

# ENEI 2026

## sergipe

### X ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL E INOVAÇÃO

Indústria, Sustentabilidade e os  
Desafios Regionais



## 19-22 MAIO DE 2026



LOCAL: Universidade Federal  
de Sergipe. Avenida Marcelo  
Chagas, s/n. Jardim Rosa Elze.  
São Cristóvão (SE).

Realização: ABEIN

Associação Brasileira de  
Economia Industrial e Inovação



PPGE



Patrocínio:



## Mapeamento espacial e logística da produção de *Sustainable Aviation Fuel* (SAF): Aplicação para o Nordeste do Brasil

**Lindomayara França Ferreira**

*lindomayara@hotmail.com*

Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP)

**José Ricardo de Santana**

*jrsantanaufs@gmail.com*

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

**Claudio Dariva**

*claudio\_dariva@itp.org.br*

Universidade Tiradentes

**Resumo:** Diante dos desafios da descarbonização na aviação, a produção de combustíveis sustentáveis (SAF) tem sido apontada como uma alternativa promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, com potencial de mitigação de até 80% das emissões totais de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida. Apesar dos avanços tecnológicos e da redução gradual dos custos tecnológicos, o SAF ainda apresenta elevados custos de produção quando comparado com o querosene de aviação (QAV), em função de diferentes fatores associados à sua cadeia produtiva. Este estudo tem como objetivo analisar o potencial econômico e logístico da produção de SAF, a partir da demanda de combustível e das condições de oferta de biomassa de cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil. O trabalho contempla o mapeamento da oferta de biomassa, a projeção da demanda por SAF nos aeroportos e a identificação de localidades prioritárias para a instalação de biorrefinarias, considerando os custos de transporte. Os resultados indicam que o Nordeste possui elevado potencial para a produção de SAF a partir da cana-de-açúcar, com destaque para os estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Bahia. Observa-se também elevada demanda de QAV nos aeroportos de Pernambuco e Bahia. Considerando a meta estabelecida pelo Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), que prevê a mistura de 10% de SAF até 2037, estima-se uma demanda nacional de 279,12 mil toneladas anuais de SAF, das quais aproximadamente 61 mil toneladas corresponderiam a região Nordeste. Para atender a demanda regional, seriam necessárias cerca de 2.565 mil toneladas de cana-de-açúcar, volume que pode ser suprido pelos estados analisados. Considerando esses fatores, foram identificadas áreas com menores custos logísticos e maior potencial produtivo para a instalação de uma biorrefinaria na região. Os principais *insights* apontam para a atratividade de Alagoas, Pernambuco e Bahia como polos estratégicos para inserção nesse mercado emergente, contribuindo tanto para o país a alcançar suas metas de descarbonização quanto para estimular o desenvolvimento econômico de regiões historicamente marcadas por desigualdades econômicas.

**Palavras-chave:** Combustível sustentável; Aviação; Cana-de-açúcar; Transição energética; Nordeste.

**Código JEL:** Q42; R41.

# ENEI 2026

## sergipe

### X ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL E INOVAÇÃO

Indústria, Sustentabilidade e os  
Desafios Regionais



**19-22**  
MAIO DE 2026



LOCAL: Universidade Federal  
de Sergipe. Avenida Marcelo  
Chagas, s/n. Jardim Rosa Elze.  
São Cristóvão (SE).

Realização: **ABEIN**

Associação Brasileira de  
Economia Industrial e Inovação



Patrocínio: **CNPq**

**Área Temática:** Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade.

## Spatial Mapping and Logistics of Sustainable Aviation Fuel (SAF) Production: Application to Northeast Brazil

**Abstract:** Considering the challenges of decarbonizing the aviation sector, the production of Sustainable Aviation Fuel (SAF) has been identified as a promising alternative to reduce greenhouse gas emissions, with the potential to mitigate up to 80% of total lifecycle CO<sub>2</sub> emissions. Despite technological advances and gradual cost reductions, SAF still entails high production costs compared to conventional aviation kerosene (QAV), due to various factors associated with its production chain. This study aims to analyze the economic and logistical potential of SAF production, based on fuel demand and the supply conditions of sugarcane biomass in the Northeast region of Brazil. The research includes mapping biomass supply, projecting SAF demand at airports, and identifying priority locations for biorefinery installation, considering the minimization of transportation costs. The results indicate that the Northeast has significant potential for SAF production from sugarcane, particularly in the states of Alagoas, Pernambuco, Paraíba, and Bahia. A high demand for aviation kerosene is also observed at airports in Pernambuco and Bahia. Considering the target established by the National Sustainable Aviation Fuel Program (ProBioQAV), which sets a 10% SAF blending mandate by 2037, the estimated national demand is 279.12 thousand tons of SAF per year, of which approximately 61 thousand tons would correspond to the Northeast region. To meet this regional demand, about 2,565 thousand tons of sugarcane would be required, a volume that can be supplied by the states analyzed. Based on these factors, areas with lower logistical costs and greater production potential were identified as suitable locations for installing a biorefinery in the region. The main insights highlight the attractiveness of Alagoas, Pernambuco, and Bahia as strategic hubs for entering this emerging market, contributing both to the country's decarbonization goals and to fostering economic development in regions historically marked by economic inequalities.

**Keywords:** Sustainable fuel; Aviation; Sugarcane; Energy transition; Northeast Brazil.

## 1. Introdução

Em 2023, o setor de aviação foi responsável pela emissão de aproximadamente 950 Mt de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o que corresponde a cerca de 2,5% das emissões globais, representando um nível superior a 90% do período pré-Covid-19 (WEF, 2025a; IRENA, 2024). Dados da *International Air Transport Association* (IATA) indicam que, na ausência de avanços tecnológicos ou da adoção de políticas regulatórias de descarbonização, projeta-se que, até 2050, as emissões do setor aumentem em decorrência do crescimento da demanda por viagens aéreas (IATA, 2025a).

De acordo com o World Bank, entre as principais estratégias de descarbonização do setor estabelecidas pela *International Civil Aviation Organisation* (ICAO), destacam-se: (i) a compensação de emissões no mercado de créditos de carbono, por meio da aquisição de reduções certificadas de emissões (*Certified Emission Reductions* – CER) (ProQR, 2022); e (ii) a substituição progressiva do combustível convencional de aviação (Querosene de Aviação – QAV/Jet A-1) por combustível de aviação sustentável de base hidrocarboneto (*Sustainable Aviation Fuel* – SAF), sendo esta última o elemento de investigação do presente estudo (Shahriar; Khanal, 2022; Malina et al., 2022).

Em perspectiva comparativa aos combustíveis convencionais e dependendo da rota de produção, o SAF pode reduzir em aproximadamente 80% das emissões totais de CO<sub>2</sub> no setor de aviação, ao longo do ciclo de vida (IATA, 2025; Watson et al., 2024). Além disso, apresenta menor teor de impurezas, como aromáticos e enxofre, o que reforça seu potencial como substituto direto (*drop-in*) do QAV. Esse conjunto de atributos tem impulsionado as perspectivas de expansão do mercado, cuja demanda é estimada em cerca de 50 bilhões de litros em 2030, podendo alcançar aproximadamente 400 bilhões de litros em 2050 (UK PACT Brazil et al., 2025).

Algumas economias têm apresentado liderança na transformação do setor de aviação, seja pelo volume de SAF produzido, pelo estabelecimento de políticas regulatórias, metas de mistura (*blending*), investimentos em infraestruturas ou acordos de fornecimento com companhias aéreas (WEF, 2025a). Entre elas, os Estados Unidos (EUA) lideram o processo, com produção estimada de aproximadamente 133 bilhões de litros de SAF até 2050 (Pin et al., 2025).

Além disso, países da União Europeia e outros como o Canadá, Japão, Índia, Singapura, Reino Unido e Brasil vêm intensificando metas e mandatos até 2030. Nesse horizonte, a demanda obrigatória e projetada deverá alcançar 17,1 Mt/ano, o que corresponde a aproximadamente 5% da demanda global por combustível de aviação, ainda insuficiente para atender às metas globais de descarbonização, mantendo a neutralidade de emissões líquidas zero até 2050 como um desafio para o setor (WEF, 2025b).

No caso brasileiro, com a criação da Lei nº 14.993 que institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV) foi introduzido um mandato para a redução das emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) de 1% em 2027, aumentando gradualmente para 10% em 2037 (Brasil, 2024). Essas reduções não necessariamente precisam advir do SAF, entretanto, com o anúncio do investimento de cerca de US\$ 1 bilhão para estimular a produção de SAF do governo brasileiro (WEF, 2025a) e a experiência acumulada na produção de biocombustíveis, aliada à abundância de insumos – como culturas agrícolas, atividades pecuárias, resíduos e fontes de energias renováveis –, o país tem apresentado um elevado potencial para se consolidar como um polo global de produção de SAF (UK PACT Brazil et al., 2025).

Do ponto de vista econômico, o SAF ainda apresenta elevados custos de produção, embora se observe a redução dos custos tecnológicos nos últimos anos (WEF, 2025b;

Watson et al., 2024), o que limita sua competitividade frente aos combustíveis convencionais e reforça a necessidade de incentivos fiscais e de mecanismos de precificação de carbono mais robustos. Nesse contexto, a atratividade econômica dos investimentos de capital (*Capital Expenditures* – CapEx) pode variar em função de diferentes fatores, como a rota de produção, o nível de maturidade tecnológica (*Technology Readiness Level* – TRL), a disponibilidade de recursos naturais e a infraestrutura existente.

De acordo com a *World Economic Forum* (2025b), a rota *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* (HEFA) apresenta a menor intensidade de CapEx, com custo médio de US\$ 1,5k/t de SAF, seguida pelas rotas *Alcohol-to-Jet* (ATJ), com US\$ 4,3k/t, e *Fischer-Tropsch* (FT), com aproximadamente US\$ 7,2k/t. Cabe destacar que, embora a FT seja a rota de maior custo, também oferece as maiores reduções de emissões, o que a torna atrativa do ponto de vista ambiental (Skov; Abid, 2025).

Estudos destacam que a rota FT tende a se tornar competitiva quando integrada a usinas de primeira geração (Guimarães et al., 2023), ou até mesmo quando estruturada em múltiplas plantas de pequena escala conectadas a uma refinaria centralizada (Chioreshe et al., 2025). Nesses contextos, a descentralização é recomendada apenas para longas distâncias – superiores a 1.000 km – e elevada dispersão da biomassa. Embora a comercialização de CER desempenhe um papel relevante, por si só, não é suficiente para viabilizar economicamente a produção de SAF, pois requer a adequada configuração da cadeia produtiva. Portanto, a logística também se apresenta como um elemento fundamental para ampliar a atratividade de SAF (Guimarães et al., 2023).

