



Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil e sinergia com o diesel verde

Novembro de 2025



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



FICHA TÉCNICA | Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil – 2025

Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis (SDB)

Diretoria de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (DPG)

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

Equipe Técnica

Angela Oliveira da Costa

Ana Paula Oliveira Castro

Arthur Cortez P. de Campos

Danielle Borher de Andrade

Ederaldo Godoy Júnior

Guilherme Correa Naresse

Letícia Gonçalves Lorentz

Luis Gonzales Ucumari San Miguel

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

Apoio administrativo

Raquel Lopes Couto



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Avisos

Esta publicação contém informações acerca da oferta e da demanda de combustível sustentável de aviação (SAF) e de diesel verde a partir de diferentes rotas tecnológicas, de acordo com estudos da Empresa de Pesquisa Energética.

Este documento possui caráter informativo, sendo destinado a subsidiar o planejamento do setor energético nacional. Logo, a EPE se exime de quaisquer ações e tomadas de decisão (como definição de diretrizes estratégicas, decisões de investimento ou de estratégias de negócio) que possam ser realizadas por agentes econômicos ou qualquer pessoa com base nas informações contidas neste documento.



Valor público

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

Neste caderno a EPE analisa o panorama da produção de combustíveis sustentáveis de aviação e sua relação o diesel verde, as políticas públicas nacionais e acordos internacionais vigentes e estima a oferta e a demanda destes biocombustíveis no Brasil.

Dessa forma, a EPE traz transparência e reduz a assimetria de informação por meio da disponibilização de dados e fatos que podem auxiliar os debates acerca dos esforços de transição energética no Brasil, favorecendo a tomada de decisão dos agentes interessados.



SUMÁRIO



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



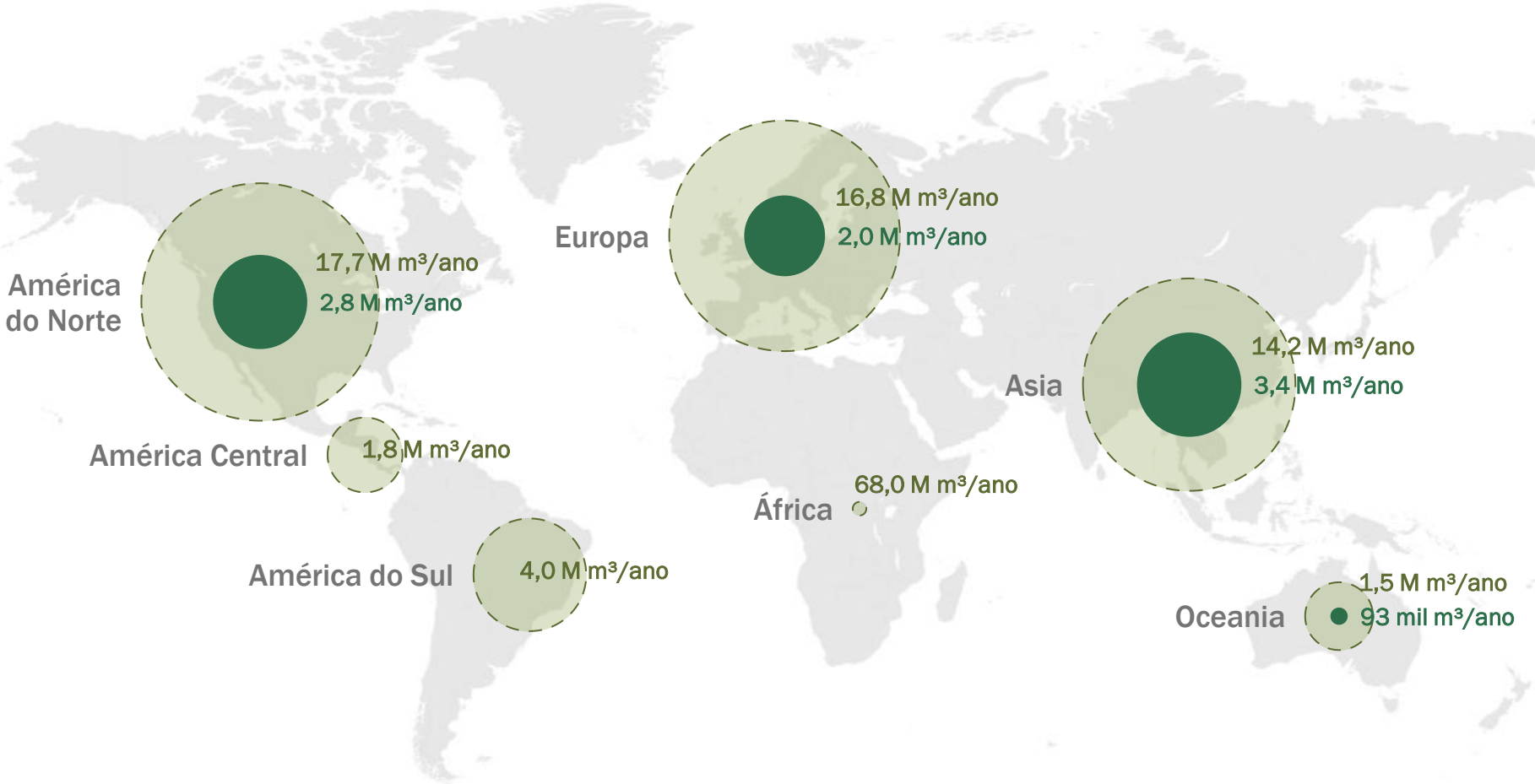
- Panorama internacional
- Panorama nacional
 - Atualização do cenário de SAF no Brasil
- Logística e *Book & Claim*
- Sinergia entre a produção de SAF e Diesel Verde
 - Panorama internacional
 - Panorama nacional
- Considerações finais



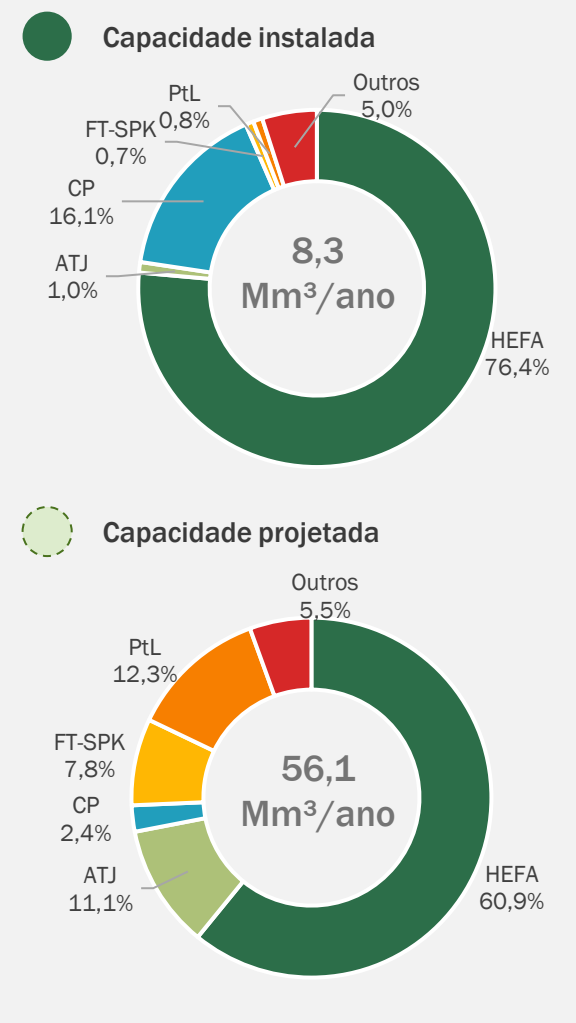


Panorama internacional de SAF

Capacidade instalada e planejada de SAF no mundo



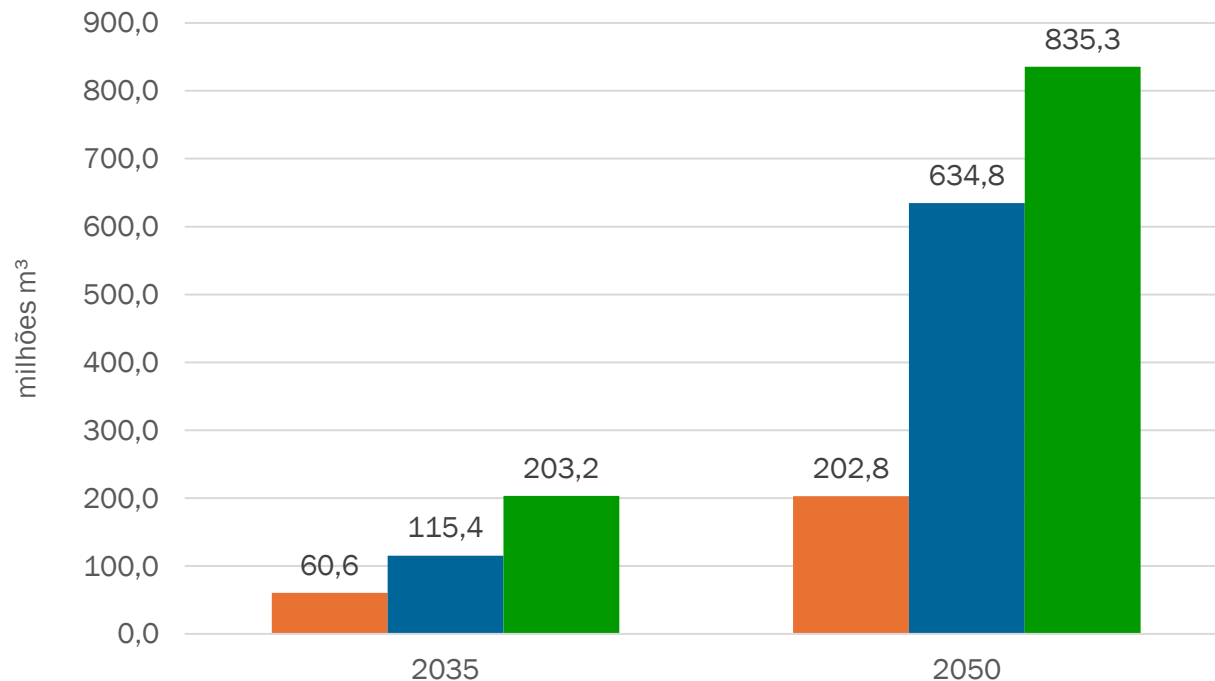
Legenda



Projeção de demanda de SAF no mundo

A ICAO, por meio do *Committee on Aviation Environmental Protection* (CAEP), desenvolveu cenários de produção de SAF em médio prazo (até 2035) e longo prazo (2035–2050).

Produção de SAF¹ em médio e longo prazos



Nota: ¹Densidade média conforme especificado nas normas ASTM D1655/D7566.

