

## **MAIS MOBILIDADE E MENOS EMISSÕES: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR DE TRANSPORTES EM UM MUNDO EM TRANSIÇÃO**

LUIZ GUSTAVO ESCORCIO BEZERRA<sup>225</sup>

MEG FERREIRA CIRILO<sup>226</sup>

GEDHAM MEDEIROS GOMES<sup>227</sup>

**Sumário:** 1 Introdução – 2 Desenvolvimento – 2.1 Problematização – 2.2 Metodologia – 2.3 Análise dos resultados – 2.3.1 Regulações, planos, projetos e programas – 2.3.2 Setor de Aviação – 2.3.3 Biocombustíveis – 2.3.4 Oportunidades para um setor de transportes mais sustentável – 2.3.5 Biocombustíveis avançados – 2.3.6 Veículos híbridos e elétricos – 3 Considerações Finais – 4 Bibliografia.

**Resumo:** responsável por quase um quarto das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) globalmente e com tendência de crescimento da demanda nos próximos anos, o setor de transportes enfrentará um significativo desafio na transição para uma economia de baixo carbono, rumo a um efetivo desenvolvimento sustentável. No Brasil, em que há um déficit na infraestrutura e cujo principal modal para transporte de cargas e de passageiros ainda é o rodoviário movido a combustíveis fósseis (notadamente diesel e gasolina), o desafio se mostra ainda maior. Diante disto, este artigo se propõe a analisar o cenário atual do setor e as projeções para o futuro, traçando um breve histórico da regulação e dos programas e projetos implementados em relação a mudanças climáticas e mobilidade sustentável, explorando os desafios

---

(\*) Artigo recebido em 08/04/21. Artigo aceito para publicação em 16/11/21.

<sup>225</sup>Advogado, bacharel em Direito pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), especialista em Direito Ambiental Brasileiro pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), mestre em Direito Ambiental (LL.M.) pela University College London (UCL) e Doutor em Ciências Ambientais pela UERJ.

<sup>226</sup>Advogada, bacharel em Direito pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), MBA em Gestão de Negócios Sustentáveis pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e L.L.M. em Direito Ambiental, com Especialização em Direito da Energia e Mudanças Climáticas, pela Elisabeth Haub School of Law at Pace University (EUA).

<sup>227</sup>Advogado, bacharel em Direito pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), especialista em Direito Ambiental Brasileiro pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) e Mestre em Direito da Cidade pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

e as oportunidades de ações setoriais para mitigação e adaptação aos impactos da mudança do clima. Com base nessa análise, observa-se que o desenvolvimento do setor de biocombustíveis, notadamente com a consolidação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), é a melhor aposta no curto prazo, mas que medidas adicionais, como investimentos em eletrificação veicular, também são necessárias, não apenas para que o país alcance as metas de redução de emissões previstas no âmbito do Acordo de Paris, mas para que o Brasil consiga, no longo prazo, tornar mais limpas as suas matrizes energética e de transporte, permitindo a entrada de novos biocombustíveis e aprimorando os sistemas de mobilidade.

**Palavras-chave:** transportes; eficiência energética; eletrificação; biocombustíveis

**Abstract:** responsible for nearly a quarter of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions globally and with a trend of increasing demand in the upcoming years, the transport sector will face a significant challenge in the transition to a low carbon economy, towards an effective sustainable development. In Brazil, where there is a deficit in infrastructure and the main mode of transportation for cargo and passengers is still by road, powered by fossil fuels (notably diesel and gasoline), the challenge is even greater. Given this, this article aims to analyze the current scenario of the sector and projections for the future, tracing a brief history of regulation, programs and projects implemented in relation to climate change and sustainable mobility, exploring the challenges and opportunities for sectorial actions aimed at mitigation and adaptation to the impacts of climate change. Based on this analysis, it is observed that the development of the biofuels sector, notably with the consolidation of the National Biofuels Policy (RenovaBio), is the best shot in the short term, although additional measures, such as investments on vehicular electrification, are also necessary, not only for the achievement of the country's emission reduction targets under the Paris Agreement, but also for Brazil to be able, in the long term, to make its energy and transport matrices cleaner, allowing the entry of new biofuels and improving mobility systems.

**Keywords:** transport; energy efficiency; electrification; biofuels.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes – de cargas e de passageiros, conjuntamente considerados – corresponde a cerca de 24% das emissões globais diretas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) resultantes da queima de combustíveis, sendo a maior parte (quase  $\frac{3}{4}$ ) proveniente de veículos rodoviários, como carros e caminhões. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), emissões diretas de gases de efeito estufa (GEE) do setor aumentaram 250% entre 1970 e 2010<sup>228</sup>. No Brasil, tendo por base o ano de 2018, o ramo de transportes foi responsável por 49% das emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético e por cerca de 10% das emissões totais do país, atrás da agropecuária e mudanças no uso da terra<sup>229</sup>.

Desde 2017, o consumo de energia pelo setor de transportes de países que não pertencem à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) é superior ao dos países da OCDE. Estima-se que a demanda do primeiro grupo continue a crescer e corresponda, até 2050, a quase 65% do consumo mundial. Tal crescimento está associado ao aumento da atividade econômica, da população e da renda em países que não fazem parte da OCDE, gerando maior número de viagens nos diversos modais e incremento na demanda por bens (inclusive veículos) e serviços<sup>230</sup>.

Esse cenário gera preocupação não apenas pela evidente necessidade de investimentos em infraestrutura e diversificação dos modais de transporte, mas também pelo fato de que o desenvolvimento do setor será acompanhado de um conseqüente aumento na demanda por energia, leia-se, combustíveis. De acordo com a Agência de

---

<sup>228</sup>IPCC

- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014.

<sup>229</sup>SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. *Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil*. 2019.

<sup>230</sup>EIA - U.S. Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. 2019.

Informação de Energia dos Estados Unidos (EIA, na sigla em inglês) o setor de transportes será responsável por 59% do consumo global de combustíveis líquidos em 2050, incluindo óleo combustível residual, óleo diesel, gasolina e combustível para aviação<sup>231</sup>.

A despeito disso, abre-se parênteses para registrar a recente diminuição do consumo de combustíveis causada pela menor circulação de pessoas e veículos em decorrência das medidas de contenção adotadas por conta da pandemia da COVID-19, ocasionando redução significativa de emissões de CO2 globalmente. Segundo levantamento da Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês), comparando-se o primeiro trimestre de 2020 ao primeiro trimestre de 2019, ocorreu uma redução de quase 50% na atividade de transporte rodoviário e de 60% na aviação e a demanda global de energia diminuiu 3,8%. No entanto, o Órgão alerta para o risco de que, superada a crise, como já ocorreu no passado, a retomada das emissões globais de CO2 supere o declínio observado no período, a menos que a economia se reestruture de forma mais limpa e resiliente<sup>232</sup>.

Passando-se à realidade nacional, em 2020, o consumo de energia nos transportes observou uma redução de 6,4% em relação a 2019, com queda de 42,8% do querosene de aviação, 12,3% do etanol, 6,1% da gasolina e 1,1% do óleo diesel, enquanto o consumo de biodiesel teve um aumento de 8,4%<sup>233</sup>. As vendas de óleo diesel foram as menos afetadas, provavelmente devido ao fato de que o transporte de cargas, de onde advém a maior demanda pelo combustível, foi classificado como um serviço essencial e, por este motivo, teve as atividades pouco restringidas por conta da pandemia. Ainda assim, as emissões do setor no primeiro trimestre de 2020 foram de cerca de 50 Mt de CO2, equivalente ao menor patamar para o período desde 2012<sup>234</sup>.

---

<sup>231</sup>EIA - U.S. Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. 2019.

