

COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO NO BRASIL

Sustainable Aviation Fuel – SAF

Perspectivas Futuras

Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

Diretoria de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Agosto 2024



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Imagem



Valor público

A EPE realiza estudos e pesquisas para subsidiar a formulação, implementação e avaliação da política e do planejamento energético brasileiro.

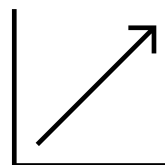
Com este estudo, a EPE traz transparência e reduz a assimetria de informação por meio da apresentação de dados que podem auxiliar os debates acerca dos esforços de transição energética no Brasil.

Neste caderno a EPE analisa os condicionantes de mercado, políticas públicas e acordos internacionais relacionados aos combustíveis sustentáveis de aviação, realizando trajetórias para a evolução de demanda deste biocombustível, favorecendo a tomada de decisão dos agentes interessados.

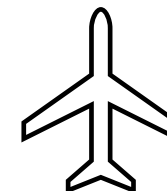
Contextualização



As mudanças climáticas demandam ações globais de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE).
O desafio é ainda maior para os setores de difícil descarbonização, como a aviação, que representou 2% das emissões globais em 2022.



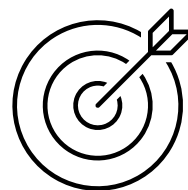
Estima-se que a demanda de querosene de aviação continuará crescendo e, consequentemente, as emissões de GEE, mesmo com melhorias na eficiência das aeronaves e ganhos sistêmicos.



Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) constituem uma das principais medidas para mitigar as emissões do setor.



O Brasil, com sua experiência na produção de biocombustíveis e disponibilidade de matérias-primas renováveis, pode assumir um papel de liderança no mercado de combustíveis renováveis e acelerar a transição para uma economia sustentável.



Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) definiu metas de redução de emissões para o setor e tem o objetivo de atingir emissões líquidas zero em 2050.

O Brasil também está elaborando um programa para o setor – o ProBioQAV.



A EPE elaborou este estudo para avaliar as possíveis trajetórias que o Brasil pode traçar na busca destes objetivos.

