

## RELATÓRIO

---

AGOSTO DE 2019

# Oportunidades e riscos para a expansão continuada dos biocombustíveis no Brasil

---

## RESUMO

Um dos principais mercados de biocombustíveis do mundo, o Brasil produziu cerca de 40 bilhões de litros de biocombustíveis em 2018. A indústria de biodiesel do país expandiu-se nos últimos anos como resultado da elevação nos níveis de mistura obrigatória no diesel. A introdução do programa RenovaBio para expandir a produção de etanol, acompanhada de novos aumentos na determinação de mistura obrigatória de biodiesel, deve levar a um consumo ainda maior de biocombustíveis na próxima década. Este documento oferece um panorama das políticas de biocombustíveis do Brasil, destaca os riscos da expansão continuada do biocombustível e apresenta oportunidades para melhorar o desempenho climático das políticas brasileiras de combustíveis.

O crescimento da indústria brasileira de biocombustíveis na próxima década pode gerar impactos profundos no clima. A política de biocombustíveis no Brasil é de especial importância devido à grande área florestal e à alta biodiversidade do país. Embora o Brasil tenha implementado políticas para conter o desmatamento, bem como garantias de sustentabilidade em seu regime de biocombustíveis, essas medidas talvez façam pouco para atenuar as pressões indiretas da demanda de biocombustíveis sobre desmatamento e pastagens, o que pode resultar na conversão de terras ricas em carbono. Mudanças políticas recentes que afetam a política florestal e agrícola do Brasil, paralelamente à expansão continuada da indústria brasileira de biocombustíveis, podem representar mais riscos à biodiversidade. Além disso, novos aumentos na determinação de mistura obrigatória de biodiesel podem trazer problemas de compatibilidade para a frota de veículos do país, danificando equipamentos e emitindo maiores quantidades de poluentes atmosféricos locais.

Este documento apresenta um panorama dos potenciais impactos negativos das políticas brasileiras de biocombustíveis sobre o meio ambiente e a frota de veículos. Além disso, oferece as seguintes recomendações sobre como essas políticas podem apoiar combustíveis alternativos mais sustentáveis:

---

Agradecimentos: Este trabalho foi generosamente apoiado pela Fundação David e Lucile Packard. Graças a uma revisão útil de Silvio Figueiredo

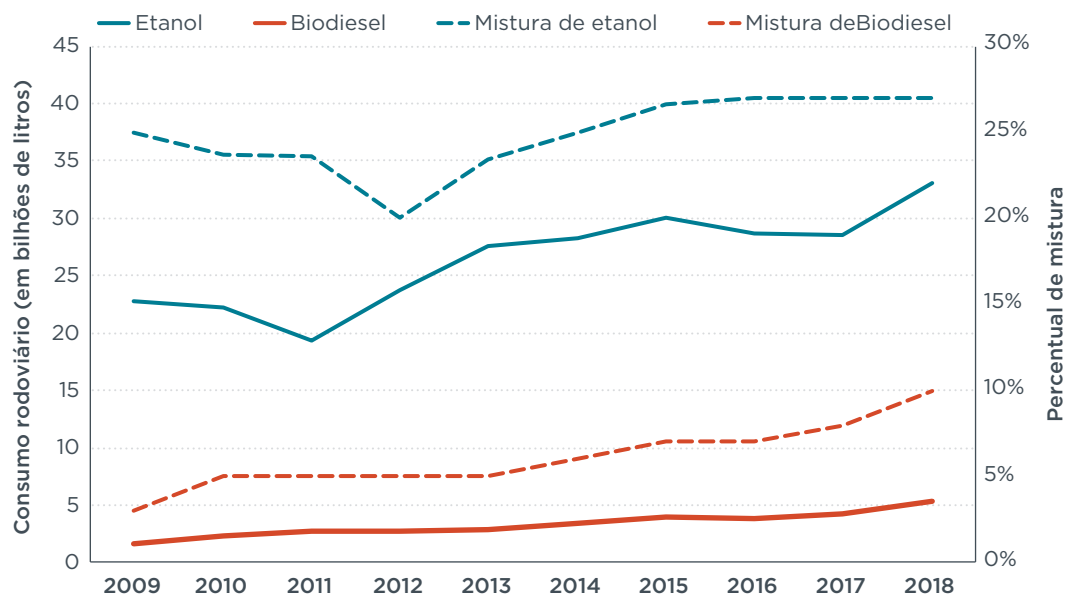
- » **Manter ou reduzir o atual percentual obrigatório de mistura de biodiesel:** o rápido e continuado aumento nos percentuais obrigatórios de biodiesel no Brasil elevou o teor de mistura do biodiesel muito além dos níveis adotados na maioria dos países, sem que isso fosse acompanhado de uma mudança na composição da frota de veículos do Brasil. Níveis de mistura de biodiesel de soja superiores a 10% não só aumentam as emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), mas também contribuem para problemas de compatibilidade na maioria dos veículos, resultando em danos e em aumento dos custos de manutenção. Limitar o percentual obrigatório de biodiesel em 10% depois de 2019 mitigaria os efeitos prejudiciais de misturas com maior teor de biodiesel na compatibilidade de veículos, bem como o risco da demanda adicional de soja, que leva ao desmatamento.
- » **Introduzir metas intermediárias ou fatores relacionados a mudanças indiretas no uso da terra (iLUC) no RenovaBio para encorajar a implementação de biocombustíveis avançados:** da forma como está implementado atualmente, o RenovaBio pouco incentiva os combustíveis não alimentares e é provavelmente insuficiente para favorecer a produção de combustíveis avançados mais sustentáveis, embora onerosos. A introdução de fatores de emissão iLUC auxiliaria a transição para biocombustíveis avançados, permitindo aos produtores gerar créditos de descarbonização (CBIO) mais comercializáveis que os combustíveis de primeira geração. Alternativamente, uma meta intermediária para combustíveis avançados—aqueles produzidos a partir de resíduos ou insumos lignocelulósicos—significaria um incentivo à parte para esses biocombustíveis no RenovaBio, sem mudanças substanciais na metodologia de análise do ciclo de vida.
- » **Incorporar ao RenovaBio critérios de sustentabilidade para mitigar a conversão indireta de terras:** as medidas de proteção do solo existentes no Brasil são insuficientes para prevenir a conversão indireta da terra, mediada pelo mercado, que pode advir da demanda por biocombustíveis. As atuais propostas de sustentabilidade dependem fortemente da eficácia dessas medidas de proteção e evitam apenas a conversão direta de terras para a produção de biocombustíveis. Critérios adicionais, como requisitos de elegibilidade para que a conversão de terras para dada matéria-prima fique abaixo de determinado limiar de desmatamento, podem impedir que matérias-primas de risco, como sementes oleaginosas, gerem créditos CBIO, direcionando assim o apoio do programa a matérias-primas com melhor desempenho em termos de gases de efeito estufa.

## PANORAMA DAS POLÍTICAS BRASILEIRAS DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Historicamente, as determinações de percentuais de mistura obrigatória têm impulsionado o consumo de biocombustíveis no Brasil. A mistura de etanol começou em 1975, com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), para promover a produção doméstica de etanol. O Proálcool progressivamente elevou os níveis de mistura obrigatória de etanol dos fornecedores de combustíveis para 27% até 2015.<sup>1</sup> Isso foi acompanhado por determinações crescentes de teor de mistura obrigatória de biodiesel desde 2003, chegando a 11% em 2019. Quase 40 bilhões de litros de biocombustíveis foram consumidos no Brasil em 2018, derivados principalmente de culturas alimentares. Uma expansão ainda maior é esperada para a próxima década, uma vez que a recém-aprovada política RenovaBio introduz preços de carbono na política de combustíveis do

1 Tim Dallmann and Cristiano Facanha, *International comparison of Brazilian regulatory standards for light-duty vehicle emissions*, (Washington, DC: ICCT, 2017.). Disponível em: [www.theicct.org/publications/international-comparisonbrazilian-regulatory-standards-light-duty-vehicle-emissions](http://www.theicct.org/publications/international-comparisonbrazilian-regulatory-standards-light-duty-vehicle-emissions).