Este trabalho tem como objetivo analisar o potencial econômico e logístico da produção de SAF, a partir da demanda de combustível e das condições de oferta de biomassa de cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil. Em específico: (i) mapear oferta de biomassa e projetar a demanda de SAF por aeroportos; e (ii) identificar localidades estratégicas para a instalação de biorrefinarias, considerando a minimização de custos de transportes. A principal contribuição deste estudo consiste em integrar a avaliação de cenários econômicos da produção de SAF de cana-de-açúcar, em nível estadual, aos custos de transportes de entrada e saída, considerando a disponibilidade de matérias-primas nas diferentes localidades e seus impactos sobre a escala operacional das biorrefinarias.

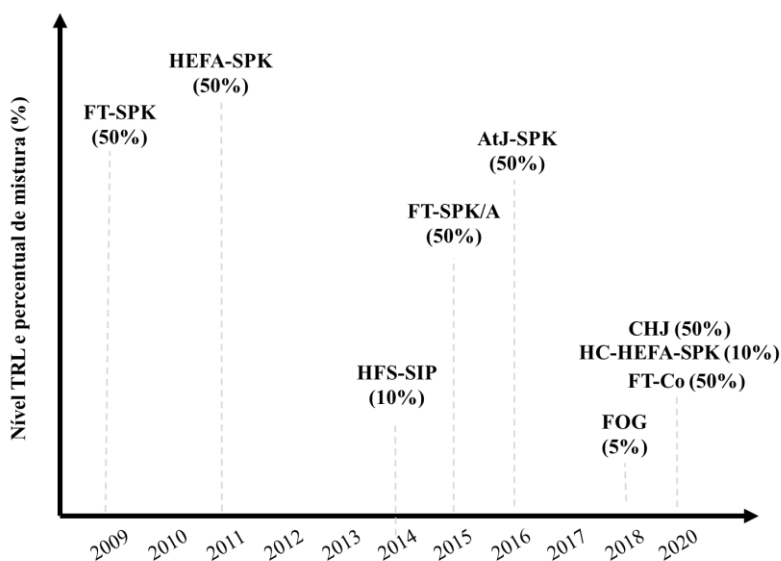
Além dessa seção introdutória, este estudo se subdivide em quatro seções. Na segunda seção serão discutidos aspectos conceituais do mercado de SAF e o enquadramento de estudos empíricos da literatura existente. Na terceira serão apresentados a caracterização da área de estudo, os pressupostos da cadeia de produção de SAF e os principais *insight* para o desenvolvimento de políticas de descarbonização no setor aéreo. A última seção traz as considerações finais.

## **2. Framework, rotas tecnológicas e estudos empíricos de *Sustainable Aviation Fuel* (SAF)**

O SAF pode ser produzido a partir de diferentes matérias-primas – como oleaginosas, óleo reciclados, produtos e resíduos agrícolas e florestais, culturas energéticas e resíduos urbanos –, e técnicas de processamento certificadas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (ProQR, 2022). Embora o SAF *drop-in* não exija adaptação de motores ou de infraestrutura associada ao abastecimento, ainda assim, demanda a disponibilidade de matéria-prima, de tecnologia de conversão e de uma localização estratégica de plantas de produção. Cabe ressaltar que o tipo de matéria-prima, a disponibilidade de uma cadeia de fornecimento local e a escolha da rota pode

influenciar significativamente a capacidade média de produção de SAF e o preço mínimo de venda sustentável (*Minimum Jet Fuel Selling Price – MJSP*) (Shahriar; Khanal, 2022).

**Figura 1** – Nível de maturidade (TRL) por rota tecnológica de SAF



Fonte: Elaboração própria com base em IATA (2020); Skov e Abid, 2024.

As técnicas de processamento apresentam graus distintos de maturidade e variabilidade no volume de mistura autorizada (Skov; Abid, 2024). A técnica mais consolidada é a *Hydroprocessed fatty acid esters and fatty acids* (HEFA-SPK) e a mais antiga a *Fischer-Tropsch* (FT) com gaseificação de biomassa, conforme ilustra a Figura 1. Na última década outras técnicas foram desenvolvidas, tais como: *Direct sugars to hydrocarbons* (HFS-SIP), *Fischer Tropsch synthesized isoparaffinic kerosene* (FT-SPK), *Alcohol to jet* (ATJ), *Fats, Oils, and Grease Co-processing* (FOG), *Catalytic Hydrothermolysis Jet fuel* (CHJ), *Hydroprocessed Hydrocarbons-synthesized isoparaffinic querosene* (HH-SPK ou HC-HEFA), e *Fischer-Tropsch Co-processing* (FT Co-processing) (IATA, 2025b; Shahriar; Khanal, 2022).

Estudos anteriores analisaram a viabilidade técnico-econômica (*techno-economic analysis – TEA*) e investigaram a otimização de cadeias de produção de SAF com diferentes rotas e matéria-prima, conforme descreve o Quadro 1.

Shahriar e Khanal (2022) identificaram que, no geral, dentre as rotas FT, HEFA e ATJ e utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar, o processo FT exige um maior investimento inicial, porém apresenta maior viabilidade econômica e menor impacto ambiental. Enquanto a rota HEFA revela desempenho superior em termos de MJSP, CapEx e despesas operacionais (*Operational Expenditures – OpEx*), sendo considerada a melhor opção para comercialização.

Nos Estados Unidos (EUA), Eswaran et al. (2021) identificaram que pela rota CH o SAF provavelmente não conseguirá competir diretamente com o combustível tradicional sem incentivos ou crédito de carbono. Além disso, segundo os autores, a produção de SAF a partir de óleo de soja apresenta o maior MJSP, quando comparada com óleo de carinata, gordura amarela e gordura marrom, especialmente devido ao custo da matéria-prima. Para os autores, a integração do processo CH com infraestrutura existente de refino de petróleo pode reduzir o MJSP e viabilizar economicamente a comercialização de SAF. Para Pin et al. (2023), a expansão da produção de SAF nos EUA é viável economicamente, porém requer ampliação significativa da infraestrutura e diversificação da matéria-prima para atender a demanda estimada.

**Quadro 1 – Panorama de estudos e aspectos de influência na análise técnico-econômica e logística de SAF**

| Referência                                   | Biomassa                                                                                           | Modelo                           | Localização                                                                                                  | Resultado principal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klein et al. (2018)                          | Cana-de-açúcar                                                                                     | TEA com rotas HEFA, FT e ATJ     | Brasil                                                                                                       | Os maiores níveis de produção de SAF foram observados nos cenários HEFA, porém o FT tem maior viabilidade econômica, maior Taxa Interna de Retorno (TIR) e menor MJSP.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Guimarães et al. (2023)                      | Cana-de-açúcar                                                                                     | TEA com rota FT                  | Brasil                                                                                                       | Mesmo com maior CAPEX, a integração com destilarias apresenta melhores resultados econômicos para a produção de SAF. A descentralização só se torna competitiva economicamente para cenários com distâncias superiores a 1.000 km.                                                                                                                                                                                                                                           |
| Eswaran <i>et al.</i> (2021)                 | Óleo de carinata, óleo de soja, gordura amarela e gordura marrom                                   | TEA com rotas HTL e CH           | EUA                                                                                                          | O processo CH pode ser uma rota promissora com incentivos ou créditos. Além disso, reduzir os custos de capital por meio de integração com infraestrutura existente de refino de petróleo pode impulsionar o processo CH rumo à comercialização.                                                                                                                                                                                                                             |
| Pin et al. (2025)                            | Agrião, camelina e carinata                                                                        | Otimização                       | EUA                                                                                                          | A análise identificou locais estratégicos para instalação de unidades de processamento e biorrefinarias, visando a minimização dos custos totais de três tipos diferentes de oleaginosas de inverno — agrião, camelina e carinata — como matérias-primas de SAF. Embora a expansão seja viável, ainda assim exige uma ampliação da infraestrutura e das capacidades logísticas da cadeia de suprimentos.                                                                     |
| Chireshe et al. (2024)                       | Semente de tabaco, cana-de-açúcar, gases residuais industriais e plantas lenhosas invasoras (IAPs) | TEA com as rotas: HEFA, ATJ e FT | África do Sul                                                                                                | A produção de SAF por ATJ de primeira geração utilizando cana-de-açúcar foi a mais econômica para produção comercial. Porém, as IAPs apresentaram o menor MJSP e menores níveis de emissões. Além disso, o fornecimento complementar de hidrogênio à síntese FT pode aumentar os rendimentos de SAF em até 70% e reduzir os custos de produção em até 18%. Os custos finais de processamento podem ser reduzidos com a produção de coprodutos como gasolina e diesel no ATJ. |
| Lu et al. (2015)                             | Capim-do-pânico e pinheiro-americano                                                               | Otimização                       | EUA                                                                                                          | O transporte de trem ou barcaça exige uma distância mínima para que seja viável. Em rotas longas o processo de peletização pode tornar mais eficiente e reduzir os custos logísticos.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Fatores                                      |                                                                                                    |                                  | Referência                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Rotas tecnológicas                           |                                                                                                    |                                  | Shahriar e Khanal (2022); Klein et al. (2018); Eswaran et al. (2021)                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Matéria-prima e <i>blend</i>                 |                                                                                                    |                                  | Shahriar e Khanal (2022); Eswaran et al. (2021); Chireshe et al. (2024); Pin et al. (2025); Lu et al. (2015) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Matéria-prima e Co-produtos gerados          |                                                                                                    |                                  | Chireshe et al. (2024)                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Matéria-prima e concorrência com alimentação |                                                                                                    |                                  | Pin et al. (2025)                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Custo de transporte                          |                                                                                                    |                                  | Lu et al. (2015)                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Infraestruturas Integradas                   |                                                                                                    |                                  | Klein et al. (2018); Guimarães et al. (2023)                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Infraestruturas Separadas                    |                                                                                                    |                                  | Guimarães et al. (2023)                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Fonte: Elaboração própria.

