



national  
farmers  
union | union  
nationale  
des fermiers

# **Combustíveis Sustentáveis para Aviação: Uma Análise Crítica com Foco na Agricultura, na Terra e na Alimentação**

Um relatório da União Nacional de Agricultores  
(Canadá)

Escrito por Darrin Qualman

Novembro de 2024

**Excerto em português**

## Resumo

« Subestimamos a magnitude do problema energético para a aviação... Estamos trabalhando nisso e percebemos que é muito mais difícil do que imaginávamos. Estamos atrasados. Estamos na era das trevas em termos de sustentabilidade, em comparação com outros setores. »

—Phil Ansell, diretor do Centro para a Aviação Sustentável, Universidade de Illinois, 2024.<sup>1</sup>

Os Combustíveis Sustentáveis para Aviação (SAF – Sustainable Aviation Fuel, na versão oficial) são fontes de energia não fósseis de baixa emissão destinadas à frota aérea mundial. São apresentados como combustíveis “prontos para uso”, que não exigem modificações nas aeronaves ou nos motores. A proposta é que os SAF sejam produzidos principalmente a partir de fontes biológicas: milho, soja e canola atualmente e ao longo da próxima década, e depois, cada vez mais, a partir de palha e outros “resíduos agrícolas”, além de culturas energéticas específicas, como gramíneas e árvores de crescimento rápido (com uma pequena participação de resíduos florestais). Uma terceira fase foi sugerida: utilizar energias renováveis limpas para extrair hidrogênio da água e carbono do ar, combinando-os para produzir um combustível líquido. No entanto, esses chamados “eletrocombustíveis” ainda são altamente especulativos, e os custos elevados, juntamente com a enorme demanda energética, indicam que podem permanecer inviáveis.

Por que cidadãos e tomadores de decisão deveriam se preocupar com os SAF? Porque a escala massiva do projeto global de SAF tem um grande potencial de comprometer diversas metas fundamentais relacionadas à alimentação, ao clima, à descarbonização, à sustentabilidade e à justiça social. Ao mesmo tempo, esse megaprojeto pode fracassar em seu próprio objetivo declarado: reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o impacto climático de um setor da aviação que segue em rápida expansão.

Os cidadãos querem alimentos acessíveis e sistemas alimentares sustentáveis. Os agricultores buscam maximizar a captura de carbono nos solos e reduzir as emissões associadas ao uso de fertilizantes. Precisamos desenvolver fontes de energia renovável adequadas para descarbonizar o aquecimento residencial, o transporte e a indústria. No entanto, o projeto global de SAF pode nos afastar de todas essas metas: provavelmente aumentará os preços dos alimentos, reduzirá a sustentabilidade dos sistemas alimentares, desacelerará ou até reverterá a captura de carbono nos solos agrícolas, intensificará o uso de fertilizantes e as emissões agrícolas de GEE, além de impor demandas excessivas sobre os limitados recursos de energia limpa e renovável, retardando a redução de emissões em outros setores.

Se os governos continuarem incentivando e subsidiando esse megaprojeto, correm o risco de cair em uma “incoerência política”: adotar políticas que entram em contradição direta com outras metas sociais e ambientais. Os SAF buscam resolver um problema, mas criam muitos outros, e ainda mais graves.

## Combustíveis Sustentáveis para Aviação: Uma Análise Crítica

Mais importante ainda, cabe perguntar se esse megaprojeto dos SAF é sequer viável. Ele é real? Ou é apenas uma distração que atrasará a implementação de medidas mais eficazes de redução de emissões e desviará trilhões de dólares para investimentos equivocados, em detrimento de soluções melhores? Pior do que um megaprojeto global que encarece os alimentos e aumenta as emissões agrícolas para resolver um problema na aviação, seria um projeto que causa todos esses impactos negativos e ainda

---

1 Oliver Milman, “‘Magical Thinking’: Hopes for Sustainable Jet Fuel Not Realistic, Report Finds,” *The Guardian*, May 14, 2024, sec. Environment, <https://www.theguardian.com/environment/article/2024/may/14/sustainable-jet-fuel-report>.