Brasil.<sup>2</sup> A Figura 1 ilustra o crescimento do consumo e dos níveis de mistura de etanol e biodiesel no Brasil ao longo da última década.



**Figura 1.** Consumo e mistura de etanol e biodiesel no Brasil, 2009-2018.

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Dados estatísticos: produção de biocombustíveis.

O Brasil é líder mundial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. O percentual de mistura obrigatória de etanol aumentou de 4,5% em 1977 para 27% em 2015, resultando em mais de 33 bilhões de litros de etanol produzidos em 2018.<sup>3</sup> Desse total, cerca de 23 bilhões de litros eram de etanol hidratado, que pode ser consumido por veículos flex. A Tabela 1 compara os percentuais de mistura do Brasil com os de outros países e jurisdições com políticas relevantes de biocombustíveis.

**Tabela 1.** Níveis de mistura de biocombustível por jurisdição.

| País/região       | Mistura de etanol | Mistura de biodiesel |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| Estados Unidos    | 10%               | 5%                   |
| União Europeia-28 | 5,7%              | 7,2%                 |
| Brasil            | 27%               | 11%                  |
| Indonésia         | 0%                | 20%                  |

O Proálcool apoia a produção de etanol principalmente por meio de uma série de incentivos fiscais federais e regionais. No nível federal, o Brasil recolhe contribuições sobre a gasolina por meio da Contribuição para a Intervenção no Domínio Econômico (Cide) e do Programa de Integração Social/Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS/Cofins); no início de 2019, ambos totalizaram R\$ 0,8925 por litro.<sup>4</sup> Embora a Cide não incida sobre o etanol, os produtores de etanol foram tributados pelo

2 Lei Ordinária 13.576, de 26 de dezembro de 2017, Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm).

3 Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, *Dados estatísticos: produção de biocombustíveis, 2019*, Disponível em: [www.anp.gov.br/dados-estatisticos](http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos).

4 Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes, *Tributação*, Disponível em: [www.fecombustiveis.org.br/revendedor/tributacao/](http://www.fecombustiveis.org.br/revendedor/tributacao/).

PIS/Cofins em R\$ 0,1309 por litro em março de 2019.<sup>5</sup> A diferença entre as alíquotas totais para gasolina e etanol aumenta a vantagem competitiva do etanol, mesmo depois de contabilizar as densidades de energia dos dois combustíveis. Dependendo das alíquotas regionais e das flutuações no preço do petróleo bruto, o etanol pode ter vantagem competitiva sobre a gasolina e vice-versa.

A implantação em larga escala de veículos flex capazes de usar misturas maiores de etanol na frota brasileira garante um grande mercado para misturas de alto teor de etanol. O programa de incentivo fiscal Inovar-Auto promoveu o aumento da eficiência veicular por meio de uma meta de consumo de energia (com penalidades por descumprimento) em conjunto com multiplicadores de crédito e incentivos fiscais para fabricantes de veículos com sistemas avançados de propulsão. Por meio do programa, tanto os veículos movidos a etanol como os veículos flex produzidos no Brasil podem receber incentivo fiscal sobre produtos industrializados e, também, créditos por cumprimento de metas de consumo de energia.<sup>6</sup> O programa Rota 2030, que substituiu o Inovar-Auto, vai continuar a oferecer créditos fiscais para veículos flex e movidos a etanol até 2032.<sup>7</sup> Como resultado desse forte apoio das políticas, os veículos flex constituíram aproximadamente 98% dos carros de passageiros em 2018 e aproximadamente dois terços da frota de veículos comerciais leves; estima-se que os veículos movidos apenas a etanol (E100) constituam 0,7% da frota total de veículos.<sup>8</sup>

A indústria do biodiesel sofreu uma rápida expansão na última década. Desde 2003, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) implementou um percentual de mistura obrigatória de biodiesel que se elevou rapidamente, de 2% em 2008 para 10% em 2018.<sup>9</sup> O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) propôs um aumento anual de 1% para atingir o nível B15 (15% de biodiesel) até 2023, desde que se cumpram determinados requisitos técnicos.<sup>10</sup> A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) já estabeleceu especificações para misturas de biocombustíveis até 30%, e mesmo critérios para o uso experimental de misturas B100.<sup>11</sup>

O apoio do governo ao biodiesel é garantido por meio de um preço de referência estabelecido por um sistema de leilão. O governo federal, via ANP, opera regularmente leilões reversos públicos em que os produtores de biodiesel concorrem para vender lotes de biodiesel. As partes obrigadas a atender ao percentual mínimo de adição de biodiesel, como as distribuidoras de diesel fóssil, devem arcar com os preços determinados pelo leilão.

A rápida expansão da indústria brasileira de biodiesel corresponde ao crescimento e à expansão da indústria da soja, que fornece mais de dois terços de seu biodiesel. Cerca

5 Ibid.

6 Cristiano Façanha, *Brazil's Inovar-Auto Fiscal Incentive Program Updates*, (Washington, DC: ICCT, 2015.), Disponível em: [www.theicct.org/publications/brazils-inovar-auto-fiscal-incentive-program-updates](http://www.theicct.org/publications/brazils-inovar-auto-fiscal-incentive-program-updates).

7 Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, *Governo sanciona lei que institui o Programa Rota 2030*. 11 dez, 2018, Disponível em: [www.mdic.gov.br/index.php/ultimas-noticias/3726-governo-sanciona-lei-que-institui-o-programa-rota-2030](http://www.mdic.gov.br/index.php/ultimas-noticias/3726-governo-sanciona-lei-que-institui-o-programa-rota-2030).

8 Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores; Associação Brasileira da Indústria de Autopeças, *Relatório da Frota Circulante 2018*, Disponível em: [www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2018/R\\_Frota\\_Circulante\\_2018.pdf](http://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2018/R_Frota_Circulante_2018.pdf).

9 Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2019.

10 Brasil. Presidência da República. Lei Ordinária 13.263, de 23 de março de 2016., *Diário Oficial da União*, 24 mar. 2016, Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/L13263.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/L13263.htm).

11 Resolução ANP 30, de 23 de junho de 2016, *Diário Oficial da União*, 24 jun. 2016. Retificado no Diário Oficial da União de 13 jan. 2017, Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2016/junho&item=rnp-30-2016>; Resolução ANP 34, de 28 de julho de 2016, *Diário Oficial da União*, 29 jul. 2016, Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2016/julho&item=rnp-34-2016&export=pdf>.

de 12,5% vêm do sebo.<sup>12</sup> Embora os níveis de mistura de biodiesel tenham aumentado nos últimos anos, não houve um crescimento correspondente em veículos compatíveis. O teor obrigatório do biodiesel está em 11% em 2019, com níveis de mistura permitidos ainda maiores para usos ferroviários, agrícolas e industriais. Iniciativas locais poderiam aumentar as vendas de veículos projetados para misturas de alto teor de biodiesel, como a meta do Comitê Municipal de Mudança do Clima de São Paulo de fazer a transição para uma frota de ônibus livre de combustíveis fósseis.<sup>13</sup> Além disso, a cidade de São Paulo revisou sua Lei de Mudança do Clima em janeiro de 2018, que define metas de redução, em 10 e 20 anos, de emissões de escapamento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e dos poluentes atmosféricos material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