Rotas tecnológicas

Matérias-primas



Rotas Tecnológicas | Autorizadas

Principais matérias-primas

Rotas tecnológicas aprovadas pela ASTM D7566 e ANP Res. 856/2021

Mistura máxima¹

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

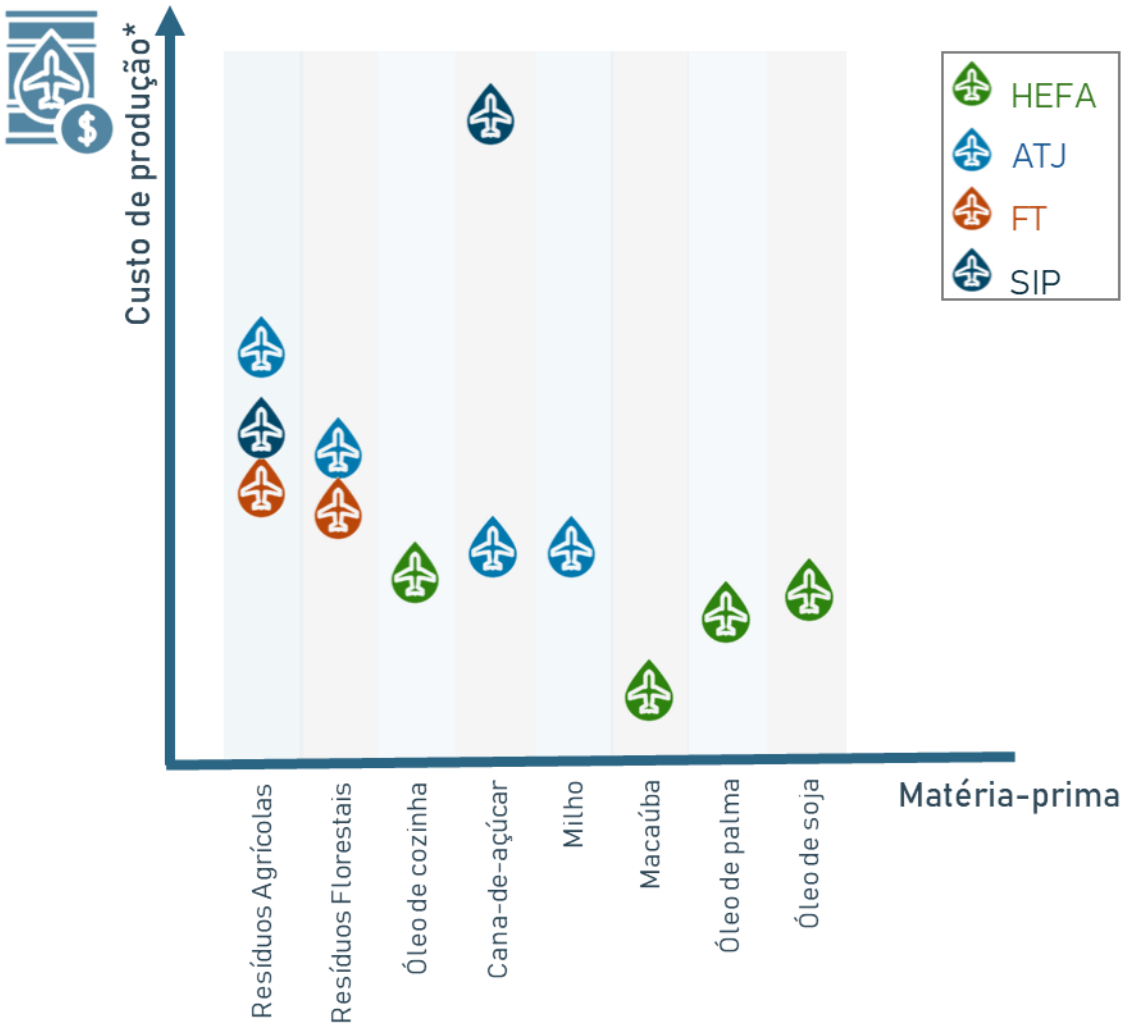
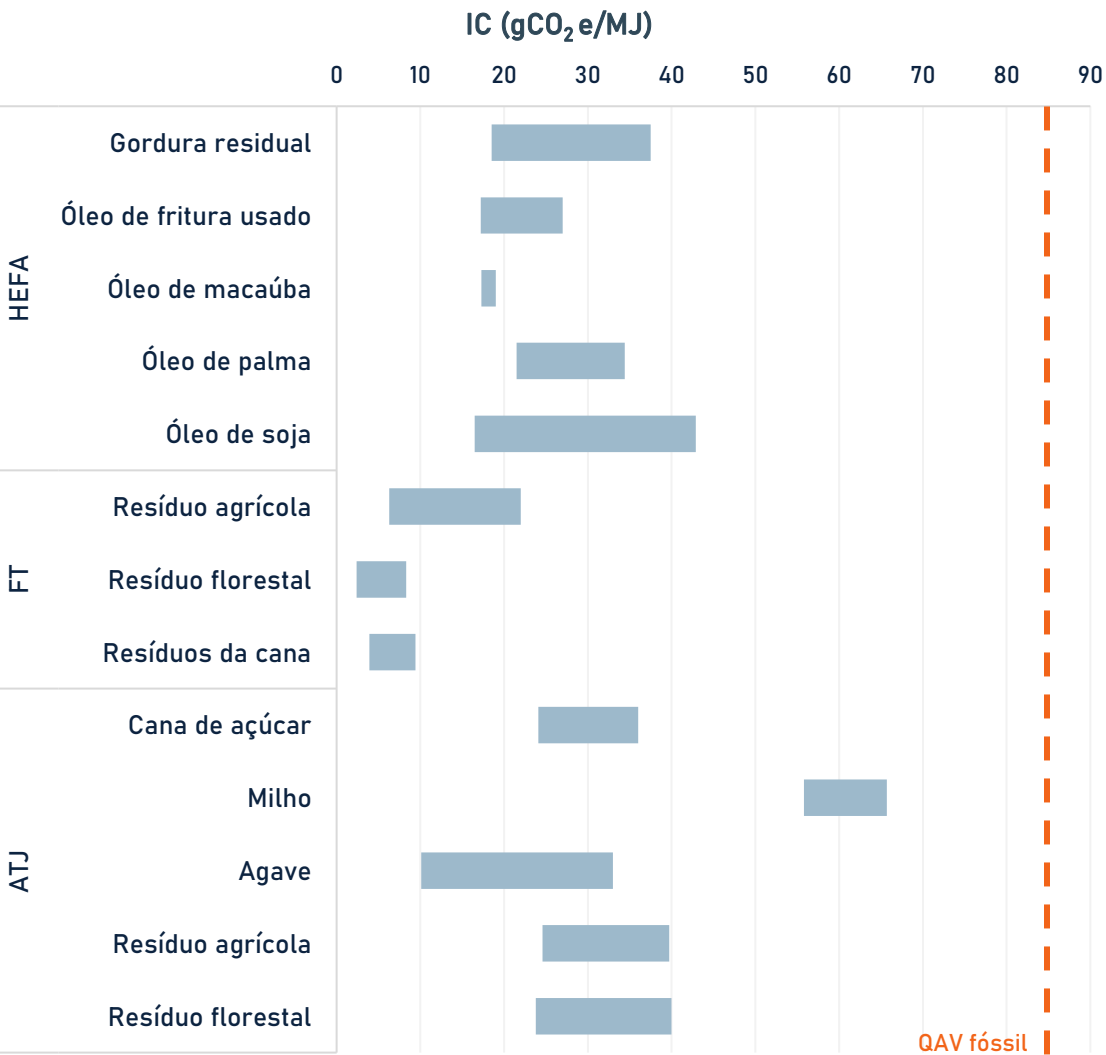
Querosene parafínico sintetizado por álcool

50%

¹ Mistura máxima: percentual máximo permitido de mistura ao querosene de aviação em resolução ANP.