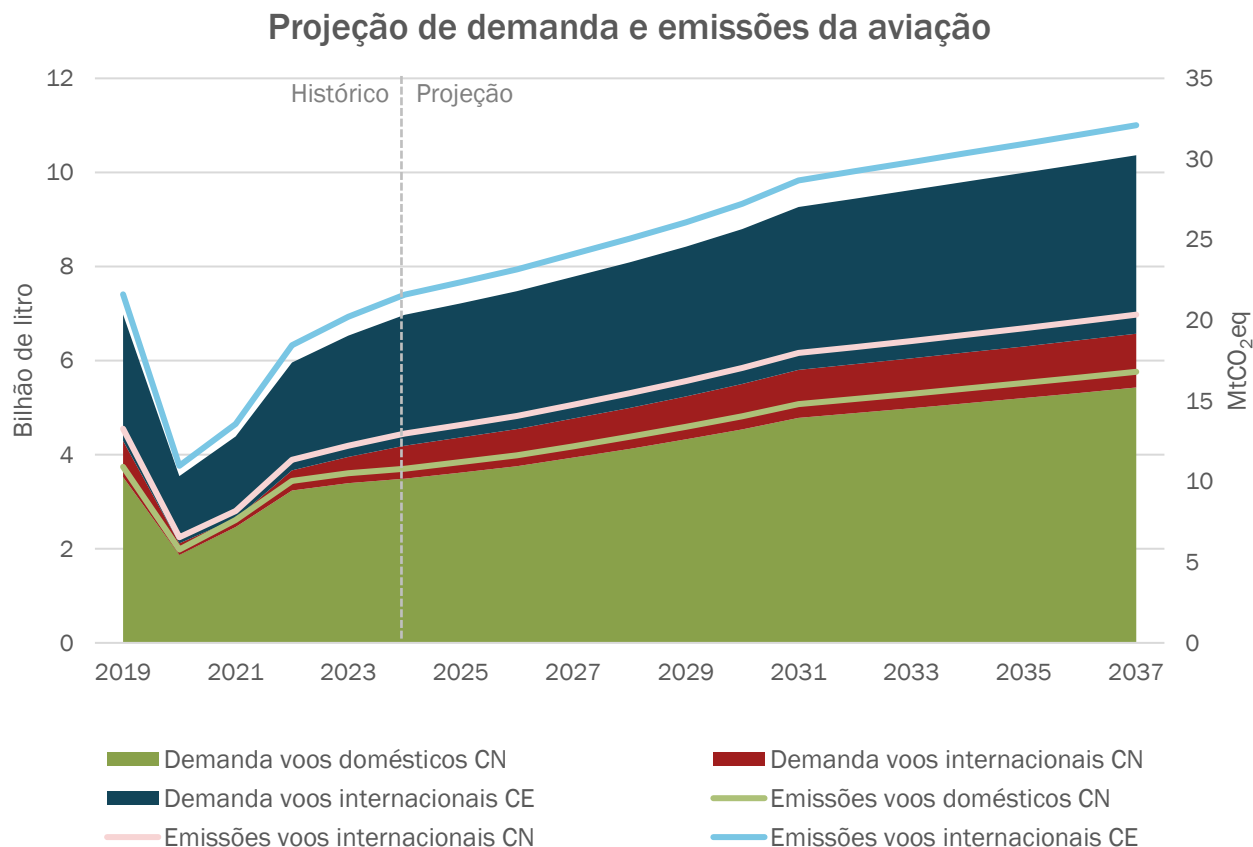
Fonte: Elaboração própria com base em [IEA, 2022](#).

- F1:** Cenário com a menor redução de GEE proveniente dos combustíveis SAF (à base de biomassa e de CO₂) e dos combustíveis de aviação de baixo carbono (LCAF).
- F2:** Cenário com uma redução média de GEE proveniente dos combustíveis SAF e LCAF.
- F3:** Cenário com a maior redução de GEE proveniente dos combustíveis SAF, LCAF e combustíveis não *drop-in* (eletricidade, combustíveis gasosos liquefeitos para aviação e hidrogênio criogênico).



Panorama nacional de SAF

A demanda de QAV continuará crescendo nos próximos anos



Fonte: elaboração própria com base no PDE 2035.

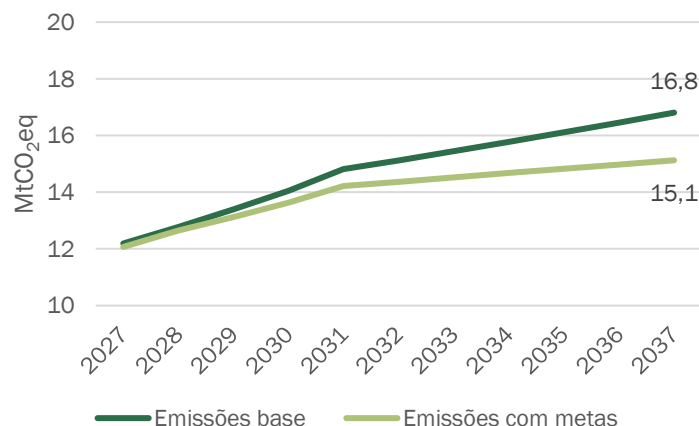
Nota: CN – Companhias aéreas nacionais, CE – Companhias aéreas estrangeiras.

- 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 por meio 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.

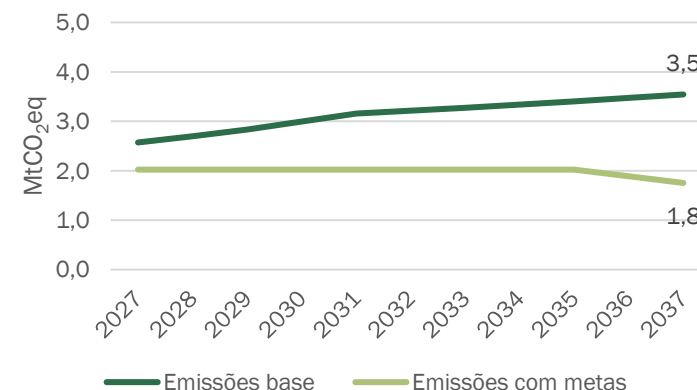
Programas de redução de emissões da aviação aplicáveis ao contexto brasileiro

- **ProBioQAV** estabelece metas crescentes de redução de emissões de 1% a 10% entre 2027 e 2037.
- O Programa, assim como outras disposições da Lei do Combustível do Futuro, segue em fase de regulamentação.
- A partir de 2027, o Brasil também deverá compensar as emissões em voos internacionais que ultrapassem 85% dos valores registrados em 2019 para atender à meta de crescimento neutro em carbono da **Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO)**.
- Essa compensação pode acontecer por meio da aquisição de créditos de carbono ou do uso de combustíveis elegíveis ao CORSIA, em especial o SAF.
- A obrigação brasileira é aplicável somente aos voos de operadores nacionais.¹

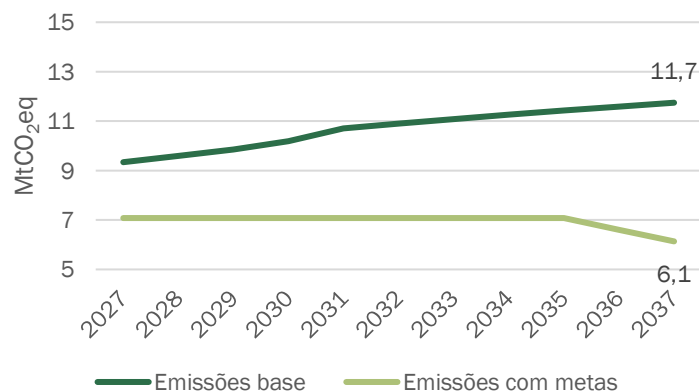
Aplicação ProBioQAV



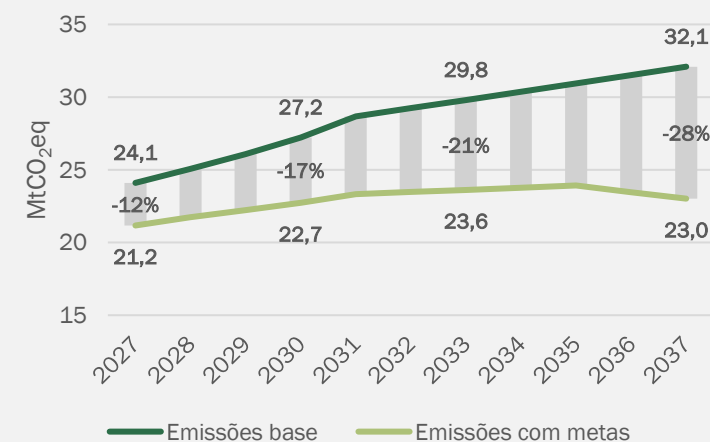
Aplicação CORSIA Operadores nacionais



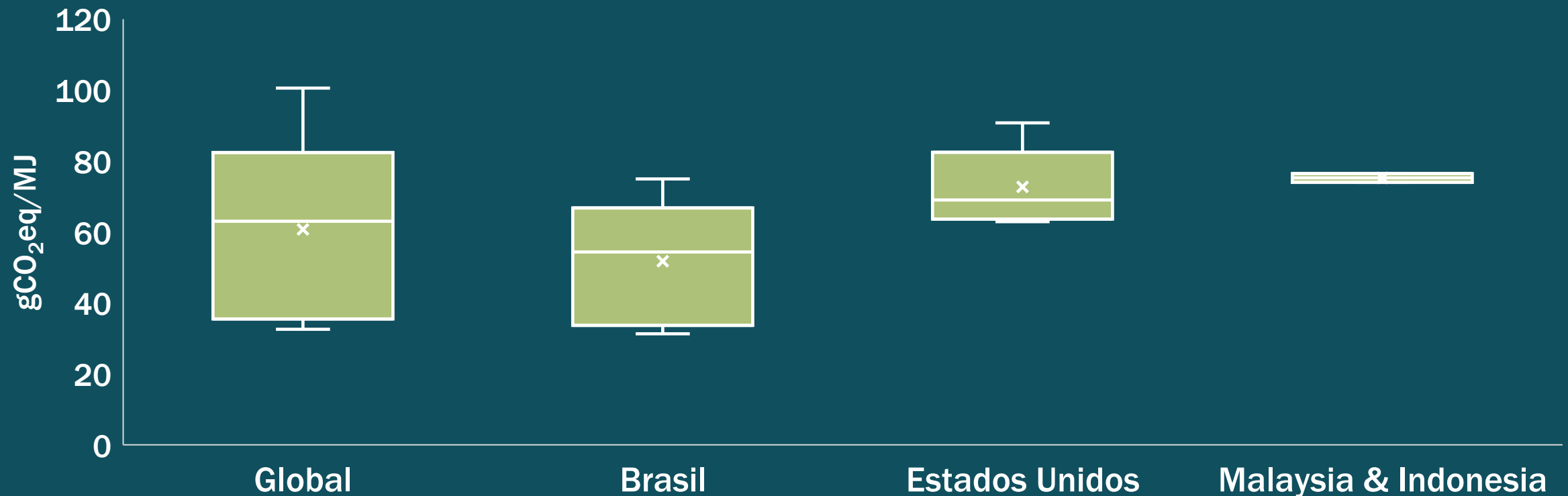
Aplicação CORSIA Operadores estrangeiros



