

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SAF NO **ESTADO DE GOIÁS**



CBIE
ADVISORY

SGG
Secretaria-Geral
de Governo

 **GOV
GO**
O ESTADO QUE DÁ CERTO



CBIE
ADVISORY

SGG
Secretaria-Geral
de Governo



Este documento integra o conjunto de estudos técnicos que subsidiam a elaboração do Plano Estadual de Energia de Goiás 2030 (PEEG 2030), reunindo análises com base técnico-científica e alinhadas às melhores práticas de planejamento energético de curto e médio prazo. O trabalho está orientado pelas diretrizes de aproveitamento dos recursos energéticos regionais, incorporação de inovações na oferta e na demanda de energia, fortalecimento da infraestrutura energética estadual, ampliação do acesso à energia limpa e moderna e promoção da sustentabilidade ambiental.

A presente etapa do estudo dedica-se ao potencial de produção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) no Estado de Goiás, oferecendo uma avaliação técnica e econômica de identificação da demanda potencial e custos através das rotas HEFA e outras rotas promissoras. Ao consolidar informações sobre agronegócio, análise de preços e avaliação de viabilidade, o relatório busca apoiar a formulação de políticas públicas e a tomada de decisões estratégicas para a viabilização de projetos pilotos sustentáveis no estado.

EQUIPE DO PROJETO

Governo do Estado de Goiás

Ronaldo Ramos Caiado

Governador do Estado de Goiás

Adriano da Rocha Lima

Secretário-Geral de Governo

Coordenação pela Secretaria-Geral de Governo

Renato Rodrigues de Lyra

*Subsecretário de Energia, Telecomunicações
e Cidades Inteligentes*

Rodrigo Costa Silveira

Gerente de Energias Sustentáveis

Celina Pereira de Jesus

Assessora de Políticas de Energia

Patrick Soares Mendes

Assessor de Políticas de Energia

Cássio Pereira Vieira

Superintendente de Energia

Igor de Oliveira Alves

Assessor de Políticas de Energia

Renata Uchôa Borges Ribeiro

Assessora de Políticas de Energia

Coordenação pelo Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE) Advisory:

Adriano Pires

Sócio Fundador do CBIE

Bruno Pascon

Sócio Fundador da CBIE

Pedro Rodrigues

Sócio

Equipe Técnica & Redação (CBIE)

Deborah Rodrigues

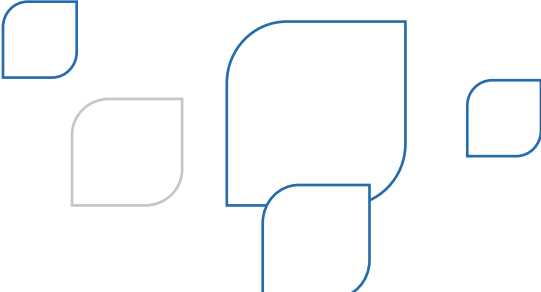
Matheus Alves

Luana Furtado

Bernardo Farias

Beatriz Garcia

Copyright© CBIE Advisory 2026, nenhuma parte deste documento poderá ser reproduzida ou transmitida, sejam quais forem os meios empregados, sem autorização prévia.



Glossário

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural, Combustíveis e Biocombustíveis

ASK – Available Seat-Kilometers (Assentos-Quilômetro Ofertados)

ASTM – American Society for Testing and Materials

ATJ – Alcohol-to-Jet

CER – Certificado de Emissões

CORSIA – Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GEE – Gases do Efeito Estufa

HEFA – Hydroprocessed Esters and Fatty Acids

HVO – Hydrotreated Vegetable Oil

IATA – International Air Transport Association

ICAO – Organização da Aviação Civil Internacional

PDE – Plano Decenal de Energia

PIB – Produto Interno Bruto

PLF – Passenger Load Factor (Taxa de Ocupação)

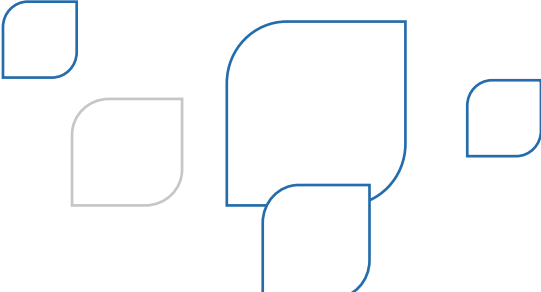
ProBioQAV – Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação

QAV – Querosene de Aviação

RPK – Revenue Passenger-Kilometers (Passageiros-Quilômetro Transportados)

SAF – Sustainable Aviation Fuel (Combustíveis Sustentáveis de Aviação)

SBC – Synthetic Blending Component



Lista de Figuras

Figura 01 – Mercado de Aviação Civil em 2024 – IATA

Figura 02 – Crack spread QAV vs. Brent – IATA

Figura 03 – Usos finais do biogás (Coelho, 2018)

Figura 04 – Evolução do transporte aéreo – passageiros (ANAC, 2025)

Figura 05 – Consumo de Combustíveis de Aviação no Brasil - ANP

Figura 06 – Projeção de viagens de natureza doméstica - ANAC

Figura 07 – Projeção de viagens de natureza internacional - ANAC

Figura 08 – Vetores para a descarbonização da Aviação – IATA, 2024

Figura 09 – Metas estabelecidas pelo CORSIA – EPE, 2024

Figura 10 – Países participantes do CORSIA (2023) – EPE, 2024

Figura 11 – Outras iniciativas de SAF no Mundo – Adaptado de EPE

Figura 12 – Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação - EPE

Figura 13 – Percentual anual mínimo de Redução das emissões de GEE - EPE

Figura 14 – Panorama atual de SAF e CORSIA - IATA

Figura 15 – Potencial de Produção de SAF na América Latina – ANAC

Figura 16 – Rotas de produção de SAF certificadas – EPE

Figura 17 – Cadeia de Produção de SAF via HEFA – EPE, 2024

Figura 18 – Processo de produção CHJ – EPE, 2024

Figura 19 – Processo de produção SPK-FT e SPK/A - EPE

Figura 20 – Processo de produção HEFA - EPE

Figura 21 – Avaliação de rotas de produção de SAF – PDE 2034

Figura 22 – Projetos de SAF e Diesel Verde em desenvolvimento no Brasil – EPE

Figura 23 – Matérias – Primas e Vias de Produção – RSB & Agroicone (2021)

Figura 24 – Maiores produtores de Cana-de-açúcar – CONAB, 2025

Figura 25 – Participação de Goiás na produção de grãos – PAM, IBGE

Figura 26 – Análise de viabilidade de projetos de SAF – Adaptado de NG et al. (2021)

Figura 27 – Viabilidade de insumos – CBIE Advisory

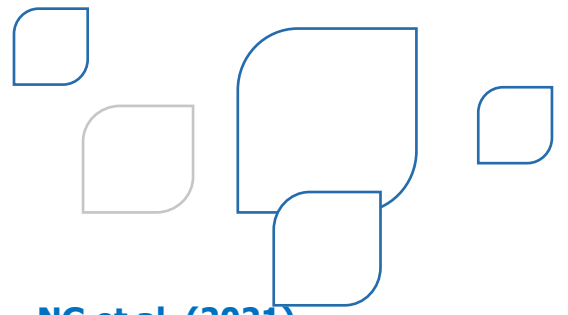


Figura 28 – CAPEX e OPEX de plantas SAF via HEFA e ATJ – NG et al. (2021)

Figura 29 – Crescimento de RPK vs. PIB Global – IATA

Figura 30 – projeção do consumo de combustíveis de aviação (Referência) – CBIE Advisory

Figura 31 – projeção do consumo de combustíveis de aviação (Superior) – CBIE Advisory

Figura 32 – projeção do consumo de combustíveis de aviação (Inferior) – CBIE Advisory

Figura 33 – Mistura mínima de SAF para alcançar reduções de GEE – MME

Figura 34 – projeção da demanda por SAF – CBIE Advisory

Figura 35 – Projeção de demanda por SAF HEFA (Óleo de Soja) – CBIE Advisory

Figura 36 – Projeção de demanda por SAF ATJ (Etanol) – CBIE Advisory

Figura 37 – Projeção de demanda por SAF Global – IATA

Figura 38 – Cadeia logística futura do SAF – EPE

Figura 39 – Rodovias no estado de Goiás – Atlas das pastagens

Figura 40 – Focos de oferta e demanda de SAF no Brasil – EPE

Figura 41 – Oferta e demanda de SAF no Brasil – CBIE Advisory

Figura 42 – Maiores produtores de Soja do estado de Goiás - IBGE

Figura 43 – Presença de usinas de Etanol em Goiás – ANP

Figura 44 – Tributação na cadeia de SAF – Vibra

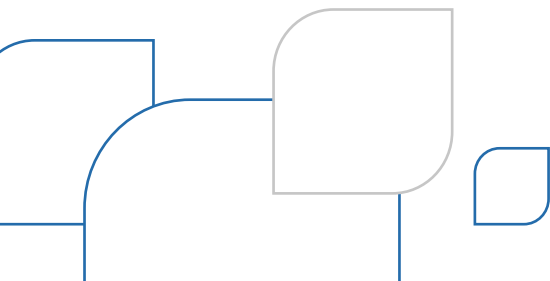
Figura 45 – Preço mínimo de Venda SAF por Rota e matéria-prima – Adaptado de NG et al.

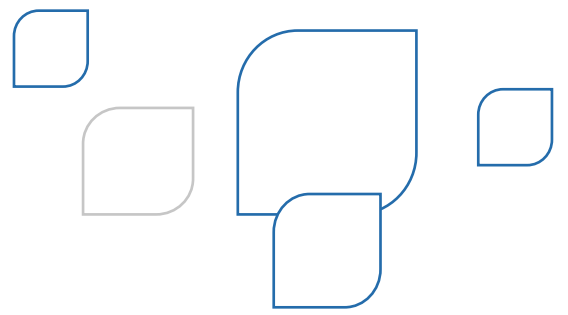
Figura 46 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota Geral e sem benefício fiscal) – CBIE Advisory

Figura 47 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota Geral e com benefício fiscal intraestadual) – CBIE Advisory

Figura 48 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota Geral e com benefício fiscal interestadual) – CBIE Advisory

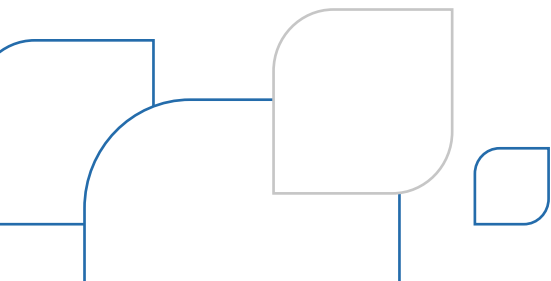
Figura 49 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota QAV fóssil) – CBIE Advisory





Sumário

1. Mercado Global de Aviação	8
2. Combustíveis Sustentáveis de Aviação	13
3. Rotas tecnológicas para a produção de SAF	18
3.1 HEFA e HC-HEFA	18
3.2 CHJ	19
3.3 SPK-FT e SPK/A	20
3.4 ATJ	21
4. Custos para a implementação de projetos de SAF no Brasil	26
5. Demanda Potencial de SAF e QAV no Brasil	29
6. Análise logística – Goiás	33
7. Tributação, Preços e Incentivos	39
7.1 Tributação na cadeia de SAF	39
7.2 Custos de SAF	40
8. Conclusões	42
Bibliografia	44



1. Mercado Global de Aviação

Conforme dados apresentados no *Air Passenger Market Analysis – December 2024* da *International Air Transport Association* (IATA), o setor aéreo global encerrou 2024 com um desempenho significativamente superior ao observado nos anos anteriores, consolidando a recuperação pós-pandemia e superando, pela primeira vez, os níveis de 2019. O volume de passageiros medido em RPK (Revenue Passenger-Kilometers, ou Passageiros-Quilômetro Transportados) cresceu 10,4% em 2024, ultrapassando o patamar pré-COVID em 3,8%. Esse avanço foi impulsionado principalmente pelo forte desempenho da região da Ásia-Pacífico, que sozinha respondeu por mais de 51% do incremento global no tráfego, e pelo crescimento contínuo dos mercados domésticos de países como China e Índia.

O relatório mostra que a oferta de assentos, medida em ASK (Available Seat-Kilometers, ou Assentos-Quilômetro Ofertados), aumentou em 8,7% no mesmo período. Como consequência, o setor atingiu um Passenger Load Factor (PLF, Taxa de Ocupação) recorde de 83,5% em 2024, refletindo aeronaves operando com elevada taxa de utilização. .

Figura 01 – Mercado de Aviação Civil em 2024 – IATA

Mercado de Aviação (Passageiros) - 2024				
Região	% Global	RPK (y.o.y)*	ASK (y.o.y)**	PLF (nível)***
Mercado Total	100%	10%	9%	84%
África	2,2%	13,2%	9,9%	74,9%
Ásia-Pacífico	33,5%	16,9%	12,3%	83,4%
Europa	26,7%	8,7%	8,1%	84,8%
América Latina	5,3%	7,8%	7,1%	83,7%
Oriente Médio	9,4%	9,5%	8,4%	80,8%
América do Norte	22,9%	4,6%	4,6%	84,3%

**Passageiro-Quilômetro Pago*
***Assento-Quilômetro Disponível*
****Taxa de Ocupação*

A retomada do tráfego aéreo ocorreu de maneira relativamente ampla entre as regiões, mas com diferenças marcantes de intensidade. A Ásia-Pacífico foi a região mais dinâmica, registrando expansão de 16,9% em RPK e forte recuperação de fluxos internacionais, mesmo com algumas restrições persistentes envolvendo espaço aéreo e tensões geopolíticas. A região também liderou o crescimento de tráfego doméstico, com destaque para a China, cujo mercado interno cresceu 12,3% no ano e atingiu níveis 20,2% superiores aos de 2019, evidenciando a força da demanda reprimida e a normalização da mobilidade. A Índia também permaneceu como um dos mercados mais aquecidos do mundo, com crescimento doméstico de 6%, ultrapassando em 14,7% os níveis pré-pandemia.

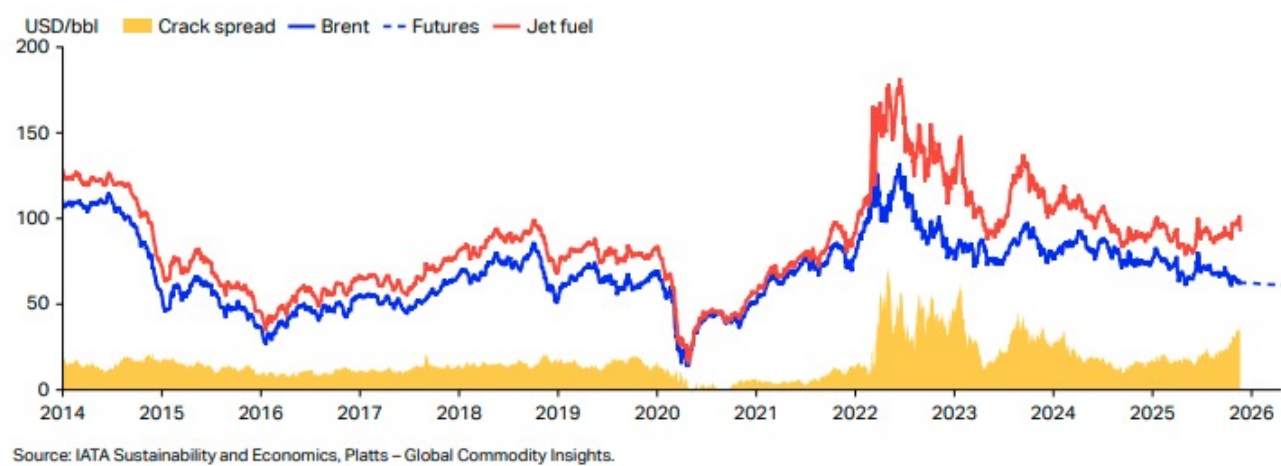
O tráfego internacional cresceu 13,6% em 2024, mostrando que a conectividade global voltou a se intensificar, mesmo diante de restrições geopolíticas. As rotas na Ásia, embora tenham registrado as maiores taxas de crescimento percentual, ainda permanecem abaixo dos volumes observados em 2019, em função da redução do turismo emissivo da China e questões diplomáticas envolvendo EUA e parceiros asiáticos. Já rotas como Europa–Norte da África, Europa–Oriente Médio e Oriente Médio–Ásia superaram os níveis pré-pandemia, refletindo um redesenho estrutural do fluxo global de passageiros.

O desempenho de 2024 reforça que o crescimento da aviação segue em trajetória consistente e ascendente. Entretanto, esse avanço também traz desafios significativos para a agenda de descarbonização do setor. De acordo com o *Global Outlook for air transport* (IATA, 2025), os gastos com combustíveis seguem entre os principais componentes de custo da aviação global, ainda caracterizados por elevada volatilidade no período pós-pandemia. Em 2019, antes da crise sanitária, o setor desembolsou cerca de US\$ 190,0 bilhões, equivalentes a 23,9% dos custos operacionais. Com o colapso da demanda em 2020, as despesas caíram para US\$ 80,0 bilhões, retração de 58%, reduzindo a participação do combustível para 16,1% do total.

A recuperação iniciou-se em 2021 e se consolidou em 2022 e 2023, acompanhando tanto a normalização do tráfego aéreo quanto a forte escalada dos preços internacionais do petróleo. Em 2022, os gastos mais que dobraram, alcançando US\$ 210,0 bilhões (+103,6%), impulsionados pelo pico do preço do barril de

combustível de aviação, que atingiu US\$ 139,0. Em 2023, o movimento ascendente continuou, com despesas subindo para US\$ 269,0 bilhões e representando 31,8% dos custos operacionais.

Figura 02 – Crack spread QAV vs. Brent – IATA



Em 2024, observa-se um ponto de inflexão. Apesar do consumo ter alcançado 99,0 bilhões de galões, o maior nível desde a pandemia, os gastos totais recuaram 3,2%, para US\$ 261,0 bilhões, em função da queda do preço médio do combustível de aviação para US\$ 99,0 por barril. A projeção para 2025 reforça essa tendência de alívio: com preço esperado de US\$ 90,0 por barril e demanda moderada (103,0 bilhões de galões), os gastos devem recuar para US\$ 253,0 bilhões (-3,1%), equivalente a 26,8% dos custos operacionais. Para 2026, o setor deve manter relativa estabilidade, com despesas próximas a US\$ 252,0 bilhões e atingir 252,0 bilhões de litros.

Figura 03 – Usos finais do biogás (Coelho, 2018)

Indústria Global de Aviação	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025E	2026E
Gastos com combustíveis (US\$bn)	190,0	80,0	106,0	210,0	269,0	261,0	253,0	252,0
% var. anual	1,5%	-58,0%	32,3%	103,6%	25,2%	-3,2%	-3,1%	-0,3%
% dos custos operacionais	23,9%	16,1%	19,0%	29,6%	31,8%	28,8%	26,8%	25,7%
Uso de combustíveis (Bn de galões)	96,0	52,0	62,0	76,0	92,0	99,0	103,0	106,0
% var. anual	2,2%	-45,9%	19,9%	22,9%	19,9%	8,2%	4,0%	2,7%
Eficiência (litros/100ATK)	23,6	23,0	23,7	23,8	23,3	23,2	23,2	22,9
% var. anual	-0,6%	-2,7%	3,0%	0,7%	-2,1%	-0,3%	-0,3%	-1,0%
Preço do combustível (US\$/bbl)	80,0	47,0	78,0	139,0	112,0	99,0	90,0	88,0
% var. anual	-7,4%	-41,5%	67,0%	78,1%	-18,9%	-11,8%	-8,9%	-2,4%
Spread vs. Brent	15,0	5,0	7,0	38,0	30,0	18,0	21,0	26,0

Segundo IATA, o número de passageiros deve crescer mais de 100% nos próximos 20 anos, passando de 3,8 bilhões de passageiros no ano de 2016 para 8,2 bilhões no ano de 2037, o que tende a elevar ainda mais o consumo de combustíveis, apesar dos ganhos em eficiência.