Fonte: 9, 10

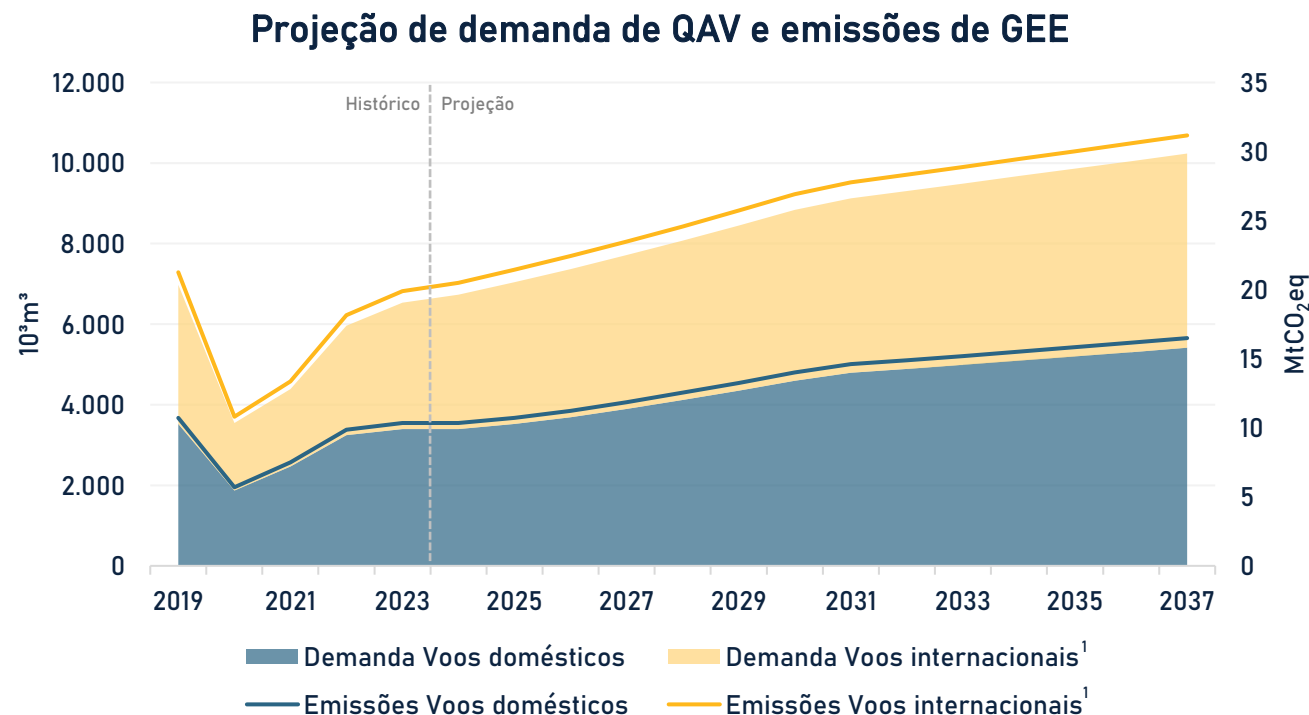
Rotas Tecnológicas & Matéria-Prima | Intensidade de Carbono (IC)



Trajetórias para oferta de SAF



A demanda de QAV continuará crescendo nos próximos anos

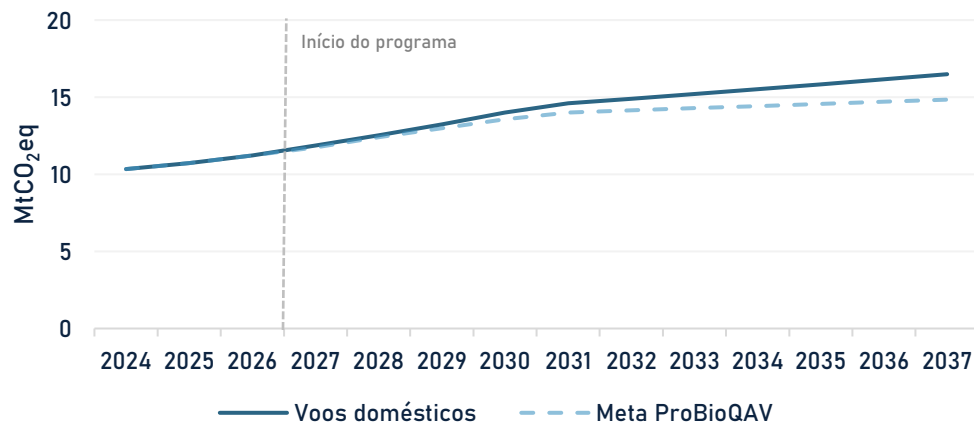


- Para acompanhar a recuperação da demanda do setor pós-pandemia, tanto a produção nacional quanto a importação de QAV no Brasil devem crescer.
- Mesmo com melhorias na eficiência das aeronaves e no planejamento de viagens, as emissões do setor também apresentam tendência de aumento.
- Nesse contexto, a produção de SAF deve assumir um papel chave para a descarbonização da aviação através dos programas ProBioQAV e CORSIA.
- O Brasil pode se destacar na produção de SAF por sua expertise com biocombustíveis e disponibilidade de biomassa e outras fontes renováveis de energia.

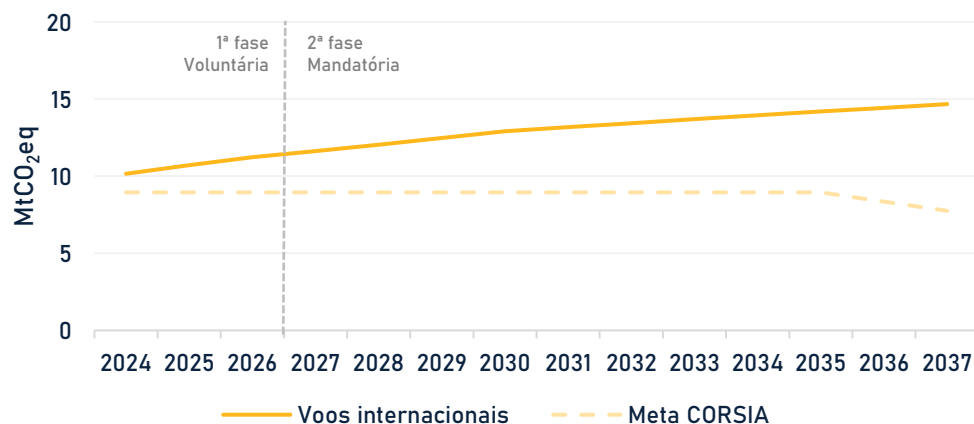
¹ Voos operados por empresas nacionais ou estrangeiras com origem/destino fora do Brasil.
Fonte: elaboração própria, com base em 34

