



## **Aviação Sustentável no Brasil e a Agenda 2030: O Papel Estratégico do SAF frente ao ODS 13**

**Ricardo Prado de Oliveira**

Centro Universitário Internacional (ricardopr3@gmail.com)

### **Resumo**

O presente estudo analisa a contribuição do Combustível Sustentável de Aviação (SAF) para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima, no contexto da Agenda 2030. A pesquisa destaca o potencial do Brasil em liderar a transição energética na aviação, aproveitando sua extensa disponibilidade de biomassa e sua experiência consolidada na produção de biocombustíveis. A metodologia baseou-se em uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, apoiada na revisão bibliográfica e análise documental de leis, estudos técnicos e políticas públicas relacionadas ao tema. Foram realizados levantamentos sobre os principais programas e iniciativas nacionais, como o ProBioQAV e a Lei do Combustível do Futuro, que estabelecem metas obrigatórias para o uso de SAF a partir de 2027. Os resultados mostram que o desenvolvimento tecnológico e regulatório brasileiro está alinhado às metas internacionais de descarbonização e reforça seu compromisso com o Acordo de Paris. Conclui-se que o Brasil apresenta vantagens competitivas para se tornar referência global na produção e uso de SAF, contribuindo de forma efetiva para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e para o fortalecimento da sustentabilidade na aviação civil.

**Palavras-chave:** Combustível Sustentável de Aviação, SAF, Descarbonização, ODS 13.

### **Abstract**

This study analyzes the contribution of Sustainable Aviation Fuel (SAF) to reducing greenhouse gas (GHG) emissions and meeting Sustainable Development Goal (SDG) 13 – Climate Action, in the context of the 2030 Agenda. The research highlights Brazil's potential to lead the energy transition in aviation, taking advantage of its extensive



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

availability of biomass and its consolidated experience in the production of biofuels. The methodology was based on a qualitative, exploratory, and descriptive approach, supported by a literature review and documentary analysis of laws, technical studies, and public policies related to the topic. Surveys were conducted on the main national programs and initiatives, such as ProBioQAV and the Fuel of the Future Law, which establish mandatory targets for the use of SAF from 2027 onwards. The results show that Brazilian technological and regulatory development is aligned with international decarbonization targets and reinforces its commitment to the Paris Agreement. It is concluded that Brazil has competitive advantages to become a global reference in the production and use of SAF, effectively contributing to the reduction of CO<sub>2</sub> emissions and the strengthening of sustainability in civil aviation.

**Keywords:** Sustainable Aviation Fuel, SAF, Decarbonization, SDG 13.

### Resumen

El presente estudio analiza la contribución del combustible sostenible para la aviación (SAF) a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13 - Acción contra el cambio climático, en el contexto de la Agenda 2030. La investigación destaca el potencial de Brasil para liderar la transición energética en la aviación, aprovechando su amplia disponibilidad de biomasa y su consolidada experiencia en la producción de biocombustibles. La metodología se basó en un enfoque cualitativo, exploratorio y descriptivo, respaldado por la revisión bibliográfica y el análisis documental de leyes, estudios técnicos y políticas públicas relacionadas con el tema. Se realizaron encuestas sobre los principales programas e iniciativas nacionales, como el ProBioQAV y la Lei del Combustible del Futuro, que establecen objetivos obligatorios para el uso de SAF a partir de 2027. Los resultados muestran que el desarrollo tecnológico y normativo brasileño está en consonancia con los objetivos internacionales de descarbonización y refuerza su compromiso con el Acuerdo de París. Se concluye que Brasil presenta ventajas competitivas para convertirse en una referencia mundial en la producción y el



uso de SAF, contribuyendo de manera efectiva a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y al fortalecimiento de la sostenibilidad en la aviación civil.

**Palabras clave:** Combustible Sostenible de Aviación, SAF, Descarbonización, ODS 13.

## 1. INTRODUÇÃO

A aviação civil é reconhecida como um dos setores mais complexos de descarbonizar, sendo responsável por aproximadamente 2% a 3% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Kistler, 2025). Essa participação tende a crescer diante da expansão da demanda por transporte aéreo, o que pressiona o setor a buscar soluções compatíveis com os compromissos climáticos assumidos no âmbito do Acordo de Paris e da Agenda 2030 (EPE, 2024b). Nesse cenário, o *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) surge como a alternativa tecnológica mais promissora para mitigar emissões no curto e médio prazo, podendo reduzir até 80% das emissões no ciclo de vida em comparação ao querosene fóssil (ATAG, 2023). A transição energética na aviação, portanto, representa um eixo estratégico para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima, sendo crucial compreender seu potencial real e seus limites no contexto de países emergentes (Kistler, 2025).

O Brasil destaca-se nesse debate por reunir condições particularmente favoráveis à produção e uso do SAF, como a abundância de biomassa (CDESS, 2023), a experiência consolidada em bioenergia e a existência de políticas públicas emergentes, a exemplo do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV) e da recém-aprovada Lei do Combustível do Futuro (Brasil, 2024). Esta lei estabelece um mandato obrigatório de uso de SAF a partir de 2027. Entretanto, apesar dessas iniciativas, ainda há lacunas significativas na literatura quanto à integração entre políticas energéticas, viabilidade econômica, infraestrutura de produção e os impactos regulatórios e ambientais associados ao SAF no Brasil (Pelluso, 2025). A ausência de análises que conectem diretamente a expansão do combustível sustentável de aviação com o ODS 13 limita a compreensão do papel estratégico do país no cumprimento de suas metas de neutralidade climática até 2050 (Fernandes, 2025).