Na África do Sul, os autores Chireshe et al. (2024) destacam que os custos de matéria-prima e de processamento intermediário representaram a maior parte dos custos de SAF para as rotas HEFA, ATJ e FT, sendo a de primeira geração substancialmente mais cara. Ainda segundo os autores, os custos finais podem ser reduzidos com a produção acoplada de coprodutos como gasolina e diesel no processo ATJ, especialmente por gerar receita suficiente para cobrir os custos de capital.

No caso dos modelos de otimização, os autores Pin et al. (2025) investigaram o potencial de sementes oleaginosas que não competem com a produção de culturas alimentares, como o agrião, a camelina e a carinata. Apesar da viabilidade promovida pelas localizações estratégicas – das instalações de processamento e biorrefinarias – que minimizam custos e alcançam as metas de reduções nas emissões de GEE –, ainda assim, não é suficiente para atender às futuras demandas. Isso destaca a importância de diversificação da matéria-prima.

Além do tipo de matéria-prima e rotas tecnológicas, os custos de transportes de biomassa também influenciam a TEA. Os autores Lu et al. (2015) analisaram os custos logísticos com transporte via rodoviário, ferroviário e hidroviário, em perspectiva comparativa entre capim-do-pânico e pinheiro-americano. Os resultados apontam que o transporte de trem ou barcaça exige uma distância mínima para que seja viável. Além disso, o processo de peletização apesar do alto custo de produção, pode ser compensado em rotas longas devido à alta densidade de biomassa. Para os autores, a construção de biorrefinarias próximas a portos ou terminais podem reduzir os custos logísticos e viabilizar esse tipo de produção.

Klein et al. (2018) analisaram oito cenários de produção de SAF no contexto brasileiro, a partir do uso da cana-de-açúcar com três rotas distintas de produção: HEFA, FT e ATJ. Os autores identificaram que a rota FT tem um melhor resultado econômico em biorrefinarias integradas, com uma maior Taxa Interna de Retorno (*Internal Rate of Return* – IRR) e uma menor MJSP. Além disso, a eliminação dos custos na cadeia de suprimentos impacta significativamente o custo final da produção, o que torna as biorrefinarias integradas competitivas em relação as demais. Em concordância, Guimarães et al. (2023) destaca que a descentralização da cadeia pode não alcançar resultados promissores para o caso brasileiro.

Nessa perspectiva, é possível identificar uma multiplicidade de resultados nas análises técnico-econômica, seja em função das diferentes matérias-primas, das distintas rotas tecnológicas, da localização da cadeia de suprimentos ou até mesmo dos diversos contextos nacionais. Assim, diferentes fatores podem impactar a TEA (Klein et al., 2018; Eswaran et al. 2021; Pin et al., 2025). Isso destaca a importância de estudos que considerem as capacidades locais pré-existentes na região, tanto em relação à produção de biomassa quanto à localização das biorrefinarias e à logística de distribuição até o consumidor final (aeroportos).

### **3. Caracterização da área de estudo, dados e pressupostos da cadeia de produção de *Sustainable Aviation Fuel* (SAF)**

Esta seção tem como objetivo apresentar a área de estudo, os dados utilizados nas análises e os principais pressupostos da cadeia de produção. Para isso, está organizada em três subseções: a primeira descreve a localização da demanda de SAF, a segunda apresenta as estimativas da necessidade de SAF e a terceira realiza a análise espacial da cadeia de produção do Nordeste.

#### **3.1. Localização da demanda de QAV**

No Brasil, há um total de 5.397 aeroportos em operação. Seguindo a classificação internacional do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 5.262 são de pequeno porte e estão majoritariamente concentrados nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, conforme ilustrado no Mapa 1. Esses aeroportos são definidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo DECEA como unidades de baixa movimentação e infraestrutura limitada. Assim, para a presente análise, consideram-se os aeroportos de grande e médio porte. Os aeroportos de grande porte estão localizados em Belém, Belo Horizonte, Brasília, Florianópolis, Fortaleza, Manaus, Porto Seguro, Rio De Janeiro, São Paulo, Salvador e Vitória. Já entre os aeroportos de médio porte, do total de 124 unidades, 24 estão situados na região Nordeste do país.

**Mapa 1** – Localização dos aeroportos de pequeno, médio e grande porte no Brasil



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da ANAC (2025).

O volume de voos com origem nacional, por natureza (doméstica ou internacional), em 2024, para todas os estados, é apresentado na Tabela 1. As regiões Sudeste e Nordeste concentraram os maiores volumes de viagens, com destaque para São Paulo (9.412 voos; destes, 6.297 domésticos), Minas Gerais (2.402; destes, 2.216 domésticos), Rio de Janeiro (2.356; destes, 1.662 domésticos), Bahia (1.938; destes 1.794 domésticos), Pernambuco (1.428; destes 1.318 domésticos) e Ceará (1.229; destes 1.094 domésticos).

Nessa movimentação aeroviária, o Brasil comercializou aproximadamente 5,9 bilhões de litros em 2022, em volumes de vendas de QAV, crescimento de 35% em relação a 2021 (4,3 bilhões de litros). Em 2024, as vendas atingiram 6,9 bilhões de litros, alta de 6,78% frente a 2023 (6,5 bilhões). Esses resultados indicam expansão da oferta de QAV no país, concentrada principalmente em São Paulo, Rio de Janeiro, Distrito Federal, Minas Gerais, Pernambuco, Bahia e Ceará.

Em paralelo, a demanda de QAV também cresceu ao longo dos anos, em parte atribuída ao crescimento do setor aéreo. Em 2024, o maior volume concentrou-se em São Paulo, com 1,13 bilhão de litros destinados ao transporte doméstico (32% do total nacional). Em seguida, destacam-se Rio de Janeiro, com mais de 250 milhões de litros

(7,26%), Minas Gerais, com 196 milhões (5,61%), Bahia, com 201 milhões (5,76%), Pernambuco, com 238,87 milhões (6,85%), e Ceará, com 155,72 milhões (4,46%) (ANP, 2025).

**Tabela 1 – Demanda de voos de origem nacional - natureza e total de QAV, 2024**

| UF | Natureza  |               | Total | QAV<br>(Litros) | UF | Natureza  |               | Total | QAV<br>(Litros) |
|----|-----------|---------------|-------|-----------------|----|-----------|---------------|-------|-----------------|
|    | Doméstica | Internacional |       |                 |    | Doméstica | Internacional |       |                 |
| AC | 114       | 0             | 114   | 12.491.028      | PB | 424       | 12            | 436   | 47.708.069      |
| AL | 438       | 56            | 494   | 63.723.855      | PE | 1.318     | 110           | 1.428 | 238.865.724     |
| AM | 1.104     | 374           | 1.478 | 111.852.271     | PI | 258       | 0             | 258   | 26.472.934      |
| AP | 115       | 2             | 117   | 7.542.821       | PR | 1.390     | 473           | 1.863 | 117.558.329     |
| BA | 1.794     | 144           | 1.938 | 201.035.923     | RJ | 1.662     | 694           | 2.356 | 253.133.348     |
| CE | 1.094     | 135           | 1.229 | 155.724.689     | RN | 498       | 51            | 549   | 61.052.015      |
| DF | 1.408     | 207           | 1.615 | 275.706.485     | RO | 222       | 0             | 222   | 14.304.898      |
| ES | 372       | 26            | 398   | 48.069.685      | RR | 108       | 0             | 108   | 12.743.069      |
| GO | 451       | 0             | 451   | 54.646.899      | RS | 914       | 57            | 971   | 74.013.263      |
| MA | 404       | 2             | 406   | 49.941.996      | SC | 943       | 287           | 1.230 | 86.615.204      |
| MG | 2.216     | 186           | 2.402 | 195.681.913     | SE | 212       | 0             | 212   | 28.211.457      |
| MS | 289       | 3             | 292   | 26.226.622      | SP | 6.297     | 3.115         | 9.412 | 1.133.046.192   |
| MT | 614       | 9             | 623   | 65.078.039      | TO | 140       | 1             | 141   | 13.188.515      |
| PA | 1.241     | 75            | 1.316 | 114.394.835     |    |           |               |       |                 |

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da ANAC (2025) e ANP (2025).

Assim, observa-se maior concentração da cadeia de suprimentos, envolvendo distribuidoras e fornecedoras, localizados na região Sudeste do país. Entre as principais empresas destacam-se Petróleo Brasileiro S.A., como fornecedor, e a Raizen S.A. e a Vibra Energia S.A., como distribuidoras.

Em consonância com essa dinâmica da cadeia de suprimentos, o preço médio de QAV para produtores e importadores apresentou, entre 2022 e 2024, a redução de cerca de 20% no Brasil, com quedas mais expressivas nas regiões Sul e Sudeste. Para os consumidores, também se observou retração no período investigado, com destaque para as capitais Fortaleza (-21%), Belém (-20%), Salvador (-17%), Brasília (-17%), Porto Alegre (-15%), Rio de Janeiro (-15%), São Paulo (-15%) e Recife (-12%). Ainda assim, os preços permanecem superiores aos níveis de 2015 a 2020 (ANP, 2025).

### 3.2. Localização da oferta de biomassa de cana-de-açúcar

O Brasil apresenta vantagens competitivas para a produção de SAF a partir da biomassa de cana-de-açúcar, especialmente devido a disponibilidade de matéria-prima e o conhecimento acumulado com a produção de biocombustíveis de veículos pesados (Aguiar et al, 2023).

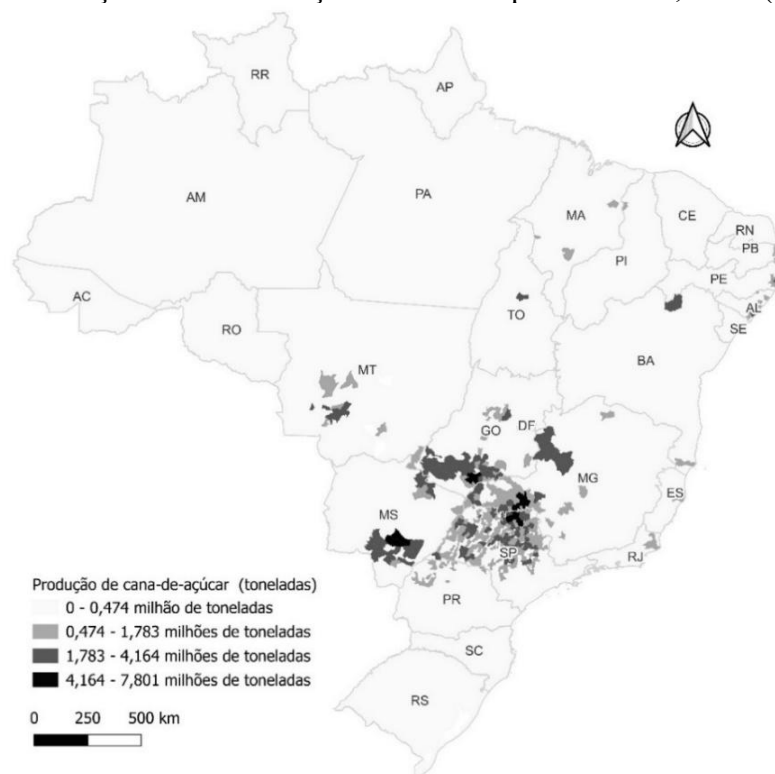
#### i) Brasil

Devido à indisponibilidade – até o presente momento – de dados municipais atualizados para 2024, a produção de cana-de-açúcar foi estimada com base nas informações estaduais do Relatório do 2º acompanhamento de safra brasileira da CONAB (2025). Para essa etapa, consideraram-se: (i) a participação da produção municipal conforme o Censo Agropecuário (IBGE, 2017); e (ii) a variação da produção de cada estado, com base nos dados da CONAB (2025) para o período 2017 a 2025.