Aplicação total das metas



Em termos de intensidade de carbono, a produção de SAF a partir de matérias-primas já consolidadas na cadeia de biocombustíveis tende a ser mais competitiva no Brasil do que em outros países



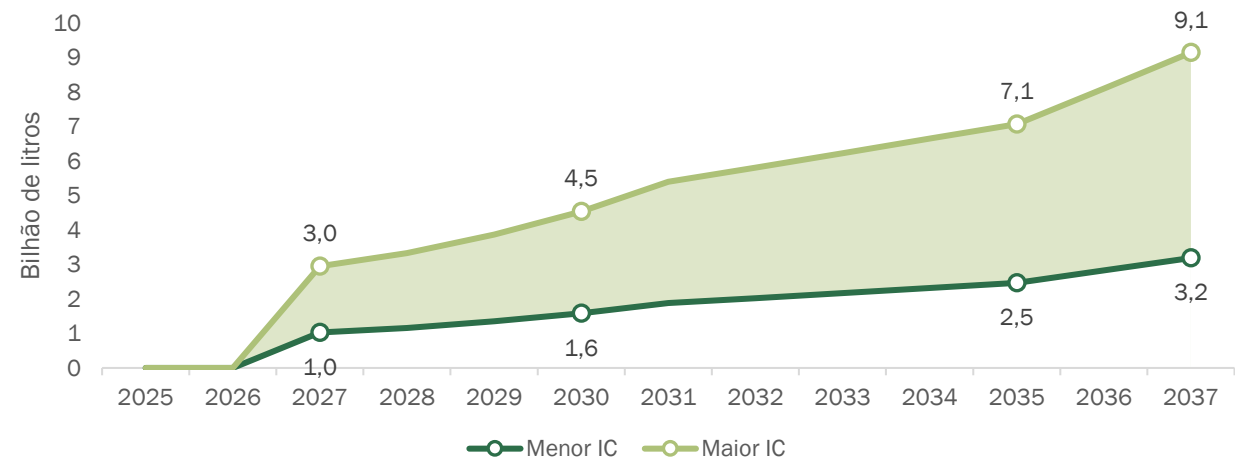
Nota: Foram considerados valores padrão do CORSIA (Core LCA + ILUC) para cada região e filtradas as matérias primas consolidadas – óleo de soja, óleo de palma, cana-de-açúcar e milho.

Fonte: [ICAO 2025 - CORSIA default life cycle emission values for CORSIA eligible fuels](#)

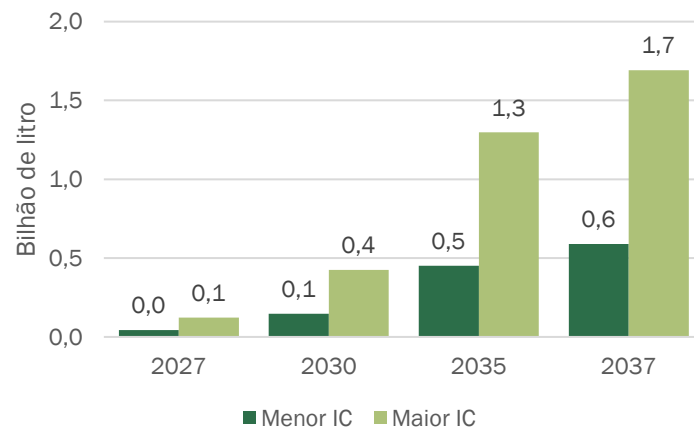
Projeção de demanda de SAF no Brasil

- Em função das metas de redução de emissões, a demanda de SAF no Brasil irá variar de acordo com a intensidade de carbono (IC) das rotas de produção desse combustível.
- Considerando IC extremas, estima-se que a demanda de SAF em 2037 esteja entre **3,2 e 9,1 bilhões de litros**, sendo 18% para atendimento do ProBioQAV e 82% para atendimento do CORSIA.

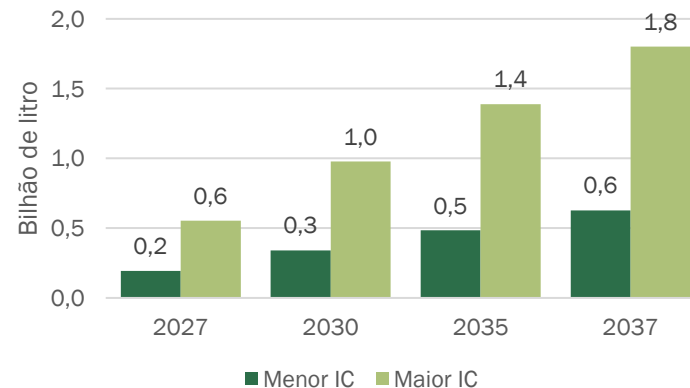
Demanda total de SAF



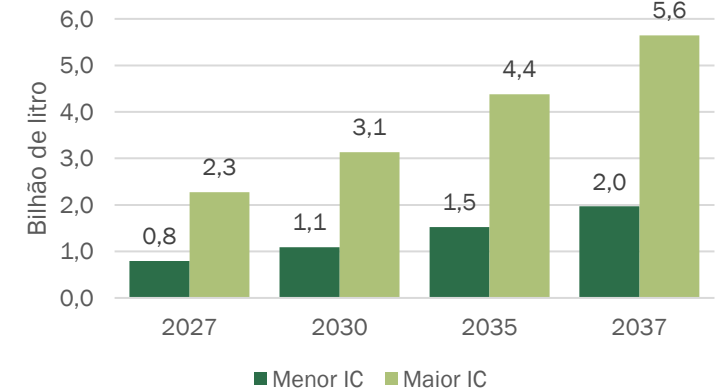
Demanda ProBioQAV



Demanda CORSIA
Operadores nacionais



Demanda CORSIA
Operadores internacionais



Fonte: elaboração própria com base no PDE 2035, [Lei 14.993/2024](#), [ICAO, 2023](#) e [ICAO, 2025](#).

Nota: O limite inferior da demanda considerou a IC da rota FT com utilização de resíduos agrícolas; o limite superior considerou a IC da rota ATJ com milho.

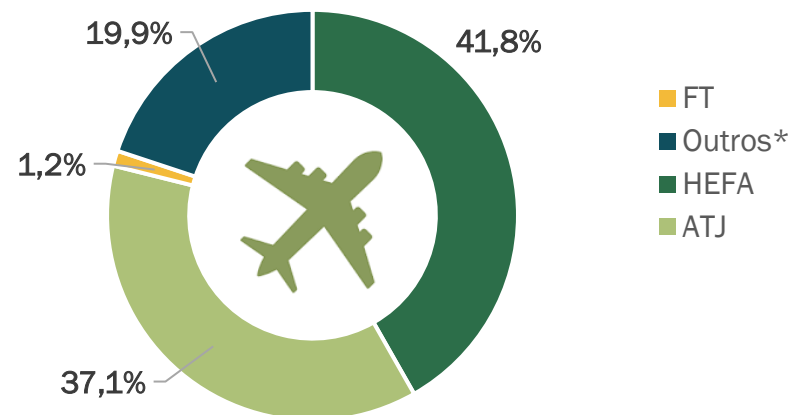
Procura crescente por financiamento para projetos de SAF

- Em Agosto/2024, BNDES e FINEP lançaram Chamada Pública para seleção de planos de negócios para investimentos em combustíveis sustentáveis de aviação e navegação de baixo carbono.
- Com uma previsão inicial de **R\$ 6 bilhões** em recursos para projetos, a chamada pública recebeu propostas¹ que totalizaram investimento potencial de **R\$75 bilhões para produção de SAF**.
- Somando um potencial de produção de **8,6 bilhões de litros de SAF em um horizonte até 2030**.

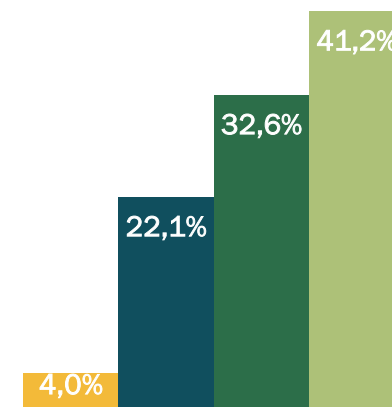
Fonte: elaboração própria com base em BNDES, 2024

Nota: 1 – As instituições estão verificando possíveis associações entre os projetos.

Distribuição das Rotas Tecnológicas inscritas na chamada pública



Investimento por Rota Tecnológica inscrita na chamada pública



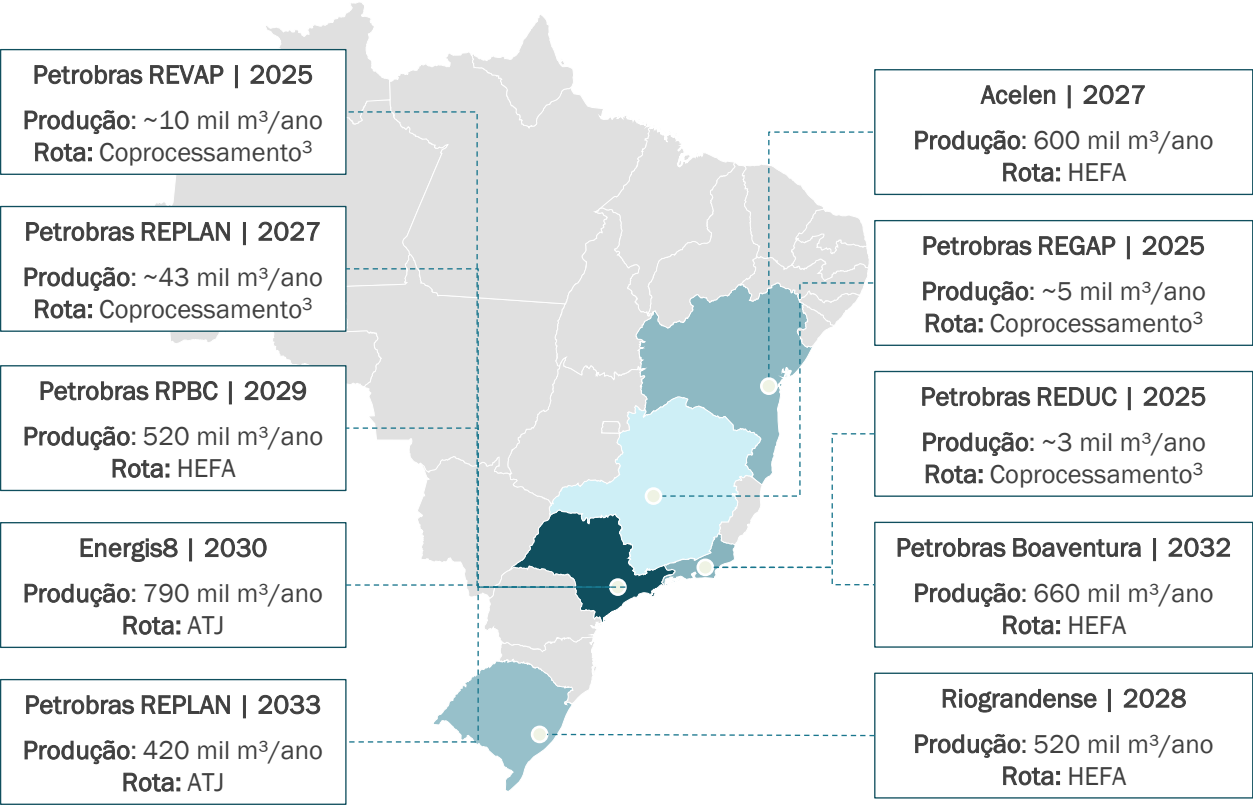
*Outros: HDT (HydroDeoxygenation Technology); TCR (Thermo-Catalytic Reforming) e MTJ (Methanol-to-Jet);