No Brasil, o transporte aéreo registrou uma forte expansão ao longo dos últimos vinte e dois anos, reflexo da abertura econômica do setor, de avanços regulatórios e da ampliação da infraestrutura, especialmente em função das demandas geradas pelos grandes eventos realizados no país. Como resultado, o volume de passageiros transportados mais que triplicou, tornando a aviação um meio de deslocamento cada vez mais presente no dia a dia da população. Essa evolução também elevou significativamente a pressão sobre a infraestrutura aeroportuária e aeronáutica nacional.

Dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) mostram que o setor aéreo registrou desempenho histórico no ano de 2024, transportando 118,3 milhões de passageiros, entre voos domésticos e internacionais, consolidando-se como o segundo melhor resultado já alcançado.

Figura 04 – Evolução do transporte aéreo – passageiros (ANAC, 2025)



O Relatório de Gestão e Atividades 2024 da ANAC indica que o setor aéreo registrou um incremento próximo de 5,0% na movimentação total do ano, o que representou cerca de 5,6 milhões de passageiros adicionais em relação a 2023. No segmento internacional, o crescimento foi ainda mais expressivo, com novos recordes tanto no fluxo de passageiros quanto no transporte de cargas. Ao todo, foram movimentados 24,9 milhões de passageiros e aproximadamente 892 mil toneladas de carga, o melhor desempenho desde o início da série histórica em 2000.

Em relação ao consumo de combustíveis de aviação, o Brasil alcançou bateu a marca de 7,0 bilhões de litros, considerando Querosene e Gasolina de Aviação. O aumento representou um crescimento de 6,7% em relação aos números observados em 2023, quando foram consumidos 6,6 bilhões de litros. Dados consolidados até Outubro de 2025 indicam que o país já consumiu 6,1 bilhões de litros vs. 5,8 bilhões de litros consumidos no mesmo período no ano anterior.

Figura 05 – Consumo de Combustíveis de Aviação no Brasil - ANP

Consumo de Combustíveis de Aviação - Brasil	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025*
Querosene + Gasolina de Aviação (Bn de litros)	7,0	3,6	4,4	6,0	6,6	7,0	6,1
% var. anual		-49,0%	23,6%	35,5%	9,5%	6,7%	-12,6%

*Dados parciais até Outubro de 2025

A tendência é que o mercado de aviação civil no país continue a crescer. O Ministério de Portos e Aeroportos apresentou em Março de 2024 a versão atualizada no Plano Aeroviário Nacional – PAN 24, que apresenta o panorama da aviação civil no Brasil no período entre 2022 e 2052.

Segundo o documento, o Brasil poderia alcançar quase 950,0 milhões de passageiros domésticos (incluindo conexões) e 58,0 milhões de passageiros internacionais, alcançando um mercado aproximado de 1,0 bilhão de passageiros no ano de 2052. Os cenários foram construídos da seguinte maneira:

- ☐ **Referencial:** Utiliza como projeção de PIB o valor de crescimento anual médio de 2,2% a.a. até o ano de 2031, conforme definido pelo Decreto #10.531 (Brasil, 2020). O yield impactado pelo aumento do número de empresas aéreas a partir de 2025.
- ☐ **Transformador:** Apresenta valor de crescimento anual médio do PIB de 3,5% a.a. até 2031, conforme definido pelo Decreto #10.531 (Brasil, 2020). O yield é impactado pelo aumento do número de empresas aéreas a partir de 2025.
- ☐ **Pessimista:** Apresenta o PIB com desvio padrão negativo em relação ao cenário Referencial. O número de empresas aéreas permanece constante, ou seja, não há efeito no yield.

Figura 06 – Projeção de viagens de natureza doméstica - ANAC

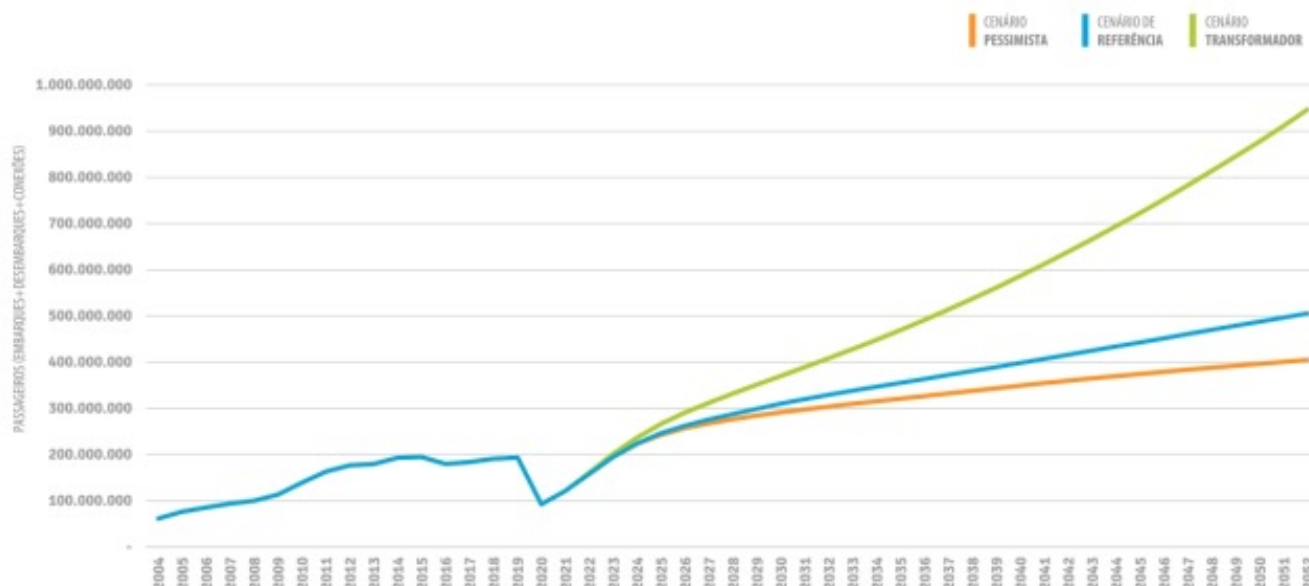
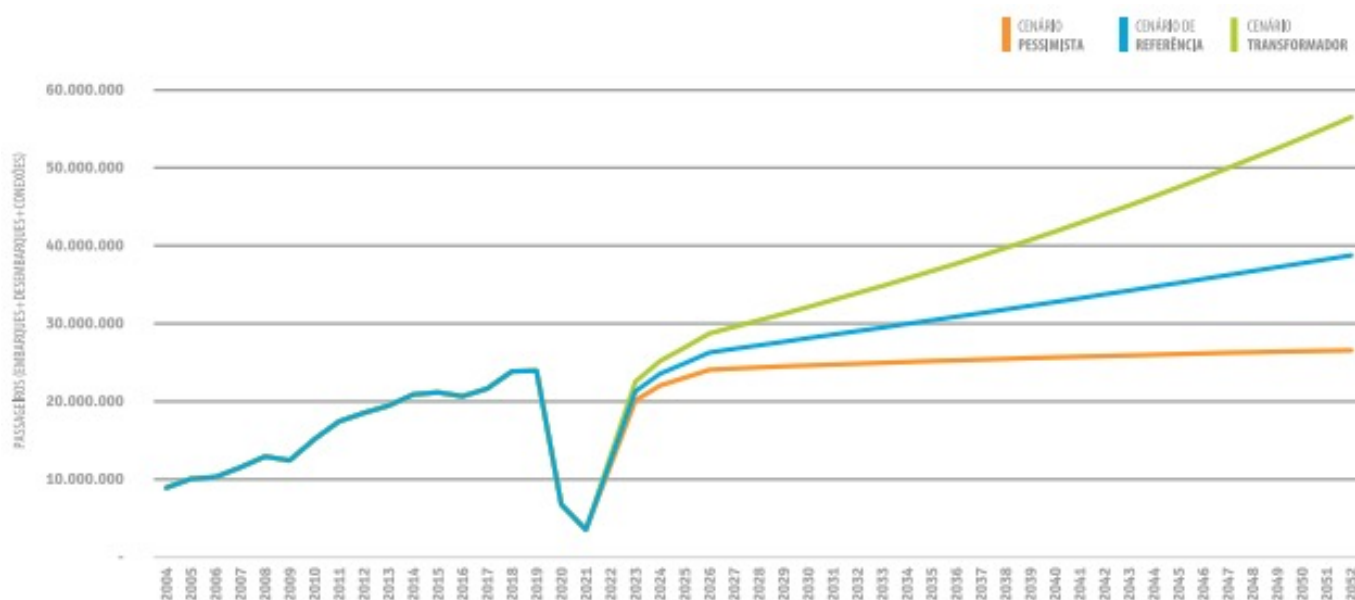


Figura 07 – Projeção de viagens de natureza internacional - ANAC



Esse crescimento projetado contribui para a ampliação dos impactos climáticos e assume relevância particular em países emergentes, como o Brasil, onde a expansão do transporte aéreo ocorre em paralelo ao aumento das responsabilidades regulatórias e ambientais (ESTEVO; THOMAZ; GONDIM, 2024). Válido ressaltar que, segundo Rocco e Henkers (2020), o Brasil é o maior consumidor de combustíveis de aviação da América Latina, o que inclui Querosene de Aviação (QAV), Gasolina de Aviação e o Querosene Alternativo de Aviação (QAV Alternativo), sendo esse último menos utilizado.

Os dados compreendidos nesse relatório reforçam a necessidade de ações coordenadas para mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente em setores de difícil descarbonização como a aviação civil, que respondeu por cerca de 2,5% das emissões globais em 2022 (EPE, 2024). Diante desse cenário, o próximo capítulo aborda os Combustíveis Sustentáveis de Aviação, que se consolidam como uma das principais alternativas para a transição energética do setor.

Box 1: Combustíveis Convencionais de Aviação

Em breve introdução aos combustíveis de aviação, é importante mencionar que o setor de aviação possui dois principais combustíveis, a gasolina de aviação ou AVGAS, e o querosene de aviação ou QAV, sendo que a gasolina de aviação é utilizada em aeronaves de pequeno porte, equipadas com motores a pistão, enquanto o QAV é o combustível predominante no setor aéreo global, abastecendo grandes aeronaves e helicópteros que utilizam motores a turbina.

O QAV possui três principais classificações diferenciadas de acordo com o ponto de congelamento e outras propriedades físico-químicas:

- Jet A: utilizado nos Estados Unidos e Canadá, com disponibilidade restrita a alguns aeroportos;
- Jet A-1 ou QAV-1: versão mais amplamente utilizada em aeroportos ao redor do mundo, devido a sua maior estabilidade térmica e resistência a temperaturas extremas;
- Jet B: possui um ponto de congelamento mais baixo e é utilizado em regiões com temperaturas extremamente frias

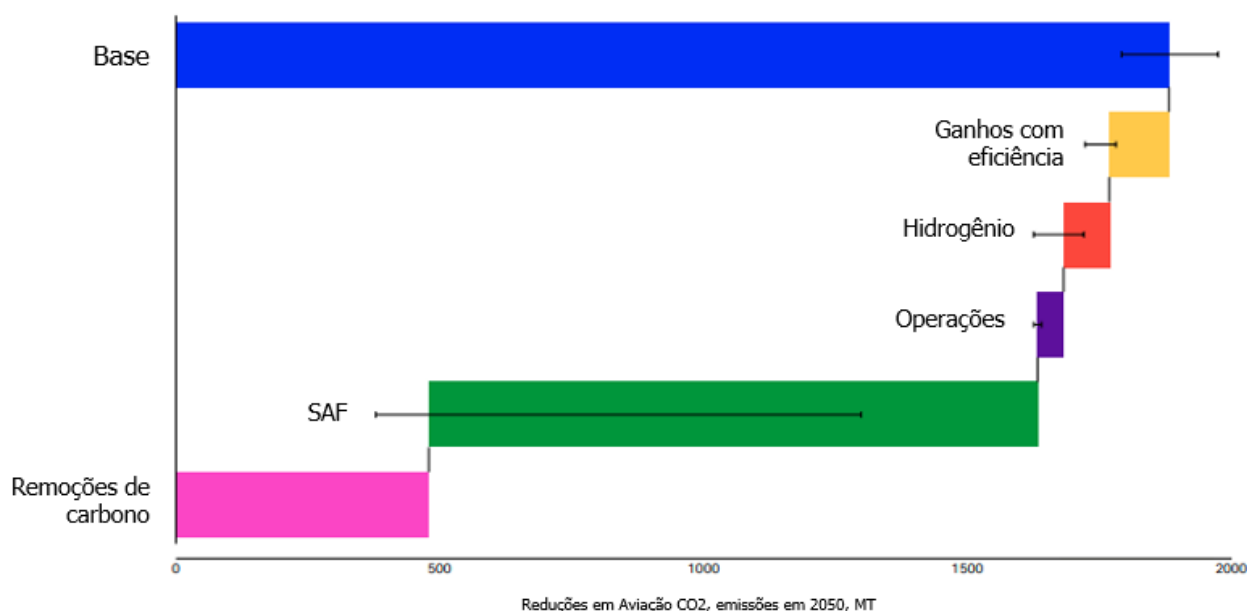
Independente da classificação, tanto a gasolina de aviação quanto o querosene de aviação apresentam uma qualidade superior em comparação aos combustíveis utilizados no transporte rodoviário. Além disso, esses combustíveis são formulados com aditivos especiais que reduzem o risco de congelamento e minimizam a volatilidade, reduzindo o potencial de explosão em condições operacionais extremas.

Especificações técnicas dos combustíveis de aviação					
Características	Querosene				Nafta
	Jet A / A -1		JP - 8		Jet B
Especificação	ASTM D1655	ASTM D7566	DEF STAN 91-91	ML - DTL - 83133J	ASTM D6615
Acidez, max (mg KOH g ⁻¹)	0,100	0,100	0,015	0,015	-
Aromáticos, max (vol%)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Enxofre, max (wt%)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Temperatura de destilação (°C)					
10% recuperação, max	205,0	205,0	205,0	205,0	-
20% recuperação	-	-	-	-	90 (min) - 145 (max)
50% recuperação	-	-	-	-	110 (min) - 190 (max)
90% recuperação	-	-	-	-	245
Ponto de ebulição final, max	300,0	300,0	300,0	300,0	-
Ponto de centelha, min (°C)	38,0	38,0	38,0	38,0	-
Ponto de congelamento, max (°C)	-40 (Jet A); -47 (Jet A-1)	-40 (Jet A); -47 (Jet A-1)	-47,0	-47,0	-50,0
Densidade 15°C (kg / m ³)	775-840	775-840	775-840	775-840	751-802
Viscosidade -20°C, max	8,0	8,0	8,0	8,0	-
Calor líquido de combustão, min (MJ / kg ¹)	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8

2. Combustíveis Sustentáveis de Aviação

Os Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) constituem hoje o principal vetor para reduzir as emissões do setor no curto e médio prazo, dada a dificuldade de substituição tecnológica imediata da frota global. A IATA estima que os SAF poderão responder por parcela majoritária da mitigação necessária para que a aviação alcance emissões líquidas zero até 2050, enquanto a *Organização da Aviação Civil Internacional* (ICAO) reforça que a adoção de combustíveis de baixo carbono é condição essencial para compatibilizar o crescimento do transporte aéreo com metas climáticas internacionais.

Figura 08 – Vetores para a descarbonização da Aviação – IATA, 2024



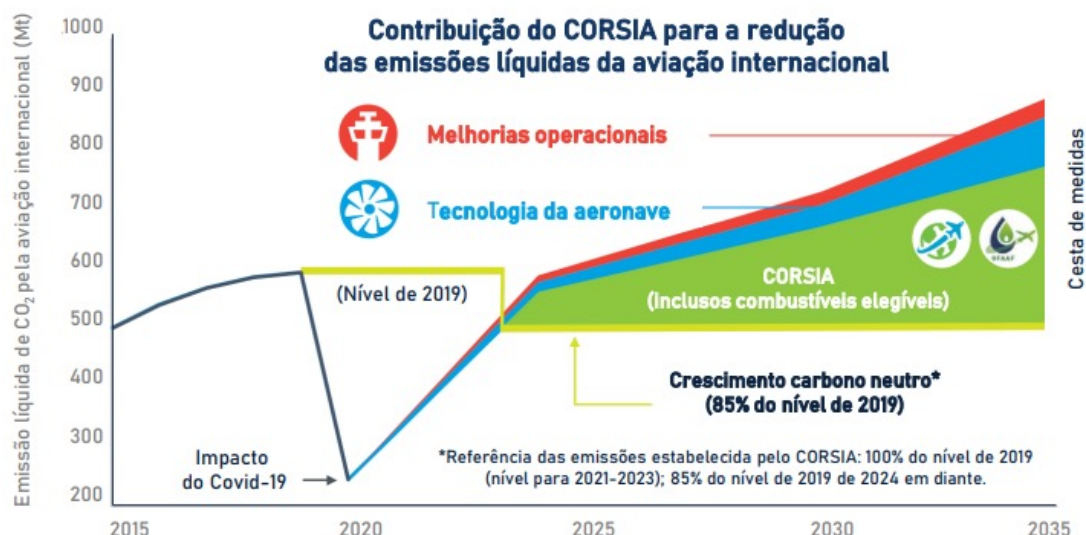
Avaliações da ICAO apontam que, no ciclo de vida, esses combustíveis podem resultar em diminuições da ordem de 60,0% a 80,0% nas emissões de gases de efeito estufa. Para que a aviação alcance a meta de neutralidade em 2050, estima-se que a maior parte do volume consumido – cerca de 70,0% – deverá ser composta por combustíveis renováveis.

Diante desse potencial tecnológico, as metas e estruturas regulatórias pré-estabelecidas passam a desempenhar papel determinante na consolidação do SAF como principal vetor de descarbonização da aviação. No âmbito internacional, destaca-se o Esquema de *Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional* (CORSIA), instituído pela ICAO em 2016, que orienta a redução das emissões em voos internacionais por meio de créditos de carbono e do uso de combustíveis elegíveis, incluindo o SAF.

A ICAO atua na redução dos impactos ambientais da aviação por meio de um conjunto integrado de medidas que abrange avanços tecnológicos, aprimoramentos operacionais e o estímulo ao uso de combustíveis sustentáveis. Entretanto, diante da urgência imposta pelas mudanças climáticas, essas iniciativas isoladas não seriam capazes de promover a velocidade de mitigação necessária no curto prazo. Por essa razão, a organização identificou a necessidade de incorporar instrumentos de mercado como mecanismo de transição para acelerar a redução das emissões do setor.

O CORSIA procura garantir que a aviação cumpra seu papel no esforço global no combate a mudança climática, ao mesmo tempo em que reduz os custos incorridos pelo transporte aéreo com a aquisição de créditos de carbono; geralmente, os créditos são emitidos por outros setores da economia que possuem alternativas mais eficientes e baratas de reduzir suas emissões de CO2 do que o próprio setor aéreo (ANAC, 2021).