assim falha em reduzir as emissões do setor aéreo. Esse último cenário é altamente provável. Diante dos limites planetários, dos recursos escassos, dos inevitáveis dilemas e da necessidade urgente de resolver múltiplas crises climáticas e de sustentabilidade ao mesmo tempo – a chamada policrise –, o projeto global de SAF, que pressupõe dobrar o volume de viagens aéreas, pode ser simplesmente inviável. No mínimo, essa proposta levanta tantas questões e afeta tantos outros setores da economia e da biosfera que qualquer tomador de decisão e qualquer cidadão deveria querer entender melhor seus impactos. Os “vinte pontos” a seguir explicam por que essa é uma questão tão crucial.

### **Aqui estão os vinte pontos para ajudá-lo a entender por que é essencial ler este relatório:**

1. O transporte aéreo deverá mais que dobrar até 2050, alcançando 22 trilhões de passageiros-quilômetros por ano. A Boeing e a Airbus preveem entregar 40.000 novas aeronaves até 2043. (Ver Capítulo 2)
2. Globalmente, os aviões de passageiros e de carga consomem atualmente 379 bilhões de litros (100 bilhões de galões) de combustível por ano. Até 2050, esse consumo chegará a dois terços de um trilhão de litros por ano (sem contar os combustíveis para aviões militares, que também são significativos). (Cap. 2)
3. As companhias aéreas do mundo todo se comprometeram a zerar suas emissões de gases de efeito estufa até 2050. A principal estratégia para isso é a substituição dos combustíveis fósseis pelos SAF. (Aviões elétricos movidos a bateria e combustíveis à base de hidrogênio não são opções viáveis em larga escala até 2050 – e talvez nunca sejam). (Cap. 1)
4. A maior parte das matérias-primas para os SAF virá de terras agrícolas. No curto prazo, a ênfase está nas culturas como soja, canola e milho; no médio prazo, em resíduos agrícolas como palha e hastes de milho, além de culturas energéticas específicas como switchgrass (capim-pânico), miscanthus, choupos e salgueiros. A produção de SAF deslocará a fonte de energia para a aviação dos campos petrolíferos para os campos agrícolas. (Cap. 3, 4 e 5)
5. Um experimento mental para ilustrar a escala do projeto global de SAF: se toda a produção mundial de SAF viesse de sementes e oleaginosas (soja, canola, milho etc.), ou seja, de terras agrícolas, e se todos os combustíveis da aviação em 2050 fossem SAF, os dois terços de um trilhão de litros de demanda exigiriam cerca de 2 bilhões de acres – o equivalente a 20 vezes a área total de terras cultivadas do Canadá (ou cinco vezes a área cultivada dos EUA). Esse é apenas um exercício hipotético, mas ajuda a visualizar a magnitude do projeto. (Cap. 3)
6. Produzir mesmo que uma pequena fração da enorme demanda de SAF a partir de grãos e oleaginosas (e outra fração maior a partir de culturas energéticas cultivadas em terras agrícolas) exercerá pressão sobre os preços dos alimentos – ainda mais considerando que, ao mesmo tempo, estaremos adicionando dois bilhões de pessoas à população mundial. Os impactos sobre os preços dos alimentos afetarão de forma mais severa as pessoas mais pobres e famintas, mas também terão efeitos negativos sobre quase todas as famílias do planeta. SAF poderia se tornar a sigla para "Sacrificando a Alimentação Acessível" (Sacrificing Affordable Food). O projeto de SAF colocará em disputa o dinheiro que o bilhão de pessoas mais pobres do mundo gasta em comida com o dinheiro que o bilhão de pessoas mais ricas gasta em viagens de férias. (Cap. 3 e 12)