Com base nas estimativas de produção de cana-de-açúcar em 2024, identificaram-se os principais estados produtores. Destacam-se São Paulo, com mais de 55% do volume nacional; Minas gerais e Goiás, ambos com mais de 10%; Mato Grosso do Sul, com mais de 7%; Paraná, com mais de 4%; e Alagoas, com mais de 3%. Em relação à participação

na produção regional, destacam-se os seguintes estados: (i) no Centro-Oeste, Goiás, com 41% da produção regional; (ii) no Nordeste, Alagoas (21%) e Pernambuco (17%); (iii) no Norte, Tocantins, com 57%; (iv) no Sudeste, São Paulo, com 75%; e (v) no Sul, Paraná, com 86%.

**Mapa 2** – Produção de cana-de-açúcar estimada para o Brasil, 2024 (toneladas)



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados IBGE (2025) e CONAB (2025).

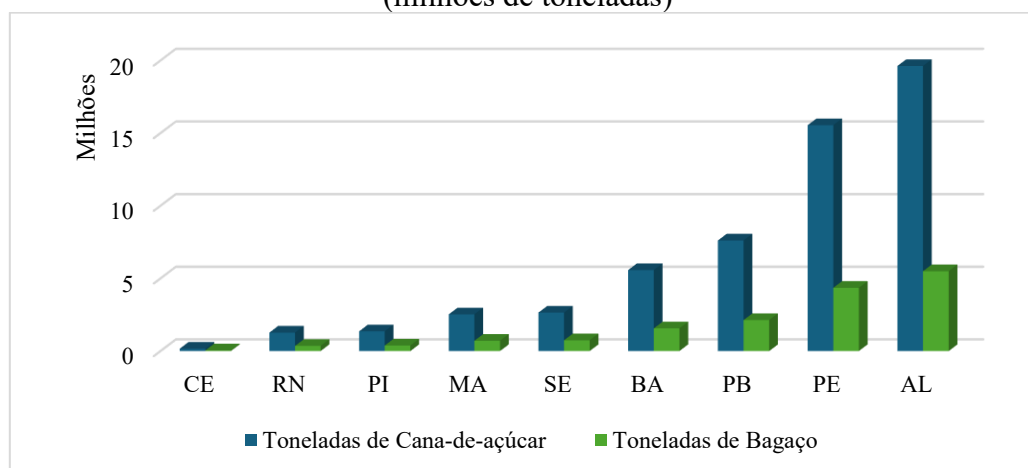
Em nível municipal, os principais produtores concentram-se nos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Alagoas, Mato Grosso, Tocantins e Bahia, com volume médio de produção superior a 4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (4.000 kton), conforme ilustra o Mapa 2. Do total de 3.542 municípios produtores de cana-de-açúcar, 201 apresentam produção superior a 1 milhão de toneladas (1.000 kton) e são classificados como de grande porte. Outros 167 produzem entre 0,5 e 0,9 milhão de toneladas (500-900 kton), sendo considerados de médio porte, enquanto 3.174 registram produção inferior a 0,5 milhão de toneladas (500 kton), classificados como de pequeno porte.

## ii) Nordeste

O volume total estimado da produção interna de cana-de-açúcar e da geração de bagaço para cada estado do Nordeste é apresentado no Gráfico 1. Este estudo considera que a produção de cana-de-açúcar, estimada com base em dados da CONAB (2025), gera aproximadamente 28% de bagaço<sup>1</sup>, isto é, 1 tonelada de cana gera, em média, cerca de 280 kg de bagaço. Em Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Bahia concentram os maiores volumes de produção de cana-de-açúcar e, consequentemente, de geração de bagaço.

<sup>1</sup> Fator de conversão de acordo com a literatura.

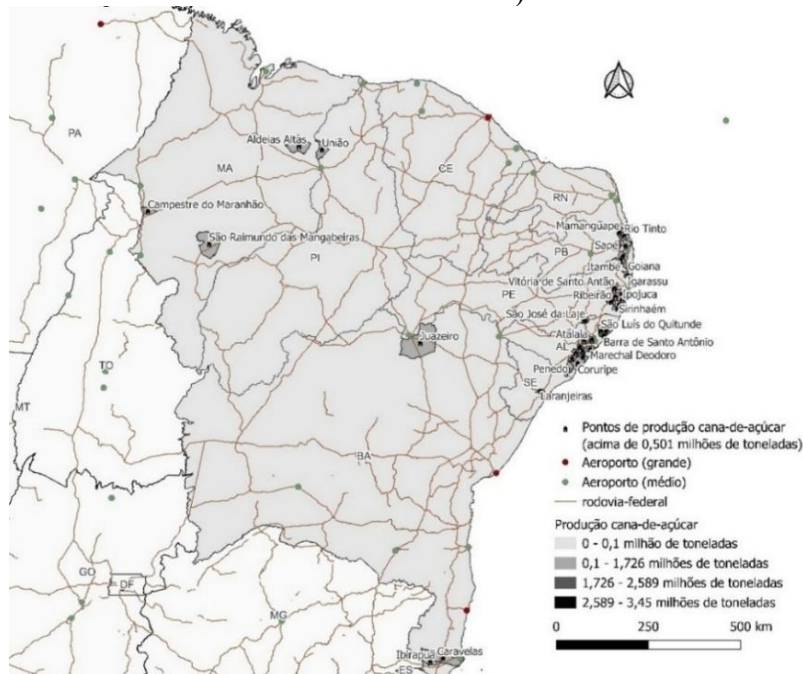
**Gráfico 1** – Produção de cana-de-açúcar e bagaço nos estados do Nordeste, 2024 (milhões de toneladas)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados IBGE (2025) e CONAB (2025).

Entre os 797 municípios da região, apenas 14 registraram produção interna superior a 1 milhão de toneladas (1000 kton) – Coruripe (AL), Juazeiro (BA), Ipojuca (PE), Caravelas (BA), Sirinhaém (PE), Santa Rita (PB), São Miguel dos Campos (AL), União (PI), Escada (PE), Igarassu (PE), Penedo (AL), Mamanguape (PB), São Raimundo das Mangabeiras (MA) e São José da Laje (AL) – sendo classificados como municípios de grande porte produtivo.

**Mapa 3** – Polos de produção de biomassa, demanda SAF e rodovia federal (milhões de toneladas)



Fonte: Elaboração própria.

Do total, 23 municípios de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Sergipe e Maranhão registram produção de médio porte, estimada entre 0,5 e 0,9 milhão de toneladas (500-900 kton). Os demais 760 municípios da região apresentam produção de pequeno porte, inferior a 0,5 milhão de toneladas (500 kton). Desses, aproximadamente 38% produzem menos de 0,001 milhão de toneladas (1 kton), ilustrado no Mapa 3.

**Quadro 2 – Demanda de combustível dos aeroportos no Nordeste - UF, 2024**

| Aeroporto                                                           | Sigla | UF | Demanda QAV 2024 (litros) | Demanda SAF 2024 (kton) | Demanda total da UF | %    |
|---------------------------------------------------------------------|-------|----|---------------------------|-------------------------|---------------------|------|
| Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió                   | SBMO  | AL | 63.723.871,00             | 50,98                   | 63.723.871,00       | 100% |
| Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães/Salvador    | SBSV  | BA | 141.224.221,00            | 112,98                  | 201.035.908,00      | 70%  |
| Aeroporto Internacional Pinto Martins/Fortaleza                     | SBFZ  | CE | 136.817.647,00            | 109,45                  | 155.724.689,00      | 88%  |
| Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado/Maranhão             | SBSL  | MA | 40.178.464,00             | 32,14                   | 49.942.003,00       | 80%  |
| Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes-Gilberto Freyre/Recife | SBRF  | PE | 222.863.431,00            | 178,29                  | 238.865.747,00      | 93%  |
| Aeroporto Senador Petrônio Portella/Teresina                        | SBTE  | PI | 25.546.964,00             | 20,44                   | 26.472.934,00       | 97%  |
| Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto/João Pessoa         | SBJP  | PB | 43.805.496,00             | 35,04                   | 47.708.056,00       | 92%  |
| Aeroporto Internacional Governador Aluísio Alves/Natal              | SBSG  | RN | 60.582.863,00             | 48,47                   | 61.052.002,00       | 99%  |
| Aeroporto Internacional Santa Maria/Aracaju                         | SBAR  | SE | 28.211.459,00             | 22,57                   | 28.211.459,00       | 100% |

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados ANP (2025).

Conforme apontando anteriormente, também se identificam polos de alta demanda de QAV nos aeroportos regionais, com destaque para Pernambuco (6,85% da demanda nacional), Bahia (5,76%), Ceará (4,46%) e Alagoas (1,83%). Os principais aeroportos de cada UF apresentam uma participação que varia entre 80% e 100% da demanda de cada localidade, com exceção do aeroporto de Salvador (BA) que representa uma participação de 70% na demanda total do estado, conforme descrito no Quadro 2. Portanto, para o presente estudo adota-se como pontos de demanda final essas instalações.

No entanto, a sazonalidade é um dos principais desafios dessa biomassa, especialmente por sua dependência aos fatores climáticos. Nesse cenário, compreender a sazonalidade da produção de cana-de-açúcar torna-se fundamental para estudos sobre SAF, pois permite antecipar variações na oferta, reduzir riscos produtivos e orientar o planejamento desse biocombustível.