A política RenovaBio baseia-se na determinação de mistura de etanol para incluir uma meta de redução de 10% de intensidade de carbono dos combustíveis para transporte em comparação com a linha de referência de 2017, de 74,25 gCO<sub>2</sub>e por MJ de combustível, até 2028.<sup>14</sup> A política estabelecerá créditos de descarbonização negociáveis (CBIO), gerados pela produção de biocombustíveis e depois resgatados pelas distribuidoras, aumentando o custo dos combustíveis fósseis e reduzindo os custos relativos dos biocombustíveis. Na última década, o baixo preço do petróleo, aliado à instabilidade climática e econômica, resultou em certa estagnação da indústria brasileira de etanol. A introdução do programa RenovaBio em 2018 visou apoiar a expansão da produção de etanol e melhorar a proposta de custo do etanol em relação à gasolina. O Ministério de Minas e Energia (MME) estima que, com os incentivos adicionais, a demanda geral por etanol brasileiro vai aumentar para 45 bilhões de litros em 2027.<sup>15</sup>

A política da RenovaBio mensura os gases de efeito estufa (GEE) do ciclo de vida para avaliar os impactos climáticos dos combustíveis, mas não leva em conta as emissões relacionadas às mudanças indiretas no uso da terra (iLUC). As emissões iLUC são aquelas atribuíveis à expansão de terras mediada pelo mercado, por conta da demanda de biocombustível de matérias-primas derivadas do cultivo agrícola. Como essas emissões podem minar a economia de carbono associada ao uso de biocombustíveis, políticas como o Padrão de Combustível Renovável (Renewable Fuel Standard, RFS), dos Estados Unidos, e o Padrão de Combustível de Baixo Carbono (Low Carbon Fuel Standard, LCFS), da Califórnia, atribuem aos combustíveis derivados do cultivo agrícola um fator de emissão iLUC estimado por meio de uma modelagem econômica. A RenovaBio incorpora critérios de sustentabilidade para evitar o uso de biocombustíveis oriundos diretamente de terras com alto teor de carbono ou áreas de desmatamento. Embora possam desencorajar o desmatamento direto para a produção de biocombustíveis, essas medidas de proteção do solo pouco previnem a expansão indireta de terras agrícolas em razão da maior demanda por culturas alimentares.

12 Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, *Informações de mercado*, Brasília, 2019. Disponível em: [www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado](http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado).

13 Tim Dallmann, *Climate and air pollutant emissions benefits of bus technology options in São Paulo*, (Washington, DC: ICCT, 2019), Disponível em: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Emissions\\_benefits\\_bus\\_sao%20paulo\\_201902014.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Emissions_benefits_bus_sao%20paulo_201902014.pdf).

14 Lei Ordinária 13.576, 2017.

15 Ministério de Minas e Energia, *Plano Decenal de Expansão de Energia*. Brasília, 2018, Disponível em: [www.mme.gov.br/documents/10584/1432059/Plano+Decenal+de+Expan+s%C3%A3o+de+Energia+2027+%28PDE+2027%29/66498aa7-5e33-47ea-b586-2a6b1b994f7f?version=1.1](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432059/Plano+Decenal+de+Expan+s%C3%A3o+de+Energia+2027+%28PDE+2027%29/66498aa7-5e33-47ea-b586-2a6b1b994f7f?version=1.1).

## RISCOS DA EXPANSÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

### EMISSÕES ASSOCIADAS A MUDANÇAS NO USO DA TERRA

As mudanças indiretas no uso da terra decorrem do aumento da demanda por terras agrícolas, muitas vezes para a produção de biocombustíveis. Mesmo que as matérias-primas de biocombustíveis sejam cultivadas nas terras agrícolas já existentes, a demanda adicional causada pelas políticas de biocombustíveis aumenta o preço geral dessas *commodities*, incentivando a expansão de terras agrícolas para outras regiões e gerando emissões iLUC relacionadas a essa demanda de biocombustível. A magnitude dessas emissões pode variar substancialmente conforme a matéria-prima e a origem da demanda de biocombustível. Como não podem ser mensuradas diretamente, essas emissões são estimadas por meio de modelos econômicos. As emissões iLUC foram estimadas e incorporadas no desenho de várias políticas de biocombustíveis, incluindo o RFS, dos Estados Unidos, a Diretiva de Energias Renováveis da Europa, reformulada para 2030 (RED II), e o LCFS, da Califórnia.

A literatura sugere que as culturas com as menores emissões iLUC tendem a ser culturas energéticas lignocelulósicas, que podem se dar em terras marginais ou degradadas, inadequadas para a agricultura tradicional; em geral, essas culturas não valem o bastante para substituir a produção de alimentos.<sup>16</sup> Dependendo dos pressupostos e das proteções ao uso do solo em vigor, alguns estudos sugerem que as culturas energéticas podem até ter emissão iLUC zero ou negativa, dado seu potencial de gerar sequestro de carbono em terras marginais no longo prazo. Os subprodutos e resíduos de matérias-primas de primeira geração, como palha de milho ou bagaço de cana-de-açúcar, também podem ser convertidos em biocombustíveis com impactos climáticos relativamente baixos; no entanto, como as culturas energéticas, essas matérias-primas lignocelulósicas são geralmente mais difíceis de converter em combustíveis do que os açúcares convencionais, amidos e óleos vegetais.

Culturas de amido e açúcar tendem a ter emissões iLUC moderadas. O Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados (International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA) usa o modelo GLOBIOM para avaliar as emissões iLUC do etanol de cana-de-açúcar brasileiro importado pela União Europeia, estimando emissões de aproximadamente 11,3 gCO<sub>2</sub>e/MJ,<sup>17</sup> um valor consistente com outras avaliações encontradas na literatura. Por exemplo, o Conselho de Recursos Atmosféricos (Air Resources Board, ARB), da Califórnia, estima que o etanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil gera emissões iLUC de 11,8 gCO<sub>2</sub>e por MJ de combustível, a mais baixa entre os combustíveis derivados de culturas alimentares certificados pelo ARB.<sup>18</sup> Com base em um conjunto de pressupostos e ferramentas de modelagem equivalente àqueles adotados pelo ARB, uma equipe brasileira avaliou as emissões iLUC do combustível para aviação derivado de cana-de-açúcar em 12 gCO<sub>2</sub>e/MJ.<sup>19</sup> As baixas emissões iLUC da cana-de-açúcar se devem, em parte, a seus altos rendimentos, resultando em menos

16 Nikita Pavlenko and Stephanie Searle, *A comparison of induced land-use change emissions estimates from energy crops*, (Washington, DC: ICCT, 2018), Disponível em: [www.theicct.org/publications/comparison-iLUC-emissions-estimates-energy-crops](http://www.theicct.org/publications/comparison-iLUC-emissions-estimates-energy-crops).

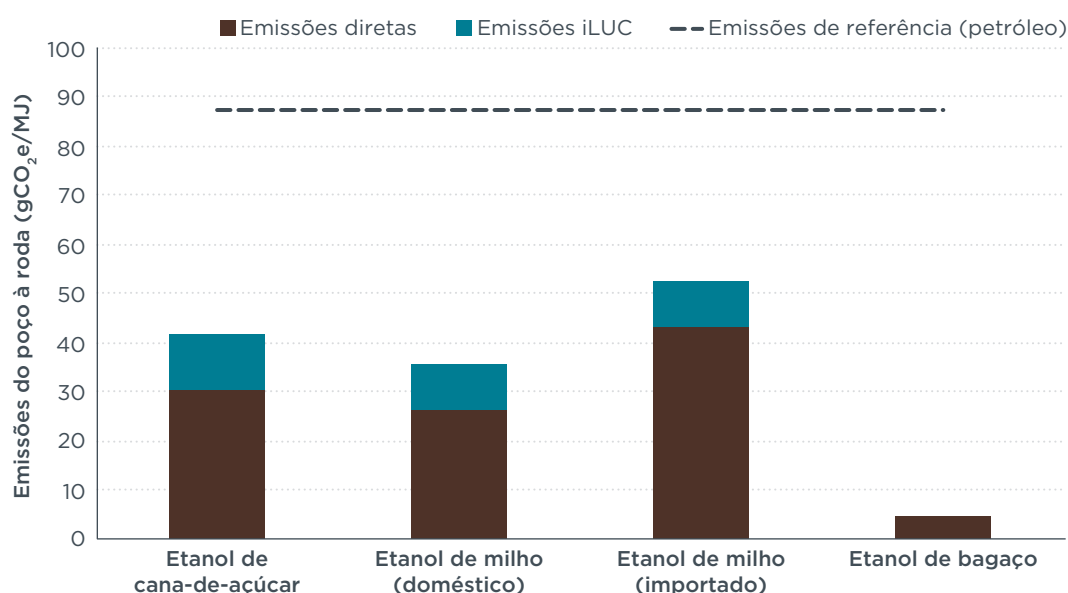
17 Hugo Valin, Daan Peters, Maarten van den Berg, Stefan Frank, Petr Havlik, Nicklas Forsell, and Carlo Hamelinck, *The Land Use Change Impact of Biofuels Consumed in the EU: Quantification of Area and Greenhouse Gas Impacts* (Ecofys: Utrecht, 2015), Disponível em: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Final\\_Report\\_GLOBIOM\\_publication.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Final_Report_GLOBIOM_publication.pdf). Essa estimativa de emissões foi convertida linearmente em um horizonte de 30 anos para ficar coerente com as estimativas iLUC do Air Resources Board (ARB), da Califórnia.