7. Ao mesmo tempo, a "mudança no uso da terra" – frequentemente um eufemismo para o desmatamento de florestas tropicais, destruição de áreas selvagens e habitats de animais – pode ser significativa. As emissões de GEE resultantes desse desmatamento e da conversão de terras são substanciais e, embora sejam contabilizadas nas estimativas de emissões da "análise do ciclo de vida" (ACV) dos SAF, devemos questionar essas estimativas, especialmente considerando a imensa área do planeta que os seres humanos já ocuparam e a enorme parte da produção global de biomassa que já é apropriada por nós. (Cap. 3, 7, 8 e 10)
8. O projeto atual de SAF será diferente da experiência hipotética baseada em milho-soja-canola descrita acima, mas será melhor? Em vez de depender exclusivamente de grãos e oleaginosas, as companhias aéreas e os fabricantes de combustível também planejam utilizar resíduos agrícolas (como palha e talos de milho) como matéria-prima. Isso pode exigir centenas de milhões de toneladas de biomassa extraída das terras cultivadas, o que pode retardar ou reverter o sequestro de carbono e comprometer a saúde do solo. Outra matéria-prima proposta é o cultivo de plantas energéticas específicas, o que pode levar a uma concorrência por terras e afetar ainda mais os preços dos alimentos. (Cap. 4, 5 e 7)
9. Em parte devido à enorme demanda por biomassa, a indústria da aviação está explorando a produção na África e em outras regiões do mundo que já sofrem com a insegurança alimentar. Parece que as terras dos pobres podem ser usadas para abastecer os aviões a jato dos ricos. (Cap. 12 e 13)
10. Muitas das matérias-primas de origem terrestre que a indústria da aviação pretende utilizar são as mesmas necessárias para a bioenergia associada à captura e armazenamento de carbono (BECCS – na versão oficial). Os defensores do BECCS afirmam que podem produzir eletricidade com emissões negativas utilizando a captura de carbono em usinas térmicas e alimentando essas usinas com resíduos florestais, resíduos agrícolas e culturas energéticas – exatamente as mesmas matérias-primas de biomassa citadas pelos defensores dos SAF. A demanda por biomassa proveniente de resíduos agrícolas e culturas energéticas para SAF se somará aos bilhões de toneladas demandadas pelo BECCS. (Cap. 4 e 8)
11. A superfície terrestre e a biosfera do planeta podem suportar as necessidades sempre crescentes da humanidade? Aqui está o plano para a metade do século: alimentar mais dois bilhões de pessoas; produzir mais carne e laticínios (que exigem grandes extensões de terra) para os lares cada vez mais ricos do Sul global; fornecer biomateriais para substituir os plásticos; aumentar a produção de algodão e outras fibras para uma população crescente e para substituir fibras plásticas; fornecer cerca de 8 bilhões de toneladas de matéria-prima de biomassa por ano para a bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS); fornecer talvez 7 bilhões de toneladas de matéria-prima por ano para SAF; gerar essas gigatoneladas adicionais de alimentos e matérias-primas a partir de terras agrícolas ao mesmo tempo em que os impactos climáticos se intensificam e afetam ainda mais os agricultores; disponibilizar espaço para o plantio de árvores para captura de carbono; fazer tudo isso enquanto reduzimos o uso de fertilizantes para diminuir as emissões da agricultura e restaurar os fluxos globais de nitrogênio dentro dos limites planetários;

e fazer tudo isso sem expandir as terras agrícolas ou florestais, na tentativa de conter o evento de extinção mais acelerado dos últimos 65 milhões de anos. Os formuladores de políticas e cidadãos não devem analisar os SAF isoladamente, mas sim no contexto das inúmeras outras demandas que estamos impondo à biosfera e às terras agrícolas. (Cap. 8)

