the Technology Readiness Level (TRL) of the SPK-ATJ pathway ranges between 4 and 7, representing the transition phase from laboratory testing to commercial implementation. The United States and China lead investments in related studies and patent filings. In Brazil, research is still incipient; however, the country, along with the state of Maranhão, stands out as a potential supplier of feedstock for global production, although scalability challenges persist in the state.

Keywords: BioQAV, SPK-ATJ Route, CO₂ Emissions, Maranhão.

RESUMEN

La industria aeronáutica contribuye significativamente a las emisiones de CO₂. Sustituir el Queroseno de Aviación Fósil (QAV) por Bioqueroseno de Aviación (bioQAV) es una estrategia para reducir estas emisiones. Este estudio evalúa la ruta tecnológica SPK-ATJ para la producción de bioQAV, analizando los contextos global, brasileño y maranhense. La metodología incluyó revisión bibliográfica y prospección tecnológica. Los resultados indican que el Nivel de Preparación Tecnológica (TRL) de la ruta varía entre 4 y 7. Estados Unidos y China lideran en estudios e inversiones. Brasil y Maranhão destacan como posible proveedores de materia prima, aunque persisten desafíos de escalabilidad.

Palabras clave: BioQAV, Ruta SPK-ATJ, Emisiones de CO₂, Maranhão.

1 INTRODUÇÃO

A indústria aeronáutica é responsável por cerca de 2% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) e espera-se que essa contribuição aumente com o crescimento do tráfego aéreo (IPCC, 2023). Para mitigar sua pegada de carbono, diversas medidas têm sido implementadas. Em 2016, a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) estabeleceu o Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional (CORSIA), visando estabilizar as emissões de CO₂ da aviação nos níveis de 2020. Esse esquema exige que as companhias aéreas compensem o crescimento de suas emissões comprando créditos de carbono de projetos que reduzem as emissões em outros setores (ICAO, 2022).

Outra estratégia para reduzir as emissões de CO₂ na aviação é a substituição do Querosene de Aviação Fóssil (QAV) por Bioquerosene de Aviação (bioQAV), que é produzido a partir de fontes renováveis e emite menos poluentes (LARSSON et al., 2019). Diversas rotas estão sendo estudadas para a produção de bioQAV que possa substituir o combustível fóssil sem a necessidade de adaptações nos motores de aviões. Uma destas rotas é a SPK-ATJ (*Alcohol to Jet Synthetic Paraffinic Kerosene*), que utiliza álcoois como matéria prima.

Este estudo tem como objetivo avaliar o estado da arte e da técnica da rota SPK-ATJ para a produção de bioQAV, analisando o panorama mundial, brasileiro e maranhense.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

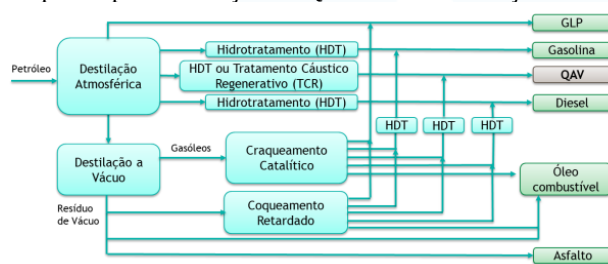
2.1 QUEROSENE DE AVIAÇÃO E SUAS NORMAS

O QAV é um derivado do petróleo produzido por meio de destilação direta, cuja temperatura de destilação ocorre tipicamente na faixa de 150 °C a 300 °C. Sua composição é caracterizada pela predominância de hidrocarbonetos parafínicos contendo entre 9 e 15 átomos de carbono, sendo uma mistura complexa de hidrocarbonetos alifáticos,

naftênicos e aromáticos. Também conhecido como QAV, o querosene de aviação abastece aviões e helicópteros dotados de turbina a jato, turboélices ou turbo-fans (PETROBRAS, 2021).

A produção de querosene de aviação a partir do petróleo é feita utilizando o processo de destilação atmosférica seguido por hidrotratamento ou tratamento cáustico regenerativo. Também pode ser obtido utilizando os processos de destilação a vácuo, craqueamento catalítico e hidrotratamento ou destilação a vácuo, coqueamento retardado e hidrotratamento (Figura 1).

Figura 1 - Esquema para Produção de Querosene de Aviação de Origem Fóssil.



Fonte: PETROBRAS (2021)

No Brasil, o querosene de aviação é regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) com a resolução ANP N° 856/2021, que estabelece as especificações tanto dos querosenes de origem fóssil, denominados JET A e JET A-1, quanto dos chamados “Querosene de Aviação Alternativos”, que são querosenes de aviação contendo hidrocarbonetos sintéticos, onde se incluem os biocombustíveis. Um terceiro tipo é chamado JET C: a mistura, segundo proporção definida pela resolução, de JET alternativo e JET A ou JET A-1.