<sup>232</sup>IEA. *Global Energy Review 2020. The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions*. 2020b.

<sup>233</sup>EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional 2021*. 2021.

<sup>234</sup>SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. *Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil*. 2019.

Não obstante a excepcional desaceleração de atividades e emissões associada à pandemia, ainda há muito a ser feito no combate às mudanças climáticas e adaptação a seus efeitos, em especial no setor de transportes. Como visto, a projeção para o setor é de crescimento, sendo patente a necessidade de aumento da eficiência energética e substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia menos poluentes, com o objetivo de atender a demanda decorrente do aumento da mobilidade e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de GEE correlatas.

Cabe aqui pontuar que, segundo o Banco Mundial, a extensão das redes ferroviária e rodoviária do Brasil é inferior ao esperado para um país com a sua dimensão territorial e renda per capita, e que o crescimento do estoque de infraestrutura de ferrovias e rodovias foi quase nulo desde 1990. Ainda de acordo com a entidade, a infraestrutura de transportes representa a maior lacuna de investimentos do país (45,3%, equivalente a 1,91% do produto interno bruto – PIB)<sup>235</sup>.

O Brasil possui apenas 13% da sua malha rodoviária pavimentada, contra 70,3% nos países da OCDE. Comparando-se a densidade viária, tem-se 0,2km/km<sup>2</sup> contra 1km/km<sup>2</sup><sup>236</sup>. Ademais, entre 2005 e 2016, a frota brasileira de veículos de passageiros quase dobrou, enquanto o uso de transporte público apresentou queda em razão de sua baixa qualidade e alto custo<sup>237</sup>.

De outra parte, em suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês), submetidas em 21 de setembro de 2016 e atualizadas em 09 de dezembro de 2020, no âmbito do Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com uma contribuição indicativa

---

<sup>235</sup>RAISER, Martin et al. *De volta ao planejamento: como preencher a lacuna de infraestrutura no Brasil em tempos de austeridade*. Brasília: Banco Mundial, 2017.

<sup>236</sup>IDB INVEST - INTER-AMERICAN INVESTMENT CORPORATION. *Building Big - Brazil's challenges and opportunities in infrastructure. A public-private perspective*. 2019. apud IRF, 2013.

<sup>237</sup>IDB INVEST - INTER-AMERICAN INVESTMENT CORPORATION. *Building Big - Brazil's challenges and opportunities in infrastructure. A public-private perspective*. 2019. apud Sindipeças, 2018.

subsequente de reduzir emissões em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Especificamente no setor de transportes, o país pretende “promover medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas”. Em relação a biocombustíveis, pretende-se “aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis (...)”<sup>238</sup>.

Nessa linha, a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, na sigla em inglês) ressalta o papel essencial desempenhado pelo uso de biocombustíveis na descarbonização do setor de transportes, especialmente considerando atividades nas quais há maiores obstáculos para eletrificação, como aviação e transporte marítimo. De acordo com a Agência, para a descarbonização do setor energético, entre outras medidas, o mercado para biocombustíveis líquidos precisaria quadruplicar até 2050, passando de 130 para 652 bilhões de litros anualmente, com investimentos de cerca de U\$S 2 trilhões de dólares<sup>239</sup>.

Sobre isso, anote-se que, segundo o “Balanço Energético Nacional 2021”, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2020, o percentual de participação de combustíveis renováveis na matriz energética nacional foi de 48,4%, com aumento da oferta da biomassa de cana e biodiesel e recuo de 5,6% de petróleo e derivados. Em relação à matriz de transportes, o uso de renováveis correspondeu a 25%.

Diesel, gasolina, etanol e querosene de aviação responderam por, respectivamente, 44,4%, 25,4% e 19,3% e 2,4% do total<sup>240</sup>.

Nesse cenário, a realidade que se desenha para o Brasil é o de um país com ambiciosas metas de redução de emissões de GEE, mas com déficit de investimentos em infraestrutura de transportes, dependente

---

<sup>238</sup>BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 2: estratégias setoriais e temáticas: Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016*. 2016.

<sup>239</sup>IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*. 2019a e 2019b.

<sup>240</sup>EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional 2021*. 2021.

do transporte rodoviário movido a combustíveis fósseis e com potencial de aumento da parcela de biocombustíveis na matriz energética do setor.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Problematização**

Diante do exposto na introdução, a pergunta que este artigo se propõe a abordar é como alinhar a necessidade de desenvolvimento do setor de transportes com a também necessária transição, em escala global, para uma economia de baixo carbono, no âmbito da qual é imprescindível a adoção de medidas para aumento da eficiência energética e mitigação de emissões de transportes, além de ações para adaptação do setor às mudanças climáticas.

### **2.2. Metodologia**

O presente trabalho tem por base a revisão de estudos produzidos em âmbito nacional e internacional, por instituições de pesquisa, órgãos governamentais e não governamentais, tanto no que tange à influência do sistema de transportes – e combustíveis por ele utilizados – no aumento ou redução das emissões de GEE, quanto no que se refere às possíveis opções para uma efetiva transição para uma mobilidade sustentável. Além disso, focando-se na realidade brasileira, são analisadas normas, projetos e programas relevantes para o assunto em tela, uma vez que subsidiam e/ou efetivam a adoção de ações relativas às mudanças climáticas e mobilidade sustentável.

### **2.3. Análise dos resultados**

As pesquisas desenvolvidas para a elaboração deste artigo indicaram que ações de mitigação e adaptação aplicáveis aos transportes podem englobar inúmeras iniciativas, tais como: (i) aumento da eficiência no transporte de passageiros e de cargas, por exemplo, com a reestruturação de sistemas de logística, desenvolvimento dos setores ferroviário e de cabotagem em substituição ao rodoviário, e incentivo a viagens compartilhadas; (ii) ampliação de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e da utilização de combustíveis renováveis e de tecnologias e equipamentos mais eficientes energeticamente (p.ex.:

substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, como etanol e biodiesel, e eletrificação de veículos leves e ferrovias); (iii) desenvolvimento da infraestrutura urbana e de transportes, de modo a viabilizar e aprimorar modais de baixo carbono, melhorar a qualidade do transporte público, atrair usuários e diminuir a quantidade e o tempo de viagens; (iv) implementação de políticas de planejamento e desenvolvimento urbano que foquem em crescimento compacto, infraestrutura conectada e gestão coordenada (as chamadas “cidades 3C”, com base nos princípios do Desenvolvimento Orientado para o Transporte Sustentável – DOTS); (v) execução de programas de conscientização e fomento ao uso de transporte público e veículos não motorizados, visando a mudanças comportamentais da população para substituição do transporte individual de passageiros por opções mais limpas; (vi) adaptação dos sistemas de transportes para os efeitos das mudanças climáticas, como temperaturas extremas, intensa precipitação e aumento do nível do mar; (vii) promoção de campanhas informativas e educacionais para a população, empresas e os próprios entes do governo sobre a importância da adoção de medidas setoriais de combate às mudanças climáticas; (viii) substituição de modais na cadeia de suprimentos (por exemplo, troca de caminhões por trens na distribuição de produtos); e (ix) introdução de novas regulamentações e alteração de normas existentes para impulsionar a adoção de medidas de mitigação e adaptação, tanto pelo setor público quanto pelo privado.

### **2.3.1. Regulações, planos, projetos e programas**

Segundo a Constituição Federal, compete à União “instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos” (art. 21, inciso XX). Por outro lado, cabe ao Poder Público municipal executar a política de desenvolvimento urbano, que “tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes” (art. 182).

No mesmo sentido, a Lei nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) determina que a política urbana deve seguir, como diretriz geral, a “garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura



urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações” (art. 2º, inciso I).

