

CADERNOS

FGV ENERGIA

JUNHO 2022 | ANO 9 | Nº 15 | ISSN 2358-5277

A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR DE TRANSPORTES PARA NAÇÕES EM DESENVOLVIMENTO: A Perspectiva Brasileira



**DIRETOR**

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

COORDENAÇÃO

Fernanda Delgado
Professora convidada de MBA da FGV

EQUIPE TÉCNICA*Autores*

Fernanda Delgado,
Professora da FGV Energia

Thereza Cristina Aquino,
Professora da UERJ

Eduardo Pereira,
Professor da Universidade Federal da Sibéria

Matheus Campinho,
Graduando em Engenharia Ambiental - UFRJ

Pedro Simões,
Graduando em Engenharia de Petróleo - UFRJ

Darlly Reis,
*Doutora em geologia do petróleo e
Pesquisadora do IGEO - UFRJ*

Barbara Temer,
Graduanda em Engenharia Mecânica - UFRJ

Pietro Mendes,
*Doutor em Tecnologia de Processos Químicos e
Bioquímicos (UFRJ)*

Heloisa Borges,
Diretora da EPE

Lisandra Mateus,
Doutoranda do PPE/COPPE-UFRJ

EQUIPE DE PRODUÇÃO

Coordenação Operacional
Simone Corrêa Lecques de Magalhães

Diagramação
Bruno Masello e Carlos Quintanilha

* Os textos dos autores não têm qualquer relação com projetos e dados da Petrobras

**ESCRITÓRIO**

Rua Barão de Itambi, 60 – 5º andar - Rio de Janeiro I RJ, CEP: 22231-000
Tel: (21) 3799-6100 | www.fgv.br/energia | fgvenergia@fgv.br

PRIMEIRO PRESIDENTE FUNDADOR

Luiz Simões Lopes

PRESIDENTE

Carlos Ivan Simonsen Leal

VICE-PRESIDENTES

Francisco Oswaldo Neves Dornelles e
Marcos Cintra Cavalcanti de Albuquerque



Instituição de caráter técnico-científico, educativo e filantrópico, criada em 20 de dezembro de 1944 como pessoa jurídica de direito privado, tem por finalidade atuar, de forma ampla, em todas as matérias de caráter científico, com ênfase no campo das ciências sociais: administração, direito e economia, contribuindo para o desenvolvimento econômico-social do país.

DIRETOR

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

ASSESSORIA ESTRATÉGICA

Marcio Lago Couto

SUPERINTENDÊNCIA COMERCIAL

Simone C. Lecques de Magalhães

SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Felipe Gonçalves

EQUIPE DE PESQUISA**Coordenação Geral**

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

Coordenação de Pesquisa do Setor Elétrico

Luiz Roberto Bezerra

Coordenação de Pesquisa de O&G

Magda Chambriard

Pesquisadores

Acacio Barreto Neto

Amanda Azevedo

Ana Beatriz Soares Aguiar

Angélica Garcia Cobas Laureano

Carlos Augusto Arentz Pereira

Gláucia Fernandes

Izabella Barbarini Baptista

João Teles

João Victor Marques Cardoso

Lucas Carvalho Gomes

Matheus Felipe Ayello

Paulo César Fernandes da Cunha

Rafaela Garcia

Assistente Administrativa

Cristiane Parreira de Castro

Assistente Acadêmica

Ester do Nascimento

Estagiários

Ricardo Cavalcante

Victor de Lemos Souza Fernandes

Sumário

GLOSSÁRIO	4
INTRODUÇÃO	7

1

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	10
1.1 Usos da Energia no Tempo	14
1.2 O Aquecimento Global e o Papel do Setor de Transportes: Contribuição e Expectativas	22
1.3 Perspectiva Global da Energia no Contexto Internacional – Metas	28
1.4 O Impacto da Pandemia do Novo Coronavírus no Setor Energético	36

2

O QUE É UMA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA, PROGRESSIVA E REALIZÁVEL PARA AS NAÇÕES EM DESENVOLVIMENTO?	45
2.1 Avaliando a Viabilidade e Tempo para a Eletrificação	47
2.2 Dificuldades da Transição para o Transporte Elétrico	65
2.3 O Uso de Combustíveis de Baixa Emissão de GEE como GNV e Biocombustíveis	88
2.4 Modais de Transporte	103

3

ESTUDO DE CASO – BRASIL	153
3.1 Mix Energético	153
3.2 Análise por Energético	164
3.3 Análise por Modal de Transporte	177
3.4 Eficiência Energética	189
3.5 NDC do Brasil	193
3.6 Cenários Futuros	194
3.7 Lições Aprendidas	197

REFERÊNCIAS	206
-------------------	-----

Introdução

A energia se tornou um bem capaz de garantir as condições de sobrevivência e desenvolvimento das sociedades. Por conseguinte, a relevância dos recursos energéticos, o acesso às fontes e o desenho de tecnologias para captá-los e torná-los economicamente viáveis têm mobilizado historicamente as sociedades e os Estados visando o desenvolvimento socioeconômico. Ao longo dos séculos, a humanidade já experimentou distintos processos de transição energética à medida que novas fontes se inseriram no mercado e propiciaram saltos de desenvolvimento em múltiplos setores econômicos. Verifica-se, atualmente, que as transições nunca significaram rupturas, mas processos lentos com distintos graus de penetração e de simultaneidade entre fontes “tradicionais” e “novas”. Um exemplo disso é a contínua existência da lenha como fonte de energia, dependendo da região geográfica e da classe social, mesmo que energéticos mais eficientemente evoluídos, como o carvão e o petróleo, já tenham sido protagonistas de suas próprias transições.

Atualmente, a transição energética combina, além de uma questão propriamente econômica de setores e mercados entrantes, um aspecto ambiental e climático em grau de urgência, voltado para a descarbonização dos processos que culminaram no atual modo de vida das pessoas. Isso significa, segundo a agenda global

para o meio ambiente e o clima, mitigar as emissões de gases de efeito estufa que aceleram o aquecimento global, um fenômeno cuja responsabilidade antropogênica é largamente comprovada pela Ciência e cujo impacto ameaça os ecossistemas do planeta.

Logo, a transição energética descarbonizadora implica a substituição dos chamados combustíveis fósseis (grandes emissores de dióxido de carbono) por fontes renováveis, limpas e sustentáveis. Porém, a transição, para além da substituição de fontes, também implica o desenvolvimento de políticas públicas, a capacitação de novos agentes, a formulação de novos marcos regulatórios, o fomento à pesquisa e à aplicação de tecnologias disruptivas, capazes de melhorar a eficiência energética dos processos energointensivos e aproveitar de modo sustentável e acessível a multiplicidade de fontes disponíveis no planeta, como a solar, eólica, hidráulica, maremotriz, geotérmica, bioenergia e hidrogênio.

Assim, a transição significa não apenas uma transformação do setor energético em si, mas dos demais setores partícipes da energia, entre eles o setor de transportes, amplamente dependente de combustíveis fósseis e cuja diretriz para uma economia de baixo carbono – ou de emissões líquidas zero – se vincula à eletrificação, à bioenergia e, ainda, ao hidrogênio verde.

As oportunidades são extensas e os desafios, ainda maiores, a partir do fato de que as sociedades já estão atrasadas no que diz respeito ao compromisso com o clima na Terra e tem diante de si lacunas, em termos de emissões, a serem sanadas. Após a 26ª Conferência das Partes (COP26) da Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (UNFCCC), o anúncio de metas mais ambiciosas pelos países e o lançamento de documentos multilaterais reduziram a lacuna para 1,8°C, se concretizados em sua totalidade e dentro do prazo. Isso significa que, em 2030, 32,2 gigatoneladas (Gt) ainda seriam emitidos, uma diferença de 11 Gt em relação ao necessário neste período para alcançar a marca de emissões líquidas zero até 2050, e, em 2050, ao invés de emissões líquidas zero, o planeta ainda estaria emitindo 15,9 Gt, segundo a Agência Internacional de Energia. Logo, as lacunas ainda são bastante profundas, especialmente no que diz respeito à diferença entre os compromissos e as políticas, seguidas de estratégias claras e efetivas, especialmente de curto prazo, para o sucesso daquilo que foi anunciado.

Portanto, nunca antes a humanidade esteve diante de uma emergência climática, cuja mitigação requer tamanha transformação econômica e energética, especialmente nestes últimos dois anos cujos esforços estiveram voltados ao combate à crise sanitária e econômica gerada pela pandemia da COVID-19.

Nesse sentido, a atual transição apresenta a tendência estrutural em longo prazo de redução de investimentos em combustíveis fósseis, por pressão política e riscos oriundos desses inves-

timentos, após ter vivenciado nos períodos mais críticos da pandemia a queda da demanda por combustíveis, a queda dos preços e o reduzido estímulo aos investimentos e à expansão da capacidade instalada. Apesar disso, as campanhas de vacinação e pacotes de recuperação econômica estimularam rapidamente o consumo e a elevação dos custos da energia, evidenciando que a dependência dos fósseis ainda é profunda e as alternativas ainda não são capazes de garantir a oferta necessária às sociedades. Com a atual alta dos preços dos combustíveis fósseis e a pressão para que estes voltem a cair, as energias renováveis sofrem sérios riscos, porque o planeta vislumbra os riscos iminentes em torno de uma transição descarbonizadora antes que as alternativas estejam amplamente disponíveis e acessíveis, e, muitas vezes, os Estados, em busca da segurança energética, preferem garantir a energia independentemente da fonte.

Apesar disso, a oportunidade levantada pela pandemia é garantir a recuperação econômica mediante investimentos verdes. No caso específico do setor de transportes, destacam-se iniciativas como o *Zero Emission Vehicle Transition Council*, cujos governos participantes possuem metade do mercado global de veículos elétricos, considerando as vendas anuais no mundo, e objetiva dialogar com indústrias e sociedade para definir o ritmo da transição, que será mais rápido quando o trabalho reunir todos os stakeholders, coordenar ações e explorar oportunidades para alinhar o setor de transportes ao Acordo de Paris, considerando políticas para tecnologias com zero emissão e outras alternativas, garantir que todo o ciclo de vida

de um veículo com zero emissão seja sustentável, infraestrutura para postos de recarga de veículos elétricos e reabastecimento de veículos de hidrogênio.

Entre os progressos do setor, ao longo da última década, sublinha-se o custo de baterias para veículos elétricos, que caiu quase 90%; o fato de que alguns projetos já podem atingir a paridade de custos com carros de motor a combustão interna nos próximos anos; o avanço de políticas regulatórias e compromissos globais, como a vendas de carros e vans novos enquanto veículos com zero emissão em 2035 em mercados avançados e até 2040 nos demais.

Para outros países, soluções com biocombustíveis fazem parte da descarbonização do setor de transportes, com políticas públicas como o RenovaBio

que tem como objetivo reduzir a intensidade média de carbono da matriz de combustíveis em 10% até 2030, considerando a linha-base de 2018 e evitar as emissões de 620 milhões de toneladas de CO₂eq na atmosfera de 2020 até 2030.

O fato é que não há um modelo pronto, mas distintos caminhos que podem e devem ser percorridos de acordo com as demandas daquela sociedade específica, as políticas públicas adequadas para determinado país e os setores empresariais participantes do mercado. A partir desse contexto e desse valor, a FGV Energia busca contribuir com este Caderno de Transição Energética no Setor de Transportes para o amplo debate na sociedade brasileira, com a ambição de dialogar com os setores interessados o melhor caminho para o país e para o mundo; econômica, social e ambientalmente responsável.

Boa Leitura!

Fernanda Delgado

1

CAPÍTULO

Mudanças Climáticas e Transição Energética

As mudanças climáticas estão associadas às emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) por queima de combustíveis fósseis, queimadas, desmatamento, decomposição de lixo entre outras atividades¹. As projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apresentam que nos próximos 2.000 anos, o nível médio global do mar aumentará cerca de 2 a 3 metros se o aquecimento for limitado a 1,5° Celsius, de 2 a 6 metros se limitado a 2°C e de 19 a 22 metros com 5°C de aquecimento, e continuará aumentando nos milênios subsequentes², o que pode afetar significativamente as atividades humanas e os ecossistemas terrestres³. Sendo assim, as mudanças climáticas constituem-se em uma das principais questões a serem enfrentadas na atualidade e tornaram este tema relevante mundialmente⁴.

Os efeitos das mudanças climáticas e suas consequências para a vida, para as atividades econômicas e para o próprio equilíbrio dos recursos da biodiversidade passaram a ser discutidos pela

sociedade desde que associaram o potencial de risco envolvido no curso "natural" da exploração humana destes recursos. São inúmeras as formas de alterações ocasionadas por mudanças climáticas, destacando-se: o aquecimento global, a maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, alterações nos regimes de chuvas, perturbações nas correntes marinhas, retração de geleiras e elevação do nível dos oceanos, entre outros (POPPE; LA ROVERE, 2005).

De acordo com o *Climate Change 2021* (IPCC), a cada incremento no aquecimento global, regionalmente as mudanças são mais evidentes com aumento da temperatura média, precipitação irregular de chuvas e alterações da umidade do solo (Figura 1). O relatório do IPCC apresenta um resumo de alto nível da compreensão do estado atual do clima, incluindo o papel da influência humana nesta mudança. Neste relatório são apontados possíveis futuros climáticos com informações relevantes para regiões e setores.

1. INPE, 2021. <<http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>>.

2. IPCC, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf>

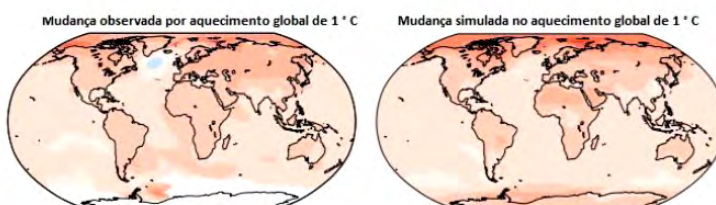
3. INPE, 2021. <<http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>>.

4. EPE (2018). Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Mudancas%20Climaticas%20e%20Planejamento%20Energetico.pdf>>

FIGURA 1: MUDANÇAS NA TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DA SUPERFÍCIE, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE DO SOLO

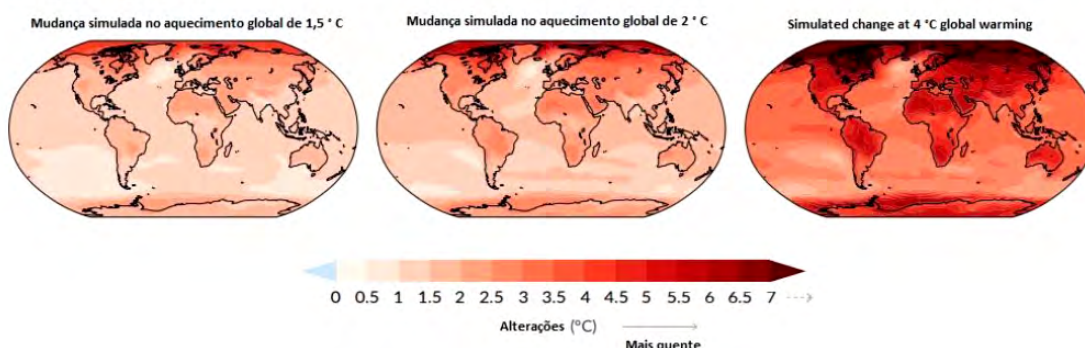
**a) Mudança de temperatura média anual (°C)
a 1 °C aquecimento global**

O aquecimento a 1 °C afeta todos os continentes e é geralmente maior sobre a terra do que sobre o oceanos em observações e modelos. Na maioria das regiões, observado e os padrões simulados são consistentes.



**b) Mudança de temperatura média anual (°C)
em relação a 1850-1900**

Em todos os níveis de aquecimento, as áreas terrestres aquecem mais do que os oceanos e o Ártico e a Antártica aquece mais do que os trópicos.



Fonte: Adaptado de IPCC Climate Change (2021). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf>.

Essas alterações resultam em impactos ambientais que afetam diretamente as economias e estruturas sociais dos países, pois, além dos impactos de eventos meteorológicos e climáticos, são afetados o desenvolvimento socioeconômico, a saúde humana, a migração, o deslocamento, a segurança alimentar e os ecossistemas terrestres e marinhos. Dessa forma, são questionáveis os meios de produção e o comportamento da sociedade conhecidos atualmente⁵.

A partir disso, o IPCC, criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), tem o objetivo de fornecer aos governos, em todos os níveis, informações científicas que possam ser utilizadas para o desenvolvimento de políticas públicas, mediante relatórios que contribuem às negociações internacionais sobre mudanças climáticas⁶.

5. ONU (2020). Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/multi-agency-report-highlights-increasing-signs-and-impacts-of-climate-change>>

6. IPCC (2021). Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/about/>>.

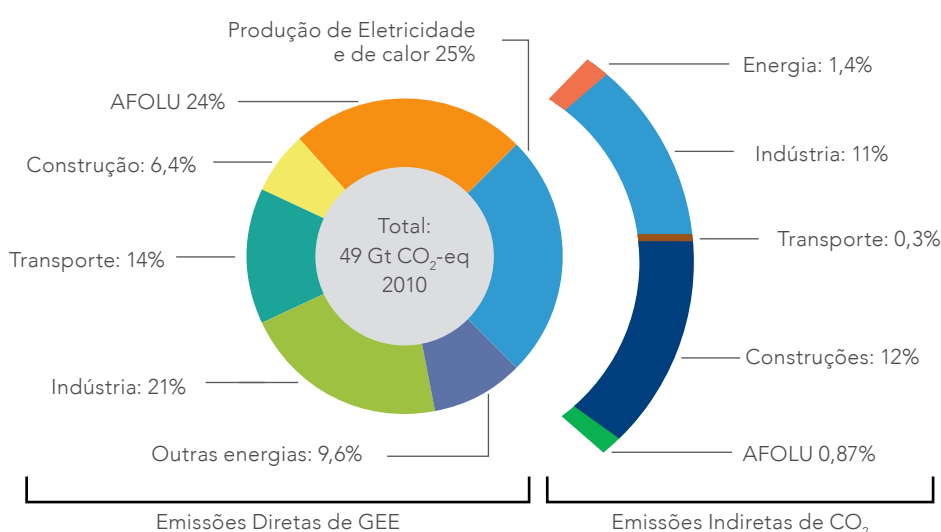
A grande maioria das publicações científicas sobre o clima reconhece que fatores antropogênicos contribuem para elevadas taxas de emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, derivados principalmente da queima de combustíveis fósseis, como a principal causa do aquecimento global. Nesse sentido, é preciso buscar caminhos alternativos para que o desenvolvimento social, em todos os seus aspectos, não comprometa o equilíbrio do planeta (COOK, 2016).

De acordo com o Protocolo de Quioto, os maiores causadores de aumento da temperatura são os GEE, sendo os seis principais: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), os compostos de hidrofluorcarbonetos (HFCs), os compostos de perfluorcarbonetos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Os mesmos podem ser separados em dois grupos: aqueles

que permanecem por pouco tempo na atmosfera, causando efeitos de curto prazo como o gás metano (CH_4 - 15 a 20%), o óxido nitroso (N_2O - 6%), os compostos de Clorofluorcarbonetos (CFC até 20%) e os halógenos (HFCs, PFCs e SF_6 - 14%); e, aqueles que permanecem por mais tempo na atmosfera, causando efeitos de longo prazo, como o CO_2 , responsável por 60% do total, além do vapor d'água (H_2O) – que apresenta uma porcentagem muito variável na atmosfera (PENNA, 1999).

Na maioria dos cenários de mitigação do aquecimento global, a descarbonização do setor de geração de energia elétrica antecede os setores da indústria e do transporte. Entre 2040 e 2070 estima-se a redução em 90% das emissões no setor de eletricidade quando comparado aos níveis de emissões de 2010⁷ (Figura 2).

FIGURA 2: EMISSÕES DE GEE POR SETOR ECONÔMICO



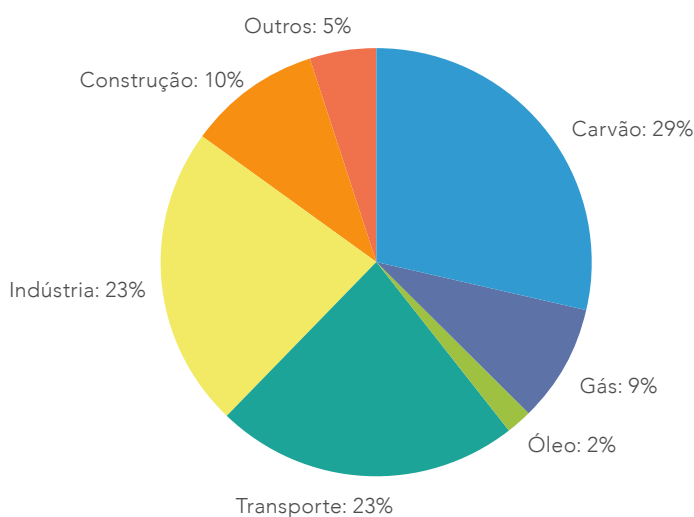
Fonte: Adaptado de IPCC Climate Change (2014), disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>.

7. IPCC (2014). Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>.

Além disso, o setor elétrico também contribui com emissões de GEE e a descarbonização deste setor também é um elemento chave de mitigação para se alcançar níveis de emissões que limitem

o aquecimento global entre 1,5°C e 2°C, considerando que 29% das emissões do setor elétrico mundial vêm do carvão (Figura 3).

FIGURA 3: EMISSÕES GLOBAIS DE CO₂ RELACIONADAS À ENERGIA POR SETOR



Fonte: Adaptado de IEA (2021), disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>>.

A energia é essencial para a sobrevivência, o bem-estar e o conforto, e a humanidade vem, ao longo dos tempos, aprimorando as formas de transformá-la e utilizá-la. Entretanto, nos processos de transformação da energia quase sempre ocorre algum impacto ambiental, prejudicando a flora, a fauna e as pessoas, seja por meio dos resíduos produzidos, ou pelo risco de esgotamento dos recursos naturais (florestas e a matéria prima por ela fornecida, por exemplo).

Por isso, a sociedade tem a responsabilidade de criar formas mais eficientes de utilização da energia e evitar o seu desperdício⁸.

1.1 USOS DA ENERGIA NO TEMPO

Em uma linha cronológica, o domínio do fogo marcou a primeira utilização consciente de energia pelo ser humano e era totalmente voltada

8. EPE (2021). Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>.

para a sua alimentação. Quando aprendeu a controlar o fogo (Neolítico - 8 mil a.C. a 5 mil a.C.), inicialmente para se aquecer, cozinhar e proteger-se, o homem realizou sua primeira grande conquista energética, pois a queima de apenas um kg de lenha seca pode chegar a produzir quatro mil kcal. Estima-se que por volta de 100 mil anos A.C., o homem nômade, extrativista, consumia cinco mil kcal/dia⁹.

Ao domar o fogo e utilizá-lo no cozimento dos alimentos, a humanidade transferiu para fora de seu corpo parte do processo digestivo, pelo qual converte a energia para subsistência. Graças a isso, diminuiu a quantidade de energia consumida pelo próprio organismo na conversão desta e, assim, uma parcela maior ficava liberada para outras atividades. A história assinala uma nítida tendência à substituição dos conversores orgânicos, encontrados na natureza, pelos inorgânicos, criados pelo engenho humano, os quais foram capazes de absorver e transformar energia de fontes até então pouco utilizadas (CALABI *et al.*, 1983).

A partir das Revoluções Agrícolas (1ª ocorrida no período neolítico que vai de 8 mil a.C. a 5 mil a.C.), diferentes tecnologias foram desenvolvidas e se tornaram responsáveis por marcar épocas (DIAMOND, 1997). Dentre as tecnologias desenvolvidas pelo homem, pode-se destacar o uso do transporte animal, da força dos ventos (energia eólica) e das quedas d'água (energia hidráulica) na produção agrícola e pecuária, um

importante passo para o consumo de energia por novos setores, como o do comércio, da agricultura, e o início da destinação de energia para o setor dos transportes (TORRENCE, 1983).

A diversidade e os padrões de uso da matriz energética mundial – entendida como a miríade que compõe a necessidade energética de um país ou localidade – sofreram modificações a partir do surgimento da Revolução Industrial em meados do século XVIII (CLARK, 2002). Esta foi dividida em três fases (primeira, segunda e terceira revoluções industriais), que alteraram o consumo e a produção de energia, através de períodos de transições que levaram a uma nova conjuntura entre os setores, e consolidaram o processo de formação do capitalismo produtivo (TESSMER, 2002).

Na primeira fase (1760 e 1850), a principal fonte de energia era o carvão que alimentava as máquinas a vapor, construída por Thomas Newcomen em 1698, e aperfeiçoada por James Watt, em 1765. Tais máquinas eram cruciais para a indústria têxtil e siderúrgica da Inglaterra (BERG; HUDSON, 1992).

As principais invenções daquela época que modificaram o cenário vivido foram a utilização da máquina a vapor e da locomotiva, já no começo do século XIX (1830), contribuindo para o surgimento de estradas de ferro, e o desenvolvimento do telégrafo. Esse período foi marcado pelo crescimento da população urbana, pela

9. Goldemberg, 1987.

substituição da energia produzida pelo homem, proveniente das máquinas a vapor, eólica e hidráulica e pela substituição da produção artesanal pela produção industrial, o que levou a formulação de novas relações de trabalho¹⁰.

A segunda fase da Revolução Industrial se refere ao período entre a segunda metade do século XIX (1870) até meados do século XX, e teve fim durante a Segunda Guerra Mundial. Foi caracterizada pelo avanço geográfico da industrialização pela Europa Ocidental, Estados Unidos da América (EUA), Japão e demais países da Europa. A evolução tecnológica foi intensa, causando mudanças ainda maiores e com grande incentivo às pesquisas, especialmente no campo da medicina (SILVA; GASPARIN, 2015).

As principais invenções dessa fase estão associadas ao petróleo como fonte de energia, utilizado no motor a combustão interna (em 1866 por Nikolaus August Otto) e a produção em larga escala de carros (1913, modelo Ford T)¹¹. A partir dessas invenções, o mundo vivenciou o início do uso da gasolina como combustível automotor e, desde então, o consumo de energia cresceu exponencialmente em todos os setores da economia, em especial na indústria e nos transportes (SILVA; GASPARIN, 2015).

Vale destacar que a introdução de motores a combustão permitiu a retirada de cavalos das

grandes cidades. Em Londres, eram 50 mil cavalos transportando pessoas todo dia e, em Nova Iorque, eram 100 mil cavalos, que geravam 1.000 toneladas por dia de fezes (VAN DEURSEN, 2016).

O ano de 1866 pode ser considerado como o do nascimento da máquina elétrica, quando Werner Siemens inventou o primeiro gerador de corrente contínua, auto induzida. E, em 1891, Dobrowolsky iniciou a fabricação em série de motores assíncronos, nas potências de 0,4 a 7,5 kW (SENS, 2001). Antes, a eletricidade era utilizada apenas para o desenvolvimento de pesquisas em laboratórios e, nesse período, passou a ser empregada no funcionamento de motores em escala industrial. O ferro, que antes era largamente utilizado, passou a ser substituído pelo aço (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A terceira fase da Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Tecno-Científica-Informacional, foi iniciada na metade do século XX, após a Segunda Guerra Mundial, principalmente a partir da década de 1970 (SILVA *et al.*, 2012). Essa fase da revolução foi não só no setor industrial, mas também passou a relacionar o desenvolvimento tecnológico voltado do processo produtivo ao avanço científico, deixando de limitar-se a apenas alguns países e espalhando-se por todo o mundo.

Essa nova etapa de produção está vinculada diretamente à informática, robótica, telecomuni-

10. BOETTCHER, M. Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0. LinkedIn. 26 nov. 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-dehist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 10 maio 2020.

11. Ibid.

cações, química, uso de novos materiais, biotecnologia, engenharia genética, entre muitos outros, que fazem parte de praticamente todos os segmentos produtivos e marcam essa etapa até os dias atuais (*Ibidem*, 2012). A cada nova descoberta um novo patamar era alcançado dentro dessa fase da revolução, consolidando: i) o que ficou conhecido como capitalismo financeiro, que a tem como um dos principais combustíveis para o seu desenvolvimento; ii) o processo de globalização, que visa uma flexibilidade da circulação de informações; e, iii) um acelerado dinamismo no fluxo de capitais e mercadorias (GASPARI, 2013).

De um modo geral, a Revolução Industrial transformou não só o setor econômico e industrial de cada fase, mas modificou também as relações sociais e muito fortemente as relações entre o homem e a natureza, provocando alterações no modo de vida das pessoas, nos padrões de consumo e no meio ambiente. A mudança em longo prazo da estrutura dos sistemas de energia, como foi a transição da lenha para o carvão

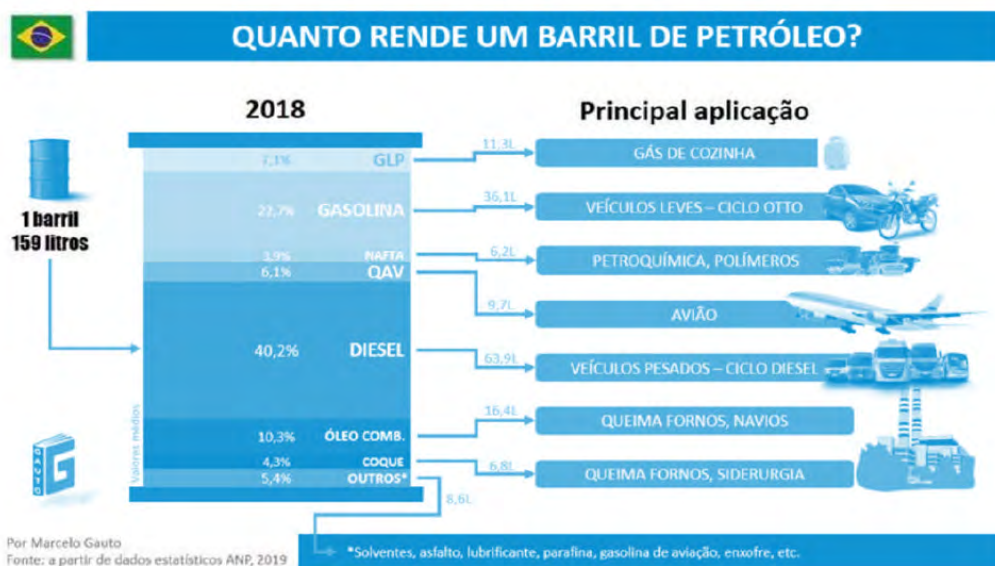
e do carvão para o petróleo, se encaixa na definição de diferentes períodos de transição energética.

Até o presente não foram encontrados substitutos comparáveis ao petróleo e ao gás natural no que diz respeito à densidade energética, à transportabilidade e a outras características que lhes conferem qualidades ideais para o uso em larga escala nos transportes, na indústria e na agricultura.

Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2019), o barril de petróleo contém 159 litros e, a partir do refino, 80% desse conteúdo é convertido nos quatro principais derivados: diesel, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP) e querosene de aviação (QAV). Dependendo do esquema de refino e do tipo de petróleo processado, cada refinaria pode apresentar ligeiras diferenças nos percentuais de derivados produzidos. Os valores apresentados na Figura 4 são da média brasileira¹².

12. ANP, 2019.

FIGURA 4: PORCENTAGEM DE DERIVADOS PROVENIENTES DE UM BARRIL DE PETRÓLEO



Fonte: Marcelo Gauto, a partir de dados estatísticos ANP, 2019.

De acordo com o relatório da Equinor¹³, a descarbonização gradual do setor de energia e a eletrificação do setor de transporte são os principais impulsionadores para o declínio de longo prazo das emissões. No entanto, apesar da redução, as temperaturas globais podem levar entre 20 e 30 anos até que se estabilizem¹⁴. Essas modificações estão longe de atingir a meta e, até o fim do século 21, poderá ocorrer um aquecimento global acima de 1,5°C e 2°C, a menos que haja reduções profundas nas emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa nas próximas décadas.

Ainda de acordo com o relatório do IPCC (2021), prevê-se que esses efeitos continuem em longo prazo, pelo menos no resto deste século, afetando ecossistemas marinhos e comunidades dependentes deles. Em cidades, fenômenos como calor e inundações fortes podem piorar com a maior precipitação em todas as regiões. Com um cenário de aquecimento global a 1,5°C haverá mais ondas de calor e maior duração de estações quentes e menos frio. Para o aquecimento global a 2°C, os extremos de calor atingirão mais frequentemente o nível crítico de tolerância para setores como agricultura e saúde e haverá mudanças em padrões de umidade e aridez.

13. EQUINOR (2021). Disponível em: <<https://www.equinor.com/en/sustainability/energy-perspectives.html>>.

14. ONU, 2021. <<https://news.un.org/pt/story/2021/08/1759272>>.

Assim, para que a desaceleração do aquecimento global e as metas climáticas estabelecidas no Acordo de Paris (2015) sejam cumpridas, será necessária cooperação internacional entre governos, inovação em todos os setores e mudanças profundas no comportamento do consumidor.

1.1.1 O Acordo de Paris

O Acordo de Paris é um tratado mundial elaborado com o objetivo de reduzir o aquecimento global, negociado em Paris, durante a COP21, aprovado em 12 de dezembro de 2015, e entrou em vigor oficialmente apenas em novembro de 2016¹⁵. Neste acordo, os 195 países signatários concordaram que a partir de 2020 passariam a adotar medidas e metas que desafiam o mundo a manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C¹⁶.

Sendo assim, para limitar o aumento médio de temperatura global a 2°C, quando comparado a níveis pré-industriais foram propostas várias metas e orientações elencadas no acordo, tais como:

- Esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C;
- Recomendações quanto à adaptação dos países signatários às mudanças climáticas, em especial para os países menos desenvolvidos, de modo a reduzir a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos;

- Estimular o suporte financeiro e tecnológico por parte dos países desenvolvidos para ampliar as ações que levem ao cumprimento das metas para 2020 dos países menos desenvolvidos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico e a transferência de tecnologia e a capacitação para adaptação às mudanças climáticas; e,
- Proporcionar a cooperação entre a sociedade civil, o setor privado, instituições financeiras, cidades, comunidades e povos indígenas para ampliar e fortalecer ações de mitigação do aquecimento global.

Em 2019, o IPCC divulgou o relatório *Global Warming of 1.5°C* sobre os impactos do aquecimento global de 1,5° C acima dos níveis pré-industriais e caminhos de emissão global de gases de efeito estufa relacionados, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça das mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável e esforços para erradicar a pobreza.¹⁷ Com base nestes e em outros dados, as consequências de um aumento da temperatura além de 1,5°C poderiam ser catastróficas, impactando fortemente sistemas ecológicos e humanos.

Em um mapa global, foram projetados dados de satélite para temperaturas onde é exibida a progressão das alterações das anomalias da temperatura da superfície global de 1880 a 2018¹⁸, e foi constatado que já houve um aumento

15. ONU (2021). Disponível em: <<https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>>.

16. CEBDS, 2017.

17. IPCC (2019). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf>. Acesso em: 20 Abr. 2021.

18. NASA-NOAA (2019).

de 1,1°C, neste intervalo de tempo, coincidindo com as revoluções industriais.

Como já citado anteriormente, as elevadas temperaturas verificadas no sistema climático da Terra se devem em grande parte ao aumento das emissões de CO₂ e dos outros gases de efeito estufa, as atividades humanas que colaboram para esse quadro estão diretamente relacionadas ao uso de fontes energéticas poluidoras, agricultura, construção, desmatamento, industrialização, entre outras. As emissões globais anuais de CO₂ foram multiplicadas por 10 no último século, atingindo a marca de cerca de 33 bilhões de toneladas em 2019. O Brasil foi responsável pela emissão de cerca de dois bilhões de toneladas de CO₂ equivalente, sendo o sétimo maior emissor do mundo de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)¹⁹.

Na avaliação do IPCC, há uma grande disponibilidade e variedade de adaptações possíveis para o enfrentamento de crises ambientais, embora seja difícil calcular os custos e os obstáculos para a difusão de mecanismos existentes para tal (DUBEAUX, 2017). Cabe ressaltar que a capacidade de adaptação está intimamente associada ao nível de desenvolvimento econômico e social, comumente desigual nas diferentes partes do mundo. Porém, mesmo em sociedades desenvolvidas, os recursos não estão igualmente distribuídos, embora haja recursos, pessoas qua-

lificadas, instituições mais sólidas e maior tecnologia para enfrentar adaptações desafiadoras (COLE, 2007).

Portanto, segundo o relatório do IPCC (2014), para que exista uma transição energética com êxito, é necessário que ocorra o desenvolvimento de políticas públicas que correspondam a planejamentos adequados para cada setor da sociedade. Os setores que devem receber maior atenção no processo de adaptação são: agricultura, infraestrutura/ assentamentos (incluindo zonas costeiras) e os setores de transportes e energia, que são diretamente relacionados e que juntos possuem a maior contribuição de GEE (DUBEAUX, 2017). Além disso, a transição energética é um processo inerentemente político, econômico e social e, portanto, deve-se preocupar com soluções que estejam de acordo com o poder econômico de sua população e de suas expertises técnicas, assim como suas disponibilidades de infraestrutura para maior adaptabilidade.

As negociações do Acordo de Paris que estavam em aberto desde a COP21 foram debatidas e firmadas recentemente na COP26. Os países celebraram a conclusão do Artigo 6, o mais famoso item do Livro de Regras do Acordo de Paris. Este foi iniciado durante a COP21 pelo Brasil e União Europeia nos últimos minutos da referida conferência, o documento rege a forma como os países signatários devem se comportar no regime global do clima²⁰.

19. SEEG (2021). Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/>>.

20. ONU NEWS (2021). Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1770432>>.

Esse artigo discute o comércio de créditos de carbono entre países e ajusta os compromissos climáticos (NDCs) de compradores e vendedores. O estabelecimento dessas regras é importante para que os países poluidores compensem as suas emissões colaborando assim para a meta de “emissões líquidas zero” (Ou net zero).

Um dos pontos principais foi a alteração no prazo para se atingir as metas de corte de emissões, não mais 2025 e sim 2022. E, convida os 197 países participantes a reportar o progresso sobre as ações climáticas no evento do próximo ano, na COP27, que será realizada no Egito.

Em relação ao financiamento para ação climática, o texto enfatiza a necessidade de levantar os valores de todas as fontes para atingir o nível necessário e chegar aos objetivos do Acordo de Paris, incluindo um aumento significativo do apoio para países em desenvolvimento. Outro detalhe que merece destaque foi a solicitação da China e da Índia para a alteração no texto preliminar do acordo sobre a redução do uso de carvão. Dessa forma, no texto original constava a meta da “eliminação” do recurso do carvão, e passou a constar “redução gradual”. Visto que ambos os países possuem o carvão como sendo uma importante fonte na matriz energética.

Além disso, foi firmada a proposta dos países mais vulneráveis aos efeitos do aquecimento global: em relação às contribuições nacionalmente determinadas (NDCs) a revisão todos os anos e não a cada cinco anos.

1.1.2 A Transição Atual

As alterações provocadas pela maneira como a energia é utilizada pelo homem sobre o meio ambiente têm sido amplamente discutidas pelas comunidades internacionais, órgãos e entidades. É expressa a importância de mudar o modelo de desenvolvimento econômico, que explora os recursos naturais sem pensar nas gerações futuras, levando rumo à quarta Revolução Industrial, chamada de sustentável e descarbonizada. Nessa fase, encontra-se o dilema da transição de uma energia “suja” para uma “limpa” em paralelo ao crescimento econômico.

A atual transição energética se caracteriza pela troca de modelos poluentes de geração de energia com base fóssil por fontes renováveis e de menor impacto ambiental²¹. No entanto, é importante realizar uma avaliação da pressão que será exercida sobre a produção de matérias-primas como a utilização de vidro, aço, concreto, alumínio, silício, metais, cobre e plástico ligadas à nova infraestrutura energética²². Apesar dos

21. OUR WORLD IN DATA (2015). Energy use per capita vs. share of population in extreme poverty. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/energy-use-per-capita-vs-share-of-population-in-extreme-poverty?stackMode=absolute&minPopulationFilter=1000000&country=BRA~CHN~ZAF~GBR~USA~OWID_WRL>.

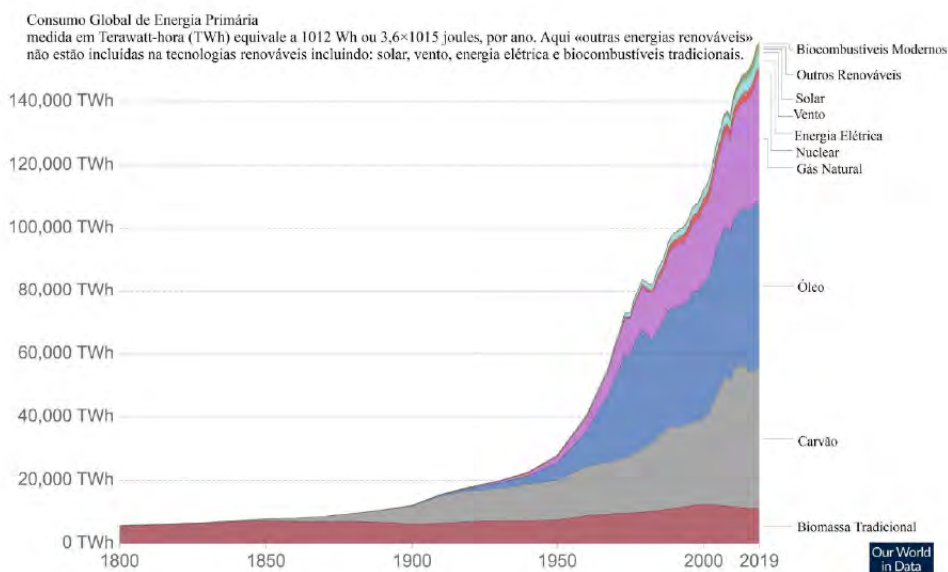
22. IRENA (2019). Measuring the socio-economic footprint of the energy transition: the role of supply chains. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_-_Measuring_socio-economic_footprint_2019_summary.pdf?la=en&hash=98F94BCC01598931E91BF49A47969B97ABD374B5>. Acessado em novembro de 2020.

freios exercidos pelos limites do próprio planeta, em termos de matéria-prima, este é um movimento mundial que vai muito além da geração de energia; mas que está ligado a uma profunda transformação de padrões vigentes, sobretudo no consumo²³.

Acredita-se que a industrialização e o desenvolvimento de tecnologias que estão associados à

transição energética irão gerar um crescimento econômico e um aumento no padrão de vida da sociedade. Embora a relação entre o crescimento econômico e o consumo de energia seja um tópico que promova bastante discussão, é possível observar o relacionamento entre a energia *per capita* e a porcentagem da população em extrema pobreza, destacando que a demanda por energia tende a aumentar (Figura 5).

FIGURA 5: CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA PRIMÁRIA PELO SER HUMANO A PARTIR DE 1800 ATÉ OS DIAS ATUAIS



Fonte: Adaptado de Vaclav Smil (2017)²⁴ e BP Statistical Review of World Energy.

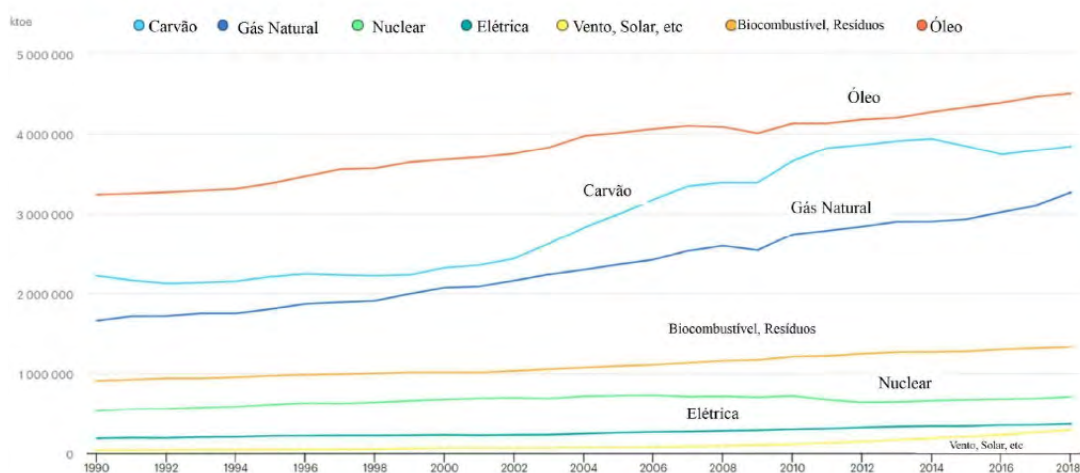
²³. WORLD BANK. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. Washington: World Bank, 2017.

²⁴. <https://ourworldindata.org/grapher/global-primary-energy?time=earliest..latest>

Assim, dentro dessa discussão, o esgotamento previsível (possível) dos recursos fósseis e as mudanças climáticas, como consequência das excessivas emissões de GEE, geram uma série de desafios que transcendem os atores individuais e as esferas nacionais, exigindo a busca de soluções comuns que previnam e minimizem os efeitos sobre o clima.

Quanto maior a negligência, maiores serão os esforços a serem realizados para lidar com as mitigações, que se tornarão mais dispendiosas. No entanto, as fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, correspondem em conjunto a apenas 1,6% da matriz energética mundial (linha amarela na Figura 6). Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam 14%²⁵.

FIGURA 6: TONELADAS DE COMBUSTÍVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA DO MUNDO (Ktoe)²⁶



Fonte: Adaptado de IEA, 2018, disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>>.

25. IEA (2018). Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>>.

26. Ktoe = Quilo toneladas de óleo equivalente.

1.2 O AQUECIMENTO GLOBAL E O PAPEL DO SETOR DE TRANSPORTES: CONTRIBUIÇÃO E EXPECTATIVAS

No caso do setor de energia, o objetivo é atingir 45% de participação de renováveis na matriz energética até 2030. Na área de transportes, isso seria feito por meio do aumento da oferta de etanol (incluindo biocombustíveis de segunda geração) e do incremento em bases econômicas da parcela de renováveis na mistura do diesel, além de medidas de eficiência como melhorias na infraestrutura de transportes particulares e públicos em áreas urbanas. Para tanto o governo brasileiro trabalha com o RenovaBio, Programa Nacional do Hidrogênio e Programa Combustível do Futuro²⁷.

De acordo com o Relatório [R]evolução Energética do *Greenpeace*²⁸ serão necessárias medidas como: introdução dos motores elétricos, transição do transporte de cargas do modal rodoviário para o ferroviário, maior eficiência logística, e priorização do transporte público e de deslocamentos não motorizados nas áreas urbanas. Tecnologias que permitam o uso da eletricidade como fonte de energia serão fundamentais para a renúncia aos combustíveis fósseis.

Além disso, os biocombustíveis têm papel importante em situações em que o uso da eletri-

cidade não é o mais indicado, levando-se em consideração a análise de ciclo do poço à roda, que também contabiliza a etapa de geração de energia, além de setores difíceis de serem descarbonizados, como o setor aéreo e o transporte marítimo.

A demanda de biocombustíveis deve quase dobrar em relação ao nosso caso principal ou expandir em mais de 40% em relação ao caso acelerado para se alinhar ao Cenário Net Zero.

Assim, os biocombustíveis precisam se expandir mais rapidamente para se alinharem ao Cenário IEA Net Zero até 2050, os países precisam implementar políticas existentes e planejadas e fortalecer-las antes de 2026. Essas políticas também devem garantir que os biocombustíveis sejam produzidos de forma sustentável e evitem o risco de impactos negativos na biodiversidade, sistemas de água doce e alimentos preços e disponibilidade. Além disso, as políticas devem incentivar as reduções de GEE, não apenas a demanda de biocombustíveis, para que cada litro de biocombustível utilizado reduza ao máximo as emissões em relação aos combustíveis fósseis²⁹.

Estima-se também que, entre 2015 e 2030, a melhoria da eficiência energética em todo o mundo poderia evitar a emissão de pelo menos

27. Diretrizes da Estratégia Nacional de Neutralidade Climática. Disponível em <<https://www.gov.br/mma/pt-br/diretrizes-para-uma-estrategia-nacional-para-neutralidade-climatica.pdf>>. Acesso em 12.jan 2022.

28. GREENPEACE (2016).

29. IEA (2021). Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2021/biofuels?mode=transport®ion=World&publication=2021&flow=Consumption&product=Ethanol>>.

2,5 gigatoneladas (Gt) de CO₂ por ano³⁰. Novas usinas e sistemas de transportes evitam outros impactos ambientais ao pouparem a expansão de projetos necessários para a produção energética (JANNUZZI, 2015). Vários estudos apontam que é mais barato investir em medidas de eficiência do que em novas infraestruturas para o atendimento de uma demanda sempre crescente (GOLDEMBERG *et al.*, 1994).

De acordo com o *World Energy Council* (2011), até o ano de 2050, o setor de transporte global enfrentará desafios sem precedentes relacionados à demografia, urbanização, pressão para minimizar e deslocar emissões fora dos centros urbanos, congestionamento de infraestrutura de transporte envelhecida e crescimento na demanda de combustível³¹.

O setor de transportes, quando comparado com outros setores nas emissões de GEE provenientes de energia não renovável, é responsável por grande parte das emissões de poluentes para a atmosfera (TOLMASQUIM; SZKLO, 2000). Adequar o setor de transportes com o Cenário de Desenvolvimento Sustentável da IEA (2020) requer a implementação de um amplo conjunto de políticas, resumidas como “Evitar, Mudar, Melhorar”. A Agência Internacional de Energia (IEA, em inglês) incentiva a transição ao analisar tecnologias e sistemas de

transporte que podem ser desenvolvidos e adotados pelos países para reduzir a dependência do petróleo e as emissões de gases de efeito estufa³².

A transição energética no setor de transportes precisa levar em consideração as particularidades regionais e que não há uma única solução possível para promover a descarbonização, o que exige planejamento energético integrado com políticas públicas de transição energética, através de medidas de eficiência, investimentos em tecnologia e ciência, uso eficiente de recursos energéticos, desenvolvimento sustentável, mitigação de GEEs, entre outros.

No setor de transportes a base das mudanças está ocorrendo na alteração de usos finais, como: biocombustíveis avançados, soluções a base de hidrogênio e combustíveis sintetizados, captura e uso de carbono, novos reatores nucleares, baterias e outras formas de armazenamento, geoengenharia, entre outros.

A revolução do veículo elétrico, por exemplo, está progredindo rapidamente na Noruega. A Associação Norueguesa de Veículos Elétricos relata que 75% de todos os carros de passageiros novos vendidos na Noruega em 2020 eram veículos elétricos híbridos com bateria ou *plug-in* e espera-se um crescimento maior em 2021³³.

30. UNEP (2014).

31. World Energy Council (2011). Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-scenarios-global-transport-scenarios-2050>>.

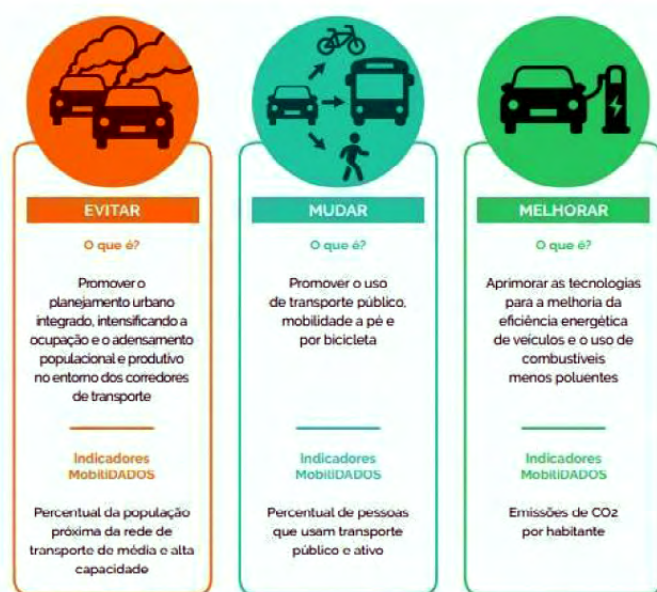
32. IEA (2021). Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/transport>>.

33. OFV, 2021. Disponível em: <<https://ofv.no/>>.

De acordo com o Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP), as transformações necessárias na mobilidade urbana

podem contribuir para mitigar os impactos das mudanças climáticas e para a melhoria na qualidade de vida³⁴ (Figura 7).

FIGURA 7: MOBILIDADE DE BAIXO CARBONO



Fonte: ITDP, 2021. Disponível em: <http://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2019/02/MobiliDADOS_Boletim1.pdf>.

O setor de transportes é responsável por quase um quarto das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia. Para atingir os cortes profundos necessários na redução das emissões de gases de efeito estufa até 2050, conforme o Acordo de Paris, este setor deve realizar mudanças significativas³⁵. Sendo assim, para permitir a mobilidade sem

acelerar as mudanças climáticas, será necessário mudar a forma de locomoção e adotar tecnologias para melhorar a eficiência dos veículos usando combustíveis com baixo teor de CO₂. Com isso, será possível seguir um caminho diferente onde as emissões pelo setor, até 2050, sejam muito abaixo dos níveis atuais e a custos inferiores.

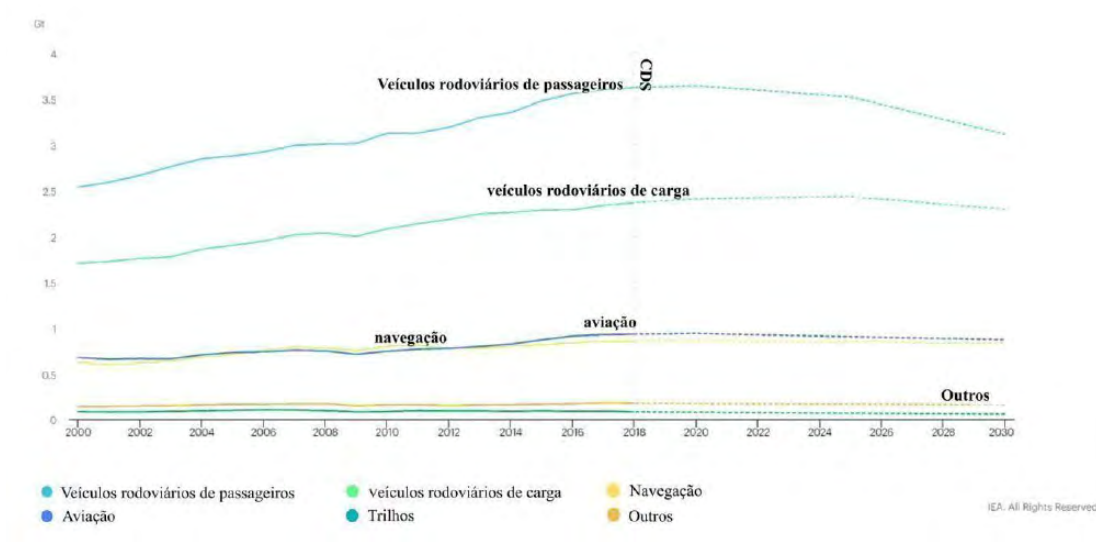
34. ITDP (2019). Disponível em: <<https://itdpbrasil.org/cop-25-itdp-discute-o-papel-do-setor-de-transporte-no-enfrentamento-das-mudancas-climaticas/>>.

35. IEA (2021). Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/transport-energy-and-co2>>.

Segundo a IEA, devem ser realizadas mudanças visando modelos mais eficientes e reduzir as taxas de crescimento de viagens, melhorando a eficiência de combustível dos veículos em até 50% usando tecnologias incrementais e econômicas e movendo-se em direção à eletricidade, hidrogênio e biocombustíveis avançados para alcançar um futuro de transporte mais seguro e sustentável. Se os governos implementarem políticas mais eficazes para atingir esse cenário, o transporte pode cumprir seu papel e reduzir drasticamente as emissões de CO₂ até 2050.

As emissões do transporte global aumentaram menos de 0,5% em 2019 (em comparação com 1,9% ao ano desde 2000) devido a melhorias de eficiência, eletrificação e maior uso de biocombustíveis. No entanto, o transporte ainda é responsável por 24% das emissões diretas de CO₂ da queima de combustíveis. Os veículos rodoviários - carros, caminhões, ônibus e veículos de duas e três rodas - são responsáveis por quase três quartos das emissões de CO₂ do transporte, e as emissões da aviação e do transporte marítimo continuam aumentando, destacando a necessidade de um maior enfoque da política internacional nessas áreas (Figura 8).