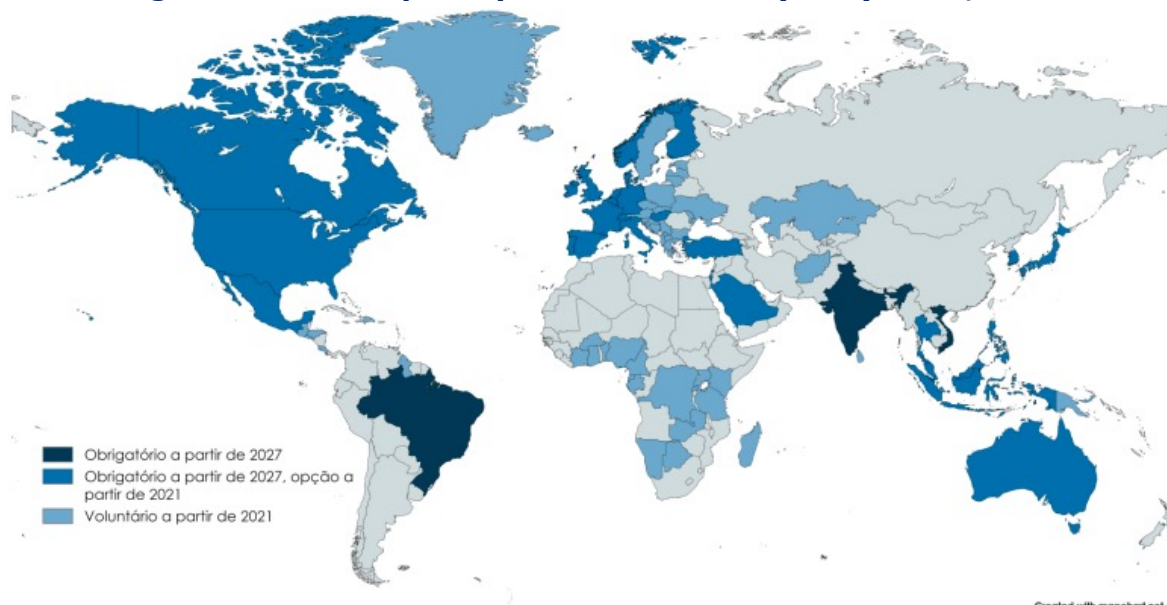
Figura 09 – Metas estabelecidas pelo CORSIA – EPE, 2024



Na fase voluntária do CORSIA, os operadores que atuam em rotas envolvendo o Brasil estão sujeitos apenas às obrigações de monitorar, reportar e submeter à verificação independente suas emissões de CO₂. A partir de 2027, inicia-se a etapa de compensação: as emissões internacionais dos operadores nacionais que excederem a média registrada no período 2019–2020 deverão ser neutralizadas por meio da aquisição de créditos de carbono ou pelo uso de combustíveis elegíveis ao CORSIA, com destaque para os combustíveis sustentáveis de aviação.

Em relação ao cronograma, a participação, inicialmente voluntária no período 2021–2027, torna-se obrigatória a partir de 2027 para os países que atendem aos critérios de representatividade no tráfego aéreo global, cenário no qual se insere o Brasil.

Figura 10 – Países participantes do CORSIA (2023) – EPE, 2024



Válido ressaltar alguns critérios relevantes estabelecidos pelo CORSIA para a validade das Reduções Certificadas de Emissões (CER):

- Adicionalidade
- Ser baseada em uma linha de base realística e credível
- Ser quantificados, monitorados, reportados e verificados
- Ter uma cadeia de custódia clara e transparente
- Representar reduções permanentes de emissões

- f. Avaliar e mitigar contra um possível aumento de emissões em outro lugar
- g. Ser contados apenas uma vez para uma obrigação de mitigação
- h. Não provocar danos líquidos

No cenário internacional, diversos países vêm estruturando políticas específicas para viabilizar a adoção de combustíveis sustentáveis de aviação, estabelecendo metas mandatórias, estratégias de longo prazo e programas de incentivo à produção. Essas iniciativas evidenciam tanto o avanço regulatório global quanto a crescente competitividade do SAF como alternativa para descarbonização do setor aéreo, conforme sintetizado na tabela a seguir.

Figura 11 – Outras inciativas de SAF no Mundo – Adaptado de EPE

Outras iniciativas de SAF no Mundo (EPE)	
País/Região	Iniciativa
Reino Unido	Política pública em fase de construção com o objetivo de introduzir metas a partir de 2025 e atingir pelo menos 10% de utilização de SAF até 2030.
Estados Unidos	Objetivo de ampliar a produção de SAF em, pelo menos, 3 bilhões de litros por ano até 2030.
França	Definiu Roadmap de SAF com objetivos de consumo de 2% até 2025, 5% até 2030 e 50% em 2050.
Espanha	Objetivo de fornecimento de 2% de SAF em 2025. Novas biorrefinarias em planejamento, com foco especial em resíduos.
Holanda	Roadmap de SAF em desenvolvimento com um mandato a nível nacional ou da união Europeia.
Alemanha	Planeja introduzir um mandato de SAF em 2026 com foco na rota Power to Liquids (PtL).
Noruega	Em 2020 introduziu o mandato de SAF de 0,5% com a ambição de aumentar para 30% em 2030.
Suécia	Implementou mandato volumétrico de SAF de 1% em 2021, com o objetivo de atingir 30% em 2030.
Finlândia	Intenção de implementar mandato de SAF de 30% até 2030.
Coréia do Sul	Estabelecerá padrões de qualidade para SAF em 2024 e planeja iniciar mandato de mistura em 2026.

No âmbito nacional, o marco regulatório avançou significativamente com a promulgação da Lei nº 14.993/2024, que institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV). O programa estabelece metas graduais de redução de emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis na aviação civil, a serem cumpridas por meio da incorporação de SAF nas operações domésticas a partir de 2027. As metas iniciam com redução mínima de 1% em 2027–2028 e evoluem progressivamente até 10% em 2037, constituindo um cronograma claro de expansão da demanda regulatória no país.

Figura 12 – Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação - EPE

ProBioQAV	
Objetivo	Incentivo à pesquisa, à produção, à comercialização e ao uso energético do SAF na matriz energética brasileira.
Aplicação	A partir de 2027, os operadores aéreos ficam obrigados a reduzir as emissões de GEE em suas operações domésticas por meio da utilização de SAF.
Contabilização	Análise de Ciclo de Vida (ACV) do poço-à-roda de cada rota tecnológica de produção de SAF

Segundo análise apresentada por Costa e Henkes (2021), a aviação tem avançado na avaliação de tecnologias de propulsão e fontes energéticas renováveis como forma de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e limitar as emissões atmosféricas associadas às operações aéreas. O consumo nacional de querosene de aviação, conforme dados da ANP, gira em torno de aproximadamente 6,9 milhões de metros cúbicos por ano, sendo que as rotas tecnológicas HEFA, ATJ e FT, atualmente certificadas pela ASTM, já permitem a utilização de misturas de até 50% de combustíveis sustentáveis.

A Figura 13 apresenta a evolução prevista da redução das emissões de GEE, evidenciando o aumento gradual das exigências regulatórias ao longo da próxima década.

Figura 13 –Percentual anual mínimo de Redução das emissões de GEE - EPE

2027	1%	• Base de cálculo = volume de emissões das operações domésticas realizadas pela empresa aérea no ano correspondente, supondo utilização de combustível fóssil.
2028	1%	
2029	2%	
2030	3%	
2031	4%	
2032	5%	• Poderão ser admitidos meios alternativos para cumprimento da meta.
2033	6%	
2034	7%	• CNPE poderá alterar os percentuais a qualquer tempo por motivo justificado de interesse público.
2035	8%	
2036	9%	
2037	10%	

De acordo com a International Air Transport Association, a produção global de SAF atingiu cerca de 1 milhão de toneladas em 2024, o que representou um aumento significativo em relação às aproximadamente 0,5 milhão de toneladas registradas em 2023 e correspondeu a cerca de 0,3% do consumo total de combustíveis de aviação (IATA, 2024). Para 2025, as projeções indicam que a produção pode alcançar 2 milhões de toneladas, equivalente a aproximadamente 0,7% da demanda global das companhias aéreas. O documento projeta um preço médio de US\$2.490 por tonelada de SAF em 2026, o que representa um custo quase 4 vezes maior quando comparado ao querosene convencional.

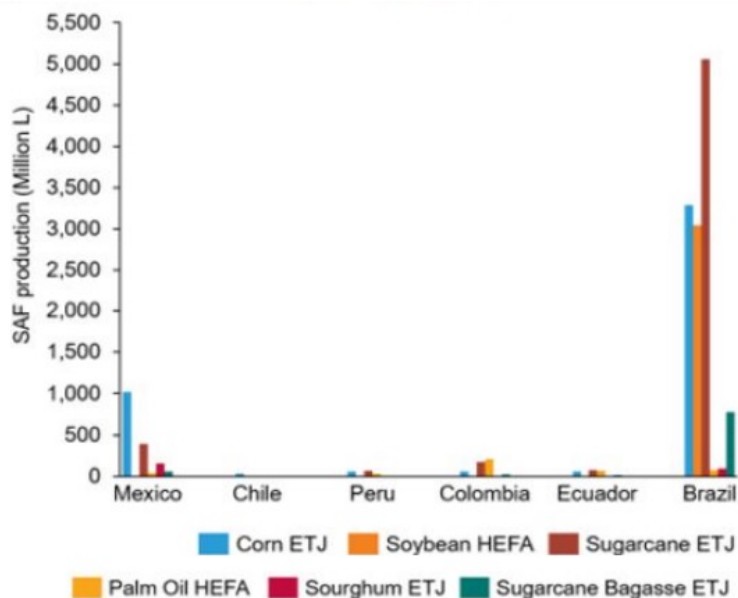
Figura 14 – Panorama atual de SAF e CORSIA - IATA

Indústria Global de Aviação	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025E	2026E
Preços de SAF (US\$/tonelada)	-	-	-	2.500	2.500	2.316	2.492	2.490
% var. anual				0,0%	0,0%	-7,4%	7,6%	-0,1%
x preço do Combustível de Aviação				2,4	2,9	3,1	3,6	3,7
Custo CORSIA						1.000	1.300	1.700

Adicionalmente, os custos regulatórios associados ao CORSIA começam a ganhar materialidade na estrutura de despesas das companhias. Em 2024, o setor desembolsou aproximadamente US\$ 1,0 bilhão em créditos de compensação, valor que deve aumentar para US\$ 1,3 bilhão em 2025 e US\$ 1,7 bilhão em 2026. Esse crescimento indica que as políticas climáticas passaram a representar um componente cada vez mais relevante dos custos operacionais, sobretudo na transição para combustíveis de menor intensidade de carbono.

Apesar dos desafios econômicos associados à expansão global do SAF, diversos estudos apontam que a viabilidade econômica desses combustíveis pode variar significativamente entre regiões, sobretudo em função da disponibilidade de matérias-primas, da maturidade tecnológica e da experiência prévia em biocombustíveis. Nesse contexto, o Brasil apresenta condições particularmente favoráveis: o país possui um setor consolidado de biocombustíveis, ampla oferta de biomassas e resíduos com potencial competitivo e uma estrutura industrial capaz de absorver rotas tecnológicas já certificadas, como HEFA e ATJ.

Figura 15 – Potencial de Produção de SAF na América Latina – ANAC



A combinação dessas vantagens com a entrada em vigor das metas obrigatórias de uso de SAF a partir de 2027, no âmbito do ProBioQAV e do CORSIA, reforça a necessidade de avaliar as tecnologias mais adequadas ao contexto nacional. Nesse cenário, torna-se essencial identificar rotas produtivas com maior potencial de escalabilidade, competitividade e aderência às especificações técnicas internacionais, que serão abordadas no próximo capítulo desse estudo.

3. Rotas tecnológicas para a produção de SAF

Os Combustíveis Sustentáveis de Aviação podem ser obtidos a partir de um conjunto amplo de recursos renováveis, incluindo óleos vegetais, gorduras animais, biomassa lignocelulósica, resíduos agroindustriais e urbanos, açúcares, amidos e gases residuais provenientes de processos industriais. A diversidade de matérias-primas viabiliza múltiplas configurações produtivas e amplia a possibilidade de inserção regional do SAF, permitindo que diferentes territórios desenvolvam arranjos industriais compatíveis com sua base de recursos.

Do ponto de vista operacional, o SAF possui características físico-químicas compatíveis com o querosene de aviação convencional, o que possibilita sua utilização em misturas sem a necessidade de adaptações na infraestrutura aeroportuária, nos sistemas de abastecimento ou nas aeronaves. Uma vez misturado ao combustível fóssil dentro dos limites estabelecidos pela ASTM D7566, o produto passa a ser certificado segundo o padrão do Jet A/A-1, garantindo sua intercambialidade ao longo de toda a cadeia logística.

Até o momento existem sete rotas de produção aprovadas pela American Society for Testing and Materials (ASTM), conforme apresentadas na tabela abaixo.

Figura 16 – Rotas de produção de SAF certificadas – EPE

Principais matérias-primas	Rotas tecnológicas aprovadas pela ASTM D7566 e ANP Res. 856/2021		Mistura máxima ¹
Triglicerídeos Oleaginosas, algas, óleos e gorduras residuais	HEFA	Querosene parafínico sintetizado por ácidos graxos e ésteres hidroprocessados	50%
	HC-HEFA	Querosene parafínico sintetizado por hidrocarbonetos bioderivados	10%
	CHJ	Querosene de hidrotermólise catalítica	50%
Biomassa lignocelulósica Eucalipto, pinheiro, capim elefante, bagaço de cana	SPK-FT	Querosene parafínico hidroprocessado e sintetizado por Fischer-Tropsch	50%
	SPK-A	Querosene parafínico sintetizado com aromáticos	50%
	SIP	Isoparafinas sintetizadas de açúcares fermentados e hidroprocessados	10%
Açúcares e amidos Cana-de-açúcar, milho, beterraba, mandioca	ATJ	Querosene parafínico sintetizado por álcool	50%

Nacionalmente, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) definiu as especificações técnicas do querosene e do bioquerosene de aviação (BioQAV) através da Resolução #856, de 22 de Outubro de 2011.

Considerando essas características, este capítulo apresenta as principais rotas tecnológicas reconhecidas pelas normas internacionais, descrevendo seus fundamentos, matérias-primas associadas, níveis de prontidão tecnológica, desafios de implementação e potencial de inserção no Estado de Goiás. A análise estabelece as bases para a avaliação econômico-financeira da produção de SAF que será realizada nos capítulos seguintes.

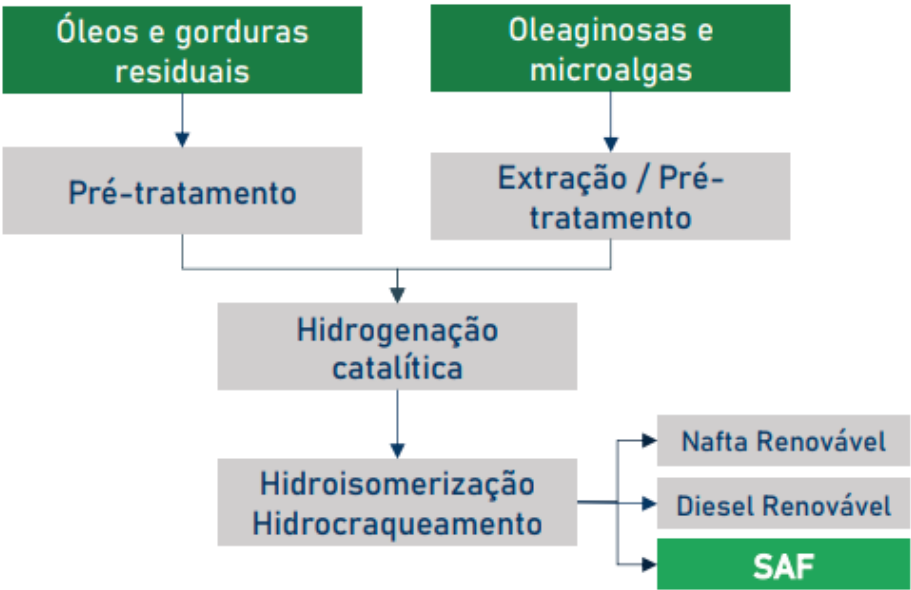
3.1 HEFA e HC-HEFA

A rota HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) e sua variação HC-HEFA (*Hydroprocessed Catalytic HEFA*) constituem atualmente uma das tecnologias mais consolidadas para a produção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação. Ambas se baseiam na conversão de triglicerídeos e ácidos graxos livres presentes em óleos vegetais, gorduras animais e resíduos lipídicos em cadeias de hidrocarbonetos renováveis. O processo ocorre por meio de reações catalíticas em presença de hidrogênio, sendo reconhecido por sua elevada maturidade tecnológica e pelo status de aprovação comercial estabelecido pela ASTM D7566.

O processamento envolve duas grandes etapas. A primeira é a hidrogenação catalítica, que inclui reações de hidrodesoxigenação (HDO), descarboxilação (DCO) e descarbonação (DCO₂). Essas reações têm por finalidade remover oxigênio, compostos insaturados e impurezas presentes na matéria-prima, resultando em um corte de parafinas lineares com maior estabilidade térmica e maior densidade energética.

A segunda etapa compreende as reações de hidroisomerização e hidrocraqueamento, responsáveis por ajustar a estrutura das cadeias de hidrocarbonetos para atender aos requisitos físico-químicos do querosene de aviação definidos pela ASTM, especialmente no que se refere ao ponto de fluidez, viscosidade e comportamento em condições de baixa temperatura. A isomerização introduz ramificações controladas nas cadeias, enquanto o craqueamento reduz o comprimento molecular e garante a formação de uma distribuição adequada dentro do intervalo C8–C16, característico dos combustíveis aeronáuticos.

Figura 17 – Cadeia de Produção de SAF via HEFA – EPE, 2024



Entre os principais pontos positivos do HEFA está a disponibilidade de matéria prima em larga escala e o baixo teor de enxofre e de compostos aromáticos, além de elevados valores de cetano.

Souza (2019) indica que a rota HEFA se apresenta como a alternativa mais viável no curto prazo, já que opera em escala comercial, envolve menos complexidade de processo e tende a apresentar custos inferiores aos de outras rotas. De acordo com Bauen et al. (2020), o HEFA já alcançou estágio plenamente comercial, sendo considerado o caminho tecnológico mais consolidado no momento.