Metas de redução de emissões

Aplicação das metas ProBioQAV

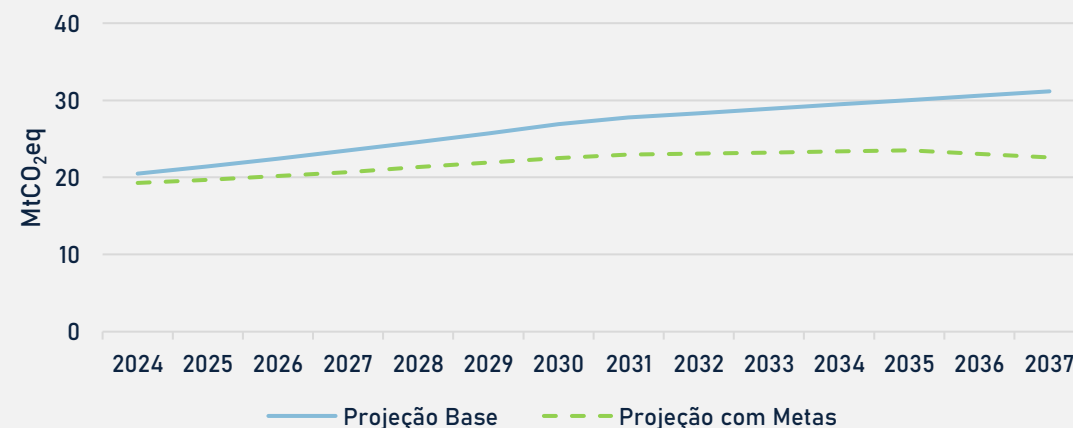


Aplicação das metas CORSIA



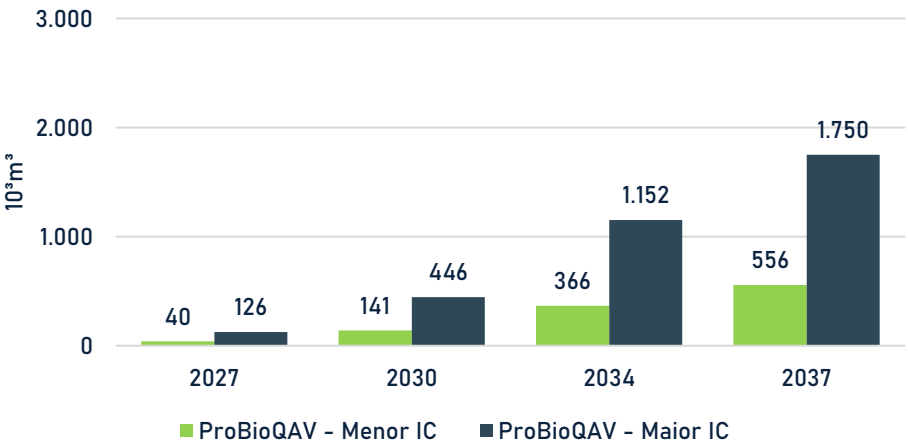
- O ProBioQAV e o CORSIA não se baseiam em mandatos volumétricos, e sim em metas de redução de emissões:
 - **ProBioQAV** – percentual de redução gradual de emissões aplicado aos voos domésticos (vide slide 12).
 - **CORSIA** – crescimento neutro em carbono até 2035, seguido de redução para alcançar o net zero em 2050 na aviação internacional (vide slide 9).
- A aplicação de ambos os programas se traduz em uma redução de emissões que pode ser atendida com SAF.