18 California Air Resources Board (ARB), *Detailed analysis for indirect land use change*, 2015, Disponível em: [www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/iluc\\_assessment/iluc\\_analysis.pdf](http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/iluc_assessment/iluc_analysis.pdf).

19 Marcelo Moreira, Angelo C. Gurgel, and Joaquim E. A. Seabra, Life cycle greenhouse gas emissions of sugar cane renewable jet fuel, *Environmental Science & Technology*, 48, 14756–14763, 2014. doi: 10.1021/es503217g.

conversão de terras para atender a determinada demanda de biocombustível em comparação a outras matérias-primas.<sup>20</sup>

A Figura 2 apresenta uma comparação das emissões do poço à roda (*well-to-wheel*) para determinadas vias de produção de etanol, tanto de primeira como de segunda geração. As emissões do poço à roda incluem emissões diretas da fabricação de cada combustível (barras marrons) e as emissões iLUC adicionais associadas à demanda de biocombustível (barras azuis). Para fins de comparação, as emissões de gasolina são ilustradas pela linha tracejada. Mesmo depois de contabilizadas as emissões iLUC, o etanol de cana-de-açúcar ainda pode reduzir em 52,3% a emissão de GEE em relação à gasolina, enquanto o milho nacional e o importado levam a emissões ligeiramente maiores. A diferença entre as emissões diretas do milho doméstico *versus* o importado é atribuída principalmente às maiores emissões da rede de eletricidade nos Estados Unidos, bem como às emissões adicionais de transporte por longas distâncias, associadas à importação do etanol. O etanol de bagaço, um combustível de segunda geração fabricado a partir de resíduos de cana-de-açúcar, proporciona uma redução de 83% nas emissões de GEE em relação à gasolina.



**Figura 2.** Comparação das emissões de GEE do ciclo de vida segundo a via de produção do etanol em comparação com a gasolina fóssil convencional.

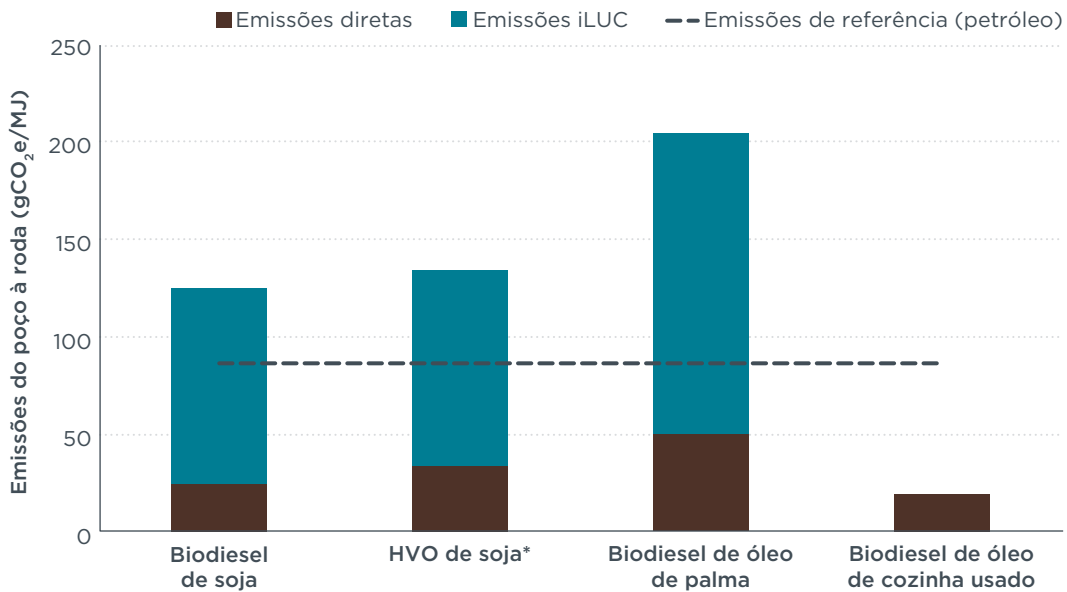
Fonte: os valores das emissões diretas foram retirados da ferramenta Renovacalc, e os valores das emissões iLUC foram retirados de Valin et al. (2015) para milho e cana-de-açúcar. Esses valores foram oferecidos para um horizonte de 30 anos.

A Figura 3 mostra que as emissões diretas de produção são comparáveis para biodiesel e óleo vegetal hidrotratado (HVO), e as maiores diferenças entre as vias com sementes oleaginosas devem-se à iLUC. Em relação à cana-de-açúcar, as emissões iLUC associadas à produção dessas sementes costumam ser bem mais elevadas.<sup>21</sup> Não há disponível publicamente nenhuma avaliação de iLUC da produção brasileira de biocombustível de soja; no entanto, têm sido feitas várias análises de iLUC da soja produzida nos Estados Unidos e da demanda de soja originária da União Europeia. Como essas análises dependem fortemente dos padrões de comércio observados entre os países,

20 Andre Meloni Nassar and Marcelo Moreira, "Evidences on sugarcane expansion and agricultural land use changes in Brazil," Institute for International Trade Negotiations (ICONE), 2013, Disponível em: [www.iconebrasil.com.br/datafiles/publicacoes/estudos/2013/evidences\\_on\\_sugarcane\\_expansion\\_and\\_agricultural\\_land\\_use\\_changes\\_in\\_brazil\\_1206\\_2.pdf](http://www.iconebrasil.com.br/datafiles/publicacoes/estudos/2013/evidences_on_sugarcane_expansion_and_agricultural_land_use_changes_in_brazil_1206_2.pdf)

21 Valin et al., 2015.

as avaliações de iLUC da União Europeia especificamente podem fornecer uma visão mais ampla sobre as emissões iLUC de soja no Brasil devido às relações comerciais com a América do Norte e a América do Sul, enquanto as avaliações dos Estados Unidos geralmente pressupõem que a demanda de soja é atendida internamente.<sup>22</sup>



**Figura 3.** Comparação das emissões de GEE do ciclo de vida de vias de produção de biodiesel e óleo vegetal hidrotreatado (HVO) em relação ao diesel fóssil convencional.

Fonte: os valores das emissões diretas foram retirados da ferramenta Renovacalc, os valores de biodiesel de óleo de palma e óleo de cozinha foram retirados do modelo GREET, e as emissões iLUC foram retiradas de Valin et al. (2015).

\*O valor HEFA da Renovacalc é usado como substituto para o combustível de soja HVO.