CAPEX por litro

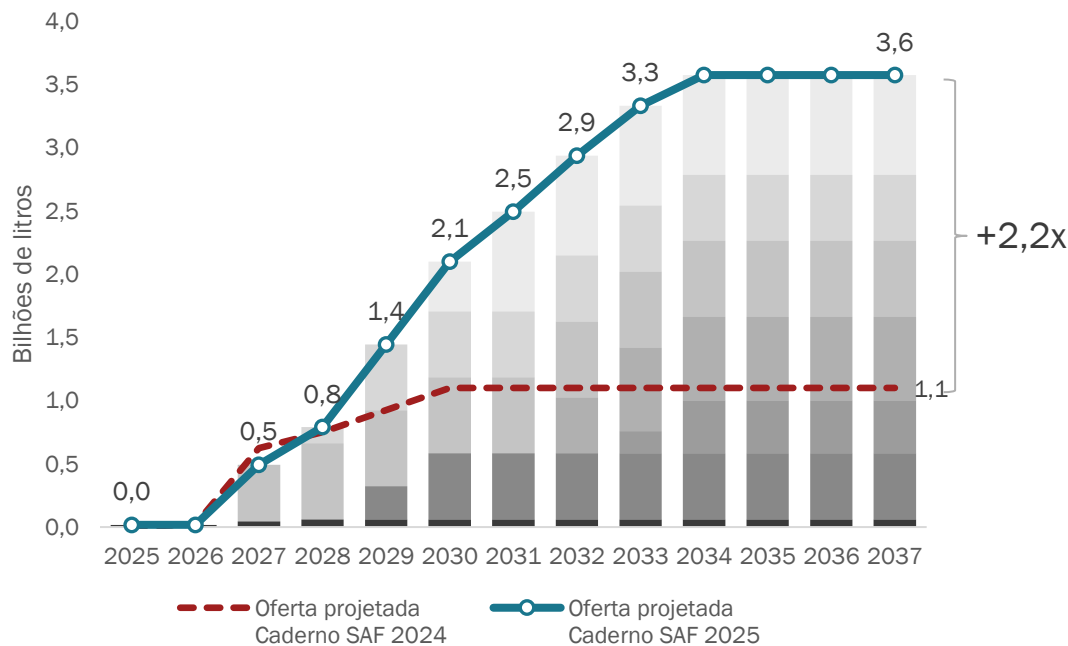


Projeção de oferta de SAF no Brasil

- Projetos anunciados¹ em escala comercial totalizam a oferta de **2,1 bilhões de litros de SAF por ano em 2030** e alcançam **3,6 bilhões de litros em 2035**.²



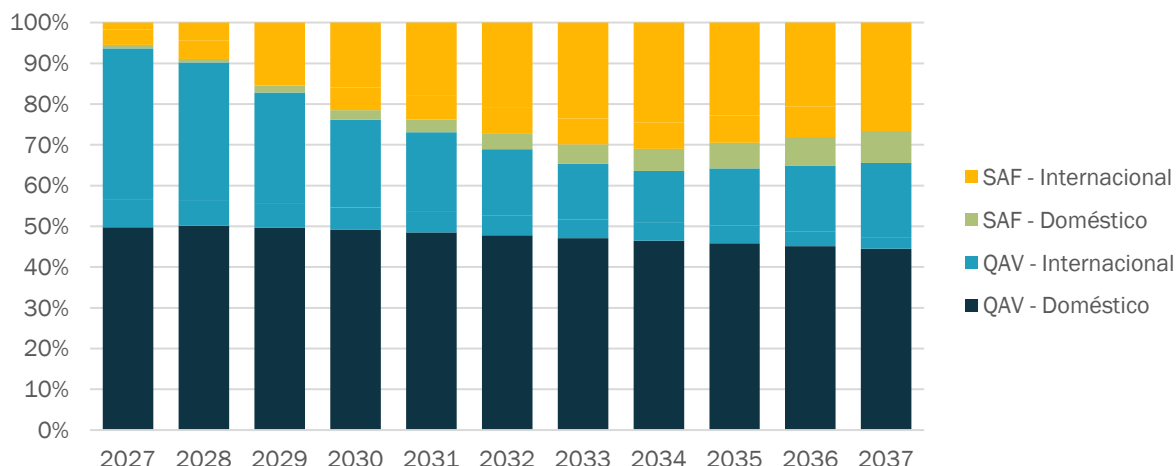
- O volume atualizado da **oferta projetada de SAF⁴** aumentou em **2,2x** em relação ao levantamento de 2024.



Notas: 1 – Foram considerados os projetos anunciados e confirmados pelas empresas em contatos realizados para elaboração deste documento; 2 – A capacidade nominal dos projetos foi ponderada com base em um fator de utilização efetiva do refino e modo de operação que maximiza a produção de SAF, conforme detalhado no Relatório do PDE 2035. 3 – Nos projetos que utilizam a rota de coprocessamento foi considerada apenas a parcela renovável do combustível. 4 – A graduação de cores do gráfico se refere a cada projeto anunciado (coprocessado agregado).

Como os projetos anunciados respondem às metas

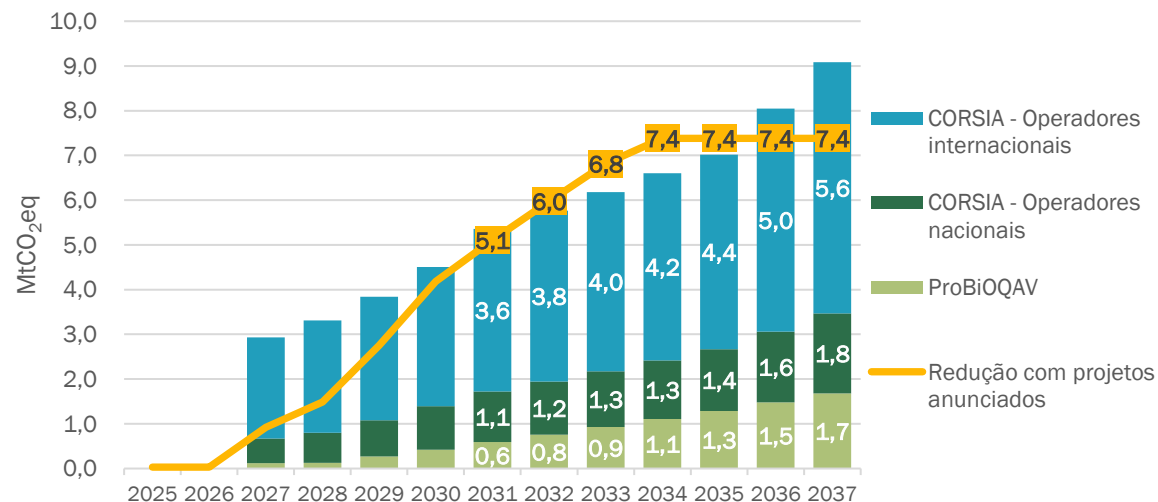
Participação do SAF no atendimento à demanda por categoria



Fonte: Elaboração EPE

- A capacidade estimada dos projetos anunciados representa, em média, 27% da demanda projetada de combustível de aviação entre 2027 e 2037.
- **A participação ultrapassa 20% em 2030 e chega até 36% em 2034,** quando todos os projetos anunciados terão entrado em operação.
- No gráfico, priorizou-se a utilização do SAF para atender à meta do ProBioQAV, sendo o volume excedente direcionado para atender às metas do CORSIA.

Atendimento às metas de redução de emissões



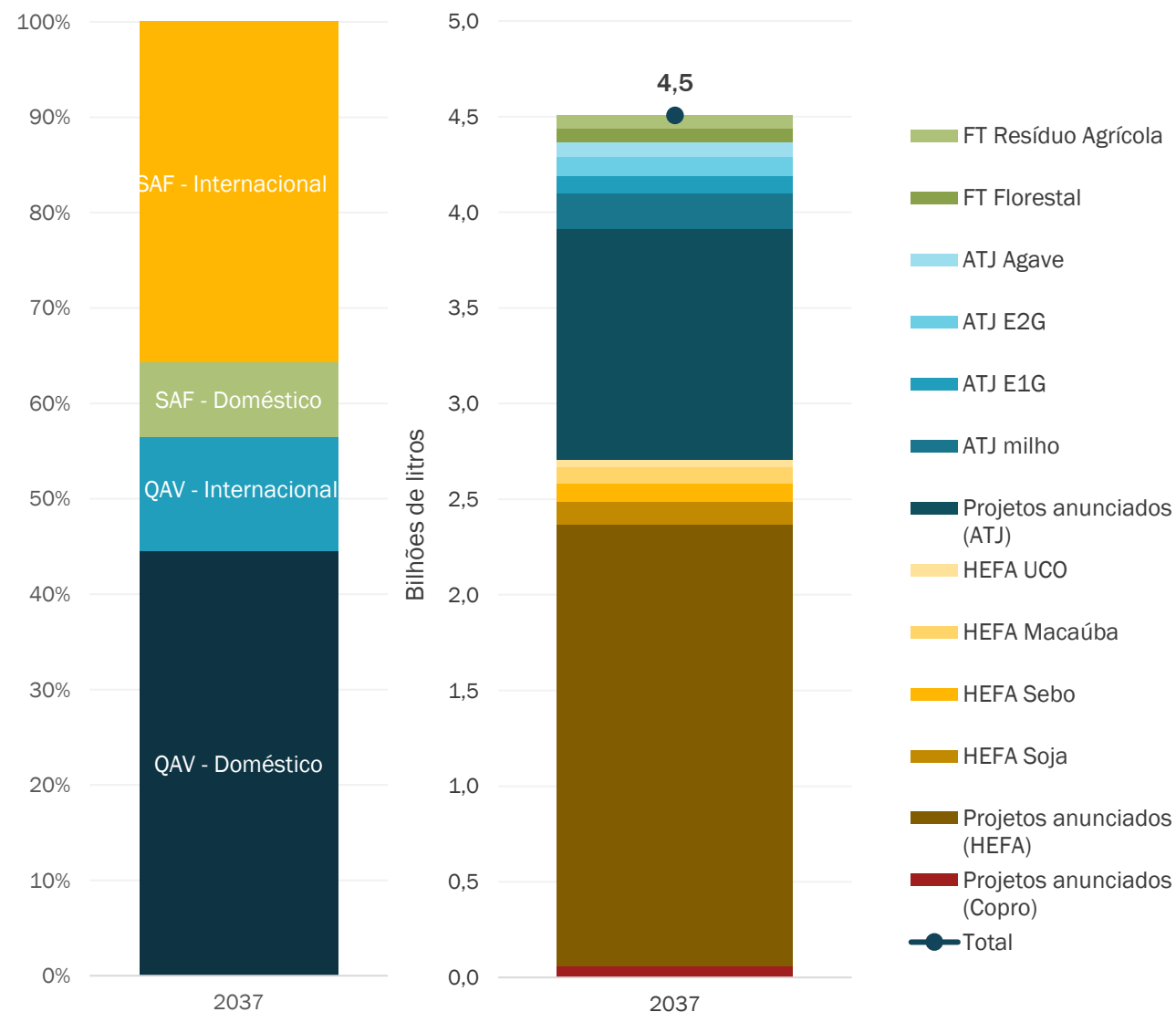
Fonte: Elaboração EPE

- Entre 2027 e 2037, **os projetos anunciados atendem, em média, 85% das metas de redução de emissões** de GEE definidas pelo ProBioQAV e CORSIA.
- Considerando apenas o ProBioQAV e o atendimento do CORSIA pelas companhias aéreas nacionais, os projetos anunciados são suficientes para atender as metas estabelecidas.
- **Novos projetos de SAF também podem se desenvolver no Brasil** tanto para atender as metas CORSIA de companhias aéreas estrangeiras, quanto para exportar SAF.