Aplicação CORSIA + ProBioQAV

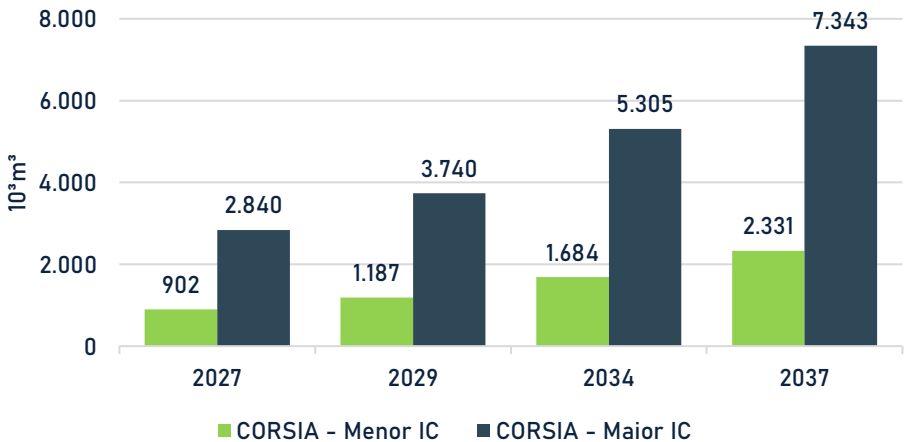


Demanda de SAF no Brasil

Demanda ProBioQAV

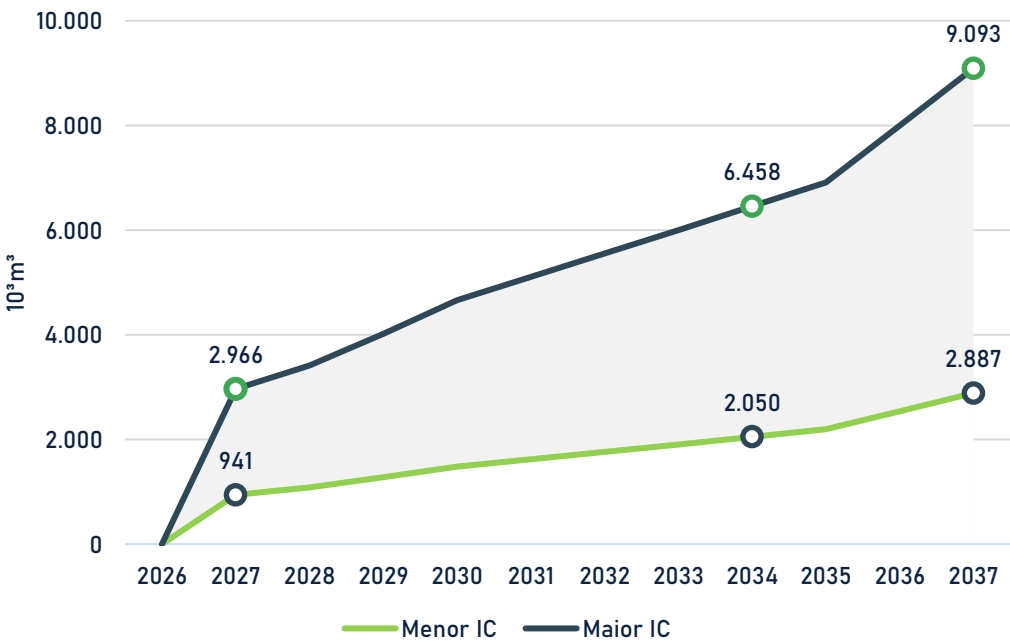


Demanda CORSIA



- A demanda volumétrica de SAF irá variar de acordo com a intensidade de carbono (IC) do combustível produzido, uma vez que CORSIA e ProBioQAV estabelecem metas de redução de emissões.

Demanda nacional SAF



Trajetórias propostas



Projetos anunciados

Os projetos anunciados são suficientes para atender as metas de redução de emissões?



Matérias-primas

Consolidadas

Como óleo de soja, etanol de cana 1G e de milho podem contribuir para atender as metas?



Alternativas

Como matérias-primas alternativas podem contribuir para atender as metas?