Considerando o cenário atual, esta revisão bibliográfica se propõe a sintetizar e ponderar as evidências relativas à expansão e aceitação dos SAFs no contexto brasileiro. O estudo busca, especificamente, mensurar a capacidade dessa transição de reduzir as emissões de GEE de forma significativa e de apoiar a concretização do ODS 13. Parte-se da hipótese de que apesar de o Brasil ter vantagens competitivas para comandar a produção global de SAF, isso só será concretizado mediante a garantia de incentivos nas áreas de regulamentação e tributação, a destinação de recursos para a tecnologia e a integração às cadeias produtivas internacionais de aviação.

A importância desta pesquisa é estabelecida pela crise climática emergencial e pela demanda por subsídios a estratégias de mercado e a ações governamentais que estejam em consonância com a Agenda 2030. Além disso, o estudo visa fortalecer a posição do Brasil como um ator central no campo da bioenergia limpa e da inovação sustentável.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Conceito e características do *Sustainable Aviation Fuel* (SAF)**

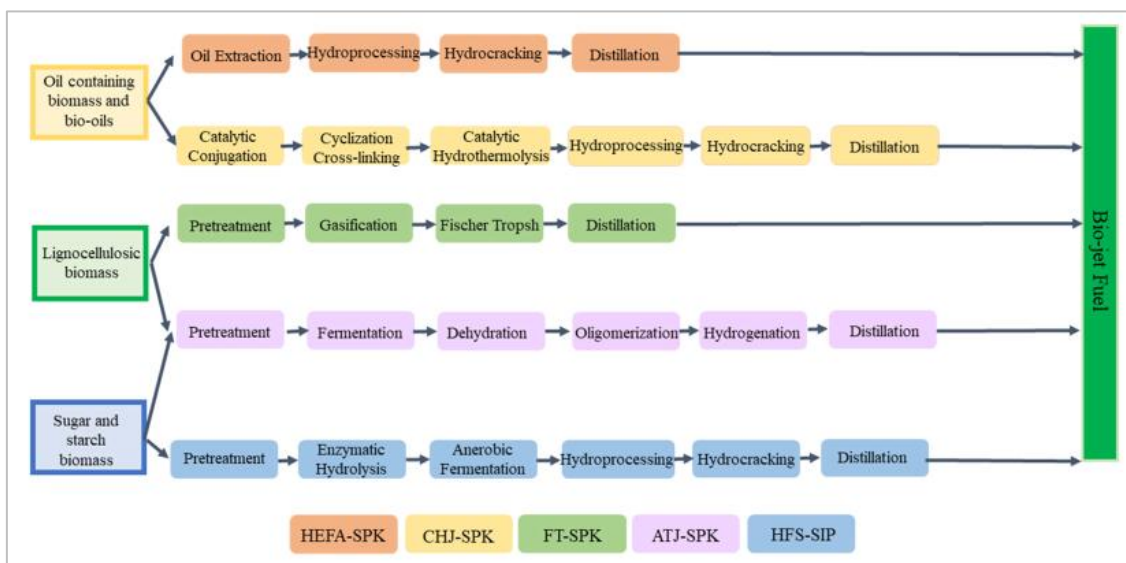
O Combustível Sustentável de Aviação (SAF, do inglês *Sustainable Aviation Fuel*) é um biocombustível derivado de fontes alternativas que possui o objetivo principal de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao longo de seu ciclo de vida, em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais (MME, 2022).

Ao contrário dos combustíveis fósseis que liberam carbono armazenado, o SAF é produzido a partir de biomassa, como óleo de cozinha e gordura animal residual, resíduos agrícolas ou florestais, o que permite que o CO<sub>2</sub> emitido durante o voo seja reabsorvido pela biomassa utilizada em sua produção (Estevo; Thomaz; Gondim, 2024).

A Figura 1 destaca as cinco principais rotas de produção de SAF certificadas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) são: Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (HEFA-SPK), que utiliza bio-óleos; Fischer-Tropsch (FT-SPK), que converte biomassa lignocelulósica em querosene parafínico sintético; Álcool para Jato (ATJ-SPK), que usa bioetanol ou outros álcoois como matéria-prima; Hidrotermólise Catalítica (CHJ-SPK), que também processa bio-óleos; e Iso-parafinas Sintéticas de

Açúcares Fermentados e Hidroprocessados (HFS-SIP), que converte açúcares de biomassa em combustível (Watson et al., 2024).

Figura 1. Principais etapas do processo e categorias de matérias-primas para as rotas de cinco tecnologias, diferenciadas por cores, certificadas pela ASTM.



Fonte: Watson et al. (2024)

A rota HEFA é considerada a de maior potencial para produção em larga escala global, devido à consolidação do mercado e custos tecnológicos mais baixos. A aplicação de SAF é a alternativa mais promissora para reduzir significativamente as emissões na aviação, e representando 65% dos esforços para alcançar a neutralidade de carbono no setor até 2050 (Estevo; Thomaz; Gondim, 2024).

Na aviação, esses combustíveis são projetados para serem "drop-in", ou seja, podem ser misturados com o querosene de aviação convencional (JET A/A-1) em proporções de até 50% ou 10% dependendo da rota. Não há necessidade de modificações substanciais nas estruturas das aeronaves ou na infraestrutura existente de abastecimento, após certificação técnica rigorosa (MME, 2022).

O SAF destaca-se pela sua compatibilidade com a infraestrutura e aeronaves existentes, sem a necessidade de adaptações, e pelo potencial de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em até 80% ao longo do ciclo de vida (ATAG, 2023).