Projetos adicionais para atendimento integral das metas

- A ponderação de diferentes critérios¹ 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. Nesse cenário, **projeta-se a produção de 4,5 bilhões de litros de SAF em 2037**.
- 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.
- Com essa composição, o **SAF representaria cerca de 43% da demanda de combustível de aviação no Brasil em 2037**, sendo a maior parte destinada ao atendimento das metas do CORSIA.

Notas: 1 – Para maiores detalhes acessar [Caderno de Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil – Perspectivas Futuras](#)



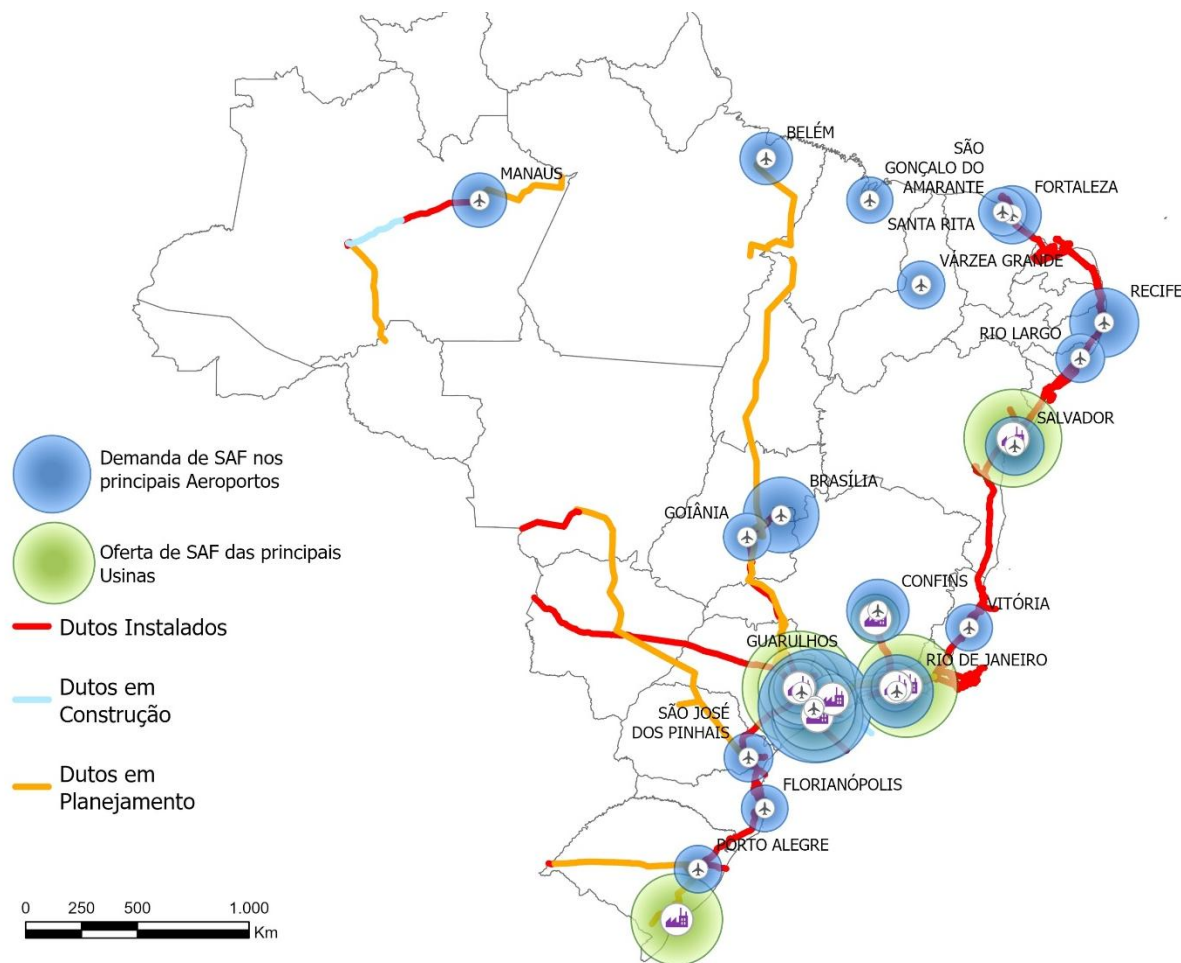
Fonte: Elaboração EPE

*UCO = Used cooking oil



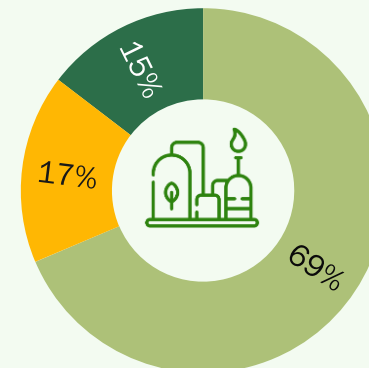
Logística e *Book & Claim*

Oferta x demanda de SAF no Brasil – desafio logístico



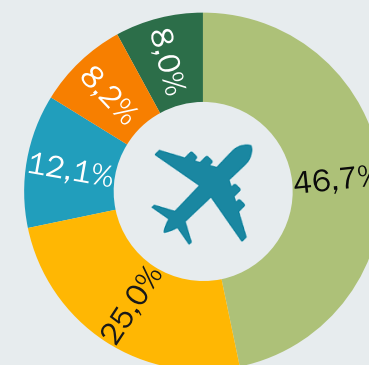
Fonte: Elaboração EPE

Oferta de SAF por região



A oferta de SAF é marcada por uma forte concentração geográfica, com a produção efetiva limitada às regiões Sul, Sudeste e Nordeste, destacando-se o **Sudeste** como o **polo de maior capacidade produtiva** instalada do país.

Demanda de SAF por região

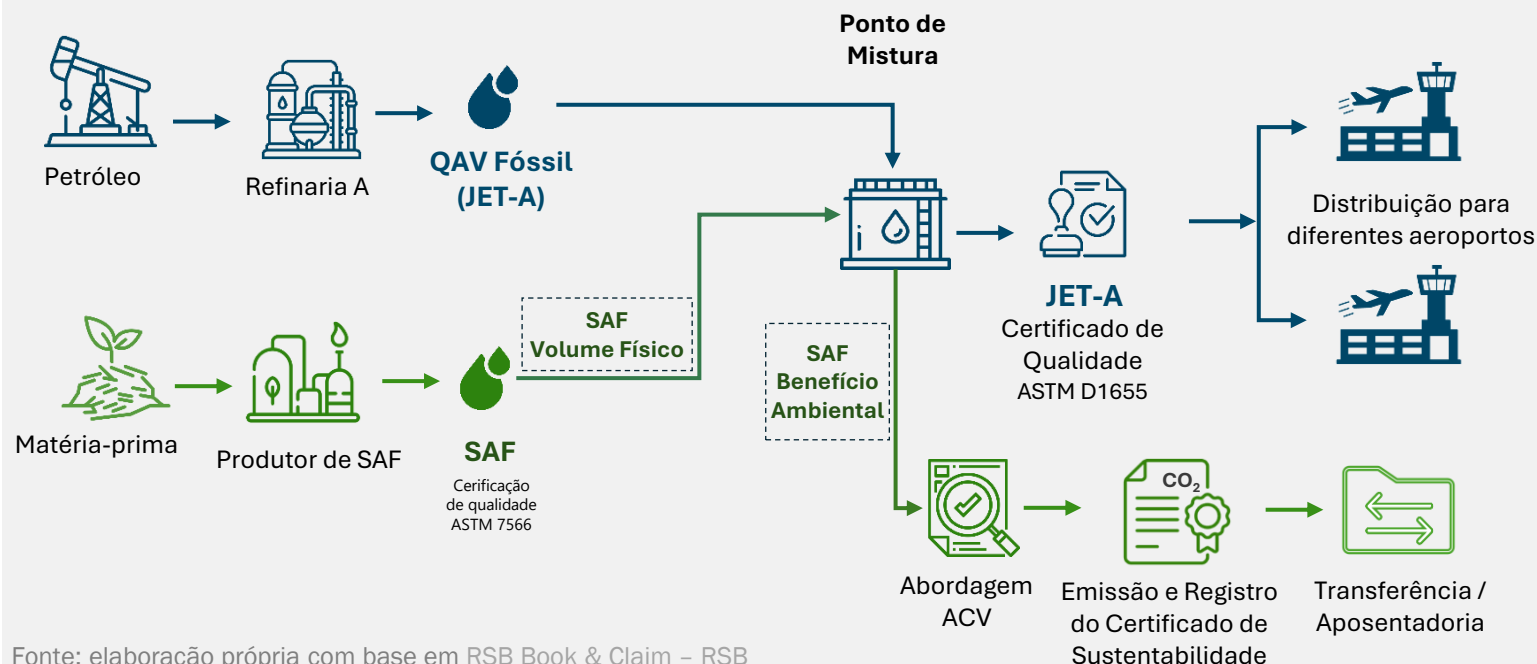


Em contraste, a demanda é **geograficamente pulverizada por todo o território nacional**, com picos de consumo nos aeroportos dos grandes centros urbanos, o que impõe um desafio logístico para movimentação de SAF das unidades produtoras até os principais pontos de demanda

■ Sul ■ Sudeste
■ Centro-Oeste ■ Nordeste
■ Norte

Book & Claim – Alternativa para o Desafio Logístico

Esquema simplificado



- Um produtor gera o SAF e recebe comprovantes (certificados) dessa produção;
- Os certificados são registrados (*book*) em uma plataforma ou sistema confiável, garantindo que cada unidade sustentável seja contabilizada;
- Um comprador adquire os certificados e não necessariamente o produto físico. Assim, podem reivindicar (*claim*) o uso sustentável, mesmo que o produto físico que utiliza não seja o mesmo que foi produzido de forma sustentável.