Segundo a evolução da safra de cana-de-açúcar 2025/2026 (CONAB, 2025), a alternância entre chuvas e períodos de sol em diferentes regiões produtoras favoreceu a produção, sem prejuízos à colheita. Em Pernambuco, Alagoas e Paraíba, no Nordeste, a colheita começou em setembro de 2025, com previsão de término em março de 2026. Já na Bahia, o período foi mais longo devido ao regime hídrico favorável no final de 2024, com início da colheita em abril de 2025. O desenvolvimento da cultura concentrou-se entre junho e agosto nesses estados.

### **3.3. Necessidade de SAF e logística de produção**

Para estimar a necessidade de SAF algumas premissas foram adotadas. As variáveis monetárias foram todas deflacionadas para o ano-base de 2024, enquanto as demais variáveis foram convertidas para toneladas (produção de cana-de-açúcar e

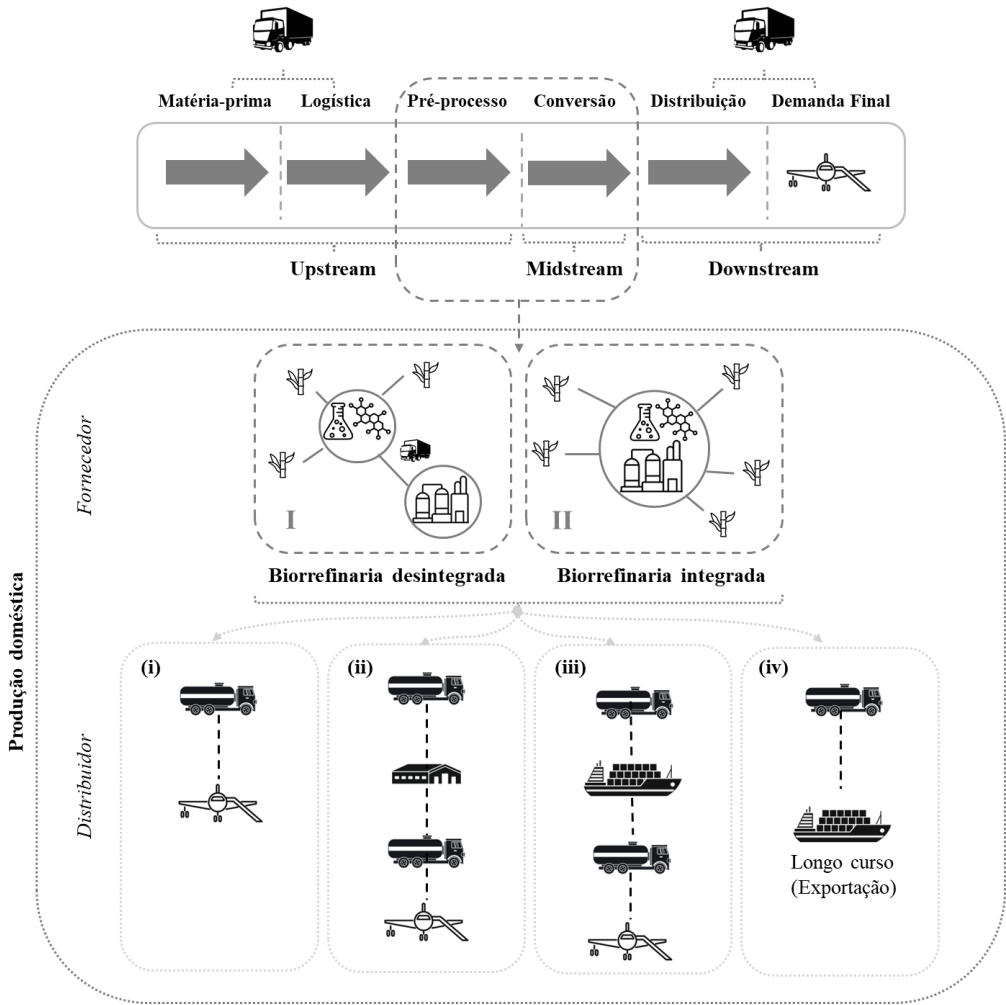
biomassa) ou litros (QAV e SAF). Além disso, foi utilizado fatores de conversão segundo a literatura.

A demanda doméstica de QAV, em 2024, foi de aproximadamente 3.489 milhões de litros, representada pelo consumo de voos domésticos no período (ANP, 2025). Com base nessa demanda e supondo uma substituição total de QAV por SAF, estimou-se o volume de 2.791,22 kton de SAF/ano<sup>2</sup>, conforme a Equação 1.

$$\begin{aligned} 3.489.030.078 \text{ L} * 0,8 \frac{\text{kg}}{\text{L}} &= 2.791.224.062,4 \text{ kg} \\ \therefore 2.791.224.062,4 \text{ kg} / 1.000 &= 2.791.224,0624 \text{ t} \\ \therefore 2.791.224,0624 \text{ t} / 1.000 &= 2.791,224 \text{ kton} \end{aligned} \tag{1}$$

Esses valores correspondem a um cenário de substituição total de QAV por SAF, porém considerando as normas estabelecidas da Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, que institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV) e estabelece uma meta de mistura de 10% de SAF até 2037 (Brasil, 2024), a demanda estimada de SAF é de 279,12 kton/ano.

**Figura 1 – Mapeamento do processo de produção de SAF**



Fonte: Elaboração própria.

<sup>2</sup> Adotando como referência a densidade do SAF de aproximadamente 0,8 kg/L.

Para o mapeamento da logística de produção, foram adotadas algumas premissas. As etapas de pré-processamento e conversão (*midstream*) são realizadas em biorrefinarias integradas (fornecedores), e os custos de transportes estão associados às transições entre as fases *upstream-midstream* e *midstream-downstream*. Embora existam outras modalidades logísticas na cadeia de biocombustíveis, este estudo considera, na etapa de distribuição, apenas cenários com transporte terrestre: (i) com etapas *upstream* e *midstream* integradas e custo de transporte direcionado à demanda final; e (ii) com etapas separadas cujo transporte ocorre de forma intermediária entre essas etapas, conforme ilustra a Figura 1.

Adicionalmente, adota-se como premissa a escala produtiva de uma planta com capacidade de 100 kton de SAF/ano (ou 125 milhões de litros/ano). Para atender à demanda nacional de voos domésticos, com substituição total da demanda de QAV, seriam necessárias 28 plantas operando com capacidade máxima de produção.

Para suprir apenas a demanda das regiões Sul e Norte, que corresponde a aproximadamente 16% da demanda total do país, estima-se que 2 unidades de produção (com capacidade de 100 kton cada) em cada região atenderiam ao mercado. No Centro-Oeste, seriam necessárias 3 unidades; no Nordeste, 7 unidades; e no Sudeste, um total de 13 unidades, conforme descrito na Tabela 2.

**Tabela 2 – Necessidade de SAF estimado por região (litros)**

| Região       | SAF Somatório (litros) | Participação, total (%) | Plantas (Un.) |
|--------------|------------------------|-------------------------|---------------|
| Sul          | 278.186.796            | 7,97%                   | 2             |
| Sudeste      | 1.629.931.138          | 46,72%                  | 13            |
| Norte        | 286.517.437            | 8,21%                   | 2             |
| Centro-oeste | 421.658.045            | 12,09%                  | 3             |
| Nordeste     | 872.736.662            | 25,01%                  | 7             |

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados ANP (2025).

Portanto, a região Nordeste apresenta a segunda maior demanda do país, com participação de aproximadamente 25% em relação à demanda nacional. Em termos de matéria-prima, em 2024, os estados do Nordeste registraram produção média de 56,29 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que resultou na geração de 15,76 milhões de toneladas de bagaço. Para suprir integralmente a demanda da região Nordeste, considerando a existência de 7 unidades de produção, seria necessário utilizar mais de 50% do resíduo produzido localmente. O mesmo raciocínio se aplica às demais regiões.

Assim, com as demandas internas de cada região, verifica-se que, no Nordeste, uma planta com capacidade de 100 kton, por um lado, atenderia o mercado de AL, RN, MA, PB, SE e PI. Além de suprir o estado de AL, a estrutura poderia, simultaneamente, atender também aos estados do RN, SE, MA ou PB. Por outro lado, uma unidade com capacidade de 100 kton não seria capaz de atender, de forma, isoladamente, às demandas dos estados de PE, BA e CE. Para suprir plenamente essas necessidades, seria necessária a implantação de mais de uma unidade em cada um desses estados.

Esses resultados indicam uma posição relativa de destaque para o estado de AL. Em outras palavras, AL pode ser considerado uma localidade com alto potencial para atender à sua demanda interna e aos mercados próximos, dadas as dotações locais existentes (como a presença de municípios com elevada produção de cana-de-açúcar) e os parâmetros adotados neste estudo.

A partir dessas premissas, são construídos três cenários de produção de SAF para o Nordeste:

- i) **Cenário 1:** substituição de 100% do QAV por SAF com localidades de produção média e alta (acima de 500 kton) próximos aos polos de demanda (aeroporto), cuja premissa principal é a proximidade de um polo de produção até a demanda final, isto é, com menor custo de transporte;
- ii) **Cenário 2:** substituição de 100% do QAV por SAF com o aglomerado de localidades de produção média e alta (acima de 500 kton), cuja premissa principal é o somatório de municípios com alta produção, mas não necessariamente municípios próximos da demanda final;
- iii) **Cenário 3:** substituição de 100% do QAV por SAF com o somatório de localidades de produção média e alta (acima de 500 kton) e produção de coco nas proximidades, cuja premissa principal é o aglomerado de municípios com alta produção de cana-de-açúcar e a possibilidade de combinações com coco, mas não necessariamente municípios próximos da demanda final.

### 3.4. Análise espacial integrada baseada em SIG para o Nordeste

#### i) Cenário 1

A partir da combinação dos polos de produção de cana-de-açúcar acima de 500 kton (médio e grande porte), de demanda SAF (aeroportos de médio e grande porte) e rodovia federal na região Nordeste é possível identificar alguns pontos de proximidade.

A distância aproximada por município de produção e a localidade da demanda final, bem como as possibilidades de rotas via BR federal são descritas no Quadro 3. Cabe destacar que não necessariamente são os municípios com maiores níveis de produção de cana-de-açúcar, pois no Cenário 1 a premissa estabelecida é a de menor distância de um polo de produção ao destino da demanda final. Portanto, nesse cenário haveria o menor custo de transporte nas etapas *upstream-downstream*.