12. A produção de SAF competirá com as escassas fontes de eletricidade limpa e renovável, o que pode desacelerar a descarbonização em outros setores. Em alguns cenários da indústria aeronáutica, até 2050, a produção de SAF poderia exigir uma quantidade de eletricidade equivalente à metade de toda a eletricidade atualmente produzida no mundo. Assim, os SAF podem não levar à redução das emissões, mas sim ao deslocamento das mesmas: as reduções nas emissões da aviação resultariam em reduções mais lentas em outros setores devido à falta de eletricidade limpa suficiente para todos. Enquanto nos esforçamos para eletrificar e descarbonizar os automóveis, o aquecimento doméstico, a indústria etc., é responsável, do ponto de vista da política pública, adicionar uma nova demanda massiva de energia limpa? (Cap. 6, 14 e 18)
13. Da mesma forma, os SAF gerarão uma alta demanda por hidrogênio verde, que se somará à demanda por hidrogênio de baixas emissões para a produção de fertilizantes, aquecimento de edifícios, indústria pesada, ferrovias, transporte marítimo etc. A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) prevê que a demanda por hidrogênio verde em 2045 atingirá cerca de 100 milhões de toneladas por ano. A produção atual de hidrogênio de baixas emissões (“azul”) e de emissões nulas (“verde”) é de apenas 1 a 2 milhões de toneladas por ano, o que implica na necessidade de multiplicar a produção por cinquenta apenas para a aviação. A inclusão da aviação como uma demanda prioritária por hidrogênio verde desacelerará as reduções de emissões em outros setores. Mais uma vez, as emissões são apenas deslocadas. (Cap. 14)
14. Neutralidade de emissões não significa emissões zero. As companhias aéreas podem reduzir as emissões por voo e por passageiro-quilômetro, mas planejam dobrar ou triplicar o número de voos e de passageiro-quilômetros até 2050, o que faz com que as emissões totais do setor, em termos absolutos, não sejam muito menores do que as de hoje. Para enfrentar essa situação, a indústria planeja usar compensações e outros mecanismos para atingir um nível líquido zero, apesar das centenas de milhões de toneladas de emissões reais previstas para 2050. Além disso, a aviação é apenas um dos setores que planeja não alcançar emissões zero e cobrir o déficit com compensações. É improvável que a oferta de compensações credíveis em 2050 seja suficiente para atender à grande demanda vinda de múltiplas indústrias. (Cap. 16)
15. Para os aviões a jato, a ausência de emissões de CO<sub>2</sub> não significa ausência de aquecimento global. Apenas uma parte dos efeitos de aquecimento causados pela aviação vem das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na queima do combustível; a maior parte se deve às nuvens de alta altitude, muitas vezes visíveis após a passagem dos aviões, e aos efeitos do óxido de nitrogênio. Mesmo que os combustíveis dos aviões sejam modificados para não adicionarem CO<sub>2</sub> à atmosfera durante a combustão, os milhões de voos anuais continuarão gerando aquecimento devido a efeitos não relacionados à queima de combustível. Mesmo que as companhias aéreas atinjam seu objetivo limitado de zero CO<sub>2</sub> líquido, o dobro de voos pode fazer com que os efeitos não relacionados ao CO<sub>2</sub> causem um aquecimento ainda maior em 2050 do que hoje. (Cap. 16)
16. Além do impacto potencial dos SAF no preço dos alimentos, também se coloca a questão dos subsídios públicos. Ambos levantam questões de justiça. Em nível global, os subsídios, os créditos fiscais e outras formas de apoio financiadas pelos contribuintes podem chegar a dezenas de bilhões de dólares por ano, ou seja, um trilhão de dólares ou mais ao longo dos próximos 25 anos. Mas enquanto muitas pessoas lutam para conseguir moradia, pagar pelo

cuidado das crianças, se alimentar ou ter acesso a medicamentos, os fundos públicos limitados deveriam ser usados para reduzir o custo das férias ou das viagens de negócios? (Cap. 17)