Por meio do modelo GLOBIOM, o IIASA estimou as emissões iLUC do biodiesel de soja usado na União Europeia em 100 gCO<sub>2</sub>e/MJ, acima das emissões iLUC de referência para o diesel de petróleo.<sup>23</sup> O modelo estima que 37% da demanda de biodiesel de soja da União Europeia é atendida pela soja importada da América do Sul, com outros 55% importados da América do Norte. O modelo conclui que a maior parte da expansão da terra ocorreria nas pastagens na América do Sul, além das terras agrícolas ricas em carbono no sudeste da Ásia, por conta da maior demanda de óleo de palma. Este último fenômeno é esperado porque o aumento no uso de óleo de soja para biocombustíveis o desvia dos usos existentes e incentiva a utilização de seu substituto de menor custo, o óleo de palma.<sup>24</sup>

O governo brasileiro decidiu excluir a mensuração explícita das emissões iLUC do programa RenovaBio devido à incerteza dessas emissões e ao entendimento de que as medidas de proteção do solo existentes no país são suficientes para mitigar o desmatamento.<sup>25</sup> Em vez disso, a elegibilidade de cada via de produção de

22 Chris Malins, Stephanie Searle, and Anil Baral, *A guide for the perplexed to the indirect effects of biofuels production*, (Washington, DC: ICCT, 2014), Disponível em: <https://theicct.org/publications/guide-perplexed-indirect-effects-biofuels-production>.

23 Valin et al., 2015.

24 Stephanie Searle, *How rapeseed and soy biodiesel drive oil palm expansion*, (Washington, DC: ICCT, 2017.), Disponível em: [www.theicct.org/sites/default/files/publications/Oil-palm-expansion\\_ICCT-Briefing\\_27072017\\_vF.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Oil-palm-expansion_ICCT-Briefing_27072017_vF.pdf).

25 Miguel Ivan Lacerda de Oliveira, Marcelo Augusto Boechat Morandi, Marília Folegatti Matsuura, and Marcelo Ramalho Moreira, *RenovaBio irá vincular CBios a sustentabilidade no uso da terra*. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33448696/artigo---renovabio-ira-vincular-cbios-a-sustentabilidade-no-uso-da-terra](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33448696/artigo---renovabio-ira-vincular-cbios-a-sustentabilidade-no-uso-da-terra).



combustível será determinada no RenovaBio por critérios estabelecidos pela ANP, que decide a quantidade de créditos CBIO concedidos por unidade de combustível. Uma proposta originalmente desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) para mitigar o risco de desmatamento definindo critérios de elegibilidade para produtores de matérias-primas sem o uso de fatores de emissão iLUC foi incorporada ao regulamento final. Os critérios de sustentabilidade para biocombustíveis incluem:

1. toda a produção certificada deve ser oriunda de área sem desmatamento após a data de promulgação da lei do RenovaBio (26 de dezembro de 2017);
2. toda a área deve estar em conformidade com o Código Florestal, por meio da regularização do Cadastro Ambiental Rural (CAR); e
3. as áreas de produção de cana e palma devem estar em conformidade com os zoneamentos agroecológicos da cana-de-açúcar e da palma-de-óleo, definidos pelos Decretos Federais 6.961 e 7.172, respectivamente.<sup>26</sup>

Embora essa proposta reduza o risco de conversão direta de terras ricas em carbono, como em florestas e na região do Cerrado, seu impacto sobre a conversão indireta é mais questionável. Se a expansão da soja é meramente restrita a pastagens, como acabam permitindo os critérios acima, isso apenas reforçaria os padrões históricos de expansão da terra. Tanto Arima et al. como Barona et al. associam a expansão da soja à pastagem, com o subsequente avanço para terras florestais. Nesses casos, a produção de soja substitui indústrias que dependem do pasto, como a pecuária, e pode incentivá-las a se expandir para terras ricas em carbono.<sup>27</sup>

As medidas de proteção do solo existentes no Brasil podem ser ineficazes para mitigar a conversão de terras mediada pelo mercado. Apesar da introdução da moratória da soja e do Código Florestal, análises recentes sugerem que o desmatamento continuou em pequenos lotes de terra onde essas proteções são mais difíceis de aplicar.<sup>28</sup> O Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia estima que 10,4% da recente expansão da soja no Brasil tenha ocorrido em terras ricas em carbono.<sup>29</sup> Embora a literatura em geral concorde que o desmatamento diminuiu na última década, uma análise recente sugere que grande parte da expansão da soja na verdade se deslocou para o Cerrado, que tem estoques de carbono relativamente altos; a expansão da soja sobre o Cerrado variou de 11% a 23% de 2007 a 2013.<sup>30</sup> Em contraste, a associação da expansão da cana-de-açúcar com o desmatamento no Brasil é geralmente mais fraca que a da soja.<sup>31</sup>

<sup>26</sup> Ibid.

<sup>27</sup> Eugenio Y. Arima, Peter D. Richards, Robert Walker, and Marcellus Caldas, Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6, 024010, 2011. doi:10.1088/1748-9326/6/2/024010; Barona, Elizabeth; Ramankutty, Navin; Hyman, Glenn; Coomes, Oliver T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 5, 024002, 2010. doi:10.1088/1748-9326/5/2/024002.

<sup>28</sup> Peter Richards, Eugenio Arima, Leah VanWey, Avery Cohn, and Nishan Bhattacharai, Are Brazil's deforesters avoiding detection? *Conservation Letters*, 10, 470–476, 2017. doi:10.1111/conl.12310.

<sup>29</sup> European Commission, *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, and the Committee of Regions on the status of production expansion of relevant food and feed crops worldwide*. 13 mar. 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2019:0142:FIN>.

<sup>30</sup> H. K. Gibbs, L. Rausch, J. Munger, I. Schelly, D. C. Morton, P. Noojipady, B. Soares-Filho, P. Barreto, L. Micol, and N. F. Walker, N. F. Brazil's soy moratorium. *Science*, 347, 377–378, 2015. doi:10.1126/science.aaa0181; Filho, Arnaldo Carneiro; Costa, Karine. The expansion of soybean production in the Cerrado: paths to sustainable territorial occupation, land use and production. Iniciativa para o Uso da Terra (INPUT), 2016. Disponível em: [www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/11/The-expansion-of-soybean-production-in-the-Cerrado\\_Agroicone\\_INPUT.pdf](http://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/11/The-expansion-of-soybean-production-in-the-Cerrado_Agroicone_INPUT.pdf).

<sup>31</sup> European Commission, 2019.

Juntas, as políticas de aumento do teor de mistura obrigatória de biodiesel e os novos incentivos financeiros dados pelo RenovaBio provavelmente vão gerar demanda adicional por culturas, aumentando a pressão por desmatamento e uso da terra de maneira geral. O maior suporte a matérias-primas alternativas, que requerem menos terra, poderia mitigar substancialmente esses riscos. Por exemplo, o aumento do uso de subprodutos e resíduos também poderia servir como um componente crítico de uma estratégia de biocombustível. Em 2018 no Brasil, cerca de 20% do biodiesel veio do sebo e menos de 1% do etanol veio do bagaço de cana-de-açúcar.

Algumas análises sugerem que o aumento do uso de alguns subprodutos e resíduos pode ter consequências não esperadas nos casos em que esses insumos já têm outros usos.<sup>32</sup> Por exemplo, a utilização de sebo ou óleo de cozinha para biocombustíveis em algumas regiões pode desviá-los de usos na indústria oleoquímica ou como ração animal no setor pecuário; por sua vez, esses setores podem fazer uso de materiais virgens, como o óleo vegetal. No entanto, como apenas 2,5% do óleo de cozinha usado é recuperado no Brasil, é provável que a porção descartada possa ser coletada e usada na produção de biocombustível sem afetar os mercados existentes nem impulsionar a demanda por substitutos.<sup>33</sup> Ainda não se analisou a substituição de subprodutos e resíduos no contexto brasileiro, mas as implicações podem ser semelhantes se esses materiais já tiverem outros usos e mercados bem desenvolvidos no Brasil.