**Quadro 3** – Rotas e distância do ponto de produção (acima de 0,5 milhões de toneladas) até o ponto de demanda final na região Nordeste

| Rota                                                                             | Distância                          | Rota BR                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Juazeiro (BA) ↔ Aeroporto Senador Nilo Coelho/Petrolina                          | 15 km, cerca de 20–25 minutos.     | BR-407 via Ponte Presidente Dutra; BR-235 e acesso municipal. |
| Laranjeiras (SE) ↔ Aeroporto de Santa Maria/Aracaju                              | 25 km, cerca de 30–40 minutos.     | BR-101 e acesso local; SE-100 e SE-375                        |
| Rio Largo (AL) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió               | 22 km, cerca de 30–35 minutos.     | AL-101 Sul ou AL-101 Norte                                    |
| São Luís do Quitunde (AL) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió    | 100 km, cerca de 1h30–02 horas.    | BR-104 e AL-101                                               |
| Atalia (AL) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió                  | 50 km, cerca de 50–60 minutos.     | AL-215 e AL-101 e BR-101 sentido Maceió                       |
| Barra de Santo Antônio (AL) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió  | 80 km, cerca de 1h20–1h40 minutos. | AL-101 Sul sentido Maceió                                     |
| Marechal Deodoro (AL) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió        | 30 km, cerca de 40–50 minutos.     | AL-101 ou AL-215 até BR-101                                   |
| Cabo de Santo Agostinho (PE) ↔ Aeroporto Internacional do Gilberto Freyre/Recife | 40 km, cerca de 50–60 minutos.     | PE-060 ou PE-035 até BR-101 Norte                             |
| Vitória de Santo Antão (PE) ↔ Aeroporto Internacional do Gilberto Freyre/Recife  | 50 km, cerca de 1h10–1h20 minutos. | PE-050 até BR-232 sentido Recife; R-232 e BR-101 Norte        |
| Igarassu (PE) ↔ Aeroporto Internacional do Gilberto Freyre/Recife                | 35 km, cerca de 40–50 minutos.     | PE-035 e BR-101 Sul sentido Recife                            |

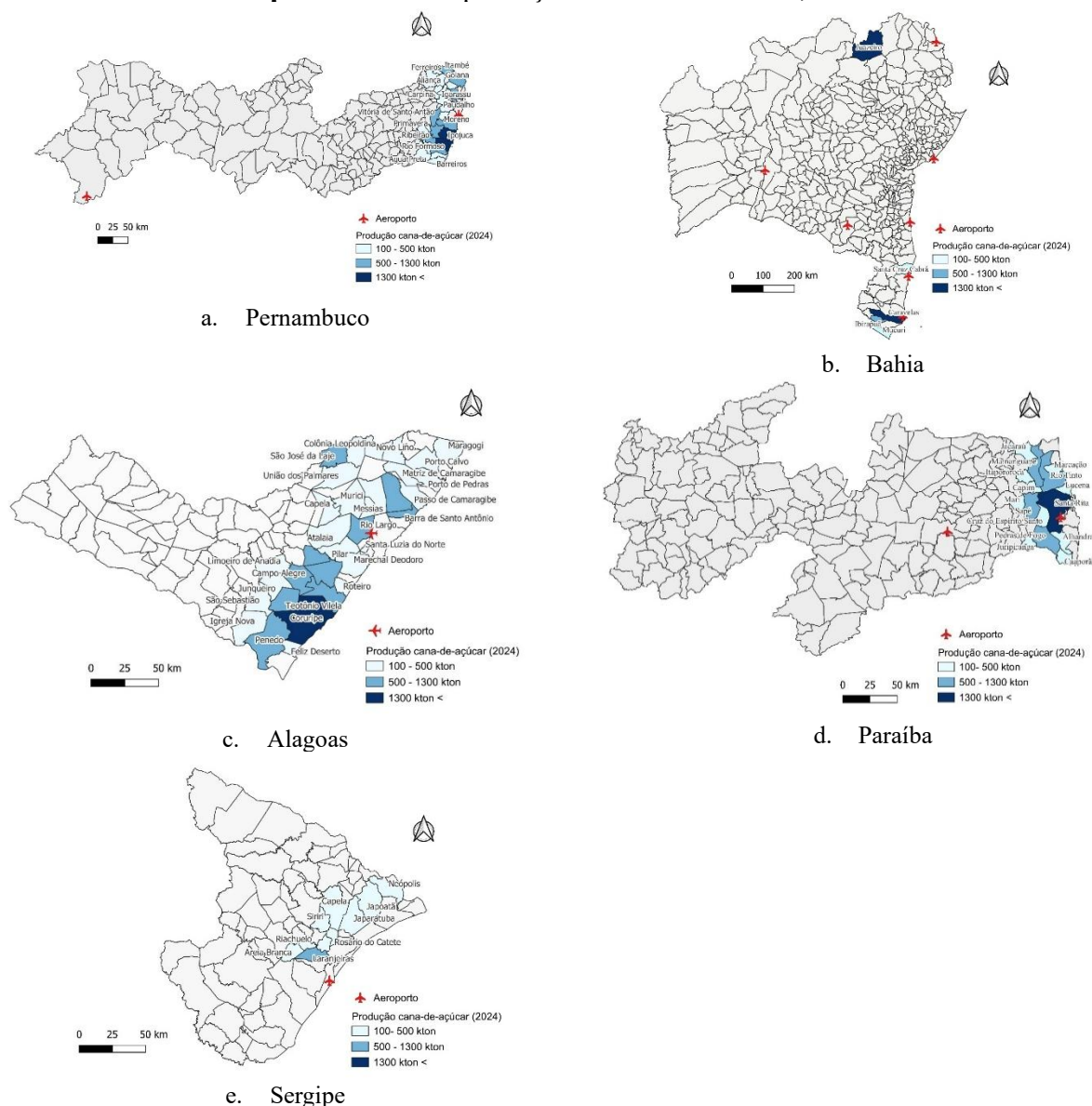
Fonte: Elaboração própria.

Na média, a distância dos municípios produtores até a demanda final é de aproximadamente 15 km, podendo chegar a 50 km. Dentre as localidades de menor distância, destaca-se Juazeiro (BA), cuja distância até Aeroporto Senador Nilo Coelho, em Petrolina, é de cerca de 15 km.

## ii) Cenário 2

Dos 797 municípios produtores do Nordeste, 37 apresentam produção superior a 500 kton. No Cenário 2, os estados de PE, BA, AL, PB e SE, apresentam alta demanda local e produção interna de cana-de-açúcar.

**Mapa 4 – Polos de produção acima de 100 kton, 2024**



Fonte: Elaboração própria com uso do *software* livre QGIS, a partir dos dados IBGE (2025) e CONAB (2025).

Em Pernambuco, dos 100 municípios produtores, 10 superam 500 kton. Sob a perspectiva de aglomerações produtivas, acrescentam-se 19 municípios com produção entre 100 kton e 500 kton. Os municípios com maior produção concentram-se nas regiões

Metropolitana, Mata Sul e Mata Norte, com destaque para Ipojuca e Sirinhaém, cuja produção supera 1.400 kton. Na faixa entre 500-1.300 kton, destacam-se também Escada, Igarassu, Goiana, Itambé, Cabo de Santo Agostinho e Rio Formoso. Assim, destacam-se três polos produtivos: (i) região Metropolitana, com aproximadamente 4.300 kton; (ii) região Mata Sul, com aproximadamente 5.456 kton; e (iii) região Mata Norte, com aproximadamente 4.231 kton. Em termos de valor de produção, o montante atingiu aproximadamente R\$ 2,728 bilhões em 2024.

A Bahia concentra o maior número de municípios produtores do Nordeste. No entanto, dos 254 municípios, apenas 5 registram produção superior a 200 kton, localizados no Norte da Bahia e no Extremo Sul Baiano, com destaque para Juazeiro e Caravelas. Em termos de valor, em 2024 foi registrada uma redução de aproximadamente R\$ 661 mil em relação ao ano anterior.

Em Alagoas, do total de 55 municípios produtores, destes 14 apresentam uma produção isolada superior a 500 kton. Quando analisados na perspectiva de aglomerações produtivas, 20 municípios com produção entre 100-500 kton são acrescentados. Os municípios com registro de maior produção no estado estão localizados nas regiões do Baixo São Francisco e Tabuleiros do Sul, com destaque para Coruripe, cuja produção é superior a 1.300 kton. Assim, destacam-se três polos produtivos: (i) região Sul, com aproximadamente 11.000 kton; e (ii) região Centro-Norte, com aproximadamente 7.000 kton. Em 2024, o estado registrou o maior volume de produção, estimado em aproximadamente R\$ 2,528 bilhões.

Na Paraíba, entre os 80 municípios produtores, apenas 15 apresentam produção superior a 100 kton, sendo que, desse conjunto, somente 5 municípios alcançam níveis de produção superiores a 500 kton, com destaque para Santa Rita e Mamanguape. Com apenas um polo produtivo localizado na região da Mata Paraibana, com o somatório da produção de aproximadamente 7.104 kton. Em 2024, o valor médio de produção do Estado foi de aproximadamente R\$ 1,22 bilhão, superior aos anos anteriores.

Em Sergipe apenas o município de Laranjeiras apresenta uma produção superior a 500 kton. Do total de 36 municípios produtores, apenas 9 destes possuem uma produção média entre 100 kton e 300 kton. Assim, destacam-se dois polos produtivos: (i) na região do Leste Sergipano, com aproximadamente 1.206 kton; e (ii) na região do Baixo São Francisco, com aproximadamente 806 kton. Em 2024, o estado registrou o maior volume de produção, estimado em aproximadamente R\$ 309 milhões.

Portanto, considerando esses polos – AL, PE, BA, SE e PB – como alternativas para instalação de uma planta de produção de 100 kton, é possível mapear a distância aproximada entre os aglomerados de produção e os locais de demanda final, bem como identificar as possíveis rotas por meio das rodovias federais, conforme apresentado no Quadro 4.