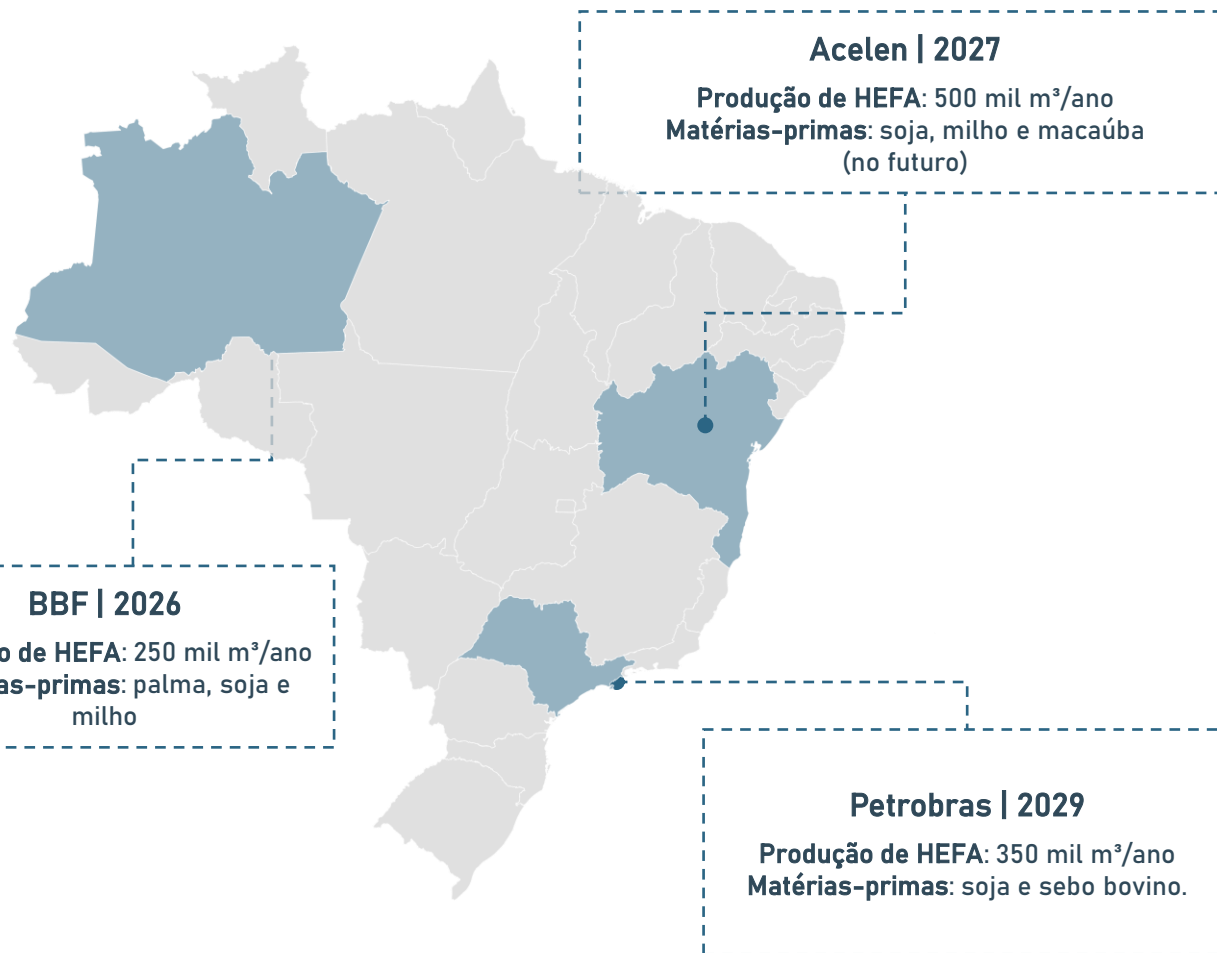


Aproveitamento de resíduos

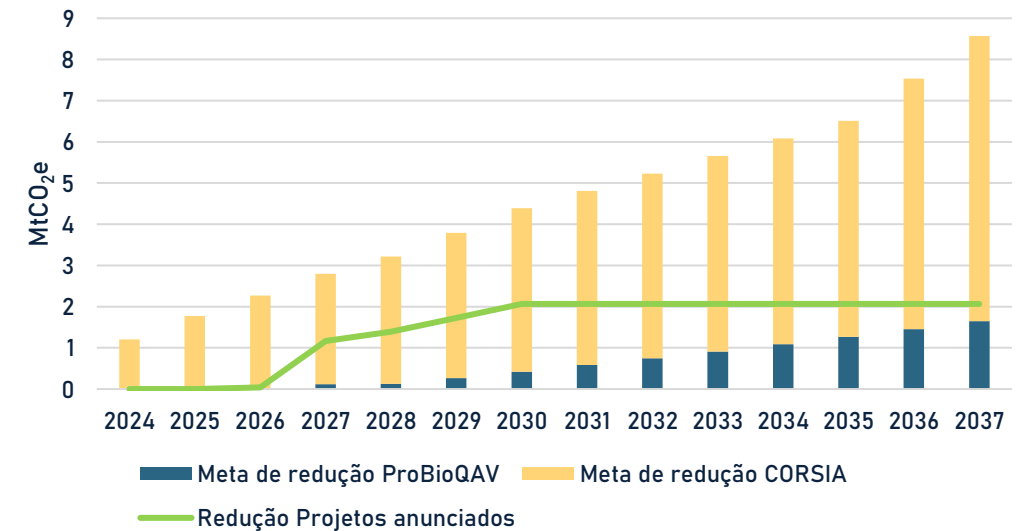
Qual é o potencial de produção de SAF a partir de resíduos orgânicos disponíveis no Brasil?

Trajetória I | Projetos anunciados

Atendem parcialmente as metas de redução de emissões



Atendimento às metas



- Entre 2027 e 2037, os projetos atendem, em média, 38% das metas de redução de emissões definidas pelo CORSIA e ProBioQAV.
- Considerando apenas o ProBioQAV, os projetos anunciados são suficientes para atender as metas estabelecidas até 2037.

Trajetória II | Matérias-primas consolidadas e alternativas

Capacidade de produção varia de acordo com a rota e matéria-prima

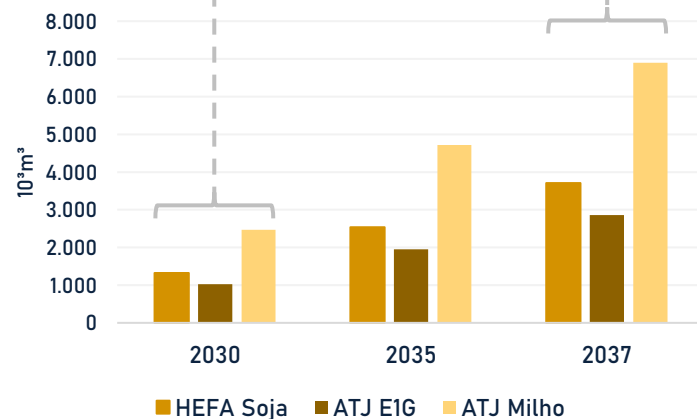


Consolidadas

Equivalência em plantas de 300 mil m³/ano ¹

4 a 8 plantas

10 a 23 plantas



Capacidade adicionada de produção de SAF ²

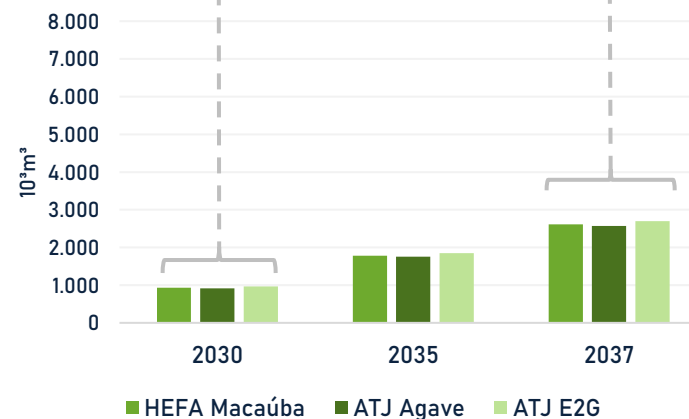
Valores se somam aos projetos anunciados



Alternativas

3 plantas

9 plantas



- O mix de rotas e matérias-primas dependerá da avaliação de diversos fatores.
 - Ex: disponibilidade de insumos, logística, custos, aspectos ambientais etc.
- Em 2037, a produção de SAF deve chegar na faixa de **3,7 a 8 milhões de m³/ano**, a depender das rotas escolhidas. Essa faixa de produção inclui os projetos anunciados.
- O SAF poderá representar entre **36% a 78%** da demanda volumétrica de QAV³.



Nota: As análises são mutuamente excludentes.

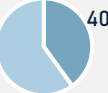
¹ Capacidade específica média com base em projetos anunciados e relatórios de mercado (29).