3.2 CHJ

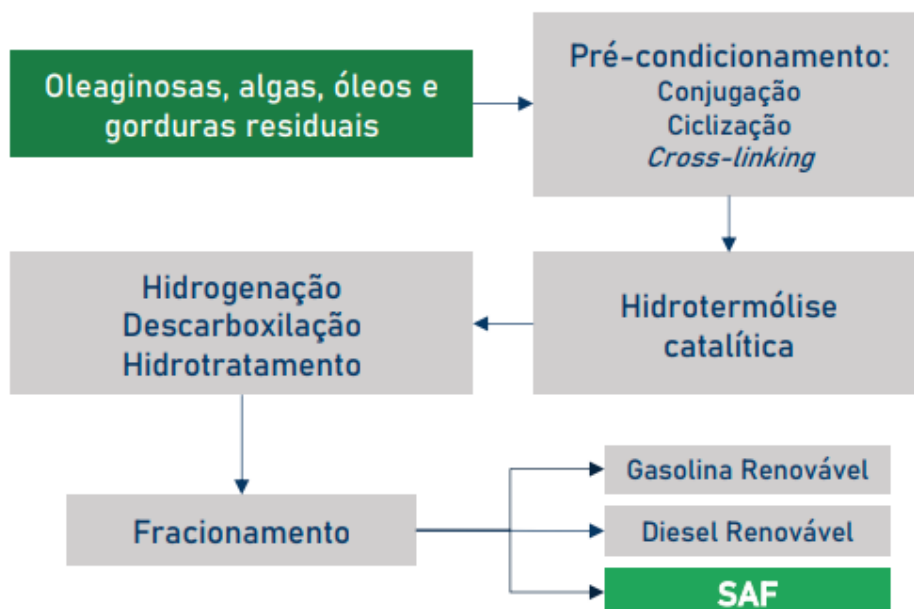
A rota CHJ (*Catalytic Hydrothermolysis Jet*) utiliza matérias-primas lipídicas submetidas inicialmente a um pré-condicionamento químico, seguido por hidrotermólise catalítica em meio aquoso supercrítico e, na etapa final, por processos de hidrotratamento e fracionamento para obtenção do querosene sintético compatível com as especificações aeronáuticas. Trata-se de uma rota de maior complexidade reacional quando comparada ao HEFA, com características térmicas e hidrotérmicas semelhantes às observadas em processos de liquefação hidrotérmica.

A etapa de pré-condicionamento tem como objetivo alterar a estrutura molecular dos triglicerídeos via reações de conjugação, ciclização e *cross-linking*, promovendo o rearranjo das cadeias de ácidos graxos em estruturas mais estáveis e reativas sob condições hidrotérmicas. Essa etapa melhora tanto a eficiência dos mecanismos de quebra no reator subsequente quanto a seletividade para hidrocarbonetos desejados.

No reator de hidrotermólise, o óleo pré-condicionado reage com água em condições sub ou supercríticas, geralmente entre 375 °C e 450 °C e pressões superiores a 220 bar. Nessa condição, a água atua simultaneamente como meio reacional, solvente e agente de transferência de hidrogênio, favorecendo uma série de mecanismos, incluindo craqueamento térmico, hidrólise de triglicerídeos, descarboxilação, desidratação, isomerização, recombinação e aromatização parcial das cadeias carbônicas.

Na etapa final, o produto da hidrotermólise é submetido ao hidrotratamento e ao fracionamento atmosférico ou a vácuo para remover compostos residuais contendo oxigênio, enxofre e nitrogênio, estabilizar o combustível e separar as frações adequadas ao querosene de aviação. O hidrotratamento ajusta as propriedades finais, como ponto de fulgor, estabilidade oxidativa e comportamento em baixa temperatura, garantindo conformidade com os parâmetros exigidos pela ASTM.

Figura 18 – Processo de produção CHJ – EPE, 2024



A rota CHJ utiliza as mesmas matérias-primas que a rota HEFA, porém aplica processos químicos distintos para adequá-las a faixa do querosene de aviação. As reações na rota CHJ consomem menos hidrogênio em comparação com HEFA, mas requerem maior pressão e temperatura para operar.

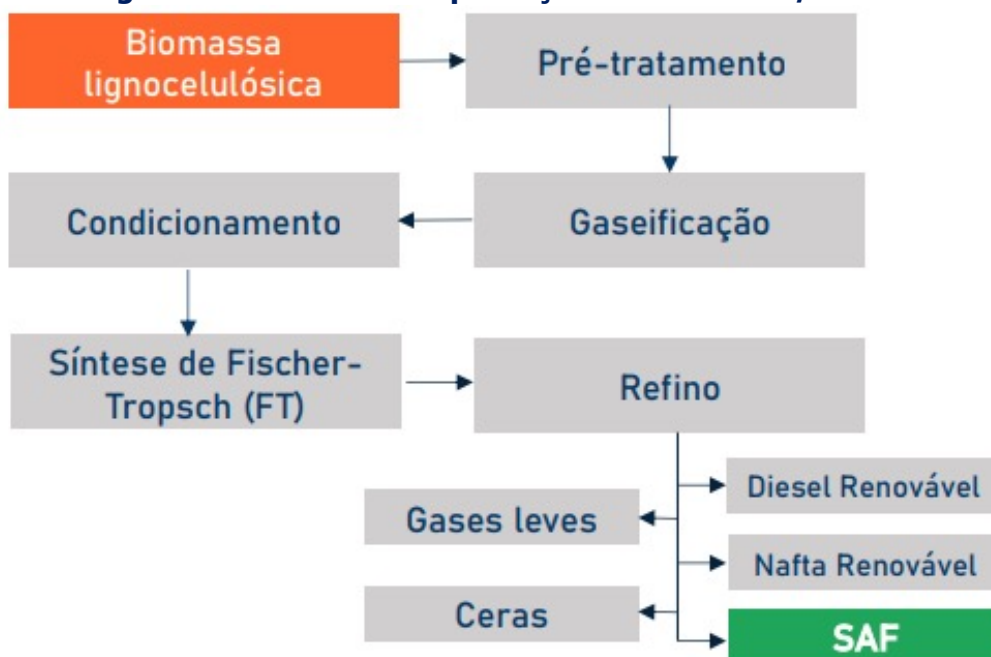
3.3 SPK-FT e SPK/A

As rotas de produção SPK-FT e SPK/A baseiam-se na conversão termoquímica de biomassa em hidrocarbonetos sintéticos, utilizando a síntese de Fischer-Tropsch (FT) como etapa central. Inicialmente, a biomassa vegetal passa por pré-tratamento para remoção de umidade, ajustes de granulometria e melhorias na reatividade térmica. Em seguida, é submetida à gaseificação controlada, processo termoquímico que converte materiais carbonosos em um gás de síntese composto majoritariamente por monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos leves. A qualidade do gás, especialmente a razão H₂/CO, influencia diretamente a eficiência da síntese subsequente.

Na reação de Fischer-Tropsch, esse gás de síntese é direcionado a catalisadores metálicos — geralmente ferro ou cobalto. O produto resultante consiste em um espectro amplo de compostos parafínicos, olefínicos e oxigenados, distribuídos entre frações leves, intermediárias e pesadas.

As etapas finais de processamento incluem hidrotratamento, craqueamento, isomerização e fracionamento. Esses estágios têm por objetivo ajustar a distribuição de cadeias, aumentar a proporção da fração de querosene de aviação (C₈–C₁₆) e garantir conformidade com parâmetros críticos da ASTM D7566, como densidade, estabilidade térmica, ponto de fulgor e propriedades de fluxo a frio. Em aplicações específicas (SPK/A), adiciona-se ainda uma etapa de alquilação para gerar moléculas com maior ramificação e melhorar o desempenho do combustível.

Figura 19 – Processo de produção SPK-FT e SPK/A - EPE



A rota de obtenção de SPK/A é uma variação do processo FT com adição de aromáticos, o que auxilia a prevenir vazamentos e deterioração das partes de borracha que vedam os motores, auxiliando a manter a pressão hidráulica. Assim como SPK-FT, seu percentual máximo de mistura é de 50%.

3.4 ATJ

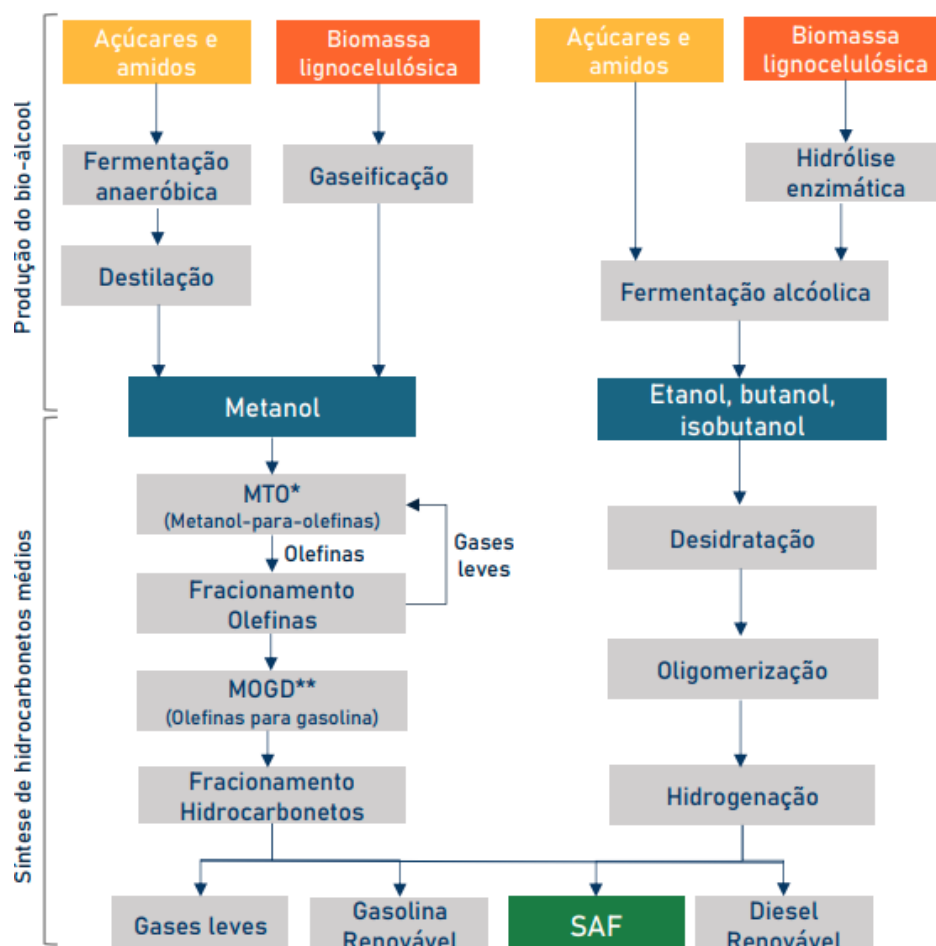
A rota Alcohol-to-Jet (ATJ) é composta por duas etapas principais: a produção do bioálcool e a conversão desses álcoois em hidrocarbonetos médios compatíveis com o querosene de aviação. Na etapa de produção do bioálcool, podem ser utilizados processos biológicos amplamente consolidados, como a fermentação de açúcares provenientes de biomassa amilácea ou lignocelulósica, além de rotas termoquímicas mais recentes baseadas na conversão da biomassa em gás de síntese e posterior síntese de álcoois. Diversos tipos de bioálcoois podem ser utilizados na rota ATJ, incluindo metanol, etanol, n-butanol e isobutanol, cada qual com características próprias de rendimento, custo e adequação à cadeia de suprimento.

Na etapa de síntese de hidrocarbonetos ocorre a conversão dos álcoois de cadeia curta em hidrocarbonetos da faixa C8 a C16, adequados para formulação de SAF. Esse processo envolve reações de desidratação, que transformam os álcoois em olefinas, seguidas por oligomerização e hidrogenação para obtenção de moléculas mais longas e estáveis. As rotas tecnológicas voltadas para a produção dos álcoois de partida podem ser organizadas em dois grupos principais: rotas baseadas no metanol e rotas baseadas em álcoois superiores, como os butanóis e o etanol. Ambas as abordagens possuem vantagens específicas, especialmente quanto à disponibilidade de matérias-primas e ao nível de maturidade industrial.

Após as etapas de síntese e estabilização, o produto é direcionado ao fracionamento, processo que separa os cortes de hidrocarbonetos e permite isolar a fração equivalente ao querosene de aviação. Essa etapa garante que o combustível final atenda às propriedades físico-químicas requeridas para uso aeronáutico, como ponto de fluidez, estabilidade térmica e comportamento a baixas temperaturas.

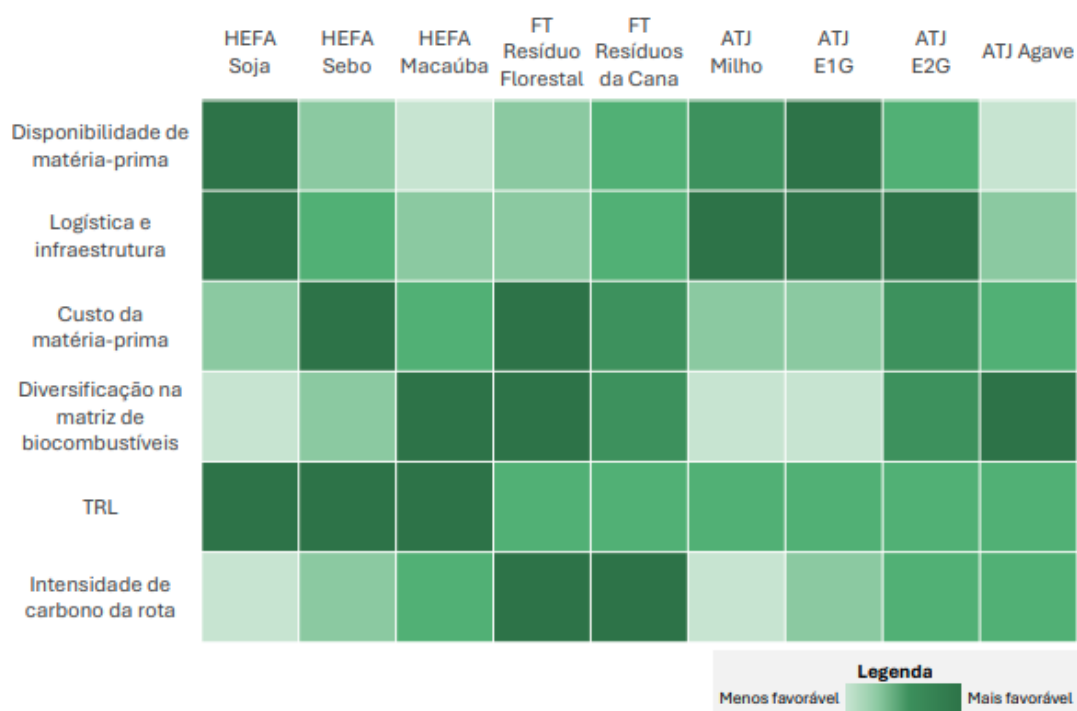
Importante mencionar que essa alternativa possui grande potencial no Brasil tendo em vista que o país figura como o segundo maior produtor de etanol do mundo.

Figura 20 – Processo de produção HEFA - EPE



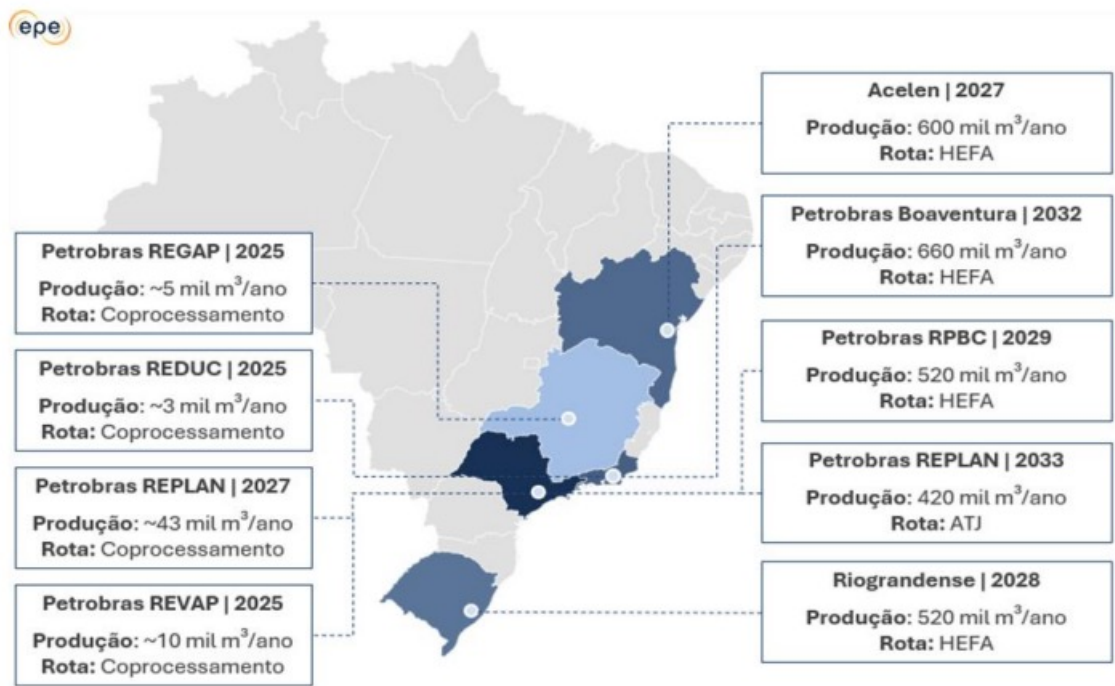
A figura abaixo mostra consolidada a avaliação das principais rotas de produção de SAF e a matéria prima associada. No Brasil, as alternativas de HEFA e ATJ se mostram como as mais viáveis para a produção em larga escala, tendo em vista a disponibilidade de matéria prima e o grau de desenvolvimento dessas tecnologias.

Figura 21 – Avaliação de rotas de produção de SAF – PDE 2034



Para fins ilustrativos, projetos em desenvolvimento no Brasil somam uma capacidade de 2,7 bilhões de litros de SAF até o ano de 2033, sendo que a maioria possui a rota tecnológica de HEFA como meio de produção principal, seguido pelo ATJ, consolidando-os como os principais caminhos para a expansão da produção no país.