Aprofundando o tema, a Lei nº 12.587/2012 instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), tendo como diretrizes, entre outras: (i) “integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos”; (ii) “prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado”; (iii) “mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade”; e (iv) “incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes” (art. 6º, incisos I, II, IV e V).

Consoante a PNMU, cidades com mais de vinte mil habitantes devem elaborar um Plano de Mobilidade Urbana, sendo este um instrumento de efetivação da aludida Política (art. 24, § 1º, inciso I). A obrigação também se aplica a municípios “integrantes de regiões metropolitanas, regiões integradas de desenvolvimento econômico e aglomerações urbanas com população total superior a 1.000.000 (um milhão) de habitantes” e àqueles que integram áreas de interesse turístico (art. 24, § 1º, incisos II e III).

Municípios com mais de 250.000 (duzentos e cinquenta mil) habitantes têm até 12 de abril de 2022 para elaboração e aprovação do Plano de Mobilidade Urbana, enquanto tal prazo vai até 12 de abril de 2023 para municípios com até 250.000 (duzentos e cinquenta mil) habitantes (art. 24, § 4º, incisos I e II). Encerrados estes prazos, “os Municípios que não tenham aprovado o Plano de Mobilidade Urbana apenas poderão solicitar e receber recursos federais destinados à mobilidade urbana caso sejam utilizados para a elaboração do próprio plano” (art. 24, § 8º).

Outro ponto relevante da PNMU é a previsão de instrumentos de gestão, no artigo 23, que incluem, por exemplo, estipulação de padrões, monitoramento e controle de emissões de poluentes de veículos motorizados, facultando-se a determinação de restrição de acesso destes veículos a determinadas vias.

De forma complementar à PNMU e em consonância com o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, de 2008, e com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, Lei nº 12.187/2009) e seu Decreto regulamentador (Decreto nº 7.390/2010), em 2013 foi lançado o Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), com vigência até 2020. Apesar da sua inegável relevância, deve ser pontuado que o PSTM não avançou a pauta tanto quanto poderia, deixando de apresentar metas ambiciosas e estratégias concretas para incentivo à diversificação modal e energética e aumento da qualidade dos transportes coletivo e de cargas. Há, por exemplo, a menção ao aumento do uso de bicicletas como uma potencial medida de mitigação, mas não é indicado como deveria ocorrer a implantação da infraestrutura cicloviária.

Nesse passo, o Plano acabou por se amparar amplamente no que já era previsto no Plano Nacional de Logística e Transportes (PLNT), no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) “Mobilidade Grandes Cidades” e nos acordos referentes a projetos para a Copa do Mundo de 2014. Ademais, apesar do título, o PSTM aborda apenas superficialmente ações de adaptação do setor à mudança do clima, focando primordialmente em mitigação.

Seguindo adiante, uma iniciativa importante para a consecução dos objetivos da PNMC e da PNMU foi o Programa “Mobilidade Urbana de Baixo Carbono em Grandes Cidades”. O programa é resultado dos compromissos assumidos no âmbito do convênio de financiamento de investimentos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF, na sigla em inglês), celebrado em 08 de abril de 2015, entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o (extinto) Ministério das Cidades (MCidades) e o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). Conforme indicado no Termo de Convênio, seu objetivo é a cooperação dos envolvidos para a “execução de um projeto (...) que consiste em contribuir para desenvolvimento de ferramentas técnicas

e de conhecimento visando ao planejamento e implantação de mobilidade urbana sustentável em cidades brasileiras”<sup>241</sup>.

Com duração de 36 (trinta e seis) meses, o programa se estruturou em três componentes: (i) Marco Técnico e Normativo para a Mobilidade Urbana de Baixo Carbono em Grandes Cidades Brasileiras, com a elaboração de guias e manuais de suporte à incorporação de medidas de redução de emissões em projetos de mobilidade urbana; (ii) Projetos-Piloto, desenvolvidos nas cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Fortaleza e Brasília; e (iii) Capacitação e Disseminação de Conhecimento, com a promoção do conhecimento junto a governos municipais e parceiros locais, incluindo, mas não se limitando, as cidades que são parte do PAC Mobilidade Grandes Cidades.

Outro projeto que merece menção é o “Eficiência Energética na Mobilidade Urbana” (EEMU), executado entre 2016 e 2018, resultante de um Acordo de Cooperação Técnica com o governo da Alemanha, com vistas a aprimorar as condições técnicas e institucionais do setor de mobilidade urbana, de modo a possibilitar, por meio de ações de gestão, o aumento da eficiência energética e a redução de emissões de GEE. O projeto, que teve os Municípios de Sorocaba (SP) e Uberlândia (MG) como cidades-piloto, aborda a eficiência energética por três eixos: o sistema de transporte como um todo (eficiência sistêmica), as viagens individuais (eficiência da viagem) e a tecnologia do veículo e fonte de energia (eficiência do veículo). Os materiais produzidos servem para orientar técnicos e gestores no planejamento, implementação e gestão de ações de mobilidade urbana em todos os níveis federativos<sup>242</sup>.

Adicionalmente, em 2016, foi publicado o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (Portaria MMA nº 150/2016), que enfatiza a

---

<sup>241</sup>BRASIL. Ministério das Cidades (2015). *Programa Mobilidade Urbana de Baixo Carbono para Grandes Cidades*. Disponível em:

<<https://www.mdr.gov.br/servidores/235-secretaria-nacional-de-transporte-e-da-mobilidade/sustentabilidade-ambiental-semob/4100-programa-mobilidade-urbana-de-baixo-carbono-para-grandes-cidades>>.

<sup>242</sup>GIZ –

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GMBH. *Eficiência Energética na Mobilidade Urbana*. 2018. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/worldwide/73893.html>>.

necessidade de efetiva implementação da PNMU e avalia os impactos esperados devido à alteração da variável climática no setor de transportes e na mobilidade urbana, como os processos erosivos relacionados ao aumento da precipitação e eventos de inundação, ocasionando a deterioração de vias e estruturas, redução da segurança, restrições na logística de distribuição de bens e serviços e aumento de tempos de viagem. Diante disto, é apresentada uma série de medidas preventivas e de minimização dos aludidos impactos, tanto para os sistemas de transportes existentes como para a infraestrutura a ser instalada – p.ex., “incorporação do planejamento para adaptação e resiliência no âmbito dos planos de mobilidade urbana, de forma integrada com o planejamento de uso e ocupação do solo nas cidades (...)” –, apontando-se também a imprescindível convergência entre ações de mitigação e de adaptação aos efeitos da mudança do clima<sup>243</sup>.

Ainda em relação a medidas de adaptação às mudanças climáticas, o Ministério das Cidades e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveram, com o apoio da Embaixada Britânica e execução pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil), projeto focado na adaptação da mobilidade urbana, com foco na geração de subsídios para revisão do PSTM. Um dos produtos derivados do projeto foi a publicação, em março de 2017, de estudo técnico intitulado “Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana”, com a identificação das vulnerabilidades do setor, mapeamento dos potenciais impactos, seleção de indicadores de extremos climáticos, projeções para os horizontes de 2040 e 2070 e sugestão de ações de adaptação<sup>244</sup>.

Cabe destacar também a reformulação, no final de 2020, do Programa de Infraestrutura de Transporte e da Mobilidade Urbana (Pró-

---

<sup>243</sup>BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 2: estratégias setoriais e temáticas: Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016*. 2016.

<sup>244</sup>BRASIL. Ministério das Cidades (2017). *Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana*.

Disponível em:

<<http://www.cidades.gov.br/images/stories/Arquivos>

*SEMOB/ArquivosPDF/Estudo\_Técnico\_-\_Adaptação\_às\_mudanças\_climáticas\_na\_Mobilidade\_Urbana.pdf* >.