**Quadro 4** – Rotas e distância do ponto de produção (aglomerados acima de 500 kton) até o ponto de demanda final em estados do Nordeste

| Rota                                                                                                   | Distância Aglomerado                 | Rota BR                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sul - AL (Coruripe) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió                                | 87 km, cerca de 1h30 a 1h50 minutos. | AL-101 (trecho Litoral Sul) até acesso a BR-101 / BR-101 sentido Maceió.                                                         |
| Centro-Norte - AL (São José da Laje) ↔ Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió               | 65 km, cerca de 1h20 a 1h40 minutos. | BR-104 sentido Maceió .                                                                                                          |
| Metropolitana -PE (Cabo de Santo Agostinho) ↔ Aeroporto Internacional do Gilberto Freyre/Recife        | 36 km, cerca de 25–40 minutos.       | BR-101 (PE) acesso norte para Recife.                                                                                            |
| Mata Sul -PE (Rio Formoso) ↔ Aeroporto Internacional do Gilberto Freyre/Recife                         | 73 km, cerca de 1h10 a 1h30 minutos. | BR-101 (trecho litoral)                                                                                                          |
| Mata Norte -PE (Goiana) ↔ Aeroporto Internacional do Gilberto Freyre/Recife                            | 63 km, cerca de 1h a 1h20 minutos.   | BR-101 (sul/norte) direto até a região metropolitana de Recife ou BR-101 vias locais até Recife.                                 |
| Leste Sergipano - SE (Laranjeiras) ↔ Aeroporto de Santa Maria/Aracaju                                  | 27 km, cerca de 20–30 minutos.       | via estadual SE-100/rodovias locais e ramais até Aracaju.                                                                        |
| Baixo São Francisco- SE (Japoatã) ↔ Aeroporto de Santa Maria/Aracaju                                   | 66 km, cerca de 1h10 a 1h50 minutos. | BR-101/BR-235 e ligações estaduais conforme disponibilidade do trecho.                                                           |
| Norte da Bahia - BA (Juazeiro) ↔ Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães/Salvador      | 436 km, cerca de 6–10 horas.         | BR-235, depois BR-116 / BR-110 / BR-324 (dependendo da escolha da rota)                                                          |
| Extremo Sul Baiano - BA (Caravelas) ↔ Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães/Salvador | 540 km, cerca de 9–13 horas.         | BR-101 (trecho principal rumo ao norte), depois trechos estaduais/BRs de aproximação a Salvador (BR-101 → BR/BA trechos locais). |
| Mata Paraibana (Santa Rita) ↔ Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto/João Pessoa              | 14 km, cerca de 10-15 minutos.       | BR-101 (quando parte de Santa Rita), seguindo por vias de ligação urbanas até o aeroporto.                                       |

Fonte: Elaboração própria.

A menor distância do aglomerado de municípios produtores até a demanda final é identificada na Mata Paraibana (Santa Rita), com distância aproximada de 14 km. Dentre as localidades de maior distância do polo de produção até a demanda final, destaca-se a Bahia, cuja distância dos polos produtivos no Norte da Bahia e do Extremo Sul Baiano até a demanda final (aeroporto de Salvador), é de cerca de 430-540 km. O que gera, portanto, um maior custo entre as etapas *upstream-downstream* nessas localidades.

### iii) Cenário 3

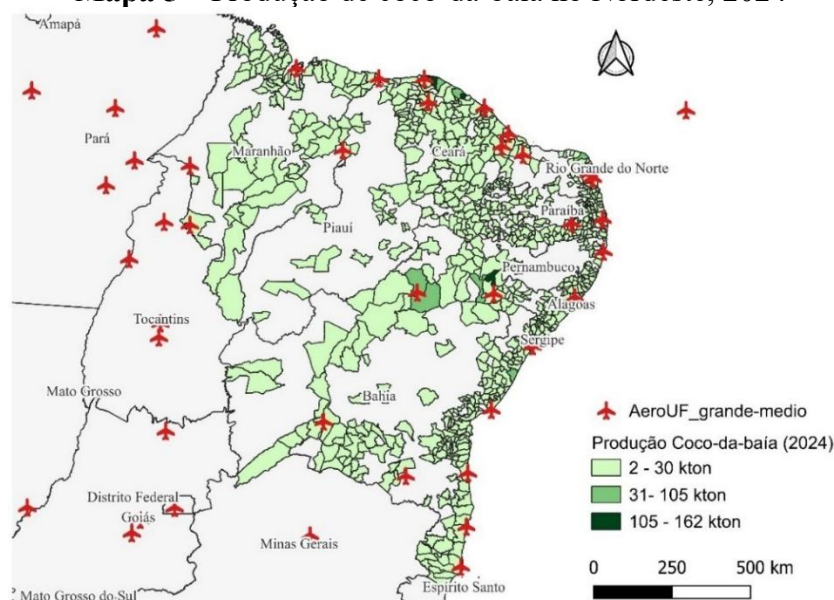
Com base nas localidades produtivas do Cenário 2 (*baseline*), o Cenário 3 tem como finalidade indicar apenas os pontos de produção de coco-da-baía próximos aos de cana-de-açúcar, pois para estimar a produção de biomassa local seriam necessários os parâmetros de transformação.

No Brasil, em 2024, foi produzido um total de 2.105 kton de coco-da-baía, com parte da produção localizada no Nordeste do país de aproximadamente 1.712 kton. O valor médio de produção no Ceará foi de aproximadamente R\$ 602 milhões em 2024, Bahia aproximadamente R\$ 229 milhões, Pernambuco R\$ 186 milhões, Rio Grande do Norte R\$ 215 milhões e Sergipe R\$ 175 milhões. Os maiores volumes de produção

concentram-se nos municípios do Ceará (588.477 kton), Bahia (359.89 kton), Pernambuco (262.537 kton), Rio Grande do Norte (164.549 kton) e Sergipe (155.86 kton). Destaca-se o município de Petrolândia (PE), cuja produção supera 160 kton, conforme ilustrado no Mapa 5.

Considerando os pontos de produção do Cenário 2 e a identificação prévia da área com maior produção de coco-da-baía, destacam-se Bahia, Pernambuco e Sergipe. Na Bahia, novamente se destaca o Juazeiro, que apresenta alta produção de cana-de-açúcar (2.563 kton) e coco-da-baía (64 kton). Em Pernambuco, a produção de coco-da-baía localiza-se no Sertão do São Francisco, enquanto a cana-de-açúcar nas regiões Metropolitana, Mata Sul e Mata Norte. Os municípios com produção relevante em ambas as culturas são Cabo de Santo Agostinho, Goiana, Rio Formoso, Vitória de Santo Antão e Ipojuca. Em Sergipe, a produção de coco-da-baía concentra-se no Sul e no Baixo São Francisco, com destaque para Neópolis e Japoatã, que também apresentam elevada produção de cana-de-açúcar.

**Mapa 5 – Produção de coco-da-baía no Nordeste, 2024**



Fonte: Elaboração própria com uso do *software* livre QGIS, a partir dos dados IBGE (2025) e CONAB (2025).

Portanto, alguns *insights* podem ser extraídos a partir desses resultados: (i) o Cenário 1 torna-se atrativo à medida que se considera o custo de transporte entre a produção e demanda final, aspecto que pode ser melhor avaliado por análises econômicas que incorporem explicitamente os custos logísticos; (ii) o Cenário 2 é favorecido pela concentração de maiores volumes produtivos, com destaque para os estados de Alagoas, Pernambuco, Bahia, Sergipe e Paraíba; (iii) o Cenário 3 mostra-se atrativo ao considerar a sazonalidade da biomassa de cana-de-açúcar e complementariedade do coco-da-baía. Por se tratar de uma atividade complementar, sugere-se priorizar localidades com maior produção da biomassa principal.

Considerando a produção de cana-de-açúcar e a geração de bagaço por cada localidade selecionada no Cenário 2 e suas respectivas produções de coco-da-baía Cenário 3, bem como o percentual de substituição de QAV por SAF atribuído pela legislação, estima-se o volume de substituição de 10%<sup>3</sup> do combustível.

<sup>3</sup> a partir de 1º de janeiro de 2037, segundo a Lei Nº 14.993 de 2024.

**Tabela 3 – Necessidade de SAF estimado - estados selecionados do Nordeste**

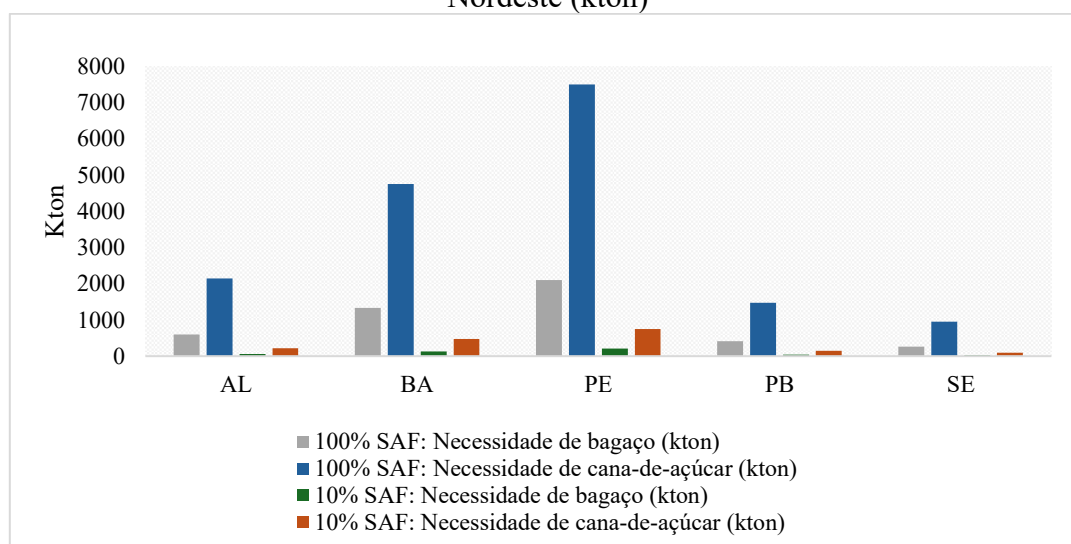
| <b>Estado</b>                        | <b>Aeroporto</b>                                                    | <b>Demanda SAF<br/>100% (litros)</b> | <b>Demanda SAF<br/>100% (kton)</b> | <b>100% SAF:<br/>Necessidade de<br/>bagaço (kton)</b> | <b>100% SAF:<br/>Necessidade de<br/>cana-de-açúcar<br/>(kton)</b> |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| AL                                   | Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió                   | 63.723,87                            | 50,98                              | 599,87                                                | 2.142,39                                                          |
| BA                                   | Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães/Salvador    | 141.224,22                           | 112,98                             | 1.329,43                                              | 4.747,95                                                          |
| PE                                   | Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes-Gilberto Freyre/Recife | 222.863,43                           | 178,29                             | 2.097,94                                              | 7.492,65                                                          |
| PB                                   | Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto/João Pessoa         | 43.805,50                            | 35,04                              | 412,37                                                | 1.472,74                                                          |
| SE                                   | Aeroporto Internacional Santa Maria/Aracaju                         | 28.211,46                            | 22,57                              | 265,57                                                | 948,47                                                            |
| <b>Somatório AL, BA, PE, PB e SE</b> |                                                                     | <b>499.828,48</b>                    | <b>399,86</b>                      | <b>4.705,17</b>                                       | <b>16.804,19</b>                                                  |
| <b>Nordeste</b>                      |                                                                     | <b>762.954,41</b>                    | <b>610,36</b>                      | <b>7.182,13</b>                                       | <b>25.650,47</b>                                                  |
| <b>Estado</b>                        | <b>Aeroporto</b>                                                    | <b>Demanda SAF<br/>10% (litros)</b>  | <b>Demanda SAF<br/>10% (kton)</b>  | <b>10% SAF:<br/>Necessidade de<br/>bagaço (kton)</b>  | <b>10% SAF:<br/>Necessidade de<br/>cana-de-açúcar<br/>(kton)</b>  |
| AL                                   | Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares/Maceió                   | 6.372,39                             | 5,10                               | 59,99                                                 | 214,24                                                            |
| BA                                   | Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães/Salvador    | 14.122,42                            | 11,30                              | 132,94                                                | 474,79                                                            |
| PE                                   | Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes-Gilberto Freyre/Recife | 22.286,34                            | 17,83                              | 209,79                                                | 749,27                                                            |
| PB                                   | Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto/João Pessoa         | 4.380,55                             | 3,50                               | 41,24                                                 | 147,27                                                            |
| SE                                   | Aeroporto Internacional Santa Maria/Aracaju                         | 2.821,15                             | 2,26                               | 26,56                                                 | 94,85                                                             |
| <b>Somatório AL, BA, PE, PB e SE</b> |                                                                     | <b>49.982,84</b>                     | <b>39,99</b>                       | <b>470,51</b>                                         | <b>1.680,41</b>                                                   |
| <b>Nordeste</b>                      |                                                                     | <b>76.295,44</b>                     | <b>61,04</b>                       | <b>718,21</b>                                         | <b>2.565,04</b>                                                   |