## 2.2 Contextualização da aviação e emissões globais.

A indústria da aviação é um pilar essencial da sociedade moderna, conectando economias e viabilizando um estilo de vida globalmente interligado, sendo classificada como a 17ª maior economia mundial em termos de PIB, contribuindo com USD 961,3 bilhões anuais (ATAG, 2021). No entanto, é amplamente reconhecida como um setor de difícil descarbonização, devido à sua forte dependência de combustíveis fósseis e a uma infraestrutura que desafia a renovação de frota (Gota et al., 2019).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás de efeito estufa emitido pela combustão do querosene de aviação (QAV), embora emissões não relacionadas ao CO<sub>2</sub> também impactem o clima (Gota et al., 2019). Atualmente, a aviação é responsável por 2,5% das emissões globais de CO<sub>2</sub> antropogênicas e tem um impacto de 1,9% no aquecimento global. (RITCHIE e ROSER, 2020; IPCC, 2022). As emissões deste setor têm crescido consistentemente a uma taxa de aproximadamente 2,5% ao ano nas últimas duas décadas, acelerando para cerca de 4% ao ano entre 2010 e 2018. Este crescimento contínuo posiciona a aviação como um dos principais responsáveis pelo aumento das emissões globais de GEE (Ritchie e Roser, 2020; IPCC, 2022).

Figura 2. Linha do Tempo de SAF



Fonte: Estevo; Thomaz; Gondim (2024)

Diante desse cenário, a indústria da aviação enfrenta o desafio de equilibrar a crescente demanda por transporte aéreo com a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Bergero et al., 2023). Organizações como a *According to International Civil Aviation Organization* (AICO) e a *International Air Transport Association* (IATA) estabeleceram metas ambiciosas, incluindo o compromisso de alcançar emissões líquidas zero até 2050, em linha com o Acordo de Paris (Bergero et al., 2023).

Embora as aeronaves modernas sejam significativamente mais eficientes e consumindo cerca de 80% menos combustível por passageiro por quilômetro do que nos anos 1960, (ICAO *Secretariat*, 2019) as projeções indicam que a taxa máxima de redução no consumo de combustível para novas aeronaves provavelmente não excederá 1,3% ao ano. Isso está aquém da meta aspiracional da ICAO que estipulou o percentual de 2%. (IPCC, 2022)

### **2.3 Relevância do SAF no cenário internacional.**

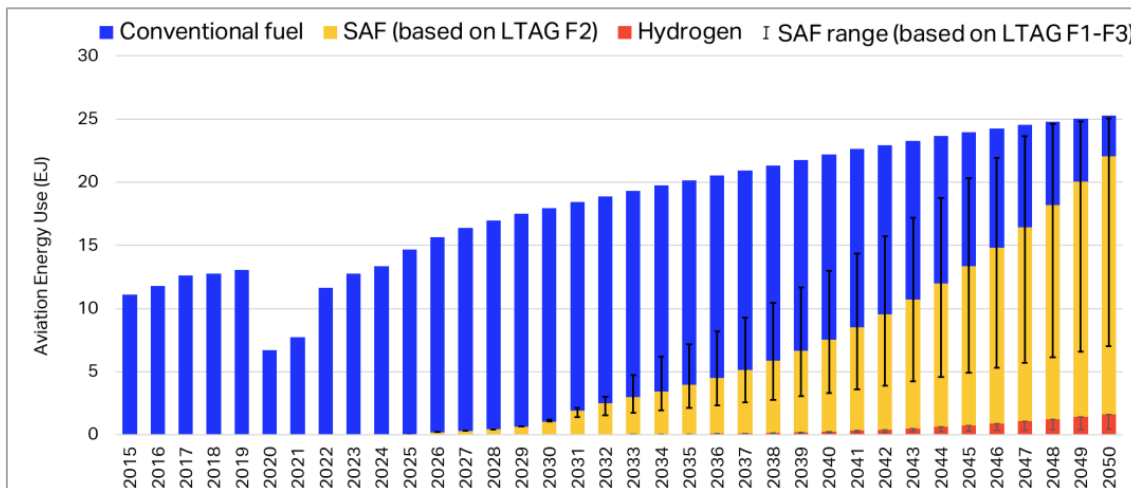
Com a previsão de que o transporte de passageiros na aviação continue a crescer aproximadamente 4% ao ano, enquanto outros setores buscam a descarbonização, a necessidade de reduzir o impacto climático da aviação é imperativa. Nesse contexto, o SAF emerge como uma medida técnica crucial para a descarbonização (Grewe, 2021).

A relevância do SAF reside na sua capacidade de reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> e de mitigar os impactos climático. No entanto, a sua adoção enfrenta grandes desafios. Os custos são consideravelmente mais elevados em comparação com os combustíveis fósseis convencionais, o que impacta a rentabilidade das companhias aéreas (Grewe, 2021).

A indústria da aviação, ciente de sua pegada de carbono, estabeleceu a ambiciosa meta de alcançar zero emissões líquidas de carbono até 2050. Nesse cenário de transição energética global, o SAF é a solução predominante esperada para viabilizar a vasta maioria da descarbonização na aviação civil, antecipando o amadurecimento de outras tecnologias de propulsão (IATA, 2023).

No entanto, a realidade atual é desafiadora: em 2022, a produção de SAF representou menos de 0,1% do consumo global de combustível de aviação, enquanto a demanda por combustível de aviação está projetada para mais que dobrar até 2050 (IATA, 2023).

Figura 3. International Air Transport Association (IATA)



Fonte: IATA, 2023

Nesse contexto, o SAF é duas a cinco vezes mais caro que o querosene de aviação, e o mercado internacional ainda é incipiente, com poucos produtores em localizações específicas. Isso gera fragmentação e restrições de oferta que freiam a transição energética e podem até favorecer os combustíveis fósseis (IATA, 2023).

Apesar de existir sete tecnologias de produção aprovadas pela ASTM, e seja fisicamente possível suprir 100% da demanda com SAF até 2050, resultando numa redução de 63% nas emissões, isso exige investimentos de capital extremamente elevados e apoio político substancial (Abrantes et al., 2021).