Transporte), que objetiva promover a melhoria da mobilidade urbana por meio de investimentos, com recursos oriundos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), na infraestrutura de transportes, priorizando modos de transporte público coletivo e os não motorizados (Resolução nº 989/2020, do Ministério da Economia/Conselho Curador do FGTS, e Instrução Normativa nº 3/2021, do Ministério do Desenvolvimento Regional). São modalidades financiáveis, no âmbito do Pró-Transporte: (i) sistemas de transporte público coletivo; (ii) qualificação viária; (iii) transporte não motorizado; (iv) estudos e projetos; (v) Planos de Mobilidade Urbana; e (vi) desenvolvimento institucional.

Passando-se ao ano de 2018, deve ser mencionada a publicação do Decreto nº 9.578/2018, que introduziu regras adicionais relativas ao Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e à PNMC. Para o assunto que ora se debate, merece destaque o Decreto estabelecer que projetos com foco em mobilidade urbana e transporte eficiente de baixa emissão de carbono serão considerados prioritários para aplicação dos recursos do Fundo (art. 7º, parágrafo único, inciso IV).

Na sequência, em março de 2019, o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e com o Ministério das Comunicações (MCom), lançou o projeto “Carta Brasileira para Cidades Inteligentes”, com o objetivo de orientar políticas públicas, linhas de financiamento e ações estratégicas nas diferentes escalas de governo, incluindo ações voltadas à mobilidade, sustentabilidade (social, econômica e ambiental) e mitigação e adaptação às mudanças climáticas<sup>245</sup>. Em dezembro de 2020, o produto final foi publicado, resultado de um processo colaborativo que contou com a participação de diversos setores da sociedade. O documento é dividido em três partes: (i) Contexto Brasileiro; (ii) Agenda Brasileira para Cidades Inteligentes (conceito, princípios, diretrizes, objetivos estratégicos e recomendações); e (iii) Considerações e Perspectivas Futuras.

---

<sup>245</sup>BRASIL. MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional. *Carta Brasileira para Cidades Inteligentes*. 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projetos-andus/carta\\_brasileira\\_cidades\\_inteligentes.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projetos-andus/carta_brasileira_cidades_inteligentes.pdf)>.

Em relação ao financiamento de infraestrutura verde, em setembro de 2019, o Ministério da Infraestrutura assinou Memorando de Entendimentos com a organização internacional Climate Bonds Initiative (CBI) para a certificação de projetos de infraestrutura para emissão de títulos verdes (“green bonds”), com foco inicial em ferrovias<sup>246</sup>. Como resultado deste Memorando, foi estruturado o primeiro programa da América Latina de emissão de títulos verdes voltado para o financiamento de infraestrutura de transportes, abrangendo a Ferrovia de Integração Oeste-Leste (Fiol), a Ferrogrão e a Ferrovia de Integração Centro-Oeste (Fico)<sup>247</sup>.

Na mesma vertente, em 5 de junho de 2020, foi publicado o Decreto nº 10.387/2020, que alterou o Decreto nº 8.874/2016 para dispor sobre incentivo ao financiamento de projetos de infraestrutura com benefícios sociais e ambientais, criando a categoria de debêntures verdes incentivadas.

Entre os projetos que proporcionam benefícios relevantes, o decreto expressamente englobou, no setor de mobilidade urbana, os seguintes sistemas de transporte público não motorizado e de transporte público de baixo carbono: (i) sistemas de transporte urbano sobre trilhos (monotrilhos, metrô, trens urbanos e Veículos Rápidos sobre Trilhos – VLT); (ii) aquisição de ônibus elétricos e híbridos a biocombustível ou biogás; e (iii) implantação de infraestrutura de Bus Rapid Transit – BRT. Cria-se, assim, um relevante instrumento para captação de recursos para projetos alinhados com as supracitadas PNMC e PNMU e para o atendimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no bojo do Acordo de Paris.

---

<sup>246</sup>BRASIL. Ministério da Infraestrutura. *Ministro assina memorando para habilitar projetos de concessões ao mercado de títulos pró-meio ambiente*. 2019. Disponível em: <<https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/17-ultimas-noticias/9083-ministro-assina-memorando-para-habilitar-projetos-de-concess%C3%B5es-ao-mercado-de-t%C3%ADtulos-pr%C3%B3-meio-ambiente.html>>.

<sup>247</sup>BRASIL. Ministério da Infraestrutura. *Governo estrutura primeiro programa de títulos verdes para transportes da América Latina*. 2020. Disponível em: <<http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/9908-governo-estrutura-primeiro-programa-de-t%C3%ADtulos-verdes-para-transportes-da-am%C3%A9rica-latina.html>>.

### 2.3.2. Setor de Aviação

Para o setor de aviação, desde 2013, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) elabora e submete à Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), a cada três anos, o Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO<sub>2</sub> da Aviação Civil Brasileira, em linha com a Resolução A39-2 (“Declaração consolidada de políticas e práticas contínuas da OACI relacionadas à proteção ambiental – Mudança Climática”), em que são indicadas as medidas adotadas para limitar ou reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> da aviação civil brasileira.

Entre essas medidas, a última edição do Plano, de dezembro de 2019 (ano base 2018), aponta: (i) ações das empresas áreas para aumento da eficiência operacional; (ii) melhorias na gestão do tráfego aéreo pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA); (iii) aperfeiçoamento da infraestrutura aeroportuária, por meio, por exemplo, da redução da distância percorrida pelos equipamentos de apoio em solo e adoção de veículos em terra movidos a biocombustíveis; e (iv) desenvolvimento tecnológico de aeronaves, aumentando a sua eficiência energética<sup>248</sup>.

Cabe consignar que apenas emissões de voos domésticos são incluídas nas NDC dos países, cabendo à OACI endereçar as contribuições da aviação internacional. Diante disto, em 2010, a OACI definiu como metas globais para a aviação internacional a melhoria da eficiência energética em 2% ao ano, até 2050, e o crescimento neutro em carbono a partir de 2020. Para o horizonte a partir de 2021, a organização criou o Mecanismo de Redução e Compensação de Emissões da Aviação Internacional (CORSIA, na sigla em inglês), no escopo do qual o Brasil está incluído. Em consonância com o CORSIA, desde janeiro de 2019, a ANAC monitora as emissões de CO<sub>2</sub> dos operadores aéreos nacionais provenientes de voos internacionais. O monitoramento, reporte e verificação de dados de emissão de CO<sub>2</sub> relativos ao transporte aéreo internacional é regulamentado pela Resolução ANAC nº 496/2018. A partir de 2027, as empresas deverão

---

<sup>248</sup>ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil (2019). *Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO<sub>2</sub> da Aviação Civil Brasileira*. 3 ed.

compensar as suas emissões internacionais com a aquisição de créditos de carbono<sup>249</sup>.

Apesar disso, a expectativa é de que as metas estabelecidas pela OACI não sejam atendidas. Grande parte disto se deve ao fato de que, para tanto, além de agressivas melhorias tecnológicas e operacionais, seria necessária uma substituição quase total de combustíveis fósseis por alternativas sustentáveis, com substanciais investimentos de capital e medidas governamentais de apoio, o que, no curto prazo, não deve se tornar uma realidade<sup>250</sup>. Segundo a ANAC, o gasto com combustível representa cerca de 30% do custo operacional de uma empresa aérea e os combustíveis alternativos, como o bioquerosene e os hidrocarbonetos renováveis para aviação, ainda não são economicamente competitivos com aqueles de origem fóssil<sup>251</sup>.