## COMPATIBILIDADE DE COMBUSTÍVEL E POLUENTES ATMOSFÉRICOS LOCAIS

### ETANOL

O investimento e o apoio de longa data do Brasil a veículos flex e E100 significaram que a mistura não é uma grande preocupação para a implantação continuada do etanol. Os veículos flex constituíram aproximadamente dois terços da frota de veículos comerciais leves e 98% das vendas de veículos de passageiros em 2018.<sup>34</sup> Como esses veículos são projetados para operar com misturas variáveis de etanol, de E0 a E100, as determinações de aumentar os níveis de mistura de etanol e a expansão continuada da indústria do etanol não devem impor problemas de compatibilidade.

Para veículos flex, capazes de usar tanto etanol hidratado como gasolina misturada, a escolha do combustível é frequentemente ditada pelo preço, dado que há alguma variação nos preços relativos dependendo de fatores regionais e sazonais. O etanol hidratado tem maior teor de água e menor densidade de energia do que a gasolina misturada. Comparando o desempenho dos dois combustíveis no motor, o etanol hidratado alcança torque e potência ligeiramente mais altos, além de maior eficiência térmica.<sup>35</sup> Os veículos flex incorporam várias tecnologias para acomodar misturas de etanol mais altas, incluindo sensores para detectar a proporção da mistura antes da

32 Stephanie Searle, Nikita Pavlenko, Sammy El Takriti, and Kristine Bitnere, *Potential greenhouse gas savings from a 2030 greenhouse gas reduction target with indirect emissions accounting for the European Union*. (Washington, DC: ICCT, 2017.), Disponível em: [www.theicct.org/publications/potential-greenhouse-gas-savings-2030-greenhouse-gas-reduction-target-indirect](http://www.theicct.org/publications/potential-greenhouse-gas-savings-2030-greenhouse-gas-reduction-target-indirect).

33 Aldara da Silva César, Dayana Elizabeth Werderits, Gabriela Leal de Oliveira Saraiva, and Ricardo César da Silva Guabiroba, The potential of waste cooking oil as supply for the Brazilian biodiesel chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 246–253, 2017. Disponível em: [www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews/vol/72/suppl/C](http://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews/vol/72/suppl/C).

34 Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores; Associação Brasileira da Indústria de Autopeças. *Relatório da frota circulante 2018*. Disponível em: [www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2018/R\\_Frota\\_Circulante\\_2018.pdf](http://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2018/R_Frota_Circulante_2018.pdf).

35 Rodrigo C. Costa and José R. Sodré, Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: engine performance and emissions. *Fuel*, 89, 287–293, 2010. Disponível em: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236109002981](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236109002981).

combustão, um reservatório de gasolina para manter o desempenho nas partidas a frio e materiais mais duráveis para componentes e juntas do motor.<sup>36</sup>

## BIODIESEL

Em níveis mais altos de mistura, o biodiesel pode causar problemas de compatibilidade para veículos convencionais e emitir maiores quantidades de poluentes atmosféricos locais. O rápido aumento do teor de mistura obrigatória de biodiesel no Brasil sem um aumento paralelo na implantação de veículos compatíveis com B20 ou B100 sugere a ocorrência de problemas de compatibilidade na frota brasileira a diesel. Geralmente, os fabricantes de veículos recomendam misturas de biodiesel de 5% a 7%,<sup>37</sup> com maiores misturas de diesel invalidando garantias de clientes em alguns casos.<sup>38</sup> As montadoras brasileiras já expressaram ceticismo quanto à compatibilidade dos veículos com níveis de mistura de biodiesel superiores a 10%.<sup>39</sup> Com o tempo, a corrosão e a formação de depósitos podem degradar os componentes do veículo, afetando a confiabilidade e aumentando os custos de manutenção.<sup>40</sup> Isso também exige a substituição e a manutenção mais frequentes dos filtros. O biodiesel é menos estável quimicamente do que o diesel fóssil e pode absorver água ou oxidar com o tempo. Os testes sugerem que as misturas B20 podem ser armazenadas por aproximadamente 1 ano e permanecer dentro das especificações, e que as misturas de biodiesel são geralmente estáveis dentro do curso de uso normal. No entanto, é uma boa prática que, para o biodiesel armazenado por mais de 4 meses, medidas especiais, como a adição de aditivos de mistura, sejam tomadas para evitar danos causados pela oxidação.<sup>41</sup> Em níveis mais altos de mistura, como B100, o biodiesel pode ser totalmente incompatível com alguns componentes plásticos e metais.<sup>42</sup> Uma análise preliminar do MME incorporou os resultados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores e de associações locais de biodiesel, mas ainda não foi conclusiva.<sup>43</sup> O relatório deixa em aberto a possibilidade de aprovação da mistura B15 após testes adicionais e reforço das especificações para a estabilidade da oxidação do biodiesel e o teor de água.

Embora o biodiesel contenha menos enxofre do que o diesel fóssil, seu uso como combustível pode aumentar as emissões de outros poluentes atmosféricos locais, particularmente o  $\text{NO}_x$ . Apesar de haver alguma variação nas emissões de  $\text{NO}_x$  em função da matéria-prima usada para a produção de biodiesel, a literatura sugere uma relação linear entre o nível de mistura do biodiesel e as emissões de  $\text{NO}_x$  do combustível misturado em comparação com o diesel convencional. À medida que o teor de biodiesel de soja se aproxima de 100%, o aumento de  $\text{NO}_x$  se aproxima de 20%.<sup>44</sup> Acredita-se que

36 Suani Teixeira Coelho, José Goldemberg, Oswaldo Lucon, and Patricia Guardabassi, Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. *Energy for Sustainable Development*, 10, 26-39, 2006. doi:10.1016/S0973-0826(08)60529-3.

37 Toyota Europe, *Biofuels: made responsibly, used efficiently*. Disponível em: [www.toyota-europe.com/world-of-toyota/feel/environment/better-air/biofuels](http://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/feel/environment/better-air/biofuels).

38 National Biodiesel Board, *OEM warranty statements and use of biodiesel blends over 5% (B5)*. 2005. Disponível em: [www.biodiesel.org/docs/default-source/ffs-engine\\_manufacturers/oem-warranty-statement-and-use-of-biodiesel-blends-over-5-\(b5\).pdf?sfvrsn=6](http://www.biodiesel.org/docs/default-source/ffs-engine_manufacturers/oem-warranty-statement-and-use-of-biodiesel-blends-over-5-(b5).pdf?sfvrsn=6).

39 Meghan Sapp, Brazilian car manufacturers aim to stop planned 15% biodiesel blend, *Biofuels Digest*, February 18, 2019. Disponível em: [www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/02/18/brazilian-car-manufacturers-aim-to-stop-planned-15-biodiesel-blend/](http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/02/18/brazilian-car-manufacturers-aim-to-stop-planned-15-biodiesel-blend/).

40 Stephanie Searle and Kristine Bitnere, *Compatibility of mid-level biodiesel blends in vehicles in Indonesia*, (Washington, DC: ICCT, 2018), Disponível em: <https://theicct.org/publications/compatibility-mid-level-biodiesel-blends-vehicles-indonesia>.

41 Alternative Fuels Data Center, *Biodiesel handling and use guide* (Fifth Edition), Novembro de 2016. Disponível em: [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/biodiesel\\_handling\\_use\\_guide.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/biodiesel_handling_use_guide.pdf).

42 Ibid.

43 Ministério de Minas e Energia. *Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos*. Fevereiro de 2019. Disponível em: [www.mme.gov.br/documents/1138769/O/MME+Relatorio+B10+30-04-2018+final+v01+com+Anexos.pdf/6bed5a6b-7d04-41df-a5f3-649f31afd3e9](http://www.mme.gov.br/documents/1138769/O/MME+Relatorio+B10+30-04-2018+final+v01+com+Anexos.pdf/6bed5a6b-7d04-41df-a5f3-649f31afd3e9).