Fonte: Elaboração própria.

Dentre os estados selecionados destaca-se Pernambuco como uma localidade de elevado potencial produtivo de cana-de-açúcar e coco-da-baía, além da elevada demanda de combustível do Aeroporto Internacional do Recife de aproximadamente 223 mil litros de QAV em 2024. Em seguida, Alagoas com elevada produção de cana-de-açúcar e coco-da-baía e modesta demanda de QAV no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares; e Bahia com produção modesta de cana-de-açúcar e coco-da-baía e elevada demanda de QAV no Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães, conforme descreve a Tabela 3.

Por fim, estima-se, para cada estado, a necessidade de bagaço (kton) e o volume de produção de cana-de-açúcar (kton) no Cenário 2. Conforme destacado anteriormente, Pernambuco se sobressai em função da elevada demanda por combustível e, consequentemente, da maior necessidade de produção de bagaço. O Gráfico 2 ilustra esses resultados para os cenários de substituição de 100% do QAV por SAF e de 10%, conforme estabelecido pela legislação vigente.

**Gráfico 2** – Necessidade de produção biomassa e bagaço - estados selecionados do Nordeste (kton)



Fonte: Elaboração própria.

Em linhas gerais, todos os estados da amostra apresentam capacidade produtiva para atender às respectivas demandas internas. Considerando a substituição de 10% do QAV por SAF, seguindo as normas estabelecidas pela Lei nº 14.993 de 2024, mantidas constantes as demais condições, o somatório da necessidade de cana-de-açúcar dos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Bahia e Sergipe corresponde, aproximadamente, a 8% da atual produção de cana-de-açúcar de Alagoas, 10% da produção de Pernambuco, 22% da produção da Paraíba, 30% da produção da Bahia e 63% da produção de Sergipe.

No cenário de substituição de 100% do QAV por SAF, a produção atual do estado de Alagoas equivale a 116% da necessidade total de SAF das localidades consideradas; Pernambuco, 92%; Paraíba, 45%; Bahia, 33%; e Sergipe, 15%.

Por fim, esses resultados indicam que, embora exista capacidade produtiva regional para atender a substituição total ou parcial do QAV por SAF, a escolha de pontos logisticamente atrativos para a instalação de uma planta de 100 kton irá depender de assimetrias produtivas entre os estados. Além disso, a escolha pode exigir expansão da oferta agrícola, ganhos de produtividade ou estratégias de integração da produção regional e da combinação de biomassas considerando os períodos de safra.

#### 4. Consideração Final

Este estudo analisou o potencial econômico e logístico da produção de combustível sustentável de aviação (SAF) a partir da cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil, considerando a oferta de biomassa, a demanda projetada nos aeroportos e a minimização dos custos de transporte para a instalação de biorrefinarias.

Os resultados evidenciam que o Nordeste apresenta condições estruturais favoráveis para a inserção nesse novo mercado, especialmente nos estados de Alagoas, Pernambuco e Bahia, que combinam elevada disponibilidade de matéria-prima, infraestrutura produtiva consolidada no setor sucroenergético e proximidade com aeroportos de maior demanda por querosene de aviação (QAV). A estimativa de demanda regional, alinhada à meta de mistura de 10% de SAF até 2037, demonstra que a oferta de cana-de-açúcar é suficiente para atender às necessidades projetadas, reforçando a viabilidade da produção.

Do ponto de vista logístico, a identificação de localidades com menores custos de transporte e maior potencial produtivo contribui para reduzir uma das principais barreiras econômicas associadas ao SAF. Embora os custos de produção ainda sejam superiores aos de QAV, a otimização da localização das biorrefinarias pode aumentar a competitividade do setor.

Além das implicações ambientais, os resultados indicam que a expansão da produção de SAF no Nordeste pode gerar impactos econômicos positivos, ao dinamizar cadeias produtivas locais e fortalecer regiões historicamente marcadas por desigualdades estruturais. Assim, a consolidação desse mercado pode atuar simultaneamente como instrumento de transição energética e de desenvolvimento regional.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros aprofundem a análise de viabilidade financeira, incorporem cenários de precificação de carbono e avaliem os impactos socioeconômicos e ambientais em maior nível de detalhamento, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de planejamento do setor.

#### Referências bibliográficas

- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil (2019). CORSIA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/corsia>.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo (2023). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2023>.
- Brasil. (2024). Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. *Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. Diário Oficial da União.*
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar*, Brasília, DF, v. 12, n. 4 abril 2025.
- Chireshe, F. et al. (2025). Cost-effective sustainable aviation fuel: Insights from a techno-economic and logistics analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 210 (115157). 10.1016/j.rser.2024.115157.
- Diaz, C.; et al. (2025). Economic analysis of the sustainable aviation fuel supply chain from hybrid poplar in the southeast US considering alternative preprocessing technologies. *Biofuels*, 16(5), 429–444. 10.1080/17597269.2024.2432143.

- Dantas F. (2019). *Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP.
- Eswaran, S. et al. (2021). Techno-economic analysis of catalytic hydrothermolysis pathway for jet fuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151(111516). 10.1016/j.rser.2021.111516.
- Guimarães, H. et al. (2023). Decentralization of sustainable aviation fuel production in Brazil through Biomass-to-Liquids routes: A techno-economic and environmental evaluation. *Energy Conversion and Management*, 276 (116547).
- IATA – International Air Transport Association (2025a). *Annual Review 2025*. 81st Annual General Meeting and World Air Transport Summit, Delhi, India.
- IATA – International Air Transport Association. (2025b). Fact Sheet 2 - Sustainable Aviation Fuel: Technical Certification. <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/sustainable-aviation-fuels/#tab-2>.
- IATA – International Air Transport Association (2026). What is SAF?
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025). *Produção de Cana-de-açúcar*. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>
- Klein, B., et al. (2018). Techno-economic and environmental assessment of renewable jet fuel production in integrated Brazilian sugarcane biorefineries. *Applied Energy*, 209(1). 10.1016/j.apenergy.2017.10.079.
- LU, X., et al. (2015). Biomass logistics analysis for large scale biofuel production: Case study of loblolly pine and switchgrass. *Bioresource Technology*, 183, 1-9. 10.1016/j.biortech.2015.02.032.
- Malina, R., Abate, M., Schlumberger, C., & Navarro Pineda, F. (2022). *The role of sustainable aviation fuels in decarbonizing air transport* (Mobility and Transport Connectivity Series). World Bank.
- Milanez, Artur; et al. (2021). Biocombustíveis de aviação no Brasil: uma agenda de sustentabilidade. *Revista BNDES*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, p. 361-398.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. (2020). *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Martinez-Valencia, L.; et al. (2021). Supply chain configuration of sustainable aviation fuel: Review, challenges, and pathways for including environmental and social benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152(111680). 10.1016/j.rser.2021.111680.
- Pin, J.; et al. (2025). Optimizing a nationwide supply chain for winter oilseeds in sustainable aviation fuel production: Pennycress, camelina, and carinata. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 215(115555). 10.1016/j.rser.2025.115555.
- ProQR – Combustíveis Alternativos sem Impactos Climático Cooperação Técnica Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável. (2022). *Análise Econômica de Diferentes Rotas de Produção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação*.
- Skov, I. R., & Abid, H. (2024). *Renewable Aviation e-SAF Catalogue and System Impacts*.
- Shahriar, M.; Khanal, A. (2022). The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF). *Fuel*, 325(124905). 10.1016/j.fuel.2022.124905.
- UK PACT Brasil, Instituto AYA, & SYSTEMIQ. (2025). *Pontos de virada tecnológica para a transformação ecológica: Mapeando cadeias produtivas de valor competitivas globalmente para uma economia de baixo carbono próspera, inovadora e inclusiva no Brasil*.
- UN – United Nations. (1998). *Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change*.
- WEF – World Economic Forum. (2025a). *Global Aviation Sustainability*. (White paper).
- WEF – World Economic Forum. (2025b). *Financing sustainable aviation fuels: Case studies and implications for investment*. (White paper).
- Watson, M. et al. (2024). Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 449, n. 10.