As especificações de qualidade para o querosene de aviação também são definidas internacionalmente. O órgão responsável pela definição das normas e padrões internacionais é a *American Society for Testing and Materials* (ASTM). O JET A e JET A-1 são regulamentados pela ASTM-D1655. Enquanto a ASTM-7566 define os padrões para querosenes de aviação contendo hidrocarbonetos sintéticos.

2.2 BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO E ROTAS PARA SUA PRODUÇÃO

O bioQAV, também chamado de *SAF* (Combustível de Aviação Sustentável, sigla em inglês), é produzido a partir de fontes renováveis, como óleos vegetais, gorduras animais, algas ou até mesmo resíduos orgânicos, em contraste com o querosene de aviação convencional que é derivado do petróleo. Além disso, para a utilização do termo “sustentável”, o combustível deve atender a requisitos como: redução das emissões de carbono ao longo do ciclo de vida, utilização limitada de água potável, ausência de competição com a produção de alimentos necessários e ausência de desmatamento (IATA, n.d.).

Atualmente existem sete rotas aprovadas pelas normas da ASTM e ANP para a produção desses biocombustíveis. No entanto, pela resolução nº 856, é vedada a utilização isolada do querosene de aviação alternativo, sendo necessária a mistura com o JET A ou JET A-1 nas proporções indicadas para cada rota. Na Tabela 1, podem ser vistas as rotas aprovadas e a mistura máxima permitida.

Tabela 1 - Rotas para produção de bioQAV aprovadas pela resolução ANP nº856/2021.

ROTA	DEFINIÇÃO ANP nº856 de 2021	MIST. MÁXIMA
SPK-ATJ	Querosene parafínico sintetizado a partir de álcool etílico ou isobutílico, processado através de desidratação, oligomerização, hidrogenação e fracionamento.	50%
SPK-HEFA	Querosene parafínico sintetizado obtido pela hidrogenação de ésteres de ácidos graxos e ácidos graxos livres.	50%
SPK-FT	Querosene parafínico sintetizado obtido de um ou mais precursores produzidos pelo processo Fischer-Tropsch.	50%
SPK-A	Querosene parafínico sintetizado a partir de variação do processo Fischer-Tropsch com adição de aromáticos.	50%
SIP	Querosene iso-parafínico sintetizado a partir de açúcares com subsequente hidrogenação.	10%
SPK-HC-HEFA	Querosene parafínico sintetizado obtido pela hidrogenação de hidrocarbonetos bio-derivados da microalga <i>Botryococcus braunii</i> , ésteres de ácidos graxos e ácidos graxos livres.	10%
CHJ	Querosene contendo compostos aromáticos produzidos a partir de craqueamento catalítico e hidrogenação de ésteres de ácidos graxos e ácidos graxos livres.	50%

Fonte: Autoria própria, 2024

2.3 A ROTA SPK-ATJ

A rota ATJ-SPK foi certificada pela ASTM em 2016, quando foi permitida a mistura com o QAV numa razão de até 50%. Os principais álcoois utilizados como matéria-prima são o etanol e o iso-butanol. Este trabalho discutirá apenas a utilização de etanol.

A transformação do etanol em bioQAV é composta de quatro etapas, quais sejam: desidratação, oligomerização, destilação e hidrogenação. Uma esquematização do processo é mostrado na Figura 2. Esta rota possui vantagem comercial ao utilizar somente processos já utilizados em larga escala na indústria petroquímica, o que diminui os riscos e incertezas com relação à evolução tecnológica desse caminho. No entanto, a integração dos processos ainda é algo a ser validado (BYOGY RENEWABLES, 2011). Ademais, as etapas de desidratação e oligomerização destacam-se como estágios críticos, conforme detalhado a seguir.

Figura 2 - Esquema de produção de bioquerosene de aviação pela rota SPK-ATJ.



Fonte: elaboração própria.

2.4 ETAPA DE DESIDRATAÇÃO

O processo de desidratação do etanol na rota SPK-ATJ, tem como objetivo a produção de etileno. Para obter o produto de interesse nesta etapa duas variáveis são importantes: a temperatura e o tipo de catalisador utilizado. Cheng *et al.*, (2020) e Zhang *et al.*, (2008) mostram que temperaturas mais altas permitem a sintetização do etileno em detrimento da formação de produtos não desejados, no caso o éter etílico. Porém, dependendo do catalisador é necessário buscar uma faixa de temperatura adequada para o processo.

O processo de desidratação do etanol pode ter duas substâncias como produto, faz-se necessário a escolha de um catalisador com alta seletividade e estabilidade.