As avaliações indicam que as ambiciosas metas da IATA de crescimento neutro em carbono a partir de 2020 e uma redução de 50% nas emissões líquidas até 2050, em comparação com os níveis de 2005, não podem ser alcançadas apenas com a ação combinada de tecnologias aeronáuticas iminentes e combustíveis alternativos (Abrantes et al., 2021).

No entanto, o crescimento neutro em carbono só é atingido quando se considera um cenário de maior introdução de SAF, com um aumento anual de 15% entre 2030 e 2050, o que permitiria iniciar esse crescimento neutro em carbono a partir de 2040 (Abrantes et al., 2021).



Assim, o SAF é indispensável para os objetivos de descarbonização da aviação e para o cumprimento das metas do Acordo de Paris, mas a sua eficácia depende de uma implementação em larga escala e da consideração dos seus múltiplos impactos climáticos (Grewe, 2021).

#### **2.4 Situação brasileira: potencial e desafios.**

A situação brasileira para o SAF apresenta um potencial notável para se tornar um líder global na transição energética. Isto devido a sua vasta experiência na produção de biocombustíveis e pela abundância de matérias-primas renováveis, o que pode resultar em uma intensidade de carbono mais baixa em comparação com outros países (EPE, 2024b).

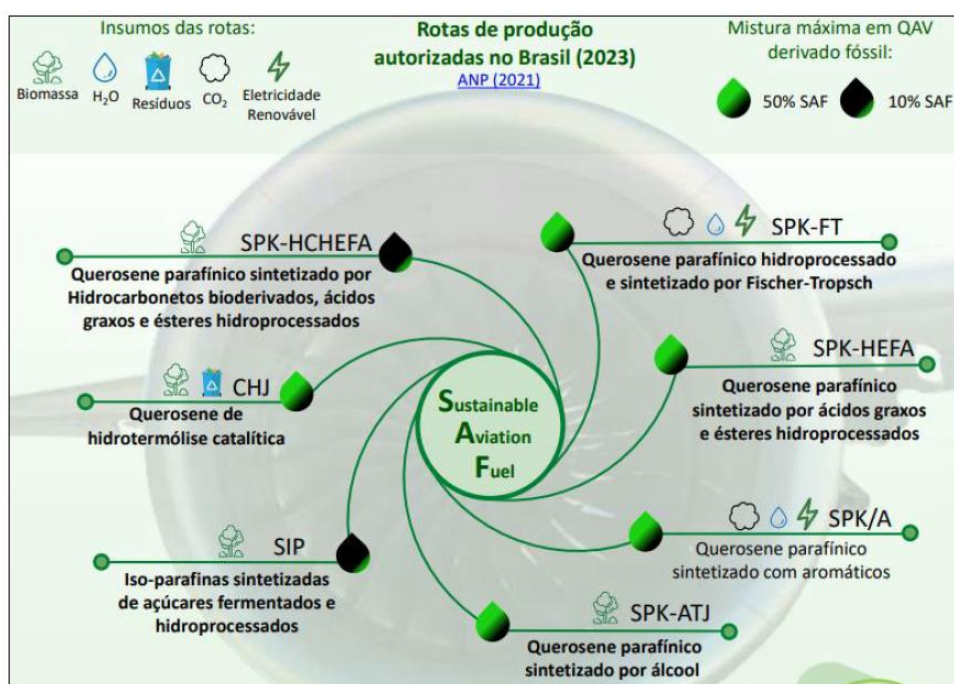
O país produz uma diversidade de matérias-primas potenciais para produção do SAF, incluindo oleaginosas (soja), açúcares e amidos (cana-de-açúcar, milho), biomassa lignocelulósica, e o aproveitamento de resíduos orgânicos como sebo bovino e resíduos da cana e do eucalipto. Estes insumos se mostram atrativos pelo baixo custo e pela reduzida intensidade de carbono, com potencial para atender até 82% das metas de redução de emissões até 2037 (EPE, 2024b).

O setor de aviação brasileira é desafiador para descarbonizar. Com a crescente demanda por querosene de aviação, as emissões de GEE continuam a crescer. Os desafios incluem a complexidade das rotas tecnológicas: as rotas HEFA e HC-HEFA são intensivas em hidrogênio e enfrentam desafios logísticos para óleos e gorduras residuais, a rota CHJ demanda elevado uso de água, as rotas SPK-FT e SPK/A possuem baixa viabilidade econômica em pequenas escalas, e a rota ATJ sofre com a competição por matéria-prima, já que os bio-álcoois têm um mercado estabelecido no transporte rodoviário (EPE, 2024b).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio da publicação da Resolução ANP nº 856, de 22 de outubro de 2021, estabeleceu as especificações do querosene de aviação JET A e JET A-1, dos querosenes de aviação alternativos e do querosene de aviação C (JET C), bem como as obrigações quanto ao

controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializam esses produtos em território nacional. A Figura 3 ilustra as rotas de produção de SAF no Brasil autorizadas pela ANP (ANP, 2021).

Figura 3. Rotas de produção autorizadas no Brasil (2023)



Fonte: ANP (2024)

É crucial adotar uma perspectiva integrada para otimizar os esforços de descarbonização, considerando a competição por recursos como terras, matérias-primas e financiamento com outras indústrias (EPE, 2024b).

No dia 8 de outubro de 2024 foi publicada no Brasil a Lei nº 14.993, também conhecida como Lei do Combustível do Futuro. Este dispositivo jurídico tem como objetivo fomentar a mobilidade sustentável de baixo carbono. Esta legislação busca potencializar o cenário nacional de oferta de fontes energéticas renováveis e de baixo carbono, promovendo a redução das emissões de GEE no ciclo de vida dos combustíveis, especialmente no setor de transporte. (Brasil, 2024).