17. Os SAF representam um dos maiores desafios já enfrentados em termos de escalabilidade. Analistas destacam a necessidade de multiplicar a produção por mil e concluir, em média, uma instalação de produção a cada dois dias até 2050. Isso exigirá investimentos de vários trilhões de dólares. Portanto, é altamente provável que as companhias aéreas não cumpram seus compromissos. De fato, a indústria já estabeleceu dezenas de metas de descarbonização e falhou em quase todas. (Cap. 18 e 19)
18. A magnitude do projeto SAF levanta muitas outras preocupações, incluindo os impactos na disponibilidade de água (alguns insumos dos SAF exigirão irrigação), a perda de biodiversidade, o acesso e a acessibilidade da terra, o controle indígena dos territórios, a apropriação de terras, entre outros.
19. Por várias razões, os SAF representam um problema para as explorações agrícolas e a agricultura. Além disso, a produção de SAF e a enorme demanda por matérias-primas de origem agrícola aumentarão o uso de fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, as emissões nas explorações agrícolas. A solução climática da indústria da aviação gera um problema de emissões agrícolas. Mais uma vez, as emissões são deslocadas. (Cap. 15)
20. Existem alternativas superiores (Capítulo 20), incluindo:
  - a. Para deslocamentos dentro dos continentes e a distâncias médias: trens movidos diretamente por eletricidade limpa e renovável (que podem ser de emissão e aquecimento zero, ao contrário da aviação alimentada por fontes de energia renovável, e que já são uma tecnologia madura e plenamente viável);
  - b. Medidas de gestão da demanda para reduzir os voos (em vez de dobrá-los até 2050), a fim de mitigar os problemas de escalabilidade, reduzir os impactos causados pela demanda concorrente por biomassa e energia limpa e tornar os cenários mais ambiciosos dos SAF realmente atingíveis; e
  - c. Pular os Bio-SAF terrestres e ir diretamente para os Eletro-SAF, que não competem por terras, não aumentam os preços dos alimentos, não retardam ou reverterem a captura de carbono no solo, não aumentam as emissões na produção agrícola, etc.

Estamos diante de uma emergência climática que exige de todos os governos e cidadãos um nível de ação comparável ao de tempos de guerra. É necessário um pensamento rigoroso, holístico e de longo prazo, decisões difíceis, o reconhecimento de compromissos e limites, sabedoria e uma ação ousada e corajosa. Independentemente da fonte de combustível, dobrar ou triplicar o tráfego aéreo até meados do século é incompatível com qualquer avaliação responsável e baseada em dados científicos sobre os desafios e compromissos que enfrentamos, assim como com as dolorosas e prejudiciais conseqüências que já estão sendo sentidas e que provavelmente se intensificarão nas próximas décadas.

Além disso, qualquer plano que vise dobrar o tráfego aéreo, utilizando amplamente as terras (base fundiária) já sobrecarregadas do planeta, revela uma ignorância sobre a magnitude da transgressão dos limites planetários, ou seja, sobre a distância que já nos separa do "espaço operacional seguro para a humanidade" no que diz respeito aos fluxos de nitrogênio e fósforo, às mudanças no uso da terra, à extinção das espécies e à eliminação da biomassa. (Cap. 10).

Este breve trecho em francês é extraído de um relatório mais longo em inglês disponível no site da UNF: [www.nfu.ca/fr/](http://www.nfu.ca/fr/) Abaixo, segue o índice da edição em inglês.

## Table of Contents

Executive Summary .....	4
1. Introduction and SAF Primer .....	8
2. SAF Demand .....	13
3. Bio-SAF {seeds}: Canola, Soybeans, Corn, and Farmland .....	15
4. Bio-SAF {residues}: Spinning Straw into Gold.....	17
5. Bio-SAF {energy crops}: Wood-Burning Jet Planes? .....	20
6. Electro-SAFs: Liquifying Electricity .....	24
7. Land Use Change and Emissions from SAFs .....	28
8. Land Use Change and Demands Upon Our Earth, <i>The Big Picture</i> .....	32
9. SAFs and Water .....	37
10. SAFs and Planetary Boundaries .....	38
11. SAFs and Food Prices .....	40
12. SAFs and Justice .....	42
13. SAFs and the Non-Rich World .....	43
14. SAFs and Competition for Clean Energy and Green Hydrogen .....	45
15. Agricultural Emissions and SAFs.....	50
16. SAFs and Zero Emissions .....	51
17. Taxpayer Subsidies (to Reduce the Cost of Flying) .....	54
18. The Scale-Up Problem.....	56
19. Past Failures to Scale Up .....	58
20. Superior Alternatives and More-Appropriate Responses .....	59
21. Conclusion .....	62
Appendix 1: Acronyms.....	63
Appendix 2: Some Conversion factors .....	64
Appendix 3: Calculations of land area to produce all SAF from oilseeds (canola & soybeans) .....	65
Bibliography.....	67