2.5 ETAPA DE OLIGOMERIZAÇÃO

O processo de oligomerização tem o objetivo de obter α -olefinas. A obtenção de oligômeros, hidrocarbonetos de cadeia longa é dependente de condições de processo como temperatura (ocorrendo entre 100 a 300°C), pressão (entre 0 e 70 bar) e tipo de catalisador utilizado, como catalisadores do tipo ziegler-natta e zeólitas.

Desse modo, as pesquisas relacionadas à forma do processo de oligomerização são fundamentais para garantir o melhor rendimento.

3 METODOLOGIA

Para este estudo foram realizadas revisão bibliográfica e prospecção tecnológica, no primeiro semestre do ano de 2024. Na avaliação quantitativa, foi realizada busca na base Scopus, enquanto para o estudo qualitativo foi utilizado um mecanismo de busca especializado em literatura acadêmica, o Google Acadêmico, as bases Scopus e Biblioteca Digital de Monografias da Universidade Federal do Maranhão e os sites da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), UNICA, NOVA CANA, RSB (*Roundtable on Sustainable Biomaterials Association*), entre outros.

Para a pesquisa de patentes internacionais, utilizou-se a base da WIPO (*The World Intellectual Property Organization*), enquanto a base do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) foi utilizada para a busca de patentes registradas nacionalmente. A Tabela 2 mostra os termos utilizados nas buscas. Foram analisados os processos de desidratação e oligomerização, por possuírem gargalos como seletividade e estabilidade do catalisador. Focando-se nestes dois processos seria possível verificar o desenvolvimento da rota em questão.

Tabela 2 - Termos utilizados para buscas nas bases Scopus, WIPO e INPI

	PESQUISA 1	PESQUISA 2
Scopus/WIPO	"Dehydration" AND "Ethanol" AND "Ethylene"	"Oligomerization" AND "Ethylene"
INPI	Desidratação AND Etanol AND Etileno	Oligomerização AND Etileno

Fonte: Autores

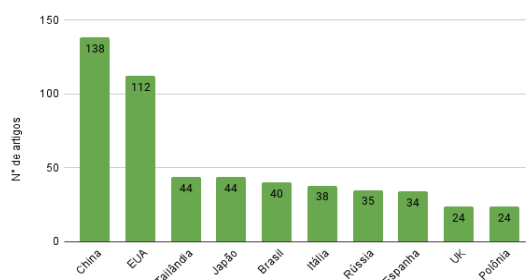
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SPK-ATJ: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS MUNDIAIS E BRASILEIROS

4.1.1 Processo de conversão de etanol em etileno

Foram encontrados 689 artigos, sendo 40 provenientes de instituições brasileiras. Na busca por patentes foram encontradas 415 patentes internacionais e 13 registradas nacionalmente. A Figura 3 mostra que China e EUA lideram em estudos sobre desidratação de etanol, com o Brasil em quinto lugar.

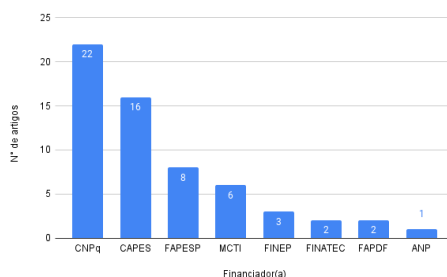
Figura 3 - Número de Artigos por País.



Fonte: elaboração própria.

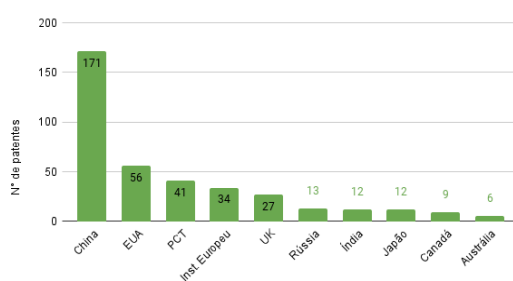
Em âmbito nacional, o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) são os maiores financiadores com 22 e 16 pesquisas, respectivamente, seguidos pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e o MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação) (Figura 4). A Figura 5 indica que China e EUA são os maiores depositantes de patentes, enquanto o Brasil não aparece na lista.

Figura 4 - Número de Artigos por Financiador(a) brasileiro(a).



Fonte: elaboração própria.

Figura 5 - Número de Patentes por País.



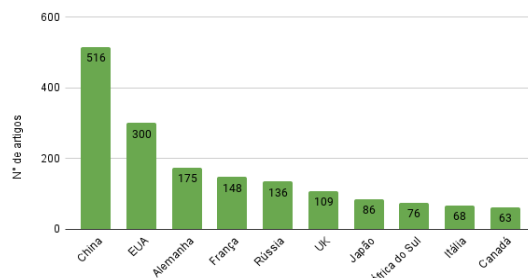
Fonte: elaboração própria.