FIGURA 8 - EMISSÕES DE CO₂ DO SETOR DE TRANSPORTES POR MODO NO CENÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS), 2000-2030



Fonte: IEA, 2021. Transport sector CO₂ emissions by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030, IEA, Paris.

Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/transport-sector-co2-emissions-by-mode-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030>>.

O Relatório do SEEG indica que o setor de transportes brasileiro emitiu cerca de 200 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, em razão da utilização de combustíveis fósseis no ano de 2018, representando 49% das emissões do setor de energia no país. No Brasil, a proporção de emissões de GEE provenientes do setor de transportes é alta se comparada com a média mundial. Entre 1990 e 2014, as emissões de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis aumentaram em 158%, enquanto a média de países americanos não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) foi de 112%. Os aumentos de emissões da Argentina e da Colômbia, por exemplo, foram de 94% e 58%, respectivamente³⁶.

A matriz energética de transportes no Brasil, seguindo a tendência global, é ainda baseada no petróleo e seus derivados³⁷. Em 2020, conforme os dados do balanço energético realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 398,3 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq), sendo a maior parte (178,8 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes, ou seja, corresponde a cerca de 45% da emissão final³⁸.

O Brasil tem grande potencial de energias alternativas, com destaque às vantagens competitivas na produção de biocombustíveis. Dessa forma, em 2016, foi lançada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), um programa do Governo Federal para assegurar a expansão sustentável da utilização de biocombustíveis e contribuir para o atendimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês).

O RenovaBio reconhece o papel estratégico de todos os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene, segunda geração, entre outros) na matriz energética brasileira no que se refere à contribuição para a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de emissões de GEE no setor de combustíveis³⁹.

Este programa de governo visa o aprimoramento das políticas e dos aspectos regulatórios dos biocombustíveis, a fim de contribuir para a superação dos desafios técnicos e econômicos a serem enfrentados pelo setor. Suas diretrizes baseiam-se em quatro eixos estratégicos: o papel dos biocombustíveis na matriz energética, o equilíbrio econômico e financeiro do mercado, a definição de regras de comercialização e os novos biocombustíveis⁴⁰.

36. IEA (2016).

37. Goldemberg (2020).

38. EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2020_PT.pdf>

39. MME (2021). Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>>.

40. EPE (2021).

Os principais objetivos do RenovaBio são⁴¹:

- Fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos Compromissos Nacionalmente Determinados (NDC, em inglês) pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris;
- Promover a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e,
- Assegurar previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, comercialização e uso de biocombustíveis.

De acordo com a EPE, o papel do Brasil no setor energético deve privilegiar a preservação e fortalecimento da bioenergia e a proeminência do Brasil em biotecnologia, a fim de descarbonizar a matriz buscando o desenvolvimento e aproveitamento do potencial no mercado interno e externo. Para a viabilização entre inúmeras ações e medidas que deverão ser tomadas destacam-se:

- Investir na eletrificação do setor de transportes, a partir de nichos como ônibus urbanos e frotas cativas;
- Reduzir, compensar as emissões e desenvolver novas soluções de baixo carbono para a transição energética a partir de investimentos no país da indústria do petróleo;
- Desenvolver as aplicações de hidrogênio no mercado, buscando novas perspectivas para a descarbonização do setor;

- Investir na expansão da infraestrutura através da implementação de reformas para maior abertura no setor energético, com destaque para o setor elétrico, de gás natural e de abastecimento de combustíveis;
- Regulação do setor energético e investimento na capacidade institucional de planejamento, com maior transparência e envolvimento dos *stakeholders*; e,
- Monitoramento e transparência nos investimentos e indicadores de desempenho através do investimento na governança de ciência, tecnologia e inovação em energia.

Espera-se que a abundância de recursos e escala de mercado doméstico nacional seja um fator de atração de investimentos. Assim, devem ser realizados planejamentos, formulação de políticas e regulação no setor de energia visando o crescimento e oportunidades de melhoria.

Para tanto, as alternativas energéticas do Brasil não precisam seguir o modelo dos EUA, China e Europa, pois o cenário nacional é completamente diverso e existem inúmeras alternativas energéticas. Além disso, historicamente, o país tem experiência em programas públicos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética, em alguns casos com limitações, mas que podem ser reestruturados e reformulados visando melhorias no setor. Ademais, o fato de que as relações internacionais e econômicas serão redesenhadas em razão do surgimento de

41. MMA (2021). Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>>.

inovações tecnológicas, economias de escala e escopo, políticas de subsídios e precificação de carbono, entre outros, afeta diretamente as atuais soluções predominantes.

1.3 PERSPECTIVA GLOBAL DA ENERGIA NO CONTEXTO INTERNACIONAL - METAS

A produção energética exerce uma relação íntima com o desenvolvimento econômico nos países do mundo globalizado (VICTOR; GEELS; SHARPE, 2019), assumindo parcelas de influência diferentes em função de algumas variáveis de instabilidade – sua presença está progressivamente aumentando com o desenvolvimento industrial e econômico das nações, mas é vulnerável a eventuais obstáculos políticos.

No caso do Brasil, na COP26, o País se comprometeu a reduzir as emissões de dióxido de carbono em 50% até 2030 em relação às emissões de 2005 e ser neutro em carbono até 2050⁴². Para alcançar essas metas e reduzir as emissões de CO₂ no país foram anunciados pela delegação brasileira os seguintes compromissos:

- Zerar o desmatamento ilegal até 2028;
- Diminuir em 50% a emissão de carbono até 2030 e zerá-la até 2050;
- Restaurar e reflorestar 18 milhões de hectares de florestas até 2030;
- Recuperar 30 milhões de hectares de pastagens degradadas;
- Reduzir 75% das emissões de gases poluentes do transporte de carga e incentivar a ampliação da malha ferroviária⁴³.

Dentre essas variáveis para a participação do setor energético nas políticas de um país, destacam-se: o nível de demanda, a inovação tecnológica, a problemática ambiental e as mudanças de natureza geopolítica. Dessa forma, contornando particularidades, o setor energético sofre pressão para acompanhar o desenvolvimento industrial.

A demanda energética, especificamente, atinge um patamar tão relevante na análise que serve para a classificação do desenvolvimento de um país. Em geral, essa classificação considera os níveis de qualidade de vida da população, a preservação dos direitos humanos e a taxa de renda *per capita*, expostas pelo Banco Mundial de acordo com a tabela 1.

42. COP26 (2021). Disponível em: <<https://ukcop26.org/>>.

43. MMA (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/201cbrasil-e-protagonista-nas-negociacoes-201d-diz-ministro-do-meio-ambiente-em-encerramento-da-cop26>>.

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE PAÍSES DE ACORDO AO BANCO MUNDIAL

Classificação dos países pelo Banco Mundial	
Países de alta renda	$\geq$ US\$ 12.375
Países de renda média alta	US\$ 3.996 – US\$ 12.375
Países de renda média baixa	US\$ 1.026 – US\$ 3.995
Países de renda média	US\$ 1.026 – US\$ 12.375
Países de renda baixa	$\leq$ US\$ 1.026

Fonte: Banco Mundial, 2020.

Em relação ao desenvolvimento econômico, esse índice alcança os objetivos de classificação, no entanto, se mostra incompleto nos âmbitos social e ambiental. Nesse sentido, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)⁴⁴ atinge maior correspondência para a aferição de desenvolvimento de cada país e, em conjunto com a taxa de consumo de energia *per capita*⁴⁵, proferida por diversos especialistas a partir do século XX, fortalece a ideia de que o consumo energético está diretamente atrelado à industrialização de cada país.

Nesse contexto, os países da Europa Ocidental e do norte europeu lideram o ranking, apresentando altas taxas de desenvolvimento econômico e social. Pela análise energética, infere-se que, apesar das posições próximas na classificação internacional, as matrizes energéticas diferem para cada país como parte de seus planejamen-

tos energéticos, demonstrando a importância de garantir a especificidade de cada região na transição energética (WEF, 2019)⁴⁶.

Ainda no contexto de desenvolvimento econômico, destaca-se a atuação da energia como *commodity* no comércio internacional, que influencia diretamente no cenário geopolítico e nas políticas protecionistas. Dessa forma, cabe a análise do catalisador da transição energética nos países desenvolvidos, que, apesar de ser debatida com grande importância no contexto ambiental, decorre, principalmente, da escassez dos recursos energéticos não renováveis. Isto é, o estabelecimento da segurança energética, definida pela capacidade da oferta de suprir a demanda nacional, de forma a reduzir - ou extinguir - a necessidade de importação, se mostra como verdadeiro objetivo.

44. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um classificador do progresso do desenvolvimento humano em três dimensões básicas: renda, educação e saúde.

45. Medida em toneladas equivalentes de petróleo/ população ou tep/capita.

46. 'Fostering Effective Energy Transition'. World Economic Forum, Março de 2019.

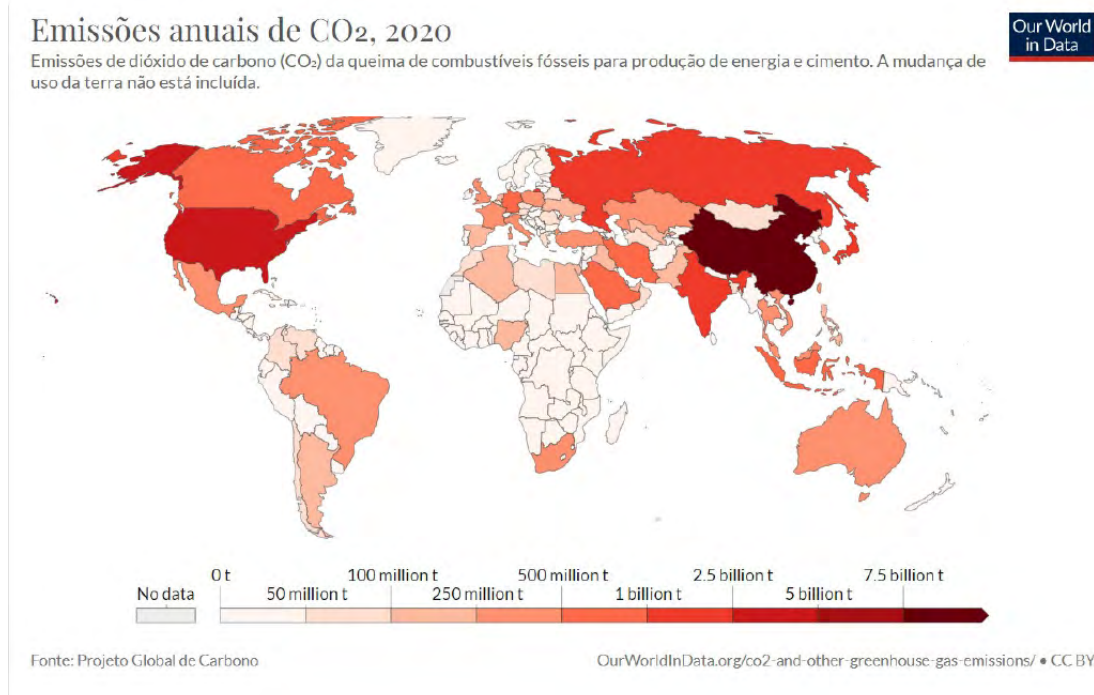
Já no que tange à política ambiental, o grande movimento da transição energética é na direção da descarbonização das indústrias e atividades produtivas. No setor de transportes, destaca-se a substituição de combustíveis com alto teor de carbono para os chamados combustíveis sustentáveis e de baixo carbono.

A Figura 9 ilustra as quantidades de emissões de CO₂ no cenário mundial de 2020, com as maiores concentrações de emissões na Ásia, seguida por América do Norte. De acordo com os dados, a Ásia é responsável por 53% das emissões globais. Como é o lar de 60% da popu-

lação mundial, isso significa que as emissões per capita na Ásia são ligeiramente inferiores à média mundial, no entanto.

O maior emissor da Ásia e do mundo é a China: emite quase 10 bilhões de toneladas por ano, mais de um quarto das emissões globais. A América do Norte – dominada pelos EUA – é o segundo maior emissor regional com 18% das emissões globais. É seguida de perto pela Europa com 17%. Já a África e América do Sul são ambos emissores relativamente pequenos: cada um responde por 3-4% das emissões globais⁴⁷.

FIGURA 9: NÍVEIS DE EMISSÕES DE CO₂ ANUAIS, 2020



Fonte: Our World In Data, 2020. Disponível em: <Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-emissions?country=>>

47. Our World Data (2020). Disponível em: <Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-emissions?country=>>

No contexto dos países emergentes, a transição energética tem grande potencial disruptivo para a conjuntura de cada país e para a apropriação da contribuição social ser economicamente benéfica depende de diversos fatores, entre eles, segundo o Instituto E+ Transição Energética (2020):

- Disponibilidade de recursos renováveis e possibilidade de utilizá-los de forma eficiente;
- Capacidade de atrair grandes investimentos;
- Política pública de incentivos à indústria e infraestrutura,
- Estrutura regulatória para garantir os trâmites legais de transição justa;
- Apoio popular e níveis de investimento em pesquisa e desenvolvimento; e,
- Capacidade da população local de arcar com os custos das políticas de transição.

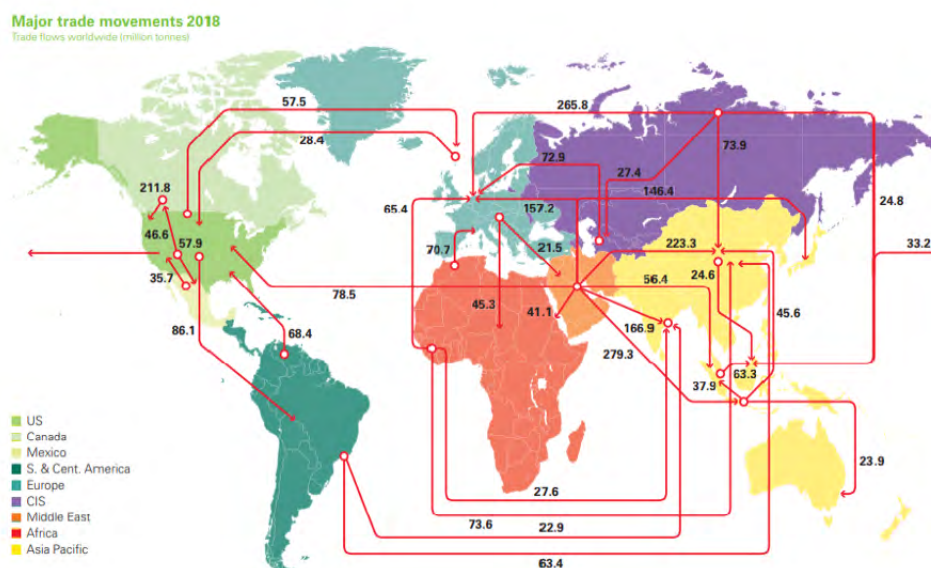
Apesar de cada país possuir obstáculos e objetivos específicos definidos por seus contextos particulares, o mundo globalizado impõe algumas características comuns à indústria energé-

tica e conecta o mercado global, de forma que as deliberações de cada país afetam os demais e produzem lideranças econômicas, frisando a narrativa da energia como *commodity*. Em função disso, as características das economias emergentes da Ásia, por exemplo, se destacam pela velocidade do desenvolvimento industrial, de modo que a demanda por carvão para energia térmica continue a crescer nos próximos anos, enquanto o uso de petróleo para o transporte de passageiros deve cair com o crescimento considerável da eletrificação no setor. Nesse cenário, o desafio principal da região é balancear o crescimento da demanda energética com as metas de desenvolvimento sustentável acordadas nos foros internacionais.

O mapa da Figura 10, elaborado pela *British Petroleum* (2019)⁴⁸, demonstra as principais rotas internacionais de comércio de petróleo, em 2018. Nota-se o comportamento da exportação do Oriente Médio, enquanto em sentido contrário no continente asiático, uma representação da interdependência global ligada ao setor energético.

48. BP Statistical Review of World Energy. British Petroleum, junho de 2019. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>>.

FIGURA 10: PRINCIPAIS ROTAS DE COMÉRCIO DE ÓLEO BRUTO



Fonte: BP, 2019.

O comportamento energético para o ano de 2021, no entanto, tem a probabilidade de destoar do registro histórico, dadas as consequências da pandemia. A partir das análises da IEA, que foram desenvolvidas no ano de 2020, é possível identificar que a demanda de energia global no primeiro trimestre de 2020 foi 3,8% menor que no mesmo período de 2019.

Essa redução pode ser atribuída às consequências da interrupção de atividades produtivas e comerciais, além da drástica redução nas rotas de transporte urbano. O principal setor atingido pela crise foi a indústria de carvão, que sofreu uma queda na demanda em quase 8%, em comparação a 2019. Dado o papel de maior consumidor de carvão atual assumido pela

China, faz sentido a correlação com o grande pico inicial da Covid-19, que reduziu drasticamente as atividades econômicas do país no primeiro trimestre.

No Cenário de Desenvolvimento Sustentável, que mostra como colocar o mundo no caminho para alcançar os objetivos de energia sustentável na íntegra, a implementação completa do Plano de Recuperação Sustentável da IEA move a economia global de energia para um caminho pós-crise diferente. Além do rápido crescimento das tecnologias de energia solar, eólica e de eficiência energética, os próximos dez anos veriam um grande aumento da captura, utilização e armazenamento de carbono e hidrogênio, e um novo impulso por trás da energia nuclear⁴⁹.

49. IEA, 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/news/world-energy-outlook-2020-shows-how-the-response-to-the-covid-crisis-can-reshape-the-future-of-energy>>.

As análises, em épocas de crise, reforçam a necessidade de estabelecimento de planejamento energético que assegure reações econômicas aos riscos do mercado. Essa estratégia de desenvolvimento será responsável por estabelecer os trilhos para a transição, baseados em especificidades regionais e políticas regulatórias e de investimento.

A avaliação dos países em relação ao progresso da transição pode ser observada de diversas maneiras e, em geral, considera as características específicas de cada um. O Fórum Econômico Mundial (WEF, sigla em inglês), por exemplo, desenvolveu um método de avaliação que considera o desempenho do setor energético nacional em atender as necessidades básicas da economia e da sociedade, além dos recursos energéticos disponíveis e do estado dos órgãos institucionais envolvidos na mudança

Nesse ranking, em 2019, o Brasil se classificou em 46º, de 115 países avaliados. Essa classificação pode ser explicada pela tentativa brasileira nos últimos anos de reduzir a dependência da matriz hidrelétrica, que apesar de renovável, é vulnerável aos fenômenos ambientais de estiagem, pondo em risco a segurança energética do país. No cenário nacional, a EPE associada ao Ministério de Minas e Energia (MME), sugeriu o estabelecimento de metas para impulsionar a transição energética e assim cumprir os compromissos com o clima definidos no Acordo de Paris,

com foco em 2030, mas que são dependentes do desenvolvimento econômico nacional, o qual vem se deteriorando nos últimos anos.

Já o cenário europeu ocupa uma situação quase oposta, marcada pela disponibilidade reduzida de recursos não-renováveis e alta demanda energética. Esses países buscam a saída para a segurança através do investimento em energia eólica e solar, disponíveis para a produção interna e sem maiores riscos como os expostos pela geração de energia nuclear, que acabou por influenciar a descontinuidade de investimento da fonte na matriz por diversos países, em especial a Alemanha. Com essa estratégia de planejamento, o quadro energético da União Europeia (UE) busca a estabilidade, uma vez que as energias renováveis ocupam uma posição competitiva na matriz energética, após os investimentos iniciais.

Um exemplo é o chamado *Energiewende*⁵⁰, programa alemão em destaque que dentre seus objetivos principais e estratégicos está a sustentabilidade do sistema energético através de investimentos em energias renováveis no país até o ano de 2050.

O programa alemão investiu na transição para um sistema energético sustentável que exige a expansão das energias renováveis, a eficiência energética e a ampla participação da sociedade. Assim, a partir de 1990, ocorreu a expansão da geração renovável da ordem de 980%, e

50. Federal Foreign Office. The energy transition around the world. Disponível em: <<https://www.auswaertiges-amt.de/en/aussenpolitik/themen/energie/-/248024>>.

uma redução de 32% nas emissões dos gases de efeito estufa no país. No mesmo período, a economia alemã cresceu 53%, ao passo que o consumo de energia primária diminuiu 13%⁵¹.

O Reino Unido, por exemplo, com diferentes características regionais, optou pelo aumento do uso de gás natural e usinas nucleares, e teve um resultado positivo com essa estratégia, e ainda aumento de 3% em 2000, para 33% em 2018, da participação de fontes renováveis na matriz energética, segundo os dados da BP (2019).

No continente asiático, além das considerações gerais já levantadas, cabe destacar a Malásia: país com melhor classificação no ranking do WEF, posicionado entre os TOP20 no quesito segurança energética. Esse resultado pode ser atribuído aos seus altos níveis de eletrificação, com energia elétrica proveniente de fontes sustentáveis, além da matriz energética diversificada.

Na análise energética dos Estados Unidos, nota-se uma queda na participação do carvão para geração de energia nacional, de 39% do total em 2014 para 19,3% em 2020 do total (EIA, 2021)⁵². Além do impulso dado para a transição pela crise econômica de 2008, o grande catalisador da mudança foi a maior exploração do *shale gas*, que substituiu, parcialmente, o carvão na matriz energética, aumentando a participação de gás de 24%, em 2016, para 40,3% em 2020.

Cabe destacar que não só nos EUA, mas na maioria dos países em desenvolvimento, o movimento de inclusão de fontes renováveis na matriz energética se deu a partir da crise de 2008. Na época, o presidente Barack Obama definiu o caminho a seguir: investir pesado em novas tecnologias, gerar empregos locais, descentralizar as fontes e reduzir a dependência energética, aumentar o uso eficiente de energia e aumento da participação das fontes renováveis. Além da crise financeira, existia a problemática do papel dos EUA na esfera ambiental global e a influência geopolítica e econômica regional de países produtores de petróleo como Irã e Venezuela (LUCON; GOLDEMBERG, 2009).

No contexto latino-americano, alguns países estão buscando na indústria de energia renovável e fontes de investimento externo, aproveitando a transição para desenvolver suas próprias economias e índices sociais, além de buscar independência energética.

O Brasil se destaca na utilização de biocombustíveis com 27% de etanol anidro na gasolina, utilização de etanol hidratado em substituição à gasolina e a mistura obrigatória de adição de biodiesel ao diesel atualmente em 10%. Na mesma estratégia energética, a participação de renováveis na geração de energia elétrica com hidroeletricidade, biomassa, eólica e solar permite ao país ter uma das matrizes de energia

51. AGORA. A Energiewende em resumo. Disponível em: <<https://www.agora-energiewende.de/pt/publicacoes/a-energiewende-em-resumo/>>.

52. EIA. What is U.S. electricity generation by energy source? Disponível em: <<https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3>>.

mais renováveis do mundo. As fontes renováveis representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável⁵³.

Dessa forma, o principal desafio do Brasil, diferentemente das NDCs de outros países, não é aumentar a renovabilidade da sua matriz energética, mas manter a alta proporção de energias renováveis, com maior inclusão das chamadas “novas renováveis” em um contexto de crescimento do consumo de energia até 2030⁵⁴.

Apesar dos bons resultados, o maior desafio da América Latina agora é a desigualdade entre os países do bloco, tanto social quanto de demanda energética. As vantagens logísticas nas regiões de fronteira devem ser exploradas para a interligação energética com outros países da América do Sul, obtendo uma maior diversificação no suprimento de gás natural e proporcionar maior segurança energética ao País, além de fortalecer os laços de desenvolvimento e investimento no continente, em uma relação benéfica aos países participantes dos acordos comerciais⁵⁵.

1.4 O IMPACTO DA PANDEMIA DO NOVO CORONAVÍRUS NO SETOR ENERGÉTICO

A pandemia da Covid-19, que surpreendeu o mercado global no início de 2020, causou impactos econômicos e políticos para além do que poderia ser previsto de uma crise sanitária. O setor energético, sobretudo o setor de transportes, sofreu impactos significativos causados pelo isolamento social, com queda nos níveis de mobilidade urbana e consequente queda no consumo de combustíveis, que afetou toda a cadeia produtiva.

De acordo com a EPE, o setor de transportes teve seu consumo decrescido em 5,5 milhões de tep, ou seja, uma redução de 6,4% em relação a 2019. Vale ressaltar que a maioria dos combustíveis sofreram reduções, destaque para a queda de 43,8% do querosene de aviação. A exceção deste cenário foi o biodiesel que cresceu 8,4%⁵⁶.

A queda da demanda fez com que os preços do barril de petróleo caíssem drasticamente e levantaram os mais diversos questionamentos sobre a estabilidade econômica dos mercados de combustíveis fósseis, trilhando um caminho ainda mais tendencioso à transição para fontes renováveis.

53. EPE, 2021. BEN 2021. Disponível: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>.

54. EPE, 2016. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>>.

55. EPE, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/estudos-do-pne-2050/02-relatorios-epe/08-consideracoes-sobre-a-participacao-do-gas-natural-na-matriz-energetica-no-longo-prazo.pdf/view>>.

56. EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>.

A IRENA enfatizou que as energias renováveis poderiam desempenhar um papel fundamental nas estratégias relacionadas à Covid-19, fornecendo eletricidade confiável, fácil de mobilizar e econômica para serviços essenciais. Assim, apontaram soluções e ações políticas em resposta ao Coronavírus, como:

- Revisão dos prazos para projetos de energia renovável que enfrentam obrigações contratuais para entrega a curto prazo;
- Designação do mercado de energia renovável e a infraestrutura relacionada como um setor crítico e essencial;
- Ampliação de políticas que promovam soluções de energia renovável, centralizadas e descentralizadas⁵⁷.

A pandemia de covid-19 ainda gerava incertezas em âmbito global no ano de 2021, mas o mercado de combustíveis apresentou recuperação em relação ao ano anterior. A análise da demanda total de derivados de petróleo, de janeiro a maio de 2021 com relação ao mesmo período de 2020, cresceu 7,5%. O consumo de energia elétrica também registrou aumento de 6,9%. No mesmo período o consumo de gás natural teve aumento 16,3%, influenciado por um aumento de 46% no uso para geração de energia elétrica⁵⁸.

O Boletim Mensal de Energia do mês de maio de 2021 sobre maio de 2020 (segundo mês mais afetado pela pandemia do COVID-19 após abril) apresenta expressiva recuperação: 12% no consumo de eletricidade, 37% na demanda total de gás natural, 22% no consumo de veículos leves do ciclo Otto, 19% no consumo de derivados de petróleo e a expressiva alta de 182% nas vendas de querosene de aviação⁵⁹. Na indústria, a produção de aço e as vendas de cimento tiveram alta, respectivamente, de 40% e 15%⁶⁰.

Nesse sentido, alguns governos aproveitaram a oportunidade para impor novas regras de descarbonização aos subsídios concedidos. Na Europa, principalmente, a ajuda de financiamento para recuperação do setor aéreo veio com imposições no uso de biocombustíveis avançados e formas de redução de emissões. Essas estratégias, além de incentivar a transição, estão prevendo a criação de empregos para a recuperação econômica da região. Como estimado pela IRENA (2020), cada milhão de dólares investido em combustíveis alternativos gera 25 empregos, enquanto cada milhão de dólares investido em eficiência energética é capaz de criar 10 novas vagas.

57. IRENA (2020).

58. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/demanda-de-energia-no-brasil-tem-forte-recuperacao-em-2021>>

59. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2021/portugues/05-boletim-mensal-de-energia-maio-2021/view>>.

60. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/demanda-de-energia-no-brasil-tem-forte-recuperacao-em-2021>>.

Apesar da recuperação no ano de 2021, a esperança é de que o setor de transportes só volte a operar na capacidade normal após o avanço das campanhas de vacinação mundiais e/ou controle da pandemia de COVID-19. Essa é uma doença infecciosa e quanto mais o vírus da COVID-19 circular, através da movimentação das pessoas, mais oportunidades terá de sofrer mutações. O ano de 2021 contava com a circulação das variantes: Alfa, Beta, Gama e Delta. Em novembro de 2021 foi anunciada pela OMS o surgimento da variante Omicron que apresenta um grande número de mutações, trazendo incertezas para todo o globo⁶¹.

Dessa forma, uma estratégia para alcançar esse objetivo é definir um planejamento energético que envolva a descentralização e diversificação das fontes de energia, além da digitalização dos processos, de forma a acompanhar a revolução tecnológica.

O Fórum Econômico Mundial (FEM), anterior ao surgimento da COVID-19, já apontava os principais passos para impulsionar o setor⁶²:

- Investimento em pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos;
- Capacitação dos setores produtivos, envolvendo a transformação de processos produtivos analógicos para digitais, e utilização de

bases de dados para monitorar avanços e propor novas estratégias;

- Aumento da eficiência energética dos combustíveis e veículos já estabelecidos no mercado;
- Desenvolvimento de estratégias para reduzir os custos das novas tecnologias, de forma que sejam competitivas no mercado; e,
- Investimento em infraestrutura e ferramentas que possibilitem e incentivem o desenvolvimento social no setor.

A IEA advertiu no relatório *Net Zero by 2050*⁶³ que para cumprir o Acordo de Paris, nenhum governo do mundo deveria autorizar esforços exploratórios no setor de hidrocarbonetos. Vale destacar também, a pressão que vem sendo exercida sobre as maiores petroleiras do setor, como Chevron, ExxonMobil e Shell para reduzirem as emissões de dióxido de carbono⁶⁴.

Em junho de 2021, um tribunal da Holanda decidiu que a Royal Dutch Shell deveria reduzir as emissões quase pela metade até 2030, não apenas de suas próprias operações, mas também do uso de petróleo e gás produzido por consumidores e empresas.⁶⁵ No mesmo mês, a direção da ExxonMobil, a maior petroleira dos Estados Unidos, foi obrigada a aceitar que dois de seus doze membros do Conselho de Administração sejam propostos por um minoritário fundo de

61. OPAS (2021). Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19>>.

62. WEF (2018).

63. IEA (2021). Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>>.

64. EL PAÍS (2021). Disponível em: <<https://brasil.elpais.com/brasil/2021-05-30/ativistas-do-clima-e-investidores-colocam-as-petroleiras-mais-poderosas-do-mundo-contras-as-cordas.html>>.

65. BBC (2021). Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-europe-57257982>>.

investimentos cuja ação se concentra na luta contra a mudança climática. De tal modo, a petrolífera tem realizado marketing enfatizando a necessidade de energia como universal e que estão comprometidos em atender com responsabilidade às necessidades de energia do mundo. Além disso, ressaltam que os cientistas e engenheiros da ExxonMobil são pioneiros em novas pesquisas e buscam novas tecnologias para reduzir as emissões e, ao mesmo tempo, criar combustíveis mais eficientes⁶⁶.

A não exploração das reservas de petróleo e gás é um dos pedidos dos ativistas contra a mudança climática a fim de que o aquecimento global permaneça dentro dos limites controláveis. É vital que a indústria petrolífera global alinhe sua produção com as metas do Acordo de Paris, mas isso deve ser feito em sintonia com a política, mudanças no lado da demanda e a reconstrução do sistema de energia mundial. Vale ressaltar que existe uma corrida tecnológica com diversas rotas e alternativas para a transição energética em prol de medidas e soluções capazes de reestruturar o setor energético. As indústrias tradicionais, eventualmente, estão sendo substituídas e/ou coexistindo com as indústrias emergentes, devido à busca de novas perspectivas e mudanças no setor.

No relatório *Road Map to Net-Zero by 2050*, a IEA informou que, apesar das muitas promessas e esforços dos governos para combater as

causas do aquecimento global, as emissões de CO₂ da energia e da indústria aumentaram 60% desde que a UNFCCC foi assinada em 1992. Os compromissos e ações globais estão crescendo, mas ainda estão muito aquém do que é necessário para limitar o aumento das temperaturas globais a 1,5°C⁶⁷.

A importância do referido relatório deve-se ao fato de ser o primeiro estudo abrangente do mundo sobre como fazer a transição para um sistema de energia com emissões líquidas zero até 2050, garantindo suprimentos de energia estáveis e acessíveis, fornecendo acesso universal à energia e permitindo um crescimento econômico robusto. Ele fornece um caminho para alcançar essa meta formidável e crítica, estabelecendo mais de 400 marcos para o que precisa ser feito e até quando, para descarbonizar a economia global em apenas três décadas.

Além disso, no relatório é estabelecido um caminho economicamente produtivo, resultando em uma economia de energia limpa, dinâmica e resilientes dominada por fontes renováveis como a solar e eólica, em vez de combustíveis fósseis. Ele também examina as principais incertezas, como os papéis da bioenergia, captura de carbono e mudanças comportamentais para chegar a emissões líquidas zero em 2050.

Relacionado ao setor de transportes, os dados do relatório apontam a emissão de 7 Gt CO₂ em

66. EXXON, 2021. <<https://corporate.exxonmobil.com/>>.

67. IEA, 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>>.

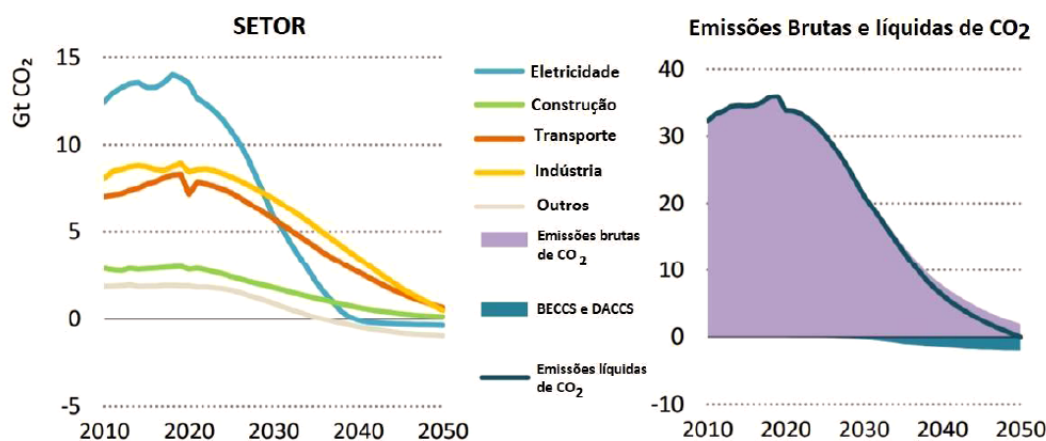
2020, e quase 8,5 Gt em 2019, antes da pandemia da Covid-19, relacionada às emissões diretas de combustível fóssil queimado durante a operação de veículos. No *Net-Zero Emissions Scenario* (NZE)⁶⁸ até 2050, as emissões de CO₂ do setor de transporte serão ligeiramente superiores a 5,5 Gt em 2030. Em 2050, será cerca de 0,7 uma queda considerável de 90% em relação aos níveis de 2020.

Vale ressaltar que o declínio das emissões ocorre mesmo com o aumento das viagens de passageiros, que quase irão dobrar em 2050, aumento da atividade de frete, que aumentarão duas vezes e meia em relação aos níveis atuais, e um aumento na frota global de automóveis de

passeio, de 1,2 bilhão de veículos em 2020 para cerca de dois bilhões em 2050 (Figura 11).

De acordo com o relatório do IPCC, divulgado em agosto de 2021, as mudanças recentes no clima são generalizadas, rápidas, intensificadas e sem precedentes, não existindo registros de temperaturas tão elevadas no planeta em pelo menos 6.500 anos. Para evitar um colapso climático e ambiental global são necessárias reduções imediatas, rápidas e em grande escala nas emissões de GEE a fim de limitar o aquecimento, pois este é a maior ameaça da humanidade e as ações realizadas agora podem levar até 30 anos para estabilizar as temperaturas.

FIGURA 11 - EMISSÕES GLOBAIS LÍQUIDAS DE CO₂ POR SETOR, E BRUTAS E EMISSÕES LÍQUIDAS DE CO₂ NO NZE



NOTA: Outros = Agricultura, produção de combustível, transformação e emissões de processos relacionados a captura de ar; BECCS = bioenergia com captura e armazenamento de carbono; DACCS = captura direta de ar com captura de carbono e armazenamento. BECCS e DACCS incluem emissões capturadas e armazenadas permanentemente.

Fonte: Road Map Net Zero 2050 (IEA), 2021.

68. Cenário de emissões líquidas zero by 2050

2

CAPÍTULO

O que é uma Transição Energética Justa, Progressiva e Realizável para as Nações em Desenvolvimento?

A primeira parte desse trabalho mostrou o que é a transição energética. Esse segundo capítulo abordará como essa transição pode ocorrer de maneira justa e progressiva em todas as nações, em especial as consideradas em desenvolvimento.

O objetivo de uma transição energética justa é conciliar a transição para uma nova matriz energética da maneira mais leal possível para com a sociedade. Dessa forma, visando reduzir ou até mesmo prevenir que consequências negativas ocorram, uma transição energética justa e planejada se faz necessária.

O discurso de transição justa começou a ser associado a trabalho e meio ambiente nas décadas de 1970 e 1980, fruto da luta dos sindicatos norte-americanos pelos trabalhadores que perderam seus empregos como resultado de políticas de proteção ambiental da época. Ao longo dos anos, o termo começou a receber mais atenção

e ganhou proporções globais na Conferência Rio+20, em 2012, quando foi relacionado com a agenda de desenvolvimento sustentável (HIRSCH; MATTHESS; FÜNFELT, 2017).

Mais recentemente, foi ancorado no preâmbulo do Acordo de Paris de modo a assegurar os interesses e direitos dos trabalhadores e de suas comunidades, que sofrem consequências negativas durante o processo de transformação de uma matriz energética de intensa emissão de gases do efeito estufa para uma de baixo carbono.

Devido à mudança rápida e sem precedentes que o mundo atravessa, fruto da globalização e de um grande desenvolvimento tecnocientífico, muitos desafios surgem e precisam ser resolvidos durante o processo. Quando se estuda o caso de países em desenvolvimento, o contexto é ainda mais desafiador, sendo necessário maior enfoque para o discurso de transição justa em

conjunto com a transição energética que ocorre em países como China, México e Índia, sem mencionar o evidente atraso tecnológico existente na comparação com países de industrialização precoce, em especial os europeus e os Estados Unidos.

Tal discurso pode ser baseado em algumas premissas, como é o caso de prover acesso à energia para todos: analisando o cenário mundial ainda se nota uma significativa parcela da população que não possui acesso à eletricidade, e um número ainda maior que não tem um fornecimento estável, sendo essa população pertencente, principalmente, a países em desenvolvimento, uma relação direta com a situação de pobreza que algumas nações vivem (*Ibidem*, 2017).

Além disso, a energia que deve ser provida para todos precisa ser produzida de maneira sustentável e que não agrida o meio ambiente, como

é o caso do uso de fontes renováveis, visando um futuro com metas de zero emissão líquida de carbono. Isso entra em contraste com muitos países que possuem grandes reservas de petróleo e têm suas economias dependentes das receitas baseadas em combustíveis fósseis, uma vez que a transição resultaria em perdas econômicas para essas nações, principalmente no processo de reestruturação industrial e econômica. Esse processo poderia resultar em consequências negativas para os trabalhadores de várias cadeias produtivas, afetando mais uma premissa do processo de transição justa a ser considerada: a busca por soluções para essa força de trabalho afetada (*Ibidem*, 2017).

Além da base que uma transição justa representa, cabe destacar alguns princípios que se dividem em diferentes núcleos. A figura 12 apresenta tópicos chaves divididos em três dimensões, que precisam ser cumpridos para que uma transição energética justa ocorra.

FIGURA 12: AÇÕES NECESSÁRIAS PARA UMA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA



Fonte: HIRSCH, MATTHESS, FÜNFELT, 2017.

Dessa forma, uma transição energética justa só se faz possível quando são alcançados objetivos em três dimensões: respeito ambiental, socioeconômico e político. Além disso, levar em consideração o contexto dos países é peça essencial. Por exemplo, regiões como o Reino Unido caminham para uma fase final de recursos petrolíferos, enquanto nações como a Guiana estão em fase inicial. Dessa forma, o histórico do Reino Unido com grande participação desde as revoluções industriais, resultando em hoje ser uma região altamente industrializada e desenvolvida, teve como lado negativo uma imensa contribuição para os efeitos climáticos.

Por outro lado, a vertente socioeconômica presente dentro de uma transição justa deve ser realizada baseada em alguns tópicos dentro de cada nação, como o fornecimento de empregos e suporte aos desempregados por causa da transição energética, e dentro desse grupo é fundamental a capacitação em novas habilidades que serão úteis dentro da nova matriz.

Por sua vez, princípios ambientais se mostram importantes no processo de transição, como metas climáticas para atender à estratégia de um modelo de neutralidade de emissão de

gases do efeito estufa até 2050 e a transição da matriz energética para um modelo de baixo carbono, capazes de limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C ou a não mais do que 2°C.

Em um contexto geral, uma transição justa se baseia na política de garantir condições estratégicas necessárias para um processo eficiente e em prol da população, tendo como base o respeito aos direitos humanos, o acesso à energia e a uma condição de vida digna. Outra base está relacionada diretamente ao princípio da boa governança, alicerçada na transparência, cuja ausência ou desempenho precário se dá em muitos países em desenvolvimento.

Mesmo com a base teórica bem estabelecida, uma transição energética justa não irá ocorrer espontaneamente no curto prazo. A fim de acelerar o processo e estruturá-lo para que ocorra de uma maneira organizada e que respeite os seus princípios, faz-se necessário um planejamento energético⁶⁹ integrado, ou seja, é preciso projetar as necessidades energéticas futuras de cada país e planejar como será possível atendê-las, desde a geração de energia necessária até sua transmissão e distribuição para todos.

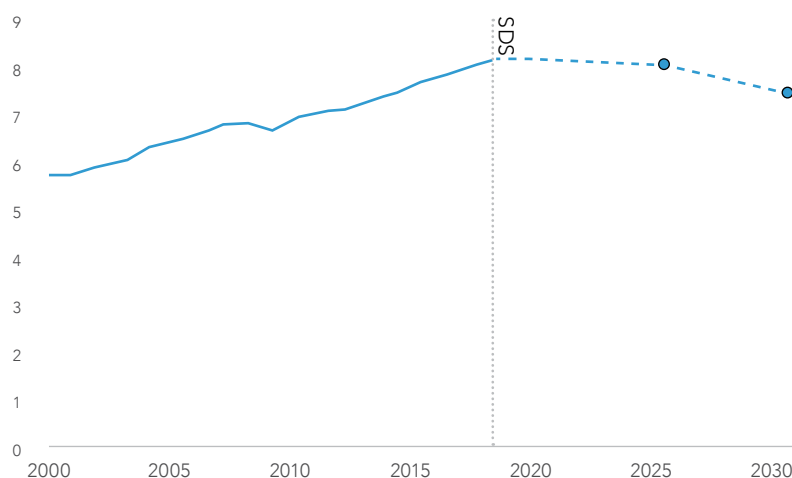
69. EPE. Planejamento Energético e a EPE. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/planejamento-energetico-e-a-epe>>.

2.1 AVALIANDO A VIABILIDADE E TEMPO PARA A ELETRIFICAÇÃO

Atualmente, o setor de transporte passa por um processo de transição visando alcançar um modelo de baixa emissão, que tem como um de seus principais pilares o aumento do uso de combustíveis gerados através de fontes renováveis.

A figura 13, da IEA, aborda as emissões diretas de CO₂ em escala global com dados até o ano de 2018, além de trazer uma perspectiva de emissões dentro dos próximos anos com base no cenário de desenvolvimento sustentável.

FIGURA 13: EMISSÕES DIRETAS DE CO₂ DO SETOR DOS TRANSPORTES NO CENÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ESTABELECIDO PELA IEA



Fonte: IEA, Transport sector direct CO₂ emissions in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030, IEA, Paris
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/transport-sector-direct-co2-emissions-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030>

Para que a curva tracejada de fato se torne realidade no curto prazo, se faz necessária uma mudança dentro do setor dos transportes, onde uma das principais soluções para esse processo está na eletrificação (RISSMAN, 2019). Sabe-se, de antemão, que medidas em direção à transição vão muito além da eletrificação das frotas, mas esse é um bom ponto de partida, literalmente. Nesse sentido, é importante que a transi-

ção baseada na eletrificação ocorra combinada com o uso de energia elétrica renovável, ou seja, que o aumento da frota de veículos elétricos ocorra junto com o aumento da produção de energia elétrica oriunda de fontes renováveis, como a energia solar e a eólica.

Assim, para que o cenário de desenvolvimento sustentável previsto seja uma realidade nos próxi-

mos anos, conduzindo a uma queda na emissão de CO₂ pelo setor, são necessários esforços na transição energética dentro de todos os modais.

Embora o transporte rodoviário – que inclui carros, caminhões, ônibus e veículos de duas e três rodas – seja responsável por uma parcela de cerca de 75% das emissões de CO₂, outros modais, como o hidroviário e o aeroviário, considerados como de difícil redução nas emissões, devido às problemáticas relacionadas à limitação da autonomia caso usem a eletricidade como fonte de energia (ENERGY TRANSITIONS COMMISSION, 2018), estão aumentando a sua parcela na emissão de dióxido de carbono. Há questões específicas de cada modal de transporte que serão abordadas nas seções subsequentes.

Além disso, fatores como o aumento da eficiência energética de veículos elétricos quando comparados a veículos de combustão interna e a diminuição da poluição do ar, pelo fato de não haver emissão no escapamento⁷⁰, fizeram com que a eletrificação ocupasse um lugar de destaque no cenário global dos transportes nos últimos anos.

Apesar da transição para a mobilidade elétrica ainda estar em fase inicial em muitos países, os benefícios que a eletrificação traz consigo levaram os principais mercados mundiais a expandir consideravelmente as suas frotas de veículos

elétricos, em especial no uso de veículos elétricos rodoviários leves para transporte de passageiros ao longo dos últimos 10 anos (IEA, 2020).

2.1.1 Perspectiva Global: o progresso da eletrificação do setor dos transportes no mundo

O primeiro veículo elétrico surgiu no século XIX, dentro do contexto da Revolução Industrial, motivado pela necessidade de locomoção, principalmente nos meios urbanos.

A partir da década de 1970, movido pela crise mundial de petróleo e pelo debate de questões ambientais relacionadas aos danos causados pelo aumento exponencial do uso de automóveis no mundo, os veículos elétricos voltaram a ganhar destaque, tanto no cenário mundial, quanto no brasileiro, principalmente na sua utilização dentro do transporte público nacional, como foi o caso do transporte ferroviário.

A virada para o século XXI trouxe uma nova era para a mobilidade elétrica no mundo (FGV ENERGIA, 2017)⁷¹, um apelo cada vez maior pelo uso de veículos não poluentes, o desenvolvimento de novas tecnologias e inovações dentro das empresas produtoras de automóveis elétricos em conjunto com novos casos de instabilidades no preço e oferta de petróleo, levaram a um progresso considerável dos veículos elétricos.

70. U.S Department of Energy. Disponível em: <<https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources>>.

71. Ver 'Timeline da mobilidade elétrica no mundo' em FGV ENERGIA (2017). Caderno de Carros Elétricos. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-carros-eletricos>>

Quando se observa o contexto atual, fica evidente o progresso recente da eletrificação dentro do setor rodoviário, em especial quando o foco do estudo se volta para o uso de veículos elétricos rodoviários leves para transporte de passageiros (ou carros elétricos), podendo-se destacar sua linha de crescimento dentro do mercado.

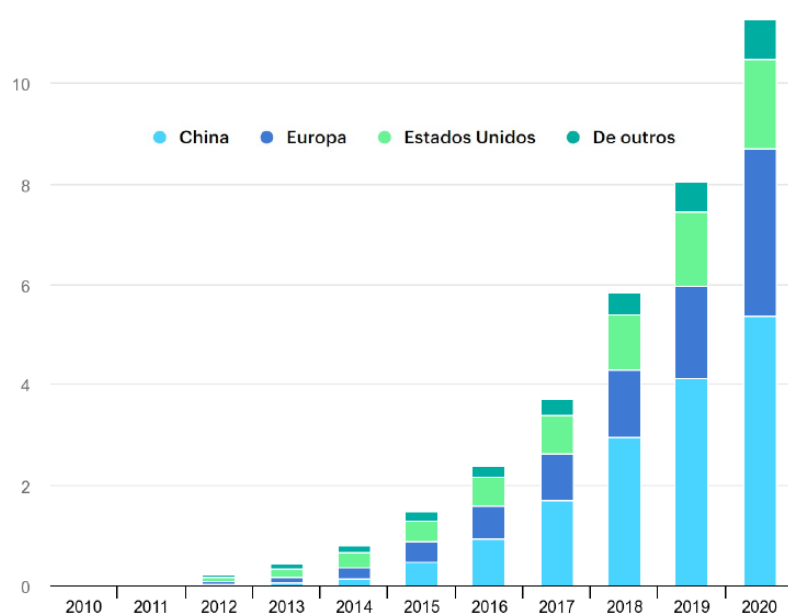
A última década ficou marcada pelo aumento exponencial da frota de carros elétricos ao redor do mundo, guiado por uma série de políticas de suporte para a transição do setor, principalmente em alguns países que se mostraram potências mundiais como China, Estados Unidos e alguns países europeus.

A figura 14 apresenta o estoque mundial de carros elétricos entre 2013 e 2020, apresentando

em blocos os estoques separados por regiões do mundo. A partir de 2013, a participação de carros elétricos na frota global de carros atingiu pela primeira vez na década a marca de 0,1%, um número que embora seja inexpressivo em termos de porcentagem geral, significa a consequência do foco que a eletrificação vem ganhando nesse modal.

No ano de 2020 o estoque global de carros elétricos atingiu a marca de 10 milhões, um aumento de 43% em relação a 2019 e representando uma participação de 1%. Os veículos elétricos a bateria (BEVs) representaram dois terços dos novos registros de carros elétricos e dois terços do estoque em 2020. A China, com 4,5 milhões de carros elétricos, tem a maior frota, embora em 2020 a Europa tenha o maior aumento anual a atingir 3,2 milhões.

FIGURA 14: ESTOQUE DE CARROS ELÉTRICOS POR REGIÃO, 2010-2020



Fonte: Adaptado de IEA, Electric car stock by region and technology, 2013-2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-vehicle-stock-by-region-2010-2020>>.

A pandemia de Covid-19 devido às repercussões econômicas afetou significativamente o mercado global para todos os tipos de carros. Na primeira parte de 2020, os registros de carros novos caíram cerca de um terço em relação ao ano anterior. Isso foi parcialmente compensado por uma atividade mais forte no segundo semestre, resultando em uma queda de 16% em relação ao ano anterior. Notavelmente, com os registros de carros novos convencionais e gerais caindo, a participação global nas vendas de carros elétricos no ano de 2020 aumentou 70% para um recorde de 4,6%.

Em 2020, cerca de 3 milhões de novos carros elétricos foram registrados. Pela primeira vez, a Europa liderou com 1,4 milhão de novos registros, a China seguiu com 1,2 milhão de registros e os Estados Unidos registraram 295.000 novos carros elétricos. Apesar do aumento notável do estoque, fica evidente que grandes estoques estão concentrados em poucos países.

O aumento dos registros de carros elétricos em 2020 ocorreu devido a inúmeros fatores. Notavelmente, os carros elétricos estão gradualmente se tornando mais competitivos em alguns países com base no custo total de propriedade. Além disso, vários governos forneceram ou estenderam incentivos fiscais que protegem as compras de carros elétricos da desaceleração nos mercados de automóveis⁷².

A figura 15 apresenta os registros globais de carros elétricos e participação de mercado. A China teve o mercado geral de automóveis menos impactado pela pandemia do que em outras regiões. O total de registros de carros novos caiu cerca de 9%.

O registro de novos carros elétricos foi menor do que o mercado geral de carros no primeiro semestre de 2020. Mas essa tendência se inverteu no segundo semestre, pois a China limitou a pandemia. O resultado foi uma participação de vendas de 5,7%, acima dos 4,8% em 2019. Os BEVs foram cerca de 80% dos carros elétricos novos registrado⁷³.

Nos EUA o mercado de automóveis caiu 23% em 2020, embora os registros de carros elétricos tenham caído menos do que o mercado geral. Em 2020, foram registrados 295.000 novos carros elétricos, dos quais cerca de 78% eram BEVs, abaixo dos 327.000 em 2019. A participação nas vendas subiu para 2%. Os incentivos federais diminuíram em 2020 devido aos créditos fiscais federais para Tesla e General Motors, que respondem pela maioria dos registros de carros elétricos.

Na Europa o mercado de automóveis contraiu 22% em 2020. No entanto, os novos registros de carros elétricos mais que dobraram para 1,4 milhão, representando uma participação

72. IEA (2021). Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>>.

73. IEA (2021). Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets>>.

de vendas de 10%. Nos grandes mercados, a Alemanha registou 395.000 novos carros elétricos e a França registou 185.000. O Reino Unido mais do que duplicou para atingir 176.000. Os carros elétricos na Noruega atingiram uma quota de vendas recorde de 75%, cerca de um terço em 2019. As participações de vendas de carros elétricos ultrapassaram 50% na Islândia, 30% na Suécia e atingiram 25% na Holanda.

Esse aumento nos registros de carros elétricos na Europa, apesar da queda econômica, reflete duas medidas políticas. O ano de 2020 foi o ano-alvo para os padrões de emissões de CO₂ da União Europeia que limitam as emissões médias de dióxido de carbono (CO₂) por quilômetro rodado para carros novos. Em segundo lugar, muitos governos europeus aumentaram os esquemas de subsídios para VEs como parte de pacotes de estímulo para combater os efeitos da pandemia.

Os registros de BEVs nos países europeus, representaram 54% dos registros de carros elétricos em 2020, continuando a superar os de veículos elétricos híbridos plug-in (PHEVs). No entanto, o nível de registro de BEV dobrou em relação ao ano anterior, enquanto o nível de PHEV triplicou. A participação dos BEVs foi particularmente alta na Holanda (82% de todos os registros de carros

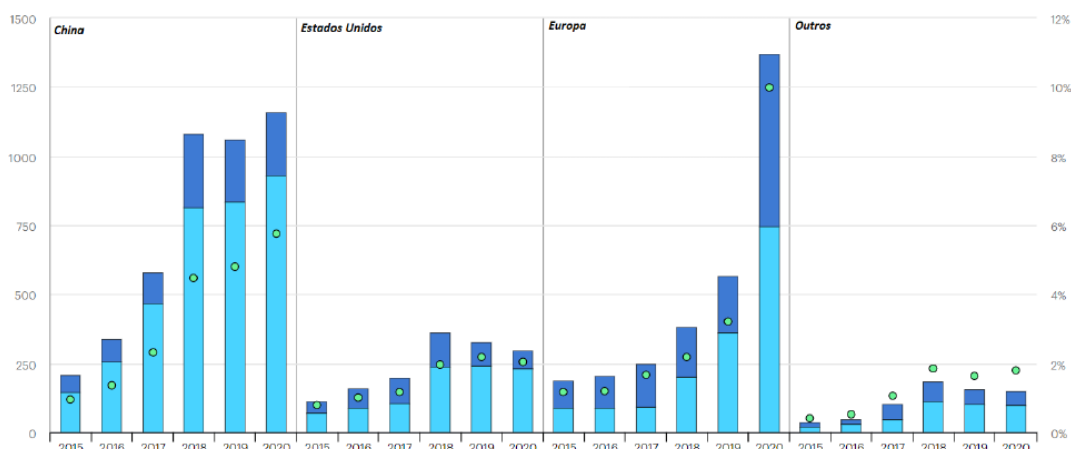
elétricos), Noruega (73%), Reino Unido (62%) e França (60%).

Já em alguns países o mercado de carros elétricos em outros países foram resilientes em 2020. No Canadá, por exemplo, o mercado de carros novos encolheu 21%, enquanto os novos registros de carros elétricos permaneceram praticamente inalterados em relação ao ano anterior, com 51.000.

Como exemplo de exceções estão a Nova Zelândia e o Japão. A Nova Zelândia apesar de sua forte resposta à pandemia, registrou um declínio de 22% nos registros de carros elétricos novos em 2020, em linha com uma queda de 21% no mercado de automóveis. O declínio parece estar amplamente relacionado a registros de EV excepcionalmente baixos em abril de 2020, quando a Nova Zelândia estava em confinamento.