Análise SWOT* do modelo *Book & Claim*

✓ Forças

- Acesso ao SAF sem necessidade física.
- Redução da complexidade logística.
- Estímulo à produção e investimentos.
- Apoio às metas de descarbonização.

✗ Fraquezas

- Risco de dupla contagem.
- Necessidade de padronização regulatória.
- Padrões robustos de certificação.
- Complexidade na contabilidade de emissões.

🚀 Oportunidades

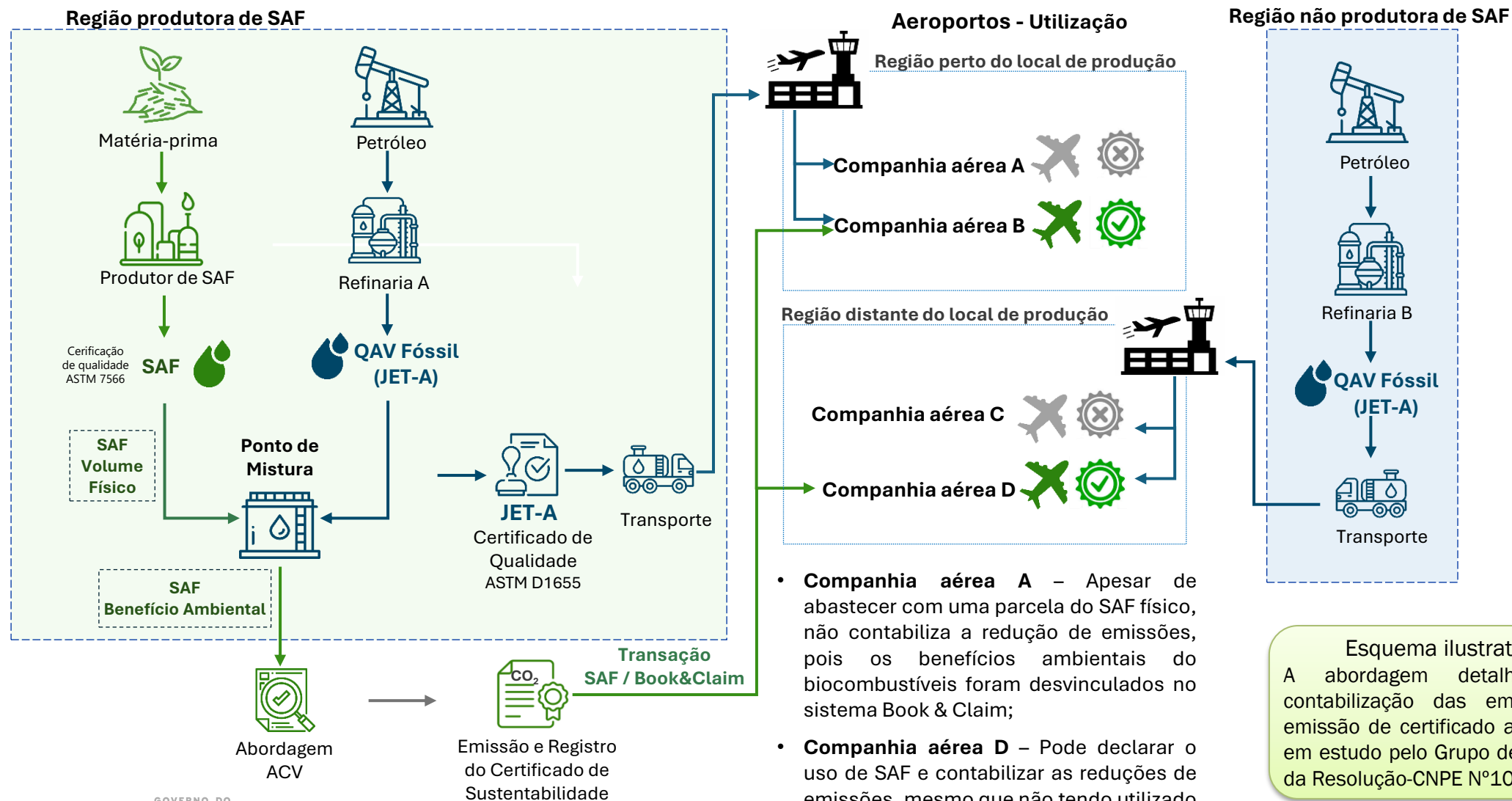
- Expansão do mercado de SAF.
- Alinhamento com metas ESG.
- Desenvolvimento de plataformas digitais.
- Aplicação em outros setores de transporte.

⚠️ Ameaças

- Desconfiança por falta de transparência.
- Oferta limitada e alto custo do SAF.
- Mudanças regulatórias.

Nota: * Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças).

Book & Claim – Esquema completo

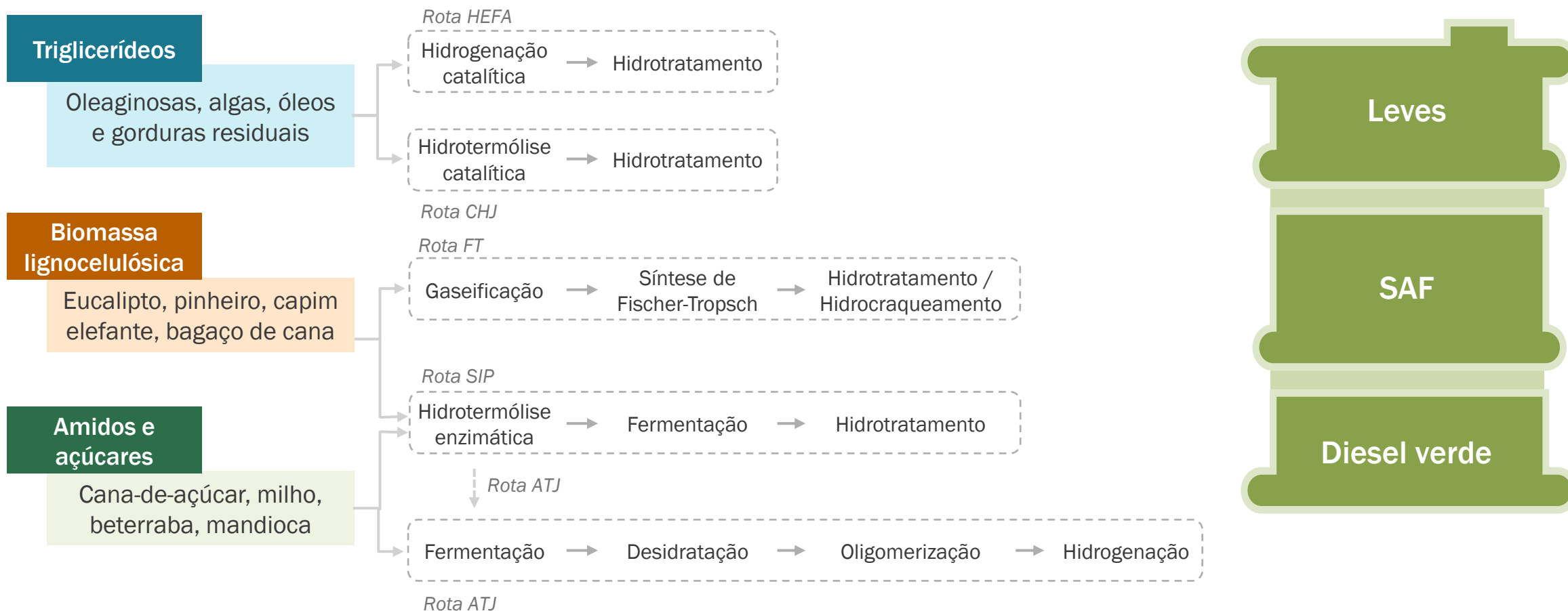


- **Companhia aérea A** – Apesar de abastecer com uma parcela do SAF físico, não contabiliza a redução de emissões, pois os benefícios ambientais do biocombustíveis foram desvinculados no sistema Book & Claim;
- **Companhia aérea D** – Pode declarar o uso de SAF e contabilizar as reduções de emissões, mesmo que não tendo utilizado o biocombustível fisicamente.



Sinergia entre a produção de SAF e Diesel Verde (DV)

Rotas de produção de SAF também produzem diesel verde (DV)



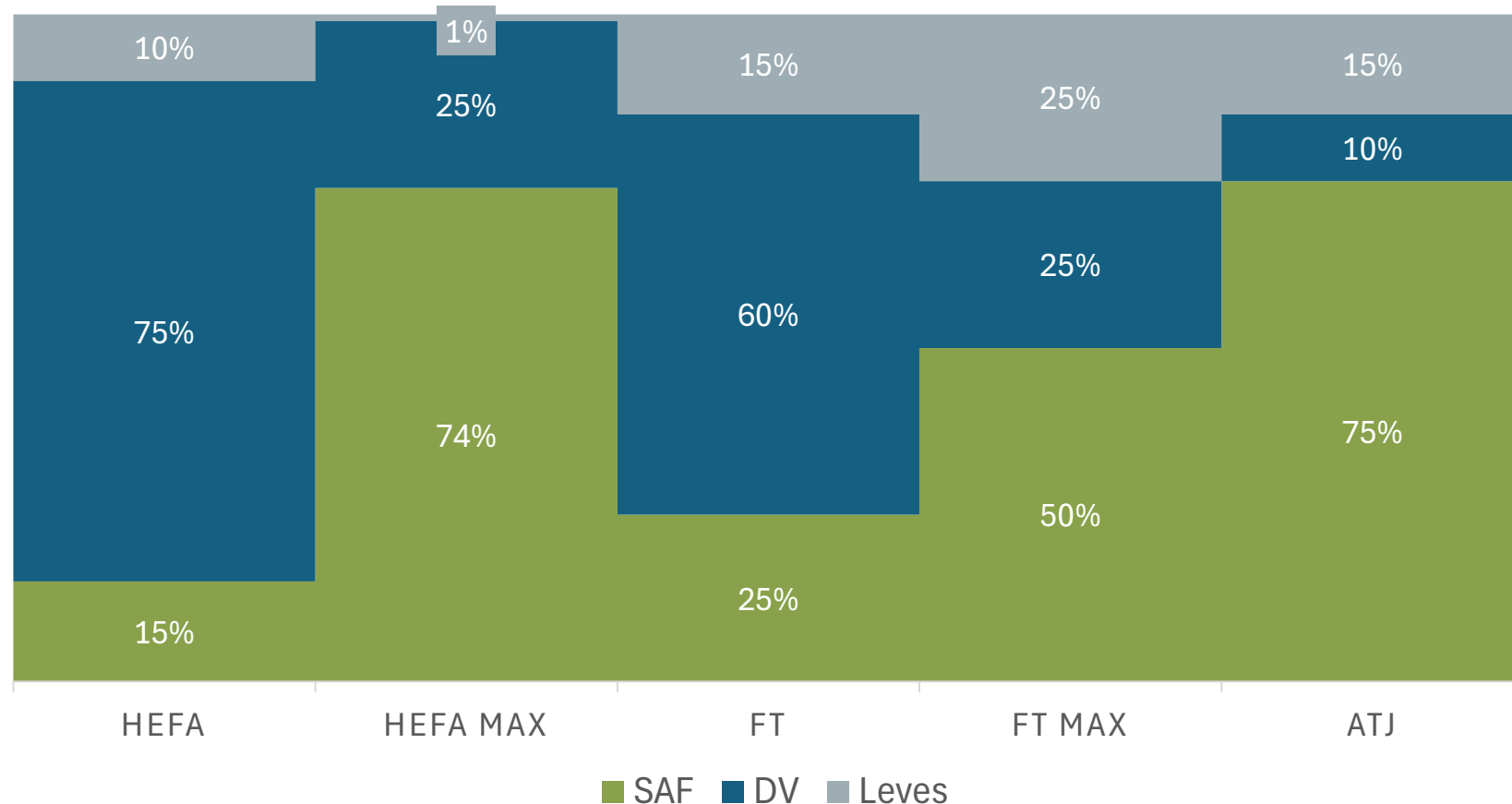
Nota: Para maiores detalhes acessar [Caderno de Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil – Perspectivas Futuras](#)



As rotas tecnológicas em questão também geram, como coproduto, uma fração de BioGLP e nafta renovável.