4.1.2 Processo de oligomerização de etileno

Foram encontrados 1.856 artigos envolvendo o processo de oligomerização do etileno, sendo 49 de origem brasileira. Na base WIPO foram encontrados registros de 1.935 patentes, enquanto 12 patentes foram concedidas em território nacional.

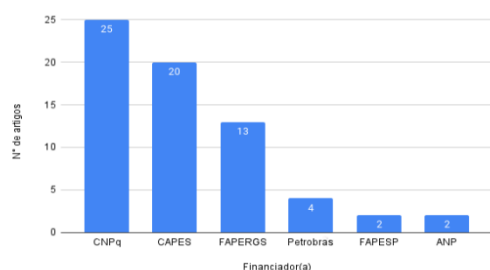
A Figura 6 mostra que China e EUA são os líderes em publicações, com o Brasil fora da lista dos países com mais estudos publicados, com CNPq e CAPES sendo novamente os maiores financiadores nacionais (Figura 7). Os maiores depositantes de patentes também são China e EUA (Figura 8), sugerindo uma ligação entre estudos publicados e o depósito de patentes nestes processos.

Figura 6 - Número de Artigos por País.



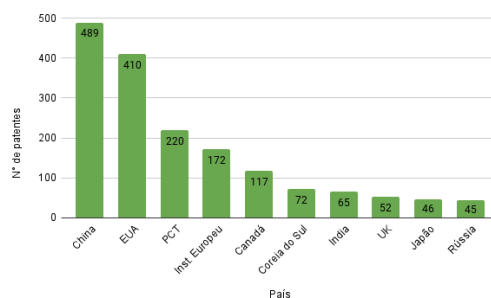
Fonte: elaboração própria

Figura 7 - Número de Artigos por Financiador(a) brasileiro(a).



Fonte: elaboração própria

Figura 8 - Número de Patentes por País.



Fonte: elaboração própria

4.2 MATURIDADE TECNOLÓGICA

Com os estudos do IRENA (2019) e de Bauen *et. al* (2020), é possível comparar a maturidade tecnológica das rotas para a produção de bioquerosene de aviação. As principais são mostradas na Tabela 3. A rota que se encontra em estágio mais avançado é a SPK-HEFA, com TRL (*Technology Readiness Level* - Nível de Maturidade Tecnológica) entre 6 e 9, segundo IRENA (2019) e 8, segundo Bauen *et al.*, (2020). Isso

significa que a tecnologia está compatível para aplicação em escala de produção industrial.

Tabela 3 - TRL das Principais Rotas de Bioquerosene de Aviação.

	IRENA (2019)	Bauen et al. (2020)
SPK-HEFA	6-9	8
SPK-ATJ	4-7	6-7
SIP	5-7	5-7
SPK-FT	7-8	6

Fonte: elaboração própria.

Para a expansão da rota HEFA, o maior desafio é a disponibilidade de matéria prima. No estudo “*Feedstock Availability for Sustainable Aviation Fuels in Brazil*” da RSB, é sugerido que, com a disponibilidade de insumos no território brasileiro e a atual logística para utilizar a rota HEFA, seria possível suprir apenas 6,5% da demanda nacional por querosene de aviação.

A rota SPK-ATJ, por outro lado, possui TRL entre 4 e 7, para IRENA (2019) e entre 6 e 7, para Bauen et al. (2020), o que indica a transição de testes laboratoriais para implementação de projetos comerciais.

Neste contexto, em janeiro de 2024 foi inaugurada a primeira planta comercial de SAF baseado na rota do etanol, pela LanzaJet na Georgia, EUA (DEPARTMENT OF ENERGY, 2024).

4.3 O BRASIL COMO FORNECEDOR DE ETANOL PARA A ROTA SPK-ATJ

Atualmente, o Brasil ocupa a segunda posição no ranking mundial de produtores de etanol, correspondendo a 28% da produção mundial (RFA, 2024). A matéria-prima mais utilizada no país é a cana-de-açúcar, porém, no intervalo de dez anos, a produção de etanol de milho na região do Centro-Sul do Brasil experimentou um notável crescimento, aumentando de 37 milhões de litros para 4,4 bilhões de litros. Esta expansão da produção

se espera que, deste biocombustível derivado do milho seja ainda mais expressiva no ciclo 23/24, alcançando uma parcela de 17% do volume total de etanol, em comparação com os 15% registrados na safra anterior, 22/23 (UNICA, 2023).

O Brasil possui cerca de 356 instalações produtoras de etanol, localizadas majoritariamente na região Centro-Oeste e em São Paulo, apresentando ainda um grande número de indústrias em parte do litoral Nordeste (Figura 9), mas que são responsáveis por apenas 5% da produção nacional de etanol (VIDAL, 2021).