Entre seus objetivos estão a manutenção do reconhecimento da liderança do Brasil no tema da Transição Energética nos Diálogos das Nações Unidas sobre Energia e o

cumprimento das diretrizes de uma Estratégia Nacional para Neutralidade Climática, em consonância com os compromissos internacionais assumidos no âmbito do Acordo de Paris e da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Além disso, a lei visa o fomento do desenvolvimento tecnológico nacional, aproveitando economicamente os insumos disponíveis, o conhecimento científico e a prática da aplicação do biocombustível no país (Brasil, 2024).

Dentro do escopo da Lei do Combustível do Futuro, está o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV). O Programa visa incentivar, na matriz energética brasileira, a pesquisa, produção, comercialização e uso de SAF em substituição ao querosene fóssil, contribuindo para a descarbonização do setor aéreo. Para isso, a ANP define, por rota tecnológica, os valores de emissões totais equivalentes no ciclo “do poço à queima” e adota diretrizes de reconhecimento do papel do SAF no cumprimento de compromissos internacionais e de alinhamento metodológico à *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Estabelece ainda diretrizes de otimização logística e de mercado para distribuição e uso do SAF. O ProBioQAV estabelece metas anuais de redução de GEE no mercado de SAF, começando com um mínimo de 1% em 2027 e projetando alcançar 10% até 2037. (Brasil, 2024).

Tabela 1. Percentual mínimo de redução de emissões de GEE por uso de SAF em operações domésticas

| Ano                                     | 2027 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Percentual mínimo de redução de GEE (%) | 1%   | 2%   | 3%   | 4%   | 5%   | 6%   | 7%   | 8%   | 9%   | 10%  |

Fonte: Brasil (2024)

No cenário de produção de SAF, devido à sua longa experiência na produção de biocombustíveis e à abundância de recursos renováveis, o Brasil tem um grande potencial para se tornar um líder de mercado. Projetos em andamento, tanto em fase de estudo quanto de desenvolvimento, apontam para um futuro aumento da capacidade de produção de SAF no país. Destacam-se, nesse sentido, as iniciativas lideradas pela Petrobras. (FIRJAN, 2025).

Tabela 2. Principais Projetos de Biorrefinarias e Produção de Combustíveis Renováveis no Brasil

| Empresa         | Estado | Projeto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brasil BioFuels | AM     | A Brasil BioFuels (BFF) está em processo de desenvolvimento de uma biorrefinaria com capacidade de produzir 500 milhões de litros por ano de SAF e diesel verde (HVO), utilizando óleos de palma, soja e milho como matérias-primas. A previsão é que a operação comece em 2026.                                                                                                     |
| Petrobras       | RJ     | O Complexo de Energias Boaventura receberá um investimento em uma planta de biorrefino em Itaboraí, que será construída em uma área adjacente ao projeto integrado Rota 3, para produzir combustíveis sustentáveis.                                                                                                                                                                  |
| Petrobras       | RJ     | Na Refinaria Duque de Caxias (REDUC), a Petrobras está realizando testes de coprocessamento de querosene de aviação (QAV) com 1% de conteúdo renovável, como parte de uma expansão, com expectativa de lançamento comercial em 2025.                                                                                                                                                 |
| Petrobras       | SP     | Na Refinaria Presidente Bernardes (RPBC), a Petrobras está planejando a instalação de uma nova unidade de produção de SAF e diesel verde, com início previsto para 2029. A capacidade de produção da planta é estimada em 350 milhões de litros de SAF por ano, utilizando uma mistura de óleo de soja e sebo bovino como matéria-prima, na proporção de 70% e 30%, respectivamente. |
| Petrobras       | SP     | Na Refinaria de Paulínia (REPLAN), a Petrobras está planejando a instalação de uma planta de produção de SAF a partir do etanol, utilizando a tecnologia de conversão <i>alcohol to jet</i> (ATJ). A planta terá uma capacidade de produção diária de 10 mil barris de SAF, necessitando de um consumo diário de álcool de 3 milhões a 4 milhões de litros.                          |



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

| Empresa               | Estado | Projeto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Refinaria de Mataripe | BA     | A Acelen Renováveis pretende construir uma biorrefinaria anexa à Refinaria de Mataripe, com o objetivo de produzir 1 bilhão de litros por ano de diesel verde (HVO) e SAF, a partir de 2028. A empresa está apostando na diversificação das matérias-primas, com um destaque especial para a macaúba, uma palmeira brasileira que pode ser uma opção sustentável para substituir o óleo de soja. |

Fonte: Adaptado de FIRJAN, 2025.

O Brasil tem um potencial para se tornar um modelo global na produção de SAF. Para isto é necessário políticas públicas adequadas, incentivos regulatórios, presença abundante de biomassa, inovação tecnológica e investimentos estratégicos. Essas mudanças ajudarão a criar um setor aéreo mais sustentável, competitivo e compatível com as metas internacionais de redução de emissões de carbono.

### 2.5 O Acordo de Paris e o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 13 (ODS 13)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma série de 17 objetivos globais que foram estabelecidos em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU), servindo como uma atualização e substituição dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), e incorporando aspectos cruciais de sustentabilidade em seu teor. Esses objetivos são a base da Agenda 2030 da ONU, com prazo de cumprimento previsto para o ano de 2030. (Mizasse, 2023).

Entre os 17 objetivos, o ODS 13 tem como foco a tomada de medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos. Isso inclui o reforço da resiliência e capacidade de adaptação a riscos climáticos, a integração de medidas de mudança do clima nas políticas e planejamentos nacionais, e a melhoria da educação e conscientização sobre mitigação, adaptação e alerta precoce (Mizasse, 2023).