44 Searle and Bitnere, 2018.

essa mudança seja causada por uma combinação de fatores, incluindo maior pressão, levando à injeção mais precoce de combustível e à maior disponibilidade de oxigênio durante a combustão, o que por sua vez aumenta a formação de NO<sub>x</sub>. Há alguma variação na formação de CO e MP a depender da matéria-prima do biodiesel, embora para o biodiesel de soja não exista uma relação forte entre nível de mistura e emissões de poluentes.<sup>45</sup> Todos os novos veículos devem cumprir os padrões atuais de emissão do Proconve. Mesmo assim, é importante que os testes de homologação usem as misturas de biodiesel que estão sendo comercializadas para garantir fidedignidade.

## COMBUSTÍVEIS DROP-IN

Embora o desempenho climático dos combustíveis *drop-in* seja largamente ditado pela matéria-prima usada para fabricá-los, da perspectiva operacional, os biocombustíveis *drop-in* oferecem substancialmente menos barreiras ao uso do que o etanol ou o biodiesel. No entanto, suas emissões globais do ciclo de vida ainda podem ser influenciadas por fatores que vão do produtor ao consumidor (*upstream factors*), como o cultivo da matéria-prima e as emissões iLUC. Diferentemente dos biocombustíveis de primeira geração, que contêm oxigênio e possuem uma química distinta da dos hidrocarbonetos fósseis, os combustíveis *drop-in* são compostos das mesmas cadeias de hidrocarbonetos que suas contrapartes fósseis. Exemplos de combustíveis *drop-in* incluem HVO (também chamado de “diesel renovável” ou “diesel verde”), gasolina renovável e combustíveis de aviação alternativos. Esses combustíveis são desoxigenados e hidrotratados para gerar hidrocarbonetos sintéticos que possam ser usados de forma intercambiável com combustíveis convencionais derivados de petróleo. Os combustíveis *drop-in* podem ser produzidos a partir de uma ampla variedade de matérias-primas, incluindo gorduras, óleos, açúcares e mesmo matérias-primas lignocelulósicas. Os combustíveis *drop-in* têm aproximadamente a mesma estabilidade química, teor de água e densidade de energia que os combustíveis convencionais e, portanto, não requerem tratamento ou armazenamento especiais.<sup>46</sup>

Testes da ARB da Califórnia em vários níveis de mistura de diesel renovável (R20, R50 e R100) constataram que sua inclusão no mix de combustíveis geralmente reduzia as emissões de poluentes atmosféricos em relação ao diesel convencional.<sup>47</sup> O diesel puro renovável reduz as emissões de MP e NO<sub>x</sub> em 30% e 10%, respectivamente, e o teor de enxofre nos combustíveis *drop-in* é insignificante.<sup>48</sup> Por isso, os combustíveis *drop-in* são desejáveis para melhorar as especificações dos combustíveis convencionais misturados.

## OPORTUNIDADES PARA A DESCARBONIZAÇÃO POR MEIO DE POLÍTICAS DE BIOCMBUSTÍVEIS

### PROMOVER BIOCMBUSTÍVEIS AVANÇADOS

Aumentar a proporção de biocombustíveis avançados, como o etanol celulósico, no mix de combustíveis do Brasil é um dos itens dos compromissos de Paris; no entanto, a penetração desses combustíveis até ao momento tem ficado muito aquém dos combustíveis de primeira geração. Em 2018, apenas 139.000 toneladas de bagaço foram usadas para a produção celulósica das quase 125 milhões de toneladas geradas como

45 Ibid.

46 Neste. *Renewable diesel handbook* (May 2016). Disponível em: [www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste\\_renewable\\_diesel\\_handbook.pdf](http://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf).

47 California Air Resources Board. *Staff report: multimedia evaluation of renewable diesel*. Nov. 2013. Disponível em: [www.arb.ca.gov/fuels/multimedia/meetings/RenewableDieselStaffReport\\_Nov2013.pdf](http://www.arb.ca.gov/fuels/multimedia/meetings/RenewableDieselStaffReport_Nov2013.pdf).

48 Neste, 2016.

coproduto da produção de etanol de cana-de-açúcar; conseqüentemente, apenas 27 milhões de litros de etanol celulósico foram produzidos.<sup>49</sup> Um fator primário que impede a conversão do etanol de bagaço é a falta de incentivos de políticas direcionados a esse tipo de etanol, já que a conversão de etanol celulósico é muito mais cara que a produção convencional de etanol de cana-de-açúcar. Conseqüentemente, é muito mais rentável queimar o bagaço para gerar eletricidade.<sup>50</sup> O bagaço de cana contribui com aproximadamente 15 milhões de MWh, ou 4%, para a produção anual de eletricidade do Brasil, e não está claro o potencial impacto nas emissões do setor de eletricidade, de seu desvio para a produção de combustível para transporte.<sup>51</sup> A palha da cana-de-açúcar constitui aproximadamente um terço do valor energético da planta e pode ser usada para a produção de etanol celulósico, com efeitos indiretos potencialmente menores.

Complementar as determinações brasileiras de mistura obrigatória de biocombustíveis com créditos de carbono e uma meta de redução de GEE poderia favorecer o uso de biocombustíveis avançados com emissões de GEE menores do que as dos biocombustíveis de primeira geração. Ao excluir as emissões iLUC dos cálculos de GEE do RenovaBio, o sistema de crédito diminui as diferenças substanciais nas emissões do ciclo de vida entre as vias de primeira geração e os resíduos com baixa ou nenhuma emissão iLUC, como etanol derivado de cana ou bagaço e biodiesel de soja. Por exemplo, ao comparar apenas as emissões diretas da produção, as reduções de emissões geradas por dada unidade de etanol celulósico derivado do bagaço diferem em apenas cerca de 7 gCO<sub>2e</sub>/MJ com relação ao biodiesel de soja.

Uma possível abordagem para incorporar combustíveis com baixo teor de carbono no mix de combustíveis do Brasil seria criar metas intermediárias de conformidade no RenovaBio para favorecer combustíveis avançados ou matérias-primas com baixo risco de iLUC. Essa abordagem já foi implementada no RED II, da União Europeia, e no RFS dos Estados Unidos, que contêm metas intermediárias para combustíveis avançados de uma lista de matérias-primas e etanol celulósico, respectivamente.<sup>52</sup> Aperfeiçoar os incentivos para biocombustíveis avançados poderia melhorar as perspectivas comerciais de tecnologias como o etanol celulósico, e há uma grande oportunidade de fazê-lo. Uma análise de cenário do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) estima um potencial teórico de 6,75 bilhões de litros de etanol celulósico disponíveis no Brasil até 2025—aproximadamente um terço da produção atual de etanol anidro.<sup>53</sup> Além disso, aproximadamente metade dessa nova produção celulósica poderia ser feita via modernização ou expansão das usinas de etanol de cana-de-açúcar.

A transição para biodiesel de baixo carbono ou matéria-prima de HVO pode ser possível através do aumento do uso de óleo de cozinha ou sebo. As vias avançadas, de longo prazo, de conversão de biocombustíveis, como a gaseificação ou a pirólise, poderiam converter resíduos agrícolas e outros em diesel sintético de teor ultrabaixo de carbono.

49 U.S. Department of Agriculture, *Brazil biofuels annual 2018* (2018), Disponível em: [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_Sao%20Paulo%20ATO\\_Brazil\\_8-10-2018.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-10-2018.pdf).

50 Marina O. S. Dias, Marcelo P. Cunha, Charles D. F. Jesus, George J. M. Rocha, José Geraldo C. Pradella, Carlos E. V. Rossell, Rubens Maciel Filho, and Antonio Bonomi, Second generation ethanol in Brazil: can it compete with electricity production? *Bioresource Technology*, 102, 8964-8971, 2011. doi:10.1016/j.biortech.2011.06.098.