A produção de etanol no Brasil expressa uma estabilidade, de acordo com dados do “Painel Dinâmico de Produtores de Etanol” da ANP apresentados na Figura 10. No entanto, esta é dependente de alguns fatores, como demanda por biocombustíveis, tendências no setor automotivo, desenvolvimentos tecnológicos, políticas governamentais e preços de *commodities*, pois como a matéria-prima mais utilizada nacionalmente é a cana de açúcar, produtores podem destinar a safra para a produção de etanol ou para a produção de açúcar.

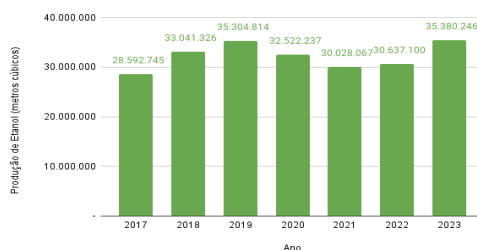
Figura 9 - Indústrias de Etanol no Brasil.



Fonte: Painel Dinâmico de Produtores de Etanol, ANP.

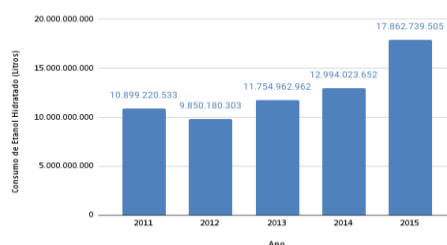
A produção brasileira é destinada principalmente ao mercado interno. A Figura 11, elaborada com dados do Observatório da Cana e Bioenergia (UNICA, 2023), mostra a evolução do consumo de etanol hidratado no Brasil. Os dados mostram uma crescente na demanda pelo biocombustível de 2011 a 2015, sendo produzidos 35 bilhões de litros em 2015, o que evidencia o estabelecimento da indústria do etanol no país.

Figura 10 - Produção de Etanol no Brasil.



Fonte: elaboração própria.

Figura 11- Consumo de Etanol Hidratado no Brasil.



Fonte: elaboração própria.

De acordo com a OCDE/FAO (2021), o Brasil atualmente é o único país do mundo em que o uso de biocombustíveis supera 10% da demanda de energia para transportes. Essa demanda pode ser explicada também pelo advento da lei brasileira que prevê a mistura de etanol à gasolina para motores de Ciclo Otto em uma proporção de 27%.

Além da grande quantidade de Etanol de Primeira Geração (E1G) produzido no Brasil, o estudo da RSB (2021) informa que, com a oferta de matéria prima (excedente de bagaço de cana de açúcar e palha) presente no território nacional (removendo a quantidade utilizada para gerar energia elétrica para a usina), o Brasil poderia suprir cerca de 90% da demanda por combustível de aviação utilizando a tecnologia ATJ. No entanto, atualmente apenas a empresa Raízen possui planta para a produção de Etanol de Segunda Geração (E2G) (NOVA CANA, 2024).

GELEYNSE *et al.*, (2018) estima que cerca de 80% do custo total do funcionamento de uma planta ATJ seria atribuído à produção do álcool. Dessa forma, a maturidade da indústria do etanol brasileira poderia diminuir os riscos e custos associados à produção de SAF pela rota ATJ.

O ISCC CORSIA refere-se ao Sistema Internacional de Certificação. Este é um dos sistemas de certificação reconhecidos pela CORSIA para verificar a sustentabilidade e a redução de emissões de biocombustíveis utilizados na aviação. Ele fornece critérios e padrões para avaliar a sustentabilidade dos biocombustíveis, verificando toda a cadeia de produção, desde o cultivo da biomassa até o consumo final, garantindo que o biocombustível seja produzido de forma responsável, com baixas emissões de carbono e sem causar danos significativos ao meio ambiente ou à segurança alimentar (ISCC, 2024).

As empresas brasileiras estão buscando a certificação ISCC CORSIA para o fornecimento de etanol para a produção de bioquerosene de aviação pela rota ATJ. No momento, foram certificadas as empresas Raízen, BP Bunge Bioenergia e FS (RAÍZEN, 2024; BP BUNGE BIOENERGIA, 2024). Estas poderão exportar etanol para países que possuem plantas ATJ, como realizado pela Raízen (NOVA CANA, 2024b), o que coopera com o desenvolvimento do mercado de bioquerosene de aviação no Brasil.

4.4 O POTENCIAL DO ESTADO DO MARANHÃO

4.4.1 Resíduo da cana de açúcar: potencial e desafios

Todos os anos cerca de 158 mil litros de etanol, majoritariamente E1G, são produzidos no Maranhão, colocando-o como quarto maior produtor na região Nordeste (Vidal, 2021). O estado conta com a presença de empresas como AgroSerra, Itapecuru, Alternativa, Itajubara e Maity, produtoras de etanol a partir da cana de açúcar, e passará a contar com a presença da Inpasa, que produz o combustível a partir do milho.