No Japão o mercado geral de carros novos contraiu 11% em relação ao nível de 2019, enquanto os registros de carros elétricos caíram 25% em 2020. O mercado de carros elétricos no Japão caiu em termos absolutos e relativos a cada ano desde 2017, quando atingiu o pico de 54 000 registros e uma quota de vendas de 1%. Em 2020, foram 29 mil matrículas e 0,6% de participação nas vendas.

FIGURA 15: REGISTROS GLOBAIS DE CARROS ELÉTRICOS E PARTICIPAÇÃO DE MERCADO, 2015-2020



Fonte: Adaptado de IEA.

De acordo com a Comissão Econômica da ONU para a Europa (Unece) a venda de veículos elétricos está em alta na China, na América do Norte e na Europa, sendo que 3 milhões de unidades foram compradas em 2020, representando 4,6% do total de transações do mercado automotivo.

Como citado anteriormente, as vendas de carros elétricos no continente europeu já representam 10% da fatia de mercado, e as previsões da Agência Internacional de Energia apontam que esta porcentagem poderá subir para 19% até 2025.

Durante a COP26 foi firmado um acordo para acabar com a venda de veículos movidos a combustíveis fósseis até 2040 como incentivo para redução dos GEE's entre outros fatores.

Entre os países do acordo estão: Reino Unido, Canadá e Nova Zelândia. E, as seguintes fabricantes de carros: Ford, Mercedes e Volvo⁷⁴.

Por sua vez, a frota de veículos elétricos para transporte comercial (LCV, em inglês *light-commercial vehicles*) atingiu a marca de quase 0,4 milhão de unidades. O mercado desse tipo de veículo é bem menor quando comparado ao de veículos leves para transporte de passageiros e ainda menor quando o foco do estudo são os veículos elétricos. Sem mencionar que esse mercado ainda se encontra em um estágio limitado de participação na frota mundial, pois mais de 95% das unidades estão centradas na China e na Europa⁷⁵. Esses números expõem a mesma problemática dos veículos elétricos leves

74. ONU NEWS (2021). Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1770352>>.

75. *Ibid.*

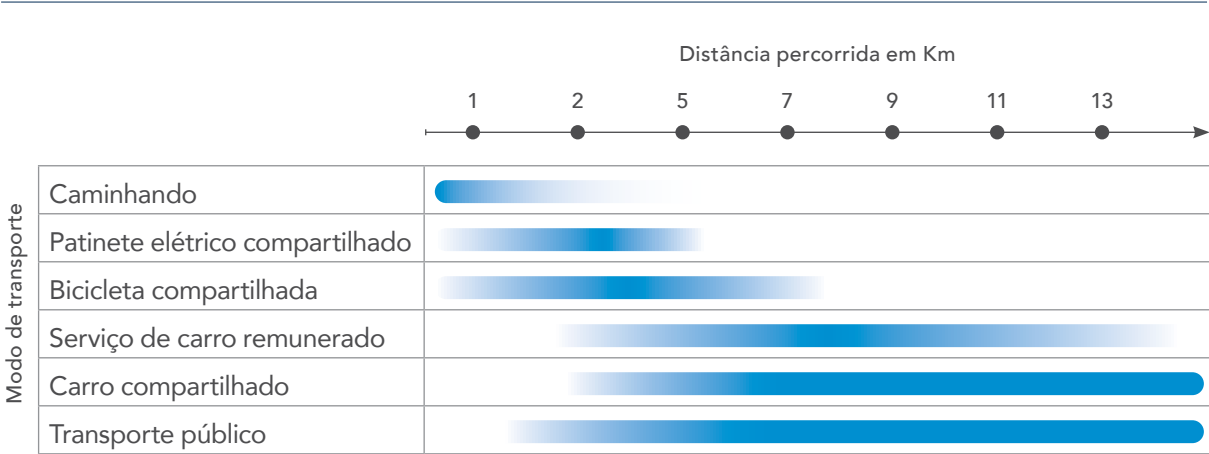
de transporte de passageiros, onde a presença em países em desenvolvimento ainda não é uma realidade, com exceção da China.

A Índia, por sua vez, está buscando aumentar a frota visto que cerca de 20% de suas emissões de dióxido de carbono são causadas por veículos motorizados de duas rodas⁷⁶. Por outro lado, em alguns países da

Europa já existem esquemas de aluguel compartilhado de veículos elétricos, em especial o mercado de patinetes elétricos que mostram enorme potencial dentro da micromobilidade⁷⁷.

A figura 16 ilustra o intervalo de distância em que cada meio de transporte abordado se mostra mais eficiente e útil para realizar a locomoção.

FIGURA 16: MELHOR INTERVALO DE DISTÂNCIA DE CADA MODAL PARA TRAJETOS CURTOS



Fonte: Adaptado de BCG, disponível em: <<https://www.bcg.com/publications/2019/promise-pitfalls-e-scooter-sharing>>.

Desde 2017, o uso dos serviços de micromobilidade elétrica como patinetes e bicicletas elétricas tem ganhado grandes proporções, estando disponível em mais de 600 cidades e em torno de 50 países⁷⁸. Dentre esses meios, o uso de patinetes elétricos representa a maior parte da frota mundial desses veículos e viagens.

Apesar da micromobilidade ainda significar uma pequena parte das viagens de um ponto de vista global, o uso desse tipo de transporte compartilhado se mostra como uma alternativa mais acessível nos grandes centros urbanos, embora as cidades enfrentem alguns desafios para a implementação em larga escala, como é o caso

76. Ibid.

77. Palavra definida pelo empresário Horace Dediu como “uma categoria de veículos para as cidades que devem pesar menos de 500 kg, possuírem motor elétrico e ser utilizado como propósito de transporte, em especial para curtas distâncias”

78. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>

da falta de regulamentos para o uso desse tipo de transporte (GITHIRU, 2018).

Além dessas alterações, há também maior conscientização das nações quanto à necessidade do uso de combustíveis “limpos” em veículos pesados. Para que essa previsão baseada no cenário desenvolvimento sustentável desenvolvido pela IEA seja alcançada nos próximos anos, a transição de veículos com motores de combustão interna para motores elétricos precisa ser levada a um próximo nível por mais países. No contexto das grandes cidades, a transição para a eletrificação seria um diferencial no processo para um futuro carbono-neutro entre os veículos pesados.

No caso dos caminhões comerciais, houve um início de eletrificação da frota, centrado mais uma vez na China. Baseado em vantagens e subsídios governamentais, em conjunto com melhorias tecnológicas e redução de custos, a China impulsionou a eletrificação de caminhões no seu

território continuando o seu pioneirismo na introdução desse tipo de veículo na sua frota, apesar de atualmente ainda representar uma parcela muito pequena da quantidade total de caminhões do país⁷⁹. Entretanto, a Europa demonstrou expressivo crescimento recentemente, com foco para a Alemanha, que representou 80% dos novos veículos na região em 2019⁸⁰.

A eletrificação da frota de caminhões comerciais possui externalidades positivas, como uma vida útil consideravelmente grande, onde o seu principal custo associado é a quantidade de combustível consumida. A transição para o uso de eletricidade teria como consequência uma redução de custos, tendo em vista que a eletricidade tende a ter preços mais acessíveis do que o diesel quando considerada a conversão dos potenciais caloríficos dos diferentes energéticos. A tabela 2 apresenta uma comparação entre óleo diesel e energia elétrica no que diz respeito aos preços no Brasil.

TABELA 2: COMPARAÇÃO DE PREÇOS ENTRE ÓLEO DIESEL E ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Combustível	Unidade	Fator de Conversão*	Preço no Brasil**
Óleo Diesel	1 litro	1,08	R\$ 4,545 ⁸¹
Energia elétrica	10 kWh	0,915	R\$ 0,949 ⁸²

*Basta multiplicar a quantidade de unidade de medida do combustível em análise pelo fator de conversão para obter a quantidade equivalente em m³ de gás natural. ** Preços médios no Brasil em julho de 2021.

Fonte: CEGAS, disponível em: <<https://www.egas.com.br/gas-natural/equivalencia-energetica/>>.

79. *Ibid.*

80. *Ibid.*

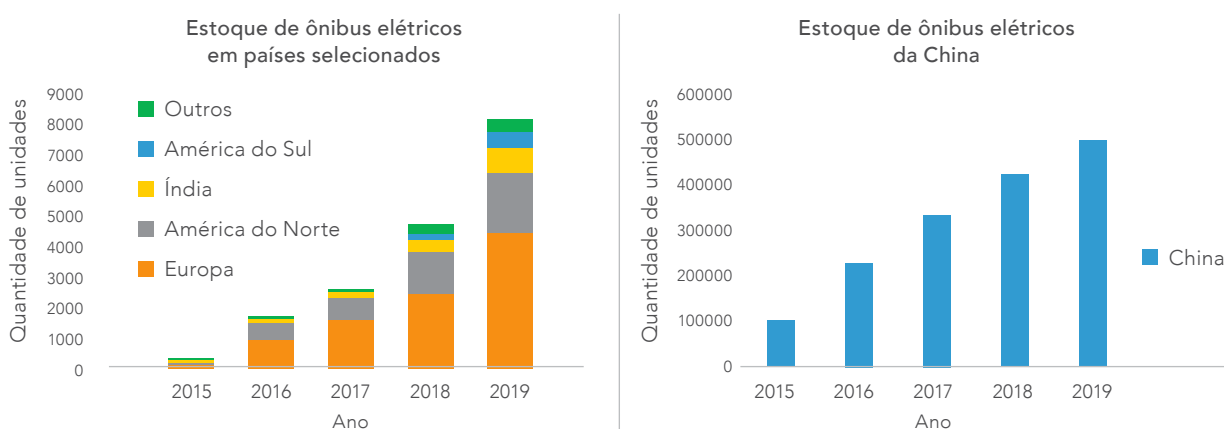
81. G1 (2021). Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/12/precos-da-gasolina-e-do-diesel-sobem-nos-postos-mostra-levantamento-da-anp.ghtml>>.

82. ANEEL (2021). Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/web/guest/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/22368525>.

Vale mencionar que a eficiência dos caminhões elétricos é maior do que a dos caminhões movidos a diesel. Em outras palavras, enquanto modelos de caminhões a diesel consomem cerca de um litro a cada dois km⁸³, alguns caminhões elétricos consomem apenas um Kilowatt-hora (Kwh) a cada um km⁸⁴, tendo uma economia ainda maior. Entretanto, algumas barreiras e dificuldades ainda precisam ser ultrapassadas para o uso em massa de caminhões elétricos, sendo a principal delas a limitação de autonomia e os altos preços desses veículos (PANAYI, 2019).

Em um estágio de desenvolvimento mais avançado, o uso dos ônibus elétricos está se tornando uma nova realidade dentro do transporte público de diversas cidades ao redor do mundo. A figura 16 apresenta o estoque de ônibus elétricos em cada ano, desde 2015 até 2019, no primeiro gráfico está exposto o estoque mundial, com exceção da China, onde cada bloco representa um continente/país, já no segundo gráfico está exposto o estoque somente na China.

FIGURA 16: ESTOQUE DE ÔNIBUS ELÉTRICO POR REGIÃO



Fonte: Adaptado de IEA

Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/new-electric-bus-registrations-by-country-region-2015-2019>>e<<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/new-electric-bus-registrations-in-china-2015-2019>>.

83. Revista Carga Pesada (2020) Disponível em:< <https://cargapesada.com.br/2020/05/20/novo-actros-faz-209-km-por-litro-de-diesel/>>.

84. Automotive Business (2021) Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/qualidade/motor/ambev-vai-converter-mais-de-100-caminhoes-a-diesel-em-eletricos-100321>>.

A partir da figura 16, pode-se perceber que o estoque global de ônibus elétricos está concentrado quase inteiramente na China, que contém em torno de 98% das 513 mil unidades em circulação no mundo⁸⁵. Já a Europa mostrou a maior taxa de crescimento do estoque em 2019 quando comparado ao ano anterior, onde mais que dobrou o número de veículos registrados. Vale ressaltar que a participação de países em desenvolvimento na implementação do uso de ônibus elétricos no transporte público também está aumentando, a exemplo da Índia, com base no programa FAME II⁸⁶, o México, dando os primeiros passos (YUTONG, 2019), e países da América do Sul, em especial o Chile, que se mantém como a maior frota da região com cerca de 400 unidades em circulação⁸⁷.

Apesar dos modais apresentados anteriormente representarem grande parte da parcela de emissões de dióxido de carbono do setor dos transportes, outros meios de locomoção também ocupam uma porcentagem significativa dessas emissões na atmosfera. O transporte hidroviário, por exemplo, é um importante modal de comércio internacional e o meio mais eficiente em uso de energia por tonelada-quilômetro (tkm), ou seja: o melhor meio de transporte para longas distâncias em termos de emissão de CO₂ por tonelada-quilômetro. No entanto, a grande dependência de combustíveis fósseis faz com que, mesmo assim,

esse meio de transporte seja o responsável por emissões consideráveis de CO₂.

O uso predominante de combustíveis fósseis em toda sua estrutura, desde fonte de combustível até meio de gerar eletricidade (IPOINT, 2013), em conjunto com o aumento na demanda por esse tipo de transporte, faz com que a emissão de CO₂ oriunda de apenas um transatlântico seja equivalente a de aproximadamente 70.000 carros (INFINEON, 2021). Dessa forma, alternativas como a eletrificação nesse modal se tornam fundamentais para que as metas de redução de emissões sejam atingidas.

No entanto, a eletrificação do modal ainda é limitada. Os primeiros modelos elétricos dentro do transporte hidroviário – Ampere na Noruega em 2015 e Elektra na Finlândia em 2017 – mostram o potencial e a capacidade de operação, diminuindo em 95% as emissões e em 80% os custos (INSIDE EVs, 2018), mas a viabilidade para a implementação está prevista apenas para cobrir distâncias menores, de 200 km, sendo liderado pelo mercado Europeu⁸⁸.

No caso do transporte aeroviário a limitação para a eletrificação é ainda maior. O desenvolvimento de aeronaves elétricas ainda está em fase inicial e uma das principais soluções no curto prazo é o uso de aviões híbridos, usando, por

85. A China é o maior fabricante de ônibus elétricos no mundo.

86. INDIA. Department of Heavy Industry. Disponível em: <<https://fame2.heavyindustry.gov.in/>>.

87. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

88. *Ibid.*

89. Veja mais em: <https://www.atkinsglobal.com/~media/Files/A/Atkins-Corporate/Electrification%20White%20Paper%20-%20digital.pdf>

exemplo, o motor tradicional a QAV para decolar e aterrissar, e o motor de propulsão elétrica durante o voo⁸⁹.

Enquanto isso, o uso desse modal vem crescendo ao longo dos anos. Em conjunto com o aumento da demanda, ocorre o aumento gradual das emissões de CO₂, especialmente na última década. As tecnologias necessárias para o voo e o modo como a indústria está estruturada são obstáculos para a redução das emissões do modal, fazendo com que outros meios como a eletrificação de operações de aterrissagem e decolagem se tornem também soluções em curto prazo para reduzir emissões, como a eletrificação da operação de taxiamento⁹⁰.

Além desses meios de transporte, o modal ferroviário se destaca apresentando a menor participação de emissões dentro do setor (IEA, 2019), reflexo direto da sua alta eficiência energética e do baixo uso de combustíveis fósseis⁹¹. Esse modo de transporte pode se mostrar ainda mais útil quando voltado para substituir aqueles mais poluentes, dado que é o único modo de transporte amplamente eletrificado e com grande capacidade para transporte de passageiros, seja em curtas ou em longas distâncias, como o chamado trem-bala, que vem ganhando grandes proporções em vários países, principalmente, na China⁹².

2.1.2 Fatores que Viabilizam a Eletrificação

Tendo em vista o cenário atual do progresso da eletrificação no setor dos transportes abordado anteriormente, se faz necessário entender quais foram os fatores cruciais para a implementação do transporte elétrico dentro dos países que se encontram em fase mais avançada do processo de transição. Nesse sentido, analisar o contexto geopolítico das nações é fundamental para traçar planos viáveis de inserção do uso de veículos elétricos em algumas regiões, em especial nos países em desenvolvimento.

Grande parte dessas metas, atualmente, gira em torno da eletrificação do transporte rodoviário – consistindo em veículos leves para transporte de passageiros e comercial, além dos veículos pesados – existindo em alguns países metas de médio e longo prazo para que as vendas e/ou estoques sejam 100% de veículos elétricos, especialmente na Europa, onde há uma mobilização para acelerar esse processo⁹³.

A figura 17 apresenta o *market share* de veículos elétricos – incluindo apenas os veículos elétricos de *plug-in* e os veículos elétricos puros – em cada país selecionado (sendo eles: Noruega, Holanda, Suécia, Portugal, China, Alemanha, Canadá, EUA, Japão, Chile, Índia e México).

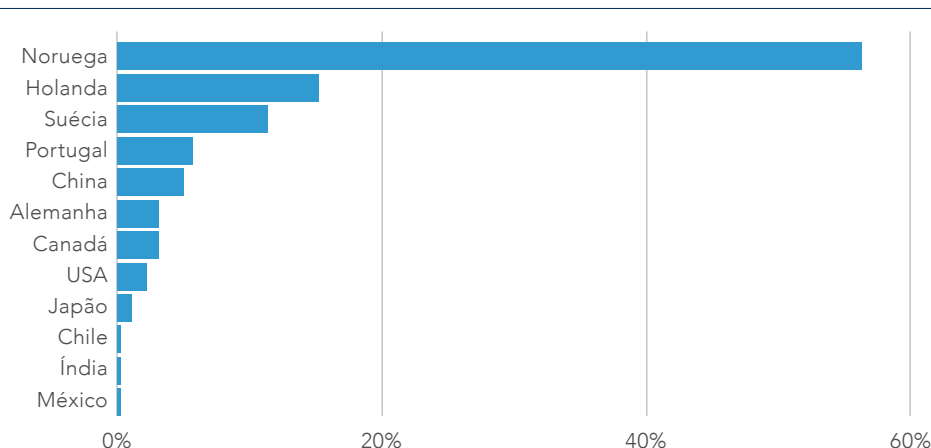
90. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

91. IEA (2020), Rail, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/rail>>

92. IEA, Passenger rail transport activity by fuel type, 1995-2016, IEA, Paris <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/passenger-rail-transport-activity-by-fuel-type-1995-2016>>

93. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

FIGURA 17: MARKET SHARE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM PAÍSES SELECIONADOS NO ANO DE 2019



Fonte: Adaptado de IEA, Electric car market share in selected countries, 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-market-share-in-selected-countries-2019>

A partir da figura 17 é possível perceber que alguns países apresentam um aumento cada vez maior na adesão ao uso de veículos elétricos. A Noruega se destaca na participação de mercado dos veículos elétricos, que já representam mais de 50%, buscando atingir a meta de 100% das vendas com veículos que não geram emissões até 2025⁹⁴. Vale destacar que a Noruega é um grande exemplo mundial de transição dentro do setor dos transportes. Mesmo sendo um país com expressiva produção de óleo e gás, a maior parte da energia do país é oriunda de energia hidráulica, uma fonte renovável (HENLEY; ULVEN, 2020). Esse fator foi um facilitador para que o país tornasse o setor dos transportes mais sustentável, diferente de grande parte dos países ao redor do mundo, que são dependen-

tes de fontes emissoras de GEE para geração de eletricidade, como é o caso das usinas de carvão, principal fonte da matriz elétrica mundial⁹⁵.

Apesar do aumento exponencial na Noruega ter ocorrido somente nos últimos anos, o governo vem oferecendo incentivos para a venda e uso de carros elétricos desde 1990. No início, as isenções de impostos na compra de veículos elétricos fizeram com que se tornassem competitivos em relação aos veículos a combustão interna. Em uma perspectiva global, é possível identificar que diversos países atualmente também oferecem subsídios para incentivar o uso de veículos elétricos. A tabela 3 apresenta alguns exemplos de como são realizados esses incentivos em diferentes países.

94. *Ibid.*

95. EPE. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

TABELA 3: SUBSÍDIOS NACIONAIS PARA O INCREMENTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM PAÍSES SELECIONADOS

País	Subsídio de Compra	Redução de Taxa
China	USD 2300 (para BEV com autonomia entre 300 km e 400 km) USD 3200 (para BEV com autonomia maior ou igual a 400 km) USD 1200 (para PHEV com autonomia maior ou igual a 50 km)	Isenção de taxa de compra (10%)
Estados Unidos	-	Crédito fiscal de até USD 7500
França	USD 6800 / USD 3400 (dependendo do valor do veículo) (Ambos para BEV, FCEV e PHEV que emitam menos de 20 gCO ₂ /km)	Sem taxa de registro em muitas sub-regiões
Itália	USD 6800 (0 - 20 gCO ₂ /km) / USD 2800 (20 - 71 gCO ₂ /km) (ao se desfazer um carro usado quando compra um veículo elétrico) USD 4500 (0 - 20 gCO ₂ /km) / USD 1700 (20 - 71 gCO ₂ /km) (sem se desfazer de um carro usado quando compra um veículo elétrico)	BEV é isento de pagar o imposto de propriedade anual durante os primeiros 5 anos após o registro
Noruega	-	BEV isento do VAT (25%) e de taxas de compra baseadas em: peso, CO ₂ e NOx

Fonte: IEA (2020), Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>

Como pode ser visto na tabela 3, diversos países oferecem incentivos para o uso de carros elétricos: estacionamento grátis em alguns estacionamentos municipais, direito a usá-los nos corredores de ônibus, a utilização de balsas sem passagem e isenção das tarifas de pedágios, além de formas de subsídios e isenções (ou descontos) em taxas.

A soma dos preços competitivos com as vantagens de menor custo, devido a preços menores

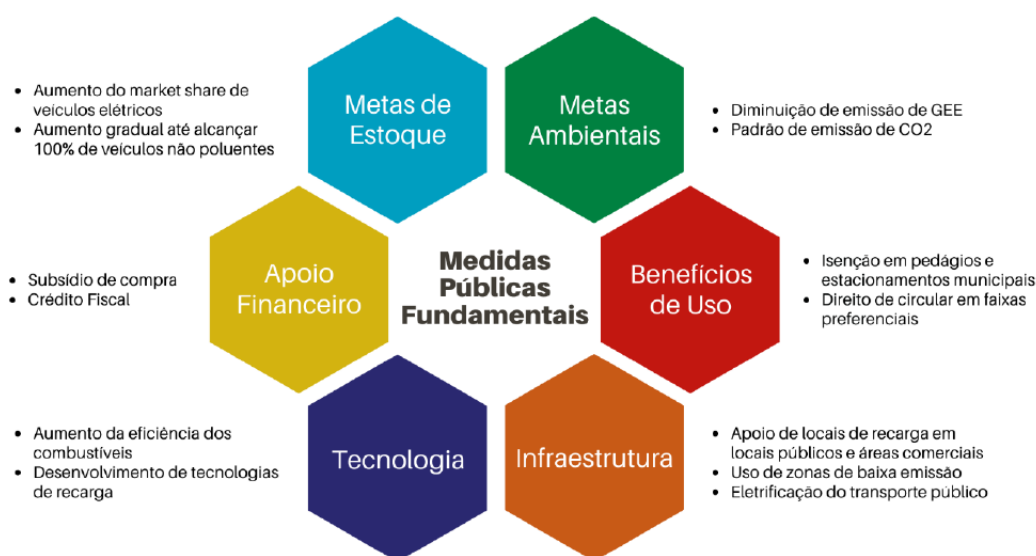
de combustível e manutenção, ou até mesmo isenção de algumas taxas, fez com que os benefícios relacionados à adoção de veículos elétricos tivessem grande influência na população, aumentando a busca pelo uso desses veículos (HENLEY; ULVEN, 2020; NIKEL, 2019). Ao longo do tempo, esses incentivos são remodelados e sofrem algumas mudanças. Na Noruega, por exemplo, não existem mais subsídios de compra, porém, o país mantém algumas isenções, como mostra a tabela 3⁹⁶.

96. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

A figura 18 apresenta uma série de medidas públicas fundamentais, a partir da análise da IEA, para que seja possível uma adoção em larga escala de veículos elétricos nos países.

Tais medidas foram separadas em seis blocos principais: metas ambientais, metas de estoque, apoio financeiro, benefícios de uso, tecnologia e infraestrutura.

FIGURA 18: MEDIDAS PÚBLICAS FUNDAMENTAIS PARA A ELETRIFICAÇÃO DO SETOR DOS TRANSPORTES



Fonte: Adaptado de IEA (2020), Global EV Outlook 2020, IEA, Paris.
Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

As medidas apresentadas na figura 18 se mostram cruciais para que os veículos elétricos consigam se inserir dentro da realidade de mercado em mais países. Tais medidas precisam cobrir benefícios que promovam a compra e o uso dos veículos elétricos, a começar por incentivos de aquisição. Apesar de em alguns países, como os EUA, os preços estejam diminuindo (COREN, 2019), o valor de um

carro elétrico ainda é bastante elevado (MUNOZ, 2019), tornando-o pouco competitivo em relação aos veículos a combustão interna. Entretanto, quando analisados os custos de manutenção e as despesas com combustível necessárias para o uso do veículo em longo prazo, somados aos subsídios de aquisição, os carros elétricos conseguem competir com esses tipos de veículos⁹⁷.

⁹⁷. Hearst Autos Research. Disponível em: <<https://www.caranddriver.com/research/a31544842/how-much-is-an-electric-car/>>.

Ao observar os incentivos dentro da infraestrutura das cidades para o uso de carros elétricos, apesar do avanço lento de infraestrutura de estações de recarga, que será abordado com maior destaque no subtópico infraestrutura, diversas regalias podem ser implementadas visando beneficiar os seus adeptos, dentre elas as chamadas zonas de baixas emissões, que podem ser observadas principalmente na Europa. Nessas zonas, veículos mais poluentes só conseguem circular caso paguem uma taxa, tendo o objetivo de diminuir a poluição do ar em cidades onde tais níveis se tornaram perigosos para a saúde⁹⁸. Como consequência dessas zonas, os donos dos veículos elétricos se beneficiam, visto que não têm que pagar taxa alguma.

Alguns compromissos com a eletrificação dos transportes por parte do setor privado podem ser observados em programas como a campanha EV30@30⁹⁹, cujo principal objetivo é que pelo menos 30% da parcela mundial de vendas sejam de veículos - carros, ônibus e caminhões - elétricos até 2030 (CLEAN ENERGY MINISTERIAL, 2019).

Por outro lado, a capacidade de produção desses veículos pode chegar a ultrapassar a curva de demanda, o que faz ainda mais necessário que esse progresso seja feito em conjunto com políticas de incentivos para a população adquirir cada

vez mais veículos elétricos, como os exemplos listados nos parágrafos anteriores¹⁰⁰.

Com relação à implementação de veículos elétricos comerciais, esforços maiores se fazem necessários. Como exposto anteriormente, esse mercado ainda está em um estágio inicial e são necessárias medidas de incentivos de compra, tais como: empréstimos com termos favoráveis para frotas de caminhões e, principalmente, para a infraestrutura necessária visando uma maior aderência de mercado, junto com medidas também implementadas para veículos leves para transporte de passageiros como isenções em pedágios e criação de corredores específicos.

Apesar de se observar cada vez mais a presença de políticas e programas que visam o desenvolvimento e maior presença de mercado dos veículos elétricos ao redor do mundo, quando o foco são os países em desenvolvimento fica evidente que, ao se desconsiderar a participação da China, o maior empenho e progresso na transição para a eletrificação está centrado quase totalmente em países desenvolvidos, em especial na Europa e EUA.

No cenário mais recente, algumas políticas de subsídios de infraestrutura relacionada à recarga têm ganhado força, baseado em três tipos de recarga:

98. 'Urban Access Regulations in Europe'. Low Emissions Zone. Disponível em: <<https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main>>.

99. Campanha lançada na 8ª reunião ministerial de energia limpa de 2017, que tem como objetivo acelerar a implantação de veículos elétricos nos seus membros, sendo composta por alguns países, empresas e organizações.

100. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

recarga com acesso público nas cidades, recarga residencial privada e recarga para empresas¹⁰¹.

Mesmo com o foco na eletrificação dos países ser baseado principalmente em algumas medidas listadas anteriormente, relacionadas, por exemplo, a incentivos para tornar os veículos elétricos mais atrativos no mercado, se faz necessário antes disso investimentos para tornar a matriz elétrica das nações baseada em fontes renováveis, visando um desenvolvimento sustentável dentro do setor dos transportes.

A China compreendeu esse passo fundamental e está caminhando para uma transição tanto no setor dos transportes, para uma era de eletrificação da sua frota, quanto no setor elétrico, onde, mesmo com a grande participação atual do carvão na matriz elétrica, a China apresenta progresso na mudança para fontes renováveis como a eólica e a solar (BARBOSA, 2017).

Além da China, que possui o maior *market share* de veículos elétricos entre os países em desenvolvimento, pode ser visto na figura 17, que outras nações consideradas em desenvolvimento como o Chile e a Índia apresentam um início de progresso na transição para a eletrificação.

A Índia apresentou uma evolução no uso de veículos elétricos pela população. O cenário

atual é um *mix* de políticas de incentivo com reformas regulatórias, junto com parcerias do setor público e privado que visam a demanda cada vez maior por veículos elétricos no país.¹⁰² O governo está promovendo um grande progresso em oferecer acesso à energia para a população, onde cerca de 700 milhões de pessoas foram incluídas desde 2000. Apesar do carvão ainda ser o responsável por grande parte do fornecimento de energia, a parcela de fontes de energia renováveis como a energia solar vem crescendo nos últimos anos em conjunto com uma maior eficiência energética¹⁰³.

A infraestrutura de recarga dentro do país é um dos tópicos que mais geram receio e dificultam a implementação em larga escala de veículos elétricos na Índia (BHALLA, 2019), fazendo com que medidas de redução de custo sejam cruciais para o desenvolvimento sustentável nos transportes. Além disso, dentre as soluções atuais planejadas pelo país para uma adoção cada vez maior da eletrificação dentro do setor dos transportes, pode se destacar uma busca pela implementação de uma rede de mobilidade elétrica pública e compartilhada¹⁰⁴.

Para promover a descarbonização do setor de transportes e reduzir a importação de petróleo, a Índia tem apostado na utilização do etanol com a entrada do E10 em 2022 e o E20 em 2028¹⁰⁵.

101. *Ibid.*

102. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

103. IEA, 'Índia' <<https://www.iea.org/countries/india>>

104. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

105. Roadmap for Ethanol Blending in India 2020-2025. NIT Aayog, Ministry of Petroleum and Natural Gas.

A adoção de ônibus elétricos dentro das cidades se tornou uma importante estratégia para diminuir as emissões de gases do efeito estufa e a poluição do ar oriunda dos ônibus movidos a diesel (O'DEA, 2019). A diminuição dos custos de baterias faz com que os ônibus elétricos ganhem cada vez mais espaço dentro do mercado, se tornando, em alguns casos, a opção mais viável em termos de despesa total¹⁰⁶.

O Chile se tornou o pioneiro na implementação de uma frota em larga escala de ônibus elétricos na América do Sul. Especificamente, a cidade de Santiago de Chile iniciou, em 2019, os primeiros serviços de ônibus elétricos, contabilizando cerca de 400 unidades que representam 6% da frota total e meta em eletrificar toda frota de ônibus públicos até 2040. Apesar do caso chileno e dos benefícios que o transporte elétrico oferece, o seu uso ainda é muito limitado na América Latina¹⁰⁷.

De acordo com a Associação Brasileira de Veículo Elétrico (ABVE) o mercado de automóveis e comerciais leves eletrificados no Brasil apresentou em 2021 o melhor resultado da série, com o recorde absoluto de 34.990 unidades vendidas. Os números superaram todas as previsões da ABVE e representam um aumento de 77% sobre os 19.745 emplacamentos de 2020

e de 195% sobre os 11.858 de 2019. No primeiro semestre do ano passado, a previsão era de 29 mil veículos de janeiro a dezembro; no segundo semestre, no máximo 33 mil¹⁰⁸.

Apesar dos números atuais da eletrificação dos transportes serem recorde, esta ainda é considerada lenta. O Brasil é um país de dimensões continentais, o que dificulta a instalação de infraestrutura para veículos elétricos em nível nacional, o que, em conjunto com as diferenças socioeconômicas regionais, se tornam um problema para a rápida eletrificação da frota.

Além disso, o grande desenvolvimento do país no que se refere a etanol, biocombustíveis e reservas de petróleo, principalmente com a descoberta do pré-sal, dão uma sobrevida ao motor de combustão enquanto os preços e a infraestrutura de uma frota elétrica não forem amplamente acessíveis.

Por outro lado, apesar do pouco desenvolvimento em veículos elétricos, o país tem uma das menores taxas de emissão de dióxido de carbono por MWh do mundo, reflexo da sua matriz elétrica atual. Esse cenário ainda pode melhorar no futuro, tendo em vista o grande potencial de desenvolvimento de diferentes fontes renováveis¹⁰⁹.

106. *Ibid.*

107. *Ibid.*

108. ABVE (2021). Disponível: <<http://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>>.

109. IRENA, 'Energy Profile Brazil' (2021). Disponível em: <https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/South%20America/Brazil_South%20America_RE_SP.pdf>.

Tais fatores geram um cenário favorável, embora ainda sem pressa, para a adoção de veículos elétricos no Brasil especialmente quando se observa que, apesar da relevante participação dos biocombustíveis, os derivados de petróleo ainda representam a maior parcela dentro das fontes de combustível do transporte brasileiro (SLOWIK *et al.*, 2018). O progresso da eletrificação da frota nacional será tratado com mais detalhes no capítulo Caso de Estudo Brasil.

No curto prazo, o transporte público aponta como a melhor escolha para início da eletrificação no país. O uso de ônibus urbanos elétricos tende a ser a principal escolha (OSAVA, 2020), ao contrário da tendência mundial, que visa prioritariamente a adoção da frota de veículos leves elétricos (SLOWIK *et al.*, 2019).

Tendo em vista o contexto dos países em desenvolvimento abordados neste capítulo— China, Índia, Chile e Brasil — é notável que apesar da Noruega ser um dos melhores modelos para ter como base, visando a transição para a eletrificação do setor dos transportes, esse modelo

enfrenta diversas dificuldades para ser replicado em nações em desenvolvimentos (NIKEL, 2019).

2.2 DIFICULDADES DA TRANSIÇÃO PARA O TRANSPORTE ELÉTRICO

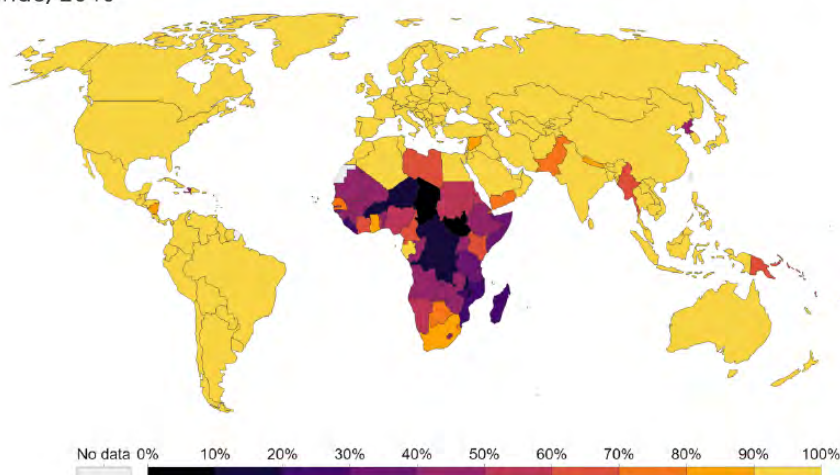
Quando o foco de estudo é voltado para o contexto global, tendo como objetivo os demais países em desenvolvimento, a realidade observada aponta alguns fatores que dificultam a adoção de veículos elétricos nessas nações.

A figura 19 apresenta a porcentagem da população com acesso à energia de cada país em 2019, os dados são referentes à parcela da população que possui acesso à energia em casa. Na referida figura quanto mais clara a tonalidade, maior é a porcentagem da população com acesso à energia no país. Por outro lado, muitos países, em especial na África, são preenchidos por tonalidades mais escuras de azul, ou até mesmo por preto, que representam uma porcentagem muito pequena da população com acesso à eletricidade doméstica.

FIGURA 19: PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO COM ACESSO A ELETRICIDADE, MUNDO 2019

PARCELA DA POPULAÇÃO COM ACESSO À ENERGIA

Mundo, 2019



Fonte: Adaptado de Banco Mundial.

Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-the-population-with-access-to-electricity>

Uma das premissas para que uma nação seja considerada desenvolvida, é que 100% de sua população tenha acesso à energia, o que fica evidente a partir da figura acima¹¹⁰. Estima-se que cerca de 14% da população de países em desenvolvimento ainda não possuía acesso a eletricidade em 2018. Além disso, o cenário de desenvolvimento sustentável da IEA possui como meta para que todos os países consigam chegar na taxa de 100% da população com acesso à eletricidade até 2030¹¹¹. A dificuldade de conseguir ofertar eletricidade se mostra como um problema para que ocorra a dita transição energética justa, ainda

mais quando um de seus objetivos é o acesso à eletricidade gerada por fontes “limpas”.

Essa problemática se mostra ainda mais delicada quando se observa que grande parte da parcela da população que tem acesso à eletricidade não é suprida com fornecimento constante, ou seja, sofrem com quedas frequentes, que em alguns países representam quedas diárias e que perduram por horas. Essa conjuntura impacta diretamente na adoção do uso de veículos elétricos por essa parcela da população, partindo do pressuposto que o acesso constante à eletricidade

¹¹⁰. Disponível em: <[https://ourworldindata.org/energy-access#:~:text=940%20million%20\(13%25%20of%20the,not%20have%20access%20to%20electricity](https://ourworldindata.org/energy-access#:~:text=940%20million%20(13%25%20of%20the,not%20have%20access%20to%20electricity)>.

¹¹¹. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/access-to-electricity-in-the-sustainable-development-scenario-2010-2030>>

dade é uma premissa básica para eletrificação do setor dos transportes.

A tendência de crescimento da demanda por eletricidade devido ao aumento da mobilidade elétrica e a significativa presença de fontes não renováveis dentro da matriz elétrica mundial, quando somados, podem resultar em uma maior quantidade de emissões de gases do efeito estufa na atmosfera do que o atual modelo dentro dos transportes (ASHDOWN, 2017).

Apesar do uso de veículos elétricos apresentar inúmeras vantagens e pontos positivos, é preciso que ocorra uma transição tanto no setor dos transportes quanto na maneira como a eletricidade é gerada para que de fato ocorra uma diminuição de emissões e a eletrificação da frota seja viável dentro do contexto do país.

No caso dos países em desenvolvimento essa transição se apresenta como um processo mais demorado e, em alguns casos, inviável tendo em vista que a adoção de um modelo de geração de eletricidade com base em energias renováveis, como é o caso da solar e eólica, ainda enfrenta algumas barreiras tanto geográficas quanto socioeconômicas (KARIUKI, 2018).

A diferença do progresso na implementação de veículos elétricos é evidente entre as nações desenvolvidas - que planejam uma transição de curto a médio prazo - e as nações em desenvolvimento,

que precisam de um tempo maior e de evoluções consideráveis relacionadas principalmente a descobertas de novas tecnologias que auxiliem na diminuição dos custos de veículos elétricos e na mudança de infraestrutura necessária para conseguirem suportar e fazer uso de veículos elétricos em larga escala dentro de seus territórios.

2.2.1 Tecnologia

Para viabilizar o uso em larga escala de veículos elétricos no mundo, a tecnologia é um importante aliado. Atualmente, o contínuo e cada vez mais veloz desenvolvimento tecnológico mundial resulta em uma sociedade em constante transformação. Essa realidade se reflete na eletrificação do setor transportes. Apesar de ser uma fonte de combustível para diferentes meios de locomoção, os veículos elétricos atualmente ainda passam por uma fase crucial de transformação para que se tornem mais acessíveis e competitivos no mercado mundial.

Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) o Brasil apresentou em 2021 o melhor resultado da série histórica do mercado de automóveis e comerciais leves eletrificados, com o recorde absoluto de 34.990 unidades vendidas¹¹². Os números mostram um aumento de 77% sobre os 19.745 emplacamentos de 2020 e de 195% sobre os 11.858 de 2019. Vale ressaltar que a previsão para o primeiro semestre do ano de 2021 era de 29 mil veículos de janeiro a

112. ABVE (2021). Disponível em: <<http://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>>.

dezembro; no segundo semestre, no máximo 33 mil. Esses números englobam o total de automóveis e comerciais leves híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e elétricos puros (BEV) emplacados de janeiro a dezembro de 2021 (Tabela 4).

A tabela 5 apresenta a evolução das vendas e emplacamentos de veículos eletrificados no Brasil (2012-2021), com a adição dos novos veículos emplacados em 2021, o Brasil chega a uma frota eletrificada total em circulação de 77.259.

TABELA 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS VEÍCULOS POR PADRÃO DE ELETRIFICAÇÃO

HEV	PHEV	BEV
Hybrid Electric Vehicle (Veículos Elétricos Híbridos)	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Veículos Elétricos Híbridos Plug-in)	Battery Electric Vehicle (Veículos Elétricos 100% a Bateria)
20.678 (59% do total)	11.461 (33%)	2.851 (8%)

Fonte: ABVE (2021).

Disponível em: <<http://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>>.

TABELA 5 - VENDAS/EMPLACAMENTOS DE VEÍCULOS ELETRIFICADOS NO BRASIL (2012 A 2021)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Ano
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55	65	62	846
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	285	405	374	437	3970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1264	1989	2013	2409	11858
2020	1568	2053	1570	442	601	1334	1668	1943	2113	2273	2231	1949	19745
2021	1321	1389	1872	2708	3102	3507	3625	3873	2756	2787	3505	4545	34990
Total													77259

Fonte: ABVE/ Renavam/Anfavea (2021).

Os eletrificados mais vendidos no Brasil em 2021 (janeiro/dezembro) estão na tabela 6, ordenados por posição de unidades vendidas, modelo e tipo.

A Tabela 7 apresenta alguns dos preços e modelos dos veículos elétricos disponíveis no mercado do Brasil e do mundo.

TABELA 6 - VEÍCULOS ELETRIFICADOS MAIS VENDIDOS NO BRASIL (2021)

Posição	Modelo	Tipo	Unidades Vendidas
1	Toyota Corolla Cross	HEV	11.027
2	Toyota Corolla Altis	HEV	7.921
3	Volvo XC60	PHEV	3.366
4	Volvo XC40	PHEV	3.067
5	Volvo XC90	PHEV	982
6	BMW X3 XDrive 30E	PHEV	836
7	BMW X5 XDrive 45E	PHEV	812
8	Toyota RAV4H	HEV	810
9	BMW 330E (PHEV): 579	PHEV	579
10	Porsche Cayenne	PHEV	554
11	Nissan Leaf Tekna	BEV	439
12	Porsche Taycan	BEV	379
13	Volvo XC40 Recharge PE	BEV	375
14	Jaguar Range Rover	PHEV	351
15	BMW Mini Cooper Electric	BEV	313
16	BMW Mini Cooper Countryman ALL4	PHEV	262
17	Audi E Tron	BEV	252
18	Toyota Lexus NX 300H	HEV	207
19	BMW i3 BEV 120AH	BEV	159
20	BMW 745 LE	PHEV	154

Fonte: Adaptado de ABVE/ Renavam/Anfavea (2021).

TABELA 7 – COMPARATIVO DE MODELOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO MERCADO BRASILEIRO, 2021

Modelo	Preço	Autonomia	Velocidade Máxima
Nissan Leaf	R\$ 239.900	389 km	144 km/h
JAC iEV20	R\$ 140.000	400 km	113 km/h
Renault Zoe	R\$ 200.000	300 km	135 km/h
Chevrolet Bolt EV	R\$ 230.000	416 km	148 km/h
BMW i3	R\$ 230.00-	285 km	150 km/h
Audi e-tron	R\$ 530.000	436 km	200 km/h

Fonte: Adaptado de ABVE (2021).

Disponível em: <<http://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>>.

Como pode ser observado na tabela 7, um dos principais problemas apontados são os altos preços dos modelos de veículos elétricos quando comparados com veículos de combustão interna, o que faz com que os benefícios ambientais e os menores custos de manutenção e combustível, oriundos do uso de veículos elétricos, ainda não sejam suficientes para que se tornem a escolha da maior parte dos consumidores.

Ao usar os motores de combustão interna como comparação é possível desenvolver uma análise mais realista para que sejam abordados tanto os fatores que levam aos altos custos atuais relacionados às baterias quanto às dificuldades que as baterias ainda precisam superar¹¹³, para que seja possível identificar como essa realidade pode ser alterada no curto e longo prazo.

É preciso considerar o estágio de desenvolvimento, ou seja, o nível tecnológico no qual se encontra cada modelo. Os motores de combustão interna passam há mais de um século por processos de desenvolvimento, fruto de investimentos significativos e anos de pesquisa, que resultaram em uma realidade onde os níveis de desempenho atual são muito elevados.

Além disso, a cadeia de suprimento da matéria-prima necessária para fabricação do motor de combustão interna também vem sendo modelada há mais de um século para gerar uma

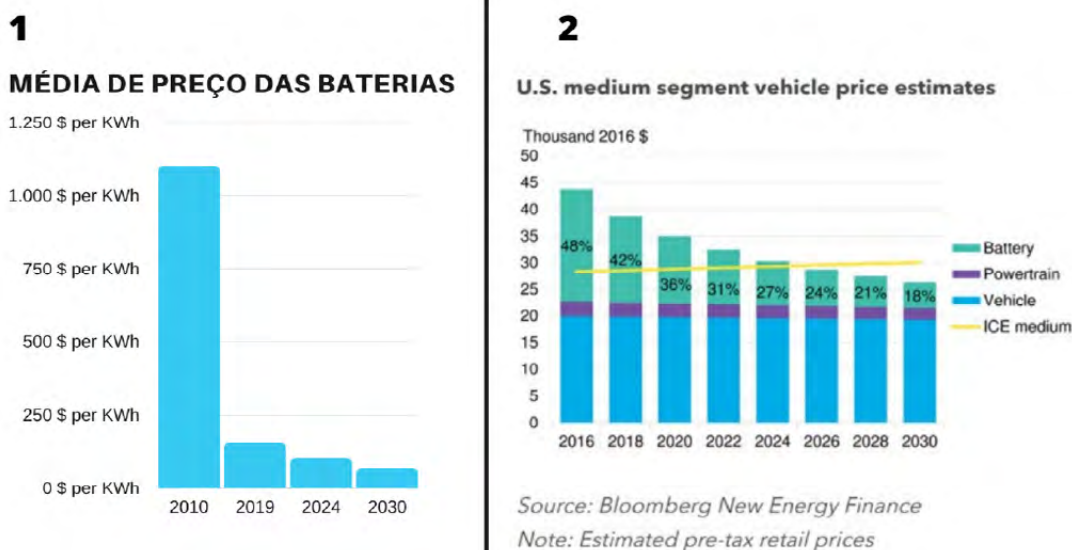
produção cada vez mais eficiente das peças que o compõem. Esses fatores em conjunto e em larga escala formaram uma importante base para que, hoje, seja possível a produção, venda e manutenção a baixos custos.

Mesmo com o início do uso de veículos elétricos sendo datado do século XIX, as descobertas e desenvolvimentos relacionados às baterias são recentes. A mudança das baterias de ácido de chumbo para o início do uso de células de íons de lítio (que estão presentes na composição de smartphones e carros elétricos) ocorreu apenas na década de 1990 (LEVINE, 2015). Houve menos de 30 anos para que fossem realizados pesquisas e o desenvolvimento dessa tecnologia, resultando em limitações e problemas (ROBERSON, 2019) ainda não superados, dado que as células de íons de lítio são uma tecnologia “nova”.

É possível ainda mencionar que este mercado possui uma cadeia de suprimentos pouco desenvolvida, o que gera receio a uma parte dos fornecedores (PWC, 2019). Apesar dos veículos elétricos serem compostos por peças em comum com os veículos de motor a combustão interna, existem diferenças relacionadas às matérias-primas necessárias para a produção das baterias. Ao contrário da cadeia de suprimentos madura do setor de combustíveis fósseis, o da produção das baterias ainda é muito pouco desenvolvido.

¹¹³. As baterias possuem um papel fundamental para a redução dos preços, tendo em vista que são responsáveis por cerca de metade do custo total de veículos elétricos (WAGNER, 2019).

FIGURA 20: MÉDIA DE PREÇO DAS BATERIAS E ESTIMATIVA DE PREÇO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SEGMENTO DE VEÍCULOS MÉDIOS DOS EUA



Fonte: 1 - Adaptado de <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/> 2 - Adaptado de <https://thedriven.io/2018/11/30/ev-price-tipping-point-automakers/>

A figura 20 apresenta dois gráficos: o primeiro mostra a variação do preço das baterias nos anos de 2010 e 2019 e a expectativa de preços até 2030; e, o segundo aborda como o preço da bateria afeta o valor final de um veículo elétrico, através do segmento de veículos médios nos Estados Unidos em 2018 e com a expectativa de preços nos anos seguintes até 2030. Ambos demonstram uma expectativa de redução de preços significativa das baterias nesta década.

A partir de uma relação entre os gráficos é possível entender que apesar do fato do preço das baterias serem em torno de 156 dólares por Kwh, esse valor ainda representa uma parcela importante do preço final de um veículo elétrico.

Para que a curva de expectativa apontada no gráfico 2 da figura 20 se torne realidade, onde o preço de um veículo elétrico seja até mesmo menor do que de um veículo de motor de combustão interna, torna-se imprescindível uma contínua diminuição dos preços das baterias nos próximos anos, como indica o gráfico 1 da figura 19, esperando chegar a uma média de preços em torno de 61 dólares por Kwh.

A porcentagem do valor final dos veículos elétricos oriunda das baterias também pode ser reduzida com o desenvolvimento de novas tecnologias. Os benefícios e conhecimentos adquiridos relacionados às baterias de íons de lítio, oriundos de investimentos cada vez maiores tanto em

pesquisa quanto na logística da cadeia de suprimentos, para que no futuro próximo consiga ter preços mais competitivos no mercado, geram um cenário de dominância desse tipo de bateria no curto prazo, ainda mais quando se leva em consideração que outros modelos de baterias ainda se encontram em estágio inicial e precisarão de um período de tempo e investimento para que consigam ingressar no mercado¹¹⁴.

Para que seja possível entender as principais barreiras tecnológicas atuais das baterias usadas nos veículos elétricos, é necessário separar os tipos de veículos dentro de cada modo de transporte do setor rodoviário.

No caso dos carros elétricos¹¹⁵, existem diferentes tipos de tecnologias envolvidas nesses tipos de veículos. Primeiramente, os chamados carros elétricos puros são aqueles onde toda fonte de combustível é oriunda da eletricidade que é armazenada na sua bateria interna. Por serem recarregados por uma fonte externa, fazem parte do grupo dos já mencionados *plug-in electric vehicles*, os PEV¹¹⁶.

Dentre os PEV também existem os veículos elétricos híbridos, que possuem tanto o motor elétrico quanto o motor de combustão interna. Os veículos elétricos híbridos podem ser dividi-

dos em três modelos, que variam de acordo com o uso dos motores, sendo eles os modelos: em série, em paralelo e misto.

O modelo híbrido em série funciona com a saída de um motor alimentado a entrada do outro, normalmente o motor a combustão gera eletricidade para o motor elétrico. O modelo em paralelo usa os dois propulsores, porém, somente um deles atua e o outro é usado para melhorar o desempenho. No caso do modelo misto, os dois motores são usados, separados ou ao mesmo tempo, e os dois podem atuar sobre as rodas dos veículos.

A escolha por como é feito o uso dos motores parte das vantagens e desvantagens de cada um, no caso do motor a combustão interna pode se destacar a boa autonomia e a potência, já o motor elétrico é menos poluente e mais econômico¹¹⁷. Sendo assim, o veículo híbrido oferece a oportunidade de combinar os pontos positivos de cada motor – combustão interna e elétrico – e existem em três tipos: Híbrido puro; Híbrido plug-in; Híbrido de longo alcance.

O primeiro, chamado de híbrido puro, funciona com o motor a combustão interna propulsando o veículo, utilizando o motor elétrico apenas para melhorar a eficiência do motor a

114. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

115. Veículos elétricos rodoviários leves para transporte de passageiros

116. PEV – sigla que se refere a plug-in electric vehicles (que faz referência a todos os veículos elétricos que são recarregados por fontes externas, dado que plug-in significa 'ligado na tomada')

117. Viny Furlani, 'Carro híbrido: Como funciona? Quais são as diferenças?' <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/como-funcionam-os-carros-hibridos/>>

combustão interna, sendo que são recarregados por um sistema de frenagem regenerativa do veículo (não sendo considerado assim um PEV).

Os chamados híbridos de plug-in (PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) funcionam da mesma maneira que os híbridos puros, mas eles também podem ser recarregados por uma fonte externa.

Por fim, os híbridos de longo alcance possuem um modelo de funcionamento em série com o motor principal sendo elétrico e o motor a combustão interna participando por meio do envio de energia para um gerador que alimenta a bateria, fazendo com que esse tipo de veículo tenha um alcance maior (FGV ENERGIA, 2017).

Além desses, os veículos elétricos ainda podem ter mais dois tipos: os movidos a célula de hidrogênio e os alimentados por cabos externos. O primeiro possui um motor movido a eletricidade, que por sua vez é gerada pela combinação de hidrogênio e oxigênio, o que permite que os seus adeptos não precisem ter uma fonte de carregamento externa em casa, embora também existam versões que são plug-in desse tipo de veículo

elétrico. Sem mencionar que, por conta de como a eletricidade é gerada, não liberam emissões de escape e, normalmente, possuem uma autonomia maior que a dos veículos elétricos puros. No caso dos veículos elétricos alimentados por cabos externos, como o nome já diz, são alimentados de eletricidade por cabos externos, seja acima ou abaixo do veículo (FGV ENERGIA, 2017).

Tendo em vista as diferentes tecnologias de veículos elétricos, pode se destacar o outro principal problema relacionado com ao uso: a autonomia, ou seja, a distância que esses veículos conseguem percorrer com a energia de uma carga de sua bateria. Na Tabela 8 podem ser observados dados de veículos a combustão interna e dos tipos de veículos elétricos que utilizam baterias como forma de armazenamento de eletricidade, sendo eles: veículo elétrico puro e veículos elétricos híbridos (Híbrido puro, híbrido plug-in e híbrido de longo alcance). Dentre os pontos abordados na Tabela 5, o motor utilizado com fonte primária de propulsão, o tipo de combustível usado pelos tipos de veículos, a autonomia e as emissões de quilogramas de CO₂ por quilômetro de cada tipo de veículo.

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DE CARROS À COMBUSTÃO INTERNA E DE DIFERENTES TIPOS DE CARROS ELÉTRICOS QUE POSSUEM BATERIAS

Tipo de veículo	Veículo à combustão interna	Veículos elétricos		
		Veículo elétrico híbrido (puro e plug-in)	Veículo elétrico de longo alcance	Veículo elétrico puro
Tipo de combustível	Fóssil e/ou biocombustível	Fóssil, biocombustível ou eletricidade	Eletricidade	Eletricidade
Autonomia	Grande autonomia proporcionada pelos combustíveis fósseis e biocombustíveis.	Pequena autonomia elétrica, complementada pela autonomia dos combustíveis fósseis e biocombustíveis.	Autonomia elétrica média complementada pela autonomia dos combustíveis fósseis e biocombustíveis.	Pequena a média autonomia (quando comparado com os veículos de combustão interna)
Emissões	0,23 kg CO ₂ /Km	0,062 kg CO ₂ /Km	0,060 kg CO ₂ /Km	Zero

Fonte: FGV ENERGIA(2017).

Disponível em:< https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf>.

A tabela 8 mostra a disparidade de autonomia existente entre o veículo elétrico puro e os outros tipos de veículos, elétricos ou de combustão interna, que também utilizam combustíveis fósseis e biocombustíveis, como é o caso dos veículos elétricos híbridos - que possuem uma autonomia elétrica pequena, menor que 100 km (RENAULT GROUP, 2020; FGV ENERGIA, 2017). Esse fator, quando somado aos preços maiores dos veículos elétricos e comparado com veículos movidos à combustão interna, como foi exposto anteriormente pela figura 18, faz com que os consumidores ainda optem por tipos de veículos que geram emissões de dióxido de carbono,

embora a taxa de emissões de veículos elétricos híbridos seja pequena quando comparada àquela de veículos a combustão interna.