51 Leticia Phillips, Brazilian sugarcane sector: recent developments and the path ahead, Apresentado no USDA's 94th Annual Agricultural Outlook Forum, 23 fev. 2018, Disponível em: [www.usda.gov/oce/forum/2018/speeches/Leticia\\_Phillips.pdf](http://www.usda.gov/oce/forum/2018/speeches/Leticia_Phillips.pdf).

52 General Secretariat of the Council of the European Union. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Analysis of the final compromise text with a view to agreement. 21 jun. 2018. Disponível em: [www.consilium.europa.eu/register/en/content/out/?typ=ENTRY&i=LD&DOC\\_ID=ST-10308-2018-INIT](http://www.consilium.europa.eu/register/en/content/out/?typ=ENTRY&i=LD&DOC_ID=ST-10308-2018-INIT); U.S. Environmental Protection Agency. Overview for renewable fuel standard. Disponível em: [www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard](http://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard).

53 Milanez, Artur Yabe et al. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *BNDES Setorial*, 41, 237-294, 2015. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4283>.

No curto prazo, o óleo de cozinha é a matéria-prima mais promissora, pois pode ser convertida em biodiesel ou HVO por meio de tecnologia comercializada existente. A maior parte do óleo de cozinha no Brasil é descartada após o uso—até 97,5% em 2017.<sup>54</sup> Em 2012, o Brasil produziu cerca de 330.000 toneladas de óleo de cozinha usado, extrapolando a partir do consumo de óleo vegetal doméstico.<sup>55</sup> Contabilizando as perdas de conversão, teoricamente a quantidade poderia render cerca de 350 milhões de litros—quase 8% do consumo rodoviário de biodiesel no Brasil em 2018.<sup>56</sup> No entanto, a maior parte da produção de óleo de cozinha usado no Brasil ocorre em domicílios, o que pode impor várias complicações a sua coleta. Enquanto o óleo de cozinha usado é coletado de fontes centralizadas, como restaurantes, com relativo sucesso na União Europeia, a coleta doméstica tem enfrentado dificuldades fora da Bélgica, da Holanda e da Áustria.<sup>57</sup> Implementar a coleta regular de óleo de cozinha usado requer organização e colaboração entre as empresas de resíduos, os governos locais e os consumidores, bem como atividades de conscientização dos consumidores. Com isso em prática, talvez apenas uma pequena fração do óleo de cozinha usado no Brasil possa ser considerada disponível para a conversão de combustível.

## LIMITAR AS MUDANÇAS INDIRETAS NO USO DA TERRA

Outra opção de política para melhorar o desempenho geral, em termos de GEE, da política de biocombustíveis no Brasil é excluir ou limitar a contribuição de matérias-primas com alto iLUC. Isso poderia ser feito estabelecendo-se um limite para o desmatamento para a produção total dessa matéria-prima no país, a fim de que o produtor possa gerar créditos CBIO no programa RenovaBio. Se, por exemplo, as misturas a diesel não gerassem créditos CBIO a partir de combustíveis com um limite de desmatamento acima de 10%, apenas produtores de HVO ou biodiesel à base de sebo, óleo de cozinha ou outros resíduos poderiam gerar esses créditos. Para o conjunto amplo de substitutos da gasolina, como o etanol de cana-de-açúcar, há menos preocupação com desmatamento. De acordo com os estudos citados acima e a modelagem de iLUC, é provável que o etanol de cana-de-açúcar possa continuar a produzir créditos CBIO com este limiar de desmatamento em vigor.

## CONCLUSÃO

O Brasil conseguiu mobilizar uma das maiores indústrias de biocombustível do mundo nas últimas décadas, mas sua indústria de biocombustível avançado está muito atrás da capacidade de produção de sua indústria de biocombustível de primeira geração. Além disso, a dependência do Brasil de matérias-primas de biocombustível derivadas de culturas agrícolas, aliada a suas vulneráveis florestas e Cerrado, apresenta riscos particulares ao clima se a expansão da indústria de biocombustíveis continuar sem a implementação de medidas adequadas de sustentabilidade.

Os maiores riscos ao clima e à qualidade do ar vêm da expansão continuada de biocombustíveis no diesel. Em particular, a rápida expansão do biodiesel derivado de soja pode minar as metas climáticas de longo prazo do país, devido à contribuição

54 da Silva Cesar et al., 2017.

55 Carlos Daniel Mandolesi de Araújo, Claudia Cristina de Andrade, Erika de Souza e Silva, and Francisco Antonio Dupas, Biodiesel from used cooking oil: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 445-452, 2013, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.014>.

56 Ibid.

57 Fabien Hillairet, Victor Allemandou, and Katarzyna Golab. Analysis of the Current Development of Household UCO Collection Systems in the EU (Greenea, 2016). Disponível em: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Greenea%20Report%20Household%20UCO%20Collection%20in%20the%20EU\\_ICCT\\_20160629.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Greenea%20Report%20Household%20UCO%20Collection%20in%20the%20EU_ICCT_20160629.pdf)

das emissões iLUC para o impacto do ciclo de vida desse combustível, anulando a economia de emissões resultante da substituição do diesel. Além disso, misturas de alto teor de biodiesel podem levantar problemas de compatibilidade em uma frota que não está adaptada para usá-las, levando a emissões maiores de NO<sub>x</sub> e a custos mais altos de manutenção dos veículos. Recomendamos que o Brasil suspenda seus aumentos anuais de percentual de mistura obrigatória de biodiesel e incentive o uso de insumos alternativos de biodiesel, sem impactos iLUC, como óleo de cozinha usado, que pode render mais 350 milhões de litros de biodiesel com o aprimoramento das práticas de coleta. No longo prazo, a transição para a produção de HVO a partir de óleo de cozinha usado e outros resíduos poderia levar a maiores volumes de substituição de diesel sem problemas de compatibilidade.

Em contraste com o biodiesel, a expansão da cana-de-açúcar no Brasil implica menos riscos. A maioria das modelagens sugere que, embora possa gerar emissões iLUC, o etanol de cana-de-açúcar ainda pode oferecer reduções de carbono em relação ao petróleo convencional. Além disso, a política do RenovaBio vai incentivar os produtores de etanol de cana com melhor desempenho, permitindo a descarbonização dos combustíveis com o tempo, por meio do aumento da eficiência ou da transição para biorrefinarias integradas, utilizando maiores quantidades de resíduos de bagaço para produzir etanol. O etanol de bagaço, que gera uma economia de 95% de carbono em comparação com a gasolina fóssil, pode ser uma fonte de combustível de carbono ultrabaixo a longo prazo.

A transição para um método de mensuração do carbono do ciclo de vida para incentivar os biocombustíveis por meio do RenovaBio também apresenta uma grande oportunidade de transição para biocombustíveis de baixo carbono e avançados visando atender às metas climáticas brasileiras de longo prazo. A introdução de fatores de emissão iLUC para biocombustíveis derivados de culturas agrícolas pode melhorar os valores relativos de crédito para combustíveis à base de resíduos. Alternativamente, esses combustíveis podem ser incentivados com a introdução de metas intermediárias dentro do programa. Para mitigar os piores impactos potenciais da conversão de terras, recomendamos que o Brasil incorpore critérios de sustentabilidade para essa conversão no RenovaBio. As proteções ao solo existentes no Brasil, voltadas principalmente para a conversão direta em áreas ricas em carbono, são insuficientes para evitar a conversão indireta, mediada pelo mercado, que pode resultar da demanda por biocombustíveis. Em vez disso, recomendamos um limite de elegibilidade mais rigoroso para impedir que as matérias-primas vinculadas ao desmatamento gerem créditos CBIO. Juntas, essas mudanças podem garantir que a expansão continuada do biocombustível no Brasil leve a maiores reduções de carbono e coloque menos pressão sobre seus recursos terrestres.