Apesar do foco no etanol de primeira geração a partir da cana de açúcar, o Maranhão possui ainda o potencial para a produção de etanol de segunda geração a partir dos resíduos das usinas de etanol e dos resíduos da extração do coco babaçu.

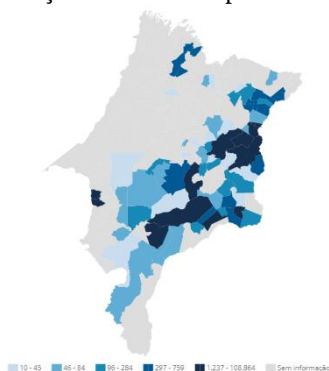
Segundo o IBGE (2022), o Maranhão possui 47.953 hectares de plantação de cana de açúcar, sendo produzidas cerca de 2.827.703 toneladas de cana de açúcar em 2022. Com a estimativa de que cada tonelada de cana de açúcar gera 0,3 tonelada de bagaço (Hofsetz & Silva, 2012), tem-se que a produção de bagaço de cana produzida no

Maranhão em 2022 foi de 848.310,9 toneladas. A Figura 12 evidencia a distribuição do valor da produção pelos municípios do estado.

Analisando o cenário hipotético onde 100% do bagaço produzido seria utilizado para a produção de E2G e adotando a estimativa de que 1 tonelada de resíduo de cana de açúcar produziria 0,289 tonelada de etanol, apresentada em (RSB, 2021), o Maranhão seria capaz de produzir 245.161,9 toneladas de etanol.

No entanto, segundo MAITY BIOENERGIA (2024), na região do Maranhão a maior demanda de resíduo de cana-de-açúcar ocorre para alimentação de bovinos e na avicultura, além da utilização para geração de energia.

Figura 12 - Produção de cana de açúcar nos municípios do Maranhão por valor de produção.



Fonte: IBGE, 2022.

4.4.3 Etanol do resíduo de coco babaçu: potencial e desafios

Segundo HOMMA (2014), até a década de 1950, o extrativismo do babaçu foi o pilar da economia do Maranhão, porém, perdeu sua relevância com a expansão do cultivo de grãos como soja, milho e algodão e, atualmente, o aproveitamento do babaçu estaria voltado para nichos de mercado, especialmente na indústria cosmética.

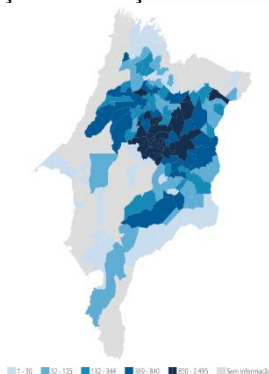
Por outro lado, com o avanço de políticas ambientais que visam a redução das emissões de gases do efeito estufa, a busca por fontes renováveis para a produção de energia para diversas indústrias faz com que o babaçu volte a ter importância no cenário econômico regional.

O coco babaçu é constituído por três camadas: a externa fibrosa é chamada epicarpo; a intermediária, fibrosa-amilácea é conhecida como mesocarpo; e a interna, lenhosa é chamada endocarpo, na qual estão inseridas as amêndoas. As amêndoas correspondem a somente 7% da composição total do fruto, enquanto a casca, junção das três camadas externas, corresponde a 93%.

Em estudo, Cardoso (2017) mostra que o etanol obtido do mesocarpo do coco babaçu, que é composto de até 60% de amido, apresenta perfil semelhante ao etanol comercial. A possibilidade da produção de etanol a partir desse material confere ao Maranhão uma vantagem comercial ao aproveitar resíduos de uma cultura extrativista forte no estado.

De acordo com dados do IBGE (2022), o Maranhão foi responsável por 89,6% da produção nacional de amêndoas de coco babaçu, produzindo cerca de 27,3 mil toneladas em 2022. Com a casca do babaçu correspondendo a 93% do fruto, o estado gerou cerca de 25 mil toneladas de resíduo neste ano. A Figura 13 mostra a distribuição da produção de babaçu no território maranhense, de acordo com o valor da produção.

Figura 13 - Produção de Babaçu nos municípios do Maranhão.



Fonte: IBGE (2022).

Apesar do potencial econômico, a cadeia produtiva do coco babaçu encontra-se subdesenvolvida, contando com pouco investimento e baixo nível de estruturação e integração entre seus elos.

A extração do fruto é feita tradicionalmente por comunidades locais. A etapa de coleta do coco é realizada majoritariamente por mulheres, chamadas “Quebradeiras de

Coco”, que coletam o fruto caído ao pé da palmeira ou fazem a derrubada dos cocos. Elas transportam os cocos em sacos de fibras, cofos e outros recipientes, carregando-os nas costas ou usando a força animal, até os locais de quebra ou para suas residências. A quebra dos cocos é realizada com o auxílio de um porrete ou machado (Rosa, 2011).