Em adição à pequena autonomia dos veículos elétricos puros é preciso estudar o tempo de recarga deles. Para se estimar o tempo necessário de recarga, dois fatores devem ser analisados: o tamanho da bateria e a voltagem do ponto de carga. Dependendo desses fatores, o tempo pode variar entre 30 minutos ou mais de 12 horas. No caso de um veículo elétrico típico, que tem uma bateria com cerca de 60 Kwh sendo carregada em um ponto de recarga

com 7 Kwh, o tempo de recarga completa é de menos de 8 horas. Além disso, para alguns modelos de carros elétricos que são compatíveis, existe a opção dos pontos de recarga rápida (que possuem 50 Kwh), onde é possível carregar o suficiente para mais de 160 quilômetros em cerca de 35 minutos (PODPOINT, 2021).

No caso dos outros meios de transporte rodoviário, a situação é ainda mais delicada, tendo em vista que, para a implementação de uma frota elétrica no segmento dos veículos pesados – que compreende tanto ônibus quanto caminhões – se faz necessária uma infraestrutura muito bem consolidada para que seja viável essa transição.

Dentro dos veículos pesados, pode-se dividir a pesquisa entre ônibus e caminhões, sabendo que se trata de dois contextos distintos. A eletrificação da frota de ônibus já é uma realidade em diversas cidades ao redor do mundo (FASTCOMPANY, 2019), como é o caso de grandes cidades brasileiras, como São Paulo¹¹⁸. A partir da Figura 14 (Estoque de Ônibus Elétrico por Região) fica evidente o crescente aumento do uso de ônibus elétricos no mundo, especialmente no caso da frota chinesa. As tecnologias envolvidas no uso de ônibus elétricos trazem grandes benefícios tanto para a população quanto para os proprietários, tendo em vista que o uso desse tipo de veículo proporciona uma redução nas emissões de GEE e na vibração e barulho gerado quando comparado aos ônibus comuns, sem mencionar que a eficiência do uso

de combustível desses veículos é maior do que a eficiência de ônibus comuns (TRANSPORT RESEARCH REPORT, 2017).

Os ônibus elétricos podem ser divididos em três tipos: ônibus elétrico híbrido, ônibus elétrico de célula de combustível e o ônibus elétrico puro (bateria). Assim como no caso dos carros elétricos, os ônibus elétricos híbridos possuem dois motores, um de combustão interna e outro elétrico, que podem ser configurados em série ou em paralelo. Na configuração em série, o motor a combustão interna é usado somente para produzir energia elétrica que pode ser enviada diretamente para o motor elétrico ou para os sistemas de armazenamento, para que seja usado posteriormente. Já no modelo em paralelo, tanto o motor a combustão interna quando o motor elétrico, ou até mesmo uma combinação dos dois, podem ser usados como propulsores para o veículo. O modelo em paralelo pode ser útil para selecionar qual motor usar dependendo de qual parte do trajeto o ônibus está seguindo. Por exemplo, o motor elétrico dentro das cidades e o motor a combustão interna fora dos limites das cidades, utilizando-se da melhor maneira as vantagens de cada motor.

Os ônibus elétricos de célula de combustível, assim como os carros elétricos de células de hidrogênio, funcionam com a eletricidade gerada pela reação entre o hidrogênio armazenado e o oxigênio do ambiente. Esse modelo pode ser configurado de duas formas: com a

118. Eletra, 'Conheça a Eletra'. Disponível em: <<http://www.eletrabus.com.br/>>.

célula de combustível conectada diretamente no motor elétrico ou um modelo híbrido, onde o motor a combustão interna é substituído pela célula de combustível.

Por fim, os ônibus elétricos a bateria, no qual a eletricidade é a única fonte de combustível, são “abastecidos” em pontos de recarga e, de acordo como são recarregados, eles podem se dividir em dois modelos: primeiro, o de recarga rápida que pode ser feita ao longo do dia em pontos estratégicos; e, segundo a recarga lenta durante a noite. O primeiro tem uma autonomia

menor (em torno de 30 a 70 km), porém, tem um tempo necessário para recarga completa de cerca de cinco a dez minutos. Já o segundo modelo possui uma autonomia maior (em torno de 560 km), porém são necessárias cerca de 5 horas para concluir a recarga.

A Tabela 9 apresenta dados contendo algumas vantagens e desvantagens de cada tipo de ônibus elétrico, onde é possível destacar as melhores maneiras para usar as tecnologias disponíveis de modo a gerar o maior conforto para a população e um menor dano ao meio ambiente.

TABELA 9: PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DE ÔNIBUS À COMBUSTÃO INTERNA E DE DIFERENTES TIPOS DE ÔNIBUS ELÉTRICOS

Tipo de ônibus	Ônibus à combustão interna	Ônibus elétricos		
		Ônibus elétrico híbrido	Ônibus elétrico de célula de combustível	Ônibus elétrico puro (bateria)
Fonte primária de propulsão	Motor à combustão interna	Motor à combustão interna ou motor elétrico	Motor elétrico	
Tipo de combustível	Diesel (na grande maioria dos casos)	Diesel ou eletricidade	Eletricidade (proveniente da célula de combustível)	Eletricidade
Vantagens	Menores preços de mercado, necessidade de infraestrutura pequena quando comparado com os modelos elétricos, grande autonomia	Diferenças tecnológicas menores quando comparados com os ônibus à combustão interna	Baixas emissões pelo cano de descarga e uma autonomia maior quando comparados com os veículos elétricos a bateria	Zero emissões pelo cano de descarga, motor elétrico possui uma eficiência muito alta e custos reduzidos de operação tendo em vista que o combustível (eletricidade) é mais barato
Desvantagens	Quando comparado com os modelos elétricos possui uma eficiência menor e gera mais emissões de gases poluentes, além de gerar poluição sonora	Aumento de peso, que gera uma capacidade menor e uma limitação de áreas onde pode trafegar, infraestrutura necessária (como estações de recarga)	Infraestrutura necessária (como estações de recarga de hidrogênio), altos custo	Autonomia pequena, aumento de peso devido às baterias, que gera uma capacidade menor e uma limitação de áreas onde pode trafegar, sem mencionar a infraestrutura necessária (como estações de recarga)

Fonte: Adaptado de MRCagney. Disponível em: <https://www.mrcagney.com/uploads/documents/MRC_Electric_Bus_Report__11072017.pdf>

A partir da Tabela 9 é possível perceber que as principais desvantagens relacionadas ao uso de ônibus elétricos são as mesmas que existem no caso dos carros elétricos: altos preços, baixa autonomia e uma necessidade de infraestrutura maior para adoção em massa de veículos elétricos.

No caso dos ônibus, as dificuldades são ainda mais desafiadoras. O fato de as baterias ocuparem um grande espaço e serem muito pesadas gera uma consequência desafiadora ao transporte público nas grandes cidades – a diminuição da lotação máxima dos ônibus. Além disso, os meios de recarga ainda geram dificuldades tecnológicas e de infraestrutura que precisam ser ultrapassadas.

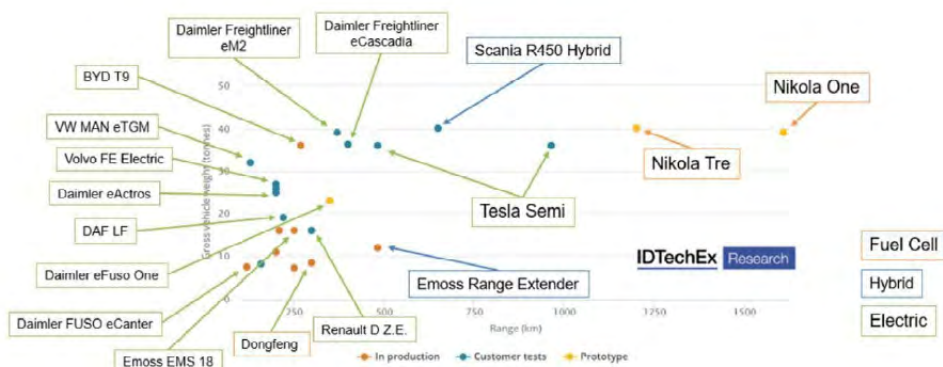
No caso do transporte de carga, o cenário não é muito diferente. Grandes avanços tecnológicos precisam ser realizados para que o início da eletrificação da frota, em especial dentro de alguns países como China e Alemanha, obtenha uma proporção global.

Os modelos de caminhões elétricos se baseiam

em três tipos: os caminhões elétricos híbridos, os caminhões elétricos de células de combustível e os caminhões elétricos puros (baterias), além daqueles que são alimentados de eletricidade a partir de cabos externos localizados acima dos caminhões e diretamente conectados a eles por fios de catenária (comuns em bondes e trens).

A Figura 21 apresenta um gráfico com dados reais de diferentes modelos de caminhões identificados pelo seu tipo, em vermelho os caminhões elétricos de células de combustível, em azul os caminhões elétricos híbridos e em verde os caminhões elétricos puros (baterias). A posição do ponto de cada modelo dentro do gráfico representa uma coordenada que representa no eixo y o peso em toneladas e no eixo x a autonomia em quilômetros. Quanto mais para a direita do gráfico, maior a autonomia do modelo de caminhão elétrico e quanto mais alto o ponto no gráfico, maior o peso. Além disso, a cor do ponto representa o estado do modelo: em laranja, os modelos já estão em produção; em azul, os modelos já estão realizando testes com consumidores; e, em amarelo, os protótipos.

FIGURA 21: RELAÇÃO ENTRE PESO E AUTONOMIA DE DIFERENTES MODELOS DE CAMINHÕES ELÉTRICOS



Fonte: <https://www.idtechex.com/de/research-report/electric-trucks-2020-2030/710> (IDTechEx Electric Trucks 2020-2030, IEA) [gráfico original: <https://www.iea.org/reports/trucks-and-buses>]

Além dos problemas relacionados a preço de veículos elétricos, a Figura 21 expõe dois pontos cruciais para que uma frota de caminhões elétricos seja viável: o peso e a autonomia. Além dos altos custos, assim como no caso dos ônibus, as baterias ainda possuem um grande peso e espaço ocupado na composição dos veículos, levando a perdas na capacidade máxima de transporte do veículo (PANAYI, 2019).

A autonomia também é um problema para essa categoria de veículos elétricos. Os veículos pesados para transporte comercial têm como objetivo transportar a maior quantidade possível de carga em grandes distâncias, portanto, esses dois pontos devem ser os focos principais de pesquisa e desenvolvimento no curto prazo relacionados ao desenvolvimento de tecnologias de caminhões elétricos. Sem mencionar que, também a partir da Figura 21, é possível perceber que a maioria dos modelos ainda está em desenvolvimento ou até mesmo em fase final com testes reais como é o caso do Tesla Semi (ELECTREK, 2021), que, apesar de ainda possuir um peso elevado, tem uma autonomia consideravelmente maior do que os modelos atuais.

Ao voltar o estudo para outros meios de transporte, como o aeroviário e o hidrovário, o desenvolvimento tecnológico ainda está em fase muito inicial. Entretanto, em ambos os casos são utilizados equipamentos como empilhadeiras¹¹⁹,

ônibus e até mesmo carrinhos de aeroportos, todos elétricos como uma forma de mitigar as emissões oriundas desses meios de transporte.

No caso do transporte hidrovário, o termo “cold-ironing” está ganhando destaque no que diz respeito à participação dos portos em reduzir as emissões oriundas desse tipo de transporte. Esse complexo sistema tecnológico (AGARWAL, 2021) fornece aos navios energia elétrica enquanto estão atracados, como é o caso do porto de Los Angeles¹²⁰, o que permite aos navios a oportunidade de desligar seus motores durante a atracação, gerando uma preservação do ambiente marinho e uma redução significativa nas emissões de GEE, assim como uma redução na poluição sonora e um conforto maior aos passageiros.

Sendo assim, ao analisar os meios de transporte de uma maneira geral, é possível apontar problemas recorrentes entre os diferentes modais. Os elevados preços atuais das baterias, assim como o estágio inicial de desenvolvimento, provocam a necessidade de um período estendido para que investimentos em pesquisa e desenvolvimento evoluam e consigam atender as necessidades do mercado apontadas nesta seção. Além disso, uma das principais preocupações e receios, tanto da população quanto das empresas, é em relação à infraestrutura das cidades e países para que a transição para a mobilidade elétrica seja viável.

119. Eletra, ‘Conheça a Eletra’. Disponível em: <<http://www.eletrabus.com.br/>>.

120. *Ibid.*

2.2.2 Infraestrutura

Ao propor uma visão global sobre a viabilidade, os desafios e o tempo necessário para uma transição para a eletrificação do setor dos transportes, fica evidente que, apesar dos avanços tecnológicos e a probabilidade destes se aprimorarem ainda mais no curto prazo, o uso em massa de veículos elétricos só será viável em conjunto com a implementação de medidas públicas – como aquelas apontadas na figura 18 (Medidas Públicas Fundamentais para a Eletrificação do Setor dos Transportes). Além disso, investimento em infraestrutura em diversas frentes, desde a cadeia de suprimentos para a produção desses veículos, passando pelos postos de recarga e até mesmo a infraestrutura ligada à reciclagem dos veículos elétricos.

Começando pela produção dos veículos elétricos, assim como foi exposto na seção anterior sobre Tecnologia, na comparação feita entre os motores a combustão interna e os motores elétricos, em especial as baterias, que são seu principal componente, ficou evidente que a cadeia de suprimentos dos veículos movidos a combustão interna passou por um longo processo até conseguir alcançar o nível atual.

Por outro lado, com os veículos elétricos começando a ocupar uma parcela pequena no mercado, a estrutura existente da cadeia de suprimentos sofrerá mudanças. Além disso, a transição do modelo atual para uma versão focada em fabricação de veículos elétricos e todos os componentes que eles necessitam, gera receios desde os fornecedores até os fabricantes.

Atualmente, a cadeia de suprimentos dos veículos elétricos já pode ser considerada global, mas a baixa estruturação somada ao aumento gradual da demanda faz com que os produtores enfrentem problemas de falta de estoque, a exemplo dos casos em que grandes montadoras – Audi, Jaguar e Mercedes – foram obrigadas a parar a produção de veículos elétricos devido à falta de materiais necessários para a produção de baterias (RAUWALD, 2020; OKANE, 2020; RANDALL, 2020).

A falta de uma boa estrutura de suprimentos na cadeia de produção pode levar à desaceleração do nível de crescimento pelo qual o mercado está passando. Indo além, ao se analisar dois componentes essenciais para a fabricação das baterias, é possível destacar mais dificuldades. Primeiro, o lítio. Mesmo com a tecnologia de baterias de íons de lítio possuindo diversas finalidades, que engloba a maioria dos aparelhos eletrônicos como smartphones, o aumento da mineração desse elemento foi decorrente de uma perspectiva de crescimento do mercado de veículos elétricos no futuro próximo. Por outro lado, o cobalto usado nas baterias é oriundo majoritariamente de um único lugar, a República Democrática do Congo (RDC), que possui mais da metade do estoque mundial desse metal. Esse cenário é crítico para o futuro da produção de veículos elétricos (THEGLOBALIST, 2018), tendo em vista que o crescimento da produção previsto para o futuro próximo pode resultar em uma demanda maior do que a capacidade máxima de produção (KOBIE, 2020).

Além dos desafios dos novos componentes, visando à produção dos motores elétricos, exis-

tem também tecnologias usadas em motores a combustão interna que não serão mais necessárias em motores elétricos. Esse cenário resulta em uma necessidade de mudança, entre fornecedores e produtores, que na atual conjuntura estão voltados para a produção de veículos com motor a combustão interna (PWC, 2019).

Devido a essa nova estrutura do mercado, à medida que os veículos elétricos começarem a representar uma parcela maior, terá como consequência tanto um aumento de empregos dentro da nova cadeia de produção (The Energy Collective Group, 2020) quanto o desemprego de trabalhadores que estão dentro da estrutura atual. O conceito de transição justa, abordado no início do capítulo, apresenta pontos que mitigam esse impacto negativo sobre diversos trabalhadores do atual sistema de produção, que precisarão se adaptar à transição do setor para reingressar no mercado de trabalho.

Além disso, a fiscalização dentro da nova cadeia de suprimentos será fundamental para que a perspectiva de um futuro limpo, em termos de menor degradação do meio ambiente, não seja marcada por condições precárias de trabalho e desrespeitos aos direitos dos trabalhadores, ou até mesmo situações como os relatos atuais sobre trabalho infantil e condições perigosas na extração de cobalto na RDC (GORDON, 2019).

Sendo assim, a infraestrutura relacionada à cadeia de suprimentos para os veículos elétricos precisa acompanhar o desenvolvimento e crescimento

do mercado, que ocorre em ritmo muito acelerado. Mesmo com um cenário de longo prazo, a abordagem tanto dos fabricantes quanto dos fornecedores deve ser mais integrada, para que empecilhos atuais como insuficiência de estoque não aconteçam, tendo em vista que esses problemas podem resultar em uma desaceleração da produção dos veículos elétricos dentro do cenário mundial (BRIND, 2020).

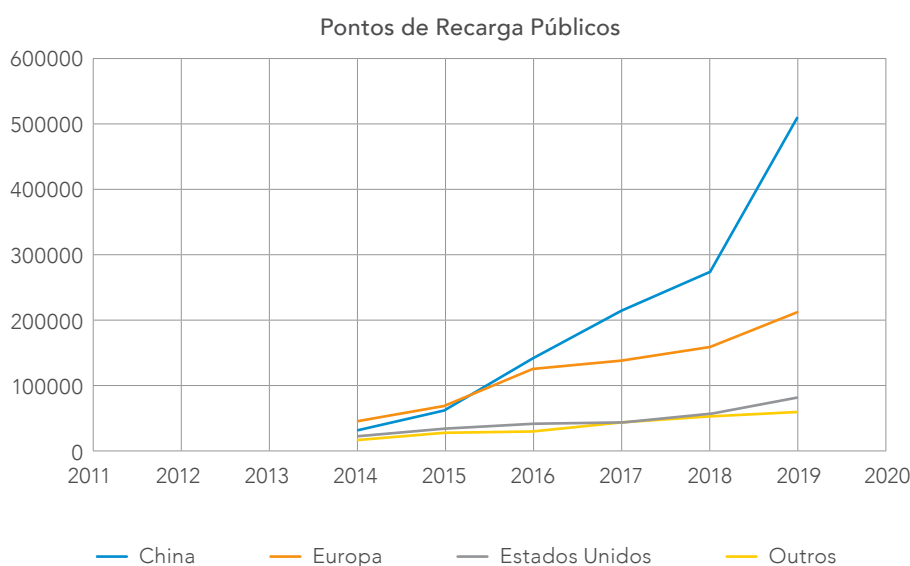
Após a estruturação e desenvolvimento das áreas relacionadas à fabricação dos veículos elétricos se mostrarem essenciais dentro da transição para a eletrificação do setor dos transportes, a infraestrutura para viabilizar o uso de veículos elétricos nas cidades é ainda mais importante, tratando-se de pontos de recarga e até mesmo a reformulação de infraestrutura das zonas urbanas.

A infraestrutura de pontos de recarga possui um papel crucial na implementação em larga escala de veículos elétricos, ainda mais quando a realidade de desenvolvimento dos veículos elétricos apresenta dificuldades em conseguir descobrir meios de aumentar a autonomia dos veículos totalmente elétricos, como foi apresentado na seção anterior sobre Tecnologia. Em outras palavras, a falta de estruturação de pontos de recarga de acesso público, tanto dentro das cidades quanto em áreas de interesse que ligam diferentes cidades, faz com que o uso de veículos elétricos seja limitado, resultando em uma grande necessidade de estrutura de abastecimento dos veículos.

Assim como existem os postos de gasolina e gás para veículos com motor a combustão interna, no caso dos veículos elétricos esse fator é ainda mais crítico, tendo em vista que no estágio atual a infraestrutura de recarga

ainda é muito pouco desenvolvida e os veículos elétricos possuem uma autonomia pequena. A Figura 22 apresenta o progresso desde 2014 até 2019 da instalação de pontos de recarga públicos ao redor do mundo.

FIGURA 22: QUANTIDADE DE PONTOS DE RECARGAS PÚBLICOS



Fonte: Adaptado de IEA, Public charging points in key markets, 2014-2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/public-charging-points-in-key-markets-2014-2019>

A partir da Figura 22 fica evidente que as regiões que se destacaram como grandes polos de estoque de veículos elétricos ao redor do mundo, apresentados anteriormente, apresentaram também destaque no estoque de pontos de recarga públicos em seu território, sendo elas: China, Europa e Estados Unidos.

Seguindo a análise da Figura 22, é possível perceber a predominância chinesa, que representa aproximadamente 60% dos cerca de 860 mil pontos existentes no mundo, consequência do fato de que o país detém a maior parcela do estoque mundial de veículos elétricos.

Outro detalhe importante é a presença dos chamados carregadores rápidos. Como foi exposto na seção anterior sobre Tecnologia, existem carregadores capazes de reabastecer os veículos elétricos em poucos minutos. Os pontos de recarga normal ou lento se referem a potências de carga menores que 22 kW, já os pontos rápidos ou super-rápidos são aqueles que possuem uma potência maior que 22 kW. Os pontos super-rápidos podem representar potências de 150 kW, que são capazes de recarregar o suficiente para ter uma autonomia de cerca de 320 Km em apenas 30 minutos, entretanto não são todos os veículos que suportam essa potência (PODPOINT, 2021).

Tendo em vista a capacidade de recarga de uma quilometragem considerável em poucos minutos, por parte dos carregadores rápidos, o cenário ideal seria uma infraestrutura equipada em sua maioria com esses modelos. Entretanto, o cenário atual está bem distante disso, mesmo com um número muito limitado de pontos de recarga em locais públicos ao redor do mundo.

Atualmente, cerca de 600 mil pontos de recarga existentes no mundo são pontos lentos, dos quais mais da metade pertencem ao território chinês, e apenas 16% deles estão situados fora dos três grandes polos mundiais de veículos elétricos (China, Europa e Estados Unidos)¹²¹. Ao analisar a porcentagem ocupada por pontos de recarga rápida, a situação fica ainda mais difícil. A China obtém mais de 80% dos, aproximadamente, 260 mil pontos públicos de recarga rápida ao redor do mundo. Apenas 8% estão situados fora do território da China, Europa e Estados Unidos¹²². Além disso, apesar dos pontos públicos de recarga rápida representarem cerca de 30% dos pontos públicos, incluindo os lentos e os rápidos, quando somados às unidades de recarga lenta privada ao redor do mundo, os pontos rápidos significam apenas 4% do total.

A Figura 23 apresenta um gráfico onde é possível identificar a porcentagem relativa de cada região dentre a totalidade mundial de carregadores particulares lentos, isto é, aqueles carregadores que o consumidor tem dentro de sua casa para recarga do veículo elétrico.

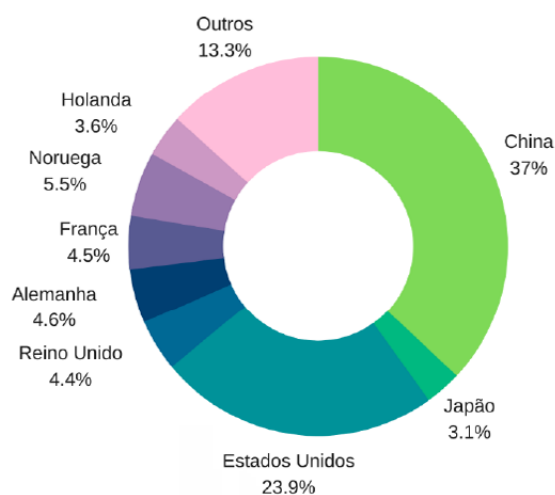
121. IEA, Publicly accessible electric vehicle slow chargers by country, 2019, IEA, Paris <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/publicly-accessible-electric-vehicle-slow-chargers-by-country-2019>>

122. *Ibid.*

FIGURA 23: CARREGADORES PARTICULARES LENTOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DIVIDIDO POR REGIÕES, 2019

CARREGADORES PARTICULARES LENTOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DIVIDIDO POR REGIÕES

Mundo, 2019



Fonte: Adaptado de IEA, Private electric vehicle slow chargers by country, 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/private-electric-vehicle-slow-chargers-by-country-2019>

A partir da Figura 23, observa-se a porcentagem que cada região representa dentro dos 6,5 milhões de carregadores particulares que existem atualmente. Assim como foi mostrado sobre os números de carregadores públicos, a realidade de a maioria absoluta estar centrada dentro da China, Europa e Estados Unidos se repete no caso dos carregadores particulares, onde apenas 16,4% das unidades estão em países fora dessas regiões.

No caso do estoque de pontos de recarga de ônibus, o estoque global ainda é muito limi-

tado, com cerca de 184 mil unidades, sendo que a China possui em torno de 95% do estoque mundial total. Vale ressaltar que esses números são voltados especialmente para o transporte público, que é o principal modo de uso de ônibus elétricos atualmente nas grandes cidades que já estão aderindo a esse estilo de modalidade¹²³.

Os números relacionados à infraestrutura instalada atualmente ao redor do mundo ainda são muito baixos, principalmente no que tange à porcentagem de pontos públicos, tanto no caso dos carros elétricos quanto no caso dos pontos

123. IEA (2020). Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>.

de recarga de ônibus. A tendência de crescimento de mercado dos veículos elétricos nos próximos anos tem como premissa fundamental uma infraestrutura cada vez mais complexa para que seja viável o uso em massa, o que vai refletir em uma necessidade de investimento cada vez maior para essa área, tanto do setor privado quanto do público.

Em 2018, o investimento total em infraestrutura de recarga era de menos de 10 bilhões de dólares, entretanto, para que a eletrificação do setor dos transportes consiga se tornar realidade, esse valor deve crescer anualmente nos próximos anos, representando cerca de 100 bilhões de dólares investidos em infraestrutura de pontos de recarga até 2027 (RESEARCH AND MARKETS, 2020).

A atração de investimentos do setor privado é crucial para essa transição, entretanto, as incertezas ainda existentes quanto ao futuro dos EVs dificultam a decisão de investir. Exemplo disso é a incerteza de retorno de capital, tendo em vista que são necessários altos volumes investidos para a construção de pontos de recarga, sem mencionar um grande período para maturação do investimento.

Sendo assim, uma parceria público-privada se faz necessária para que a infraestrutura consiga ser instalada em mais regiões, no mesmo ritmo acelerado em que os veículos elétricos estão entrando dentro do mercado. Medidas públicas

como crédito fiscal, empréstimo a juros baixos e até mesmo subsídios para instalação de postos de recarga se mostram imprescindíveis para a atração do setor privado (INTERNATIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT COUNCIL, 2013).

O setor público tem um papel crucial dentro da mudança de infraestrutura necessária para a transição, que aos poucos começa a acontecer, para a eletrificação do setor dos transportes. Algumas cidades já adotaram modelos de zonas de baixas emissões como foi apresentado a partir da Figura 18 (Medidas Públicas Fundamentais para a Eletrificação do Setor dos Transportes).

Por sua vez, o conceito de cidades inteligentes está ganhando cada vez mais destaque no cenário global, onde o foco é utilizar da melhor maneira as tecnologias e recursos para melhorar a qualidade de vida da população. Nesse contexto são encontrados três pilares: infraestrutura, planejamento e a inteligência para que os objetivos econômicos, ambientais e socio-culturais sejam alcançados. Dentre os principais pontos que as cidades inteligentes estão focadas em desenvolver está a mobilidade urbana, onde o uso de veículos elétricos se mostra como um importante aliado¹²⁴.

Assim, considerando o conceito de cidades inteligentes, a implementação de uma frota elétrica eficiente, do ponto de vista do setor público, deve ser tratada através de três pilares: come-

124. FGV Projetos. 'O que é uma cidade inteligente'. Disponível em: <<https://fgvprojetos.fgv.br/noticias/o-que-e-uma-cidade-inteligente>>.

çando com a inteligência relacionada à inovação; seguida de um planejamento de como a adoção desse novo modelo de mobilidade pode ser viável; e, por fim, a construção e implementação da infraestrutura pensada e planejada nas etapas anteriores.

Um dos principais meios de adoção de uma frota elétrica no modal rodoviário é a estratégia de construção de uma grande infraestrutura do transporte público elétrico, ou até mesmo dos serviços de transporte de passageiros como os táxis, visando fazer com que a população opte pelo uso do transporte coletivo e não pelo uso individual de carros, mesmo que sejam elétricos¹²⁵.

Além disso, o planejamento de uma transição gradual da frota dos veículos é importante, tendo em vista que, a adoção em larga escala dos veículos elétricos irá gerar uma demanda cada vez maior por eletricidade, exigindo-se das cidades inteligentes uma rede ainda maior de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis. Sem mencionar que até mesmo a demanda maior por eletricidade, oriunda dos veículos, poderá ser mitigada devido à conexão inteligente entre os setores da economia (WEF, 2018).

O uso inteligente e eficiente dos meios de transporte pode gerar até uma redução da demanda por eletricidade. Segundo estudos, os brasi-

leiros passaram quase cinco anos da sua vida dentro de carros, seja dirigindo ou como passageiro. Por sua vez, no Japão, conhecido mundialmente pela sua grande e muito eficiente rede de transporte pública, a população passa em média somente a metade do tempo dos brasileiros dentro de carros (TIZO, 2017).

Tendo em vista o conceito de cidades inteligentes, fica clara a necessidade de planejamento para que sejam viáveis e funcionais as mudanças estruturais que serão realizadas nas cidades. Para isso, avaliar a transição do modelo de transporte atual para uma frota elétrica se faz imprescindível. Como foi visto anteriormente, o estoque atual mundial de veículos elétricos quando considerados apenas automóveis, comerciais leves e veículos pesados, apresenta um número abaixo de 10 milhões de unidades.

Por sua vez, a frota global total considerando todos os tipos de veículos dentro dessas mesmas categorias, já ultrapassa a marca de 1,2 bilhão de unidades ao redor do mundo¹²⁶. Ao analisar o tempo de vida útil que os consumidores buscam quando compram um automóvel, alguns fatores fazem com que esse tempo seja variável. Entretanto, considerando os diferentes modelos e a maneira como os proprietários conservam os seus veículos, espera-se que a vida útil possa atingir até no máximo doze anos.

125. BSI, 'Which smart cities are leading the electric transport Revolution?' Disponível em: <<https://www.bsigroup.com/en-GB/blog/Environmental-Blog/electric-transport-and-smart-cities/>>.

126. Ricardo de Oliveira, 'O mundo já tem mais de 1,2 bilhão de veículos' <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/o-mundo-ja-tem-mais-de-1-bilhao-de-veiculos/>>.

Por outro lado, o tempo médio que os motoristas mantêm os seus veículos é de apenas seis anos (DEMURO, 2019). É possível perceber que esse indicador varia muito em diferentes países: no Brasil, essa média é de apenas 1,7 ano; enquanto no Reino Unido e nos Estados Unidos essa média está em três anos (MATTERA, 2014).

Tais relações são muito importantes quando o foco é a eletrificação do setor, tendo em vista que para se concluir esse objetivo será necessário uma transição da frota atual para uma nova composta por veículos elétricos, algo que irá demandar uma infraestrutura específica para comportar o crescimento exponencial de um novo modelo de mobilidade que, ainda existe de modo muito limitado ao redor do mundo, especialmente no caso dos países em desenvolvimento quando se desconsidera a participação chinesa.

Ao usar como base os dados brasileiros, onde os consumidores trocam de carro em um período menor que dois anos, como exposto anteriormente, fica evidente que o custo relacionado à troca das frotas é muito elevado. Além disso, a necessidade por infraestrutura para comportar a adoção de uma mobilidade elétrica nesse ritmo acelerado de transição é inviável, se fazendo necessário um planejamento para que a oferta da infraestrutura consiga ser disponibilizada de modo a não inviabilizar a demanda oriunda do aumento do uso de veículos elétricos no curto e no longo prazo, tanto dentro desse país em questão quanto em outras regiões ao redor do mundo.

A infraestrutura, desde o processo de extração das matérias primas e produção dos veículos

elétricos até o processo de descarte, precisa ser planejada de modo a comportar as mudanças e de fato ser uma transformação, quando comparada com o modelo atual, que ainda causa grandes danos ao meio ambiente. Sendo assim, após terem sido abordados pontos de infraestrutura necessários para a produção, implementação e conservação da frota de veículos elétricos para que a transição ocorra em grandes escalas no curto e médio prazo, se faz necessário pensar também na maneira como esses veículos serão descartados quando sua vida útil terminar.

O conceito de reciclagem pode ser muito útil dentro do contexto dos EVs, tendo em vista que a tendência de crescimento da produção já é uma realidade e nem todas as matérias-primas necessárias para a fabricação, principalmente das baterias, conseguirão acompanhar o ritmo acelerado no aumento da demanda. A partir da reciclagem das baterias será possível minimizar o impacto do aumento da mineração e processamento das matérias-primas, suprimindo a demanda com matérias-primas oriundas da reciclagem de baterias descartadas (COHEN, 2020).

Atualmente, o mercado de reciclagem das baterias de veículos elétricos é visto como promissor para o futuro. Entretanto, um fator crucial para que consiga ser realizada a reciclagem é a existência de baterias suficientes para tal. O fato de os veículos elétricos terem voltado a ganhar destaque e começado a representar um espaço, mesmo que ainda pequeno, dentro da frota mundial em um passado relativamente próximo resulta em uma quantidade limitada de baterias disponíveis para que seja feita a reciclagem.

Por ser um mercado ainda em crescimento, fatores como a falta de padrões de baterias e falta de incentivos à coleta fazem com que as taxas atuais de reciclagem sejam muito pequenas (ECKART, 2017). As taxas de reciclagem das baterias de íons de lítio na Europa, por exemplo, são de apenas 5%, apesar dos riscos ambientais relacionados às emissões de gases tóxicos caso as baterias sejam danificadas (GARDINER, 2017).

Sendo assim, fica evidente que a infraestrutura é primordial para que a eletrificação dos meios de transporte seja viável e realmente ocorra por meio de uma transição justa, além de ter consequências positivas para a conservação ambiental, pois apesar de ser um modelo de mobilidade menos poluente, é possível que esse processo cause danos ambientais e socioculturais caso seja implementado sem a infraestrutura necessária.

2.3 O USO DE COMBUSTÍVEIS DE BAIXA EMISSÃO DE GEE COMO GNV E BIOCOMBUSTÍVEIS

O uso de biocombustíveis, de fonte energética renovável, para o setor de transportes começou a ser considerado já no início do século XX. Entretanto, por volta da metade daquele século, o nascimento da indústria petrolífera, os vários programas exploratórios e a alta oportunidade de lucro desbotaram o potencial dos biocombustíveis e os colocaram em segundo plano na produção de energia.

A problemática do setor surgiu com as crises do petróleo, que fizeram subir consideravelmente o preço dos combustíveis e evidencia-

ram a dependência de importações de óleo em diversos países, evocando a pauta da segurança energética para debate. Junto a isso, o avançar das discussões sobre o aquecimento global e os efeitos ambientais da queima de combustíveis fósseis trouxeram de volta os usos de biocombustíveis nas perspectivas de cenários recentes.

Para efeitos de transição energética no setor de transportes e uma economia de baixo-carbono, a classificação de combustíveis alternativos se refere principalmente àqueles que emitem baixos níveis de GEE na sua produção e utilização, desde biocombustíveis até o Gás Natural Veicular (GNV), que, apesar da origem fóssil, é menos danoso se comparado à gasolina ou ao carvão. São classificados como biocombustíveis todos os combustíveis derivados de biomassa renovável (matéria-prima não-fóssil), com baixa concentração de carbono, e que podem substituir parcial ou totalmente os combustíveis fósseis nos motores a combustão.

A IEA propõe a seguinte classificação aos biocombustíveis:

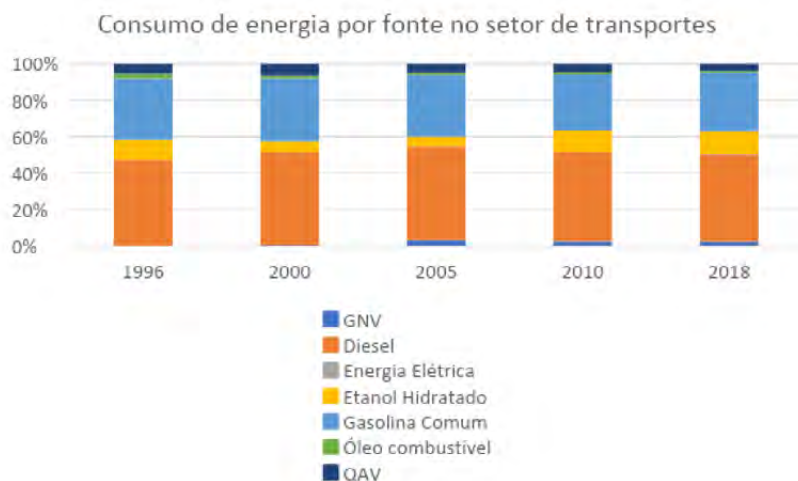
- Convencionais, em circulação e atuação relevante no mercado cujas fontes primárias de produção são culturas alimentares, como o etanol a partir da cana-de-açúcar e o biodiesel de origem lipídica; e,
- Avançados, em desenvolvimento e em estudo para melhor implementação, cujas fontes primárias de produção não competem diretamente com o uso da terra para a indústria alimentícia, como óleo vegetal hidrogenado (HVO), etanol celulósico, biometano, bioquerosene e hidrogênio verde.

Como anteriormente abordado, a classificação de GEE se dá, principalmente, para os gases dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e hexafluoreto de enxofre (SF₆), cujas presenças na atmosfera bloqueiam a passagem dos raios solares de retorno, criando um isolante térmico ao redor da Terra. Tal retenção de calor próximo à superfície terrestre gera

aumento da temperatura média global. O CO₂ é o mais abundante desses gases, tendo impacto direto nas atividades humanas.

O gráfico da figura 24, elaborado pela EPE (2019a), ilustra a divisão de demanda de combustíveis no setor de transportes no Brasil, de 1996 a 2018.

FIGURA 24: CONSUMO DE ENERGIA POR FONTE NO SETOR DE TRANSPORTES



Fonte: Adap

O Boletim Energético Nacional de 2021 (ano base 2020) ressalta que o consumo de energia nos transportes foi muito impactado pelo pela pandemia de covid-19, sofreu redução de 6,4% em relação a 2019. Os destaques vão para a queda de 42,8% do querosene de aviação e o aumento de 8,4% do biodiesel. Esse aumento do biodiesel está relacionado com a política de adição deste combustível no diesel fóssil¹²⁷.

Dentro do contexto das metas de redução de emissões, cabe analisar a forma e a fonte de obtenção dos biocombustíveis, para que esses não contribuam com emissões de forma indireta. Os novos combustíveis, inclusive avançados, tendem a vir de fontes não convencionais, entretanto, antes da implementação em escala, deve ser feito o estudo de ciclo de vida e discutida a capacidade de oferta para promover a segurança energética. Além disso, a diversificação da matriz de combustíveis, variando sua origem, é uma característica positiva, de forma que garante maiores chances de suprimento de demanda, sem afetar os outros setores que fazem uso da mesma matéria prima, como o setor agrícola.

2.3.1 Etanol

O etanol (C₂H₅OH) é um biocombustível de origem renovável, dividido no mercado entre anidro (E27), misturado diretamente à gasolina, e hidratado (E100), que compete com a gasolina.

No Brasil, a matéria-prima da produção é majoritariamente a cana-de-açúcar, aproveitando, muitas vezes, a instalação industrial da produção de açúcar, e, em menor escala, o milho, cuja produção tem sido crescente. Já no mercado mundial, em destaque para os Estados Unidos e Europa, o grande responsável pela produção do etanol é o milho e a beterraba, respectivamente, também utilizados para a produção de açúcar nesses países. A variação de matéria-prima é um fator dependente, sobretudo, das condições geográficas da região analisada, como clima e solo.

Dentro do setor de transporte, principalmente nos veículos leves, o etanol é o biocombustível mais consumido no mercado global, tendo sua popularidade instalada e concretizada a partir da Segunda Guerra Mundial, como resultado da dificuldade de importação do petróleo. A crise energética, seguida da econômica, foi o grande catalisador para a discussão sobre segurança energética, que fomentou a criação e o investimento em programas de apoio à produção do etanol, devido aos altos preços do petróleo.

No Brasil, este foi o caso do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado em 1975 para produzir etanol anidro e misturá-lo à gasolina e, assim, reduzir as necessidades de importação e interiorizar o desenvolvimento econômico e social. Segundo os dados da EPE, no Balanço Energético Nacional, ocorreu em 2020 no Brasil uma redu-

¹²⁷. EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>.

ção de 2% da participação do etanol (anidro + hidratado) em relação ao ano de 2019, respectivamente, de 45% para 43%. Em relação à gasolina houve um aumento de 2 %, de 55% para 57%¹²⁸.

A análise de eficiência energética diretamente para os combustíveis indica que a gasolina poderia ser mais eficiente que o etanol por conta de seu maior poder calorífico. No entanto, muitos fabricantes contornam essa desvantagem, compensando na eficiência do motor e na produtividade da indústria, de forma que os preços se tornem vantajosos ao consumidor. Os veículos leves com motores flexíveis, tipo "flex fuel", são capazes de utilizar quaisquer mesclas entre gasolina (com 27% de etanol anidro) e etanol hidratado.

As condições climáticas, idade das lavouras, impurezas minerais e vegetais, além da defasagem entre a implantação da mecanização do plantio e da colheita da cana são os principais fatores que influenciam na qualidade do etanol e, por consequência, nos preços e no poder de queima. Nesse sentido, é possível fazer uma análise dos motivos de oscilações na produção de etanol. Em 2019, por exemplo, a baixa cotação dos preços de açúcar e a relação entre os preços médios do etanol hidratado e da gasolina C mais favorável ao etanol podem ter sido fatores que alavancaram a produção (EPE, 2020).

Apesar da origem renovável, das baixas emissões e do uso já amplamente empregado, a indústria produtiva de etanol compete com a indústria

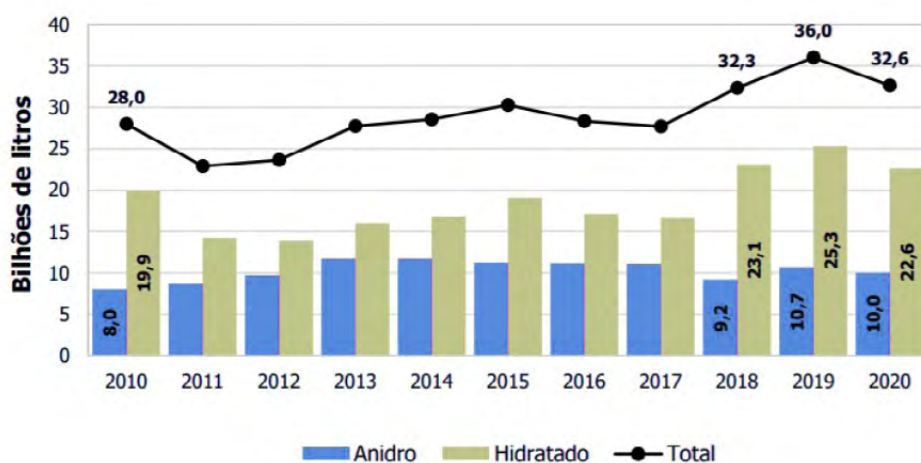
açucareira, gerando um fator de risco para a segurança energética. Portanto, infere-se que a quantidade de cana destinada para a produção do etanol é regulada diretamente pelo preço do açúcar no mercado internacional, o que torna a indústria energética constantemente vulnerável e sujeita a cortes de produção. Para contornar a queda de produção, essa perda de espaço pode ser superada através do aumento da produtividade da colheita disponível, ou seja: aplicação de melhoramento genético, utilização de agricultura de precisão e tecnologia de colheita (EPE, 2020).

Em relação à eficiência da produção, a tecnologia agropecuária ocupa papel essencial para o planejamento de oferta e provê as informações necessárias para a análise de viabilidade de safra. A iminência da mecanização da cultura traz rendimento aos campos, mas deve ser acompanhada de análise de compatibilidade do solo, idade do canavial e dimensionamento do plantio. O aumento da produtividade da safra pode ser a saída para atingir as metas de redução de emissões anunciadas na COP21, sem necessidade de aumentar o volume produzido por área de plantio.

O gráfico da figura 25 apresenta o cenário brasileiro no ano de 2020, foram produzidos 32,6 bilhões de litros de etanol, divididos em 22,6 bilhões de hidratado (queda de 10,6%) e 10,0 bilhões de anidro (redução de 6,8%). Dessa forma, o volume total de etanol produzido foi 9,5% inferior a 2019, ligeiramente superior a 2018.

128. EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>

FIGURA 25: PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ETANOL



Fonte: Adaptado de MAPA, 2021.

A redução na produção de etanol em 2020 está atrelada aos seguintes fatores: Pandemia de Covid-19 que levou a uma redução no consumo de combustíveis, devido às medidas de distanciamento social e oscilações nas cotações internacionais de açúcar.

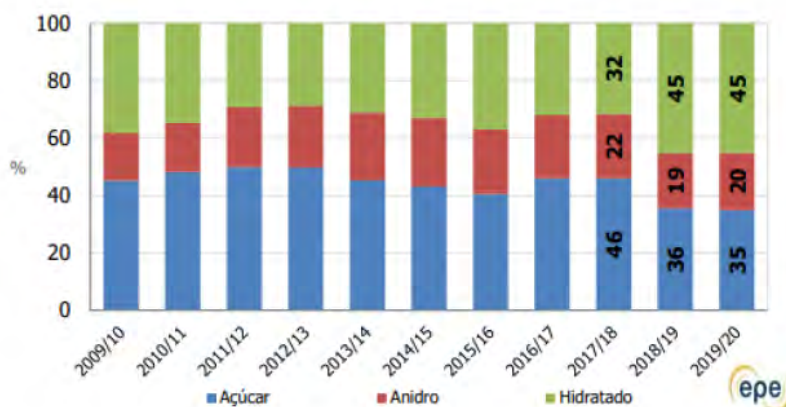
De acordo com a análise da EPE (2021), a produção brasileira de açúcar brasileira em 2020 alcançou um recorde histórico de 41,5 milhões

de toneladas (38,6% superior a 2019). As exportações de açúcar foram de 31,6 milhões de toneladas, constituindo o maior valor histórico, exibiu um aumento de 13,9 milhões de toneladas (acréscimo de 71,7%) em relação ao ano anterior¹²⁹.

O gráfico da figura 26, elaborado pela EPE (2020), descreve as parcelas de destinação da cana-de-açúcar para cada indústria nos últimos 10 anos.

129. MAPA (2021). Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>.

FIGURA 26: PARCELA DA UTILIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA PARA ETANOL E AÇÚCAR COMO PRODUTOS



Fonte: EPE a partir de (CONAB, 2020a)

Fonte: EPE, 2020.

Além da produção intensiva¹³⁰ a partir da sacarose proveniente do açúcar, o etanol pode ser obtido através de fermentação controlada e da destilação de resíduos vegetais, como o bagaço da cana-de-açúcar, a beterraba, trigo ou o milho, gerando, dessa forma, o etanol de segunda geração, ou “etanol celulósico”. Esse modelo, por ser de tecnologia recente, torna-se pontual e inexpressivo, e ainda não pode ser considerado para suprir a demanda energética do setor de transportes, além de ter um maior custo de produção. Contudo, a introdução dessa nova possibilidade no mercado energético permitiria o aumento da produtividade da cana - ao utilizar toda sua matéria prima vegetal -, além de reduzir o impacto ambiental da geração de resíduos da indústria.

2.3.2 Biodiesel

O biocombustível que cresce na maior velocidade no mercado mundial é o biodiesel. Utilizado majoritariamente para o transporte pesado rodoviário (em motores do ciclo Diesel), o biodiesel surge como o substituto renovável da matriz energética fóssil. Essa alternativa tem sua importância destacada sobretudo em países como o Brasil, que não consegue suprir a demanda interna com as refinarias nacionais, tornando-se dependente de importações. A mistura do biodiesel no diesel mineral, de forma a reduzir o consumo desse último, já é imposta por legislação, tendo sido definido o percentual mínimo de 10% para o ano de 2022 pelo Conselho Nacional de Política

¹³⁰. O estilo de produção agrícola intensivo é caracterizado, principalmente, pela alta produtividade. Consiste em produção de larga escala, mecanização, utilização de insumos e, em geral, monocultura.

Energética (CNPE)¹³¹. De acordo com os dados da EPE (2021), em 2020 devido à pandemia de COVID-19 o consumo de óleo diesel sofreu um grande impacto no mês de abril de 2020, com relação da redução de 14 % em relação a abril de 2019. Mas retomou o crescimento em setembro, mantendo-se positivo até o final do 2º semestre de 2020¹³².

A Resolução ANP nº 45/ 2014 (ANP, 2014), define o biodiesel tradicional (FAME ou *fatty acids and methyl esters*) como:

“Combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal [...]”.

Isto é, um biocombustível obtido por meio de biomassa renovável, podendo ser de óleos vegetais, como soja, caroço de algodão, canola, dendê e demais oleaginosas, e de gordura bovina, e que

possa ser utilizado em motores do ciclo diesel, substituindo a matéria fóssil. O processo de produção gera glicerina como subproduto, com correspondência de cerca de 10% da massa do biodiesel produzido e tem participação expressiva na receita nacional de exportações.

No Brasil, a soja é a principal matéria-prima utilizada para a produção do biodiesel, e tem seu destaque devido às condições edafoclimáticas do país, que permitem o desenvolvimento da lavoura extensiva e de baixo custo, sem a necessidade de investimento em grandes melhoramentos dos genéticos das sementes ou dos solos. Em 2020, 4,6 bilhões de litros do volume total de biodiesel consumido em território nacional tiveram origem no óleo de soja, um crescimento de 14,6% quando comparado ao ano anterior (ANP, 2021c)¹³³.

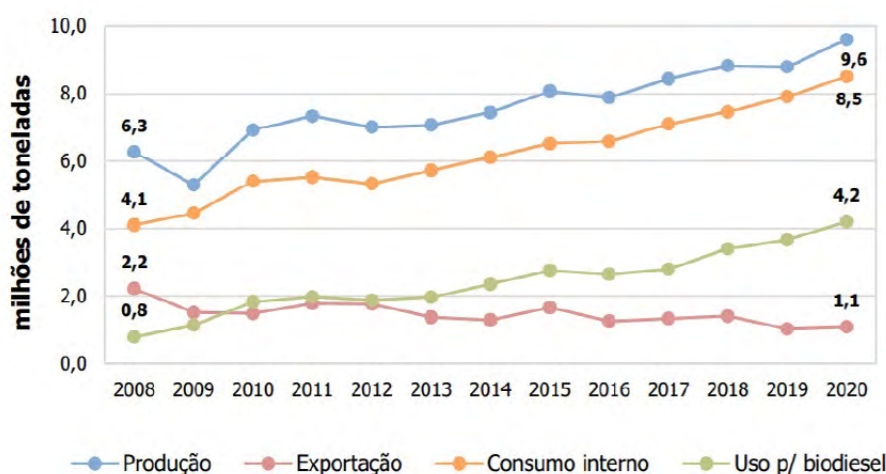
O gráfico da figura 27 expõe o comportamento do mercado de óleo de soja de 2008 a 2020 no Brasil. Vale ressaltar que o consumo interno compreende o óleo para biodiesel, alimentício e outros usos.

¹³¹. Resolução CNPE nº 16, de 2018.

¹³². EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>.

¹³³. EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_ano_2020.pdf>.

FIGURA 27: MERCADO DE ÓLEO DE SOJA PRODUZIDO NO BRASIL



Fonte: Adaptado de ABIOVE, 2021.

Segundo a ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) a produção de óleo de soja entre 2008 e 2020 aumentou 53%. Esse aumento foi devido ao uso desse óleo para o biodiesel, com a elevação dos percentuais mandatórios. Nesse período as exportações de óleo de soja apresentaram queda de 50%¹³⁴.

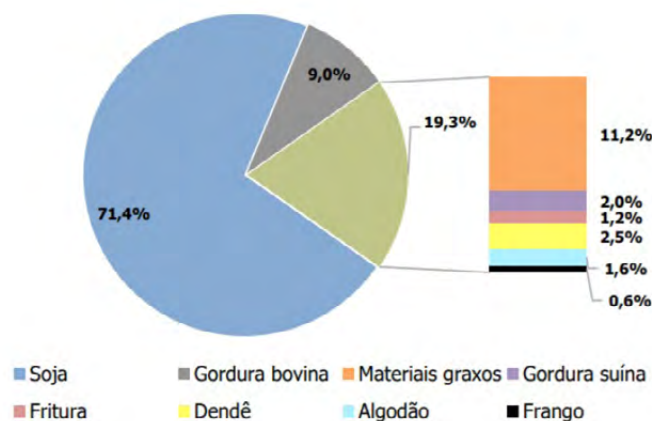
Além das matérias primas comuns, o biodiesel de segunda geração pode ser obtido também por meio dos óleos residuais da indústria alimentícia, que se fazem boas alternativas quanto ao custo e quanto às questões de cadeia produtiva. Porém, têm custo logístico muito elevado, prin-

cipalmente de coleta, o que se torna quase inviável nas condições atuais.

Além disso, a quantidade de combustível produzida por essas fontes não é expressiva para suprir a demanda e, levando em consideração a necessidade de segurança energética, serviria apenas como um complemento à produção extensiva - a diversificação de insumos é essencial para atender as demandas mandatórias de produção e garantir a sustentabilidade da produção. O gráfico da figura 28 demonstra a participação de cada fonte lipídica na matriz brasileira de produção do biodiesel.

134. ABIOVE (2021).

FIGURA 28: MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS PARA A PRODUÇÃO DO BIODIESEL NACIONAL.



Fonte: Adaptado de Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - EPE, 2021.

Na obtenção do biodiesel de base éster, a utilização do metanol é crucial para o processo de transesterificação da produção brasileira, o que reduz a sustentabilidade do biocombustível, uma vez que o insumo é obtido do gás natural. Além disso, sua toxicidade apresenta riscos à saúde humana e à segurança pública e privada, de forma que seu manuseio deve obedecer a todas as regulamentações. O Brasil não tem produção de metanol, sendo obtido por importações. De acordo com a EPE (2020), em 2019 o Brasil importou cerca de 535 mil toneladas de metanol para a produção do biodiesel, advindo majoritariamente do Chile, Trinidad e Tobago, Venezuela e Arábia Saudita.

No contexto de crescimento da participação do biocombustível no setor de transportes, como previsto pelas regulações brasileiras, o investimento financeiro na cadeia produtiva deverá ser

expressivo, de forma a permitir o acompanhamento da demanda e reduzir as necessidades de importação, preparando a indústria para a transição energética. Esse apoio, no início da implementação, surgiu de diversas fontes, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em dezembro de 2004, por meio do Programa de Apoio Financeiro a Investimentos do Biodiesel, e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), em 1995. No entanto, passada a etapa inicial, o fortalecimento financeiro das cadeias produtivas deve ser mantido para que o setor seja sustentável.

2.3.3 Diesel Verde

O diesel verde, que é um biocombustível composto por hidrocarbonetos parafínicos, especificado pela Resolução ANP nº 842/2021, pode ser produzido a partir das seguintes rotas e matérias-primas:

- I. hidrotratamento 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, via processo Fischer-Tropsch;
- 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.

De acordo com a análise da GREENEA (2015), o diesel verde, por ser um hidrocarboneto, pode substituir integralmente o diesel fóssil, sendo a principal rota de produção o hidrotratamento de óleos vegetais (HVO).

Os óleos vegetais usados para produção, mesmo que sejam de qualidade inferior, resultarão em um combustível de alta qualidade, pela química do processo. Dessa forma, o óleo de palma cru, o destilado de ácidos graxos da palma (PFAD), que é um resíduo do processamento do óleo de palma, ou as gorduras animais de qualidade mediana podem ser utilizados como matéria-prima para reduzir os custos de produção. Contudo, apesar das vastas possi-

bilidades de fonte para produção, a complexidade do processo prevê o teste dos mais diversos parâmetros.

O HVO, por ser hidrocarboneto, não possui na sua estrutura oxigênio como o biodiesel, tendo maior estabilidade à oxidação, menor emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) na combustão e desempenho no escoamento em baixas temperaturas com mais eficiência, independentemente da qualidade da matéria-prima, devido ao seu nível do ponto de entupimento do filtro a frio¹³⁵. Outro lado positivo são os coprodutos, como bioquerosene e biopropano, outros biocombustíveis que são utilizados na aviação e na produção do gás natural liquefeito (GNL), respectivamente.