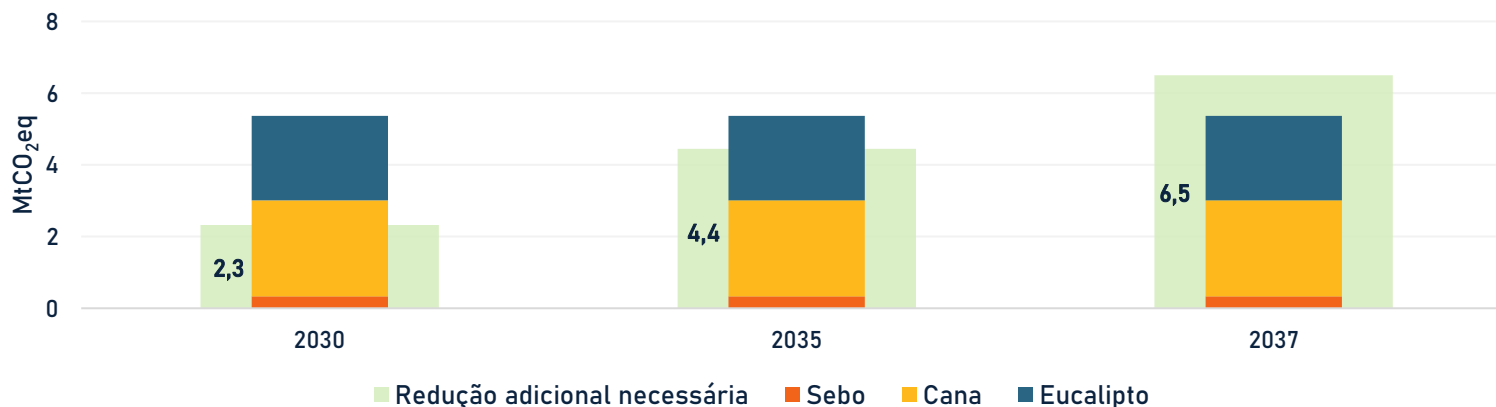
² Os cálculos utilizaram a redução adicional de emissões necessária em cada ano e valores de IC indicados [nesta página do Caderno](#).

³ Atualmente, o limite máximo de mistura de SAF no QAV fóssil é de 50%.

Fonte: elaboração própria, com base em 2, 8, 16, 20, 25, 34, 35, 36, 37

Trajetória III – Aproveitamento de resíduos

	 Sebo bovino	 Resíduos da cana	 Resíduos do eucalipto
Taxa de aproveitamento ¹	 20%	 10%	 40%
Estimativa de resíduos disponíveis	215 mil toneladas/ano	26,5 milhões toneladas/ano	16,6 milhões toneladas/ano
Potencial de produção de SAF	~140 mil m³/ano pela rota HEFA	~915 mil m³/ano pela rota FT	~790 mil m³/ano pela rota FT
Equivalência em plantas	1 planta de 140 mil m³/ano	3 plantas de 300 mil m³/ano	3 plantas de 300 mil m³/ano



- A utilização de resíduos orgânicos é atrativa em função do baixo custo de aquisição da matéria-prima e baixa intensidade de carbono.
- Esta trajetória considera o nível de aproveitamento dos resíduos disponíveis e indica o potencial de produção de SAF a partir deles.
- Caso o potencial de aproveitamento fosse integralmente desenvolvido, seria possível atender **82%** das metas de redução de emissões até 2037 utilizando apenas resíduos.

¹ As taxas de aproveitamento foram definidas considerando parcelas desses resíduos que já são utilizadas para outros fins. No gráfico, o nível de redução de emissões a partir dos resíduos se mantém constante, pois utilizou-se a disponibilidade em 2022/2023 como referência.

Fonte: elaboração própria, com base em 16, 18, 38, 42, 43

Resumo 2037

	Trajetória I	Trajetória II		Trajetória III
	Projetos anunciados 	Consolidadas 	Alternativas 	Aproveitamento de resíduos 
Capacidade adicionada ¹	1.100 mil m³/ano	3.000 a 6.900 mil m³/ano	~2.700 mil m³/ano	~1.940 mil m³/ano
Equivalência em nº de plantas	3 plantas 500, 250, 350 mil m³/ano	10 a 23 plantas de 300 mil m³/ano	9 plantas de 300 mil m³/ano	7 plantas 6 de 300 mil m³/ano + 1 de 140 mil m³/ano
Investimento estimado ²	R\$ 8,7 bilhões	R\$ 21 a 48 bilhões	R\$ 19 bilhões	R\$ 13,6 bilhões

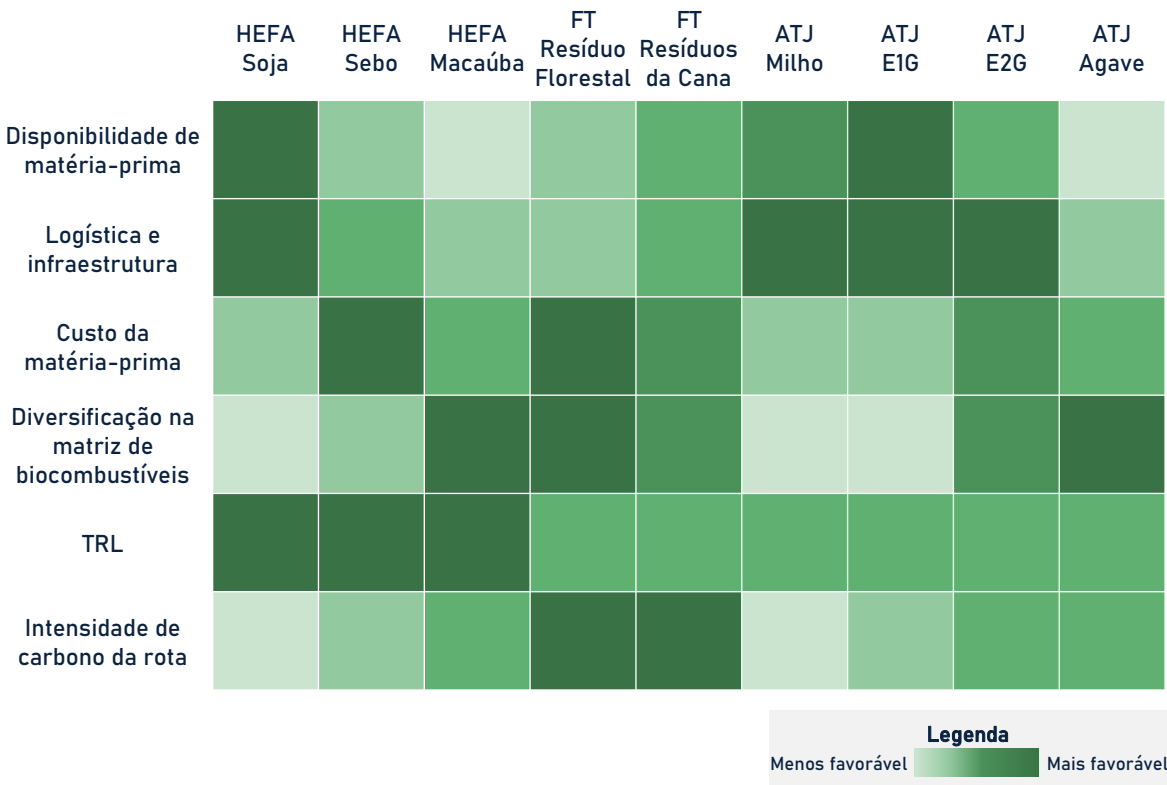
¹ A capacidade adicionada de produção de SAF nas Trajetórias II e III se baseia nas metas de redução de emissões do CORSIA e ProBioQAV e na IC de cada rota/matéria-prima.