Em estudo feito na reserva extrativista Ciriáco, documentou-se que as Quebradeiras de Coco transportam os cocos até a estrada onde estes são levados por tratores da Associação dos Trabalhadores Agroextrativistas da Reserva Extrativista de Ciriáco (ATARECO) até o ambiente de apoio para a quebra do coco (Saraiva, 2022).

Segundo Bezerra (2023), um dos principais obstáculos para a coleta do coco babaçu é a localização da maior parte dos babaçuais dentro de propriedades rurais privadas. Embora a Lei do Babaçu Livre autorize as quebradeiras a acessarem essas propriedades para coletar os cocos e proíba a derrubada das palmeiras, a falta de fiscalização resulta frequentemente na obstrução da coleta, mesmo em áreas onde essa legislação está em vigor.

Boa parte dos processos de beneficiamento da matéria prima é feita de forma manual, devido a falta de recursos financeiros para investir na produção.

O processo de extração do óleo da amêndoa na reserva Ciriáco é feito pela ATARECO, na indústria de beneficiamento do babaçu. As amêndoas são colocadas para secar ao sol e depois utiliza-se uma máquina de moer para a extração do óleo (Saraiva, 2022).

Em levantamento feito na mata dos cocais, localizada entre o Maranhão e o Piauí, Lima *et al* (2015) afirma que parte da produção do babaçu para as associações se concentra na obtenção de azeite (extraído da amêndoa), massa do coco e farinha (mesocarpo), carvão e artesanato (derivados do endocarpo e epicarpo). O coco completo ou sem a amêndoa é vendido como biomassa para servir como alimento para caldeiras, enquanto parte do mesocarpo e da amêndoa são vendidos como complemento para ração e epicarpo e o mesocarpo para briquetagem ou para produção de adubo por meio da compostagem.

De modo geral, os produtos obtidos são vendidos localmente ou em cidades vizinhas, ou utilizados para consumo próprio. Em outros casos, cooperativas e

associações possuem acordos com multinacionais para a venda de produtos, como o óleo da amêndoa.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o estado da arte e da tecnologia da rota SPK-ATJ para a produção de bioquerosene de aviação, avaliando o contexto mundial, brasileiro e maranhense.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que a pesquisa e o depósito de patentes em processos que compõem a rota ATJ encontram-se bastante avançados, devido a esses processos serem utilizados largamente na indústria petroquímica. Estados Unidos e China lideram os investimentos nessa área. No Brasil, os estudos ainda se encontram em número baixo, sendo o CNPq e CAPES os maiores financiadores das pesquisas.

A rota SPK-ATJ encontra-se na fase de transição de laboratório para implantação de plantas comerciais, sendo os Estados Unidos pioneiros no quesito.

Não existem plantas ATJ comerciais no Brasil, mesmo o país possuindo infraestrutura e disponibilidade de matéria-prima que potencializa a instalação destas em seu território. As empresas brasileiras de etanol estão aproveitando o desenvolvimento dessa rota de forma indireta, ao buscar certificação para a exportação de etanol para a produção de SAF em outros países.

Nesse contexto, observou-se que o estado do Maranhão possui um grande potencial para a produção de E2G dos resíduos da cana de açúcar e da extração do coco babaçu. No entanto, ainda existem desafios com relação à escalabilidade da produção.

REFERÊNCIAS

BAUEN, Ausilio; BITOSS, Niccolò; GERMAN, Lizzie; et al. Sustainable Aviation Fuels. Johnson Matthey Technology Review, v. 64, n. 3, 2020.

BEZERRA, C. Uma das mais promissoras cadeias produtivas da sociobiodiversidade também é uma das mais ameaçadas: o Babaçu. ISPN - Instituto Sociedade, População e Natureza, 14 nov. 2023. Disponível em: <https://ispn.org.br/uma-das-mais-promissoras-cadeias-produtivas-da-sociobiodiversidade-tambem-e-uma-das-mais-ameacadas-o-babacu/>. Acesso em: 12 maio. 2024.

BP BUNGE está habilitada para fornecimento de etanol para produção de SAF. bp bunge bioenergia. Disponível em: <https://bpbunge.com.br/bp-bunge-esta-habilitada-para-fornecimento-de-etanol-para-producao-de-saf/>. Acesso em: 01 abr. 2024.

BYOGY Renewables. Alcohol To Jet (ATJ) emerging through ASTM. ICAO aviation and sustainable alternative fuels workshop. Montreal Canada; 2011

CARDOSO, Z. dos S. Avaliação das características químicas e eletroquímicas do etanol obtido do mesocarpo do coco babaçu para uso em célula a combustível. 2017. 66 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

CHENG, Yoke Wang; CHONG, Chi Cheng; CHENG, Chin Kui; et al. Ethylene production from ethanol dehydration over mesoporous SBA-15 catalyst derived from palm oil clinker waste. Journal of Cleaner Production, v. 249, p. 119323, 2020.