Rotas de produção de SAF também produzem diesel verde (DV)

Distribuição de produtos por rota e modo de operação

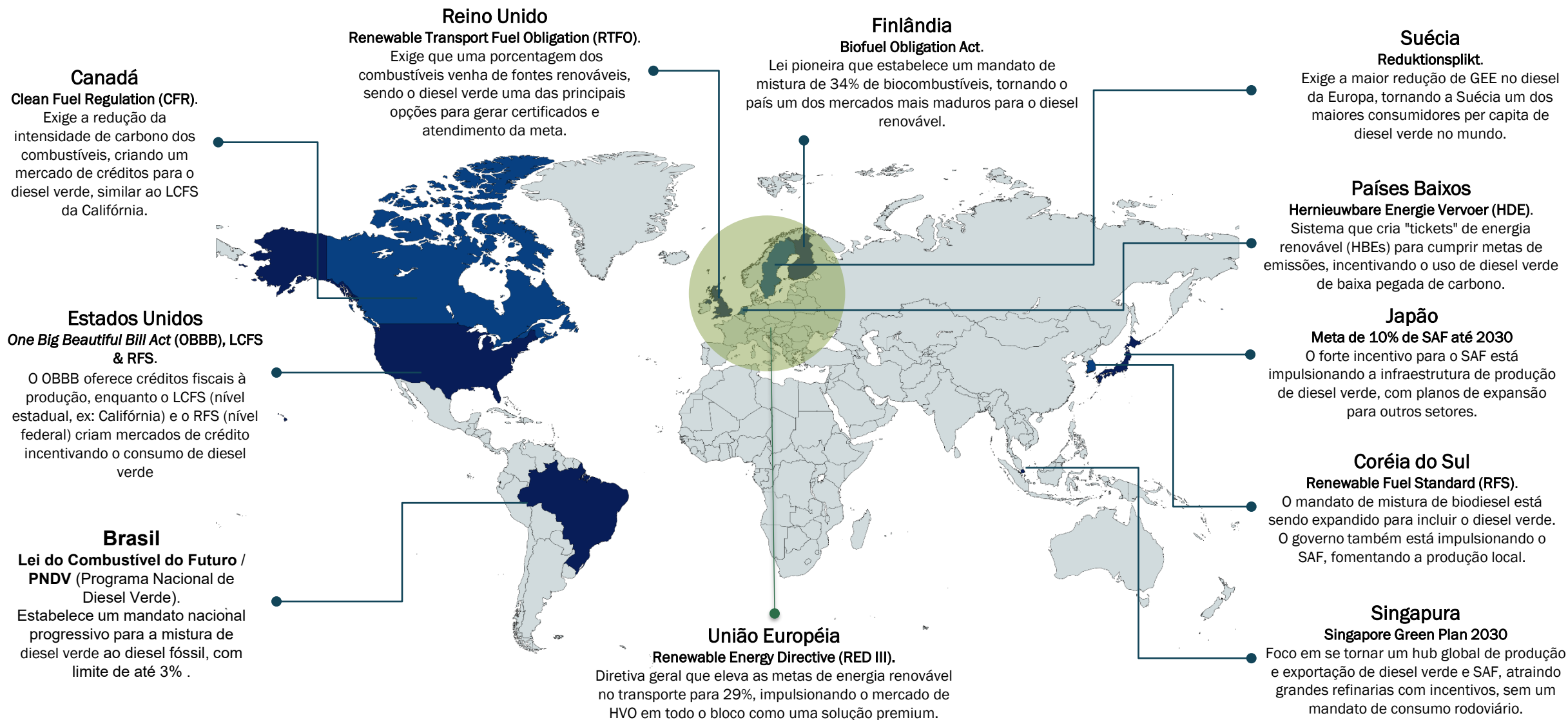


Embora os principais processos possam ser otimizados visando maximizar a quantidade de SAF obtida, as rotas disponíveis fornecem não apenas SAF, mas também diesel verde e outros produtos leves.

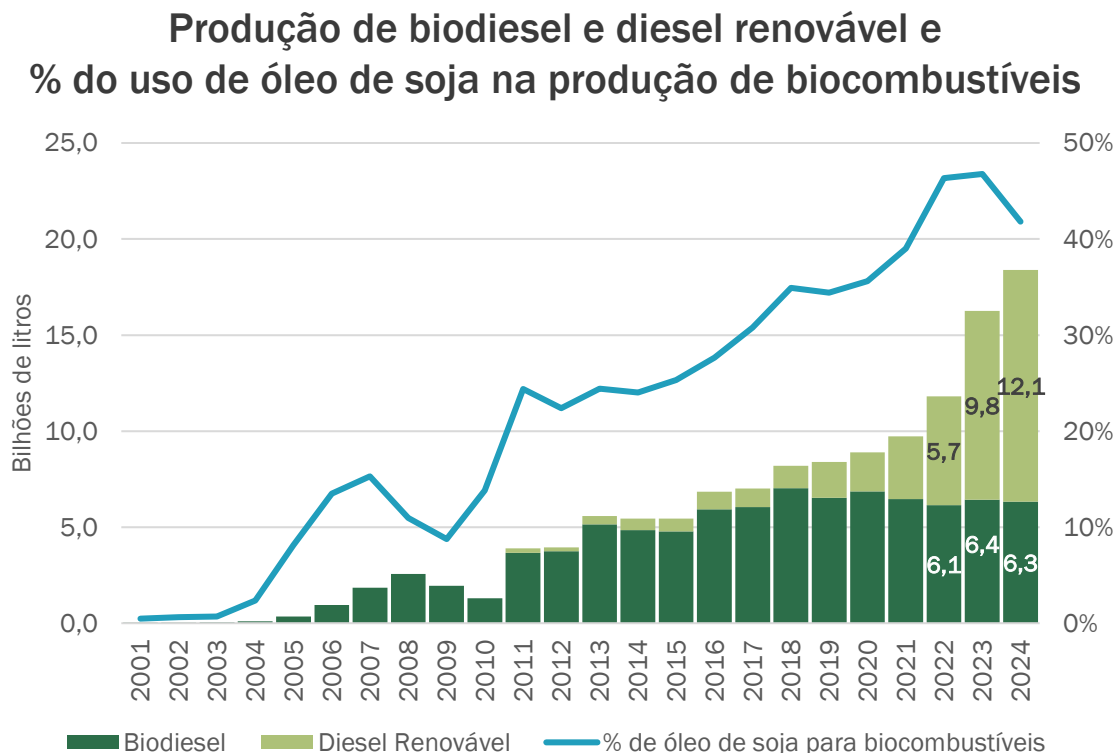
Fonte: elaboração própria com base em [IEA Bioenergy T39, 2024](#), [Decarbonisation Technology, 2024](#) e [ICCT, 2019](#)

Nota: Há casos onde a produção pela rota AtJ pode alcançar um máximo de 90% de produção de SAF.

Panorama internacional do diesel verde



Panorama internacional do diesel verde: Caso EUA



Nota: Entre 2020 e 2024, em média, 52% da produção de soja dos EUA foi beneficiada internamente (extração do óleo) e 46% foi exportada, sendo o restante destinado a sementes, ração e resíduos. Deste total de óleo de soja processado, 42% foi usado para biocombustíveis, 53% foi direcionado para outros usos e 5% para exportação.

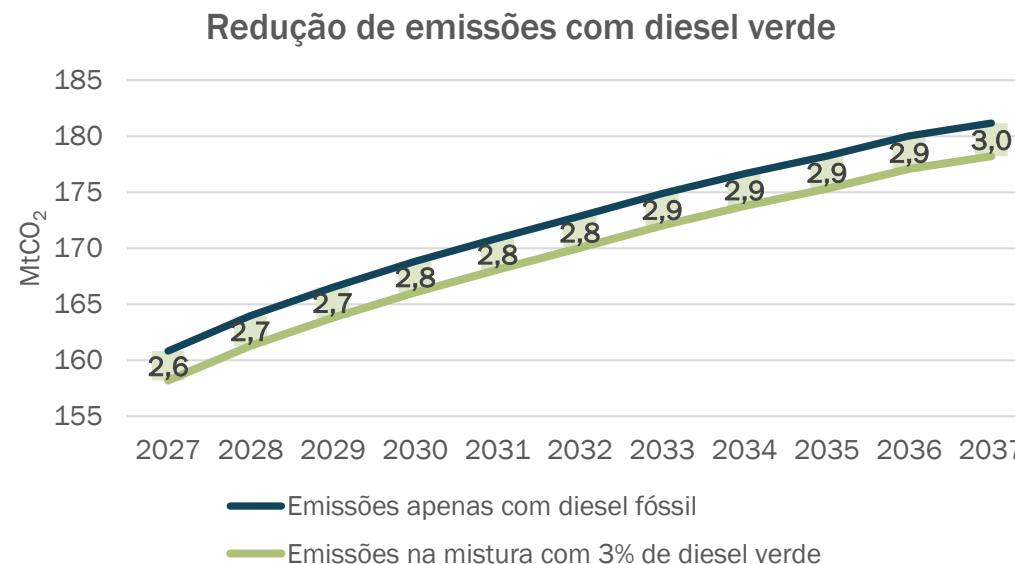
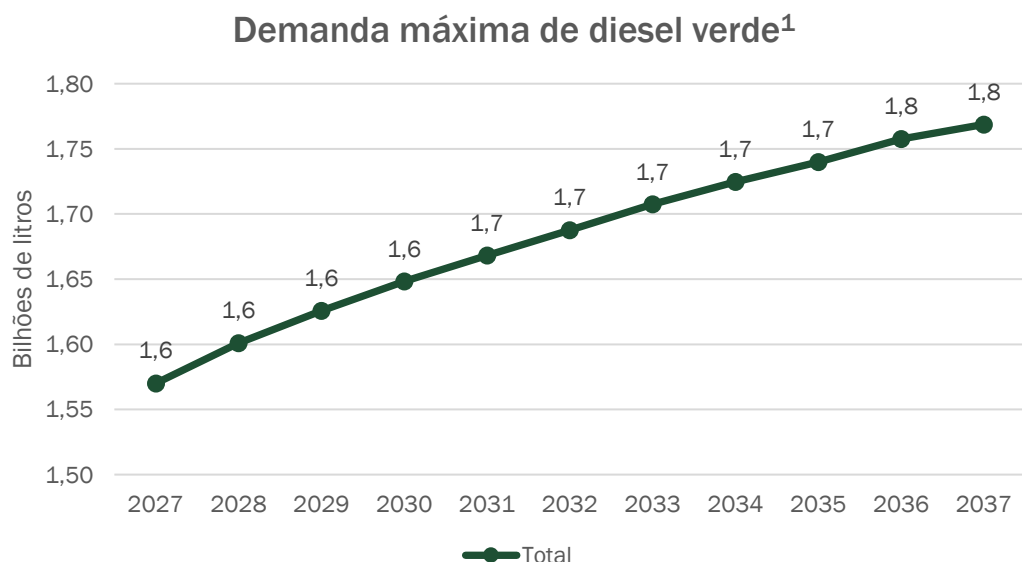
Fonte: [USDA, 2024](#) e [2025](#)