² A estimativa de investimento se baseou no custo médio dos projetos anunciados no Brasil. Nota-se, contudo, que o CAPEX irá variar para as diferentes rotas. Há também a possibilidade de ganhos de escala e escopo que não foram considerados nesse cálculo.

Avaliação multicritério

O mix de rotas e matérias-primas dependerá da avaliação de diversos fatores e restrições

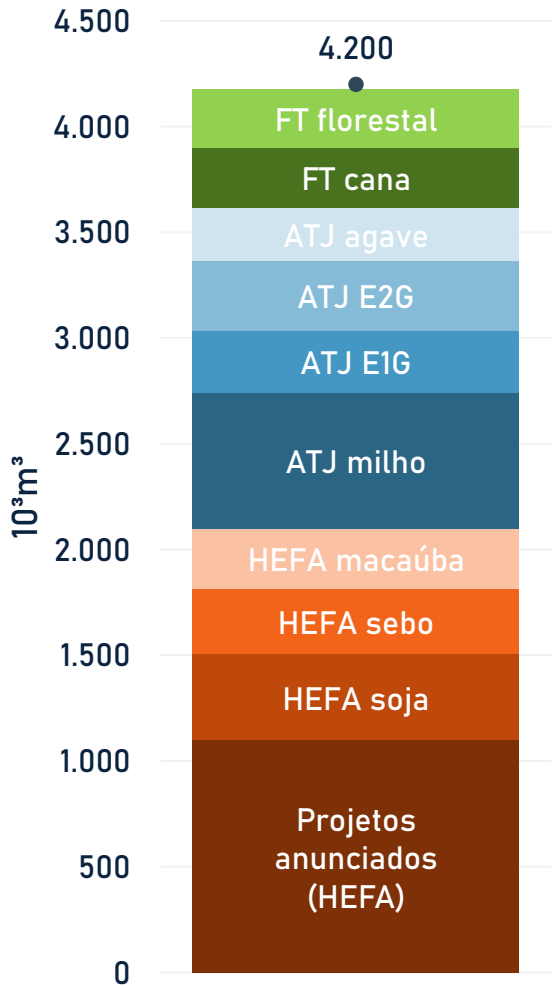
- O mix de rotas e matérias-primas dependerá da avaliação de diversos fatores e restrições, tais como:



- Outros fatores também poderão influenciar a composição do mix, tais como financiamento, aspectos geopolíticos, estratégia nacional, etc.

- A ponderação de diferentes critérios indica uma **possível composição** de rotas de produção de SAF com foco em atingir as metas de redução de emissões do setor e diversificar matérias-primas.
- A diversificação de matérias-primas para produção de biocombustíveis ainda requer investimentos para alcançar escala.
- Contudo, este pode ser um importante vetor de desenvolvimento regional, recuperação de pastagens degradadas e geração de emprego e renda.

Produção de SAF por rota em 2037



Principais mensagens



Principais mensagens



A produção de SAF no Brasil pode ter **uma intensidade de carbono menor em comparação com os mesmos processos de conversão em outros países** devido às plantas integradas.



Iniciativas existentes para a construção de biorrefinarias **podem atender a uma parte da redução de emissões** exigida pela CORSIA e ProBioQAV.

Mas, no longo prazo, é necessário **diversificar as matérias-primas utilizadas na produção de biocombustíveis**, o que poderia catalisar a **geração de emprego e a distribuição de renda** para as áreas rurais no Brasil.



Os cenários descritos neste estudo indicam uma gama de soluções. No entanto, **uma perspectiva integrada é necessária para otimizar os esforços de descarbonização**, dada a competição com outras indústrias por recursos como terras, matérias-primas, financiamento, etc.



O Brasil pode se destacar na produção de SAF devido à sua **expertise em biocombustíveis** e à disponibilidade de **terra, biomassa e outras fontes renováveis de energia**.

É importante **alocar recursos em PD&I** para estabelecer uma **indústria forte e alinhada com a transição energética justa** para uma **economia de baixo carbono**.

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretora de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Superintendente de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

Angela Oliveira da Costa (Coordenação Técnica)

Equipe Técnica

Ana Paula Oliveira Castro
Anderson Luiz Silva Pelluso
Arthur Cortez P. de Campos
Danielle Borher de Andrade
Euler João Geraldo da Silva

Juliana Rangel do Nascimento
Leonidas Bially O. dos Santos
Letícia Gonçalves Lorentz
Rachel Martins Henriques
Rafael Barros Araujo

Agradecimentos

SMA/EPE



www.epe.gov.br

Siga a EPE nas redes sociais:



EPE - Empresa de Pesquisa Energética

Praça Pio X, n. 54, 5º andar - Centro

20091-040

Rio de Janeiro - Brasil



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