DEPARTMENT OF ENERGY (2024). First Ethanol Alcohol-to-Jet Sustainable Aviation Fuel Production Facility Unveiled!. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/first-ethanol-alcohol-jet-sustainable-aviation-fuel-production-facility>. Acesso em: 01 abr. 2024.

GELEYNSE, Scott; BRANDT, Kristin; GARCIA-PEREZ, Manuel; et al. The Alcohol-to-Jet Conversion Pathway for Drop-In Biofuels: Techno-Economic Evaluation. ChemSusChem, v. 11, n. 21, p. 3728–3741, 2018.

HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. Biomass and Bioenergy, Netherlands, v. 46, p. 564-573. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.038>. Acesso em: 01 abr. 2024.

HOMMA, A. K. O. (ed.). Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 467 p.

ICAO. (2018). First edition of Annex 16 — Environmental Protection, Volume IV – Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), adopted by the ICAO Council at its 214th Session (11 - 29 June 2018). <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/SARPs-Annex-16-Volume-IV.aspx>

ICAO. (2022). Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) - Frequently Asked Questions (FAQs) (updated as of December 2022). International Civil Aviation Organization. https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_FAQs_Dec2022.pdf

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IRENA. Where will we get our biojet?. 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2019/May/biojet-EUBCE/0-DolfGielen.pdf?la=en&hash=-1FA1D387B23EA8DF00635733670D8CC1B0519DD2>. Acesso em: 30 dez. 2021.

ISCC CORSIA – ISCC System. Iscc-system.org. Disponível em: <<https://www.iscc-system.org/certification/iscc-certification-schemes/iscc-corsia/>>.

LARSSON, Jörgen; ELOFSSON, Anna; STERNER, Thomas; et al. International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, v. 19, n. 6, p. 787–799, 2019.

LIMA, F. E. G; CASELLI, F. T. R. SILVA, M. S. levantamento do fluxo cadeia produtiva do babaçu na mata dos cocaís PI/MA. ENEGEP, 2015.

NOVA CANA. Etanol de Segunda Geração. Disponível em: <https://www.novacana.com/>. Acesso em: 10 jul 2024.

NOVA CANA. Raízen faz primeiro envio de etanol à usina de combustível de aviação sustentável nos EUA. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-01-25/usina-que-fara-combustivel-de-aviacao-com-etanol-abre-nos-eua>. Acesso em: 25 jun. 2024.

PETROBRAS. (2021). Manual de Querosene de Aviação (dez/2021). <https://petrobras.com.br/pt/assistencia-tecnica/>

Raízen é o primeiro player de etanol no mundo a receber certificação que habilita o produto para produção de SAF. raízen. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-e-o-primeiro-player-de-etanol-no-mundo-a-receber-certificacao-que-habilita-o-produto-para-producao-de-saf>>. Acesso em: 01 abr. 2024.

ROSA, J. R. A. M. Quebradeiras de coco babaçu: uma atividade sustentável? Recife: UFPE, 2011. (Dissertação de mestrado)

RSB & AGROICONE. Feedstock Availability for Sustainable Aviation Fuel in Brazil: Challenges and Opportunities. Roundtable on Sustainable Biomaterials, Switzerland, 2021.

SARAIVA, A. F. DA S.; OLIVEIRA, N. M. DE; PEDROSA FILHO, M. X.; LOPES, W. S. Cadeia produtiva do babaçu: uma análise através das dimensões da abordagem da cadeia global de valor. In: SENHORAS, E. M.; BERMÚDEZ, L. E. R. (org.). Cadenas globales de valor. Boa Vista: Editora IOLE, 2022. p. 290-315.

UNICA. (2023). Etanol de milho amplia competitividade do biocombustível. <https://unica.com.br/noticias/etanol-de-milho-amplia-competitividade-do-biocombustivel/>=

UNICA. Histórico de Consumo de Combustíveis. Disponível em: <https://unicadata.com.br/historico-de-consumo-de-combustiveis.php?idMn=11&tipoHistorico=10&acao=visualizar&idTabela=1708&produto=Etanol%2Bhidratado%2Bcombust%2526iacute%253Bvel&nivelAgregacao=1>. Acesso em: 16 jul. 2023.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e Mercado de Etanol no Nordeste Brasileiro. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 211, dez. 2021. (Caderno Setorial ETENE).

WANG, Wei-Cheng ; TAO, Ling. Bio-jet fuel conversion technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 53, p. 801–822, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115009867>>.

ZHANG, Xian; WANG, Rijie; YANG, Xiaoxia; et al. Comparison of four catalysts in the catalytic dehydration of ethanol to ethylene. Microporous and Mesoporous Materials, v. 116, n. 1-3, p. 210–215, 2008.