Figura 22 – Projetos de SAF e Diesel Verde em desenvolvimento no Brasil – EPE



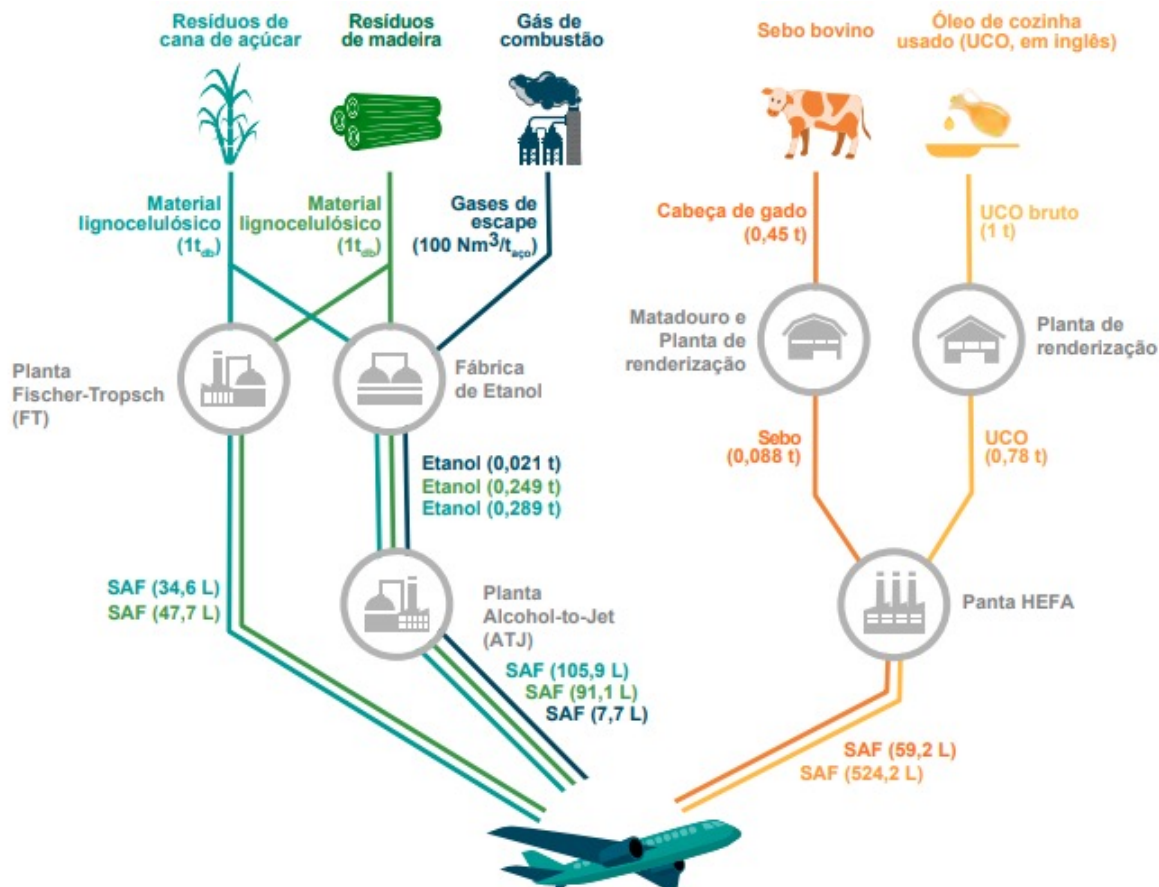
A análise das rotas tecnológicas certificadas demonstra que, apesar da diversidade de processos disponíveis para a produção de combustíveis sustentáveis de aviação, poucas alternativas apresentam simultaneamente maturidade tecnológica, escala comercial comprovada, disponibilidade de matéria-prima e aderência às condições estruturais do Brasil. Nesse contexto, as rotas HEFA e ATJ surgem como as soluções mais promissoras para viabilizar a oferta de SAF em volumes compatíveis com a demanda crescente do setor aéreo nacional.

A rota HEFA destaca-se por sua elevada prontidão tecnológica, custos relativamente competitivos e ampla variedade de matérias-primas lipídicas já disponíveis em escala significativa no país, incluindo óleos vegetais, resíduos industriais e gorduras animais. Essas características explicam por que todos os projetos industriais anunciados no Brasil até o momento adotam essa rota como base produtiva.

A rota ATJ, por sua vez, apresenta forte aderência ao contexto brasileiro devido à disponibilidade abundante de etanol e outros bioálcoois, além do elevado grau de consolidação da cadeia sucroenergética. A possibilidade de integrar plantas ATJ à infraestrutura já existente para produção, logística e comercialização de etanol reforça sua viabilidade técnico-econômica e cria condições para expansão acelerada em médio e longo prazo.

Em conjunto, HEFA e ATJ representam as alternativas com maior potencial para uma implementação imediata e de grande escala, conciliando disponibilidade de insumos, experiência industrial prévia e conformidade com as normas internacionais de qualidade. Essas rotas constituem, portanto, a base tecnológica mais realista para sustentar o desenvolvimento da indústria brasileira de SAF e atender às exigências crescentes de descarbonização da aviação.

Figura 23 – Matérias – Primas e Vias de Produção – RSB & Agroicone (2021)

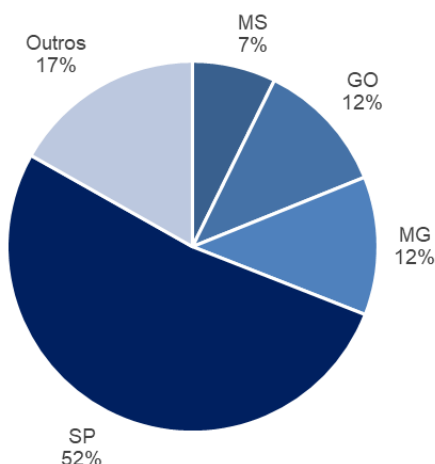


Disponibilidade de Matéria – Prima em Goiás

Conforme mencionado anteriormente, o Brasil é uma potência em termos de disponibilidade de matéria-prima para a produção de SAF na América Latina, fato que pode ser confirmado pela posição de destaque do país na produção global de biocombustíveis. Nacionalmente, Goiás assume uma posição de destaque em termos de insumos para a produção dos combustíveis sustentáveis de aviação, principalmente os agrícolas.

Dados da CONAB indicam que foram produzidas 679.969,1 mil toneladas de cana de açúcar na última safra, dos quais 78.579,2 mil toneladas produzidas em Goiás (11,6% do total), colocando o estado entre os três maiores produtores de cana do país, atrás apenas de São Paulo e Minas Gerais.

Figura 24 – Maiores produtores de Cana-de-açúcar – CONAB, 2025

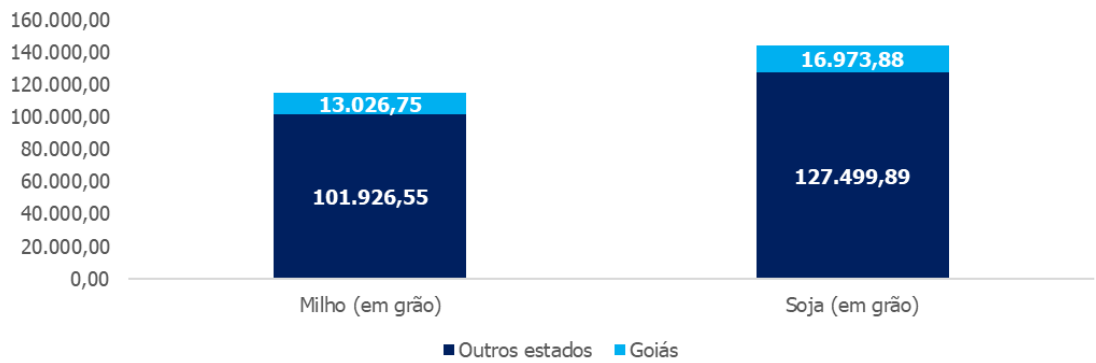


Em relação ao etanol, o Brasil produziu 36,9 bilhões de litros em 2024, dos quais 5,6 bilhões de litros foram produzidos pelo estado (15,2% do total), colocando Goiás como o terceiro maior produtor de etanol do país, atrás apenas de São Paulo e Mato Grosso, figurando também entre os três maiores produtores de etanol a partir

do milho, com 1,6 milhões de toneladas processadas nas usinas até Outubro de 2025.

O milho e a Soja também são importantes insumos para a produção de SAF via HEFA. De acordo com dados do IBGE, foram produzidas 114.963,3 mil toneladas de milho em 2024, dos quais 13.026,7 mil toneladas produzidas em Goiás. Em relação a soja, foram produzidas no estado 16.973,9 mil toneladas ou o equivalente a 11,7% da produção nacional total (114.473,8 mil toneladas).

Figura 25 – Participação de Goiás na produção de grãos – PAM, IBGE



4. Custos para a implementação de projetos de SAF no Brasil

Neste capítulo apresentaremos perspectivas de viabilidade econômico-financeira a implementação de novos projetos para a produção de SAF considerando os diferentes tipos de biomassa disponíveis e rota de produção.

Conforme NG et al. (2021), a análise de viabilidade técnica e econômica das principais rotas de produção de SAF evidencia uma ampla variação nos custos e desempenhos, tanto em função da tecnologia empregada quanto das características específicas das matérias-primas utilizadas. De acordo com as estimativas apresentadas pelo International Council on Clean Transportation (ICCT), o custo de produção do SAF pode variar de aproximadamente US\$1,0/L, no caso de rotas baseadas em resíduos lipídicos via HEFA, até cerca de US\$3,9/L nas rotas de HFS. Essa faixa representa valores de duas a oito vezes superiores ao preço do combustível fóssil de aviação, o que reforça a necessidade de se compreender a dinâmica tecnológica e econômica de cada rota.

Os resultados obtidos pelo estudo mostram que a rota HEFA apresenta o menor MFSP médio entre todas as tecnologias analisadas, situando-se em torno de US\$1,2/L, com valores variando de US\$1,1/L a US\$1,3/L. Tal desempenho se explica principalmente pelo elevado rendimento volumétrico dessa rota, superior a 1.000 litros por tonelada de biomassa seca, e pelos custos de capital reduzidos, que são da ordem de US\$0,3/L nos casos de maior eficiência. Esse comportamento está associado ao maior grau de maturidade tecnológica da rota HEFA, amplamente utilizada no mercado internacional, especialmente quando se considera o emprego de óleos residuais e gorduras como matéria-prima.

Figura 26 – Análise de viabilidade de projetos de SAF – Adaptado de NG et al. (2021)

Análise de viabilidade por tipo de biomassa							
Matéria-prima	Capacidade de produção (milhões de L/ano)	Rendimento (base seca na carga)		CAPEX	OPEX	Preço Mínima de venda	Emissão direta de
		L/t	GJ/t	US\$mn (US\$/l)	US\$mn/ano (US\$/l)	US\$/l	KgCO2e/GJ
Fischer-Tropsch (FT)							
Resíduos Florestais	1.305	271	-	678 (0,65)	793 (0,61)	0,9	3,6
Resíduos Agrícolas	277	-	23,63	941 (3,40)	47,9 (0,27)	5,5	22,0
Resíduos Florestais	153	210	5,32	626	(1,36)	1,8	-
Palha de Trigo	157	198	-	(1,24)	(0,28)	1,5	14,8
Resíduos Agrícolas	230	148	-	(1,24)	(0,73)	2,0	6,3
Power Crops	230	148	-	(1,24)	(0,90)	2,2	11,7
HEFA							
Óleo de Soja	230	1.060	-	135 (0,59)	181 (0,78)	1,1	31,4
Óleo de Palma	27	-	6,32	9,90 (0,35)	22,8 (0,84)	4,2	13,0
Óleo de Palma	230	1.111	-	0,34	0,73	1,1	33,7
Óleo de Fritura	935	1.025	-	874	(1,19)	1,3	19,4
ATJ							
Resíduos Florestais	294	420	5,98	56,1 (0,19)	51,4 (0,17)	2,1	91,0
Cavaco de Madeira	99	136	-	479	85,2 (0,86)	0,8	1,6
Milho	230	432	-	(1,07)	(0,79)	1,9	65,0
Cana-de-açúcar	230	580	-	0,79	(1,07)	1,9	48,1
Resíduos agrícolas	230	321	-	2,2	0,51	2,7	14,9
Power Crops	230	321	-	2,2	0,57	2,8	-
HFS							
Resíduos Agrícolas	114	212	-	1.973 (17,4)	137 (1,20)	2,2	25,0
Cana-de-açúcar	61	-	36,90	215 (3,49)	193 (3,17)	3,8	15,0
Cana-de-acúcar	61	370	-	1,98	2,32	4,3	65,1

As rotas Fischer-Tropsch (FT) e Alcohol-to-Jet (ATJ) apresentam MFSP médios bastante próximos, ambos na ordem de US\$1,8/L. Os valores mínimos observados na rota FT são de cerca de US\$0,9/L quando se considera o uso de resíduos florestais, enquanto os valores máximos podem ultrapassar US\$2,5/L, sobretudo quando são utilizadas culturas energéticas ou insumos com requisitos de pré-tratamento mais intensivos. O comportamento é semelhante no caso da rota ATJ, em que os valores de MFSP variam de 0,75 a aproximadamente US\$2,8/L. As

diferenças decorrem tanto do tipo de biomassa quanto da eficiência do processo de conversão alcoólica, além das características tecnológicas específicas de cada unidade produtiva.

A rota HFS apresenta o maior MFSP médio entre as tecnologias analisadas, atingindo um valor médio aproximado de US\$4,3/L, podendo exceder US\$6,0/L dependendo da matéria-prima e do arranjo industrial considerado. Isso se deve ao elevado grau de complexidade do processo e às limitações tecnológicas ainda existentes na conversão de açúcares para hidrocarbonetos compatíveis com o querosene de aviação. Além disso, os investimentos de capital e os custos operacionais associados a essa rota tendem a ser significativamente maiores do que nas demais alternativas.

As análises ambientais associadas às rotas avaliadas indicam que o SAF pode proporcionar reduções entre 20% e 95% das emissões de gases de efeito estufa, quando comparado ao querosene convencional, dependendo da biomassa e do processo de conversão empregados. A utilização de óleos vegetais na rota HEFA tende a gerar emissões superiores às observadas em rotas baseadas em resíduos lignocelulósicos, devido principalmente aos impactos indiretos associados à mudança de uso da terra. Por outro lado, resíduos florestais, resíduos agrícolas e cavacos de madeira apresentam desempenho ambiental substancialmente melhor. É importante observar que os valores de emissões podem variar entre estudos devido a diferenças metodológicas na avaliação do ciclo de vida, o que limita comparações diretas sem análise crítica das premissas adotadas.

Análise estadual

A combinação entre a disponibilidade de matérias-primas e a estrutura logística existente em Goiás indica que o estado possui condições particularmente favoráveis para a implantação de projetos de produção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação. A elevada participação estadual na produção de cana-de-açúcar, etanol, milho e soja sugere que o território reúne insumos adequados para diferentes rotas tecnológicas, o que diversifica as possibilidades de arranjos industriais.

Figura 27 – Viabilidade de insumos – CBIE Advisory

Análise potencial de insumos - Goiás (CBIE Advisory)			
Insumo	Produção anual	Rotas aplicáveis	Comentário
Cana-de-açúcar	78,6 milhões de toneladas	ATJ, HFS	Cadeia consolidada
Etanol	5,6 bilhões de litros	ATJ	Terceiro maior produtor do país
Milho	13,0 milhões de toneladas	HEFA (óleo); ATJ (etanol de milho)	Crescimento do etanol de milho; coprodutos
Soja	17,0 milhões de toneladas	HEFA	Excelente insumo ao HEFA
Resíduos Agrícolas	Alto Potencial	FT, HFS	Logística dispersa; tecnologia ainda não consolidada
Resíduos Urbanos	Potencial Moderado	FT	Tecnologia ainda não consolidada

De maneira semelhante, a expressiva produção de soja e milho no estado reforça a viabilidade logística da rota HEFA, que apresenta atualmente o menor MFSP médio entre as tecnologias avaliadas e se beneficia de matérias-primas amplamente disponíveis no território goiano. A presença de cadeias consolidadas da indústria de soja e milho reduz o risco de suprimento e amplia a diversidade de fontes lipídicas e alcoólicas compatíveis com a produção de SAF.

Tendo como base o estudo desenvolvido por Ng et al. (2021), apresentamos exercícios de simulação de custos para a implementação de plantas de SAF no estado de Goiás. Como premissas, consideramos uma capacidade de produção de 230,0 milhões de litros por ano em ambas as rotas tecnológicas, rendimento de 1.060 L/tonelada no caso do óleo de soja e de 580 L por tonelada de cana-de-açúcar. Demais premissas podem ser encontradas na **Figura 25**.

Figura 28 – CAPEX e OPEX de plantas SAF via HEFA e ATJ – NG et al. (2021)

Rota Tecnológica	HEFA	ATJ	ATJ
Matéria Prima	Óleo de Soja	Etanol (Cana)	Etanol (Milho)
Capacidade de Produção (MM litros/an)	230,0	230,0	230,0
<i>Rendimento (Litros / Tonelada)</i>	<i>1.060,0</i>	<i>580,0</i>	<i>432,0</i>
<i>Necessidade de Matéria Prima (Toneladas)</i>	<i>216.981,1</i>	<i>396.551,7</i>	<i>532.407,4</i>
Capex Unitário (R\$/L)	3,127	4,187	5,671
CAPEX Estimado (R\$mn)	719.210.000,0	963.010.000,0	1.304.330.000,0
OPEX (R\$mn ano)	950.820.000,0	1.304.330.000,0	963.010.000,0
Breakeven (R\$/L)	5,83	10,07	10,07

De acordo com o estudo, o breakeven seria de R\$5,83/L no caso do HEFA (Óleo de soja) e de R\$10,07 via ATJ (Cana ou Milho). A análise de viabilidade estadual para Goiás reforça o potencial de aproveitamento das condições locais favoráveis, como a grande produção de cana-de-açúcar, etanol, milho e soja, que são matérias-primas chave para diversas rotas tecnológicas de produção de SAF. Além disso, a robustez das cadeias produtivas existentes, aliada a uma infraestrutura logística consolidada, posiciona o estado como um polo atrativo para o desenvolvimento de projetos de combustíveis sustentáveis.

É fundamental destacar que o sucesso da implantação de projetos de SAF não depende apenas das variáveis econômicas e ambientais, mas também da adoção de políticas públicas que incentivem a produção e o consumo de combustíveis sustentáveis.

5.Demanda Potencial de SAF e QAV no Brasil

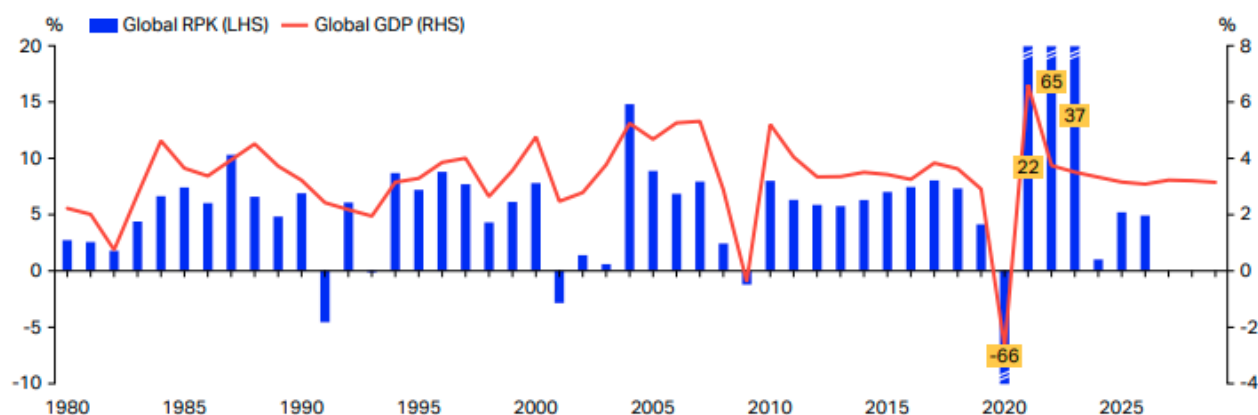
Conforme mencionado anteriormente, a Lei #14.993 de 8 de outubro de 2024, instituiu, entre outros, o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), que tem como principal objetivo incentivar a pesquisa, a produção, a comercialização e o uso energético, na matriz energética brasileira, do combustível sustentável de aviação. De acordo com o texto, os operadores aéreos ficam obrigados a reduzir as emissões de GEE em suas operações domésticas por meio do uso de SAF, conforme os seguintes percentuais mínimos de redução:

- ☐ 1% a partir de 1º de janeiro de 2027;
- ☐ 2% a partir de 1º de janeiro de 2029;
- ☐ 3% a partir de 1º de janeiro de 2030;
- ☐ 4% a partir de 1º de janeiro de 2031;
- ☐ 5% a partir de 1º de janeiro de 2032;
- ☐ 6% a partir de 1º de janeiro de 2033;
- ☐ 7% a partir de 1º de janeiro de 2034;
- ☐ 8% a partir de 1º de janeiro de 2035;
- ☐ 9% a partir de 1º de janeiro de 2036; e
- ☐ 10% a partir de 1º de janeiro de 2037

A CBIE Advisory utilizou a curva de redução de emissões desenhadas pela Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), além de perspectivas próprias sobre o consumo de SAF no Brasil, construído a partir de modelos autorais.