### 2.3.3. Biocombustíveis

Seguindo a reflexão sobre as alternativas para substituição de combustíveis fósseis, devem ser citadas as normas com foco na ampliação da participação de biocombustíveis na matriz energética brasileira, notadamente a Lei n.º 11.097/2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na referida matriz, e a Lei n.º 13.033/2014, que trata da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final.

Ainda, tratando do assunto de forma mais abrangente e complexa e estruturando um mercado específico, merece especial atenção a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio, Lei n.º 13.576/2017), com os objetivos de “contribuir para o atendimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima” e “promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional” (art. 1º, incisos I e III).

---

<sup>249</sup>OACI - ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. 2019 *Environmental Report: Aviation and Environment*. 2019.

<sup>250</sup>OACI - ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. 2019 *Environmental Report: Aviation and Environment*. 2019.

<sup>251</sup>ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil (2019). *Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO2 da Aviação Civil Brasileira*. 3 ed.



Nos termos do art. 4º da Resolução nº 758/2018 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), os biocombustíveis englobados pelo RenovaBio são: (i) biodiesel; (ii) biometano; (iii) combustíveis alternativos sintetizados por ácidos graxos e ésteres hidroprocessados (HEFA); (iv) etanol combustível de primeira geração produzido a partir de cana-de-açúcar; (v) etanol combustível de primeira e segunda geração produzido em usina integrada; (vi) etanol combustível de segunda geração; (vii) etanol combustível de primeira geração produzido a partir de cana-de-açúcar e milho em usina integrada; (viii) etanol combustível de primeira geração produzido a partir de milho; e (ix) etanol combustível importado de primeira geração produzido a partir de milho.

O RenovaBio prevê a definição de metas compulsórias anuais de redução de emissões de GEE para os distribuidores de combustíveis. A regulamentação de tais metas foi estabelecida por meio do Decreto nº 9.888/2019 e da Resolução ANP nº 791/2019. No entanto, diante da pandemia da COVID-19 e redução da demanda de combustíveis, observou-se a necessidade de reavaliação das metas fixadas para o ano de 2020 e para o decênio 2021-2030, visto que produtores e distribuidores de combustíveis – sendo estes distribuidores obrigados a adquirir Créditos de Descarbonização (CBIOS) para atendimento das suas metas compulsórias – sofreram diminuição de receitas. O assunto foi submetido a consulta pública e as novas metas foram definidas na Resolução nº 8/2020 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

Segundo estimativas da IEA, haverá uma diminuição de cerca de 13% da produção global de biocombustíveis em 2020. No Brasil, a redução na produção de etanol deve ser de 16%. Todavia, deve-se recordar que o ano de 2019 observou recorde mundial na produção de biocombustíveis para transportes, atingindo 162 bilhões de litros (2,8 milhões de barris por dia), tendo como principais fatores o aumento da produção de etanol no Brasil e a expansão da produção de biodiesel na região da Associação de Nações do Sudeste Asiático (ASEAN, na sigla em inglês). Ademais, apesar dos impactos negativos da

pandemia, estima-se que a produção de biodiesel no país terá expansão de 4% em 2020<sup>252</sup>.

#### **2.3.4. Oportunidades para um setor de transportes mais sustentável**

À luz de tudo isso, a conclusão a que se chega é de que o Brasil tem um inquestionável potencial para o desenvolvimento de uma infraestrutura robusta de transportes de baixo carbono e um amplo arcabouço jurídico, institucional e técnico para orientar e subsidiar tal desenvolvimento, mas há diversos desafios a serem superados, principalmente frente à crise mundial instaurada com a pandemia do novo coronavírus.

Um dos maiores desafios é o supracitado déficit de infraestrutura, ao qual se associam o aumento populacional, a urbanização e a insuficiência de recursos públicos. Segundo o Banco Mundial, entre 2006 e 2015, o investimento em transportes foi de aproximadamente US\$ 118 bilhões e as exigências para os dez anos subsequentes giram em torno de US\$ 352 bilhões. Além disso, se houvesse alteração da matriz modal de transportes – por exemplo, com substituição de rodovias por ferrovias – e fossem resolvidas as deficiências do sistema de rodovias – como pavimentação, recuperação de trechos e ampliação para redução de congestionamentos –, o país poderia potencialmente economizar 1,4% do PIB<sup>253</sup>.

O papel do Governo é articular programas e políticas públicas que não apenas direcionem recursos públicos para o setor de transporte, mas também que atraiam investimentos privados. As opções atualmente disponíveis incluem, entre outras, bancos de fomento nacionais, Parcerias Público-Privadas (PPPs), títulos verdes, debêntures incentivadas, securitização de ativos e linhas de crédito de agências multilaterais (“multilateral agencies” – MLA) e agências de crédito à exportação (“export credit agencies” – ECA). Este artigo, contudo, não

---

<sup>252</sup>IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Renewable Energy Market Update: Outlook for 2020 and 2021*. 2020c.

<sup>253</sup>RAISER, Martin et al. *De volta ao planejamento: como preencher a lacuna de infraestrutura no Brasil em tempos de austeridade*. Brasília: Banco Mundial, 2017.

abordará como captar os recursos necessários, mas, sim, como empregá-los.

No curto prazo, o foco deverá permanecer em biocombustíveis, mercado no qual o pioneirismo e protagonismo do Brasil são reconhecidos em todo o mundo, sendo atualmente o segundo maior produtor de etanol (atrás apenas dos Estados Unidos). O uso do etanol em larga escala no país desde a década de 1970 evitou a emissão de 1,34 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq<sup>254</sup>.

Com efeito, como antes mencionado, a NDC do Brasil prevê o aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética, o que deve ocorrer “expandindo o consumo de biocombustíveis, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel”.

Em relação ao etanol brasileiro de cana-de-açúcar, segundo estudo recente do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) em parceria com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), ao se utilizar fatores regionais de emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), observa-se uma redução de 19% nas emissões totais do etanol, em comparação ao resultado obtido com base no fator padrão proposto pelo IPCC (o qual é genérico e mais indicado para locais que não tenham dados representativos das condições locais). O estudo aponta que o uso de fertilizantes nitrogenados e resíduos agroindustriais no solo representa a principal fonte de emissão de GEE do etanol de cana-de-açúcar e que, adotada a nova metodologia para estimar emissões, usinas poderão gerar mais CBIOS<sup>255</sup>.

Devem ser ressaltadas, contudo, as preocupações levantadas em relação à redução de áreas agricultáveis e ao aumento do

---

<sup>254</sup>EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Artigo - Biocombustíveis no Brasil, o RenovaBio e as mudanças climáticas. 2019. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/46700080/artigo---biocombustiveis-no-brasil-o-renovabio-e-as-mudancas-climaticas>>.

<sup>255</sup>CNPEM. Implications of regional N<sub>2</sub>O–N emission factors on sugarcane ethanol emissions and granted decarbonization certificates. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 149. Elsevier: October 2021.

desmatamento e do preço de alimentos globalmente em decorrência da expansão da produção de etanol de milho e cana-de-açúcar, contribuindo para a intensificação da insegurança alimentar em populações mais vulneráveis<sup>256</sup>. Diante disto, como se verá adiante, torna-se essencial o incentivo a investimentos em pesquisas e tecnologias para o avanço da utilização de biocombustíveis de segunda geração, produzidos, por exemplo, a partir da palha e do bagaço da cana-de-açúcar.

Ademais, considerando que as rodovias ainda são a principal via de movimentação de cargas e passageiros do país, medidas mais imediatas devem ser continuar incentivando o uso do etanol e do biodiesel em substituição à gasolina e ao óleo diesel, bem como o aumento do percentual de adição obrigatória desses biocombustíveis à mistura com seus substitutos fósseis (por exemplo, aumento da adição de biodiesel ao óleo diesel, consoante Lei nº 13.033/2014).