A agenda internacional que culminou no ODS 13 foi construída a partir de importantes marcos globais. A Conferência de Estocolmo (1972) inaugurou a discussão ambiental no cenário internacional, estabelecendo a necessidade de cooperação entre os países. Em seguida, a Rio-92 consolidou esse debate com a criação da Agenda 21 e da Convenção-

Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que estruturou juridicamente os compromissos ambientais. (Mizasse, 2023).

O Protocolo de Quioto (1997) representou o primeiro tratado vinculante para a redução de gases de efeito estufa, ainda que limitado em alcance. Por fim, o Acordo de Paris (2015) redefiniu a cooperação internacional ao envolver praticamente todos os países em compromissos de mitigação, adaptação e financiamento climático, fornecendo as bases diretas para a formulação do ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima. (Mizasse, 2023).

A UNFCCC constitui o principal espaço internacional e intergovernamental dedicado à negociação de soluções globais para enfrentar as mudanças climáticas. Nesse contexto, a ONU expressou sua preocupação com a disparidade entre o impacto cumulativo dos compromissos de mitigação assumidos pelos países e as trajetórias de emissões globais. Tais medidas são necessárias para garantir uma probabilidade consistente de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2°C ou 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais (ANTP, 2024).

De acordo com a ONU (2015), a ODS 13, "Ação contra a mudança global do clima", estabelece a necessidade de medidas urgentes para combater os impactos das alterações climáticas. Suas metas incluem fortalecer a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos climáticos, integrar a pauta do clima em políticas e planejamentos nacionais, e melhorar a educação e a conscientização sobre o tema. Além disso, a ODS 13 visa cumprir compromissos financeiros de países desenvolvidos para auxiliar na mitigação e adaptação nos países em desenvolvimento, e promover a capacitação para o planejamento climático, especialmente em nações menos desenvolvidas.

Assim, compreender a trajetória e os objetivos do ODS 13 é essencial para analisar como a adoção e a expansão do SAF no Brasil podem efetivamente se relacionar com a ação climática global, contribuindo para o alcance das metas da Agenda 2030.

### **3. MÉTODO**

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, adequada à análise de um fenômeno ainda em consolidação no contexto nacional: a adoção e expansão do SAF e sua relação com o cumprimento do ODS 13.

A natureza da pesquisa qualitativa busca o estudo e a análise do mundo empírico em seu ambiente natural, tendo como preocupação essencial a compreensão do processo e, sobretudo, o significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida. Diferentemente de abordagens que reduzem a realidade a variáveis, esta metodologia valoriza o contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação estudada. (Godoy, 1995)

O caráter exploratório justifica-se pela necessidade de levantar informações e construir um panorama sobre o tema, considerando a escassez de estudos consolidados na literatura brasileira (GIL, 2019. p. 27).

O escopo da pesquisa está focado na interconexão entre as iniciativas para os Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil e as metas da ODS 13, que abordam a ação contra a mudança global do clima.

A metodologia de pesquisa está pautada na revisão bibliográfica e na análise documental. Na primeira etapa, a pesquisa bibliográfica foi conduzida para fundamentar teoricamente a investigação, por meio da consulta a fontes secundárias, como livros, artigos científicos, dissertações e teses.

O objetivo foi reunir e sintetizar o conhecimento existente sobre o tema, identificando conceitos, teorias e estudos relevantes que serviram de base para a construção dos argumentos e para a interpretação dos resultados.

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica consiste na possibilidade de proporcionar ao pesquisador a abrangência de uma gama significativamente mais ampla de fenômenos em comparação àqueles que poderiam ser investigados de forma direta (Gil, 2002, p. 48).

A análise documental foi empregada para examinar documentos oficiais, como relatórios, leis, decretos e comunicados de agências governamentais, que abordam as políticas públicas e regulamentações relacionadas ao tema da pesquisa. Essa etapa permitiu obter

dados e informações primárias que complementaram a revisão bibliográfica, oferecendo uma visão aprofundada das ações e diretrizes oficiais.

A combinação desses dois métodos assegurou a triangulação das informações, fortalecendo a validade dos achados e permitindo uma análise abrangente e crítica do objeto de estudo.

A revisão bibliográfica foi realizada através de uma busca sistemática em bases de dados da Web of Science, utilizando as palavras-chave e considerando os seguintes descritores: (“bio kerosene” OR “biojet” OR “BioQAV” OR “Sustainable Aviation Fuel” OR “SAF”) AND (“ODS 13”).

Dessa forma, a combinação da abordagem qualitativa, exploratória e descritiva com os procedimentos de revisão bibliográfica e análise documental assegura um exame aprofundado do tema. A metodologia aqui apresentada garante a solidez teórica e a validade dos dados, fornecendo a base necessária para a discussão dos resultados e a elaboração das conclusões e recomendações estratégicas deste estudo.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A aviação comercial é amplamente considerada um dos segmentos mais difíceis de submeter a um processo de descarbonização. Atualmente, ela é responsável por uma parcela que varia entre 2% e 3% do total mundial de emissões de CO<sub>2</sub> (Kistler, 2025). Essa participação tende a crescer diante da expansão da demanda por transporte aéreo, o que pressiona o setor a buscar soluções compatíveis com os compromissos climáticos assumidos no âmbito do Acordo de Paris e da Agenda 2030 (EPE, 2024a). Nesse cenário, o *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) surge como a alternativa tecnológica mais promissora para mitigar emissões no curto e médio prazo, podendo reduzir até 80% das emissões no ciclo de vida em comparação ao querosene fóssil (ATAG, 2023).

A transição energética na aviação, portanto, representa um eixo estratégico para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima, sendo crucial compreender seu potencial real e seus limites no contexto de países emergentes (Kistler, 2025).