No entanto, apesar das grandes vantagens de utilização, seu custo de produção é superior ao biodiesel, devido aos equipamentos necessários para o processo de hidrogenação.

Atualmente, a maior parcela da produção acontece em plantas de produção de combustíveis fósseis, que utilizam diretamente o hidrogênio obtido na refinaria de petróleo para o processo de hidrogenação e fazem a reação já na mistura com o diesel tradicional, reduzindo os custos com reagentes. Contudo, nesse processo o produto, na verdade, é o diesel de coprocessamento, que possui parcela renovável.

¹³⁵. O método Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (do inglês Cold Filter Plugging Point – CFPP) determina a operabilidade em baixas temperaturas do combustível diesel, biodiesel e misturas. O objetivo é prever a mais baixa temperatura sob a qual um combustível fluirá livremente através de filtros em um sistema de motor a diesel.

A avaliação do GREENEA (2015) destaca ainda a líder internacional na produção do HVO como a empresa finlandesa Neste Oil, com quatro plantas produtivas de qualidade, sendo três na Europa e uma na Ásia, em Cingapura. A empresa ocupa 69% da participação no mercado do biocombustível. Além disso, os autores indicam que a produção de óleo vegetal hidrogenado representava, em 2015, cerca de 9% do mercado de biodiesel, com previsão de crescimento para 16-23% até 2020.

2.3.4 Gás Natural Veicular (GNV)

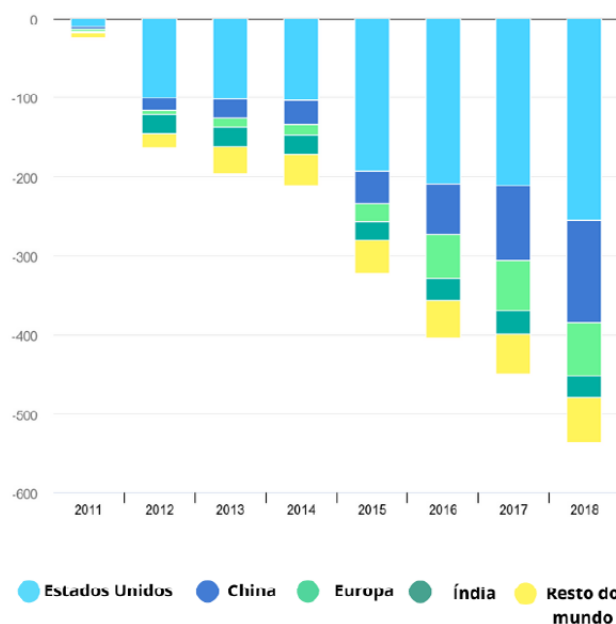
Apesar da sua origem fóssil, o Gás Natural Veicular (GNV) ainda é uma boa alternativa à gasolina e a outros derivados do petróleo, uma vez que apresenta baixa concentração de carbono e, portanto, gera menores níveis de emissão de GEE. Além disso, seu uso já é comum no mercado, tendo um custo acessível.

O combustível, que é uma mistura de hidrocarbonetos leves composta majoritariamente pelo gás metano, seguido do etano e propano, começou a circular no mercado mundial na metade do

século XX, como consequência da busca pela diversificação da matriz energética imposta pela crise do petróleo. Segundo a British Petroleum (2019), o consumo de GNV cresceu em cerca de 195 bilhões de metros cúbicos (5,3%) desde 1984, com crescimento dado principalmente nos Estados Unidos, acelerado pela revolução *do shale gas*; na China, dada pela intensa expansão econômica; e, no Oriente Médio, com a busca pela diversificação da matriz energética, muito associada ao petróleo.

No contexto da descarbonização, as políticas de incentivo à transição energética que estimulam a troca do carvão pelo gás natural são grandes responsáveis pelo crescimento do setor, sobretudo na China – a segunda maior nação em níveis de consumo de GNV. Outro fator que pode ser considerado um incentivo para sua utilização é a melhora da qualidade do ar nos centros urbanos, já que a queima do GNV emite níveis muito reduzidos de óxidos nitrosos (NOx) e sulfurosos (SOx). O gráfico da figura 29 ilustra a estimativa proposta pela IEA (2018) sobre a economia de emissões dada pela transição do carvão para o gás no setor energético.

FIGURA 29: ESTIMATIVA SOBRE A REDUÇÃO DE EMISSÕES PELA SUBSTITUIÇÃO DO CARVÃO PELO GÁS NO SETOR ENERGÉTICO



Fonte: IEA, 2018. Adaptado de IEA, CO₂ savings from coal-to-gas switching in selected regions compared with 2010, 2018, IEA, Paris <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-savings-from-coal-to-gas-switching-in-selected-regions-compared-with-2010-2018>>

De acordo com a IEA, desde 2010, a estimativa é que a substituição do carvão para o gás tenha evitado a emissão de cerca de 500 milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono, isto é, a mesma redução de emissões equivalente à implementação de 200 milhões de veículos elétricos zero-carbono na mobilidade urbana.

Contudo, o uso do GNV se mantém economicamente restrito às regiões com disponibilidade do recurso fóssil, pois, ainda que o gás natural já esteja mundialmente difundido e a globalização contribua cada vez mais para o crescimento do comércio internacional, o transporte do gás natural, mesmo que liquefeito, na grande maioria das vezes ainda não compensa o custo.

2.3.5 Biometano

O biometano é um biocombustível gasoso, reconhecido como substituto sustentável do gás natural, que pode ser utilizado também para a produção independente de calor e energia elétrica. A decomposição por digestão anaeróbica de matéria orgânica em um ambiente controlado, como uma estufa, gera o biogás, que pode ser purificado para a obtenção do biometano. Existem diversas fontes de resíduos orgânicos que podem ser destinados a esse processamento, sendo as mais comuns: provenientes de atividades da agropecuária e da silvicultura; e, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes.

A característica de reaproveitamento é um dos principais pontos favoráveis ao biogás, sobretudo em países com grande produção agropecuária de extensão, e, consequentemente, grande produção de resíduos orgânicos, que seriam destinados a aterros sanitários.

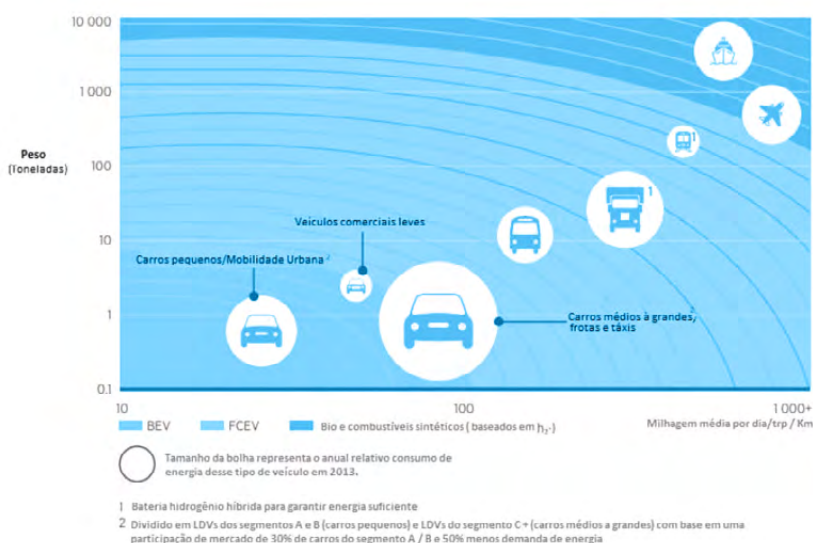
2.3.6 Hidrogênio

O hidrogênio é uma fonte energética de alto poder calorífico (mais que três vezes o poder calorífico da gasolina), leve, estocável e com capacidade de garantir uma oferta energética limpa e segura. No entanto, para que sua participação na transição energética seja vantajosa, torna-se necessária sua introdução no setor de transportes¹³⁶. Neste, a utilização do hidrogênio se dá em veículos elétricos de célula de combus-

tível (FCEV - *fuel cell electric vehicles*), nos quais a eletricidade ocorre a partir de uma reação eletroquímica entre o hidrogênio e o oxigênio, apresentando elevado grau de eficiência e cujo único subproduto é a água.

Com a aplicação no setor de transportes, as células de hidrogênio se mostram adequadas à substituição dos veículos a diesel em rodovias, além de apresentarem a leveza como vantagem frente aos veículos elétricos, que contam com baterias pesadas. Apesar disso, os FCEV devem ser considerados complementares aos veículos elétricos com baterias, uma vez que suas vantagens dependem das especificações do uso (IRENA, 2018). A figura 30 demonstra a segmentação de demandas energéticas dos modais de transporte, baseadas em consumo energético e tamanho das rotas.

FIGURA 30: DEMANDAS ENERGÉTICAS DOS MODAIS DE TRANSPORTE



Fonte: IRENA, 2018.

¹³⁶. International Energy Agency (IEA), 'The Future of Hydrogen' (2019) <<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>> Acessado em 14 de março de 2021.

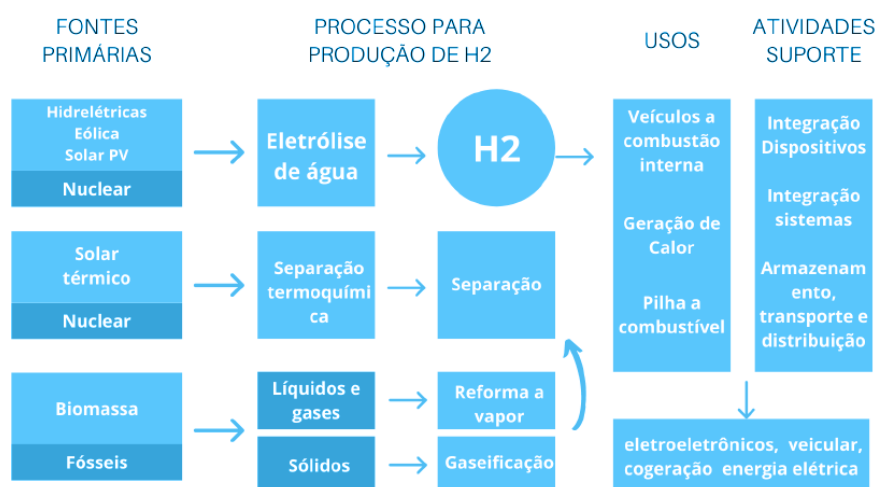
De acordo com a IEA (2020)¹³⁷, a capacidade de eletrólise para produção de hidrogênio traçou um cenário promissor em 2019, e o mercado de veículos elétricos com células de hidrogênio quase dobrou, devido ao crescimento expressivo em vendas na China, Japão e Coreia, chegando a 12.350 veículos vendidos. Ainda assim, os Estados Unidos se mantêm na liderança quanto à presença de FCEVs em circulação.

Apesar do cenário promissor, os desafios dos veículos a hidrogênio aparecem ao analisar a cadeia produtiva das células, em especial a rota de produção do hidrogênio e a implementação dos postos de abastecimento e distribuição, que ainda dependem de tecnologias avançadas. Para contornar o obstáculo de sua obtenção, que frequente-

mente é feita com uso de combustíveis fósseis e, assim, é responsável por níveis consideráveis de emissões de CO₂, a inovação tecnológica contribuiu para o recente desenvolvimento de células obtidas pela hidrólise da água – o hidrogênio verde –, que, no entanto, corresponde a apenas 4% da produção mundial de hidrogênio (IRENA, 2018). Segundo a IEA (2020), a principal saída para a obtenção do hidrogênio, atualmente, é através da combinação das tecnologias convencionais de produção com um plano de captura e armazenamento de carbono, já que o processo de hidrólise da água ainda é muito custoso e pouco produtivo.

A figura 31 apresenta os processos de produção do hidrogênio a partir de diferentes matérias-primas até suas principais aplicações:

FIGURA 31: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA OBTENÇÃO DO HIDROGÊNIO



Fonte: adaptado de EPE (2021).

137. IEA. Hydrogen <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydrogen>>

Diversas matérias primas renováveis podem ser utilizadas para a obtenção do hidrogênio, como a água e diferentes tipos de biomassa e biocombustíveis líquidos e gasosos (EPE, 2021). Para o processo de eletrólise da água, o nível de impacto ao meio ambiente será medido também pela fonte de obtenção da eletricidade utilizada no processo, que pode ser de origem renovável ou não. Além disso, existem duas tecnologias diferentes para o processo de eletrólise: a alcalina clássica, que promove a dissociação da molécula de água em hidrogênio e oxigênio, por meio de reações de oxirredução (PALHARES, 2016); e, a membrana polimérica eletrolítica (PEM) (EPE, 2021).

Com o intuito de acelerar o processo de descarbonização, em alguns países desenvolvidos, como o Japão, o hidrogênio verde já é considerado o “combustível do futuro”, e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento para baratear a implementação preveem uma participação em grande escala na matriz energética internacional. Até 2017, a escala de utilização ainda era muito pequena, com cerca de 8 mil veículos em circulação ao redor do mundo (IRENA, 2018). Alguns projetos ganharam destaque em 2019¹³⁸, entre eles:

- O Japão, a Comissão Europeia e os Estados Unidos assinaram um acordo de parceria para cooperação no desenvolvimento de tecnologias para células de hidrogênio (DOE, 2019);

- A Coreia do Sul anunciou um planejamento de uso do hidrogênio baseado em planos econômicos, que busca atingir um crescimento exponencial na produção de carros FCEV, além do desenvolvimento de tecnologia de transporte com hidrogênio para veículos pesados (KOREA, 2019);
- A Holanda incluiu metas para a produção de hidrogênio (500 MW de capacidade de eletrólise instalada até 2025, e 3 GW a 4 GW até 2030) e aumento dos estoques de veículos funcionando com células de hidrogênio em um novo Acordo Sobre Mudanças Climáticas;
- No Canadá foi lançada a “Iniciativa do Hidrogênio” no Evento Ministerial de Energia Limpa (CEM10), que, sob a coordenação da IEA, busca impulsionar a colaboração internacional para políticas e projetos de uso comercial do hidrogênio como fonte energética (CEM, 2019);
- O governo australiano publicou a “Estratégia Nacional do Hidrogênio”, definindo 57 ações de regulamentação, infraestrutura e pesquisa e desenvolvimento, a fim de posicionar o país como líder global em produção e exportação de hidrogênio (COAG ENERGY COUNCIL, 2019).

No caso do Brasil, apesar de estar atrasado em relação aos países do Norte geopolítico, tem potencial promissor na implementação da cadeia produtiva de hidrogênio no setor de transportes, uma vez que já possui predominân-

¹³⁸. International Energy Agency (IEA), ‘Hydrogen’ (2020) Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/hydrogen>>. Acesso em 14 de março de 2021.

cia de fontes renováveis na matriz energética, com uma perspectiva decrescente de custos, como será explorado no capítulo 3.

Para a expansão da produção de hidrogênio como uma fonte energética limpa, torna-se necessário o incentivo governamental, buscando alcançar as metas relativas às mudanças climáticas, além de melhoria na qualidade do ar e garantia da segurança energética, já que sua produção ainda está em etapas iniciais, e o caminho para redução dos custos se mostra imprevisível (IEA, 2020). Dessa forma, de acordo com a Agência Internacional de Energia (2020), uma boa estratégia seria a definição do papel do hidrogênio nas políticas energéticas de longo prazo, de modo que sejam estabelecidas metas claras para estimular as iniciativas industriais com mais confiança.

Em termos de infraestrutura, a utilização dos sistemas de gás natural pode ser uma boa saída para a redução de gastos e promoção da utilização do hidrogênio, através das políticas de combinação de combustíveis com potencial de emissão de CO₂ reduzido (IEA, 2020). Além disso, o investimento em pesquisa e desenvolvimento é essencial para aumentar a competitividade da produção do hidrogênio verde, propiciando o aumento de produtividade e redução de custos operacionais.

2.4 MODAIS DE TRANSPORTE

A presença de um planejamento energético ambiental e socialmente consciente prova-se necessária diante da perspectiva de disponibilidade de recursos fósseis no futuro próximo.

Muitas nações de industrialização tardia, por exemplo, ainda possuem uma matriz energética majoritariamente não-renovável e dependente de fontes ricas em carbono, como é o caso da China, da Índia e da África do Sul, nações ainda altamente dependentes do carvão. Nesse sentido, quando levada em conta a origem da energia elétrica, a eletrificação do setor de transportes torna-se quase irrelevante do ponto de vista ambiental. Apesar de o setor ser o grande contribuinte para as emissões de GEE, a transição energética do ramo deve ser planejada de forma que seja viável, considerando as características de disponibilidade energética do país em questão.

No caso do Brasil, com uma matriz energética em grande parte hidrelétrica, a eletrificação de veículos aparece como uma perspectiva crescente e positiva em termos de redução das emissões. Entretanto, os elevados subsídios atualmente necessários para viabilizar a compra de veículos elétricos e em infraestrutura de carregamento podem indicar que não seria o melhor caminho a ser adotado no país. Por outro lado, a bioeletrificação com célula de combustível a etanol seria uma alternativa em que se aproveita a infraestrutura de abastecimento existente para etanol, combinando tanto emissões zero no escapamento quanto produção de biomassa sustentável.

No contexto atual, em meio à crise econômica decorrente da pandemia do Coronavírus, a segurança energética prevalece como pilar essencial do planejamento energético, definida pela garantia de estoque da quantidade de combus-

tível necessária para o consumo interno, de forma que não exista a necessidade de importação, e de independência das fontes fósseis.

Apesar do contexto pandêmico ser recente, as crises econômicas atreladas ao mercado de combustíveis são constantes na história e diversas vezes serviram de incentivo para uma transição energética. Desde o início das Revoluções Industriais, o setor de transportes é o grande catalisador das reformas, e assim, das transições energéticas. Com o uso do carvão, desde a Primeira Revolução Industrial, e então o petróleo, na Segunda Revolução Industrial, a mobilidade sempre foi o grande motor da industrialização, de forma que esse papel permanece até os dias atuais. Seja no transporte de carga, presente em todos os modais, ou o transporte de passageiros, principalmente dado por veículos leves e transporte aéreo, o setor possui participação primordial na economia mundial, além de servir de reflexo da industrialização de cada país. Esse pode ser apontado como o motivo para a transição energética já ter se estabelecido em diversos países, sobretudo os de industrialização mais precoce, que sofreram com a escassez dos recursos fósseis em seus territórios antes do resto do mundo.

No contexto do planejamento para a transição, a fonte de biomassa sustentável ocupa posição de destaque e estimula a produção de alimentos, como no caso do biodiesel, em que o aumento da necessidade de esmagamento de soja para produção de óleo aumenta a disponibilidade de farelo para ração animal.

Sobre à atuação de políticas governamentais, o investimento no transporte público, desde ampliação de rotas à atualização da infraestrutura de veículos e estações, impacta de forma significativa na redução das emissões de GEE e, principalmente, na qualidade de vida da população, uma vez que, com menos emissões locais nos centros urbanos, melhoram os níveis de qualidade do ar e caem os de poluição visual e sonora.

São muitas as estratégias de transição no setor de transporte para a contenção, e posterior redução, das emissões de GEE. Portanto, um plano energético eficiente consiste em identificar os pontos-chaves: disponibilidade de recursos, modalidades responsáveis pelas maiores emissões, cenários mais propensos à mudança e melhores possibilidades de retorno dos investimentos.

Assim, a transição energética no setor de transportes não se dá pela simples mudança de combustíveis. De acordo com Ramli *et al* (2018), a mudança deve conter propostas específicas para cada setor, e incluir investimentos e ampliação da matriz de transporte público, eletrificação de veículos e aumento de eficiência energética de combustíveis, além da troca para biocombustíveis (em especial no Brasil).

No cenário brasileiro, o CNPE é o órgão responsável pelo estabelecimento das metas de redução de emissões, regulando a comercialização e distribuição dos combustíveis em território nacional, tendo compromisso com a melhora

na intensidade de carbono da matriz brasileira de combustíveis nos próximos 10 anos. Em 2019, foi implementada a Política Nacional de Biocombustíveis, que utiliza das ferramentas de certificação de biocombustíveis e créditos de descarbonização (CBIO), para definir ações que permitam atingir as metas anuais de redução da intensidade de carbono. Com o estabelecimento do RenovaBio, já abordado no capítulo 1, torna-se possível analisar a eficiência energético-ambiental de cada unidade industrial e assegurar a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa com a utilização de biocombustíveis, que são competitivos frente à redução emissões de GEE por veículos elétricos em outros países, ao se considerar a análise do ciclo de vida do poço à roda e não somente do tanque à roda.

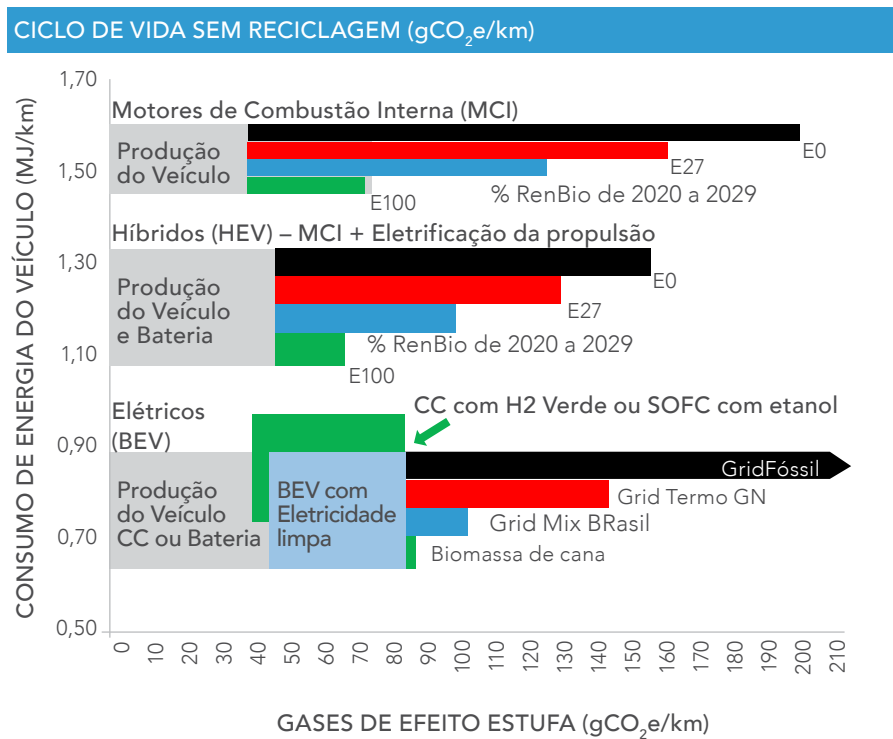
Desde o Acordo de Paris, a indústria de energia investe de forma considerável no setor de pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis, buscando formas de introduzir os novos elementos sem a necessidade de grandes mudanças estruturais. Ou seja, buscando aproveitar a infraestrutura instalada para a produção/distribuição dos “combustíveis antigos”, além da

forma de consumo: assim foi a introdução dos *carros flex*.

Para avaliar a eficiência energética de certo combustível, muito se fala sobre seu poder calorífico, isto é, a quantidade de energia liberada na combustão de uma unidade de massa ou volume de gás. Apesar dessa medida ser apropriada, é importante ressaltar que não pode ser o único fator considerado para a análise – deve-se também investigar a eficiência do motor associado a esse produto e à octanagem, sendo essa reservada para combustíveis de origem orgânica, que mede a resistência do combustível à pressão sofrida por ele dentro da câmara de combustão dos motores do ciclo Otto.

A análise de ciclo de vida do “poço à roda” mostra que os veículos com motores de combustão interna possuem emissões entre 70-80 g/CO₂eq quando abastecidos com E100, enquanto veículos elétricos quando a geração da energia é realizada com base em combustíveis fósseis é superior a 200 g/CO₂eq. Nessa linha, a análise das soluções da mobilidade sustentável deve levar em consideração as emissões na etapa de geração da energia (Figura 32).

FIGURA 32: COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DO VEÍCULO E EMISSÕES DO POÇO À RODA



Fonte: Abreu, 2021.

Tendo em vista as diferenças dos estudos de análise de ciclo de vida, a Força-Tarefa 39 da IEA Bioenergia (IEA Bioenergy Task 39) impulsionou um estudo em 2019 sobre a acurácia dos modelos internacionais de ACV para determinar a sustentabilidade de biocombustíveis. Os resultados demonstram que as emissões de GEE pelas análises podem chegar a valores muito distintos devido à ausência de padronização internacional de alguns critérios de sustentabilidade, como práticas agrícolas e emissões indi-

retas relacionadas à eletricidade para a colheita ou emissões na produção de fertilizantes (IEA BIOENERGY, 2019).

Essa abordagem sustenta o nível de diversificação do mercado de biocombustíveis que é, por natureza, uma indústria muito ampla, dadas as diferentes matérias-primas, formas de produção e produtos finais que podem ser obtidos, além dos próprios objetivos que o biocombustível visa atender, nas diferentes modalidades de transporte.

O transporte rodoviário com veículos leves é utilizado, principalmente, para o transporte de passageiros e mercadorias, sendo vantajoso quando se trata de curtas distâncias ou terrenos acidentados e/ou de difícil acesso. De acordo com o relatório *Accelerating The Low-Carbon Transition*, o setor é responsável por 7% das emissões totais mundiais de GEE – o maior contribuinte dos modais de transporte devido ao tamanho e circulação das frotas – com tendência para crescimento (VICTOR; GEELS; SHARPE, 2019). As previsões do Fórum Econômico Mundial apontam para uma frota praticamente duplicada até 2040 (SMITH, 2016).

Nas estatísticas de 2020, a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) indica que em 2019 foram licenciados 2,7 milhões de veículos leves novos no Brasil, 7,7% a mais que em 2018. Os veículos leves são especificados pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) como os correspondentes a “ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel, utilitário, caminhonete e camioneta”¹³⁹. Esses veículos comumente fazem uso de combustíveis fósseis para abastecimento, além do etanol. Quando separadas por combustível, as licitações da categoria “flex” apresentaram a maior participação, com 87,4%, seguidas pelas dos veículos a diesel com 9,4%, a gasolina com 2,8% e uma pequena parcela de veículos híbridos (11.858 unidades, 0,4% do total).

A transição energética neste setor deve se basear, sobretudo, na criação de estratégias que provoquem a aceitação do consumidor: antes de introduzir e investir em um novo biocombustível para o mercado, deve-se analisar como será sua recepção, considerando questões de custo de abastecimento e manutenção, eficiência do motor e desempenho do veículo adaptado. Nesse contexto, cabe destacar a presença e o papel dos veículos elétricos, que se apresentam mais vantajosos e são as grandes apostas para o desenvolvimento do setor, sobretudo em regiões com matriz energética sustentável de grande disponibilidade de energia. O papel dos biocombustíveis também é relevante para contextos específicos, mas está em segundo plano frente à revolução tecnológica e às questões de segurança energética.

A indústria automobilística está se tornando a grande engrenagem do processo de eletrificação, estabelecendo a metamorfose da indústria na implementação dos EVs e rompendo totalmente com o cenário histórico de veículos a combustão. Nessa direção, a produção dos EVs cresce rapidamente, tendo ultrapassado, em 2019, oito milhões em circulação (1% da frota total de veículos), com a previsão de chegar em 380 milhões até 2030¹⁴⁰. Apesar do crescimento expressivo, a distribuição geográfica das frotas, como já abordado, é assimétrica: quase metade dos EVs estão nas ruas da China (45%), e a outra metade, em sua maioria,

¹³⁹. Resolução CONTRAN nº 340 de 25/02/2010.

¹⁴⁰. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), ‘Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050’ Abu Dhabi (2020).

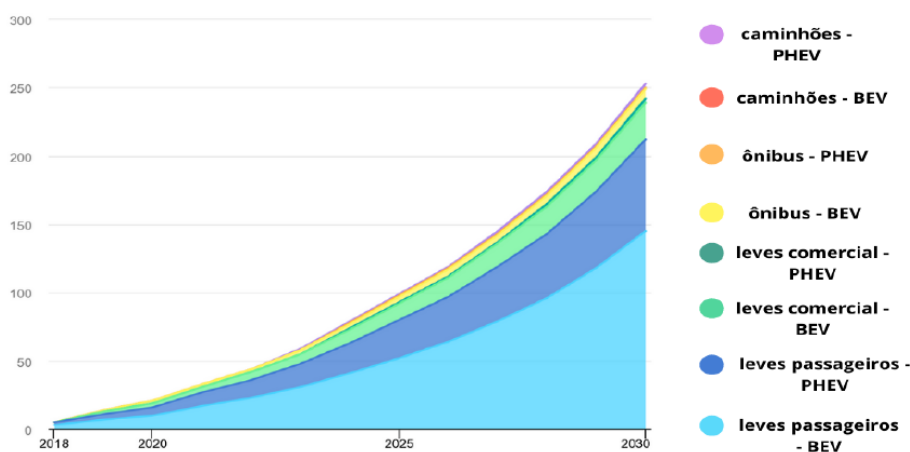
na Europa (24%) e Estados Unidos (22%)¹⁴¹, como mostra a figura 14.

No Brasil, a matriz energética se mostra como uma variável favorável à eletrificação, já que se compõe majoritariamente por usinas hidrelétricas, e as condições geográficas permitem que a produção supra a demanda interna. Contudo, as distâncias a serem percorridas, isto é, o tamanho das rotas em um país de longa extensão geográfica, podem ser um impasse que precisará de um

investimento considerável para implementação de estações de abastecimento.

Considerando a classificação de veículos elétricos disposta na seção 2.2.1 (Tecnologia), a figura 33 ilustra a presença de cada modalidade no mercado, de 2018 até o cenário previsto de transição energética em 2030. A maior participação futura vem dos BEV, seguidos dos PHEV, em veículos de passageiros, comerciais, ônibus e caminhões.

FIGURA 33: ESTOQUE GLOBAL DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO CENÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Fonte: IEA, 2019¹⁴².

¹⁴¹. 'Global EV Outlook 2019', IEA, 2019.

¹⁴². IEA, Electric vehicle stock in the EV30@30 scenario, 2018-2030, IEA, Paris <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-vehicle-stock-in-the-ev3030-scenario-2018-2030>>

Apesar das vantagens de eficiência energética e redução de emissões, além da diversidade de modelos, a adaptação dos consumidores aos veículos elétricos ainda é baixa, uma vez que os preços não são atrativos. Portanto, sua competitividade depende diretamente de um planejamento energético, que guie investimentos e permita arrecadação de impostos no setor para criação de políticas de incentivo à demanda. Os países como a Noruega e a China, por exemplo, que já possuem grande presença de EVs em circulação, criaram incentivos como isenção de impostos para os novos modelos, além de terem estabelecido prioridades de ocupação de vagas em centros urbanos.

Ao plano de eletrificação compete a análise da matriz de geração de energia elétrica e seu transporte para as estações de abastecimento, a própria implementação das estações de abastecimento, padronização das conexões e estruturas das tarifas e as formas de retorno de investimento, além das regulamentações de normas de segurança. O primeiro fator já está em crescimento acelerado (principalmente no setor privado), e segundo a IEA, em 2019, o número de estações de carregamento chegou a 5,2 milhões, 44% a mais do que em 2017.

A Agência Internacional de Energia também estima que as emissões de CO₂ seriam reduzidas em cerca de 220 Mt em um cenário de desenvolvimento sustentável com a inclusão em grande escala de veículos elétricos no setor de transportes.

O processo de crescimento dos EVs, no entanto, enfrentará o grande desafio da crise econômica

mundial provocada pela pandemia da Covid-19, cujos impactos de curto e longo prazo sobre a economia global podem desacelerar as vendas em grande escala. A *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) analisou os próximos passos a partir de três cenários de recuperação diferentes - no mais provável, a previsão é que a venda de EVs caia 18% em 2020, em relação a 2019, e volte a crescer com comportamento em 'V' a partir de 2021 (BLOOMBERGNEF, 2020). A hipótese é que essa queda inicial seja decorrente de:

- Queda no poder de compra da população;
- Efeito dos menores preços dos combustíveis fósseis, reduzindo a competitividade dos EVs; e,
- Redução do ritmo dos investimentos em EVs e na expansão da infraestrutura.

No relatório de recuperação econômica do cenário pós-Covid, a IRENA (2020a) expõe que, para atingir a previsão de substituição da frota, a produção de 34 milhões de veículos elétricos por ano até 2030, precisaria de um investimento de cerca de US\$ 303 bilhões apenas para as baterias, que custam quase metade do valor total do veículo. A melhor opção para essa barreira de investimento inicial ser ultrapassada é a adoção de subsídios pelo governo, para incentivar as vendas.

Dessa forma, os veículos elétricos potencialmente fornecerão uma grande contribuição à redução de emissões do setor de transportes com consequências indiretas ao sistema elétrico, como a possibilidade de os próprios veículos servirem como recursos energéticos de produção e armazenamento.

2.4.1 Motores de Combustão com
Uso de Biocombustíveis

O principal biocombustível no setor de veículos leves é o etanol, que compete diretamente com a gasolina na relação custo-benefício. Nesse setor, os combustíveis tendem a convergir em características de consumo, ou seja, utilizam basicamente as mesmas redes de distribuição e tecnologias de combustão. Dessa forma, facilitam a implementação no mercado, tanto em

suas formas puras, quanto em misturas com combustíveis fósseis, como já ocorre com o etanol e a gasolina, por exemplo. Como mencionou Acquaye et al. (2012), a sustentabilidade da indústria energética aumenta significativamente à medida que essas estruturas de mercado e transporte são compartilhadas.

Para os diferentes tipos de combustíveis, as emissões de GEE variam em motores a combustão de acordo com a tabela 10:

TABELA 10: EMISSÕES DE CO₂ PARA DIFERENTES COMBUSTÍVEIS

Emissões de CO ₂ para diferentes combustíveis		
Combustível	Emissão em g/ L	Emissão em g/ MJ
Gasolina	2,328	72,8
Diesel	2,614	72,6
GLP	1,553	65,0
Etanol de beterraba	1,503	71,6
Etanol de trigo	1,503	71,6
Biodiesel	2,486	75,3

Fonte: Forest Research, 2021

No entanto, cabe lembrar que a análise completa de emissões é feita por *análise de ciclo de vida*, que inclui as emissões das cadeias de fornecimento, técnicas de produção, distância de transporte, entre outros, além da combustão direta. Em comparação aos veículos elétricos, a quantidade de emissões é totalmente dependente do ciclo de vida da fonte energética (MESSAGIE, 2014).

No Brasil, em 2020, os veículos leves do ciclo Otto caíram 9,2% a demanda total de energia sobre o ano anterior. De acordo com os dados da EPE (2021), o valor foi de 49,8 bilhões de litros de

gasolina equivalente. Essa redução na demanda foi ocasionada devido aos reflexos pela pandemia de Covid-19 no mercado brasileiro de combustíveis, pois as medidas de isolamento social, a disseminação do trabalho remoto e a crescente atividade do comércio digital e das entregas domiciliares, colaboraram para a redução no transporte de passageiros.

Para que as metas de uma transição energética sustentável sejam alcançadas, existem algumas abordagens, que incluem, em sua maioria, a redução da frota de veículos leves, uso de combustí-

veis alternativos e a eletrificação do setor. Dessa forma, uma ação coordenada se basearia em:

- Redução da demanda de veículos leves por meio de investimentos em transporte público municipal e intermunicipal, planejamento urbano e transporte ferroviário;
- Políticas de incentivo para utilização de veículos elétricos ou com combustíveis alternativos, como pistas e vagas de estacionamento exclusivas/preferenciais;
- Adoção de tarifas ou subsídios para reduzir os custos de compras de veículos elétricos ou com combustíveis alternativos; e,
- Compras coordenadas de veículos elétricos ou a combustíveis alternativos para transporte fretado e empresas ou órgãos governamentais.

Além disso, importa ressaltar que se espera que as tecnologias das baterias utilizadas na eletrificação sejam capazes de gerar veículos elétricos mais sustentáveis no futuro, especialmente em relação à reciclagem desses componentes, e que o setor esteja em constante desenvolvimento para alcançar a máxima eficiência, considerando os materiais de produção e aerodinâmica do modelo.

Para um cenário mais próximo e economicamente viável às nações em desenvolvimento, a utilização de biocombustíveis compatíveis com os motores a combustão em circulação, que podem ser inseridos nas estruturas já existentes, deve ser cuidadosamente considerada a fim de que o país atinja as metas de redução de emissões estabelecidas para os próximos 10 anos.

De acordo com Abreu, R. S. (2021), nenhuma estratégia de transição energética para veículos leves reduziria a pegada de carbono mais rapidamente do que o processo de introdução de biocombustíveis aos combustíveis fósseis em circulação, por exemplo, a mistura do biodiesel ou HVO ao diesel. Essas medidas poupariam a necessidade de investimento em uma nova frota de veículos e principalmente, uma nova rede de abastecimento, mudanças possivelmente fora do alcance financeiro dos países emergentes.

Além disso, a abordagem de utilização de biocombustíveis pode ainda ser otimizada por meio do desenvolvimento e produção de motores mais eficientes nos veículos a combustão, com melhorias tecnológicas que os tornem mais leves e reduzam o desperdício energético e a poluição do ar nas cidades. Para um cenário futuro, as células de combustível com hidrogênio verde prometem revolucionar a frota de veículos leves, mas a falta de pesquisa e desenvolvimento na tecnologia tornam essa possibilidade ainda distante do alcance do mercado em escala.

Tanto no cenário internacional quanto no nacional, já se notabilizam diversos projetos atuando no sentido de redução de emissões para as frotas de veículos leves, são eles:

- No Brasil, o Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), criado em 1986, estabelece metas de redução de emissões através da regulamentação de limites de emissões e padrões de combustão para veículos do Ciclo Otto. Além disso, em 2008, foi introduzido o programa de etiquetagem de eficiência

energética para veículos leves (PBE Veicular), que busca fomentar o consumo consciente no mercado de transporte de passageiros. Em 2018, o Governo Federal estabeleceu a Lei nº 13.755, conhecida como Rota 2030 – Mobilidade e Logística, que objetiva desenvolver tecnologicamente o setor automotivo do país, concedendo incentivos fiscais aos produtores que cumpram metas de reduções de emissões, aumento de eficiência e otimização logística da mobilidade nacional, de forma a garantir a competitividade internacional da indústria automotiva brasileira.

- Nos Estados Unidos, a iniciativa *Diamond Green Diesel*¹⁴³ combina a expertise de preparo de matéria-prima para processamento da empresa Darling Ingredients Inc. com a experiência de produção de diesel renovável e transporte da empresa Valero Energy Corporation e se tornou uma das maiores produtoras de biodiesel de baixo carbono do mundo, entregando cerca de 1100 milhões de litros por ano, com grande potencial de crescimento. Além disso, o governo da Califórnia, através do CARB¹⁴⁴, contribui para o desenvolvimento de “carros limpos” através de regulamentações de veículos de baixa emissão (LEV, em inglês), buscando a fabrica-

ção que mantenha performance e segurança e almeje por transporte zero-emissão.

- Na França, o projeto *Mobilitéé H2 France* conta com um consórcio de investidores públicos e privados coordenados pela Associação Francesa de Hidrogênio e Células de Combustível (AFHYPAC)¹⁴⁵ para estudo da viabilidade de implementação do hidrogênio no setor de transportes francês. Simultaneamente, outros projetos focam no desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração, como é o caso do BioTfuel¹⁴⁶, que faz a conversão termoquímica de biomassa lignocelulósica, produzindo biodiesel totalmente miscível ao diesel comum, e do Futurol¹⁴⁷, uma iniciativa de P&D que envolve toda a cadeia produtiva para o etanol de segunda geração.
- Envolvendo diversos países, coordenados pela IEA, os projetos de *Technology Collaboration Programme*¹⁴⁸ atuam em diferentes obstáculos para tornar o setor automotivo sustentável, entre eles: o desenvolvimento de células avançadas de combustível, desenvolvimento de materiais avançados para transporte de combustível e redução do peso de veículos e estudo de combustíveis avançados para motores a combustão.

143. Veja mais em: <https://www.diamondgreendiesel.com/>.

144. California Air Resource Board. Low-Emission Vehicle Program <<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-emission-vehicle-program/about>>

145. France Hydrogène <<https://www.afhypac.org/mobilite-hydrogene-france/en/>>

146. TotalEnergies. BioTfuel: developing Second-Generation Biofuels <<https://totalenergies.com/energy-expertise/projects/bioenergies/biotfuel-converting-plant-wastes-into-fuel>>

147. Axens. Cellulosic Ethanol. <<https://www.axens.net/product/process-licensing/20121/futurol.html>>

148. IEA. Transport. Research and Analysis of technologies such as fuel cells, EVs, emission reductions in combustion as well as advanced materials and fuels. <<https://www.iea.org/areas-of-work/technology-collaboration/transport>>

Sendo assim, destaca-se que nem todos os modelos de transição energética que se aplicam a países desenvolvidos e de alto poder econômico podem ou devem ser implementados em países em desenvolvimento. Sendo a transição um processo econômico e social, esta deve se atentar ao que uma economia sabe fazer, tem de expertise em termos de energéticos disponíveis, e principalmente, esteja adequado ao poder de compra de sua população.

2.4.2 Veículos Pesados

O transporte rodoviário, consolidado majoritariamente pelos chamados “veículos pesados” (ônibus e caminhões) contribui com cerca de 3% para as emissões de gases de efeito estufa, conforme reportado pelo relatório *Accelerating the Low Carbon Transition* (VICTOR; GEELS; SHARPE, 2019). De acordo com a IEA, esse valor cresce a uma taxa de cerca de 2,2% ao ano, com 80% provenientes de caminhões. Essa modalidade de transporte responsabiliza-se, sobretudo, pelo deslocamento de produtos em países sem região costeira notável para o tráfego marítimo ou com malha ferroviária reduzida, além do transporte em curtas distâncias.

O impacto desses veículos no total de emissões é notável, uma vez que o consumo de combustível é diretamente proporcional ao tamanho do veículo e à extensão da rota, e os combustíveis utilizados no setor ainda são majoritariamente provenientes de fontes fósseis. Em países de grande extensão territorial, agrava-se ainda mais

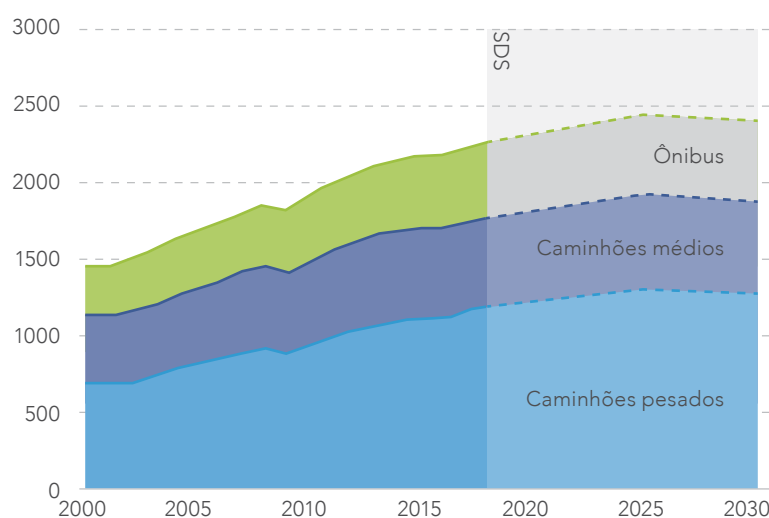
essa característica, de forma que, nesses casos, uma estratégia para redução de emissões, além do aumento da eficiência energética, seria a substituição do transporte rodoviário por uma malha ferroviária, desde que conte com tecnologia energética e funcione a base de eletricidade ou combustíveis renováveis. Estima-se que a alteração do transporte rodoviário por ferroviário ou marítimo seria capaz de reduzir em até 85% as emissões de dióxido de carbono do setor (VICTOR; GEELS; SHARPE, 2019), mas a mudança parece improvável no futuro próximo, de forma que o foco de desenvolvimento do setor atualmente está na eletrificação e/ou utilização de combustíveis alternativos.

Os ônibus, apesar de se encaixarem na categoria de veículos pesados, estão à frente no progresso pela transição energética no setor, com veículos elétricos já em circulação em diversas regiões. No Brasil, as operadoras de transporte público nas capitais estão investindo na transformação de suas frotas: o destaque é da Cidade de São Paulo, que introduziu 15 ônibus elétricos nas rotas da capital, através da concessionária Transwolff. Apesar da transição através de biocombustíveis ser relativamente mais fácil de alcançar em relação à infraestrutura, é preciso estabelecer um planejamento energético global, que considere também as demandas dos outros setores ao estabelecer uma estratégia para um modal específico. Dessa forma, torna-se pertinente priorizar a produção de biocombustíveis (que tem oferta limitada) para os setores que apresentam mais obstáculos para eletrificação, como o aéreo e o marítimo.

A figura 34, extraída das análises da IEA, exprime a contribuição de cada tipo de veículo pesado para a emissão de dióxido de carbono no cená-

rio de desenvolvimento sustentável, de 2000 a 2030. A menor contribuição dos ônibus para o total é notável.

FIGURA 34: CONTRIBUIÇÃO DE CADA TIPO DE VEÍCULO PESADO PARA A EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO



Fonte: IEA, 2019.

Mesmo com a iminência da revolução tecnológica, que impulsiona a digitalização de processos e eletrificação do setor energético como um todo, os produtores de veículos ainda mostram resistência em acompanhar a evolução devido aos custos do processo e às incertezas de retorno econômico, enquanto os caminhões que utilizam combustíveis fósseis ainda apresentam uma margem de lucro considerável.

Nesse sentido, o maior incentivo para a transição é a perspectiva de futuro, uma vez que para se manter no mercado as companhias devem continuar competitivas e já existe uma faísca de produção sustentável de veículos pesados pelas empresas Tesla e sua atual concorrente Nikola¹⁴⁹, a chinesa BYD e a alemã Daimler¹⁵⁰, que se aproveitam dos seus conhecimentos de eletrificação de veículos leves, já bem difundidos.

¹⁴⁹. Apesar de ainda não estar no mercado, a Nikola anunciou, em junho de 2020, o desenvolvimento de caminhões elétricos com células de hidrogênio, que devem estar no mercado em 2023. O modelo elétrico com uso de bateria, o 'Tre', está previsto para circulação já em 2021. (Forbes, 2020)

¹⁵⁰. A empresa, maior produtora internacional de caminhões, espera que sua versão elétrica com capacidade de percorrer 400km diretos esteja sendo produzida em 2021.

Na impossibilidade de eletrificação, a alteração dos combustíveis fósseis por biocombustíveis se torna a melhor saída para alcançar as metas da transição energética - essa solução já é adotada em diversos países, incluindo o Brasil. Para o setor, estima-se que o GNL e o biometano produzam os melhores resultados, em questão de viabilidade de produção em grande escala e custo de investimento. Para essa abordagem, alguns agentes deverão assumir um papel de promotores da transição, são eles:

- Órgãos governamentais dos estados ou regiões, criando regulamentações mais rígidas sobre os níveis de emissões ou sobre a parcela de mistura de combustíveis alternativos nos combustíveis comuns;
- Administradoras de rodovias, criando benefícios específicos para os caminhões com características sustentáveis (pistas exclusivas ou redução de tarifas de pedágio, por exemplo);
- Órgãos públicos do setor, investindo em frotas de ônibus e caminhões de baixa emissão de GEE para uso próprio; e,
- Entidades envolvidas com o setor de transporte, participando de uma ação coordenada para promover a transição de forma planejada e implementação da infraestrutura necessária (VICTOR; GEELS; SHARPE, 2019).

Dessa forma, o crescimento conjunto na direção da transição para fontes de baixo-carbono provocaria uma mudança estrutural na demanda,

incentivando o aumento do investimento na produção e eventual queda dos custos.

Algumas ações já ganham destaque no cenário de transição energética para veículos pesados, são elas:

- Na União Europeia, desde 2019 os veículos pesados estão sujeitos à vigilância de consumo de combustíveis e emissões de CO₂ através da ferramenta de cálculo de consumo energético de veículos (VECTO)¹⁵¹;
- Desde julho de 2019, a China entrou nos parâmetros da fase 3 do seu programa regulatório que limita o consumo de combustível de veículos pesados. O avanço regulatório já afeta diretamente o mercado internacional, provocando a corrida pelo aumento da eficiência de ônibus e caminhões;
- Em 2004, os Estados Unidos apresentaram o programa SmartWay¹⁵², uma forma de auxiliar as empresas a obterem sustentabilidade na cadeia de produção, através da documentação de processos e estudo de eficiência no transporte de carga;
- O Chile, em 2017, estabeleceu seu programa nacional de transporte de carga sustentável, Giro Limpio¹⁵³, que busca melhorar a eficiência do setor, reduzindo o consumo de combustível e as emissões de GEE, e aumentar a competitividade no mercado, reduzindo custos. As empresas que aderirem ganham acesso a capacitações e informações tecnológicas

151. European Commission. Vehicle Energy Consumption calculation Tool – VECTO <https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/veccto_de>

152. U.S. Environmental Protection Agency. Learn About Smart Way. Disponível em: <<https://www.epa.gov/smartway/learn-about-smartway>>.

estratégicas, além de receberem um reconhecimento pelo compromisso com a sustentabilidade, ganhando acesso a novos mercados com exigências ambientais mais rígidas;

- Em 2018, a Argentina lançou seu Programa piloto de Transporte Inteligente¹⁵⁴, que busca melhorar a eficiência energética do transporte de cargas, alcançando uma economia de combustível de 30%, e uma redução de 8,4% nas emissões de GEE até 2030. A ideia é implementar novas tecnologias para melhor controle de recursos através de parceria público-privada com empresas transportadoras, setores do governo e universidades.

2.4.3 Transporte Marítimo

Responsável pela fração majoritária do transporte internacional de carga, a via marítima faz o deslocamento de cerca de 80% do comércio de mercadoria, segundo a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), tendo chegado a um total de carregamentos¹⁵⁵ de 11 bilhões de toneladas em 2018, apesar da queda no crescimento apontada no mesmo ano: o volume de carregamento expandiu em 2,7% de

2017 para 2018, inferior à média de 3% dos anos anteriores, apontado pelo Relatório de Transporte Marítimo no ano de 2019¹⁵⁶. Vale destacar que essa desaceleração pode ser tomada como resultado das crescentes medidas de protecionismo, incluindo o BREXIT¹⁵⁷, as mudanças econômicas na China e as consequência do desastre na barragem da empresa Vale no Brasil¹⁵⁸.

Antes da pandemia do novo Coronavírus, a UNCTAD estimava que o setor cresceria a uma taxa de 3,5% ao ano, no intervalo de 2019 a 2024. Na publicação sobre desafios do setor marítimo com o Coronavírus, a companhia seguradora Allianz indica que o tráfego marítimo na primeira metade de 2020 já sofre uma queda histórica, principalmente no transporte de produtos automotivos e containers, que condiz com a situação global de queda na demanda de bens de consumo.

Ainda no Relatório de Transporte Marítimo de 2019, a UNCTAD indica que os países em desenvolvimento, principalmente na Ásia e Oceania, continuaram sendo os maiores contribuintes para o comércio marítimo global no ano de 2018, tanto em importações quanto em exportações, atingindo respectivamente 58,8% e 64,5% do total.

¹⁵³. Agência de Sostenibilidad Energética. ¿Qué es GiroLimpio? Disponível em: <<https://www.girolimpio.cl/que-es-girolimpio/>>.

¹⁵⁴. Argentina. El gobierno lanzó el Programa de Transporte Inteligente. Publicado el martes 02 de octubre de 2018. Disponível em: <<https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-gobierno-lanzo-el-programa-de-transporte-inteligente-0>>.

¹⁵⁵. Em ordem quantitativa, os carregamentos são: commodities secas a granel, carga em containers, óleo, gás e produtos químicos.

¹⁵⁶. Disponível em: <https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf>.

¹⁵⁷. A saída do Reino Unido da União Europeia criou uma barreira alfandegária, além da instabilidade política, reduzindo o comércio da região, de forma proteger a economia britânica.

¹⁵⁸. O desastre ambiental e social causado pelo rompimento da barragem de Mariana (MG) em 2015, assim como de Brumadinho (MG) em 2019, teve um grande impacto nas exportações de minério de ferro e arrecadação de royalties, e consequentemente na economia regional, o que acabou por gerar novas medidas de protecionismo.

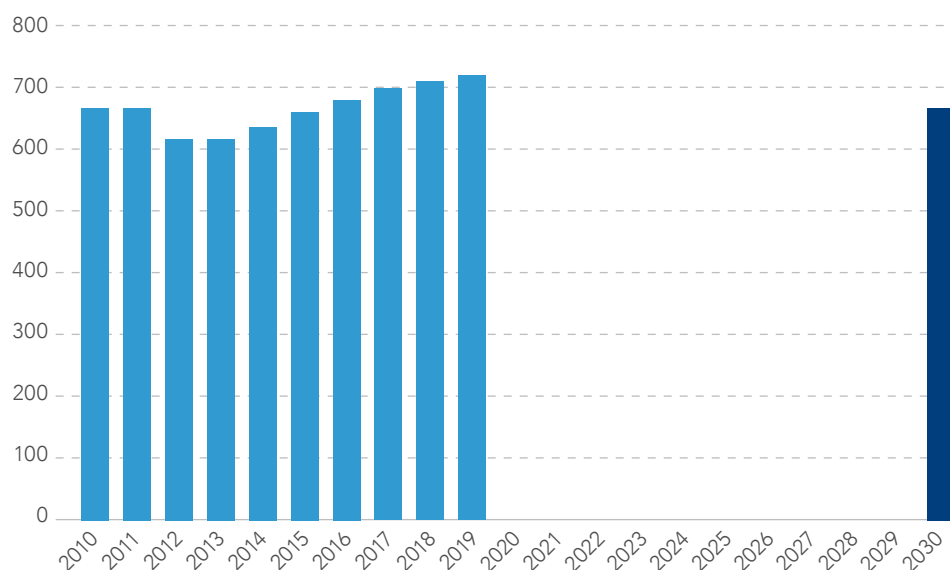
Essas tendências ainda são um reflexo dos papéis político-econômicos assumidos ainda no início dos seus processos de industrialização: de exportadores de matéria-prima e grandes importadores de bens intermediários e bens de consumo. Apesar disso, o movimento global tende a caminhar em outra direção, conforme o desenvolvimento econômico dos países emergentes avança, de forma que a partir do momento em que eles aumentam o investimento nas cadeias de produção interna de bens de consumo, consequentemente reduzem as importações.

O destaque no comércio marítimo internacional continua sendo a China, responsável por quase metade da expansão do setor na última década. Fora da tendência do grupo, a China também tem participação muito significativa no transporte de carga em containers, dadas as caracte-

rísticas produtivas das suas indústrias e a escala populacional do país.

Apesar da Organização Marítima Internacional (IMO, em inglês) expor que o transporte marítimo se classifica como uma das modalidades de transporte mais sustentáveis (em 1997, a Organização já havia adotado uma resolução sobre a emissão de CO₂ em navios) e eficientes em termos de poluição atmosférica e consumo energético, de acordo com o relatório *Accelerating the Low Carbon Transition* as embarcações contribuem em média com cerca de 1,6% das emissões globais de gases de efeito estufa (VICTOR; GEELS; SHARPE, 2019). Pelo registro da IEA, a contribuição chegou a 2% em 2019. A figura 35 ilustra a contribuição do transporte marítimo para emissões de CO₂, em MtCO₂, desde 2010 a um cenário de desenvolvimento sustentável, previsto em 2030.

FIGURA 35: CONTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO PARA EMISSÕES DE CO₂ E PREVISÃO PARA 2030 (MTCO₂)



Fonte: IEA, 2019.

O responsável pela maior parte das emissões do setor é o *heavy fuel oil* (HFO), adotado em larga escala após a introdução de motores a diesel nos navios, no início do século XX, e, atualmente, o combustível majoritariamente utilizado nas embarcações. Esse combustível é o mais bruto dos produtos que saem das refinarias de petróleo, portanto, apesar do setor não ter uma contribuição tão relevante para as emissões de CO₂, o transporte marítimo é responsável por cerca de 4-9% das emissões de SO_x e 10-15% das emissões de NO_x (IEA BIOENERGY, 2017), com perspectiva de crescimento, caso nenhuma política de mitigação seja implementada.