Além disso, é crucial que o RenovaBio seja bem-sucedido. Desde 24 de dezembro de 2019, unidades produtoras de biocombustíveis que obtiveram o seu Certificado de Produção Eficiente de Biocombustíveis podem solicitar a emissão de CBIOs. Estes, por sua vez, começaram a ser negociados na B3 – Brasil, Bolsa, Balcão em 27 de abril de 2020. Cada CBIO corresponde “a uma tonelada de gás carbônico equivalente, calculada a partir da diferença entre as emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida de um biocombustível e as emissões de seu combustível fóssil substituto” (art. 3º, § 2º, do Decreto nº 9.888/2019).

O balanço do primeiro ano de implementação do RenovaBio, em 2020, foi bastante positivo, com 97,6% da meta de redução de emissões alcançada pelos distribuidores de combustíveis e 14,89 milhões de CBIOs negociados<sup>257</sup>.

---

<sup>256</sup>GONZALEZ, Carmen. *The environmental justice implication of biofuels*. 2016.

<sup>257</sup>BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. *Balanço do Primeiro Ano do RenovaBio*. 2021. Disponível em:

<<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1/balanco-do-primeiro-ano-do-renovabio>>.

As chances de sucesso do RenovaBio são grandes, particularmente porque, desde a sua concepção, a política foi inovadora ao instituir um instrumento econômico para regulação energética e ambiental, amparado em complexo arcabouço legal, regulatório e institucional, criando-se um mercado próprio em que os atores podem negociar livremente<sup>258</sup>. Outro sinal que aumenta as expectativas positivas sobre o futuro do RenovaBio é o fato de que o “Low Carbon Fuel Standard”, do Estado da Califórnia, nos Estados Unidos, no qual o RenovaBio se inspirou, é um exemplo de sucesso<sup>259</sup>.

### 2.3.5. Biocombustíveis avançados

Como brevemente mencionado acima e apontado na NDC brasileira, a expansão da oferta e do consumo de biocombustíveis deve englobar o avanço de biocombustíveis avançados, como o etanol celulósico e o diesel renovável. Estes biocombustíveis são também chamados de “segunda geração”, pois são obtidos a partir de biomassa não adequada ao consumo humano, como resíduos agrícolas, urbanos, florestais e industriais, e são produzidos com menos emissões de CO<sub>2</sub> que os biocombustíveis de “primeira geração”, como biodiesel e etanol de cana-de-açúcar. Além disso, a expansão de biocombustíveis avançados não representa ameaça à disponibilidade de alimentos e à biodiversidade.

Atualmente, há ainda significativos entraves tecnológicos para a produção em larga escala desses biocombustíveis, o que acaba repercutindo em uma elevação nos custos de produção. No entanto, ao menos em relação ao etanol de segunda geração (E2G), produzido a partir de bagaço e palha de cana-de-açúcar, a projeção é de que ganhe espaço no mercado dentro e fora do país, tornando-se competitivo frente ao etanol de resíduos de milho dos Estados Unidos. As vantagens de se utilizar biomassa de cana na produção de etanol incluem o aproveitamento da matéria-prima e da estrutura da própria usina que produz açúcar ou etanol de primeira geração, gerando

---

<sup>258</sup>BEZERRA, Luiz Gustavo Escorcio. *Instrumentos econômicos: elementos para uma regulação ambiental efetiva e o papel dos instrumentos de mercado*. Rio de Janeiro: UERJ/PPGMA, 2018.

<sup>259</sup>CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD – ARB. *Data Dashboard*. 2020. Disponível em: <<https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>>.

menores custos e expansão da produção de etanol sem aumento da área plantada<sup>260</sup>. Ademais, com a evolução da tecnologia e redução dos custos, deve se consolidar a sua viabilidade econômica e torná-lo competitivo mesmo em relação à gasolina, se o preço do barril de petróleo permanecer relativamente baixo<sup>261</sup>.

Uma opção para impulsionar a produção desses biocombustíveis é a criação de subsídios e incentivos fiscais a seus produtores e importadores. Outra ideia é incentivar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico por instituições técnicas e acadêmicas. Por ora, não se aventa a possibilidade de mandatos volumétricos, pois esta opção foi descartada na concepção do RenovaBio.

Acrescente-se que o incentivo ao desenvolvimento de biocombustíveis avançados, particularmente do biometano, tende a ganhar impulso com a recente publicação do Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que fomenta a recuperação energética de resíduos sólidos urbanos.

Outro fator propulsor para a evolução dos biocombustíveis de segunda geração é a possibilidade de sua utilização na aviação. Como apontado acima, o setor de aviação encontra barreiras para eletrificação e o uso de substitutos ao querosene de aviação ainda não é economicamente vantajoso. Ainda assim, especificações dos bioquerosenes de aviação (SPK-FT, SPK-HEFA, SPK/A e SPK-ATJ e SIP) e seu percentual de mistura com o querosene de aviação estão estabelecidas na Resolução ANP nº 778/2019. Segundo estimativa da EPE, até 2050, a demanda por querosene de aviação crescerá, mas não será acompanhada de incremento da produção, abrindo margem para expansão do bioquerosene, cuja participação no consumo total de combustíveis de aviação pode chegar a 1,5 bilhão de litros e redução da necessidade de importação em 18%<sup>262</sup>.

---

<sup>260</sup>VIDAL, Maria de Fátima. *Produção e Uso de Biocombustível no Brasil*. In: *Caderno Setorial ETENE*, ano 4, nº 79, mai. 2019.

<sup>261</sup>MILANEZ, Artur Yabe et al. *O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo*. In: *BNDES Setorial*, nº 45, mar. 2017.

<sup>262</sup>ANAC - *Agência Nacional de Aviação Civil (2019). Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO2 da Aviação Civil Brasileira*. 3 ed. apud EPE.

O desenvolvimento tecnológico e maior oferta de biocombustíveis avançados também beneficiará o transporte marítimo, setor movido a óleo combustível e diesel, para o qual se estima um aumento de 23% de emissões de CO<sub>2</sub> até 2035, comparado a níveis de 2015<sup>263</sup>.

Vale ainda mencionar o lançamento do Programa “Combustível do Futuro”, em abril de 2021, “com o objetivo de propor medidas para incrementar a utilização de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, bem como da tecnologia veicular nacional com vistas à descarbonização da matriz energética de transporte nacional” (art. 1º da Resolução CNPE nº 7/2021). Entre as diretrizes estratégicas do Programa estão, entre outros, o estímulo ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, e a integração de políticas públicas afetas ao Programa. Tais políticas incluem o RenovaBio, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), o Programa Rota 2030, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE Veicular) e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET).

Além disso, em maio de 2021, foi publicada a Resolução ANP nº 842/2021, que trata do diesel verde, um novo biocombustível produzido a partir de: (i) hidrotreatamento de óleo vegetal (in natura ou residual), óleo de algas, óleo de microalgas, gordura animal e ácidos graxos de biomassa, bem como de hidrocarbonetos bioderivados pelas microalgas *Botryococcus braunii*; (ii) gás de síntese proveniente de biomassa; (iii) fermentação de carboidratos presentes em biomassa; (iv) oligomerização de álcool etílico (etanol) ou isobutílico (isobutanol); e (v) hidrotermólise catalítica de óleo vegetal (in natura ou residual), óleo de algas, óleo de microalgas, gordura animal e ácidos graxos de biomassa.

---

<sup>263</sup>OCDE - ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. *Decarbonising Maritime Transport: Pathways to zero carbon-shipping by 2035*. 2018.