Na construção de nossa curva de demanda de combustíveis de aviação, utilizamos dados históricos apresentados pela ANP e nossas perspectivas de crescimento de PIB esperado para os próximos anos. Adicionalmente, consideramos uma elasticidade de crescimento do consumo de QAV em função do PIB apresentado pela pelo Global Outlook for Air Transport da IATA. A análise de dados aponta para uma elasticidade média de 2,5x, conforme apresentado na figura abaixo.

Figura 29 – Crescimento de RPK vs. PIB Global – IATA



Em cenário de referência, consideramos um crescimento de PIB da ordem de 2,3% no ano de 2025 e um crescimento de médio e longo prazo de 2,0%. A elasticidade brasileira variou entre 3,0x e 2,0x nos últimos anos, indo de encontro a expectativas iniciais disponíveis no relatório da IATA. Os anos de 2020, 2021 e 2022 possuem impactos da retomada da demanda por QAV e, por esse motivo, não devem ser consideradas na análise.

Nesse cenário, projetamos uma demanda de combustíveis de aviação variando entre 7,4 e 9,5 bilhões de litros nos próximos anos.

Figura 30 – projeção do consumo de combustíveis de aviação (Referência) – CBIE Advisory

Projeção do consumo de Combustíveis de Aviação no Brasil 2019 - 2030 (CBIE Advisory - Cenário de Referência)												
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo de combustíveis de Aviação (Bn litros)	7,0	3,6	4,4	6,0	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,5
% var. anual		-49,0%	23,6%	35,5%	9,5%	6,7%	5,8%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Crescimento de PIB (%)		-3,9%	5,2%	3,0%	3,2%	3,4%	2,3%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
<i>Elasticidade</i>		<i>12,6x</i>	<i>4,5x</i>	<i>11,8x</i>	<i>3,0x</i>	<i>2,0x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>

Em cenário superior, consideramos um crescimento de crescimento de PIB da ordem de 2,5% para 2025 e 2026, 3,0% para 2027 e crescimento de longo prazo de 3,5%. Nesse cenário, o consumo de combustíveis de aviação alcançaria valores entre 7,5 e 11,0 bilhões de litros no período entre 2025 e 2030.

Figura 31 – projeção do consumo de combustíveis de aviação (Superior) – CBIE Advisory

Projeção do consumo de Combustíveis de Aviação no Brasil 2019 - 2030 (CBIE Advisory - Cenário Superior)												
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo de combustíveis de Aviação (Bn litros)	7,0	3,6	4,4	6,0	6,6	7,0	7,5	7,9	8,5	9,3	10,1	11,0
% var. anual		-49,0%	23,6%	35,5%	9,5%	6,7%	6,3%	6,3%	7,5%	8,8%	8,8%	8,8%
Crescimento de PIB (%)		-3,9%	5,2%	3,0%	3,2%	3,4%	2,5%	2,5%	3,0%	3,5%	3,5%	3,5%
<i>Elasticidade</i>		<i>12,6x</i>	<i>4,5x</i>	<i>11,8x</i>	<i>3,0x</i>	<i>2,0x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>

Por fim, em cenário inferior, consideramos um crescimento de PIB da ordem de 2,0% em 2025 e crescimento de 1,5% no médio e longo prazo. Nesse cenário, o consumo de combustíveis cairia para níveis entre 7,4 e 8,9 bilhões de litros.

Figura 32 – projeção do consumo de combustíveis de aviação (Inferior) – CBIE Advisory

Projeção do consumo de Combustíveis de Aviação no Brasil 2019 - 2030 (CBIE Advisory - Cenário Inferior)												
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo de combustíveis de Aviação (Bn litros)	7,0	3,6	4,4	6,0	6,6	7,0	7,4	7,6	7,9	8,2	8,5	8,9
% var. anual		-49,0%	23,6%	35,5%	9,5%	6,7%	5,0%	3,8%	3,8%	3,8%	3,8%	3,8%
Crescimento de PIB (%)		-3,9%	5,2%	3,0%	3,2%	3,4%	2,0%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
<i>Elasticidade</i>		<i>12,6x</i>	<i>4,5x</i>	<i>11,8x</i>	<i>3,0x</i>	<i>2,0x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>	<i>2,5x</i>

Para a construção da demanda por SAF, é importante mencionar que a mistura necessária varia de acordo com a rota tecnológica e matéria prima utilizada na cadeia produtiva. A CBIE Advisory analisou as rotas HEFA e ATJ, mais consolidadas e propícias ao ambiente nacional, considerando como insumos principais o Óleo de Soja (HEFA) e o Etanol (ATJ). No caso da rota HEFA (Óleo de Soja), é necessária uma mistura de, aproximadamente, 4,1% para que 1,0% das emissões de CO2 sejam evitadas. O número cai consideravelmente quando utilizada a rota ATJ (Etanol), onde é necessária uma mistura de 1,6% para a redução de 1,0% das emissões. As projeções são do Ministérios de Minas e Energia (MME).

Figura 33 – Mistura mínima de SAF para alcançar reduções de GEE – MME

Volume necessário de SAF para cumprimento de metas CORSIA				
Rota	Insumo	gCO2/MJ	Mandato 1%	Mandato 10%
HEFA	Óleo de Soja	67,4	4,1%	41,2%
ATJ	Etanol	32,8	1,6%	15,8%
ATJ	Resíduos de Agricultura	29,3	1,5%	14,9%
FT	Resíduos de Agricultura	7,7	1,1%	10,9%
HEFA	Palma	20,7	1,3%	13,1%
HEFA	Seco	22,5	1,3%	13,4%
HEFA	UCO	13,9	1,2%	11,8%
FT	Resíduos de madeira	8,3	1,1%	11,0%
FT	RSU	5,2	1,0%	10,6%

A tabela abaixo apresenta os resultados de demanda potencial por combustíveis sustentáveis de aviação considerando o percentual mínimo para alcançar as reduções de emissão estabelecidas pelo CNPE.

Figura 34 – projeção da demanda por SAF – CBIE Advisory

Projeção do consumo de Combustíveis de Aviação no Brasil 2019 - 2030 (CBIE Advisory - Cenário de referência)												
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo de combustíveis de Aviação (Bn litros)	7,0	3,6	4,4	6,0	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,5
% var. anual		-49,0%	23,6%	35,5%	9,5%	6,7%	5,8%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Crescimento de PIB (%)		-3,9%	5,2%	3,0%	3,2%	3,4%	2,3%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Elasticidade		12,6x	4,5x	11,8x	3,0x	2,0x	2,5x	2,5x	2,5x	2,5x	2,5x	2,5x
Demanda de SAF												
Percentual Mínimo HEFA (Óleo de soja)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,1%	4,1%	8,2%	12,3%
Percentual Mínimo ATJ (Etanol)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	1,6%	3,2%	4,8%
Demanda potencial de SAF SE HEFA (Óleo de soja)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,35	0,74	1,16
Demanda potencial de SAF SE ATJ (Etanol)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,14	0,29	0,45

Oportunamente, apresentamos a curva específica para o consumo de SAF a partir do HEFA (Óleo de Soja) e ATJ (Etanol).

Figura 35 – Projeção de demanda por SAF HEFA (Óleo de Soja) – CBIE Advisory

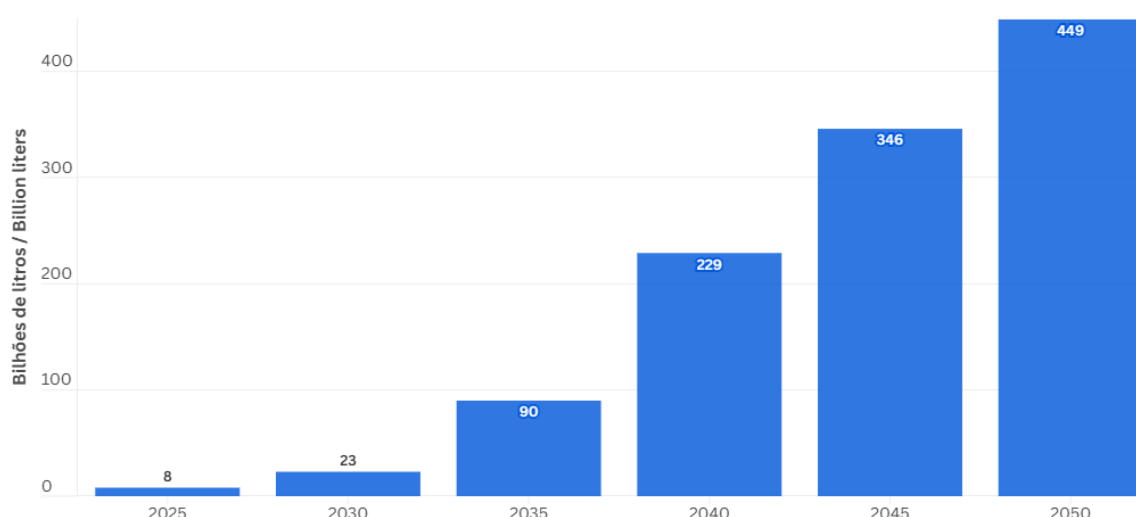
Demanda por SAF - HEFA (Óleo de Soja)												
Redução de Emissões	Mistura de SAF	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
1,0%	4,1%	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50	0,52	0,55
1,0%	4,1%	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50	0,52	0,55
2,0%	8,2%	0,67	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,94	0,99	1,04	1,09
3,0%	12,3%	1,01	1,06	1,11	1,16	1,22	1,28	1,35	1,42	1,49	1,56	1,64
4,0%	16,4%	1,34	1,41	1,48	1,55	1,63	1,71	1,80	1,89	1,98	2,08	2,19
5,0%	20,5%	1,68	1,76	1,85	1,94	2,04	2,14	2,25	2,36	2,48	2,60	2,73
6,0%	24,6%	2,01	2,11	2,22	2,33	2,45	2,57	2,70	2,83	2,97	3,12	3,28
7,0%	28,7%	2,35	2,47	2,59	2,72	2,85	3,00	3,15	3,30	3,47	3,64	3,82
8,0%	32,8%	2,68	2,82	2,96	3,11	3,26	3,42	3,60	3,78	3,96	4,16	4,37
9,0%	36,9%	3,02	3,17	3,33	3,49	3,67	3,85	4,05	4,25	4,46	4,68	4,92
10,0%	41,0%	3,35	3,52	3,70	3,88	4,08	4,28	4,49	4,72	4,96	5,20	5,46

Figura 36 – Projeção de demanda por SAF ATJ (Etanol) – CBIE Advisory

Demanda por SAF - ATJ (Etanol)												
Redução de Emissões	Mistura de SAF	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
1,0%	1,6%	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21
1,0%	1,6%	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21
2,0%	3,2%	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43
3,0%	4,8%	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,61	0,64
4,0%	6,4%	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70	0,74	0,77	0,81	0,85
5,0%	8,0%	0,65	0,69	0,72	0,76	0,80	0,84	0,88	0,92	0,97	1,02	1,07
6,0%	9,6%	0,79	0,82	0,87	0,91	0,95	1,00	1,05	1,11	1,16	1,22	1,28
7,0%	11,2%	0,92	0,96	1,01	1,06	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,42	1,49
8,0%	12,8%	1,05	1,10	1,15	1,21	1,27	1,34	1,40	1,47	1,55	1,62	1,71
9,0%	14,4%	1,18	1,24	1,30	1,36	1,43	1,50	1,58	1,66	1,74	1,83	1,92
10,0%	16,0%	1,31	1,37	1,44	1,52	1,59	1,67	1,75	1,84	1,93	2,03	2,13

Logo, a demanda por SAF pode atingir valores entre 2,13 e 5,46 bilhões de litros, a depender da rota tecnológica e matéria-prima considerada. A nível global, estimativas da IATA indicam que a demanda potencial pode atingir até 449,0 bilhões de litros no ano de 2050.

Figura 37 – Projeção de demanda por SAF Global – IATA



Os resultados mostram que o crescimento esperado do consumo de QAV, ainda que sensível às variações do PIB, mantém tendência de expansão em todos os cenários, refletindo a evolução do transporte aéreo no país. A transformação dessa demanda em consumo efetivo de SAF depende, adicionalmente, das características tecnológicas de cada rota de produção, destacando-se as diferenças relevantes entre HEFA e ATJ em termos de mistura necessária para o cumprimento das metas de redução de emissões.

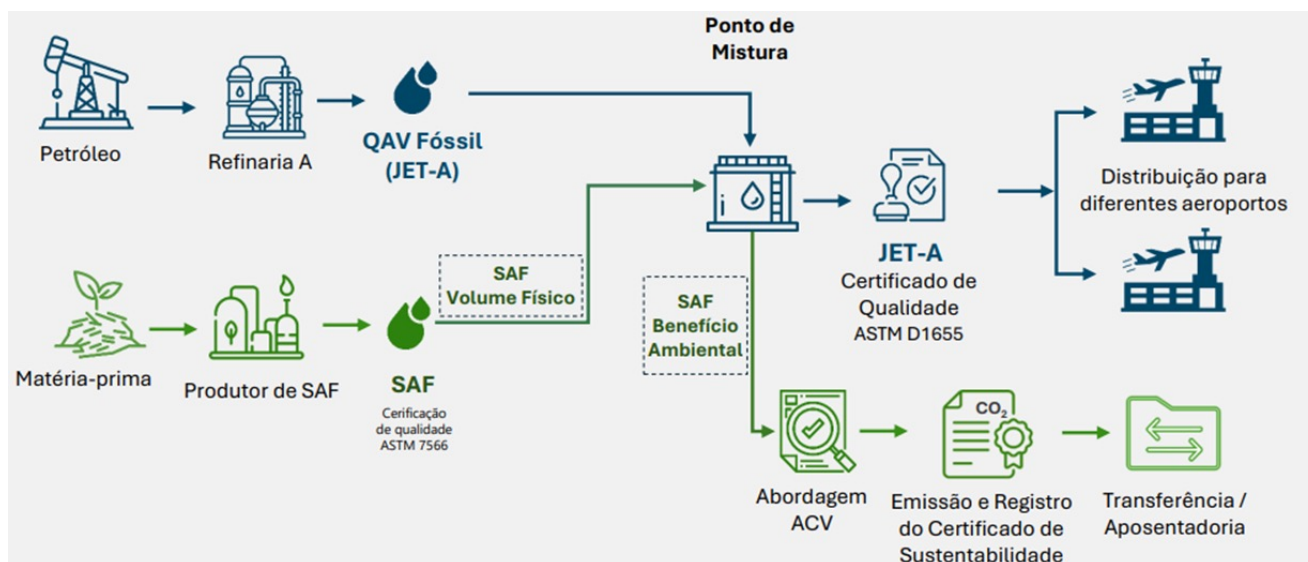
Assim, as estimativas de demanda de SAF apresentadas neste capítulo consolidam a visão de que o Brasil terá necessidade crescente do biocombustível ao longo da próxima década, com volumes significativamente distintos a depender da rota tecnológica adotada. Esse diagnóstico reforça a importância de planejamento setorial, coordenação entre governo e indústria e definição de políticas que viabilizem a expansão da oferta nacional de SAF em escala compatível com as metas regulatórias. Com isso, estabelece-se a base analítica para a avaliação de disponibilidade de matérias-primas, capacidade produtiva e competitividade econômica, temas que serão aprofundados nos próximos capítulos.

6. Análise logística – Goiás

O termo *Supply Chain*, segundo Ballou (2006), “é o processo de gerencial, de forma integrada, o fluxo de armazenamento de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender as exigências dos clientes de forma eficiente e eficaz”. Dado esse contexto, a CBIE Advisory apresenta nesse capítulo a coordenação necessária e os métodos mais eficientes visando a otimização do desempenho logístico e a competitividade dos combustíveis sustentáveis de aviação a nível nacional e estadual.

A logística do BioQAV no Brasil caracteriza-se pela complexidade dentro da cadeia dos combustíveis líquidos em geral, devido as exigências de qualidade, técnicas e operacionais, rigorosas (ANAC, 2025).

Figura 38 – Cadeia logística futura do SAF – EPE

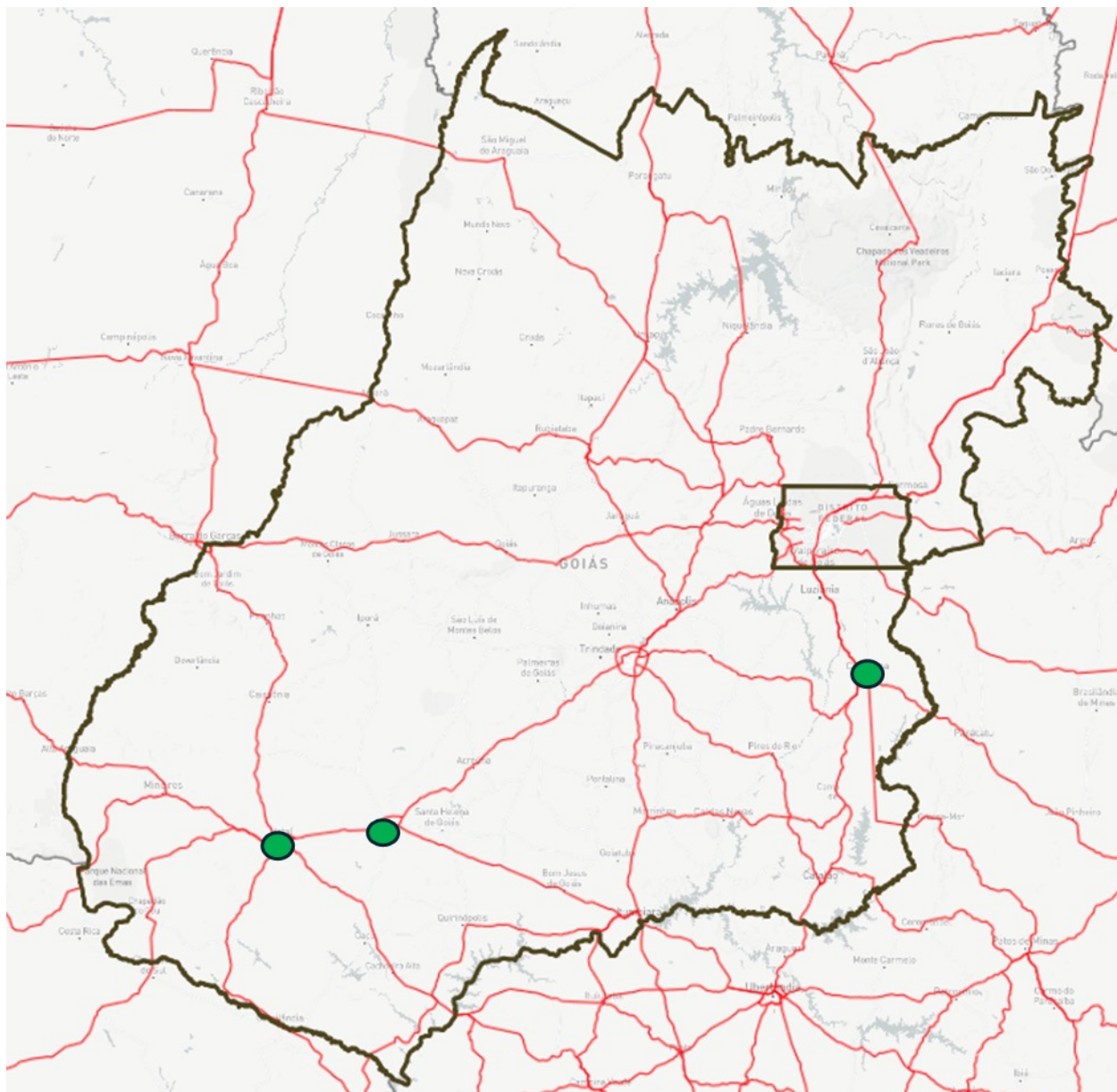


A cadeia logística do SAF deve seguir a mesma lógica do QAV, com a etapa adicional de blending e certificados. A separação do atributo ambiental do produto físico deve ocorrer após a mistura do SAF com o JET A/A-1 pelo “agente misturador”, seja ele o distribuidor, a refinaria ou a biorrefinaria, facilitando a emissão do certificado, permitindo o livre acesso dos operadores aéreos ao CS-SAF e incluindo a alternativa de compra do certificado diretamente do produtor de SAF (caso ele faça a mistura com o QAV). Dessa forma, a mistura poderá entrar no sistema de distribuição de querosene de aviação como sendo fóssil, incluindo podendo ser misturado com outros JETs mais à frente no sistema (MME, 2025). Válido ressaltar que a presente estrutura está sob processo de Consulta Pública (CP MME #204/2025).