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

O Brasil destaca-se nesse debate por reunir condições particularmente favoráveis à produção e uso do SAF, como a abundância de biomassa (CDESS, 2023), a experiência consolidada em bioenergia e a existência de políticas públicas emergentes, a exemplo do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV) e da recém-aprovada Lei do Combustível do Futuro (Brasil, 2024).

Existe uma obrigatoriedade legal para a utilização do SAF, que deve começar em 2027. Contudo, apesar dessa medida, permanecem lacunas importantes nos estudos acadêmicos sobre como harmonizar a viabilidade econômica e a infraestrutura de produção do SAF com as políticas energéticas e como dimensionar seus impactos regulatórios e ambientais no contexto brasileiro (Pelluso, 2025).

A ausência de análises que conectem diretamente a expansão do combustível sustentável de aviação com o ODS 13 limita a compreensão do papel estratégico do país no cumprimento de suas metas de neutralidade climática até 2050 (Fernandes, 2025).

A análise dos resultados evidencia que a adoção do Combustível Sustentável de Aviação (SAF) representa um diferencial significativo para a descarbonização do setor aéreo brasileiro, quando comparada às tendências globais. Enquanto a produção mundial de SAF ainda representa menos de 0,1% do consumo total de combustível de aviação (IATA, 2023), o Brasil avança em ritmo promissor com a implementação de políticas públicas robustas, como a Lei nº 14.993/2024, que estabelece metas progressivas de redução de emissões de até 10% em 2037.

Indicadores da EPE (2024b) apontam que o país poderia atender até 82% das metas de redução de emissões até 2037, graças à disponibilidade de matérias-primas de baixo custo e menor intensidade de carbono. Esse desempenho coloca o Brasil em posição estratégica frente a outras economias emergentes, com potencial para alcançar reduções de CO<sub>2</sub> em até 80% ao longo do ciclo de vida do combustível, conforme estudos da ATAG (2023). Assim, observa-se que o avanço brasileiro na aplicação do SAF não apenas supera a média global de adoção, mas também reforça a integração entre inovação tecnológica,

sustentabilidade e cumprimento das metas climáticas previstas no Acordo de Paris e no ODS 13.

Diante desse panorama, esta revisão bibliográfica busca sintetizar e analisar criticamente as evidências existentes sobre a adoção e expansão do SAF no Brasil, avaliando de que forma essa transição pode contribuir efetivamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e o cumprimento do ODS 13. Parte-se da hipótese de que o Brasil possui vantagens competitivas para liderar a produção de SAF em escala global, mas que sua consolidação depende de incentivos regulatórios e fiscais, investimentos tecnológicos e integração com cadeias internacionais de aviação sustentável.

A pesquisa justifica-se pela urgência climática e pela necessidade de apoiar políticas públicas e estratégias industriais alinhadas à Agenda 2030, além de reforçar o papel do país como protagonista em bioenergia limpa e inovação sustentável.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As evidências reunidas nesta pesquisa demonstram que o Brasil tem avançado de forma consistente na construção de políticas e iniciativas voltadas à redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), especialmente na aviação civil, a partir da adoção do Combustível Sustentável de Aviação (SAF). A combinação de fatores como a abundância de biomassa, a experiência consolidada em biocombustíveis e o desenvolvimento de programas estratégicos – como o ProBioQAV, instituído pela Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro) – indica que o país está pavimentando uma rota sólida para a transição energética de baixo carbono.

A implementação de projetos de biorrefinarias pela Petrobras e por outras empresas nacionais reforça a capacidade instalada para ampliar a produção de SAF em escala industrial, além de posicionar o Brasil como referência global na descarbonização do setor aéreo. Tais avanços representam não apenas ganhos tecnológicos e ambientais, mas também uma oportunidade para consolidar o protagonismo brasileiro na economia da bioenergia limpa.

Nesse contexto, observa-se que o país está alinhado aos compromissos firmados no Acordo de Paris (2015) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda

2030, em especial o ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima. O Brasil tem se comprometido com uma trajetória de neutralidade climática até 2050, reforçando metas progressivas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

A introdução obrigatória do uso de SAF nas operações domésticas a partir de 2027, com percentuais crescentes até atingir 10% em 2037, reflete uma política pública coerente com esse compromisso internacional. Assim, conclui-se que o avanço na aplicação do SAF simboliza uma mudança estrutural no modelo de transporte aéreo, contribuindo diretamente para a mitigação das emissões e para o fortalecimento da imagem do Brasil como líder regional e global na sustentabilidade energética e na ação climática.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, Ivo et al. Sustainable aviation fuels and imminent technologies-CO2 emissions evolution towards 2050. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127937, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127937>

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF): novos desafios para a regulação**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2024/combustiveis-sustentaveis-de-aviacao-saf-novos-desafios-para-a-regulacao>. Acesso em: 1 set. 2025.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP Nº 856, de 22 de outubro de 2021**. [S. l.], 22 out. 2021. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-856-2021>. Acesso em: 16 set. 2025.

ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos. Rotas Tecnológicas de Descarbonização do Transporte Coletivo no Brasil. 2024. Disponível em: <https://files.antp.org.br/2024/7/22/caderno-tecnico-29--rotas-tecnologidas-de-descarbonizacao-para-transporte-publico.pdf>. Acesso em: 16 set. 2025.



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

ATAG. “Beginner’s Guide to Sustainable Aviation Fuel 2”. 4 2023. Disponível em: <[www.aviationbenefits.org](http://www.aviationbenefits.org)>. Acesso em: 29 de out. de 2025.

ATAG. Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century. Relatório técnico. 2021. Disponível em: <[https://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2020/09/W2050\\_FULL.pdf](https://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2020/09/W2050_FULL.pdf)>. Acesso em: 29 de ago. de 2025.