O crescimento do **diesel verde** foi gradual após a implementação do **RFS (2007)** e do **LCFS (2011)**. No entanto, sua produção começa a acelerar a partir de 2018, sobrepondo-se à do biodiesel em 2023. Este avanço coincidiu com o endurecimento das metas do LCFS e a sinalização de novos incentivos fiscais federais, como o **IRA (2022)**, que impulsionaram fortemente os investimentos para sua produção.

- **Renewable Fuel Standard (RFS)**: Mandato federal que estabelece uma obrigação de **volume mínimo de mistura** por categoria de biocombustível. O mecanismo de créditos (**RINs**) cria uma demanda cativa e estável para o **diesel de biomassa (D4)**, mitigando o risco de mercado para os produtores.
- **Low Carbon Fuel Standard (LCFS)**: Padrão estadual (ex: Califórnia) que cria um mercado baseado em créditos e déficits, gerados de acordo com a **Intensidade de Carbono (IC) do ciclo de vida do combustível**. O sistema monetiza a descarbonização, concedendo um prêmio financeiro às rotas de baixa IC, como o **diesel verde** de resíduos.
- **One Big Beautiful Bill Act (OBBA)**: Programa federal que modificou e estendeu o crédito fiscal por galão produzido, criado pelo anteriormente pelo *Inflation Reduction Act (IRA)*, cujo valor é atrelado à performance de redução de emissões (mecanismo PTC/45Z). Isso reduz o risco do investimento e acelera a expansão da capacidade produtiva de **diesel verde** de baixo carbono.

Programa Nacional de Diesel Verde – PNDV

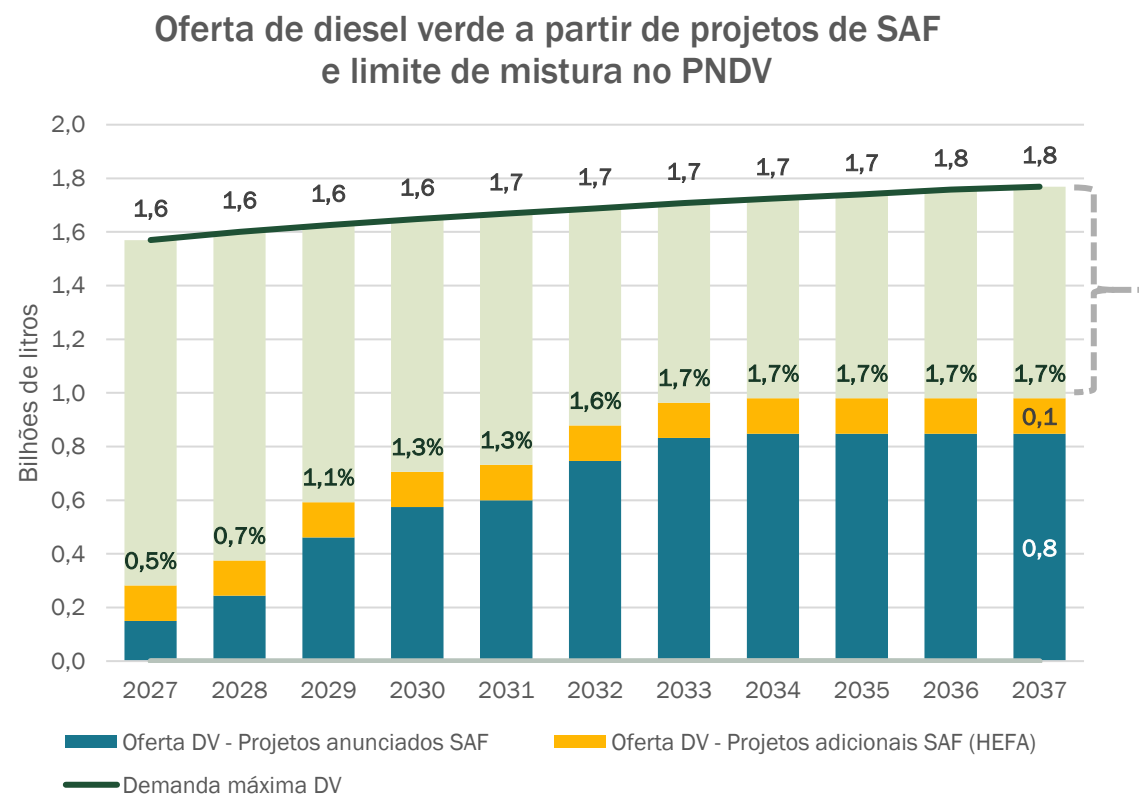
- O PNDV, instituído na Lei do Combustível do Futuro, tem como objetivo incentivar a pesquisa, a produção, a comercialização e o uso energético do diesel verde na matriz energética brasileira.
- Para isso, será estabelecido anualmente o percentual de participação volumétrica mínima obrigatória deste biocombustível no diesel comercializado ao consumidor final.
- **A participação obrigatória não poderá exceder o limite de 3%.**
- **A participação renovável no diesel comercializado poderá alcançar 23%**, considerando a mistura máxima de diesel verde (DV3) e o percentual de biodiesel previsto para 2030 no combustível do futuro (B20).
- O deslocamento de diesel fóssil gerado pela **mistura de diesel verde tem o potencial de reduzir emissões da ordem de 3 MtCO₂ por ano²**, o que equivale a 21 milhões de árvores³ (~18 mil campos de futebol ou 1 cidade de Paris cobertos por floresta tropical).



Notas: 1 – Considerando demanda projetada de diesel A no PDE 2035; 2 – Considerando a intensidade de carbono do diesel verde como 40,7 gCO₂eq/MJ com base na média dos projetos certificados pelo Low Carbon Fuel Standard (LCFS Pathway Certified Carbon). 3 – Considerando 7 árvores por tonelada de CO₂.

A oferta projetada de SAF contribui para o atendimento do PNDV, mas há espaço para o desenvolvimento de outros projetos

- Considerando um modo de operação que maximiza a produção de SAF (slide), os projetos anunciados podem produzir, consorciadamente, um máximo de 850 milhões de litros de diesel verde em 2034.
- Considerando o mesmo modo de operação, os projetos adicionais para o atendimento às metas de redução de emissões da aviação devem adicionar 130 milhões de litros de diesel verde em 2037.
- Ao longo do período, o volume de diesel verde dos projetos de SAF atende, em média, 45% do limite máximo de mistura obrigatória indicado no PNDV.
 - Os volumes podem variar a depender do ajuste de operação dos produtores.
 - Em 2037, a produção consorciada de diesel verde em unidades de SAF atinge 55% da demanda máxima do PNDV.
- Há espaço para que novos projetos de diesel verde se desenvolvam e com isso ampliem a oferta e a possibilidade de fixação da mistura obrigatória no patamar mais elevado.



Oportunidades e desafios para o diesel verde

Oportunidades

- **Combustível *drop-in*:** compatibilidade com frota e infraestrutura existente permite descarbonização imediata.
- **Sem limite de mistura:** pode ser utilizado puro ou em qualquer proporção com diesel fóssil.
- **Co-benefícios locais de qualidade do ar:** praticamente sem enxofre e com menor produção de fuligem e gases irritantes.
- **Características químicas:** poder calorífico próximo ao diesel e alto número de cetano contribuem para desempenho energético competitivo.

Propriedades	Diesel Verde ⁽¹⁾	Diesel ⁽²⁾	Biodiesel ⁽³⁾
Massa específica a 20°C	761,2 - 806,5	815,0 - 850,0	850 - 900
Viscosidade a 40° (cSt)	2,00 - 4,50	2,00 - 4,50	3,0 - 5,0
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	37 - 44 * ⁽⁴⁾	42,3 ⁽⁵⁾	37,68 ⁽⁵⁾
Número de cetano (-)	51	48	Anotar
Ponto de fulgor, mín (°C)	38	38	100
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.(°C)	-6	-11	-6

Nota: *Considerou-se o poder calorífico inferior do HVO para este indicador.
Fonte: ⁽¹⁾ ANP, 2021; ⁽²⁾ ANP, 2013; ⁽³⁾ ANP, 2023; ⁽⁴⁾ AATOLA et al., 2009; ⁽⁵⁾ BEN, 2025.

Desafios

- **Prêmio de preço elevado:** matérias-primas disputadas + processo intensivo em H₂ elevam o custo em comparação com o diesel fóssil.
- **Atenções técnicas:** baixa lubricidade exige aditivação.
- **Oferta e infraestrutura:** atualmente não há nenhuma usina dedicada em funcionamento no Brasil para garantir a oferta em escala.
- **Competição com SAF:** priorização de plantas/fonte de óleo para aviação reduz a oferta para o setor rodoviário.

Considerações finais

Cobertura das metas

Com os projetos anunciados, o Brasil atende integralmente as metas do ProBioQAV e CORSIA de operadores nacionais.

Há espaço para desenvolvimento de novos projetos para suprir demanda de operadores internacionais e exportação.

Papel do SAF

Essencial para reduzir emissões do setor aéreo e cumprir metas nacionais e internacionais de GEE.

Book & Claim

Reduz complexidade logística ao viabilizar o cumprimento de metas sem transporte físico do combustível.

Coprodução estratégica

Rotas de SAF geram diesel verde (e frações leves), contribuindo para a política de mistura do PNDV.

Descarbonização do transporte de carga

Diesel verde é um combustível drop-in, sem limite de mistura. Em seu limite máximo no PNDV, pode evitar ~3 MtCO₂/ano.



BIOS



Agradecimentos

Agradecemos às instituições Acelen, BNDES, Conexão SAF, Energis8, Ministério de Minas e Energia, Petrobras e Refinaria Rio Grandense pelo fornecimento de informações, dados e contribuições técnicas que foram fundamentais para a elaboração deste estudo.

Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