Tendo em vista que a distribuição do BioQAV deve ser feita de forma similar ao querosene de aviação comum, o fato de já existirem plantas de produção de etanol nas cidades selecionadas para receber os projetos pode ser visto como um bônus, uma vez que essas regiões já dispõem de estruturas consolidadas para entrega do etanol. Assim, levamos em conta a presença de rodovias e de plantas de etanol para simular o projeto-piloto.

Diante da configuração logística apresentada e das especificidades regulatórias associadas ao abastecimento de combustíveis aeronáuticos no Brasil, torna-se necessário avançar para uma avaliação territorial que considere a viabilidade operacional das diferentes rotas tecnológicas de SAF. Nesse sentido, a análise em nível estadual permite identificar gargalos, sinergias industriais e vantagens competitivas que não emergem quando observada apenas a dinâmica nacional.

Figura 39 – Rodovias no estado de Goiás – Atlas das pastagens

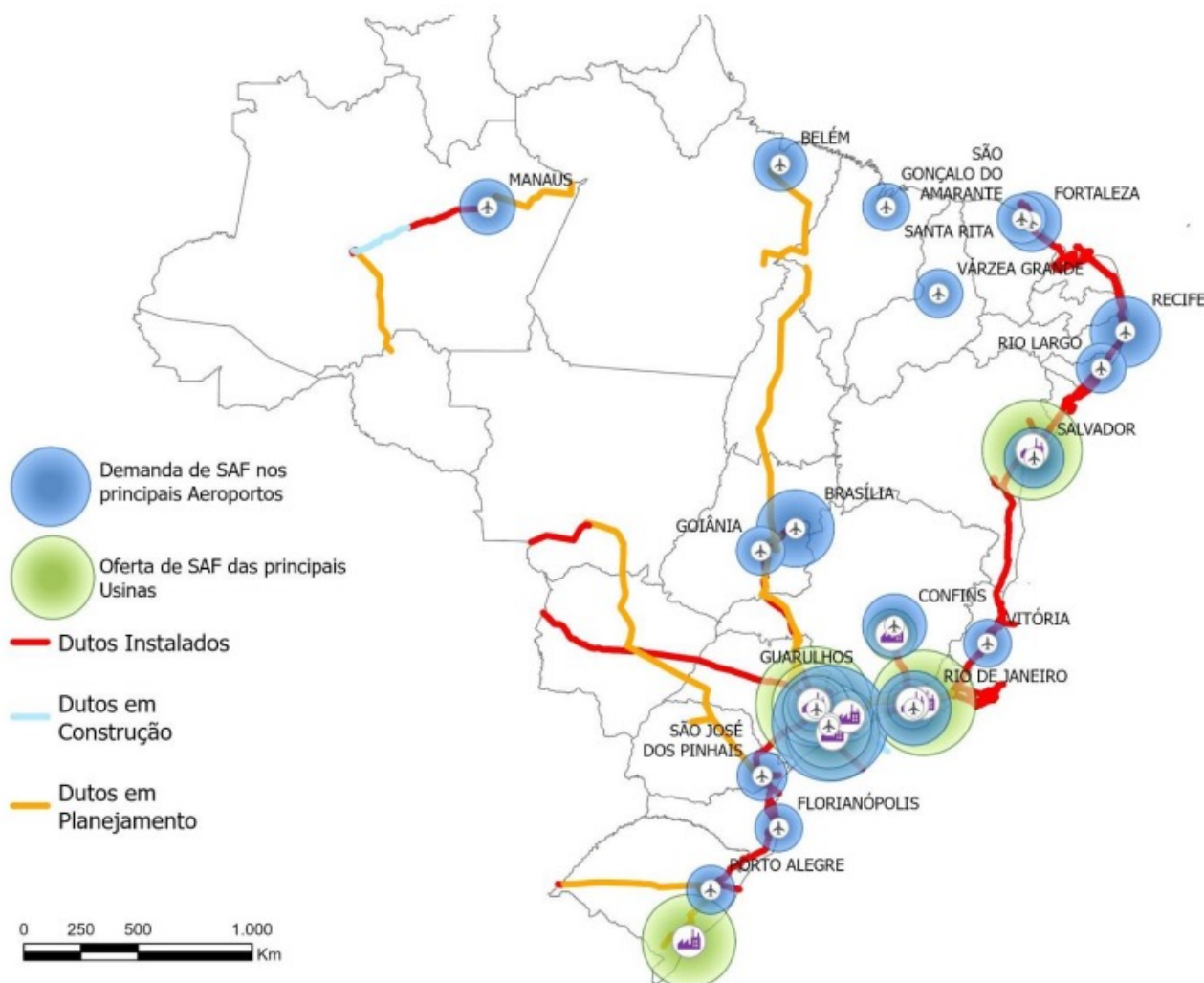


O mapa acima mostra as rodovias presentes no estado de Goiás com sinalização as cidades de Rio Verde, Jataí e Cristalina, que além de possuírem alta disponibilidade de matéria-prima para a produção de SAF, dispõe de acesso a rodovias estaduais e interestaduais, facilitando a logística de distribuição.

A demanda por SAF no Brasil é geograficamente pulverizada por todo o território nacional, com picos de consumo nos aeroportos dos grandes centros urbanos. Plantas instaladas no estado de Goiás podem se beneficiar da demanda potencial observada nos aeroportos de Goiânia e Brasília.

No médio e longo prazo, existe ainda a possibilidade de utilização de etanoldutos, o que permitiria ampliar o alcance logístico e atender mercados consumidores maiores. O mapa a seguir foi elaborado pela EPE e mostra a dispersão entre a oferta e a demanda potencial de SAF no país.

Figura 40 – Focos de oferta e demanda de SAF no Brasil – EPE



Importante mencionar que a Petrobras realizou as primeiras entregas de combustível sustentável de aviação em 5 de dezembro de 2025, sendo que a empresa foi a primeira a produzir, integralmente no Brasil, o combustível que recebe a certificação de sustentabilidade de acordo com as regras do ICAO. O volume de 3 mil m3 foi comercializado com distribuidoras de aviação que operam no Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão). Esse volume corresponde a cerca de um dia de consumo nos aeroportos do estado do Rio de Janeiro (Petrobras, 2025).

O combustível foi produzido na Refinaria de Duque de Caxias (REDUC). A Reduc possui autorização da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para incorporar até 1,2% de matéria-prima renovável na produção de SAF por essa rota.

Adicionalmente, a Refinaria Henrique Lage, em São José dos Campos (SP), já realizou testes para a produção de SAF pela rota de coprocessamento de óleo vegetal com correntes tradicionais de petróleo. A previsão é que, ainda em 2026, a Refinaria de Paulínia (Replan), no estado de São Paulo, e a Refinaria Gabriel Passos (REGAP), em Minas Gerais, também passem a produzir e comercializar o combustível.

Figura 41 – Oferta e demanda de SAF no Brasil – CBIE Advisory

Projetos em operação/desenvolvimento vs. demanda										
Início de operação	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Projeto (Capacidade/ano)	REDUC (3,0 milhões de litros)	REGAP (5,0 milhões de litros)	REPLAN (43,0 milhões de litros)	Riograndense (520,0 milhões de litros) - HEFA	RPBC (520,0 milhões de litros) - HEFA	N/A	N/A	Boaventura (660,0 milhões de litros) - HEFA	REPLAN (420,0 milhões de litros) - ATJ	N/A
		REVAP (10,0 milhões de litros)	Acelen (600,0 milhões de litros) - HEFA							
Capacidade em operação (Milhões de litros)	3,0	18,0	661,0	1.181,0	1.701,0	1.701,0	1.701,0	2.361,0	2.781,0	2.781,0
Demanda* (Milhões de litros)	0,0	0,0	340,0	350,0	740,0	1.160,0	1.630,0	2.140,0	2.700,0	3.300,0
Balanço	3,0	18,0	321,0	831,0	961,0	541,0	71,0	221,0	81,0	-519,0

*Considerando a curva de demanda HEFA em cenário base

Com base no cronograma de entrada dos projetos de SAF e na curva de demanda considerada no cenário base, observa-se que, no curto e médio prazo, a oferta tende a crescer mais rapidamente do que a demanda no Brasil.

A partir de 2027, com a entrada de projetos de maior porte, a capacidade instalada salta para cerca de 661,0 milhões de litros por ano, enquanto a demanda projetada é de aproximadamente 340 milhões de litros.

A partir de 2030, a curva de demanda passa a acelerar de forma mais consistente, reduzindo progressivamente o excedente a medida que as metas de redução de emissões sobem. Em 2030, ainda há sobra de oferta de cerca de 541 milhões de litros, mas em 2031 esse valor cai para apenas 71 milhões, indicando um quase equilíbrio entre produção e consumo. Em 2032 e 2033, mesmo com novas expansões de capacidade, o crescimento da demanda continuará pressionando o sistema, mantendo saldos positivos relativamente pequenos, entre 80 e 220 milhões de litros.

Em 2034, o cenário se inverte: a demanda projetada, de 3,3 bilhões de litros, supera a capacidade instalada, estimada em 2,78 bilhões de litros, gerando um déficit potencial de cerca de 519 milhões de litros. Esse resultado indica que, mantidas as projeções atuais, o mercado brasileiro deve atravessar uma fase inicial de sobreoferta até o início da década de 2030, seguida por um período de equilíbrio e, posteriormente, de escassez relativa, no qual a expansão da capacidade produtiva precisará ser acelerada para acompanhar o crescimento estrutural da demanda por SAF no país.

Vale ressaltar que a demanda por SAF no Brasil pode ser ainda maior à medida que as companhias aéreas ampliem o número de voos e destinos.

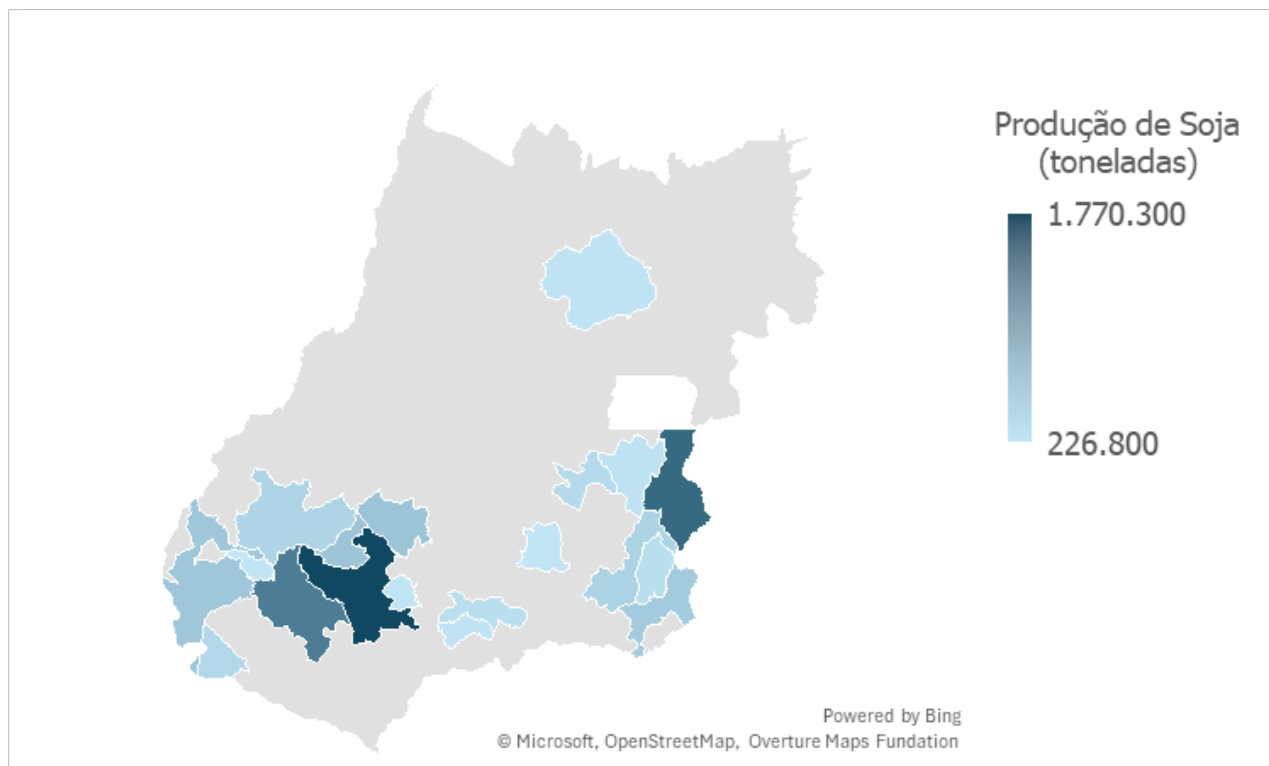
Discussões sobre tecnologia

Diante desse cenário de crescimento acelerado da oferta e de posterior aproximação entre produção e consumo, torna-se especialmente relevante analisar não apenas o volume de capacidade que está sendo anunciado, mas também o perfil tecnológico desses projetos. Isso porque a maior parte das iniciativas em desenvolvimento no Brasil está baseada na rota HEFA, o que significa que a dinâmica futura do mercado de SAF estará fortemente condicionada à disponibilidade, ao custo e à logística das matérias-primas lipídicas necessárias a esse processo.

Em Goiás, a soja assume papel estratégico, sendo que consideramos municípios com maior volume produzido como principais candidatos. Esse diagnóstico é fundamental para avaliar o potencial de competitividade do HEFA no estado, uma vez que a minimização de distâncias entre campo, esmagamento e futura planta de SAF representa redução direta nos custos logísticos e no risco operacional da cadeia.

As 20 cidades que mais produzem óleo de soja no estado de Goiás são: Rio Verde, Cristalina, Jataí, Paraúna, Montividiu, Mineiros, Catalão, Ipameri, Caiapônia, Chapadão do Céu, Silvânia, Goiatuba, Campo Alegre de Goiás, Luziânia, Niquelândia, Bom Jesus de Goiás, Santa Helena de Goiás, Padre Bernardo, Perolândia e Piracanjuba, que juntas correspondem por aproximadamente 60% da produção total de soja. O mapa a seguir mostra a concentração espacial desses municípios.

Figura 42 – Maiores produtores de Soja do estado de Goiás - IBGE



Em consideração a rota tecnológica ATJ, o parâmetro chave é a disponibilidade de etanol hidratado ou anidro em escala industrial, aliado à estabilidade da oferta ao longo do ano. Goiás conta com um parque sucroenergético robusto, caracterizado por usinas com capacidade consolidada de produção, armazenamento e distribuição, o que cria um ambiente favorável para a conversão alcoólica voltada ao SAF. A análise dos municípios com maior produção de etanol permite identificar regiões com maior densidade industrial e com infraestrutura que reduz a necessidade de novos investimentos logísticos. Além disso, a presença de polos produtores próximos a rodovias estruturais aumenta a eficiência do transporte do etanol até a planta de conversão.

Figura 43 – Presença de usinas de Etanol em Goiás – ANP

Município	UF	MATÉRIA-PRIMA	Capacidade produção de Etanol Hidratado (m³/d)	Capacidade produção de Etanol Anidro (m³/d)
SÃO SIMÃO	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	400	0
ANICUNS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	450	150
PEROLÂNDIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	1.700	0
MINEIROS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	1.700	1.500
CAÇU	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	1.800	1.200
GOIATUBA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	2.100	1.200
VICENTINÓPOLIS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO	1.200	0
SANTA HELENA DE GOIÁS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	1.480	650
QUIRINÓPOLIS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO	1.505	350
CACHOEIRA DOURADA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	1.550	1.470
VILA BOA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	450	120
MORRINHOS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	400	0
INHUMAS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	500	150
CHAPADÃO DO CÉU	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	2.800	0
CARMO DO RIO VERDE	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	440	150
JANDAIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	650	450
MONTES CLAROS DE GOIAS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	400	0
SERRANÓPOLIS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	500	250
SANTO ANTÔNIO DA BARRA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	880	550
ACREÚNA	GO	MILHO	330	0
PORTEIRÃO	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	550	550
GOIATUBA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	800	300
ITUMBIARA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	900	800
ITUMBIARA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	150	0
GOIANÉSIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	860	800
GOIANÉSIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	900	0
JATAÍ	GO	MILHO	200	0
IPAMERI	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	500	0
APORÉ	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	600	0
CHAPADÃO DO CÉU	GO	MILHO	1.600	800
JATAÍ	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	2.400	0
RUBIATABA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	800	260
URUAÇU	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	500	0
QUIRINÓPOLIS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO	3.120	1.184
EDEIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	2.100	1.600
GOIANÉSIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	200	130
PARAÚNA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	2.000	600
ITUMBIARA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	600	400
RIO VERDE	GO	CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO	330	120
SANTA HELENA DE GOIAS	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	340	280
MONTIVÍDIU	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	400	200
TURVELÂNDIA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	1.280	850
ITAPACI	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	980	500
ITAPURANGA	GO	CANA-DE-AÇÚCAR	350	180

A partir dessa análise, percebe-se que a cidade de Rio Verde e Cristalina despontam como principais localidades para receber projeto piloto sustentável por possuir: (a) acesso fácil a rodovias estaduais e interestaduais; (b) unidades de produção de etanol, no caso de Rio Verde; (3) alta produção de soja; e (4) maior proximidade a gasodutos em desenvolvimento, no caso de Cristalina. A seguir a CBIE Advisory apresentará os principais custos associados a projetos de SAF, considerando as rotas de ATJ e HEFA.

7. Tributação, Preços e Incentivos

Conforme mencionado em capítulo anterior, a produção de SAF deve encerrar o ano de 2025 em 1,9 milhões de toneladas, o equivalente a apenas 0,6% do consumo global de combustíveis de aviação. Estimativas da IATA indicam que a produção de SAF deve desacelerar em 2026, alcançando 2,4 milhões de toneladas ou aumento percentual de 26,3% em relação a 2025, ano em que a produção praticamente dobrou.