### 2.3.6. Veículos híbridos e elétricos

Ainda explorando o potencial de biocombustíveis, cabe anotar a possibilidade de que sejam utilizados em veículos híbridos, isto é, veículos que combinam motores a combustão interna e elétrico. Tais veículos são uma alternativa aos veículos puramente elétricos, oportunizando maior flexibilidade de abastecimento. O balanceamento com biocombustíveis também pode ser uma boa opção em locais onde haja pouca disponibilidade de fontes renováveis de eletricidade para recarga do veículo<sup>264</sup>.

Apesar do potencial de descarbonização dos veículos elétricos e híbridos, estes ainda representam uma opção para o longo prazo, especialmente na realidade brasileira. Levantamento da EIA informa que a eletricidade é a fonte de energia de maior crescimento no setor de transportes, expandindo em média 7,4% ao ano até 2050 como resultado da demanda por veículos leves elétricos. A venda de veículos elétricos a bateria deve crescer mais do que a de qualquer outro tipo de veículo, em uma média de 6% ao ano, ao passo que a venda de híbridos aumentará 3,1% ao ano<sup>265</sup>. Até 2025, é esperado que o preço de carros elétricos se equipare ao dos veículos de combustão<sup>266</sup>. Contudo, estima-se que eletricidade representará menos de 2% do consumo de combustível do setor em 2050<sup>267</sup>.

Veículos elétricos quase não emitem poluentes (atmosféricos e sonoros) e a eficiência dos seus motores pode chegar a 80%. A eletricidade para tais veículos pode ser obtida por conexão direta à fonte externa, cabos, indução eletromagnética, reação de hidrogênio e

---

<sup>264</sup>MILANEZ, Artur Yabe et al. *O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo*. In: *BNDES Setorial*, nº 45, mar. 2017.

<sup>265</sup>EIA - U.S. Energy Information Administration. *Annual Energy Outlook 2020*. 2020.

<sup>266</sup>TERRA. *Preços de carros elétricos e flex devem igualar em 2025*. 2019.

Disponível em: <<https://www.terra.com.br/economia/carros-motos/precos-de-carros-eletricos-e-hibridos-devem-igualar-em-2025,8811c7904d703798ec812587ec898664thehzrfa.html>>.

<sup>267</sup>EIA - U.S. Energy Information Administration. *Annual Energy Outlook 2020*. 2020.



oxigênio em uma célula de combustível ou por meio da energia mecânica da frenagem<sup>268</sup>.

Os benefícios ambientais são evidentes, mas é importante pontuar que a efetiva obtenção destes benefícios depende de fatores como o tipo e a localização da fonte de energia externa geradora da eletricidade, eficiência na fabricação de baterias e descarte ambientalmente adequado de baterias e seus componentes<sup>269</sup>. Baterias de íons de lítio têm sido consideradas as mais promissoras para o desenvolvimento de veículos elétricos leves e podem ser recicladas ao final da sua vida útil. No entanto, um aumento da utilização de tais baterias significa uma intensificação da exploração de lítio, um metal raro, cuja extração é realizada em pequenas quantidades e em locais de difícil acesso, e que libera toxinas danosas ao meio ambiente e à saúde humana. Além disso, estima-se que a produção de um veículo elétrico emita de 15% a 68% mais GEE que a de um veículo convencional, diferença que é compensada entre 6 (seis) e 18 (dezoito) meses do uso daquele, a depender de como é gerada a eletricidade que o abastece<sup>270</sup>.

Com foco em desenvolver esse mercado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamentou os procedimentos e as condições para a realização de recarga de veículos elétricos por meio da Resolução Normativa nº 819/2018. A norma define como veículo elétrico todo aquele “movido por um motor elétrico em que as correntes são fornecidas por uma bateria recarregável ou por outros dispositivos portáteis de armazenamento de energia elétrica recarregáveis a partir da energia proveniente de uma fonte externa ao veículo (...)”.

A categoria de veículos elétricos não inclui apenas carros de passeio, mas também veículos de duas e três rodas, trens, ônibus, VLT,

---

<sup>268</sup>FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV ENERGIA. *Carros Elétricos*. Ano 4, nº 7, mai. 2017.

<sup>269</sup>CARBON BRIEF. *Factcheck: How electric vehicles help to tackle climate change*. 2020. Disponível em: <[<sup>270</sup>FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV ENERGIA. \*Carros Elétricos\*. Ano 4, nº 7, mai. 2017.](https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change#:~:text=Electric%20vehicles%20'not%20a%20panacea,studies%20examine%20by%20Carbon%20Brief.></a>>.</p></div><div data-bbox=)

carrinhos para uso em aeroportos e campos de golfe, entre outros<sup>271</sup>. Apesar da maior dificuldade, caminhões elétricos para transporte de carga também vêm sendo testados no Brasil, com bons resultados. Exemplos incluem o modelo iEV 1200T, da Jac Motors, e os modelos eT7 11.200 e eT8 21.250, da BYD. Os caminhões da BYD têm sido utilizados em algumas cidades do país, como Rio de Janeiro e Indaiatuba, para coleta de lixo urbano. Um caminhão elétrico pode custar até três vezes mais que um modelo similar movido a diesel, mas seu custo operacional é, em média, 65% menor e o retorno do investimento ocorre em cerca de sete anos<sup>272</sup>.

Por fim, merece atenção a possibilidade de eletrificação de ferrovias, que não apenas tem capacidade de reduzir emissões de CO<sub>2</sub>, mas também material particulado. Apesar de a tecnologia ser mais empregada em metrô e trens urbanos para transporte de passageiros, também há um interessante potencial para sua aplicação no transporte de cargas.

Estudo do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) aponta, entre os benefícios do uso da ferrovia elétrica: (i) a possibilidade de autogeração e de uso de diferentes fontes de eletricidade ao longo da ferrovia, diminuindo riscos relacionados ao suprimento de energia; (ii) menores custos no longo prazo, considerados os custos de operação e não apenas aqueles de implantação do sistema; (iii) maior atratividade para investimentos via PPP e outras fontes de financiamento, como os supracitados títulos verdes; (iv) compartilhamento da energia gerada para o funcionamento da ferrovia com as populações localizadas ao longo da sua extensão; (v) ausência de emissões locais (emissões ocorrem somente onde a eletricidade é gerada); (vi) redução da perda de alimentos no seu transporte; e (vii) criação de um sistema nacional de logística mais competitivo e eficiente. Ademais, a partir da análise de três cenários para o ano de 2050, com 10%, 25% e 50% da eletrificação da malha

---

<sup>271</sup>FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV ENERGIA. *Carros Elétricos*. Ano 4, nº 7, mai. 2017.

<sup>272</sup>ESTADÃO. *Caminhões elétricos cada vez mais reais*. 2019.

Disponível em:

<https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/caminhao-eletrico-cada-vez-mais-reais/>.

ferroviária, os resultados foram de que seriam evitadas emissões de GEE no montante de, respectivamente, 11, 27 e 55 milhões de toneladas de CO2 equivalente<sup>273</sup>.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não é novidade que o mundo do futuro é verde. Um dos setores da economia que melhor representa esta mudança é o de transportes e mobilidade, no qual já é possível verificar inúmeras iniciativas de redução da pegada ecológica e aumento de eficiência energética, com vistas à transição para uma realidade que verdadeiramente possa ser chamada de baixo carbono. Desde o transporte de passageiros, individual e coletivo, até o transporte de cargas, a palavra de ordem é sustentabilidade e quaisquer planos e projetos de desenvolvimento do setor devem girar em torno de como alcançá-la.