BERGERO, C., GOSNELL, G., GIELEN, D., et al. “Pathways to net-zero emissions from aviation”, **Nature Sustainability**, v. 6, pp. 404–414, 4 2023. ISSN: 23989629. doi:10.1038/s41893-022-01046-9.

BRASIL. Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 9 out. 2024.

CDESS. Conselho de Desenvolvimento Econômico Social Sustentável. Propostas de políticas públicas para SAF. 2023. Disponível em: [https://cdess.gov.br/app/2023/pdf/gt1\\_apoio\\_propostas\\_saf.pdf](https://cdess.gov.br/app/2023/pdf/gt1_apoio_propostas_saf.pdf). Acesso em: 1 set. 2025. Acesso em: 20 de ago. de 2025.

EPE. Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil – Perspectivas Futuras. Relatório técnico, Empresa de Pesquisa Energética, 2024a. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-839/CA-EPE-DPG-SDB-2024-02\\_Combust%C3%ADveis\\_Sustent%C3%A1veis\\_Avia%C3%A7%C3%A3o\\_Brasil.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-839/CA-EPE-DPG-SDB-2024-02_Combust%C3%ADveis_Sustent%C3%A1veis_Avia%C3%A7%C3%A3o_Brasil.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2025.



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

EPE. Sumário executivo – Combustíveis sustentáveis de aviação no Brasil. 2024b. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-839/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20-%20Combust%C3%ADveis\\_Sustent%C3%A1veis\\_Avia%C3%A7%C3%A3o\\_Brasil\\_2024.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-839/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20-%20Combust%C3%ADveis_Sustent%C3%A1veis_Avia%C3%A7%C3%A3o_Brasil_2024.pdf). Acesso em: 17 out. 2025.

ESTEVO, Jorde dos Santos. THOMAZ, Laís Forti. GONDIM, Amanda Duarte. Aviação civil e sustentabilidade no brasil: o papel dos combustíveis sustentáveis de aviação (SAF). **Revista Brasileira de Transportes**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 20–55, 2024. DOI: 10.12660/rbt.v4n2.2024.91297. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rbt/article/view/91297>. Acesso em: 20 ago. 2025. Acesso em: 29 de out. de 2025.

FERNANDES, Roberto Mauro da Silva. Mitigação Climática: Agendas Globais, Tecnologias Verdes e Tecnologia Social Para o Brasil. **LUMEN ET VIRTUS**, [S. l.], v. 16, n. 46, p. 1956–1972, 2025. DOI: 10.56238/levv16n46-027. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/3730>. Acesso em: 21 ago. 2025.

FIRJAN. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Panorama dos Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF). Rio de Janeiro. 2025. Disponível em: <https://observatorio.firjan.com.br/inteligencia-competitiva/panorama-dos-combustiveis-sustentaveis-de-aviacao-saf>>. Acesso em: 29 de ago. de 2025.

GIL, Antonio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 2, p. 57–63, 1995. Disponível em:



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

<https://www.scielo.br/j/rae/a/wf9CgwXVjpLpVgpnNkCgmnC/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 19 out. 2025.

GOTA, S., HUIZENGA, C., PEET, K., et al. “Decarbonising transport to achieve Paris Agreement targets”, **Energy Efficiency**, v. 12, pp. 363–386, 2 2019. ISSN: 15706478. Doi:10.1007/s12053-018-9671-3.

GREWE, Volker et al. Evaluating the climate impact of aviation emission scenarios towards the Paris agreement including COVID-19 effects. **Nature communications**, v. 12, n. 1, p. 3841, 2021.

IATA, Unlocking geographical constraints on the global SAF market through a robust SAF accounting framework, 2023. Disponível em: <<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/iata---saf-accounting-benefits.pdf>>. Acesso em: 15 de ago. de 2025.

ICAO SECRETARIAT. Introduction to the ICAO Basket of Measures to Mitigate Climate Change. Relatório técnico, Montreal, Canada, 2019. Disponível em: <[https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019\\_pg111-115.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg111-115.pdf)>. Acesso em: 19 de ago. de 2025.

IPCC. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Mitigation of Climate Change. Place of publication, 2022. ISBN: 9789291691609. Disponível em: <[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)>. Acesso em: 15 de set. de 2025.

KISTLER, Amanda Seabra. Rastreamento e evidenciação de ações de descarbonização na produção de QAV utilizando blockchain. 2025. Tese (Doutorado em Engenharia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/71375/71375.PDF>. Acesso em: 25 set. 2025.



## Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

MIZASSE, Maria Carolina Mourthé. ODS 13 e a litigância climática como mecanismo de enfrentamento das mudanças climáticas. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2023. Disponível em: <<https://dspace.mackenzie.br/items/d099b205-44ef-4049-bb4b-f5b72dbc4323>>. Acesso em: 1 set. 2025.

MME. Ministério de Minas e Energia. Estudo Governança e Políticas Públicas de Incentivo à Produção de Combustível Sustentável de Aviação. Distrito Federal. 2022. Disponível em: <<https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2022/04/Governanca-e-Politicas-Publicas-para-SAF.pdf>>. Acesso em: 29 de ago. de 2025.

PELLUSO, Anderson Luiz Sila. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Implementação de Bioquerosene de Aviação para o Mercado de Aviação. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro. 2025. Disponível em: <<https://ppe.ufrj.br/wp-content/uploads/2025/06/Anderson-Luiz-Silva-Pelluso.pdf>>. Acesso em: 29 de ago. de 2025.

RITCHIE, H., ROSER, M. “CO2 emissions How much CO2 does the world emit? Which countries emit the most?”. 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-emissions>>. Acesso em: 14 de set. de 2025.

UNITED NATIONS. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [S.l.]: United Nations, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 31 ago. 2025.

WATSON, Madelynn J. et al. Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 449, p. 141472, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141472>