Considerando as frotas marítimas com tráfego mais intenso, que consequentemente sofrem o impacto direto da utilização de combustíveis poluentes, foram estabelecidas, ainda em 2005, as Áreas de Controle de Emissões (ACE), com regulamentações mais rígidas sobre as emissões de SO_x, NO_x e material particulado. As ACEs estão distribuídas nas regiões costeiras da Europa (Mar Báltico e Mar do Norte) e América do Norte e Mar do Caribe. Além dessa medida, a IMO trabalha com uma série de estratégias para atingir as metas de contenção de emissões estabelecidas com os debates sobre o aquecimento global: em 2018, o objetivo de contenção de emissões de dióxido de carbono no transporte marítimo foi estipulado em 40%, como primeira meta até 2030, e baixar ainda mais até 2050, chegando a 70% do valor de referência no ano de 2008.

Diferente dos outros modais de transporte, o principal agressor gerado pelo transporte marítimo é o enxofre que, emitido na forma de SO_x, contribui para a poluição do ar, que desenvolve em chuva ácida, como também para a acidificação dos oceanos, e é um vetor potente na causa de doenças respiratórias. Para esses óxidos, a IMO impôs mais uma regulamentação, em janeiro de 2020, sobre as quantidades de enxofre permitidas nos combustíveis de navios. Os navios regulamentados são todos aqueles que fazem transporte internacional e agora possuem um limite de 0,5% de teor de enxofre nos combustíveis em termos de massa: o nível permitido até o novo regime era de 3,5%, tanto para combustível em uso quanto em transporte. Nas ACEs, a parcela permitida passa a ser de 0,1%. A desvantagem é a possibilidade dessa restrição gerar um custo adicional para o transporte, além provocar uma queda no crescimento do setor, caso as embarcações precisem ser removidas do mercado para sofrerem adaptações nos reservatórios de combustível.

Para preparar essa transição, a IMO organizou um guia para o planejamento da implementação das adaptações nos navios, que consta com análise de risco e plano de mitigação de danos, modificações nas embarcações para adaptação aos novos combustíveis, documentação e relatórios (IMO, 2018). Assim, somente os navios equipados com "scrubbers" (sistemas de abatimento de gases do fluxo de exaustão)¹⁵⁹, capazes de fazer a neutralização de óxidos de enxofre, poderão continuar

159. "Scrubbers" são sistemas de tratamento de emissões atmosféricas desenvolvidos para realizar a retenção e neutralização de componentes particulados ou gases de exaustão em plantas industriais.

usando os mesmos combustíveis poluentes. Esse sistema de limpeza, entretanto, pode ser considerada precário no âmbito ambiental, já que o despejo da água de lavagem pode prejudicar os ambientes marinhos - persiste o debate ao redor da possibilidade de que os portos tenham jurisdição para barrar embarcações equipadas com esses sistemas (UK Reuters, 2019).

Outra forma de atingir as novas metas é com a utilização de misturas de combustíveis alternativos menos sulfurosos, como o Diesel Marítimo (*marine gasoil* – MGO) e o GNL, ainda provenientes de fontes fósseis, mas que podem servir de ponte para a transição, caminhando para um futuro de bio-GNL e hidrogênio. No mercado presente, a adoção de biocombustíveis para o transporte marítimo ainda é economicamente inviável, dada a escala de consumo, e esbarra nas questões de segurança física e energética.

Esse tópico também foi elaborado pela IMO, através do relatório “Avaliação de Disponibilidade de Óleo Combustível”, que reporta sobre a capacidade do setor de refinaria de produzir os combustíveis de embarcações respeitando os limites de enxofre na escala da demanda, enquanto ainda garante a produção de combustíveis dos outros setores de transporte, reduzindo a preocupação com a questão de segurança energética (IMO, 2016).

Apesar da inviabilidade de adoção de combustíveis alternativos para substituição total dos fósseis no momento atual, é preciso estudar as possibilidades para o futuro, através de um planejamento energético consistente. Dessa

forma, os combustíveis capazes de serem utilizados na infraestrutura já existente - com alta compatibilidade, como amônia e biodiesel - tem mais probabilidade de implementação no futuro breve do que os sistemas de propulsão a hidrogênio, por exemplo, que requerem grandes mudanças estruturais de alto custo nas embarcações. No entanto, a produção de biodiesel é limitada pela disponibilidade de biomassa e pode não ser capaz de suprir toda a demanda do setor de transporte marítimo em um preço compatível com o mercado, deixando a amônia com caráter mais promissor, mas ainda sem comprovação de viabilidade em grande escala.

O GNL, apesar de gerar emissões reduzidas quando comparado ao HFO e ao carvão, não pode ser considerado um combustível limpo, de forma que é uma alternativa para o início da transição, mas não é a solução final, já que as metas estabelecidas pela IMO para 2050 pretendem reduzir as emissões de 70%, relativas a 2008, e o GNL não é capaz de atingir esse patamar. Além disso, as previsões indicam que os níveis de produção atual não seriam capazes de atender a demanda do setor.

A fiscalização da nova regulamentação será feita diretamente nos portos de carregamento e os navios que não cumprirem com as novas taxas poderão ser detidos e sofrer sanções de funcionamento. Além disso, a indústria portuária também sofre pressão para se adaptar às novas políticas de sustentabilidade - para além da proteção ambiental, as questões sobre inclusão social, conservação de recursos e segurança do trabalho

também estão em pauta - e precisará de novos investimentos para passar pela transição, sobretudo nos países em desenvolvimento, que mais sofrem com a duração da estadia dos navios nos portos, um indicador de ineficiência portuária. No âmbito estrutural, a UNCTAD sugere que o funcionamento dos portos deverá passar por um aperfeiçoamento do recebimento e envio de cargas, com investimento na infraestrutura, inovação tecnológica e treinamento de pessoal, de forma que os navios só entrem no porto no momento agendado, com a possibilidade de aplicação de multas no caso de embarque antecipado.

Com o crescimento da discussão sobre transição energética no transporte marítimo, a pressão para que o setor desenvolva novas tecnologias para o aumento da eficiência energética e redução das tecnologias poluentes também cresce, uma vez que a idade da embarcação está diretamente relacionada à sustentabilidade das suas operações. Como exposto pela UNCTAD, a indústria de transporte marítimo prossegue com investimentos direcionados à pesquisa e desenvolvimento de melhorias na hidrodinâmica dos navios, eficiência dos motores e combustíveis alternativos não poluentes, em busca de evitar a conversão para um meio de transporte ultrapassado e andar ao mesmo passo do desenvolvimento tecnológico do mercado, garantindo os requisitos dos órgãos reguladores.

Caminhando nesse sentido, alguns projetos merecem destaque:

- Projeto de Parceria Global para Eficiência Energética Marítima (GloMEEP¹⁶⁰, em inglês): lançado em 2015, tem como objetivo contribuir para a redução de emissões de GEE no transporte marítimo através da capacitação técnica de (inicialmente) 10 países em desenvolvimento para o planejamento da transição;
- “Getting to Zero Coalition”: estabelecida em 2018, é uma aliança entre mais de 110 empresas dos setores de navegação, de energia, infraestrutura e finanças ao redor do mundo, além do Fórum Econômico Mundial (WEF). O projeto almeja substituir as frotas poluentes por embarcações com zero emissão de carbono (ZEV- zero emission vessels), até 2030. A companhia brasileira NORSUL é a primeira no país a apoiar o projeto; e,
- Aliança da Indústria Global (AIG) para apoiar embarques de baixo carbono: lançada em 2017 e associada ao GloMEEP, a aliança é uma parceria público-privada que reúne os líderes da indústria marítima em busca da eficiência energética com baixas emissões de GEE, além de levantar discussões sobre a recuperação econômica pós-pandemia no setor. A AIG agora é parte do Green Voyage 2050, um projeto da IMO com financiamento do governo norueguês, que oferece apoio para que os países em desenvolvimento alcancem as metas de eficiência energética no contexto do aquecimento global (IMO, 2019).

¹⁶⁰. Global Maritime Energy Efficiency Partnerships Project. Disponível em: <<https://glomeep.imo.org/>>.

Apesar dos diversos esforços para catalisar uma transição limpa do setor de transporte marítimo, a conclusão é que ainda existem muitas incertezas, tanto sobre a qualidade e escala de oferta dos combustíveis alternativos, quanto sobre o retorno dos investimentos em novas tecnologias, o que torna alta a probabilidade de que o custo dos deslocamentos aumente consideravelmente para as companhias de embarcação e, consequentemente, para os clientes.

Uma série de medidas (Tabela 11) podem ser

tomadas a fim de amenizar os impactos econômicos e viabilizar a transição, que passam desde a ação coordenada de compras de viagens fretadas “verdes”, em que grandes empresas ou órgãos governamentais arcariam com os custos extras em troca dos créditos de carbono, até a eletrificação de barcos para trajetos curtos próximos à costa - essa proposta teria a vantagem da alta eficiência energética, mas precisaria de um alto investimento inicial para a conversão da infraestrutura aquaviária e adaptação da hidrodinâmica dos navios.

TABELA 11: MEDIDAS PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA A FIM DE ALCANÇAR AS METAS DE EMISSÕES ZERO NO TRANSPORTE MARÍTIMO ATÉ 2050

Medidas para melhorar a eficiência a fim de alcançar as metas de emissões zero no transporte marítimo até 2050	
Medidas tecnológicas para aumentar a eficiência de navios	Uso de combustíveis alternativos de baixo carbono como fonte de energia
Uso de materiais leves	Baterias elétricas
Design hidrodinamicamente favorável	Células de hidrogênio
Ferramentas de aperfeiçoamento da propulsão	Hidrogênio em motores de combustão interna
Arcos bulbosos	Células de amônia
Sistemas de lubrificação com ar	Amônia em motores de combustão interna
Revestimento avançado do casco	Diesel sintético
Medidas de eficiência energética	Metano Sintético
Projeto do sistema de água de lastro	Biocombustíveis avançados
Aperfeiçoamento do motor e sistemas auxiliares	Assistência eólica

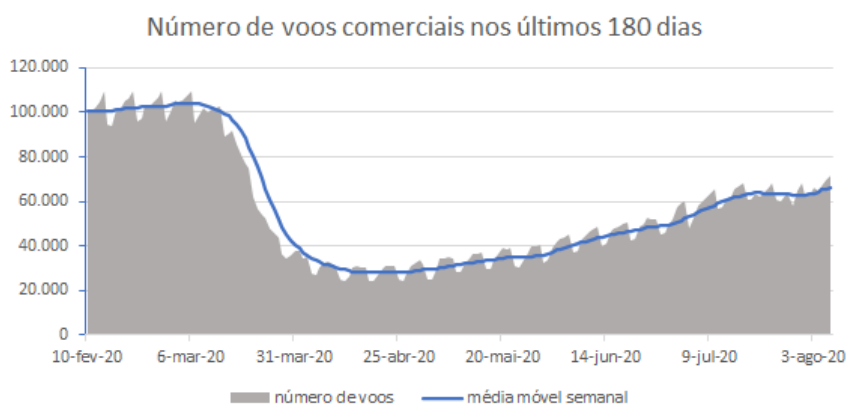
Fonte: Adaptado de UNCTAD, 2019.

2.4.4 Transporte aéreo

O setor aéreo é o principal meio de transporte de passageiros em rotas internacionais, e o Flightradar24¹⁶¹ indica que até fevereiro de 2020, antes das restrições sanitárias de deslocamento, eram feitos em torno de 170 mil voos diariamente,

sendo 100 mil desses de caráter comercial. A figura 36 apresenta o número de voos comerciais no período de fevereiro a agosto de 2020, período mais crítico da pandemia de COVID-19, em que ocorreu a queda de 30% da média normal em cerca de um mês.

FIGURA 36: NÚMERO DE VOOS COMERCIAIS (FEVEREIRO À AGOSTO DE 2020)



Fonte: Adaptado de Flightradar24, 2020.

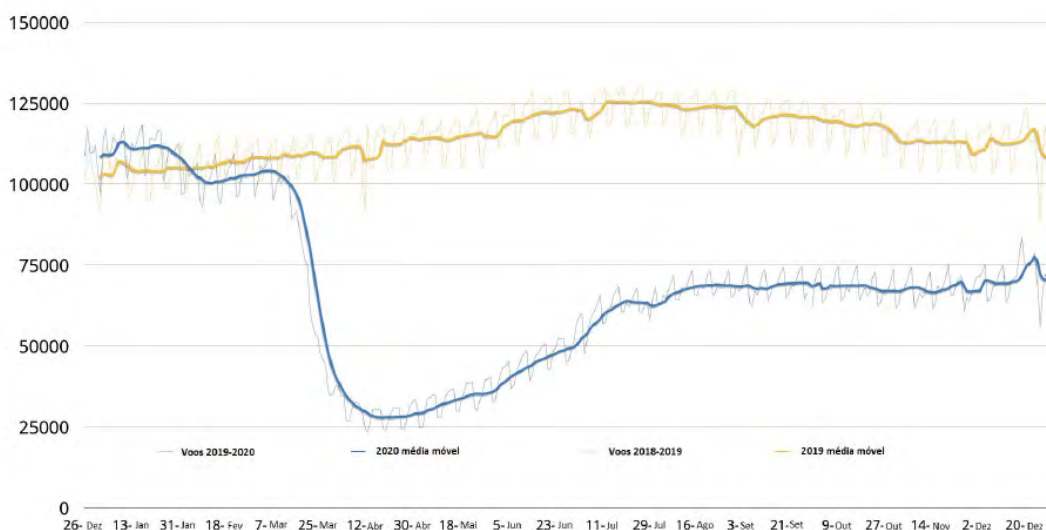
De acordo com a plataforma da Flightradar24 (figura 37) os voos comerciais a nível mundial terminaram o ano de 2020 com queda de 41,7% em relação a 2019. O total de voos terminou o

ano 27% abaixo dos níveis de 2019. O tráfego comercial continuou sua recuperação lenta em dezembro, subindo para apenas 36,5% abaixo dos níveis de 2019 (-39,8% em novembro)¹⁶².

¹⁶¹. Flightradar24 é uma plataforma de monitoramento de tráfego aéreo. Disponível em: <https://www.flightradar24.com/data/statistics>. Acesso em 08/08/2020.

¹⁶². Flightradar24 (2021). Disponível em: <<https://www.flightradar24.com/blog/commercial-flights-down-42-in-2020/>>.

FIGURA 37: MÉDIA DOS VOOS COMERCIAIS (2019 X 2020)



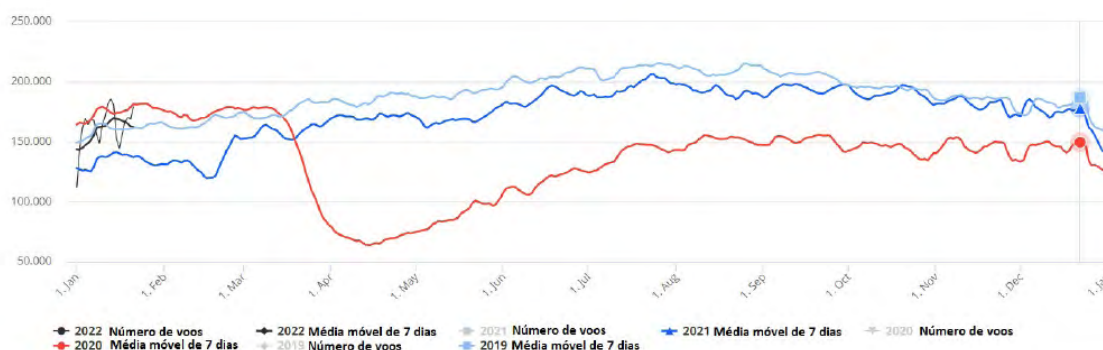
Fonte: Adaptado de Flightradar24, 2021.

O transporte aéreo brasileiro de passageiros reduziu 53% durante a pandemia de COVID-19 em 2020, com isso os viajantes passaram de 93,8 milhões para 44 milhões em relação ao ano anterior, enquanto a movimentação de carga por aviões caiu 29,6%. Segundo o IBGE, no ano de 2020, os voos regulares transportaram 44 milhões de passageiros no Brasil e mais de 282 mil toneladas de carga foram movimentadas entre aeroportos brasileiros¹⁶³. Desde então, a volta dos voos se recupera lentamente, mas é evidente que os impactos foram os maiores de todos os setores de transporte.

Atualmente, o setor a nível mundial retomou os números anteriores à pandemia de COVID-19 conforme análise realizada na plataforma Flightradar. Os dados de 21 de Janeiro de 2022 (figura 38) apontam 178.918 voos para o referido dia e as médias realizadas entre 7 dias foram: 2019 (161.363), 2020 (181.355), 2021 (137.051) e 2022(162.427) A média durante 7 dias para o ano de 2019 foi de 161.363 voos.

¹⁶³. IBGE (2021). Disponível em:<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32525-estudo-mostra-retrato-do-setor-aereo-nacional-e-impactos-da-covid-19>>.

FIGURA 38: VOOS COMERCIAIS EM JANEIRO 2021



Fonte: Adaptado de Flightradar24, 2021.

A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, em inglês) enfatizou a necessidade de investimentos no setor para que o retorno do crescimento ocorresse de maneira sustentável. Pois, o setor de aviação deve estar atento às metas de redução de emissões, participando da transição energética e colaborando com a retomada econômica pós-crise através da expansão e criação de empregos.

De acordo com o relatório *Accelerating the Low Carbon Transition: The Case for Stronger, More Targeted and Coordinated International Action*, a aviação contribui com cerca de 1,5% das emissões de gases com impacto atmosférico com uma taxa de crescimento de 4%, mais veloz que qualquer outro modal de transporte, uma vez que o transporte de passageiros - responsável por 90% do total de emissões - aumenta progressiva-

mente no mundo globalizado e ainda não há uma alternativa de energia limpa aplicável em grande escala no setor. A Organização Internacional de Aviação Civil¹⁶⁴ (ICAO, em inglês) prevê, em seu relatório anual de 2019, que até 2045 o consumo de combustível de aviação cresça entre 2,2 e 3,1 vezes o valor reportado em 2015, de 160 Mton de combustível, que resultou em 506 Mt de emissões de CO₂.

O início da transição para uma aviação mais sustentável transcorreu em 2008, a partir do primeiro voo teste utilizando biocombustíveis e o estabelecimento de metas de redução de emissões de GEE. Em 2009, a ICAO promoveu a primeira Conferência sobre Aviação e Combustíveis Alternativos (CAAF/1), na qual o uso de combustíveis sustentáveis alternativos foi citado como um meio essencial para a redu-

¹⁶⁴. A ICAO é a agência da ONU especializada na administração internacional da aviação civil.

ção das emissões do setor aéreo - criando um marco para o início da discussão global sobre o tópico. A conferência também estruturou a base para a formulação da Resolução sobre Aviação e Aquecimento Global: Resolução A37-19, que trata sobre o apoio governamental à transição no setor e dispôs sobre a criação de uma plataforma global para disseminação de informações sobre as iniciativas envolvendo combustíveis aéreos alternativos, a GFAAF¹⁶⁵.

Na sequência, em 2017 ocorreu a segunda conferência (CAAF/2) da série, que estabeleceu metas de redução de emissões, programadas para atingir 50% em 2050, relativas ao registrado em 2005. Nessa ocasião, o papel de principais promotores da transição foi atribuído aos governos de cada país, à indústria e aos investidores, tornando-os grandes responsáveis pela aplicação de um plano de ação para introdução de combustíveis alternativos.

Como fruto desse movimento, a ICAO estabeleceu o CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), um programa global para redução e compensação das emissões de CO₂ geradas pelo tráfego aéreo internacional. A política de redução é baseada em diversos fatores de inovação tecnológica no setor, incluindo o estudo de eficiência energé-

tica, análise da cadeia produtiva e introdução de combustíveis alternativos não poluentes, em particular aqueles com processos certificados na ASTM International¹⁶⁶ (*American Society for Testing and Materials International*). Já o sistema de compensação se dá através da compra de créditos de carbono, com diferentes estratégias de captura, para que a redução necessária seja garantida. A estimativa da IATA é que o projeto suprima 2,5 bilhões de toneladas de CO₂ no intervalo de 2021 a 2035, e tem como referência os níveis de emissão do ano de 2019¹⁶⁷.

Agregando-se ao esforço para reduzir as emissões e atingir um tráfego aéreo sustentável, a IATA impulsionou o programa de desenvolvimento de Combustíveis Aéreos Sustentáveis (SAF, em inglês), que estabelece uma série de objetivos e dispõe de informações regulatórias para a transição de combustíveis fósseis para combustíveis alternativos de baixa concentração de carbono. O projeto foca em um modelo de transição que seja permanente, enquanto econômica, social e ambientalmente sustentável, baseado em políticas tarifárias que levem o setor à competitividade do mercado. Além disso, oferece treinamento à indústria aérea para o desenvolvimento de um planejamento energético e promove a troca de informações sobre novas tecnologias.

¹⁶⁵. A "Global Framework for Aviation Alternative Fuels (GFAAF)" da ICAO é uma base de dados que disponibiliza informações sobre os tópicos relacionado aos combustíveis de aviação.

¹⁶⁶. As matérias-primas empregadas são definidas conforme as tecnologias passam pelo processo de aprovação do subcomitê "Aviation Fuels" da ASTM International, o órgão estadunidense que desenvolve e publica normas técnicas para regularização de materiais, produtos, sistemas e serviços.

¹⁶⁷. O marco de início foi deslocado de 2020 para 2019 para que as referências não sejam baseadas em emissões no contexto da pandemia, que devem sofrer uma grande queda, em consequência à queda no tráfego aéreo.

Com efeito, a independência da indústria fóssil também faz parte das metas, de forma que o setor aéreo se torne menos suscetível às oscilações do mercado de óleo e caminhe em direção à segurança energética. Nesse sentido, o relatório anual de 2019 de Meio Ambiente da ICAO indica que a produção comercial de combustíveis alternativos cresceu de forma considerável, passando de uma média de 0,29 milhões de litros por ano no período de 2013 a 2015 para 6,45 milhões de litros por ano no período de 2016 a 2018. Já a IATA estima que foram ao ar mais de 215.000 voos comerciais utilizando SAF até dezembro de 2019 e que, até então, 40 companhias aéreas já tenham experiência com os novos combustíveis.

A sustentabilidade dos combustíveis alternativos na aviação é prevista por pilares de sustentabilidade econômica, social e ambiental e, de acordo com a IATA, deve considerar, entre outros, os seguintes fatores para que alcance uma certificação:

- Análise do Ciclo de Vida dos GEEs;
- Uso direto e indireto da terra e competitividade com a indústria alimentícia;
- Uso de água, ar e solo;
- Conservação da biodiversidade da área de produção e operação;

- Direitos humanos e trabalhistas;
- Promoção de desenvolvimento socioeconômico para pequenos agricultores, em países emergentes;
- Administração de fertilizantes e pesticidas; e,
- Administração de resíduos.

As certificações de sustentabilidade para os combustíveis de aviação podem ser concedidas por diversas organizações, com critérios variáveis entre elas, mas são consideradas essenciais para que a companhia aérea seja elegível a investimentos ou incentivos fiscais, com importante papel estabelecido pelo ICAO. Atualmente, o Grupo de Usuários de Combustíveis Sustentáveis e Aviação (SAFUG, em inglês), formado por 25 companhias aéreas, busca promover os meios de aceleração da transição para combustíveis alternativos, mediante o estabelecimento de políticas de desenvolvimento e certificação dos SAF com critérios de sustentabilidade reconhecidos internacionalmente.

Um dos principais reguladores, destacado por sua abrangência em critérios sociais, ambientais e econômicos, é o *Roundtable on Sustainable Biomaterials*¹⁶⁸ (RSB) estabelecido na Europa, que, além de certificar os produtores, oferece serviço de suporte aos investidores com análise

¹⁶⁵. A "Global Framework for Aviation Alternative Fuels (GFAAF)" da ICAO é uma base de dados que disponibiliza informações sobre os tópicos relacionado aos combustíveis de aviação.

¹⁶⁶. As matérias-primas empregadas são definidas conforme as tecnologias passam pelo processo de aprovação do subcomitê "Aviation Fuels" da ASTM International, o órgão estadunidense que desenvolve e publica normas técnicas para regularização de materiais, produtos, sistemas e serviços.

¹⁶⁷. O marco de início foi deslocado de 2020 para 2019 para que as referências não sejam baseadas em emissões no contexto da pandemia, que devem sofrer uma grande queda, em consequência à queda no tráfego aéreo.

¹⁶⁸. Disponível em: <<http://rsb.org/certification/participating-operators/>>.

de riscos no setor e treinamento para auxiliar as companhias aéreas na implementação de novos combustíveis. Em nações em desenvolvimento, o RSB almeja garantir suporte aos pequenos produtores, de forma que esses conquistem as certificações e se tornem competitivos no mercado, com direitos sociais garantidos. Nesse contexto, foi construída a cooperação com a Iniciativa das Nações Unidas Energia para Todos (SEforALL)¹⁶⁹, com o objetivo comum de alcançar as metas de redução de emissões. Já nos Estados Unidos, o principal programa regulador é o *Renewable Fuels Standard* (RFS), que exige que todo combustível comercializado em jurisdição americana contenha um volume mínimo de combustíveis de fontes renováveis.

Com destaque nas regulamentações dos SAF pela IATA, o principal requisito do setor para o desenvolvimento de novos combustíveis sustentáveis é que estes sejam compatíveis com o que já se tem no mercado, com características físicas

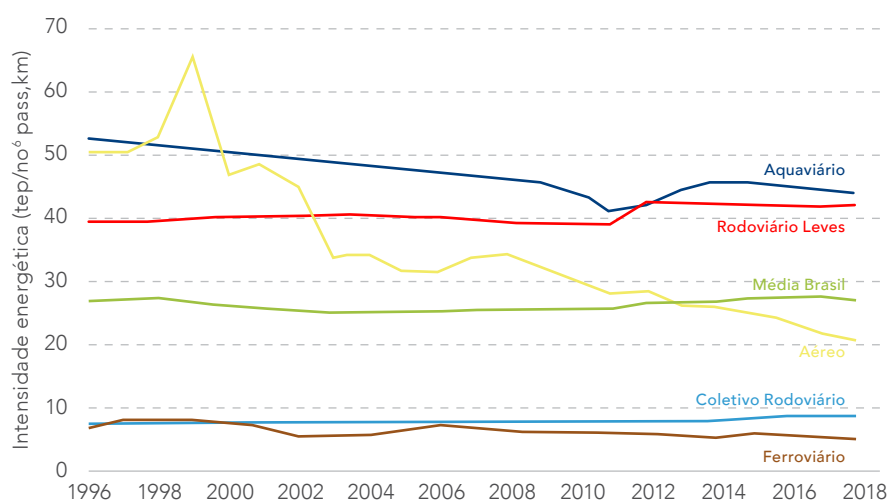
e químicas praticamente idênticas aos combustíveis tradicionais. Designados como “*drop in*”, as semelhanças garantem adaptação às estruturas da indústria aérea já estabelecida no mercado, uma vez que mudanças estruturais de qualquer porte no setor acarretam investimentos de alta escala.

Os setores de pesquisa e desenvolvimento no mercado de combustíveis alternativos são responsáveis pela inovação tecnológica que busca baixos custos e eficiência energética, que já é uma característica proeminente das aeronaves recentes. De acordo com a ICAO, as aeronaves produzidas hoje são 80% mais eficientes energeticamente do que aquelas dos anos 1960 e, portanto, foram capazes de reduzir substancialmente o consumo de combustíveis por voo (FGV ENERGIA, 2017a). A figura 39 demonstra a queda significativa de intensidade energética¹⁷⁰ no transporte aéreo brasileiro, decorrente, principalmente, do aumento da eficiência no setor.

169. Disponível em: <<https://www.seforall.org/>>.

170. “A intensidade energética é a relação entre a energia final ofertada e/ou consumida e o Produto Interno Bruto (PIB). A menor intensidade energética da economia indica uma maior eficiência da ‘conversão’ de energia em riqueza.” (EPE, 2019).

FIGURA 39: INTENSIDADE ENERGÉTICA EM MODOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS, BRASIL 2018



Fonte: EPE, 2019.

Os combustíveis alternativos incluem biocombustíveis, mas não exclusivamente. São considerados alternativos os combustíveis provenientes de fontes não fósseis, que, em sua maioria, geram baixas emissões de gases poluentes. A Organização Internacional de Aviação Civil define combustíveis alternativos por: "qualquer combustível com potencial de gerar emissões de CO₂ mais baixas do que o querosene convencional, em termos de Análise de Ciclo de Vida".

O termo *biocombustível* indica que o combustível tem origem biológica, mas atualmente já existem tecnologias que permitem o desenvolvimento de novas substâncias não poluentes a partir de outras origens. Os combustíveis de fontes fósseis (derivados do petróleo) utilizados na aviação e especificados pela ANP são o querosene de aviação (QAV-1 ou JET A-1, no inglês) e a gasolina,

sendo essa com utilização exclusiva em aviões de pequeno porte. O destaque surge para o bioquerosene, que pode ser obtido através de fontes alternativas como a biomassa, gases residuais e resíduos sólidos e atualmente está regulamentada pela ANP em:

- SPK (Querosene Parafínico Sintético) nos tipos
 - SPK hidroprocessado por *Fischer-Tropsch*;
 - SPK de ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA - hydroprocessed esters and fatty acids); e,
 - SPK-ATJ, sintetizado a partir de álcool etílico ou isobutílico, processado através de desidratação, oligomerização, hidrogenação e fracionamento.
- SIP (Querosene Isoparafina): obtido da fermentação de açúcares utilizando microorganismos geneticamente modificados.

A Resolução ANP nº 778/2019 expõe sobre os percentuais aceitos para a mistura dos combustíveis SPK e SIP no querosene de aviação comum, estabelecendo um limite de 50% e 10% em volume, respectivamente (ANP, 2019).

À frente da produção de bioquerosene para a aviação está um projeto colaborativo denominado ITAKA¹⁷¹, Iniciativa para Querosene Sustentável na Aviação, que investiga as cadeias produtivas do setor e implementa políticas de incentivo. A Embraer, empresa brasileira de aviação, participa do projeto ao lado de outros nove países, de maioria europeia. No contexto brasileiro, observados os processos tecnológicos certificados pela ASTM Internacional, as seguintes matérias-primas podem ser utilizadas de forma mais promissora para a produção dos novos combustíveis: babaçu, cana-de-açúcar, macaúba, palma, recursos florestais (eucalipto) e soja (EPE, 2020).

Em setembro de 2011, a aprovação do uso do combustível SPK- HEFA pela ASTM proporcionou os primeiros voos comerciais com uso de combustíveis alternativos e, segundo a IATA, até 2015 esse número chegou a mais de 2000 viagens. Outro marco temporal importante foi o investimento da companhia United Airlines em 2015, de US\$ 30 milhões, na empresa *Fulcrum Bioenergy*, que converte resíduos sólidos dos municípios para combustíveis renováveis de

aviação. Nesse sentido, diversas regiões do mundo possuem fundos para incentivar o setor aéreo rumo à transição energética sustentável:

- Na África do Sul, a Sunchem SA e o SkyNRG, com apoio da South African Airways e da Boeing, fundaram o Projeto Solaris em 2014, com a intenção de estudar e desenvolver em grande escala o cultivo da planta de tabaco de variedade “Solaris”, capaz de gerar biocombustível de alta qualidade, para a produção local de SAF e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico da região. As operações na África do Sul já receberam o certificado RSB e atualmente o projeto recebe financiamento da União Europeia para pesquisa de análise da viabilidade do cultivo na Europa;
- No Brasil, a Boeing, Embraer e a Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) financiaram o Projeto “Plano de Voo Biocombustíveis de Aviação no Brasil: Plano de Ação” em 2013, que estudou as oportunidades e desafios de criar uma indústria de distribuição e produção de biocombustível para a aviação que seja economicamente viável e sustentável no Brasil. Atualmente, a Boeing continua a investir no setor em parceria com a WWF¹⁷² e a RSB, com objetivos de identificar e certificar produtores que colaborem para sustentabilidade social, além da ambiental;

171. Itaka Project. <www.itaka-project.eu>

172. O World Wide Fund for Nature é uma Organização não governamental internacional que atua nas áreas da conservação, investigação e recuperação ambiental. Veja mais em: <https://www.wwf.org.br/>

- Na Indonésia, a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA) assinou, em 2015, um acordo com Diretório Geral de Aviação Civil da Indonésia (DGCA) para promover a colaboração internacional sobre o uso e desenvolvimento de combustíveis alternativos de aviação, de forma a promover a sustentabilidade no setor de transporte aéreo, além da troca de conhecimento técnico-científico e de mão-de-obra capacitada; e,

Nos países nórdicos, o SkyNRG, através do fundo *Fly Green Fund*, financia investimentos para uso e desenvolvimento de combustíveis alternativos na região.

Em termos de sustentabilidade econômica, a competitividade do setor de combustíveis alternativos na aviação depende diretamente de políticas tarifárias que nivelem os preços do combustível alternativo aéreo com os combustíveis do transporte rodoviário, que é consideravelmente menor, especialmente em pequena escala, para que se torne economicamente viável destinar a produção de combustíveis para o setor aéreo, uma vez que a matéria-prima é a mesma, mas o produto final difere na qualidade, o que afeta diretamente o custo da produção. Além disso, essa disparidade é alavancada pela presença mais avançada de subsídios econômicos para a transição energética no setor rodoviário, colocando o setor aéreo em desvantagem.

De acordo com a IATA, na Europa já foi estabelecido o diretório de energias renováveis, que aplica um multiplicador financeiro aos produtores de combustíveis alternativos não poluentes, com o objetivo de aumentar sua produção. Já a Indonésia, com Força Tarefa para Biocombustíveis e Energia Renovável da Indonésia (ABRETF, em inglês), busca driblar essa barreira econômica para a produção em grande escala através do estabelecimento de metas nacionais para a inclusão de combustíveis alternativos no setor aéreo. O objetivo começou com a obrigação de mistura de 2% até 2018 e tem a promessa de aumentar para 5% até 2025, de forma atingir as metas de emissões de GEE previstas pela ICAO¹⁷³.

Outro obstáculo relevante da introdução de combustíveis alternativos no setor aéreo é o local de produção dessas novas tecnologias, que deve ser próximo aos aeroportos, já que a distribuição de grandes quantidades de combustível pode ter um custo muito elevado e contribuir para a perda de competitividade no setor, além das emissões envolvidas no processo de transporte, quando considerada a Análise de Ciclo de Vida da produção. Segundo a IATA, apesar do uso de combustíveis alternativos já estar presente em voos comerciais no cotidiano, em 2019 eles representaram apenas 1% da demanda de combustíveis do setor, com necessidade de alcançar 2% para atingir um patamar economi-

173. ICAO. Project <<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Project.aspx?ProjectID=40>>

camente viável. A previsão era de crescimento em 2020, mas as projeções foram interrompidas pelos efeitos da pandemia no setor aéreo.

Visto as grandes dificuldades que o setor aéreo ainda encontra para a transição para uma aviação verde - sem emissões consideráveis de Gases de Efeito Estufa -, torna-se evidente que o processo de substituição de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos não será imediato e que carece de esforços coordenados entre os setores governamentais de energia, aeroportos, companhias aéreas e investidores para que se torne economicamente viável. Alguns projetos de incentivo já ocorrem atualmente, como o Painel *Clean Skies for Tomorrow*, apresentado no Fórum Mundial de Economia em 2019 (WEF, 2019), que propõe a coordenação dessa ação conjunta nos EUA, Europa e Índia. Além disso, entre as possibilidades para alavancar a sustentabilidade no setor está o papel de companhias aéreas em criar "passagens verdes"¹⁷⁴ que, mesmo que mais caras, ofereceriam a opção de contribuição por parte dos clientes regulares e poderiam contar com ações de compras em escala por grandes empresas que buscam compensar suas emissões de carbono, além de agências de viagem.

Noutro espectro, fora da abordagem dos motores a combustão, a eletrificação do setor aéreo surge como uma proposta inovadora para a transição energética na aviação, desde que aplicada em pequena escala. Atualmente já existem diversos projetos para o desenvolvimento de aeronaves elétricas de tamanho reduzido, para viagens de curta duração, que poderiam ter o custo mais vantajoso do que se utilizassem combustíveis alternativos. A maior dificuldade, nesse cenário, é a infraestrutura da aeronave em conjunto com as baterias existentes no mercado, que possuem uma relação de massa muito diferente dos combustíveis, causando instabilidade aerodinâmica que precisaria ser revista com pesquisas e testes extensivos para poder ser aplicada em larga escala. Alguns especialistas apostam em uma revolução na tecnologia das baterias para que a eletrificação de grandes aeronaves se torne viável. Além disso, a ausência de infraestrutura de carregamento das baterias gera um cenário incerto para os produtores, ao mesmo tempo em que o lento crescimento de aeronaves elétricas provoca hesitação para a instalação dessa infraestrutura por parte dos aeroportos, de forma que o desenvolvimento tecnológico do setor só será alcançado com o auxílio de políticas coordenadas entre todos os setores envolvidos e o estabelecimento de regulamentação pelos órgãos de aviação.

174. Algumas companhias aéreas oferecem passagens aéreas com a opção de voar com SAF, por um preço mais elevado que as passagens comuns, de forma a cobrir os custos da transição.

3

CAPÍTULO

Estudo de Caso – Brasil

3.1 MIX ENERGÉTICO

3.1.1 Matriz Energética Brasileira

A Oferta Interna de Energia (OIE), também denominada de Oferta Total de Energia, representa a energia necessária para movimentar a economia de um país ou região, em um período de tempo – inclui o consumo final de energia nos setores econômicos e residencial, as perdas no transporte e distribuição, as perdas nos processos de transformação de energia e o consumo próprio do setor energético.

As fontes fósseis aumentam a proporção na OIE de 2021, por duas razões: foram as mais afetadas em 2020 pelo COVID-19 e estão tendo forte expansão na geração elétrica em razão do baixo regime de chuvas que afeta a geração hidráulica. O fraco desempenho da bioenergia é reflexo de recuos na produção de grãos e no setor sucroalcooleiro.

O Brasil, que registrava OIE de aproximadamente 65 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo) em 1970, alcançou 287,6 milhões de tep no ano de 2020 e a previsão é que deve alcançar 300,7 milhões tep para 2021¹⁷⁵.

O Brasil é caracterizado por sua ampla diversidade de recursos energéticos, o que se reflete na elevada renovabilidade de nossa matriz. O Balanço Energético Nacional 2021, ano base 2020, publicado pela EPE informa que no ano de 2020 a repartição da OIE brasileira foi composta por 51,6% de fontes não renováveis e 48,4% proveniente de fontes renováveis. Os não-renováveis estão distribuídos em: petróleo e derivados (33,1%), gás natural (11,8%), carvão mineral (4,9%), urânio (1,3%) e outras não renováveis (0,6%). Já as renováveis são representadas por biomassa da cana (19,1%), hidráulica (12,6%), lenha e carvão vegetal (8,9%) e outras renováveis (7,7%).

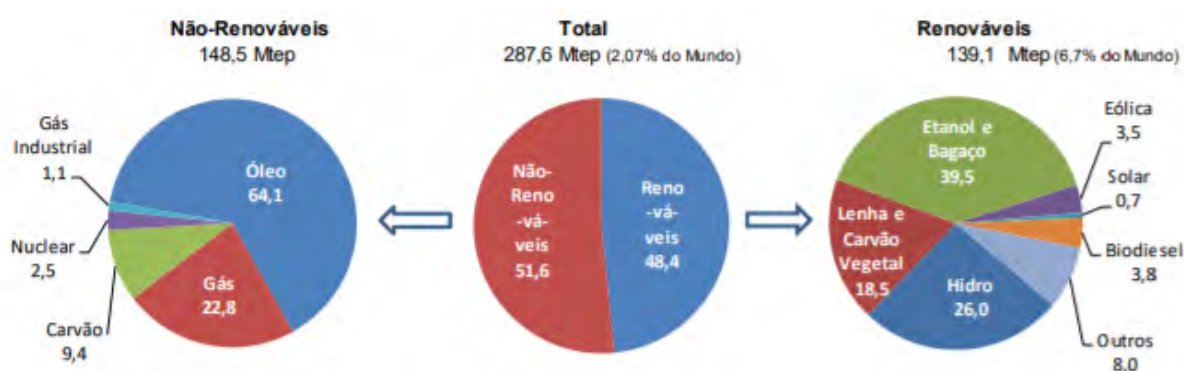
Conforme se pode perceber na figura 40 (e já explorado anteriormente), as duas principais características da matriz energética brasileira são a baixa dependência externa de recursos energéticos e a grande proporção de fontes renováveis. Como aponta o Anuário do Petróleo publicado pela Firjan (2021), o Brasil encontra-se em uma condição privilegiada em função da relevante – e crescente – participação de fontes renováveis em sua matriz energética, que atualmente respondem por 48,4% da oferta interna de energia. Destacam-se, além da energia hidráulica, a solar,

¹⁷⁵. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/boletins-mensais-de-energia/2021/portugues/07-boletim-mensal-de-energia-julho-2021/view>>.

a eólica e a bioenergia (principalmente os derivados de cana-de-açúcar), sendo utilizadas principalmente na geração de eletricidade e no setor de transportes. Em termos de matriz elétrica, a partici-

pação das fontes renováveis é ainda mais significativa, sendo responsáveis por 85% da oferta interna de energia elétrica nacional, patamar que deve ser mantido no horizonte decenal (EPE, 2021a; 2021b).

FIGURA 40: OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL – ANO BASE 2020 (%)



Fonte: Resenha Energética Brasileira (2021) - MME

A elevada renovabilidade da matriz energética brasileira é uma realidade verificada em poucos países do mundo (apenas 10,8%, nos países da OCDE¹⁷⁶ e de 14,2%, na média mundial) (EPE, 2020). Nas últimas décadas, a estrutura de suprimento energético no Brasil e no mundo apresentaram alterações, principalmente na direção da redução da dependência de derivados de petróleo. No bloco dos países da OCDE ocorre-

ram incentivos e incremento da energia nuclear e do gás natural. No Brasil, a política energética priorizou a energia hidráulica, bioenergia líquida e gás natural. Tais diretrizes fizeram o Brasil se destacar como uma economia pouco intensiva em carbono. De fato, a evolução da última década indica uma queda nas emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira (EPE, 2021)

¹⁷⁶ A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) reúne 34 países: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Coréia do Sul, Dinamarca, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia.

TABELA 9: OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL E MUNDO (% E tep)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros		Mundo	
	1973	2020	1973	2020	1973	2020	1973	2020
Derivados de Petróleo	45,6	33,1	52,6	33,0	29,9	23,8	46,1	29,4
Gás Natural	0,4	11,8	18,9	30,2	12,9	22,0	16,0	24,1
Carvão Mineral	3,2	4,9	22,6	13,8	31,1	35,7	24,6	26,2
Urânio	0	1,3	1,3	10,3	0,2	2,4	0,9	5,2
Hidro	6,1	12,6	2,1	2,4	1,2	2,6	1,8	2,7
Outras não Renováveis	0	0,6	0	0,5	0	0,1	0	0,3
Biomassa Sólida	44,8	35,8	2,5	9,7	24,7	13,5	10,6	12,2
Biomassa Líquida	0,5	7,7	0	1,02	0	0,15	0	9,1
Eólica	0	1,71	0	1,70	0	0,67	0	1,04
Solar	0	0,321	0	0,93	0	0,72	0	0,77
Geotérmica	0	0	0,16	0,81	0	0,64	0,1	0,67
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>dos quais renováveis</i>	50,8	48,4	4,6	12,1	26,0	16,1	12,5	14,9
Total - Mtep	82,2	287,6	3.741	4.949	2.105	8.281	6.109	13.915
<i>% do mundo</i>	1,3	2,1	61,2	35,6	34,5	59,5		

Notas: a) para 2020, a exceção do Brasil, estimativas DIE/MME com base em indicadores gerais da Agência Internacional de Energia; b) somente o Mundo inclui bunker: 2,7% da OIE de 2020; c) carvão inclui gases da indústria siderúrgica; d) "outros" exclui OCDE e Brasil

Fonte: Resenha Energética Brasileira - Resultados de 2020 - MME.

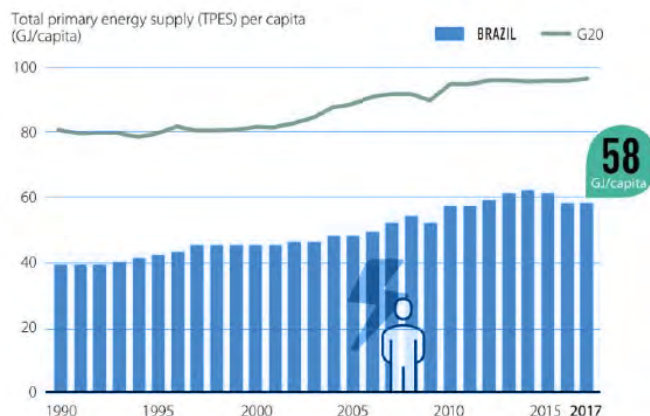
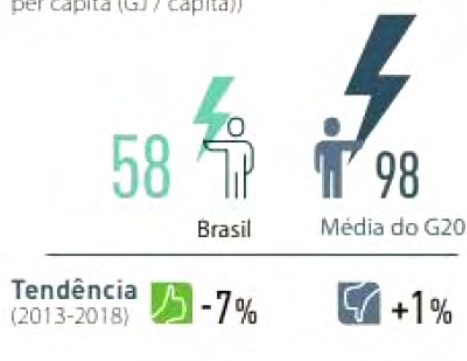
O Brasil é um dos 10 maiores consumidores de energia no mundo, um crescimento anual médio de aproximadamente 3,3% desde 1970 até 2010. Em 2020, o Brasil foi o sexto maior consumidor de energia no mundo, mas apesar disso, o uso de energia *per capita* dos brasileiros gira em torno de 58 GJ/capita. O número representa um aumento de 48% em comparação ao

início da década de 1990, mas um indicador bem inferior à média dos países membros do G20 (98 GJ/capita) (Enerdata, 2019). De acordo com a Enerdata (figura 41), o suprimento de energia *per capita* do Brasil está bem abaixo da média do G20 e diminuiu ainda mais 2013- 2018 (-7%), em contraste com o aumento da média do G20 (+1%).

FIGURA 41: FORNECIMENTO DE ENERGIA PER CAPITA (GJ/CAPITA)

Fornecimento de energia per capita

Fornecimento total de energia primária per capita (GJ / capita)



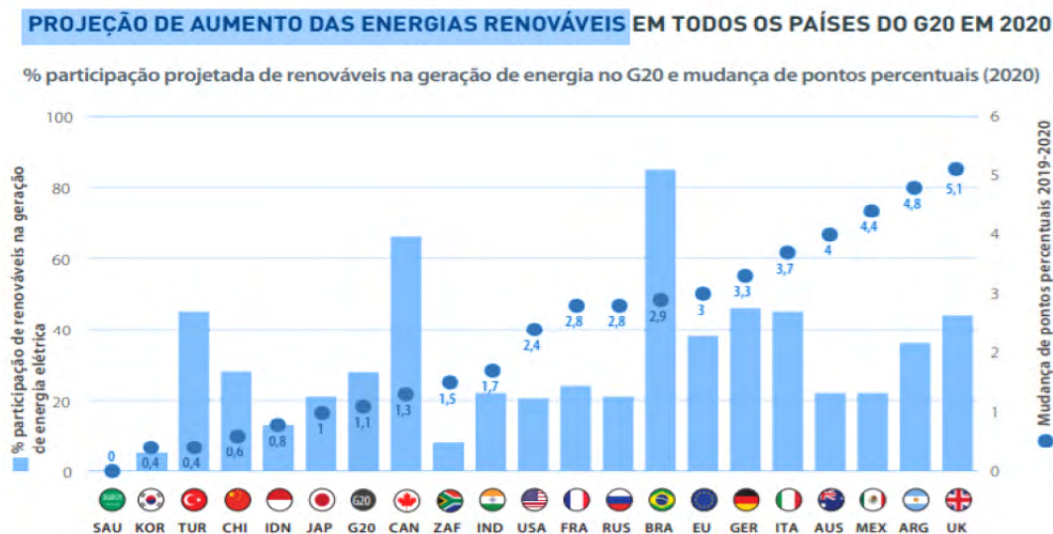
Fonte: Dados de 2018 - Enerdata (2019)

Além disso, as emissões *per capita* pelo PIB, relacionadas ao uso da energia no Brasil são uma das menores do mundo (0.15 tCO₂/US\$1000) - em relação aos outros países em desenvolvimento como Rússia, África do Sul e Índia, respectivamente com 0.55, 0.3 e 0.6 tCO₂/US\$1000 (CLIMATE TRANSPARENCY, 2018). O fato de o Brasil ser uma das economias menos intensivas em carbono se deve ao intenso uso de energia renovável (hidrelétrica, solar, eólica e biomassa) na geração de eletricidade e de biocombustíveis no setor dos transportes. Entretanto, vale destacar que esta opção brasileira por fontes mais

limpas não ocorreu por questões climáticas ou ambientais, e sim por uma peculiaridade hidrológica do Brasil e uma opção de política pública ao final dos anos 1970 para reduzir a dependência de hidrocarbonetos em um cenário no qual o país era extremamente dependente da importação de petróleo e derivados¹⁷⁷. Como resultado das políticas públicas adotadas, o Brasil é líder na participação de renováveis na geração de energia elétrica dentre os países do G20, como mostra a Figura 42 (CLIMATE TRANSPARENCY, 2020), o que revela resultados positivos embora ainda existam espaços para melhorias.

¹⁷⁷. A adoção de políticas públicas de incentivo aos biocombustíveis no Brasil data da década de 1970, com o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), uma das mais bem-sucedidas políticas de substituição em larga escala de derivados de petróleo no mundo.

FIGURA 42: PARTICIPAÇÃO DE RENOVÁVEIS NO G20



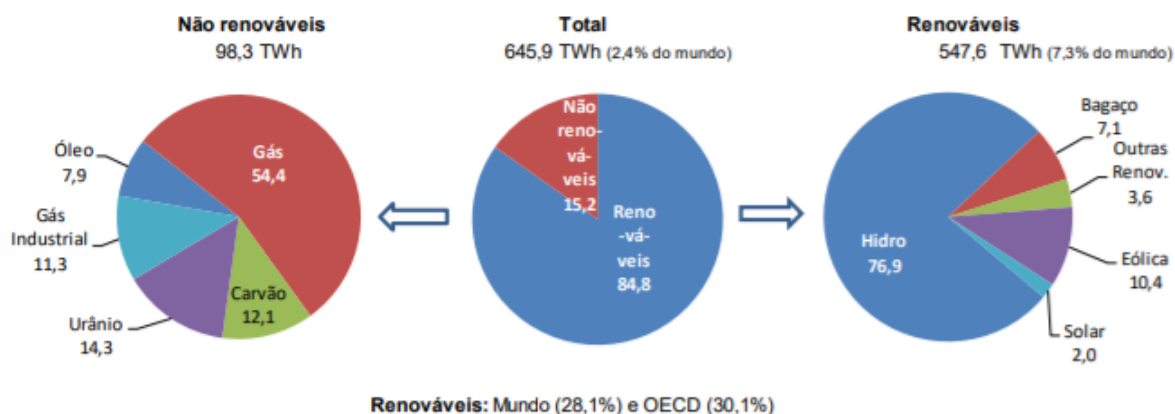
Fonte: Enerdata (2020)

3.1.2 Matriz Elétrica Brasileira

A Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) brasileira, em 2020, foi de 645,9 TWh, montante 0,8% inferior ao de 2019. A Figura 43 apresenta que

a participação das fontes renováveis em 2020 foi de 84,8%, dado muito superior ao da média mundial (28,1%) e da OCDE (30,1%), demonstrando considerável vantagem comparativa do setor elétrico brasileiro.

FIGURA 43: OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL – 2020 (%)



Fonte: Resenha Energética Brasileira - Resultados de 2020 - MME

Como pode ser observado, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna. A participação da hidroeletricidade, historicamente, tem destaque no Brasil em função do grande potencial existente, das políticas públicas e estratégias adotadas no setor elétrico. Essa fonte renovável, associada às outras fontes renováveis (eólica, solar fotovoltaica e biomassa), permitiu que o Brasil tivesse papel de destaque no cenário internacional, uma vez que além da alta participação de renováveis, o sistema apresenta ainda baixa emissão de gases de efeito estufa, característica que distingue o sistema elétrico brasileiro da média mundial.

Para manter a elevada participação de fontes renováveis e as baixas emissões no longo prazo, o aproveitamento hidrelétrico representa um elemento importante de ampliação de oferta de energia elétrica no sistema interligado nacional. Entretanto, conforme indicado no Plano Nacional de Energia 2050 (PNE2050), o potencial hidrelétrico inventariado se localiza predominantemente em áreas de alta sensibilidade socioambiental, sobretudo na região Amazônica, que tem metade de sua extensão coberta por áreas legalmente protegidas. Segundo o documento, 77% do potencial hidrelétrico inventariado apresenta algum tipo de sobreposição a áreas legalmente protegidas do território nacional, como terras indígenas, territórios quilombo-

las ou unidades de conservação, de modo que ao longo da construção de empreendimentos hidrelétricos suscitaram-se questionamentos de grupos da sociedade civil, que apontaram preocupações relativas à dimensão de impactos sociais e ambientais.

Apesar disto, nos cenários de médio e longo prazos para o setor energético brasileiro é esperada que seja mantida a predominância da geração de eletricidade baseada em renováveis e um nível de renovabilidade de aproximadamente 90% na matriz elétrica. Neste cenário, a redução na participação hidrelétrica será compensada pelo crescimento das fontes eólica e solar, e pelo aumento da participação da autoprodução e da geração distribuída, com maiores contribuições do uso da biomassa (biogás, bagaço de cana, lixo e lenha).

3.1.3 Matriz Energética do Setor de Transportes

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2021), os setores industrial e de transportes são os líderes no consumo de energia no país. Apesar do consumo de energia ter sido fortemente impactado em 2020, tanto o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE2030)¹⁷⁸ quanto o PNE2050 esperam resultados positivos para todos os setores no decênio, e sem mudanças significativas na estrutura dos setores no consumo final. Ambos os setores industrial e de transportes se mantêm como os princi-

¹⁷⁸ O Plano Decenal de Expansão de Energia é um documento elaborado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculado ao Ministério de Minas e Energia.

país vetores de consumo de energia no país e, como indica o PDE2030 no ranking dos maiores consumidores de energia, o setor de transportes mantém a liderança em relação aos demais setores, com cerca de 32% de participação desde 2019 até 2030 e grande destaque para o consumo final de energia no modal rodoviário.

Além de sua relevância no consumo energético e dos diversos impactos ambientais associados, o setor de transportes tem ampla relevância e abrangência econômica e social. O segmento afeta aspectos como a mobilidade de pessoas, o escoamento da produção agrícola, a logística de exploração de recursos energéticos, o abas-

tecimento de produtos e insumos para a sociedade. Contudo, é um dos maiores responsáveis pelas emissões de GEE. E, como historicamente o transporte de carga e passageiros no Brasil foi primordialmente realizado pelo modo rodoviário, as trajetórias de evolução do consumo de energia no setor de transportes estão intimamente relacionadas às perspectivas de alteração da estrutura modal do transporte de cargas, os padrões da mobilidade urbana e a velocidade do processo de eletrificação e efficientização da frota.

A participação do setor de transportes no Brasil, na OCDE e no resto do mundo é apresentada na Tabela 10.

TABELA 10: MATRIZ DE CONSUMO FINAL DE ENERGIA, POR SETOR (% E tep)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros (*)		Mundo	
	1973	2020	1973	2020	1973	2020	1973	2020
Indústria	29,8	32,1	31,2	20,0	33,1	31,5	30,6	26,2
Transportes (**)	25,0	31,2	22,6	31,0	10,8	18,6	21,5	26,5
Setor Energético	3,3	11,2	8,5	7,1	5,8	8,0	7,2	7,4
Outros Setores	38,7	20,6	30,6	33,4	46,6	32,8	35,0	31,5
Uso Não Energético	3,1	4,9	7,2	8,5	3,8	9,1	5,7	8,4
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Total - Mtep	76	255	3.076	3.085	1.691	6.024	5.027	10.484
% do mundo (**)	1,5	2,4	61,2	35,3	33,6	57,5		

(*) Exclusivo Brasil e países da OCDE (**) Inclui bunker apenas no mundo. Nos países, o bunker entra como exportação.