O presente artigo buscou, de forma breve e abrangente, abordar os diversos desafios e oportunidades que esse momento de transição proporciona para o setor. No Brasil, os desafios são muitos, notadamente a necessidade de se superar a insuficiência da infraestrutura de transportes e a grande dependência do país no modal rodoviário. Ainda assim, são estes desafios que também revelam uma série de oportunidades, pois, de certa forma, é exatamente a dependência do modal rodoviário que colocou o país em posição de destaque em relação ao desenvolvimento de políticas públicas de fomento à produção de biocombustíveis, com foco na reconhecida e pioneira produção de etanol.

Nesse sentido, para além das mais prospectivas e também promissoras iniciativas de eletrificação de veículos, armazenamento de energia em baterias, produção de biocombustíveis de segunda geração e expansão da utilização de combustíveis renováveis no setor de transporte de cargas e na aviação, não há dúvida de que a principal aposta do Brasil no momento é o sucesso do RenovaBio. De fato, ao instituir um instrumento econômico para regulação energética e ambiental, criando um mercado de livre negociação dos chamados

---

<sup>273</sup>CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. *Estudo de Melhoria e Desenvolvimento de sistemas de Transporte de Cargas por Malha Ferroviária Eletrificada*. 2016.

Créditos de Descarbonização, espera-se que o RenovaBio alavanque de forma significativa a expansão da fatia de participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, contribuindo diretamente para o aumento dos níveis de sustentabilidade do setor de transportes e, conseqüentemente, para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris.

Superadas as naturais discussões que se esperaria travar para uma política tão inovadora – tais como as excepcionais condições causadas pela pandemia da COVID-19, espera-se que o mercado de CBIOs continue a se desenvolver, sendo este só mais um passo em direção a todas as demais oportunidades que o Brasil pode abraçar para o desenvolvimento sustentável de seu setor de transportes e mobilidade.

#### **4. BIBLIOGRAFIA**

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil (2019). Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO<sub>2</sub> da Aviação Civil Brasileira. 3 ed.

BEZERRA, Luiz Gustavo Escorcio. Instrumentos econômicos: elementos para uma regulação ambiental efetiva e o papel dos instrumentos de mercado. Rio de Janeiro: UERJ/PPGMA, 2018.

BRASIL. Comissão de Meio Ambiente do Senado Federal (2019). Avaliação da Política Nacional sobre Mudança do Clima.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades (2017). Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/Estudo\\_Técnico\\_-\\_Adaptação\\_às\\_mudanças\\_climáticas\\_na\\_Mobilidade\\_Urbana.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/Estudo_Técnico_-_Adaptação_às_mudanças_climáticas_na_Mobilidade_Urbana.pdf)>.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades (2015). Programa Mobilidade Urbana de Baixo Carbono para Grandes Cidades. Disponível em: <<https://www.mdr.gov.br/servidores/235-secretaria-nacional-de-transporte-e-da-mobilidade/sustentabilidade-ambiental-semob/4100-programa-mobilidade-urbana-de-baixo-carbono-para-grandes-cidades>>.

\_\_\_\_\_. Estudo Técnico - Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana. 2017.

\_\_\_\_\_. Caderno Técnico de Referência - Eficiência Energética na Mobilidade Urbana. 2018.

\_\_\_\_\_. MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional. Carta Brasileira para Cidades Inteligentes. 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projeto-andus/carta\\_brasileira\\_cidades\\_inteligentes.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projeto-andus/carta_brasileira_cidades_inteligentes.pdf)>.

\_\_\_\_\_. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 2: estratégias setoriais e temáticas: Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. 2016.

\_\_\_\_\_. MME - Ministério de Minas e Energia. Balanço do Primeiro Ano do RenovaBio. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-bicombustiveis/renovabio-1/balanco-do-primeiro-ano-do-renovabio>>.

\_\_\_\_\_. Ministério da Infraestrutura. Ministro assina memorando para habilitar projetos de concessões ao mercado de títulos pró-meio ambiente. 2019. Disponível em: <<https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/17-ultimas-noticias/9083-ministro-assina-memorando-para-habilitar-projetos-de-concess%C3%B5es-ao-mercado-de-t%C3%ADtulos-pr%C3%B3-meio-ambiente.html>>.

\_\_\_\_\_. Governo estrutura primeiro programa de títulos verdes para transportes da América Latina. 2020. Disponível em: <<http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/9908-governo-estrutura-primeiro-programa-de-t%C3%ADtulos-verdes-para-transportes-da-am%C3%A9rica-latina.html>>.

CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD – ARB. Data Dashboard. 2020. Disponível em: <<https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>>.

CARBON BRIEF. Factcheck: How electric vehicles help to tackle climate change. 2020. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change#:~:text=Electric%20vehicles%20'not%20a%20panacea,studie s%20examined%20by%20Carbon%20Brief.>>>.

CARVALHO, José Luís Nunes et al. Implications of regional N<sub>2</sub>O–N emission factors on sugarcane ethanol emissions and granted decarbonization certificates. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121007061?via%3Dihub>>

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Estudo de Melhoria e Desenvolvimento de sistemas de Transporte de Cargas por Malha Ferroviária Eletrificada. 2016.

CNPEM. Implications of regional N<sub>2</sub>O–N emission factors on sugarcane ethanol emissions and granted decarbonization certificates. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 149. Elsevier: October 2021.

EIA - U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2019 with projections to 2050. 2019.

\_\_\_\_\_. Annual Energy Outlook 2020. 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Artigo - Biocombustíveis no Brasil, o RenovaBio e as mudanças climáticas. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/46700080/artigo---biocombustiveis-no-brasil-o-renovabio-e-as-mudancas-climaticas>>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2021. 2021.

\_\_\_\_\_. Nota Técnica: Impactos da pandemia de Covid-19 no mercado brasileiro de combustíveis. 2020.

ESTADÃO. Caminhões elétricos cada vez mais reais. 2019.

Disponível em:

<<https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/caminhao-eletrico-cada-vez-mais-reais/>>.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV ENERGIA. Carros Elétricos. Ano 4, nº 7, mai. 2017.

GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GMBH. Eficiência Energética na Mobilidade Urbana. 2018. Disponível em:

<<https://www.giz.de/en/worldwide/73893.html>>.

GONZALEZ, Carmen. The environmental justice implication of biofuels. 2016.

IDB INVEST - INTER-AMERICAN INVESTMENT CORPORATION. Building Big - Brazil's challenges and opportunities in infrastructure. A public-private perspective. 2019.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Tracking Transport 2020. 2020a. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>>.

\_\_\_\_\_. Global Energy Review 2020. The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions. 2020b.

\_\_\_\_\_. Renewable Energy Market Update: Outlook for 2020 and 2021. 2020c.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition). 2019a.

\_\_\_\_\_. Transformando o sistema energético – e contendo o aumento das temperaturas globais. 2019b.

MILANEZ, Artur Yabe et al. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. In: BNDES Setorial, nº 45, mar. 2017.

OACI - ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. 2019 Environmental Report: Aviation and Environment. 2019.

OCDE - ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Decarbonising Maritime Transport: Pathways to zero carbon-shipping by 2035. 2018.

RAISER, Martin et al. De volta ao planejamento: como preencher a lacuna de infraestrutura no Brasil em tempos de austeridade. Brasília: Banco Mundial, 2017.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil. 2019.

\_\_\_\_\_. Impacto da pandemia de Covid-19 nas emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2020.

TERRA. Preços de carros elétricos e flex devem igualar em 2025. 2019. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/economia/carros-motos/precos-de-carros-eletricos-e-hibridos-devem-igualar-em-2025,8811c7904d703798ec812587ec898664thehzrfa.html>>.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e Uso de Biocombustível no Brasil. In: Caderno Setorial ETENE, ano 4, nº 79, mai. 2019.