Apesar do maior volume disponibilizado ao mercado, as companhias aéreas enfrentarão um custo adicional de US\$3,6 bilhões relacionados ao BioQAV devido a alta de preços verificada em 2025. Dados da S&P Global indicam que o SAF é negociado a preços 2,0x a 5,0x maior em relação ao querosene de aviação comum.

7.1 Tributação na cadeia de SAF

A tributação dos Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil é marcada por um cenário de indefinição e desafios que impactam diretamente a implementação e o incentivo de ao uso desse biocombustível no setor aeronáutico. O principal entrave para a correta tributação do SAF é a falta de uma classificação fiscal clara, o que gera incertezas sobre o tratamento tributário aplicável.

Atualmente, a única classificação conhecida para o SAF é a NCM 3824.99.89, que abrange "Outros produtos e preparações a base de compostos orgânicos, não especificados nem compreendidos noutras posições". Essa categoria inclui o Querosene de aviação alternativo e suas misturas. No entanto, essa NCM está registrada como "inativa" pela Secretaria da Receita Federal, o que gera um vácuo legal para a tributação do SAF. Além disso, não há uma NCM específica para a mistura do SAF com o QAV fóssil.

Alguns fornecedores de SAF tem optado por classificar o produto sob a NCM do QAV fóssil, que é a categoria 2710.19.11. Contudo, essa classificação acaba por associar o SAF a uma tributação mais onerosa, que inclui impostos mais elevados e condições fiscais menos favoráveis do que as que seriam aplicáveis a um biocombustível. Esse tipo de tributação é um grande obstáculo para a adoção do SAF, pois ele acaba sendo desvantajoso em termos de competitividade com o combustível convencional.

Figura 44 – Tributação na cadeia de SAF – Vibra

Tributação NCM	JET A 2710.19.11	SAF 3424.99.89	JET C (JET A + SAF) ?
II	0,00%	12,60%	?
IPI	0,00%	6,50%	?
PIS	R\$12,69/m ³	2,10%	?
COFINS	R\$58,51/m ³	9,65%	?
ICMS	Alíquota Geral / Alíquota Específica / Redução de Base de Cálculo	Alíquota Geral	?

A tributação atrelada ao código NCM utilizado (2710.19.11) é mais onerosa do que a aplicável ao QAV fóssil (JET A), o que cria um desafio de transição. Essa diferença tributária vai de encontro ao previsto no §1º do Art. 225 da Constituição Federal Brasileira, que garante o tratamento diferenciado para biocombustíveis que substituem combustíveis fósseis. O dispositivo constitucional é claro ao afirmar que o Estado deve incentivar a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, como o SAF, proporcionando um regime tributário mais favorável para estimular a adoção e o desenvolvimento de alternativas sustentáveis no setor energético e de transporte.

A ausência de uma legislação tributária específica e de uma classificação fiscal adequada coloca em risco a competitividade do SAF em relação ao QAV fóssil. A tributação mais alta para o SAF dificulta a transição do mercado aéreo para combustíveis mais sustentáveis, que são cruciais para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para o cumprimento das metas climáticas do Brasil. Portanto, esse é um ponto urgente para o destravamento da indústria de SAF.

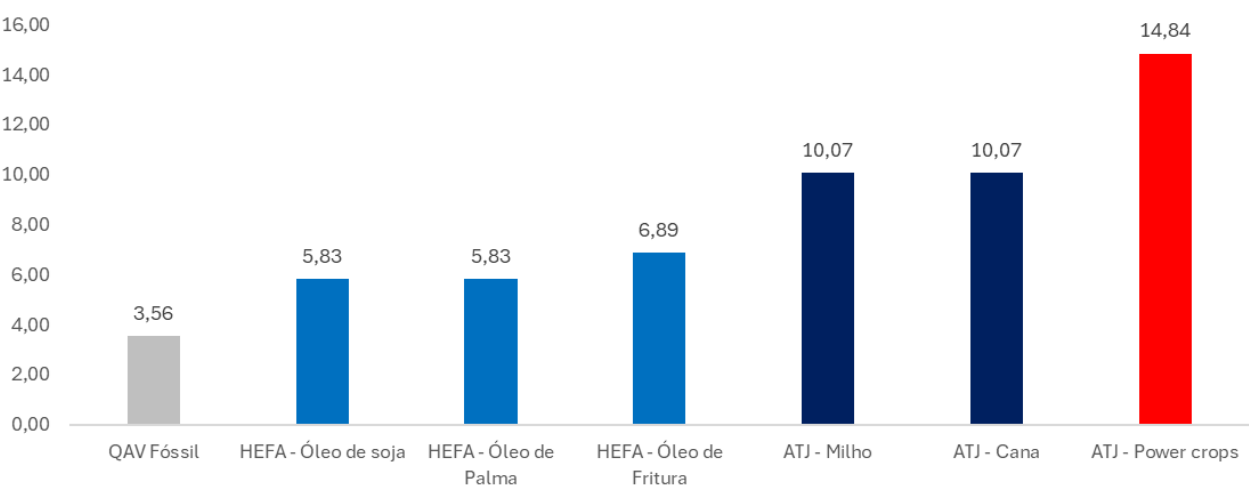
Em relação ao ICMS, a maioria dos estados não possui alíquota específica para os Combustíveis Sustentáveis de Aviação, como é o caso do estado de Goiás onde seria aplicada a alíquota geral de 19% vs. alíquota de 17% para o Querosene de aviação convencional.

Válido mencionar que o estado participa do Convênio ICMS #105/2003, que diz "Cláusula primeira Ficam os Estados do Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina, São Paulo, Sergipe, Tocantins e o Distrito Federal autorizados a conceder isenção do ICMS nas operações internas com produtos vegetais destinados à produção de biodiesel e de querosene de aviação alternativo, de acordo com critérios e parâmetros a serem definidos pela legislação estadual."

7.2 Custos de SAF

Conforme apresentado ao longo desse estudo, o custo do SAF depende diretamente da rota de produção e da matéria-prima utilizada na cadeia produtiva. Plantas que utilizam os sistemas HEFA e ATJ costumam se destacar tendo em vista a maior consolidação tecnológica, com custos globais variando entre R\$5,8 e R\$10,1 por litro.

Figura 45 – Preço mínimo de Venda SAF por Rota e matéria-prima – Adaptado de NG et al.



Após a análise detalhada dos componentes de custo e da incidência tributária, apresentamos a seguir as projeções de preços para o SAF no estado. Essas projeções foram elaboradas a partir da combinação de diferentes variáveis, como rota tecnológica e matéria-prima e o regime tributário aplicável (Preço do combustível na planta).

Nos três primeiros cenários consideramos a aplicação da alíquota geral de ICMS no estado (19,0%) e aplicação dos mesmos benefícios tributários concedidos ao biometano.

Figura 46 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota Geral e sem benefício fiscal) – CBIE Advisory

Projeção de preços de SAF - CBIE Advisory (Cenário 1)		
Rota	HEFA	ATJ
Matéria Prima	Óleo de Soja	Etanol
Preço Mínimo (R\$/L)	5,83	10,07
ICMS - Sem Incentivo (Alíquota Base)	19,0%	19,0%
Preço Final de Revenda (R\$/L)	6,94	11,98

Em cenário base consideramos ICMS cheio, com alíquota base de 19,0%. Nesse cenário, projetamos preços de SAF entre R\$6,94 e R\$11,98/L, a depender da rota tecnológica considerada.

Figura 47 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota Geral e com benefício fiscal intraestadual) – CBIE Advisory

Projeção de preços de SAF - CBIE Advisory (Cenário 2)		
Rota	HEFA	ATJ
Matéria Prima	Óleo de Soja	Etanol
Preço Mínimo (R\$/L)	5,83	10,07
ICMS - Sem Incentivo (Alíquota Base)	2,9%	2,9%
Preço Final de Revenda (R\$/L)	6,00	10,36

Aplicando o mesmo benefício fiscal previsto na Lei #23.168, os preços do biocombustível caem para patamares de R\$6,00 e R\$10,36/L, considerando o crédito tributário de 85%.

Figura 48 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota Geral e com benefício fiscal interestadual) – CBIE Advisory

Projeção de preços de SAF - CBIE Advisory (Cenário 3)		
Rota	HEFA	ATJ
Matéria Prima	Óleo de Soja	Etanol
Preço Mínimo (R\$/L)	5,83	10,07
ICMS - Sem Incentivo (Alíquota Base)	1,9%	1,9%
Preço Final de Revenda (R\$/L)	5,94	10,26

Por fim, avaliamos o cenário com benefício fiscal considerando operações interestaduais. Nesse cenário, a lei permite crédito tributário de até 90%, permitindo preços de SAF da ordem de R\$ 5,94 e R\$10,26/L.

Oportunamente, calculamos o preço de SAF considerando a alíquota equiparada ao QAV fóssil, que marca 17%. Nesse cenário os preços atingiriam patamares entre R\$6,82 e R\$11,78/L.

Figura 49 – Projeção de Preços de SAF em Goiás (Alíquota QAV fóssil) – CBIE Advisory

Projeção de preços de SAF - CBIE Advisory (Cenário 4)		
Rota	HEFA	ATJ
Matéria Prima	Óleo de Soja	Etanol
Preço Mínimo (R\$/L)	5,83	10,07
ICMS - Sem Incentivo (Alíquota Base)	17,0%	17,0%
Preço Final de Revenda (R\$/L)	6,82	11,78

Os resultados evidenciam que benefícios fiscais desempenham papel central para viabilizar a competitividade do SAF. A redução efetiva da carga tributária, por meio do crédito presumido de ICMS, permite uma queda significativa no preço final do biocombustível, aproximando-o de patamares mais atrativos para companhias aéreas, alcançando até R\$5,94/L.

8. Conclusões

A análise desenvolvida ao longo deste relatório evidencia que os Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) representam o principal vetor de descarbonização do setor aéreo no curto e médio prazo, diante das limitações tecnológicas ainda existentes para a substituição integral dos motores aeronáuticos por soluções elétricas ou a hidrogênio. O crescimento consistente da aviação global e nacional, associado às metas climáticas estabelecidas no âmbito do CORSIA e do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), cria uma demanda estrutural e crescente por SAF ao longo das próximas décadas.

No contexto brasileiro, a obrigatoriedade de redução de emissões a partir de 2027, com metas progressivas até 2037, deverá impulsionar significativamente o consumo de SAF, com demanda potencial variando entre aproximadamente 2,1 e 5,5 bilhões de litros por ano, a depender da rota tecnológica e da matéria-prima considerada. Essa trajetória reforça que a expansão da oferta doméstica será condição necessária para o cumprimento das metas regulatórias.

A avaliação das rotas tecnológicas certificadas pela ASTM indica que, embora exista diversidade de processos disponíveis, apenas algumas alternativas reúnem simultaneamente maturidade tecnológica, escala industrial comprovada e aderência às condições estruturais do Brasil. Nesse cenário, as rotas HEFA e ATJ se consolidam como as opções mais viáveis no horizonte de curto e médio prazo. A rota HEFA destaca-se pelo menor custo médio de produção, maior prontidão tecnológica e ampla experiência internacional, enquanto a rota ATJ apresenta elevada aderência ao contexto brasileiro em função da disponibilidade de etanol e da consolidação do setor sucroenergético.

Sob a ótica estadual, Goiás apresenta vantagens competitivas relevantes para a implantação de projetos de SAF. O estado figura entre os principais produtores nacionais de cana-de-açúcar, etanol, milho e soja, insumos fundamentais tanto para a rota ATJ quanto para a rota HEFA. Essa base produtiva robusta reduz riscos de suprimento, favorece economias de escala e amplia a flexibilidade tecnológica dos projetos. Adicionalmente, a infraestrutura logística existente, caracterizada por ampla malha rodoviária, presença de polos agroindustriais consolidados e proximidade de importantes mercados consumidores (Goiânia e Distrito Federal), reforça a atratividade do território para investimentos industriais em SAF.

As simulações econômico-financeiras realizadas indicam que projetos de SAF em Goiás podem alcançar breakeven competitivo, especialmente no caso da rota HEFA, com custos estimados na ordem de R\$5,8/L, a depender do cenário regulatório e fiscal. No entanto, o SAF permanece estruturalmente mais caro do que o querosene de aviação fóssil, o que torna os instrumentos de política pública um fator decisivo para viabilizar investimentos e acelerar a implantação de plantas produtivas.

A análise tributária reforça que a ausência de uma classificação fiscal clara para o SAF e a aplicação de alíquotas de ICMS superiores às do QAV fóssil representam entraves relevantes à competitividade do biocombustível. Por outro lado, os exercícios de precificação demonstram que a adoção de benefícios fiscais estaduais, nos moldes dos já concedidos a outros biocombustíveis, pode reduzir significativamente o preço final do SAF, aproximando-o de patamares economicamente viáveis para as companhias aéreas e aumentando a atratividade dos projetos para investidores.

Em síntese, Goiás reúne condições técnicas, produtivas e logísticas favoráveis para se posicionar como um polo relevante na produção nacional de SAF. Contudo, a materialização desse potencial depende de uma atuação coordenada do poder público estadual, em alinhamento com a política federal, para reduzir riscos, melhorar a competitividade econômica e sinalizar previsibilidade regulatória aos agentes privados.

O Governo do Estado pode desempenhar papel estratégico na atração e viabilização de projetos de SAF por meio de um conjunto integrado de instrumentos regulatórios, fiscais, institucionais e de planejamento. As principais diretrizes de atuação são apresentadas a seguir.

Política Fiscal e Tributária Diferenciada

- ✓ Estabelecer alíquota de ICMS para o SAF equiparada ou inferior à aplicada ao QAV fóssil, em consonância com o princípio constitucional de incentivo aos biocombustíveis;
- ✓ Regular e ampliar o uso de créditos presumidos de ICMS, nos moldes dos benefícios já existentes para o biometano e outros combustíveis renováveis;

- ✓ Utilizar o Convênio ICMS nº 105/2003 com base legal para conceder isenção ou redução do imposto nas operações internas com matérias-primas destinadas a produção de SAF.

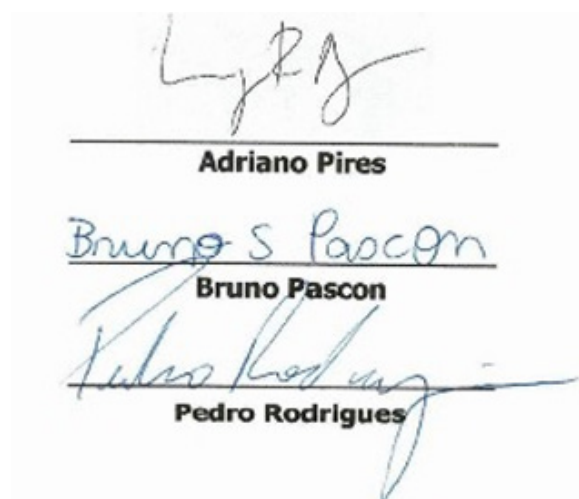
Política Industrial e Atração de Investimentos

- ✓ Inclusão explícita de projetos de SAF nos programas estaduais de atração de investimentos;
- ✓ Facilitar o licenciamento e a implantação de plantas industriais próximas a polos agroindustriais;
- ✓ Integrar a estratégia estadual de SAF às políticas climáticas, energéticas e de desenvolvimento econômico do estado.

Inovação, Pesquisa e Desenvolvimento

- ✓ Apoiar projetos de P&D em parceria com universidades e centros de pesquisa voltados à otimização de rotas HEFA e ATJ;
- ✓ Incentivar projetos-piloto e plantas demonstrativas.

A consolidação do mercado de Combustíveis Sustentáveis de Aviação representa uma oportunidade estratégica para combinar desenvolvimento econômico, agregação de valor à produção agroindustrial e liderança na agenda de transição energética. Ao adotar políticas públicas consistentes, previsíveis e alinhadas às tendências nacionais e internacionais, o estado pode se posicionar como um dos principais polos de produção de SAF no Brasil, atraindo investimentos, gerando empregos e contribuindo de forma relevante para a redução das emissões do setor aéreo.



Adriano Pires

Bruno Pascon

Pedro Rodrigues

Bibliografia

NG, K.S.; FAROOQ, D.; YANG, A. 2021. Global biorenewable development strategies for sustainable aviation fuel production: renewable and Sustainable Energy Reviews 150 111502. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353403500_Global_biorenewable_development_strategies_for_sustainable_aviation_fuel_production. Acesso em: 24 de novembro de 2025.

RITCHIE, Hannah. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions – Aviation. Our World in Data, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation>. Acesso em: 25 de novembro de 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 4516/2023.

EPE, 2023. Aplicação Fast Sheet sobre Combustíveis Sustentáveis de Aviação.

EPE, 2024. Plano Decenal de Energia 2034.

Comitê Técnico – Combustível para o Futuro – Subcomitê ProBioQAV: metodologias e estimativas para o QAV. 2021a. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ApresentacaoMMEnoCRBQAV_RenatoDutra_180522_v01.pdf. Acesso em: 09 dez. 2025.

ROCCO, G.; HENKES, J. Biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil R. Gest. Sust. ambient., Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 191-226, out./dez. 2020.

ICAO. CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels. 2021. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20document%20006%20-%20Default%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20March%202021.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2025.

Paltsev, S., A. Gurgel, J. Morris, H. Chen, F. Allroggen, N. Keogh (2024). Sustainable Decarbonization of Aviation in Latin America. MIT Center for Sustainability Science and Strategy (CS3) Special Report: Cambridge, MA. <https://cs3.mit.edu/publication/118414>

International Air Transport Association. (2024). *Executive summary: Net zero CO₂ emissions roadmap*. IATA.

Combustível sustentável de aviação: uma das soluções para a transição energética do setor aéreo. – Brasília: CNT, 2025. 55 p. : il. color. – (Energia no Transporte)

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. *20-Year Air Passenger Forecast*. Montreal: IATA, 2018. Disponível em: <https://www.iata.org>. Acesso em: 10 de Dezembro de 2025.

BAUEN, A.; BITOSS, N.; GERMAN, L.; HARRIS, A.; LEOW, K. Sustainable aviation fuels: status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation. Johnson Matthey Technol. Rev., v. 64, n. 3, p. 263-278, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1595/205651320X15816756012040>.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. *Relatório de Gestão e Atividades 2024*. Brasília: ANAC, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anac>. Acesso em: 12 de dezembro de 2025.

RSB & Agroicone (2021). Disponibilidade de matéria-prima para combustível sustentável de aviação no Brasil: desafios e oportunidades. Roundtable on Sustainable Biomaterials, Suíça.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. *IATA Industry Economic Performance – 2025 Outlook*. Genebra: IATA, 2025. Acesso em: 15 de dezembro de 2025.

SOUZA, L. O mercado brasileiro de bioquerosene de aviação: mapeamento multicritério para seleção de oleaginosas para o processo HEFA. 2019. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, Rio de Janeiro, 2019.

ESTEVO, J. D. S.; THOMAZ, L. F.; GONDIM, A. D. Aviação civil e sustentabilidade no Brasil: o papel dos combustíveis sustentáveis de aviação (SAF). *Revista Brasileira de Transportes*, v. 4, n. 2, p. 20–55, dez. 2024. ISSN 2764-3050. DOI: 10.12660/rbt.v4n2.2024.91297.

ABURTO, J.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, E.; CASTILLO-LANDERO, A. *Is Sustainable Aviation Fuel Production Through Hydroprocessing of Esters and Fatty Acids (HEFA) and Alcohol-to-Jet (ATJ) Technologies Feasible in Mexico?*



CBIE
ADVISORY

SGG
Secretaria-Geral
de Governo