Fonte: Resenha Energética Brasileira - Resultados de 2020 - MME

Como pode ser visto, o peso dos transportes no consumo energético final no Brasil é superior à média da OCDE e à média mundial. Entretanto, deve-se destacar que o consumo energético no Brasil no setor de transportes tem participação expressiva dos biocombustíveis. A Tabela 11 mostra que a participação de Bioenergia (etanol e biodie-

sel) na matriz ficou em 24,5% em 2020. Nos países da OCDE, em 2020, a bioenergia participou com apenas 5%, este percentual foi muito influenciado pelo consumo de etanol dos Estados Unidos, pois os demais países a participação é pouco expressiva (1,1%). Nestes blocos de países, a participação dos derivados de petróleo fica próximas de 90%.

TABELA 11: MATRIZ ENERGÉTICA DE TRANSPORTES (% E tep)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros (*)		Mundo	
	1973	2020	1973	2020	1973	2020	1973	2020
Derivados de petróleo	98,7	73,2	95,7	91,4	83,2	88,3	94,4	90,9
Gás Natural	0,0	2,1	2,4	2,7	0,4	7,9	1,6	4,4
Carvão Mineral	0,01	0,0	1,1	0,0	13,5	0,0	3,0	0,0
Eletricidade	0,3	0,2	0,7	0,9	2,8	2,5	0,9	1,4
Bioenergia	1,0	24,5	0,0	5,0	0,08	1,4	0,06	3,4
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Total - Mtep	19	79	695	1.178	183	1.121	1.081	2.778
% do mundo (**)	1,8	2,9	64,3	42,4	16,9	40,4		

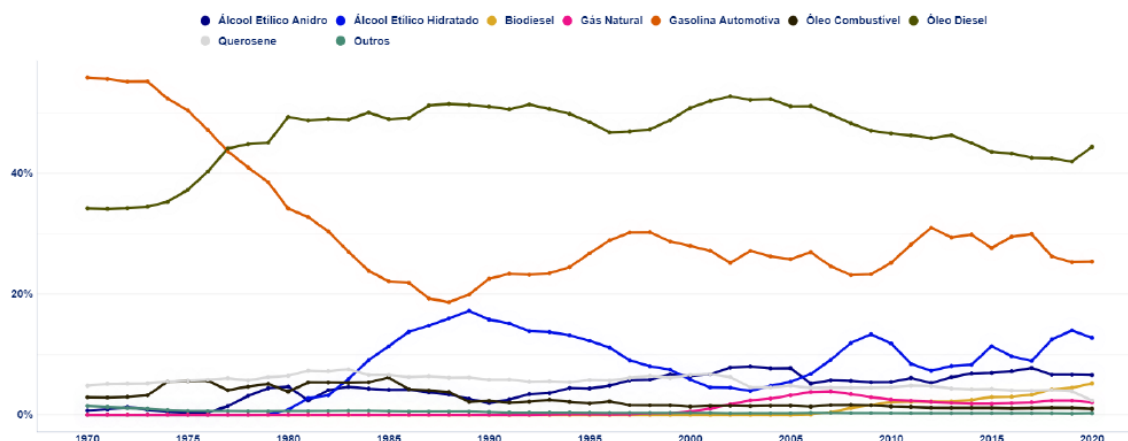
(*) Exclusivo Brasil e países da OCDE (**) Bunker incluído apenas no mundo, completa 100%.

Fonte: Resenha Energética Brasileira - Resultados de 2020 - MME

A Figura 44 apresenta a evolução da estrutura do consumo de energia no setor de transportes entre os anos 1970, década de criação do Proálcool, e 2020. Observa-se que o óleo diesel se manteve linearmente ocupando a faixa entre os 40% e 50% de participação, e a gasolina teve uma queda significativa com a adoção do Proálcool. Outro fator que contribuiu para o aumento da demanda por etanol (e redução das emissões no setor de

transporte) foi o emprego de mandatos de adição de etanol anidro na Gasolina A, atualmente em 27% e, a partir de 2003, com a tecnologia *flex fuel*. O gás natural apresenta crescimento a partir do final da década de 90, impulsionado por políticas locais específicas de incentivo à conversão da frota e o biodiesel a partir do ano de 2006, refletindo os resultados do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNBP).

FIGURA 44: EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DE TRANSPORTES ENTRE OS ANOS DE 1970-2020



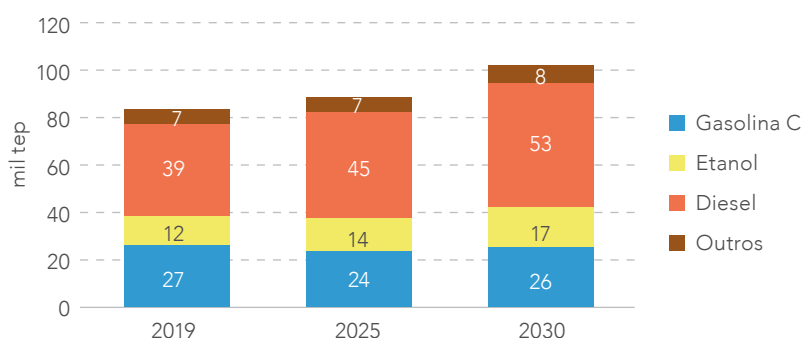
Fonte: Balanço Energético Nacional 2020 - EPE

O Brasil tem como principal modal para transporte de cargas o transporte rodoviário (54,5%), o que impulsiona o consumo de óleo diesel nos cenários de curto, médio e longo prazos para o Brasil. A participação do transporte rodoviário é alta em comparação com outros países, por exemplo, EUA, são 26%, Austrália, 24% e China, 8% (NETO *et al.*, 2011).

Segundo dados do PDE 2030, a demanda energética do setor transportes (Figura 45) aumentará entre 2019 e 2030, em média, 1,9% por ano. Assim, se em 2019, a participação do diesel no setor de transporte foi de 39 mil tep, a projeção para 2030 é de 53 mil tep, concentrado pelo transporte de carga. Nos médio e longo prazos, projeta-se que a demanda energética do transporte de cargas

se concentra no uso do óleo diesel, não havendo neste momento perspectiva de um amplo desenvolvimento de projetos com uso de fontes substitutas para veículos pesados. Entretanto, segundo a EPE, os licenciamentos de caminhões híbridos e elétricos devem começar a se tornar mais significativos nos segmentos de caminhões semi-leves e leves no ano de 2030, com gradual eletrificação da frota até o final da década de 2050. Para os segmentos de caminhões mais pesados, a opção de eletrificação deve levar mais tempo para ser competitiva. Cabe citar, como uma alternativa tecnológica, a inclusão das células de combustível de hidrogênio (no longo prazo) ou os caminhões a gás natural veicular (nos curto e médio prazos), que podem ser abastecidos com gás comprimido, gás liquefeito ou biometano.

FIGURA 45: CONSUMO DO SETOR DE TRANSPORTES POR FONTE DE ENERGIA (MIL TEP)

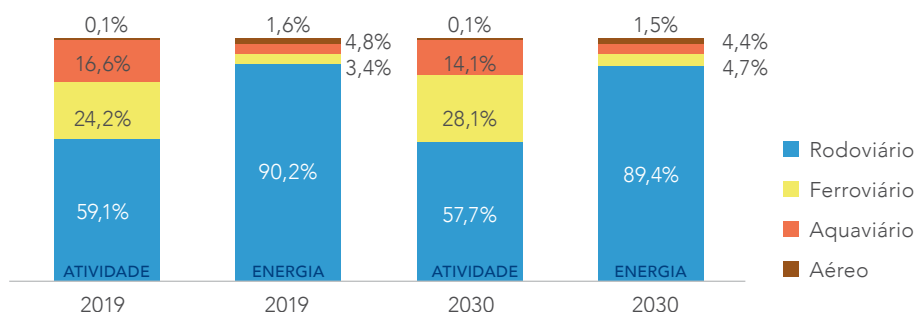


Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - EPE

A Figura 46 apresenta a participação na atividade e demanda energética do transporte de cargas dos seguintes modos: Rodoviário, Ferroviário, Aquaviário e Aéreo. A projeção do PDE é que entre 2019 e 2030 a atividade total do transporte

de passageiros aumente 3,2 % a.a.. A necessidade de mobilidade de lazer e trabalho, acompanhando o crescimento do PIB *per capita* e da redução do desemprego, impulsiona o crescimento visando atender a demanda da sociedade.

FIGURA 46: PARTICIPAÇÃO DOS MODOS NA ATIVIDADE (T.KM) E DEMANDA ENERGÉTICA (TEP) DO TRANSPORTE DE CARGAS

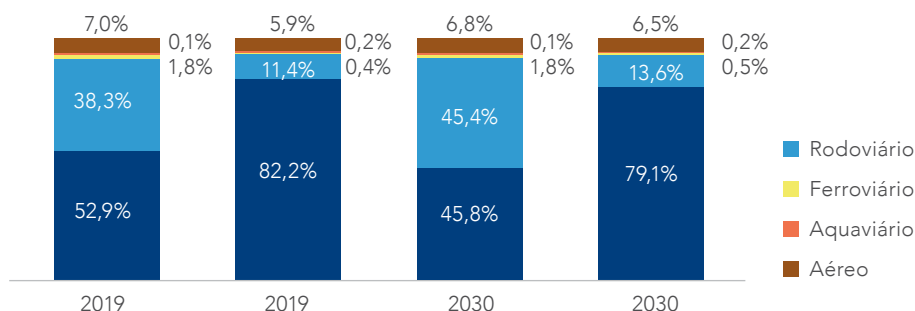


Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - EPE

Em relação à demanda do transporte de passageiros, o PDE, em termos energéticos, aponta um crescimento em média de 1,6% a.a.. Considera-se que ao longo da década serão observados avanços tecnológicos que contribuirão para a melhoria dos índices relativos à eficiência energética do transporte de passageiros. Adicionalmente, deve ser observada a mudança de modal, com aumento de participação do modo de transporte rodoviário coletivo e crescimento do modo metro-ferroviário, o que reduzirá a intensidade energética da matriz de transporte de passageiros.

Projeta-se, ainda, que a retomada do crescimento econômico associada a uma maior distribuição de renda deve contribuir para a melhoria da eficiência energética do transporte aéreo, que apesar dos significativos impactos da pandemia deve se expandir até o final da década (Figura 47). Em 2030, os modais ferroviário e aquaviário ainda não apresentam expressividade de atividade e consumo energético, em comparação aos modais rodoviário leve, rodoviário coletivo e aéreo.

FIGURA 47: PARTICIPAÇÃO DOS MODOS NA ATIVIDADE E CONSUMO ENERGÉTICO DO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

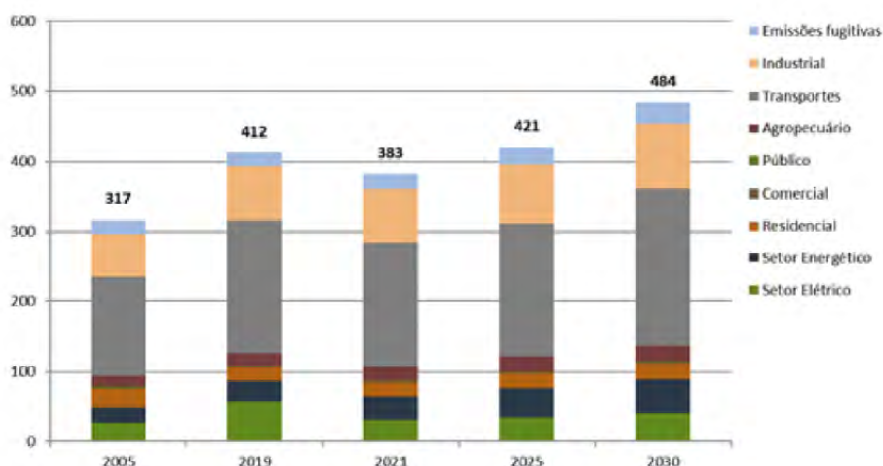


Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - EPE

O setor de transporte é o principal responsável pelas emissões de GEE na produção e consumo de energia no Brasil. De 2005 a 2017, a demanda energética nacional do setor de transportes aumentou em 60%, enquanto as emissões de GEE aumentaram 46% no mesmo período (SCHMITZ GONÇALVES *et al.*, 2019). Como indica a Figura 48, a expectativa é que a participação dos transportes nas emissões de GEE pela produção e uso de energia mantenha-se neste patamar até o final de 2030.

Os combustíveis mais representativos em termos de emissões no médio prazo são o óleo diesel (38%), seguido do gás natural (20%) e a gasolina (13%). Como resultado, o modal rodoviário deve permanecer responsável pelas emissões de dióxido de carbono total (em 2015 era responsável por 91% do dióxido de carbono total emitido) (MCTIC, 2016). Mesmo assim, as emissões *per capita* brasileiras (0,96 tCO₂/capita) são inferiores comparativamente aos países membros do G20 (1,20 tCO₂/capita).

FIGURA 48: EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO SETORIAL NAS EMISSÕES DE GEE PELA PRODUÇÃO E USO DE ENERGIA



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 - EPE

Diversas são as maneiras de se reduzir as emissões do transporte de passageiros e de carga: fazer o menor número de viagens possível, otimizar a logística, melhorar a infraestrutura e os padrões dos transportes de mercadorias, mudar para um modal menos energointensivo e menos poluidor como ferroviário ou hidroviário, expandir a frota de veículos elétricos e híbrido, melhorar a eficiência energética dos veículos (MJ / passageiro-km ou MJ / tonelada-km), reduzir a intensidade de carbono do combustível (CO₂ eq / MJ) (Sims et al., 2014) ou avançar na substituição de combustíveis fósseis no setor de transportes.

Um grande desafio para o setor energético nacional é de se manter significativa a participação de fontes renováveis na matriz. Para isso, no setor elétrico será necessária uma expansão de fontes renováveis de energia, enquanto especificamente para o setor de transportes, uma ampliação da produção e consumo dos biocombustíveis como etanol, biodiesel ou até mesmo biometano e HVO. Destaca-se também a imprescindibilidade de uma busca constante pela eficiência energética, através de políticas públicas mais incisivas e rigorosas, que, em conjunto com uma matriz mais sustentável e limpa, conferem melhores indicadores de emissão de gases de efeito estufa brasileiros entre os menores do mundo.

3.2 ANÁLISE POR ENERGÉTICO

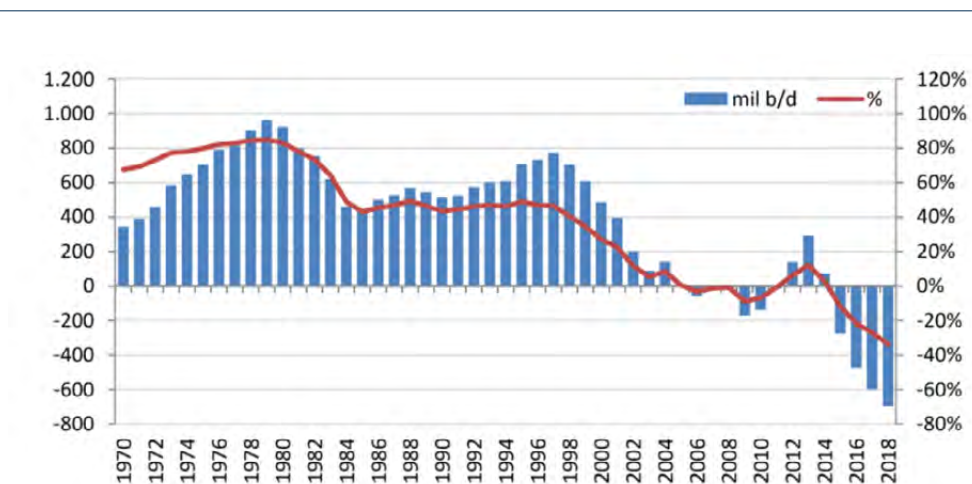
3.2.1 Petróleo e Gás Natural

Desde a segunda metade do século XIX, os combustíveis fósseis têm sido a base do sistema energético mundial, do crescimento econômico e do estilo de vida da sociedade. De fato, em 2020 responderam por mais de 80% do consumo total de energia primária global (tendo o petróleo respondido por 31,2%). Não por acaso são histori-

camente elementos essenciais para o desenvolvimento econômico das sociedades modernas.

No Brasil, o petróleo é a fonte primária de maior participação na matriz energética nacional desde 1973, e influencia diretamente o comportamento da matriz energética nacional. A Figura 49 indica a evolução da dependência externa de petróleo e derivados, que atingiu seu ponto máximo em 1979 (ano em que a participação do petróleo e seus derivados na matriz atingiu 50,4%).

FIGURA 49: DEPENDÊNCIA EXTERNA DE PETRÓLEO E DERIVADOS



Fonte: Reservas Estratégicas e Estoques de Operação do Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis, 2019

Após as crises do petróleo na década de 1970, ficou claro para o governo brasileiro que a dependência externa poderia comprometer o suprimento energético nacional. Como já observado, a busca por alternativas que reduzissem a dependência externa de petróleo e derivados do país levou à adoção de programas destinados ao incentivo da produção de cana-de-açú-

car e ampliação do uso energético do etanol. Adicionalmente, foram direcionados esforços para aumentar as descobertas de reservas nacionais e ampliar a capacidade de investimentos em exploração e produção no Brasil. As descobertas de reservas de petróleo na bacia de Campos, no estado do Rio de Janeiro, foram acompanhadas, a partir da segunda metade da

década de 1970, de investimentos em pesquisa e inovação voltados para viabilizar o aproveitamento de jazidas situadas a longas distâncias do litoral e em águas profundas.

Em 2006, o Brasil se tornou autossuficiente em petróleo; em 2008 se consolidou como exportador líquido de petróleo; e, no horizonte 2020-2030, os cenários são de crescimento da produção, indicando que o país deve se manter como um grande exportador, podendo chegar a um dos cinco maiores produtores de petróleo do mundo. Para isso, estima-se que os investimentos necessários para as atividades de exploração e produção fiquem entre US\$ 415 bilhões e US\$ 454 bilhões.

Nas últimas décadas, a produção predominante no Brasil é *offshore*. E no atual horizonte decenal esse cenário se mantém, com destaque cada vez maior para o pré-sal e declínio acentuado da produção terrestre. A descoberta do Pré-sal em 2006, uma das mais promissoras províncias petrolíferas em águas ultraprofundas do mundo com produção, em 2021, a Petrobras atingiu recorde anual de produção no pré-sal, ao alcançar 1,95 milhão de barris de óleo equivalente por dia (boed). Esse volume corresponde a 70% da produção total da companhia, que foi de 2,77 milhões de boed no ano passado. Esses resultados contribuirão decisivamente para o aumento da exportação dessa commodity e para os resultados positivos da balança comercial brasileira.

Em 2020, a demanda total de derivados de petróleo ficou em 1.945 mil barris equivalentes de petróleo (bep)/dia, montante 5% inferior ao de 2019. A produção de petróleo (incluindo Líquidos de Gás Natural - LGN e óleo de xisto) teve alta de 5,6%, chegando ao montante de 3.044 mil barris (bbl)/dia. Neste contexto, o petróleo encerrou o ano com superávit de 68,2% e os derivados com déficit de 4% - ao todo, houve exportações líquidas de petróleo e derivados da ordem de 1.100 mil bep/dia, indicador que vem crescendo desde 2015, já que em 2014 houve déficit líquido de 160 bep/dia¹⁷⁹.

De 1973 até 2020, a participação do petróleo e seus derivados na OIE reduziu 12,5 pontos percentuais, o que evidencia que o país, seguindo a tendência mundial, desenvolve esforços significativos de substituição desses energéticos fósseis, aumentando a participação de fontes alternativas e renováveis como a hidráulica e bioenergias (MME, 2020).

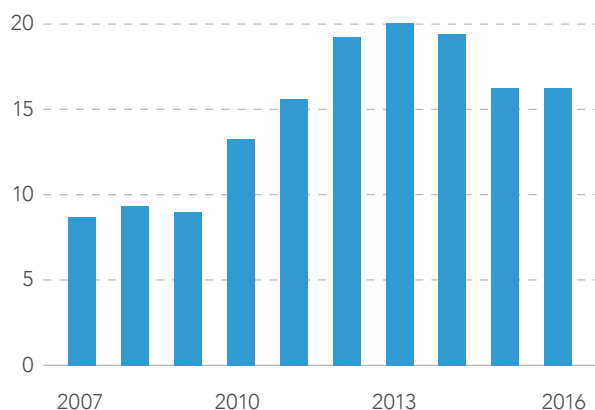
A estratégia energética brasileira assume a presença de combustíveis fósseis na matriz energética (especialmente petróleo - e seus derivados - e gás natural) nos médio e longo prazos. Ao contrário de outros países, que adotaram estratégias de redução da participação de hidrocarbonetos em seu mix energético, o Brasil aspira manter a renovabilidade atual de sua matriz (aumentar a oferta interna de energia sem incremento dos combustíveis fósseis, o que ainda assim representa um aumento absoluto destes energéticos).

179. MME (2021). Resenha energética Brasileira - Ano base 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergicaExercicio2020final.pdf>>.

Em 2009, os países membros do G20 acordaram que a cada ano iriam acabar com subsídios ineficientes para combustíveis fósseis em médio prazo. Ainda assim, disponibilizaram US\$ 147 bilhões para carvão, óleo e gás em 2016 -

estimativas contam isenções fiscais, suporte orçamentário para produção e consumo de combustíveis fósseis, mas não leva em consideração investimentos a empresas estatais e financiamento público.

FIGURA 50: EVOLUÇÃO DE SUBSÍDIOS PARA COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NO BRASIL EM BILHÕES DE DÓLARES



Fonte: OECD/IEA 2018.

A IEA mede exclusivamente os subsídios ao consumo utilizando como metodologia para o cálculo o chamado "gap ou lacuna de preços" que compara os preços pagos pelos consumidores de combustíveis com preços de referência baseados na cotação internacional. Desta forma, as estimativas disponíveis pela Agência medem apenas os subsídios ao consumo. Já a OCDE inclui os "gastos tributários", que representam renúncias de impostos e contribuições em favor de produtores ou consumidores de combustíveis fósseis, e os "gastos diretos" que são transferências de recursos públicos para beneficiar

o setor de alguma forma, por exemplo, gastos públicos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) voltados ao desenvolvimento de tecnologias ou para perfurações exploratórias, ou, ainda, para investimentos em infraestruturas que beneficiam diretamente o setor.

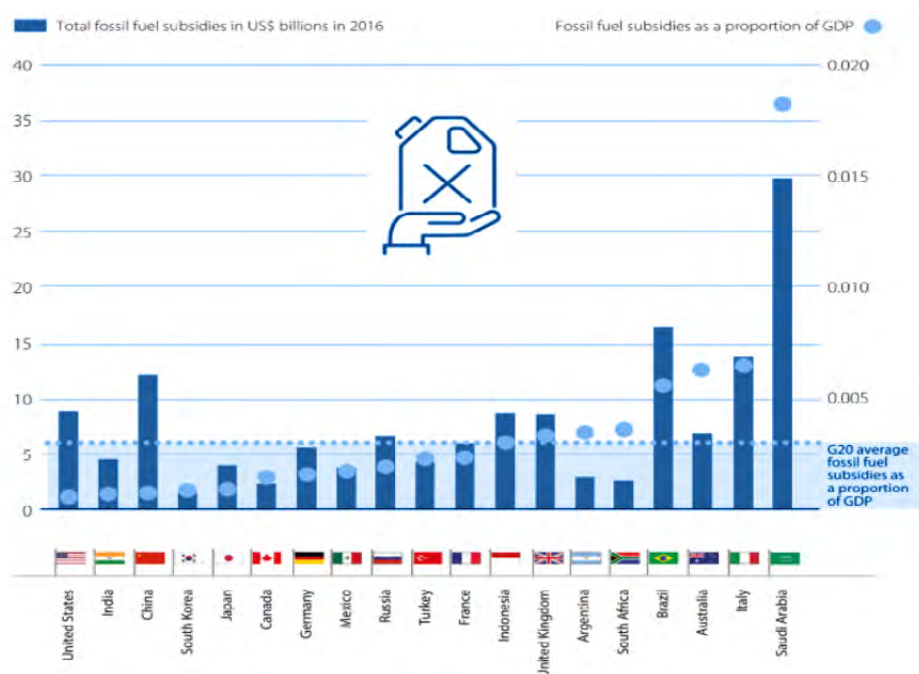
No Brasil, nos termos do Orçamento de Subsídios da União (OSU), subsídio é um instrumento de política pública que visa reduzir o preço ao consumidor ou o custo ao produtor. A depender do conceito de subsídio, a subvenção ao diesel em 2018, o vale gás (encerrado em

2008) e o auxílio gás, recentemente aprovado em dezembro de 2021, foram aportes diretos governamentais. O subsídio ao diesel de pescadores é outro de cunho social, objetivando reduzir o preço do combustível para este segmento, com gestão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Entretanto, a redução tributária, seja da parcela incidente sobre a construção de infraestrutura (IRPJ, CSLL, II, PIS e Cofins – normalmente associado a um regime especial), ou da parcela incidente sobre a comercialização dos combustíveis (Cide, PIS, Cofins, II e ICMS) é um mecanismo de organização orça-

mentária de governos nacionais e subnacionais alinhados com diretrizes alocativas, redistributivas e estabilizadoras (parte do papel do Estado). Metodologicamente não deveriam se inserir no conceito de subsídios.

O auxílio gás é um benefício que visa gerar maior qualidade de vida aos brasileiros em situação de vulnerabilidade e melhorar a situação econômica das famílias afetadas pela pandemia da Covid-19. O valor do benefício corresponde a 50% da média do preço do botijão de 13kg de gás liquefeito de petróleo (GLP)¹⁸⁰.

FIGURA 51: SUBSÍDIOS PARA COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NOS PAÍSES DO G20 EM BILHÕES DE DÓLARES



Fonte: OECD/IEA, 2018

180. MDS (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/cidadania/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/pagamento-do-auxilio-gas-para-5-5-milhoes-de-familias-tem-inicio-nesta-terca-18-01>>.

Em 2020, ocorreu uma queda significativa nos preços internacionais do petróleo devido à superoferta e à baixa demanda mundial provocada pela pandemia do coronavírus fez chegar em torno de 22 dólares o barril, o menor preço em 18 anos. Para 2020, as estimativas apontavam cortes em torno de US\$ 300 milhões a US\$ 600 milhões dos orçamentos de exploração no Brasil (PIRES; DELGADO, 2020). Recentemente, em 18 de janeiro de 2022, o preço do barril de petróleo atingiu o preço mais alto em sete anos, o maior patamar desde 2014. As preocupações com a oferta aumentaram esta semana devido às tensões geopolíticas no Oriente Médio. Assim, a demanda robusta e sobrecarga logística aquecem a cotação da commodity. Vale o destaque que, apesar dos subsídios concedidos ao segmento, o setor de óleo e gás representa 5% do PIB nacional (FGV Energia 2018), além de mais de 40 mil empregos diretos, arrecadação de royalties, participações especiais entre outras externalidades positivas.

A Opec manteve sua previsão de crescimento robusto na demanda mundial de petróleo em 2022, apesar da variante do Coronavírus Ômicron e dos aumentos esperados das taxas de juros, prevendo que o mercado de petróleo permanecerá bem apoiado ao longo do ano¹⁸¹.

Historicamente, o petróleo tem sido o produto fim a ser explorado, enquanto o gás natural era, na estratégia dos operadores nacionais (fortemente influenciada pela estratégia da Petrobras), um

energético secundário. Nos últimos anos, entretanto, o papel do hidrocarboneto como combustível de transição tem ficado cada vez mais claro na estratégia brasileira, seja por sua complementaridade com as fontes renováveis intermitentes na geração elétrica, seja por seu potencial de redução nas emissões de CO₂.

Na estratégia do PNE2050 está claro o papel do gás natural como combustível de transição. Entretanto, devem-se observar os questionamentos cada vez maiores quanto aos níveis de emissão de metano na produção de gás natural e o risco de ocorrência de um *leapfrog* diretamente para fontes renováveis (GOMES, 2021). Estas considerações impactam diretamente a estratégia de transição e projeções para o Brasil, uma vez que as reservas brasileiras são em sua maioria de gás associado. Com isso, uma aceleração da transição energética com redução da demanda de petróleo no mundo poderia impactar a viabilidade econômica das reservas de gás natural nacionais. Por outro lado, a manutenção da competitividade do petróleo brasileiro permite a exploração e aproveitamento do gás natural nesta nova fase.

3.2.2 Biocombustíveis

A volatilidade dos preços da energia, além da busca por segurança do suprimento energético e os esforços mundiais para redução das emissões e aceleração da transição energética, são as principais forças motrizes da busca por fontes alternativas de energia.

181. OPEP (2021). Disponível em: <https://www.opec.org/opec_web/en/index.htm>.

No contexto da segurança energética e redução da dependência, como visto, diversos países (inclusive o Brasil) já haviam adotado estratégias de incentivo à produção e uso dos biocombustíveis. Com o avanço das preocupações e debates em torno da transição energética, os biocombustíveis se colocam como estratégia alternativa, uma vez que, além de renováveis, possuem menores emissões de GEE, quando comparados aos seus substitutos fósseis (podendo inclusive ter emissões negativas, caso adotadas estratégias de captura de carbono na produção). Horta Nogueira et al. (2013) afirmam que “o desenvolvimento de novos processos capazes de usar matéria-prima celulósica para produzir líquidos biocombustíveis podem abrir novas perspectivas positivas e reforçar a sustentabilidade dos sistemas de bioenergia”. Ademais, há trabalhos que indicam que os biocombustíveis têm potencial de reduzir as emissões comparativamente aos combustíveis fósseis ao longo de seu ciclo de vida (conceito *well to wheel*, significando toda e qualquer emissão ao longo da cadeia, do início do processo até a combustão no motor do veículo). Uma análise desde a produção da biomassa até o seu uso como combustível através da queima, o que é liberado de CO₂ é, aproximadamente, o mesmo que o fixado no processo de fotossíntese (PEREIRA; ROITMAN; GRASSI, 2018).

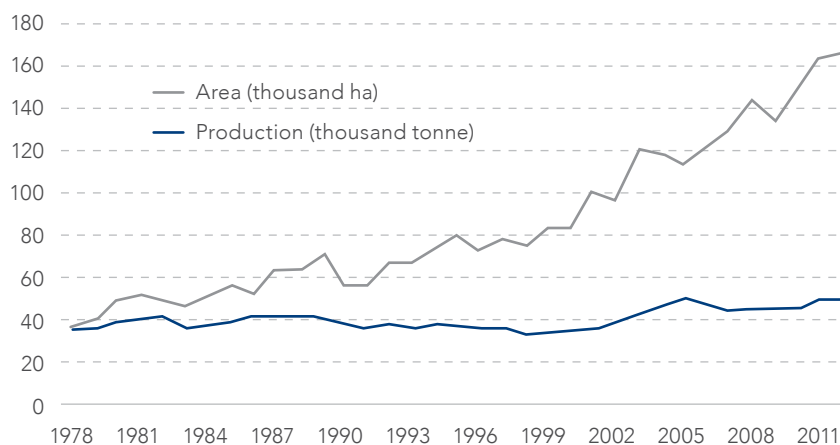
Contudo, há debates contrapondo os possíveis benefícios a eventuais consequências negativas

de uma expansão do uso de biocombustíveis. Como efeitos negativos, são alegados impactos na segurança alimentar, a influência nos preços de *commodities* agrícolas, e impactos socioambientais como os relacionados ao desmatamento, monocultura, uso da terra e uso da água, além de condições de trabalho (NOGUEIRA et al., 2016).

Já como efeitos positivos, os biocombustíveis podem ser benéficos ao promover o desenvolvimento sustentável, reduzir efetivamente as emissões GEE, ajudar a proteger os recursos naturais, aumentar a segurança energética, gerar empregos e renda, melhorar a saúde e agricultura, garantindo a segurança alimentar, principalmente nos países em desenvolvimento (HORTA NOGUEIRA et al., 2013).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) mais de 80% da demanda alimentícia mundial deve ser atendida apenas pelo aumento da produtividade (FAO, 2009). Entre 1961 e 2009, foi observado que, enquanto as terras usadas para a produção de alimentos aumentaram cerca de 12%, a produção agrícola cresceu 150% devido a ganhos de produtividade. No Brasil, por exemplo, entre 1980 e 2012, a produção de cereais e oleaginosas obteve uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 3,6% ao passo que a área cultivada cresceu em média apenas 0,7% ao ano (Figura 52).

FIGURA 52: EVOLUÇÃO DA ÁREA CULTIVADA E PRODUÇÃO DE CEREAIS E OLEAGINOSAS NO BRASIL, 1976—2012)



Fonte: IBGE, 2012

No Brasil, portanto, há terras suficientes e condições climáticas favoráveis, por ser um país continental, para produção de biomassa para biocombustíveis e para produção de alimentos. De fato, pela larga disponibilidade de terra e condições edafoclimáticas favoráveis, no Brasil não se coloca a questão de eventual competição pelo uso da terra. Segundo a EPE (2020a), a origem da cadeia de biocombustíveis no Brasil está no segmento agropecuário, cuja diversidade disponibiliza uma variedade de coprodutos que podem ser direcionados para a produção de biocombustíveis e alimentos. Assim, diferentemente de algumas regiões do mundo, no Brasil a interrelação produtiva minimiza a possível competição pelo uso da terra no território nacional, potencializa a integração produtiva entre energia e alimentos e aumenta a resiliência do setor agroenergético no país. Adicionalmente,

conforme a EPE (2021), as políticas nacionais de biocombustíveis, da forma como desenhadas, tem o potencial para não apenas promover a diversidade da matriz energética e a redução da emissão de poluentes, mas também contribuem para a segurança alimentar ao desenvolver a agricultura, gerar renda de modo sustentável no campo e fomentar o desenvolvimento econômico regional e nacional, com impactos positivos para a redução da pobreza.

A criação de zonas agroecológicas baseadas em mapas de solos, topografia, condições climáticas e pluviométricas para a produção de cana de açúcar, respeitando as leis ambientais, assegurando áreas de proteção e reduzindo a competição com outros insumos, foi uma ação para organizar uma expansão bastante efetiva e aumentar a produção de etanol no país (MAPA,

2009). Essa ação foi muito importante também para a exportação do etanol visto que, por exemplo, a União Europeia estabelece um controle de importações de biocombustíveis baseado no acompanhamento do uso da terra.

Da demanda energética do setor de transportes para o ano de 2020, os biocombustíveis supriram 23,2% desse total (EPE, 2019b). Para atender os compromissos assumidos na COP21, a EPE estima que a produção de etanol deverá alcançar um volume de 54 bilhões de litros até 2030, enquanto a produção de biodiesel deverá atingir 9,4 bilhões de litros. Nesse sentido, segundo documento da Empresa de Pesquisa Energética ("Investimentos e Custos Operacionais e de Manutenção no Setor de Biocombustíveis: 2021-2030"), é necessário investimentos em expansão e modernização da indústria sucroenergética em torno R\$ 68,5 bilhões para o período 2020 e 2030.

Em 2020, o Brasil produziu cerca de 32,6 bilhões de litros de etanol e aproximadamente 6,4 bilhões de litros de biodiesel, sendo que as emissões evitadas pelo uso de etanol (anidro e hidratado) e biodiesel, em comparação aos equivalentes fósseis (gasolina e diesel), somaram 67,2 MtCO₂ neste mesmo ano. No que se refere à produção de etanol, como esclarece a EPE (2021), a pandemia de Covid-19 impactou o consumo de combustíveis, sendo um dos principais fatores para que houvesse uma maior destinação do mix para a produção de açúcar, na safra 2020/21. O aumento nas cotações da commodity no mercado internacional e a desvalorização do real frente ao dólar também vem contribuindo

para este resultado. Já a produção de biodiesel foi positivamente impactada pelo aumento do percentual de adição obrigatória do biodiesel ao diesel fóssil, o que contribuiu para contrabalançar a queda na demanda no ano.

É importante destacar que o Brasil tem a vantagem competitiva no cenário mundial de produzir etanol hidratado a um preço concorrente com a gasolina (AJANOVIC; HAAS, 2014). Apesar disso, um incremento do mandato de mistura de etanol na gasolina é uma questão complexa, por exemplo, os regulamentos governamentais envolvem diversas partes interessadas, aprimoramentos tecnológicos podem ser lentos e complexos e uma resistência internacional pela competição de sua produção em escala global com o uso da terra (ESPINOZA et al., 2017).

Outro biocombustível que vem se destacando nos últimos anos é o biometano (biocombustível oriundo do refino e purificação do biogás). O biogás foi a terceira maior fonte de energia renovável no mundo, aumentando 12,8% a.a no período de 1990 a 2015 (IEA, 2017). Embora sua participação na matriz energética nacional no ano de 2020 tenha sido inferior a 1%, sua participação na oferta interna de energia vem apresentando crescimento acelerado (de 27% ao ano no último quinquênio). Segundo a Associação Brasileira de Biogás (Abiogás), a produção brasileira do biometano poderia atingir um valor de 28,5 bilhões m³/ano o que abasteceria como combustível quase 25% da frota nacional de veículos e a capacidade instalada de geração distribuída a biometano no Brasil alcançou, em 2020, 42MW (FERNANDES; MARIANI, 2019).

a) Etanol

Segundo Goldemberg *et al* (1978) o etanol da cana de açúcar é comparável à energia solar liquefeita, por ter balanço energético altamente positivo. Isso significa que o etanol da cana de açúcar gera muito mais energia do que consome durante todo seu ciclo de vida, desde a plantação, o transporte e outras etapas da produção.

Além disso, dependendo do insumo para a produção do etanol, algumas matérias-primas podem gerar mais emissões de GEE no ciclo de vida do biocombustível do que outras. Por exemplo, o etanol da cana (típico brasileiro) é mais vantajoso que o etanol do milho (típico estadunidense), uma vez que para o rendimento de uma mesma área plantada desses insumos, o etanol do milho rende 3 mil litros, enquanto o etanol da cana, 7500 litros. Isso significa, além de menor emissão, menos impactos ambientais em relação ao desmatamento de terras para a expansão da produção.

A respeito do mercado de carbono e dos projetos registrados como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) na UNFCCC, um mecanismo criado ainda pelo Protocolo de Kyoto para auxiliar no processo de redução obrigatória das emissões de GEE dos países em seu Anexo I, 24 dos 68 projetos brasileiros são voltados para o setor sucroenergético, que gerou uma redução estimada de 473,9 mil toneladas de CO₂, gerando como receita US\$ 3,5 milhões (Sousa e Macedo, 2010). Isso revela a importância histórica do setor para a redução das emissões brasileiras, que atualmente já se atualizou com o Acordo de Paris

(2015) e o lançamento do RenovaBio e o mercado de créditos de carbono criado pelo programa.

O Brasil utiliza o etanol combustível como um aditivo da gasolina desde a década de 1920 e, como já abordado, a indústria teve um salto de desenvolvimento com o Proálcool, lançado em 1975, que teve como metas promover o incremento do etanol anidro na mistura à gasolina e incentivar o desenvolvimento de plataformas veiculares movidas exclusivamente a etanol hidratado. Dentre os incentivos do Governo Federal em face aos objetivos estabelecidos no programa para reverter a dependência externa do petróleo e seus derivados citam-se: redução de impostos para os veículos movidos a etanol hidratado e aumento para os movidos a gasolina convencional; redução do IPVA (imposto sobre a propriedade de veículos automotores) dos carros movidos a etanol; preços tabelados para o açúcar e para o etanol; garantia do preço do etanol ser sempre menor que o da gasolina; e, oferta do mesmo nos postos em todo o território nacional. O resultado foi imediato: um aumento de mais de 500% na produção de etanol entre os anos de 1975 e 1979.

Embora os veículos movidos a etanol hidratado emitam CO₂, essa fonte energética é considerada neutra em carbono e não representa um potencial de aquecimento global de acordo com as diretrizes do IPCC. O etanol de cana do Brasil corresponde a um potencial de 86% de redução nas emissões de CO₂ comparadas ao uso de petróleo, enquanto as emissões provenientes do uso da terra se recuperam de 2 a 8 anos (JAISWAL *et al.*, 2017).

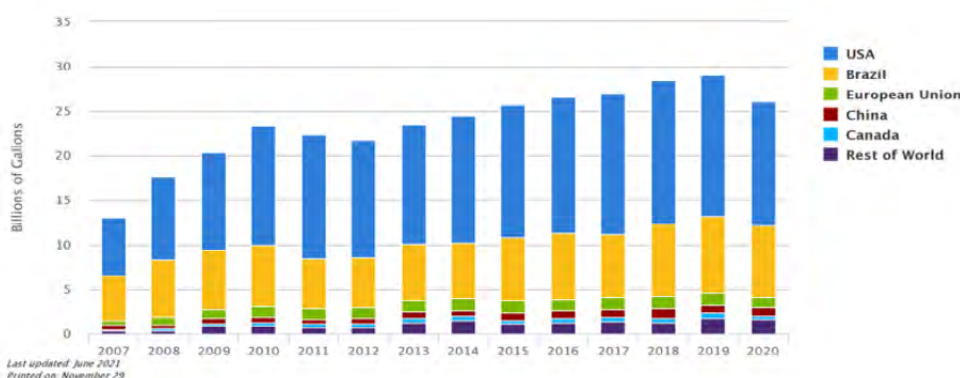
A partir de 2003, com o surgimento dos primeiros veículos *flex fuel*, que permitem qualquer combinação de abastecimento entre gasolina C e etanol, houve o maior crescimento de vendas de veículos verificado na história do país. A Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014 prevê a aumentar mandatoriamente a porcentagem de etanol anidro à gasolina entre 18% e 27,5%, baseando-se na tecnologia e a viabilidade técnica verificada. No caso da gasolina, a mistura de etanol anidro pode ser entre 18% e 27,5%. Desde 16 de março de 2015 a mistura está em 27% (MME, 2017b).

A eficiência energética do etanol vem melhorando a cada ano. Quando lançado o Proálcool, sua eficiência era a metade da gasolina (CORTEZ, 2016), enquanto hoje essa diferença de eficiência é de aproximadamente 25%. Segundo a Embrapa (AGRA, Inteligência de Agronegócios, 2017)

novas tecnologias como biobutanol conseguiriam melhorar ainda mais a eficiência, chegando a uma diferença de apenas 5%. Outras tecnologias como a E2G, onde a cana de açúcar é usada na produção de celulose etanol, o custo de produção estimada é de cerca de US\$ 0,39/L, enquanto na maneira tradicional é de aproximadamente US\$ 0,30/L (MILANEZ *et al.*, 2015), necessitando, portanto, de incentivos governamentais para enfrentar o mercado.

Nos últimos 30 anos, a produtividade de etanol de cana no Brasil tem aumentado a uma taxa anual de crescimento acumulado de 3,5% podendo melhorar ainda mais (HORTA NOGUEIRA *et al.*, 2013). A Figura 53 apresenta a hegemonia do Brasil e Estados Unidos referente a produção mundial de etanol, representando juntos 80% da produção global (IEA, 2018)¹⁸².

FIGURA 53: PRODUÇÃO GLOBAL DE ETANOL POR PAÍS OU REGIÃO



Fonte: Renewable Fuels Association - <https://afdc.energy.gov/data/10331>

¹⁸². MARKET REPORT SERIES: RENEWABLES 2018 – ANALYSIS. [s. d.]. IEA. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>. Acesso em: 28 set. 2020.

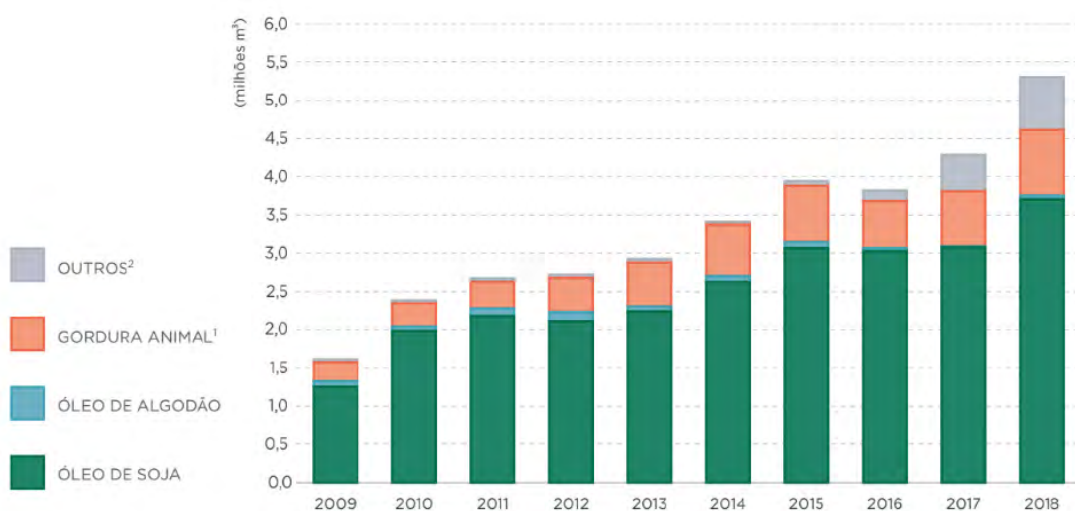
b) Biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) foi lançado em 2005 com o objetivo de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional. Em seu ano de lançamento, o governo autorizou em caráter voluntário a mistura B2, isto é, 2% de biodiesel em volume no óleo diesel. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional; um percentual que foi ampliado pelo CNPE sucessivamente até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010. Em 2016, a Lei nº 13.263/2016 autorizou o CNPE a elevar o percentual de biodiesel na mistura até o patamar de 15% e,

nesse contexto, a Resolução CNPE nº 16/2018 propôs um cronograma de aumento do percentual de biodiesel na mistura com o diesel de 1% ao ano, atingindo 15%, em 2023.

Apesar de estimulada pela demanda criada pelo mandato de mistura, a produção de biodiesel se acelerou no Brasil baseada essencialmente na produção de soja na região Centro-Oeste (que já tinha agroindústria bem estabelecida). A soja, a principal matéria-prima usada para o biodiesel (69,8%) é cultivada principalmente nas regiões Sul e Centro-Oeste, de onde, segundo o Anuário Estatístico da ANP (2021), foram obtidos 82,4% do biodiesel brasileiro em 2020. A Figura 54 apresenta as matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel.

FIGURA 54: MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL (B100) - 2009-2018



Fonte: ANP/SPD, 2018.

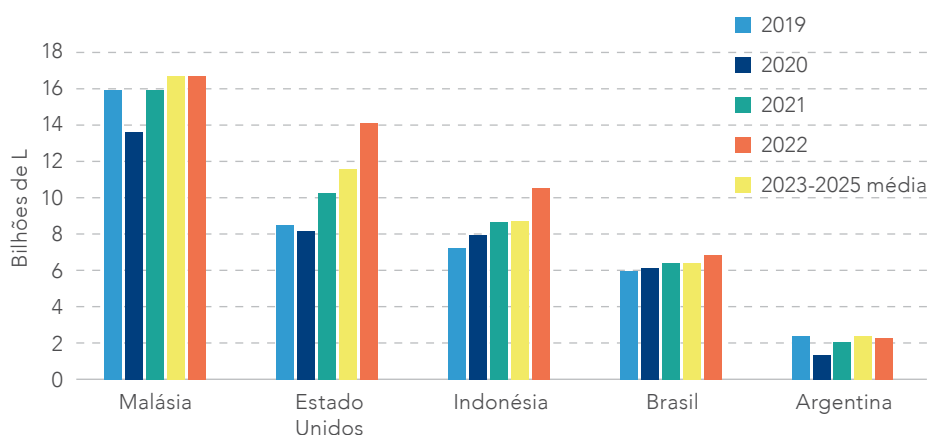
¹ Inclui gordura bovina, gordura de frango e gordura de porco. ² Inclui óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de mamona, óleo de sésamo, óleo de canola, óleo de milho, óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

Para o setor de transportes, os biocombustíveis líquidos providenciaram apenas 3,3% (93 Mtep) da demanda energética total de 2829 Mtep no ano de 2018. As projeções para 2035 apontam que os biocombustíveis serão responsáveis por 8% da demanda energética do modo rodoviário no planeta (NOGUEIRA *et al.*, 2016). Como no caso brasileiro há um percentual de mandato obrigatório substancial de participação de biocombustíveis em comparação à média mundial, principalmente devido aos programas do etanol na década de 1970 e do biodiesel em 2005, quase 24,5% da demanda energética do setor (79 Mtep) foi suprida por bioenergia em 2020.

Segundo a IEA (2018), a produção global de biodiesel deverá atingir 182 bilhões de litros em 2025, com a expansão do mercado impulsionada por uma demanda maior, exigida principalmente nos Estados Unidos, Brasil e China¹⁸³. Não obstante os impactos da pandemia da Covid-19 na demanda de curto e médio prazos de transportes, que levaram a uma queda de 11,6% na produção global de biocombustíveis em relação à produção recorde de 2019 (a primeira redução na produção anual em duas décadas), espera-se que os biocombustíveis atendam a cerca de 5,4% da demanda de energia para o transporte rodoviário em 2025.

A Figura 55 apresenta a projeção da participação da produção global de biodiesel por país entre os anos de 2017 e 2023, com destaque para Brasil, Estados Unidos, Malásia, Indonésia, Argentina em relação aos países da União Europeia e restante do mundo.

FIGURA 55: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO GLOBAL DE BIODIESEL E HVO – PRINCIPAIS PAÍSES, 2019-2025



Fonte: IEA, 2020

¹⁸². MARKET REPORT SERIES: RENEWABLES 2018 – ANALYSIS. [s. d.]. IEA. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>. Acesso em: 28 set. 2020.

c) RenovaBio

O RenovaBio é um programa do governo federal brasileiro, instituído em 2017 pela Lei nº 13.576. Seu principal objetivo é o reconhecimento do papel estratégico de todos os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene, segunda geração, entre outros) na matriz energética brasileira, no que se refere à contribuição para a segurança energética, à previsibilidade do mercado e à mitigação de emissões dos gases causadores do efeito estufa no setor de combustíveis, mediante a indução de ganhos de eficiência energética e de redução da pegada de carbono.

O programa é uma das principais contribuições do setor de transportes para o cumprimento das metas estabelecidas pela NDC brasileira no Acordo de Paris de 2015 e teve seu desenho influenciado em diversas iniciativas mundiais como o Renewable Energy Directive (RED), da União Europeia, o Renewable Fuel Standard (RFS), dos Estados Unidos e o Low Carbon Fuel Standard (LCFS), da Califórnia.

No Diálogo em Alto Nível da ONU (2021) sobre energia, encontro em formato virtual, que contou com a presença de altas autoridades e especialistas nacionais e estrangeiros, o MME submeteu o *Energy Compact* das metas do RenovaBio, no

tema “Transição Energética”, com o compromisso de reduzir a intensidade média de carbono da matriz de combustíveis em 10% até 2030. Evitando a emissão de 620 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, por meio da implementação dos mecanismos do RenovaBio, contribuindo assim para ser atendido o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 de Energia Acessível e Limpa¹⁸⁴.

Buscando a neutralidade climática até 2050 o Brasil adotará diretrizes e medidas estratégicas, através do RenovaBio para expandir o consumo de biocombustíveis (incluindo uso de biomassa na cogeração de energia). Pretende-se aumentar a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel, diesel verde e parcela renovável do diesel de coprocessamento na mistura do diesel, aumentando assim a participação de biocombustíveis sustentáveis na matriz energética brasileira¹⁸⁵.

Os programas RenovaBio e Combustível do Futuro também foram citados como exemplos de medidas para a transição energética do Brasil durante painel sobre energia limpa da agenda brasileira da Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP26), realizada em 2021 na cidade de Glasgow (Escócia)¹⁸⁶.

¹⁸⁴. MME (2021). Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-recebe-carta-da-onu-em-funcao-dos-compromissos-assumidos-no-renovabio>

¹⁸⁵. MME (2021). Disponível: <https://www.gov.br/mma/pt-br/diretrizes-para-uma-estrategia-nacional-para-neutralidade-climatica.pdf/>

¹⁸⁶. CASA CIVIL (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2021/novembro/brasil-anuncia-que-tera-50-da-matriz-energetica-limpa-ate-2030>>.

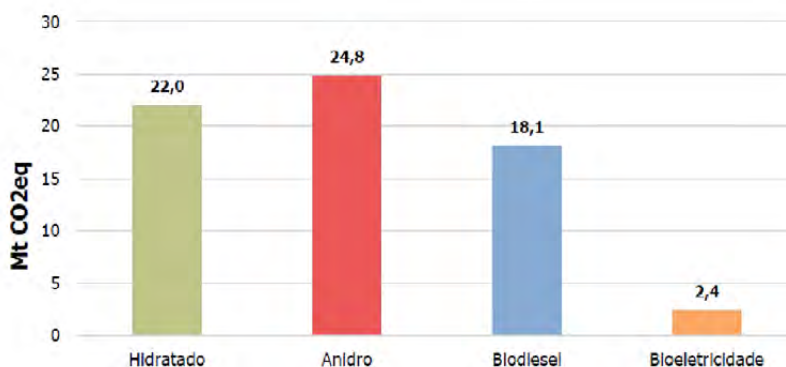
O RenovaBio é estruturado em três eixos estratégicos: i) Metas de Descarbonização; ii) Certificação da Produção de Biocombustíveis; e, iii) Crédito de Descarbonização (CBIO). Ele é operacionalizado através do estabelecimento, pelo CNPE, de metas nacionais de descarbonização para dez anos, as quais são individualizadas para os distribuidores de combustíveis pela ANP. O cumprimento da meta se dará a partir da compra do Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis (CBIO), emitido pelos produtores ou importadores que voluntariamente certificam sua produção e recebem, como resultado, notas de eficiência energético-ambiental, as quais, multiplicadas pelo volume de biocombustível comercializado, resulta na quantidade de CBIOs que determinado produtor poderá emitir e vender no mercado.

O CBIO é um ativo financeiro, ou seja, um crédito de carbono que pode ser negociado na bolsa de valores. Dessa forma, o RenovaBio deve, além de reduzir a intensidade de carbono na matriz

de combustíveis, estimular ainda mais o uso da bioenergia no setor de transportes, incentivar a busca por eficiência da produção dos biocombustíveis, uma vez que a quantidade de CBIOs emitida será diretamente proporcional à nota de eficiência do processo produtivo da usina. Além disso, podem servir como uma ferramenta para permitir investimentos privados necessários e desejáveis na distribuição de combustível.

Em 2020, começaram a ser emitidos e colocados à disposição na B3 os créditos de descarbonização, com as primeiras negociações ocorrendo em junho, por partes não obrigadas, e, em julho, pelas partes obrigadas. Em seu primeiro ano de funcionamento, o RenovaBio teve como resultados a emissão de 18,2 milhões de CBIO em 2020, volume 22% superior à meta (14,9 milhões), e cumprimento, por parte das distribuidoras de combustíveis, de 97,6% do estabelecido. A Figura 56 indica as emissões evitadas com biocombustíveis em 2020.

FIGURA 56: EMISSÕES EVITADAS COM BIOCOMBUSTÍVEIS EM 2020 - BRASIL



Fonte: EPE, 2020

O balanço de 2021 da RenovaBio divulgado pela ANP informa que dos 142 distribuidores de combustíveis, 118 cumpriram integralmente, ou acima de 85%, as metas estabelecidas – a legislação permite a comprovação dos 15% restantes no ano seguinte.

De acordo com o balanço, foram emitidos 34,8 milhões de créditos de descarbonização (CBIOs), incluindo o estoque de 2019, 29,8 milhões foram negociados, dos quais 24,4 milhões foram aposentados pelos distribuidores. Esse valor corresponde a 96,8% do total das metas individuais atribuídas pela ANP e 98,2% da meta global estabelecida pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)¹⁸⁷.

Vale ressaltar, que cada CBIO equivale a uma tonelada de CO₂. Assim, as distribuidoras evitaram a emissão de 24,4 milhões de toneladas de gases de efeito estufa com a utilização de biocombustíveis. O CBIO foi negociado a um preço de R\$ 39,31 e movimentou R\$ 1,17 bilhões em 2021.

Para o ano de 2022 o MME reafirma a meta de 35.976.348 CBIOs, a qual será posteriormente desdobrada aos distribuidores de combustíveis pela ANP. Além disso, o Comitê RenovaBio deve monitorar o mercado deste ano de 2022, fixar a meta de 2023 e estabelecer as metas de 2024-2032.

d) Programa Combustível do Futuro

O Programa Combustível do Futuro tem como princípio o uso de fontes alternativas de energia e o fortalecimento do desenvolvimento tecnológico nacional, colaborando assim para a liderança do Brasil na transição energética mundial.

Este foi criado por meio da Resolução CNPE nº 07, de 20 de abril de 2021, que criou também o Comitê Técnico Combustível do Futuro (CT-CF), composto por quinze órgãos e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

Dentre os objetivos do programa estão¹⁸⁸:

- integrar políticas públicas afetas ao tema (RenovaBio, Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, Proconve, Rota 2030, Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular e o CONPET;
- propor medidas para melhoria da qualidade dos combustíveis, com vistas a promover redução da intensidade média de carbono da matriz de combustíveis, da redução das emissões em todos os modos de transporte e do incremento da eficiência energética;
- propor metodologia de análise de ciclo de vida completo (do poço à roda) nos diversos modos de transporte;
- avaliar a possibilidade de aproximação dos combustíveis de referência aos combustíveis efetivamente utilizados;

¹⁸⁷. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mais-de-24-milhoes-de-toneladas-de-gases-de-efeito-estufa-foram-evitados-com-a-utilizacao-de-biocombustiveis-em-2021>>.

¹⁸⁸. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/combustivel-do-futuro>>.

- propor ações para fornecer ao consumidor as informações adequadas de modo a contribuir para a escolha consciente do veículo e da fonte de energia considerando o ciclo de vida dos combustíveis;
- propor estudos para criação de especificação de gasolina de alta octanagem;
- propor estudos para viabilizar tecnologia de célula a combustível a etanol;
- avaliar condições para introdução de querosene de aviação sustentável na matriz energética brasileira;
- estabelecer estratégia nacional para uso de combustíveis sustentáveis no transporte marítimo e
- estabelecer condições para uso de tecnologia de captura e armazenamento de carbono associada à produção de biocombustíveis.

e) Programa Nacional do Hidrogênio

Segundo a EPE (2021) o hidrogênio se tornou prioridade na estratégia de energia e de clima de diversos países, inclusive do Brasil. Principalmente, por oferecer uma alternativa para abatimento de emissões de carbono e por se constituir também em um vetor de energia, possibilitando o armazenamento de energia e favorecendo o acoplamento do setor de energia aos setores de indústria e transporte.

O hidrogênio é mais uma possibilidade tecnológica para a eletrificação de veículos, mesmo nos

transportes leves, através de células a combustível ou, indiretamente, por meio de combustíveis sintéticos – *e-fuels*.

O Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2)¹⁸⁹ se propõe a definir um conjunto de ações que facilite o desenvolvimento conjunto de três pilares fundamentais para o sucesso do desenvolvimento de uma economia do hidrogênio: políticas públicas, tecnologia e mercado.

O programa se desdobra em 6 eixos temáticos:

- Eixo 1 - Fortalecimento das bases tecnológicas;
- Eixo 2 - Capacitação e recursos humanos;
- Eixo 3 - Planejamento energético;
- Eixo 4 - Arcabouço legal (regulatório);
- Eixo 5 - Crescimento do mercado e competitividade e
- Eixo 6- Cooperação internacional.

Dentre os eixos temáticos diversas ações já foram iniciadas relacionadas à cooperação internacional e estudos de planejamento energético com foco no papel do hidrogênio no Brasil. Vale ressaltar que a aceleração do desenvolvimento do mercado de hidrogênio trará ampla gama de oportunidades de negócios (para petróleo e gás, renováveis, biocombustíveis, nuclear e outras indústrias), uma vez que existem diferentes rotas tecnológicas e insumos para a produção de hidrogênio¹⁹⁰.

¹⁸⁹. MME (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2>>.

¹⁹⁰. Hydrogen Council (2020).

3.3 ANÁLISE POR MODAL DE TRANSPORTE

O setor de transportes é responsável por 33% do consumo final de energia no Brasil (EPE, 2020), sendo que o transporte de cargas representa aproximadamente 40% desta demanda energética e se baseia principalmente no uso do modo rodoviário. Estudo da EPE em parceria com a Agência Internacional de Energia indica que o crescimento da frota de caminhões, a uma taxa de 3,5% ao ano, entre 2005 e 2018, elevou o consumo de diesel de 20 milhões de tep para 30 milhões de tep, um aumento de 3,2% ao ano. E, embora os veículos leves representem 77% da frota, os caminhões pesados têm papel significativo e foram responsáveis pela maior parte do aumento no consumo de energia do setor de transportes ao longo do tempo, um incremento de 219%, entre 2000 e 2020.

3.3.1 Veículos Leves

A indústria de carros brasileira gera cerca 1,3 milhão de empregados diretos ou indiretos, é o oitavo maior mercado global e nono maior produtor, além de possuir 4% de participação do PIB brasileiro, sendo 22% do PIB industrial. Ou seja, é extremamente importante para o desenvolvimento econômico do país¹⁹¹.

O setor de transportes brasileiro depende fortemente do modo rodoviário tanto para transporte de passageiros quanto para de mercadorias, aproximadamente 90% e 60% respectivamente. Os veículos leves representam 52,3% dos transportes de passageiros com uma frota predominantemente do tipo *flex fuel*, isto é, consomem tanto etanol hidratado ou a mistura de gasolina com etanol anidro, mas ainda conta com uma participação expressiva de veículos movidos exclusivamente a gasolina.

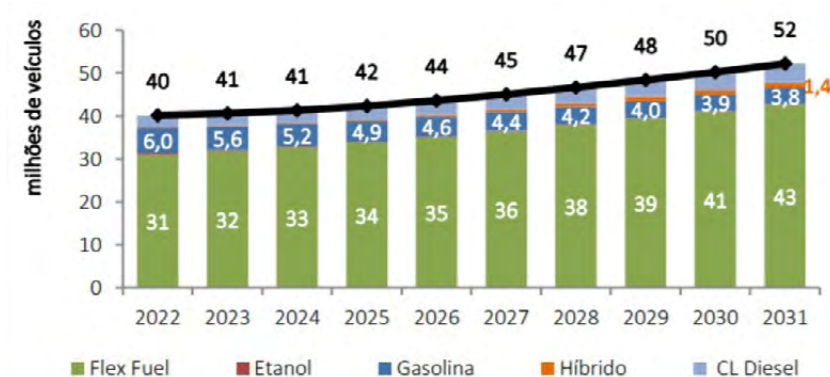
No ano de 2020, foram licenciados 1,9 milhão de veículos leves novos no Brasil (ANFAVEA, 2021), sendo a participação da tecnologia *flex fuel* equivalente a 85,2% desse total. O total licenciado foi 27% inferior ao observado ao ano anterior, grande parte em decorrência da pandemia de covid-19. O ritmo do licenciamento de veículos leves no país registrado até novembro de 2021 era 9% menor em relação ao mesmo período do ano de 2019, com redução das vendas de veículos *flex fuel* e crescimento percentual expressivo de licenciamentos de híbridos e elétricos e comerciais leves a diesel¹⁹².

A projeção da frota nacional de veículos leves novos no Brasil indica um incremento da frota nacional circulante de automóveis e comerciais leves a uma taxa média anual de 2% (2022-2031), fazendo com que a frota circulante alcance 52 milhões de unidades para o Ciclo Otto (Figura 57).

¹⁹¹. FELIX, Leonardo; BRITO, Eugênio Augusto; MATSUBARRA, Vitor. Nova rota para os carros: Entenda o que o programa "Rota 2030" propõe para o futuro do carro brasileiro. [s. d.]. UOL Carros. Disponível em: <<https://www.uol/carros/especiais/rota-2030-o-que-muda-no-carro-do-brasil.htm#industria-de-carros-do-brasil-em-numeros>>

¹⁹². EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-607/Demanda_Ve%C3%ADculos_Leves_2022_2031.pdf>.

FIGURA 57: PROJEÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS LEVES 2022–2031

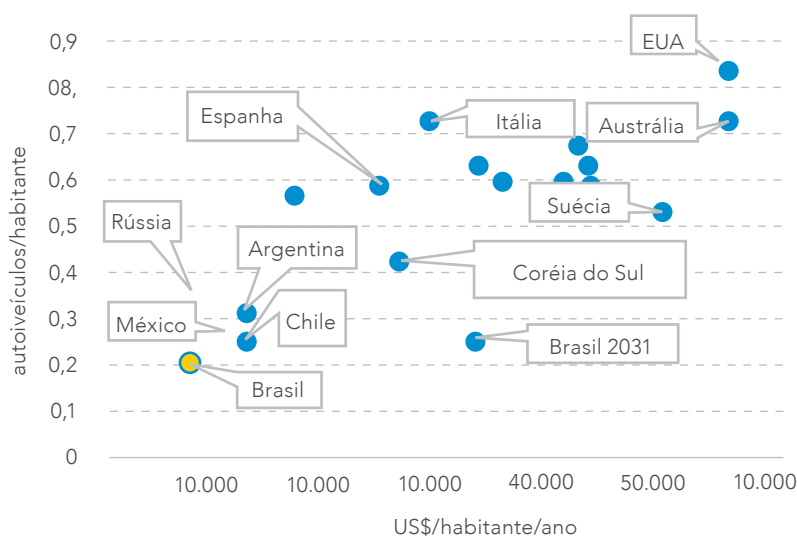


Fonte: EPE, 2021.

A projeção da frota nacional total (veículos leves, ônibus e caminhões), deverá corresponder, no final do período, a cerca de 54,9 milhões de veículos. Assim, o nível de motorização evolui de 5,0 habi-

tante/ autoveículo, em 2020, para 4,1 habitante/ autoveículo em 2031 (ou 0,20 e 0,24 autoveículos/ habitantes respectivamente), semelhante ao observado em países como Argentina, Chile e México.

FIGURA 58: EVOLUÇÃO DA TAXA DE MOTORIZAÇÃO



Fonte: ANFAVEA, 2021; EPE, 2021a; WORLD BANK, 2020.

O advento da tecnologia *flex fuel* (realidade presente no Brasil desde 2003), e a expansão do uso do GNV, além de reduzir o risco de desabastecimento da frota de veículos leves, contribuiu significativamente para a redução dos gases de efeito estufa no setor de transportes brasileiro. Nesse sentido, o Brasil, por sua tradição no uso de biocombustíveis, possui vantagem competitiva frente a outros países, uma vez que pode avançar na descarbonização a partir de tecnologia já conhecida, aproveitando a cadeia de produção e infraestrutura de abastecimento por biocombustíveis já existente no país.

Como indica o PNE2050, o desenvolvimento econômico do país, o crescimento populacional das cidades e da renda *per capita* traz desafios relacionados à movimentação de pessoas que demandam por mais acesso a serviços e produtos, repercutindo diretamente nos serviços de transporte, com efeitos sobre aumento da frota de veículos e da demanda por transportes. No Brasil, assim como em outros países emergentes, há o desafio de se evitar o aumento da mobilidade de passageiros demasiadamente centrada no uso do automóvel. Em particular, o ritmo de entrada de soluções alternativas (como o "car sharing") ou de novas rotas tecnológicas veiculares são incertezas críticas que impactam diversas cadeias energéticas e industriais.

No cenário de transição energética, a eletromobilidade será um inequívoco agente de mudança e os desafios para sua implementação compreendem a identificação de nichos de mercado prioritários para sua promoção,

a identificação de oportunidades e barreiras da cadeia industrial, incluindo o fornecimento de matérias-primas e insumos, a avaliação de impactos da eletrificação veicular na rede elétrica, disseminação de infraestrutura de postos de recarga, aspectos mercadológicos e regulatórios relacionados ao descarte, reuso e reciclagem de baterias elétricas, aspectos econômicos e culturais associados à posse de veículos pelos cidadãos e as condições do mercado automobilístico brasileiro frente ao mercado mundial (PNE2050).

Atualmente, os veículos elétricos são utilizados principalmente para transporte urbano no Brasil. Suas principais características são autonomia de aproximadamente 120 km por carga sendo necessários de 6 a 8 horas para realizar a recarga completa, sendo o mercado de veículos híbridos entre eles o de maior expressão. A participação dos veículos elétricos no licenciamento de novos veículos no Brasil, até o ano de 2017, foi de apenas 0,02% (IEA, 2018), um total acumulado no país para o mesmo ano de menos de 7 mil veículos híbridos e elétricos (ANFAVEA, 2020).

Registra-se, entretanto, que até 2018 havia apenas um modelo de veículo elétrico disponível no país, sendo importante a entrada, a partir do final de 2018, de sete novos modelos de veículos elétricos no mercado. Ainda assim, as alternativas existentes possuem valor muito superior ao preço médio de um veículo leve, sendo o custo dos veículos (extremamente elevado para a realidade nacional) um relevante obstáculo à maior eletrificação da frota.

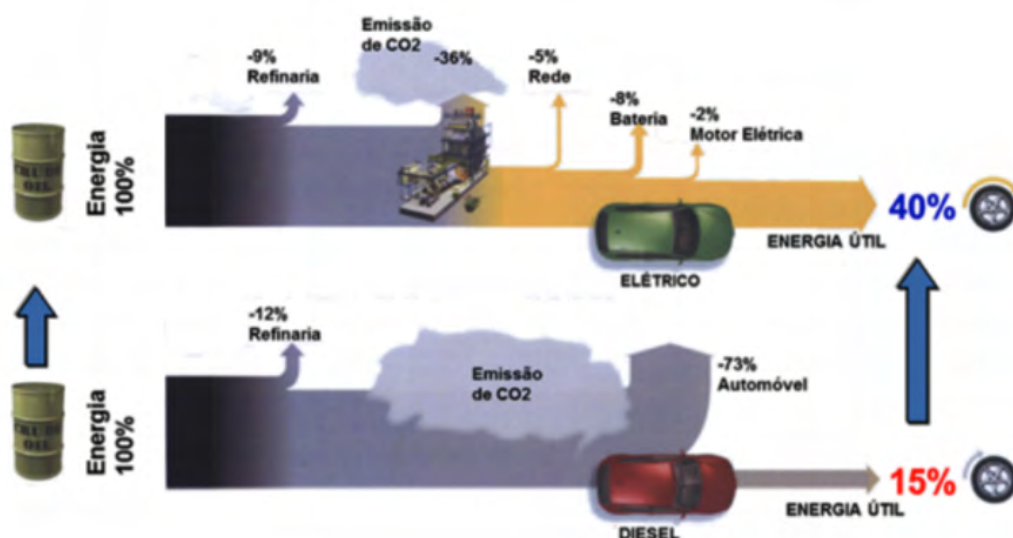
De fato, não obstante a existência de legislação de incentivo à aquisição de veículos híbridos/elétricos (principalmente incentivos fiscais como isenção de PIS/COFINS, IPI e Imposto de Importação), os elevados preços ainda são uma forte barreira de entrada para aquisição dos consumidores, uma vez que os carros mais baratos estão na faixa de 150 mil reais. No Brasil, o licenciamento de veículos com preços acima de R\$ 80 mil é de aproximadamente 6% do total de veículos licenciados. Para essa faixa de preços, a maioria dos veículos licenciados são de luxo e esportivos de alta performance, com baixíssima participação dos veículos híbridos/elétricos e alcançando apenas as classes A e B da população brasileira.

Os veículos elétricos oferecem vantagens significativas sobre veículos a motor de combustão interna (ICE). Dentre as principais estão a redução das emissões de gases poluidores durante a operação (como CO₂, NO_x e SO_x), menores níveis de ruído e menor custo de manutenção e operação do veículo. O impacto na redução de gases de efeito estufa e de gases poluentes é consistentemente significativo mesmo com diferentes tipos de veículos elétricos (micro-híbrido, mini-híbrido, híbrido pleno, elétrico, veículo alimentado por célula combustível a hidrogênio etc.).

Do ponto de vista energético, os carros elétricos são muito mais eficientes em comparação com os movidos a gasolina ou etanol hidratado. Ou seja, dada uma mesma quantidade de energia, o carro elétrico viaja uma distância muito maior. Enquanto os motores elétricos atuais têm mais de 90% de eficiência, os motores a combustão não passam de 40%.

Os desafios e obstáculos para uma maior eletrificação da frota veicular brasileira são: o custo elevado de veículos híbridos e elétricos, falta de infraestrutura apropriada para recarga, falta de preparo regulatório, baterias com alto custo e baixo desempenho, elevado tempo de recarga, entre outros. Além disso, diversos itens e equipamentos presentes nos carros convencionais como caixa de câmbio, catalisador e óleo lubrificante não estão nos carros elétricos e surgem como uma grande barreira para a entrada mais efetiva destes no mercado brasileiro por movimentarem um grande volume de dinheiro. Por exemplo, o impacto econômico da retirada de apenas o catalisador seria em torno de R\$ 1,25 trilhão, cerca 2,5 milhões de veículos licenciados anualmente multiplicados pelo preço aproximado do item equivalente a R\$ 500 (NOVAIS, 2016). A Figura 59 faz uma análise “well to wheel” de eficiência entre o carro a diesel e o carro elétrico.

FIGURA 59: ANÁLISE "WELL TO WHEEL" DE EFICIÊNCIA: DIESEL VS. ELÉTRICO



Fonte: NOVAIS, 2016 – Caderno Opinião FGV Energia

Apesar de serem considerados não emissores de GEE, a utilização de veículos movidos a eletricidade ainda as emite, uma vez que esta depende da matriz elétrica que abastece os veículos e da intensidade de gases de efeito estufa emitidos, de modo que esta fase ainda é a maior responsável pelas emissões ao longo de todo seu ciclo de vida. Desta forma, matrizes energéticas limpas e renováveis (como no Brasil), garantem vantagens ambientais na troca da frota de veículos movidos a motor de combustão interna por veículos elétricos, mesmo com o aumento na demanda de energia. Caso a matriz energética fosse poluidora, a vantagem de se ter uma frota veicular com zero emissões seria cancelada pelo aumento de emissões pelas fontes de energia para atender essa nova demanda.

É importante notar, ainda, que o avanço da eletromobilidade tem impactos importantes não

apenas na infraestrutura, mas também sobre o planejamento e operação do setor elétrico. A curva de carga hoje no Brasil possui excesso de energia durante a noite. Como a recarga dos veículos elétricos é normalmente feita durante esse período, o avanço da eletromobilidade altera o padrão de consumo no país, o que exigiria avanços na direção de sistemas de energia inteligentes (*smart grids*), que facilitariam a comunicação entre diversos setores permitindo maior controle sobre a operação da rede elétrica, eficiência energética, segurança e redução nas perdas de energia.

Cunha (2011) apresentou um estudo sobre os impactos na matriz energética brasileira da substituição gradual de veículos elétricos na frota nacional. De acordo com os resultados, se 100% da frota fosse substituída por veículos elétricos, o aumento

da demanda diária de energia seria em torno de 533 GWh/dia, o equivalente a um aumento de 19,4% no consumo de energia. Entretanto, o autor conclui que uma substituição acima de 20% da frota seria insustentável devido a sobrecarga do sistema energético. Por outro lado, Baran & Legey (2013) apresentaram que o uso de eletricidade para transporte individual reduz o consumo de combustível em 2030 de 40,7% e um aumento no consumo de eletricidade em 31,3%, o que reduz a demanda energética nacional em 28,9%.

Dias *et al.* (2014) analisaram os possíveis impactos causados pela penetração de veículos elétricos na demanda de eletricidade e o total de emissões evitadas em diferentes cenários para o estado de São Paulo. Da perspectiva das emissões, foi observado que um incremento de 10% de carros elétricos na frota representava uma redução potencial de cerca de 1,3% do total de emissões no estado, totalizando uma redução de 9,5% nas emissões associadas aos veículos. Além disso, para o mesmo percentual acrescentado de frotas movidas a energia elétrica, o correspondente a 2% de eletricidade é demandado. Dito isso, para uma frota 100% elétrica no estado, um incremento de 40 milhões MWh seriam necessários, o que reduziria em 17,3 milhões de toneladas de CO₂ emitidos.

3.3.2 Ferroviário

No Brasil, o transporte de mercadorias é altamente dependente das rodovias. Enquanto em outros países de tamanho geográfico semelhante a participação deste modo é inferior a 30% (CNT,

2018), no Brasil sua parcela chega a 54,5%, com o modo ferroviário despontando com apenas 28,8% da carga total transportada (PDE, 2029).

Dados do Anuário Estatístico de Transportes Investimento (BRASIL, 2019) apontam que o investimento público em infraestrutura no setor de transportes tanto para o modo rodoviário, quanto para o ferroviário ou portuário, aéreo e hidroviário, caiu 37% entre os anos de 2010 e 2017. Enquanto isso, no mesmo período, a produtividade de soja e milho produzida no país aumentou 61% (IBGE, 2019a). Consequência disso, o desempenho do transporte de cargas do país diminuiu, enquanto tanto o consumo de combustíveis fósseis quanto as emissões de gases de efeito estufa atingiram um nível mais alto, com a ampliação do escoamento das safras por meio de rodovias. Em relação ao transporte interno de milho e soja, por exemplo, as principais exportações agrícolas do Brasil são quase 50% transportadas por estrada, 40% por ferrovia e 10% por hidrovias (BRASIL, 2019). Em números, o país possui em torno de apenas 30 mil quilômetros de ferrovias e 20 mil quilômetros de hidrovias, mas mais de 1,7 milhão de quilômetros de estradas (BRASIL, 2019).

Diversos são os critérios utilizados para determinar políticas e orientar investimentos públicos e privados na infraestrutura do setor de transportes entre os países. Abraham *et al.* (2012) apontam dois objetivos de grande importância: melhorar a eficiência do setor e reduzir a poluição causada. Uma alternativa face a essas metas é aumentar a participação de modos menos energointensivos, como por exemplo, o ferro-

viário e aquaviário na matriz de transporte que, além disso, por possuírem maiores capacidades de carga por viagem emitem menos poluição comparativamente ao modo rodoviário.

Devido aos gargalos infraestruturais e a alta dependência do modal rodoviário para o transporte de cargas e mercadorias, os custos de frete ficam elevados e as emissões de CO₂ são crescentes. O governo federal, visando então reduzir os impactos dessa ineficiência do setor de transportes, anunciou recentemente programas de parceria público-privada para aumentar o investimento no modo ferroviário. Com isso, no médio prazo, projetos de infraestrutura com execuções físicas avançadas devem entrar em operação, como a Ferrovia Norte-Sul (FNS) e o primeiro trecho da Ferrovia de Integração Leste-Oeste (FIOL). Ademais, os projetos prioritários do Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), com leilões de projetos ferroviários e portuários, agendados para o final de 2020 e 2021, devem entrar em operação na segunda metade desta década. Além da FNS e da FIOL, os principais projetos inclusos no programa são a Ferrovia de Integração Centro-oeste (FICO) e a Ferrovia EF-170 (Ferrogrão). A EPE projeta ainda perspectivas de aumento da capacidade de escoamento da Estrada de Ferro Carajás (EFC), da Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), da Ferrovia Centro Atlântica (FCA), da malha da MRS, além da malha norte (RMN), paulista (RMP) e centro (RMC) da Rumo. Esses projetos, combinados com investimentos portuários, podem permitir o aumento da integração com o modo ferroviário, que deve aumentar sua participação na matriz de transportes brasileira (EPE, 2021).

A introdução de novas ferrovias na malha de transportes brasileira promoveria uma redução nos preços dos gêneros agrícolas produzidas no Brasil, principalmente a soja e o milho, com um custo de frete em torno de 17% a menos, e mitigaria cerca de 20% das emissões de CO₂, além de reduzir a dependência das rodovias, mais dispendiosa e mais poluidora do que a ferrovia (HOLLER BRANCO *et al.*, 2020).

3.3.3 Aquaviário

O transporte aquaviário pode ser subdividido em navegação interior (vias navegáveis interiores) e em transporte marítimo (navegação em mar aberto), que, por sua vez, subdivide-se em quatro modalidades: longo curso, cabotagem, apoio marítimo e apoio portuário. Hoje, quase 80% do comércio internacional é feito pelo transporte marítimo, que consome basicamente óleo bunker (ou óleo combustível marítimo).

Em um cenário de discussões sobre as mudanças climáticas e seu impacto global, o modo de transporte marítimo, responsável por 2-3% das emissões globais, busca também adotar medidas associadas aos esforços de transformação da matriz energética mundial. Nesse sentido, a IMO, agência da ONU responsável por garantir a regulamentação e cumprimento das regras internacionais, determinadas no Anexo IV da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL), estabeleceu novos limites para a emissão de enxofre em combustíveis marítimos, que vigoraram a partir de janeiro de 2020 (IMO, 2020; BBC, 2020).

Com isso, passou a ser vedada a utilização de combustíveis com um teor de enxofre acima de 0,5% m/m (massa por massa) para áreas em geral e 0,1% nas áreas de controle de emissão (que incluem o Mar do Norte e o Mar Báltico), comparado ao percentual de 3,5% usado até então. Como parte de uma redução gradual iniciada em 2005, a regra IMO 2020 visa combater principalmente a poluição do ar, responsável por doenças respiratórias, chuvas ácidas e a acidificação dos oceanos. O novo limite significará uma redução de quase 8,5 milhões de toneladas de óxidos de enxofre anualmente, uma redução de aproximadamente 77% no total de emissões produzidas pelos navios.

Para isso, os navios precisam passar a usar combustíveis cujo teor de enxofre seja abaixo dos requisitos da IMO, levando as empresas a buscarem diferentes soluções: uso de embarcações movidas a diesel e baterias, ou diesel e gás natural liquefeito GNL, biocombustíveis como o metanol ou mesmo a adoção de combustíveis sintéticos e hidrogênio. Outros limitam seus poluentes instalando sistemas de limpeza de gases de escape, também conhecidos como "scrubbers", o que é aceito como um meio alternativo para atender ao requisito de limite de enxofre.

O GNL se apresenta como uma importante alternativa de combustível para o transporte marítimo na atual perspectiva de mudança imposta pela IMO 2020. O GNL possui potencial de emissão de gases de efeito estufa significativamente menor comparado aos outros combustíveis mais usados como o óleo combustível e o carvão. Apesar

disso, ele não conseguirá atender às restrições do já previsto IMO 2050 - matriz energética global sem o uso de derivados de combustíveis fósseis e seu uso implica o desenvolvimento de uma infraestrutura ainda inexistente.

Schaeffer, Szklo et al. (2020) indicam que considerar apenas as emissões de CO₂ ou todos os gases de efeito estufa no longo prazo dentro da estratégia da IMO impacta expressivamente os resultados. Quando são consideradas apenas emissões de CO₂, o GNL se apresenta como uma alternativa viável. Entretanto, a utilização de GNL pode aumentar as emissões de metano, de modo que uma trajetória de transição que considere as emissões totais de GEE indica no longo prazo uma vantagem competitiva para o bunker e diesel verdes.

O combustível representa cerca de 70% do custo operacional da indústria de transporte marítimo, e muitos preveem que as refinarias não investirão para dessulfurar o óleo combustível e que também não haverá o suficiente para atender a demanda do setor marítimo. Assim, uma outra forma de atingir os limites impostos pela IMO 2020 é adicionar mais diesel à mistura, o que pode impactar profundamente o preço desse produto no mercado mundial e afetar os outros setores do transporte dependentes desse combustível.

O Brasil se apresenta como um potencial polo produtor dos novos combustíveis marítimos de baixo carbono, principalmente devido à disponibilidade de recursos naturais e experiência no desenvolvimento e produção de biocombustíveis.

3.3.4 Aéreo

A aviação é um dos transportes símbolo da sociedade moderna, um dos mais rápidos e seguros em todo o mundo. Entretanto, sua demanda energética é suprida basicamente com derivados de petróleo, o que faz com que hoje a aviação global represente 2% do total de emissões mundiais de CO₂, correspondendo a cerca de 12% do total de CO₂ emitido nos transportes. Entretanto, assim como ocorre no transporte marítimo, os problemas de geração de CO₂ e emissão de gases de efeito estufa no caso do transporte aéreo não são um problema local e sim um problema global, cuja solução envolve esforços mútuos entre os países.

O combustível representa um dos custos operacionais mais importantes para uma companhia aérea. Em escala mundial, atualmente o combustível representa cerca de 33% dos custos operacionais das empresas aéreas (IATA, 2010). No Brasil esse percentual é ainda superior, representando aproximadamente 40% dos custos operacionais (MCKINSEY, 2010).

A partir dos esforços de descarbonização no transporte aéreo, foi criada no Brasil em 2010 a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA), como resposta para o comprometimento de desenvolvimento de biocombustíveis na aviação. Várias companhias aéreas se reuniram para debater sobre os vários aspectos de tal implementação, impulsionados pela crescente demanda para atender à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito

estufa na aviação, assim como fornecer suporte à segurança energética do Brasil. Nos anos seguintes, diversos testes foram realizados por essas empresas para validar a viabilidade do uso de biocombustíveis no setor.

Diante da necessidade de aceleração dos esforços de descarbonização, a exemplo do setor de transporte marítimo, a ICAO estabeleceu um programa de crescimento neutro de carbono na indústria da aviação a partir de 2020, denominado Plano de Redução e Compensação de Carbono na Aviação Internacional (CORSIA, em inglês *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*). Para isso, estabeleceu-se o uso de instrumentos de compensação de emissões, promoção de eficiência energética e a utilização de combustíveis alternativos que sejam *drop-in*, em particular o bioquerosene de aviação - BioQAV.

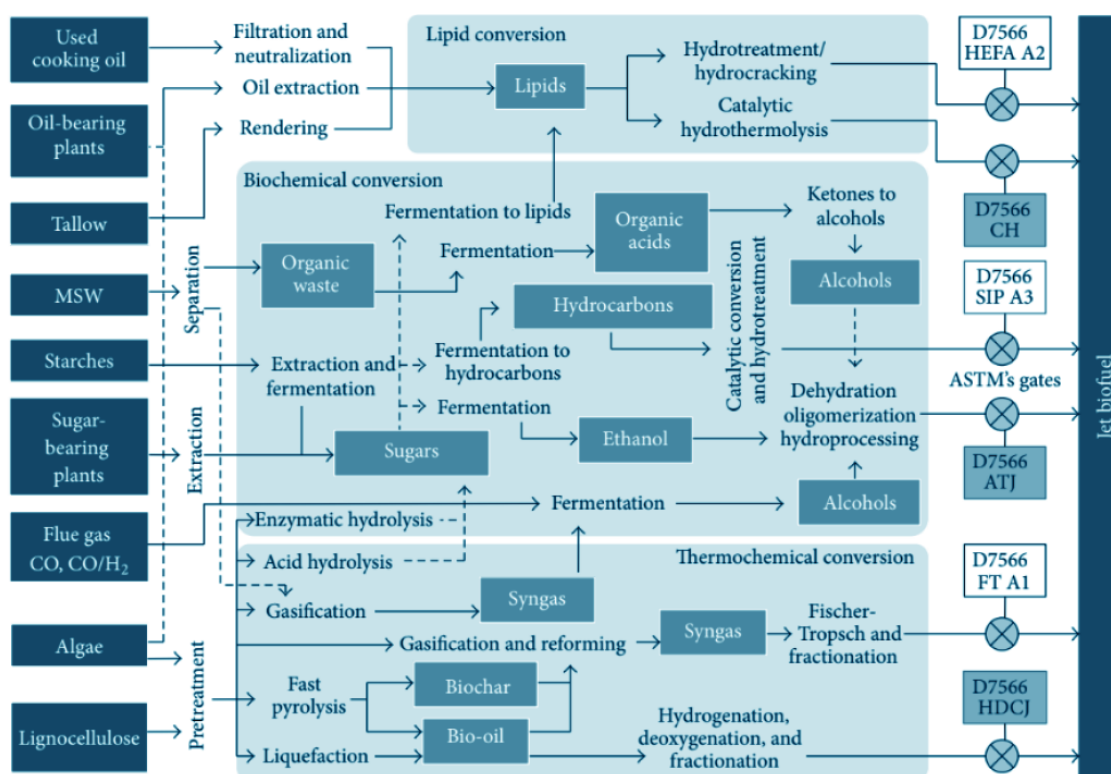
Na fase voluntária do CORSIA, apenas o monitoramento, reporte e verificação das emissões de CO₂ são realizados pelos operadores nas rotas que envolvem o Brasil. A partir do ano de 2027, as emissões internacionais acima dos níveis observados na média do biênio de 2019-2020 deverão ser compensadas com a aquisição de créditos de carbono ou por meio do uso de combustíveis elegíveis ao CORSIA.

O Brasil não possui problemas quanto à disponibilidade de matéria-prima para biocombustíveis de aviação, em termos de quantidades de produção e diversas fontes. Devido ao extenso território nacional e à abrangência de climas temperados,

subtropicais e tropicais, é propiciado o cultivo de uma grande variedade de culturas agrícolas. As matérias-primas mais promissoras para o desenvolvimento de biocombustível a jato no Brasil são plantas que contêm açúcares e amidos. Entretanto, óleos vegetais, lignocelulose, pinhei-

ros, resíduos sólidos municipais e resíduos industriais também podem ser considerados (CORTEZ et al., 2015). A Figura 60 apresenta o modelo desenvolvido por Cortez et al (2015) de possíveis caminhos identificados para a produção de biocombustíveis sustentáveis na aviação no Brasil.

FIGURA 60: CAMINHOS IDENTIFICADOS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS PARA A AVIAÇÃO NO BRASIL



Fonte: CORTEZ et al., 2015

Os principais desafios para um avanço mais acelerado de combustíveis de baixo carbono na aviação são os rigorosos requisitos para combustíveis de aviação (que vão além das propriedades listadas nas especificações), problemas de compatibilidade de materiais e a preocupação com o desgaste prematuro de motores e componentes do sistema de combustível das aeronaves, além da compatibilidade com a infraestrutura de estocagem e distribuição de combustíveis existente. Nesse sentido, as principais soluções exploradas para descarbonização estão atualmente concentradas em combustíveis alternativos “drop-in”.

Em 2019, a ANP regulamentou a especificação de querosene de aviação alternativo a partir das rotas termoquímica (produzindo o querosene parafínico sintetizado por Fischer-Tropsch (FT-SPK) e por Fischer-Tropsch com aromáticos (FT-SPK/A)), da rota química [resultando no querosene parafínico sintetizado de ésteres e ácidos graxos hidroprocessados (HEFA)] e da rota bioquímica [que resulta em isoparafinas sintetizadas (SIP) e o etanol para combustíveis de aviação (ATJ-SPK)]. Para cada processo elencado, os percentuais de mistura do produto obtido ao QAV convencional variam de 10% a 50%.

No Brasil, o Programa Combustível do Futuro prevê o mandato de redução para emissões do QAV através do novo BioQAV, prevendo compromissos internacionais como o CORSIA e outros.

3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Diante da representatividade no consumo de energia no Brasil e a crescente projeção de aumento na demanda, os ganhos de eficiência energética são imprescindíveis. Ou seja, para uma mesma quantidade de energia, consumir menos recursos com a mesma ou melhor qualidade. A economia de energia evita impactos ambientais, gera emprego e renda, contribui para a introdução de novas tecnologias através da pesquisa e inovação.

Nos estudos do PDE 2030, estima-se que em 2030, os ganhos de eficiência energética possam contribuir no atendimento de cerca de 17 milhões de tep em 2030, cerca de 5% do consumo final energético brasileiro observado no ano de 2019. Dentre os setores de consumo final, a maior contribuição em relação ao total economizado deve ser observada na indústria e transportes.

Desta forma, ações norteadoras para maior eficiência energética no transporte poderiam contribuir para a redução das emissões no setor de transporte e redução do consumo de petróleo e derivados no país. Estratégias possíveis são melhorias tecnológicas em motores de melhor rendimento energético dos veículos novos, inserção de novas tecnologias automotivas na frota brasileira (veículos híbridos e elétricos), aumento na participação de modais menos energointensivos e mudanças culturais no uso de transporte individual.

3.4.1 CONPET, PROCEL e PROCONVE

Os ganhos de eficiência dos veículos têm uma relação estreita com as exigências de uma série de programas destinados ao aumento da eficiência energética e redução das emissões veiculares como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular e, mais recentemente, a participação no Programa Rota 2030. Estes programas incentivam uma paulatina redução do consumo específico de veículos novos ao longo dos anos. Além disso, investimentos em infraestrutura viária melhoram a eficiência energética da frota como um todo.

Em 1984, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) por um acordo entre o então Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, o MME e a Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). Atualmente, o programa é coordenado pelo Instituto Nacional de

Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e gerenciado em parceria com outros dois programas: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET). De início pensado exclusivamente para o setor automotivo, devido aos choques do petróleo da década de 1970, o programa foi ao longo do tempo ampliado para diversos outros setores.

De acordo com seu desempenho energético, o equipamento é classificado pela Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE), geralmente em cinco classes de eficiência (A a E), com a classe A atribuída aos modelos mais eficientes, agregando valor à melhor tecnologia e impulsionando o mercado para modelos mais eficientes. As informações disponíveis no rótulo variam de acordo com o produto rotulado, mas sempre inclui o consumo de energia e seu layout é semelhante aos adotado em muitos outros países.

FIGURA 61: SELOS CONPET E PROCEL, RESPECTIVAMENTE



Criado em 1985 pelo Ministério de Minas e regulado pela Eletrobrás Energia, o PROCEL visa fomentar a conscientização da eficiência energética, além de estimular a produção e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para uma redução de impactos danosos ao meio ambiente e um aprimoramento tecnológico. Para um produto conseguir o Selo PROCEL, é submetido a diversos testes em um laboratório e deve possuir os parâmetros mínimos exigidos pelo programa. Aqueles agraciados com o Selo PROCEL são classificados, portanto, na classe “A” da etiqueta ENCE.

Somente em 2018, o Procel alcançou uma economia de aproximadamente 23 bilhões de quilowatts-hora (kWh), o equivalente a emissões evitadas de cerca de 584 mil veículos durante um ano ou a 4,87% do consumo nacional de energia elétrica no mesmo ano.¹⁹³ De fato, no que tange aos ganhos de eficiência no consumo de eletricidade, a EPE estima que podem atingir cerca de 32 TWh em 2030 (4% do consumo total previsto de eletricidade nesse ano), o que corresponde à eletricidade gerada por uma usina hidrelétrica com potência instalada de cerca de 7 GW.

Já o CONPET foi criado em 1991 junto ao Governo Federal por decreto presidencial. Seus objetivos são promover o uso racional dos recursos naturais não renováveis (derivados do petróleo e do gás natural) do Brasil, reduzindo as emissões dos gases poluentes na atmosfera e

promovendo a eficiência energética no uso final da energia juntamente com pesquisas e desenvolvimento tecnológico. Os principais objetivos do programa são:

- Racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural;
- Reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera;
- Promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico;
- Fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia.

O Selo Conpet de Eficiência Energética é concedido a fogões, aquecedores de água a gás e carros, destacando sua eficiência energética. Assim, o consumidor deve procurar o selo Conpet na hora de comprar esses produtos para contribuir com a redução dos gases GEE através de equipamentos mais eficientes, contribuindo para o meio ambiente utilizando a energia de forma consciente, evitando desperdícios¹⁹⁴.

Em 2008, coordenado pelo INMETRO em parceria com o CONPET, foi criado o PBE Veicular, um programa de etiquetagem de eficiência energética para veículos leves, cujo intento é, além de auxiliar os consumidores na decisão da compra do veículo, estimular a importação e a fabricação de veículos mais econômicos e eficientes. Com essa iniciativa, o Brasil entrou no grupo dos países que desenvolvem programas de uso

¹⁹³. PROCEL. [s. d.]. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Procel.aspx>. Acesso em: 28 set. 2020.

¹⁹⁴. EPE (2021). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>.

racional de combustível e de eficiência energética em veículos, como EUA, Japão, Austrália, China, Canadá e países da União Europeia (PETROBRAS, 2016).

3.4.2 Inovar-auto

O Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto) criado pela Lei nº 12.715/2012 teve como objetivo a criação de condições para o aumento de competitividade no setor automotivo brasileiro, apoiar o desenvolvimento, a inovação e a segurança tecnológica, juntamente com a proteção ao meio ambiente através da eficiência energética e a qualidade dos veículos e das autopeças para os carros produzidos e vendidos no Brasil. Alguns pontos do Inovar-Auto foram considerados polêmicos pelo protecionismo forçado através do “super-IPI” para modelos importados e foram condenados pela Organização Mundial do Comércio (OMC). Este programa teve validade para o período de 2013 a 2017 e foi considerado por muitos um dos mais ousados planos de melhora de eficiência energética no mundo (EPE, 2020b; FELIX, 2017). Após os cinco anos de sua vigência, as diretrizes do Inovar-Auto que estabeleciam uma melhora em termos de eficiência energética - que naquela altura eram até 40% menos eficientes que veículos semelhantes licenciados nos EUA e em países na Europa (PESSOA, 2018) - em média de 12% da frota brasileira, dados da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA) apontam uma evolução efetiva de 15,4% (FELIX, 2017).

3.4.3 Rota 2030

Lançado em 2018, após o fim do Programa Inovar-Auto em 2017, através de Medida Provisória (CONGRESSO NACIONAL, 2018) e convertido na Lei nº 13.755 (BRASIL, 2018), o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística é uma iniciativa para incentivar a indústria automotiva a melhorar o meio ambiente e fazer avanços no desempenho do setor de transportes, adequando a produção nacional aos padrões automotivos internacionais, promovendo o aumento da eficiência energética e da segurança dos novos veículos licenciados no Brasil e garantir a competitividade da indústria automotiva brasileira globalmente.

Com duração prevista de 15 anos, dividido em três ciclos quinquenais nas quais serão realizadas revisões e reorientações das metas e instrumentos estipulados previamente, os principais objetivos do programa são: aumento de 11% de eficiência energética até 2022; redução no consumo de combustível e adoção de tecnologias de combustível limpo (etanol, biodiesel e gás natural comprimido - GNC) através do endurecimento das normas determinadas pelo Proconve; redução de impostos para veículos híbridos e elétricos; redução do IPI, a partir de 2022, em até 2% para veículos que atendam os requisitos do programa; incentivos fiscais para empresas que invistam em pesquisas no Brasil; etiquetagem veicular, onde os veículos comercializados no Brasil receberão etiquetas, que de forma a indicar o consumidor a eficiência energética e os equipamentos de segurança instalados de forma mais clara; entre outros (EPE, 2020b).

Em 2018, apenas 7,3% do uso final de energia do Brasil foi coberto por políticas obrigatórias de eficiência energética. Deste total, o setor de transportes foi o menos significativo em comparação com as indústrias, prédios residenciais e não-residenciais, principalmente devido à falta de padrões obrigatórios de economia de combustível para a frota brasileira de veículos. As oportunidades de um cenário mais eficiente para o setor de transportes poderiam ser alcançadas com a melhoria da eficiência de combustível, crescimento na participação de novos licenciamentos dos veículos elétricos e criação de padrões de eficiência de combustível tendo em vista que a eficiência média dos veículos de passageiros no Brasil ainda é 24% menor que na União Europeia (IEA, 2021).

3.5 NDC DO BRASIL

A 21ª sessão anual da Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC, realizada em 2015, resultou no estabelecimento do Acordo de Paris. O Acordo, válido para o período pós-2020, representa um esforço global na redução das emissões globais de gases causadores de efeito estufa, principalmente CO₂, a fim de limitar o aquecimento global a 2,0°C acima dos níveis pré-industriais e com esforços para tentar limitar a menos de 1,5°C (UNFCCC, 2015a). Para garantir o cumprimento dos acordos firmados, está prevista a ocorrência a cada 5 anos de ciclos de revisão para acompanhar e controlar os esforços globais em vigor para frear as mudanças climáticas.

Segundo o recém-lançado relatório do IPCC,

uma cooperação científica entre a OMM e o PNUMA que compila e sintetiza os mais recentes estudos sobre o aquecimento global, as emissões líquidas de CO₂ precisam ser zero até o fim de 2050 para limitar o aquecimento a 1,5°C (IPCC, 2021). O relatório ainda aponta que a década de 2021-2030 é a década decisiva para isso, sendo necessário implementar providências imediatas com metas ambiciosas de redução de emissões.

Tendo em vista os cenários criados pelo IPCC, os países devem voltar esforços para duas necessidades frente ao aquecimento iminente: adaptação e mitigação. Os esforços de adaptação seriam buscar as melhores soluções em vista a contornar os impactos advindos da mudança climática, enquanto os de mitigação seriam de limitar as emissões de gases de efeito estufa com a finalidade de se tentar reduzir os efeitos e riscos desses impactos para a sociedade. As medidas de adaptação requerem mais estudos apontando a real probabilidade de ocorrência para se investir em tais projetos, enquanto projetos de mitigação exigem ações urgentes.

Para a COP21, foi solicitado aos governos dos países membros que apresentassem ofertas sobre como e em quanto estavam dispostos a reduzir suas emissões de GEE após 2020, as chamadas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC), que se tornaram Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) após a ratificação do acordo. Além disso, estes planos podiam contar com ações de adaptação à mudança climática e os seus meios de implementação como o financiamento.

O Brasil submeteu sua iNDC no final de 2015, convertendo-se em NDC ao final de 2016, e foi o primeiro país em desenvolvimento a se comprometer com metas de redução de emissões. As metas acordadas baseadas em diferentes projeções foram: redução das emissões de GEE 37% inferiores ao verificado no ano de 2005 até o fim de 2025 e de 43% até 2030.

Além das metas estabelecidas para o ano de 2025, o Brasil listou algumas medidas indicativas para o ano de 2030 para o setor de energia, entre elas: alcançar a participação de aproximadamente 45% de energias renováveis na matriz energética, sendo 18% com fontes bioenergéticas; alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor; alcançar 23% da geração a partir de fontes como eólica, solar e biomassa, incluindo geração distribuída e autoprodução, na matriz elétrica.

Como a NDC aplica-se ao conjunto da economia, o país pode alocar seus esforços nas medidas mais efetivas para atingir a meta independente da contribuição por setor. Dito isso, é importante reforçar que a ausência de metas setoriais precisas para mitigar as emissões específicas do setor de transportes pode comprometer o atingimento dos resultados pretendidos.

Desde o Acordo de Paris, as principais políticas implementadas pelo Brasil para atingir as suas metas firmadas pela NDC estão políticas no setor de uso da terra, como o novo Código Florestal e o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC). Os que envolvem o setor de transportes, pode-se citar o RenovaBio, o Plano Nacional de

Expansão de Energia (PDE) e os mandatos de mistura de biocombustíveis (etanol e biodiesel à gasolina e óleo diesel, respectivamente).

Entretanto, considerando as necessidades de ampliação de energia para o desenvolvimento econômico do Brasil, o PDE2030 indica que o total de emissões de gases de efeito estufa do setor energético, ao longo do horizonte decenal, é crescente. Em 2030, as estimativas para o cenário de referência do PDE indicam o montante total de 484 MtCO₂eq, com tendência de aumento das emissões em todos os setores e expectativa de que a distribuição de emissões por setor não se altere significativamente ao longo do horizonte.

Tomando como base as estimativas anuais de emissões, o crescimento das emissões devido à produção e consumo de energia será de 53% entre 2005 e 2030. Entretanto, esse incremento é inferior ao esperado para a oferta interna bruta no mesmo período (69%), o que faz com que o indicador de intensidade de emissões de GEE no uso da energia em 2030 (kgCO₂e/tep) seja inferior àquele verificado em 2005.

3.6 CENÁRIOS FUTUROS

A criação de cenários é de fundamental importância para se conceber estratégias governamentais e ajudar os agentes das políticas públicas na decisão sobre a relação custo-benefício de certas decisões, mantendo a trajetória das emissões de GEE do país em acordo com

os objetivos dos Acordo de Paris, mantendo o aquecimento global abaixo de 2°C, idealmente abaixo de 1,5°C.

Existem várias políticas para a frota de veículos leves, temas de pesquisas e estudos de criação de cenários, por exemplo: eficiência energética, renovação da frota de veículos, mudança de modal, incentivos fiscais e gestão regulatória, aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética do setor de transportes, expansão da frota de veículos híbridos e elétricos, entre outros. Como estratégias promissoras de longo prazo estão as políticas de eficiência energética, mudança de modal e expansão de veículos movidos a eletricidade, enquanto as de curto prazo, o aumento do uso de biocombustíveis. Para todas estas medidas, no entanto, são necessárias mudanças no hábito do consumidor,

políticas públicas eficientes e estratégias de implementação.

Por exemplo, a construção de panoramas de demanda energética para veículos leves e elétricos tendo em vista a transição energética é uma ferramenta extremamente importante. Ela deve levar em conta além dos compromissos internacionais do Brasil a exploração sustentável das riquezas naturais do país, a garantia do abastecimento nacional e a baixa emissão de carbono.

As projeções de demanda de gasolina C (gasolina A + etanol anidro), gasolina A e etanol hidratado considerando um crescimento na frota nacional de veículos leves no período 2022-2031 são apontadas na Tabela 12. Os cenários alto, médio e baixo diferenciam basicamente pelo grau de sucesso do RenovaBio.

TABELA 12: PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ETANOL HIDRATADO E GASOLINAS C E A PARA TRAJETÓRIA SUPERIOR DE LICENCIAMENTO

	Ano	mil m³/ano			Variação Período (% a.a.)	
		2022	2026	2031	2020 - 2026	2020 - 2031
Cenário Alto	Gasolina C	39.184	32.819	33.421	-1,5%	-0,7%
	Gasolina A	28.605	23.958	24.398	-1,4%	-0,6%
Cenário Médio	Gasolina C	39.184	33.834	37.360	-1,0%	0,4%
	Gasolina A	28.605	24.699	27.272	-0,9%	0,4%
Cenário Baixo	Gasolina C	39.184	35.017	40.716	-0,4%	1,1%
	Gasolina A	28.605	25.563	29.722	-0,4%	1,2%

FONTE: EPE, 2021.

O objetivo deste estudo realizado pela EPE sobre a demanda de energia dos veículos leves no horizonte até 2031 é de identificar o impacto causado pela penetração de veículos elétricos na demanda de eletricidade e o total de emissões evitadas em vários cenários, considerando diferentes participações de carros elétricos na frota brasileira (EPE, 2021).

Os resultados da pesquisa de Goes et al. (2020) indicam que o Brasil tem potencial para atender seus compromissos NDC relacionados ao transporte, com reduções das emissões podendo chegar a 13% até 2030, aproximadamente 26 MtCO₂eq, principalmente através do uso intenso de biocombustíveis. Apesar disso, o custo-benefício dessa estratégia não corresponderia ao seu potencial de mitigação, com perdas financeiras acima de 1 US\$/tCO₂eq, apontando para alternativas mais adequadas como investimentos em eletromobilidade e infraestrutura, com ganhos superiores a 200 US\$/tCO₂eq.

O projeto IES - Brasil 2050 coordenado pelo Centro Clima da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) elaborou cenários de mitigação das emissões de GEE do Brasil até 2050 e avaliou suas implicações econômicas e sociais no país. Para se atingir a meta de limitação de aquecimento global a 1,5°C acima dos níveis anteriores à Revolução Industrial, as participações na matriz energética dos transportes seriam em torno de 71% (transporte de carga) e 25% (transporte de passageiros) de combustíveis fósseis. Para o transporte de cargas, isso se deve principalmente devido ao aumento da participação dos biocombustíveis (26%) e da energia elétrica (3%) tanto em ferrovias como veículos elétricos propriamente ditos. Já no transporte de passageiros, a participação dos biocombustíveis seria de aproximadamente (58%) e de energia elétrica (17%). Com isso, foi possível estimar a quantidade de emissões no setor por modal até o horizonte 2050.

TABELA 13: EMISSÕES DE GEE DE TRANSPORTE TOTAL NO CENÁRIO DE REFERÊNCIA E NO CENÁRIO 1.5°C (GG CO₂E)

Ano	Cenário de Referência					Cenário 1,5°C				
	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total
2010	153.628	2.959	9.865	4.065	170.517	153.628	2.959	9.865	4.605	170.517
2020	176.637	2.630	10.248	2.874	192.389	176.637	2.630	10.248	2.874	192.389
2030	171.789	3.063	14.473	5.403	194.729	147.495	2.715	11.709	5.706	166.995
2040	175.592	3.758	18.848	7.763	205.962	108.575	3.018	13.528	7.236	132.357
2050	187.811	5.059	23.126	11.749	227.745	75.951	3.629	16.461	10.164	106.205

Fonte: Centro Clima.

O artigo de (SCHMITZ GONÇALVES et al., 2019) modela 3 diferentes cenários para as emissões do setor de transportes de acordo com ambição de metas (atual, moderado e ambicioso) e organiza 7 principais ações de mitigação no esquema ASI - Avoid, Shift e Improve (do inglês, evitar, substituir e melhorar, respectivamente). Indicadores de intensidade energética e de carbono revelam que o Brasil está no caminho para uma transição para uma economia de baixo carbono mesmo considerando um cenário conservativo. Isso se deve principalmente ao crescente aumento da participação de bioenergias no setor de transportes. Apesar disso, o caminho mais apropriado seria a eletrificação uma vez que o Brasil possui uma produção extremamente renovável. A eletricidade como energia para o setor de transportes só é representativa no cenário mais ambicioso, com uma participação de 1,2%, o que segue a tendência do resto do mundo segundo Global EV Outlook 2018.

Mudar do transporte individual para o público (ônibus, bondes, metrô, entre outros) também é uma medida de potencial promissor, mesmo que seja um grande desafio para um país de dimensões territoriais extensas como o Brasil. Além disso, as implicações advindas dessa mudança de modal levam tempo para o país fazer os necessários investimentos em infraestrutura para permitir vários modais de transporte coletivo eficientes e de qualidade para que de fato sejam atraentes em detrimento do uso individual dos próprios veículos.

Outra possível medida que contribui para um menor uso dos veículos é o *home office* ou teletrabalho (MENEZES et al., 2017). Visando-se a longo prazo, esta medida apresenta grandes benefícios ao longo desses anos (WEN E BAI, 2017), como também comprovado nesse período de quarentena devido a pandemia do novo Coronavírus, com menos emissões de ruídos e de gases poluentes no ar.

De fato, o PNE2050 indica que no processo de transição energética há diferentes cenários possíveis, conforme as hipóteses adotadas acerca das diversas alternativas tecnológicas, uso de fontes alternativas ou mesmo substituição da motorização a combustão interna. Todas as opções representam vias para substituição dos motores a combustão interna e mitigação dos efeitos no âmbito das mudanças climáticas. Em particular, o ritmo de entrada das novas rotas tecnológicas veiculares são incertezas críticas que impactam diversas cadeias energéticas e industriais.

3.7 LIÇÕES APRENDIDAS

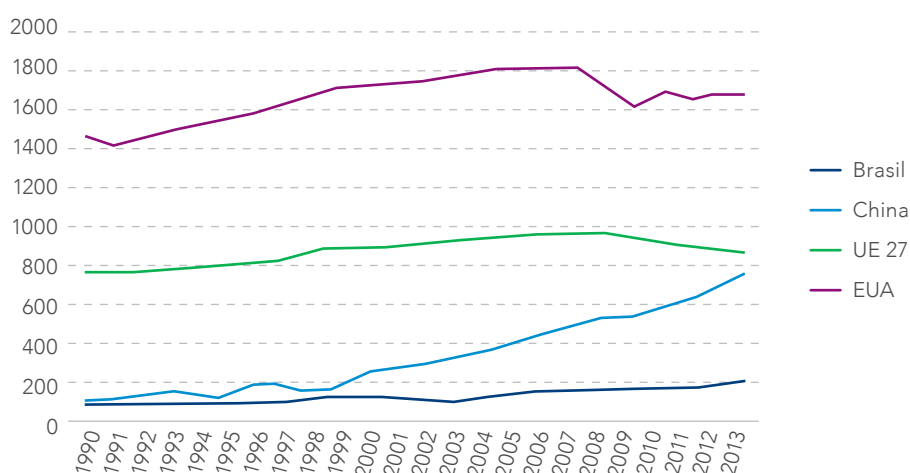
Historicamente, o Brasil assumiu uma posição de liderança nos aspectos ambientais e na agenda climática, e demonstrou novamente isso ao estabelecer ambiciosas metas no Acordo de Paris para mitigar as emissões de GEE. As emissões brasileiras do setor de energia são pouco representativas no contexto global, devido à matriz energética relativamente limpa do país, de

fundamento hidrelétrico, e pelo uso de biocombustíveis na área de transporte.

O país possui uma situação confortável no setor de transportes em relação às emissões de GEE a nível internacional (Figura 62), principalmente

pelo uso abrangente e intensivo de biocombustíveis etanol e biodiesel. Todavia, a extrema dependência do modal rodoviário gera níveis de poluição atmosférica elevados nas grandes metrópoles, além de problemas crônicos de mobilidade urbana, vide São Paulo.

FIGURA 62: EMISSÕES DE GEE NO SETOR DE TRANSPORTES (MTCO₂)



Fonte: elaboração própria a partir de dados do World Resources Institute, CAIT Climate Data Explorer, 2017.

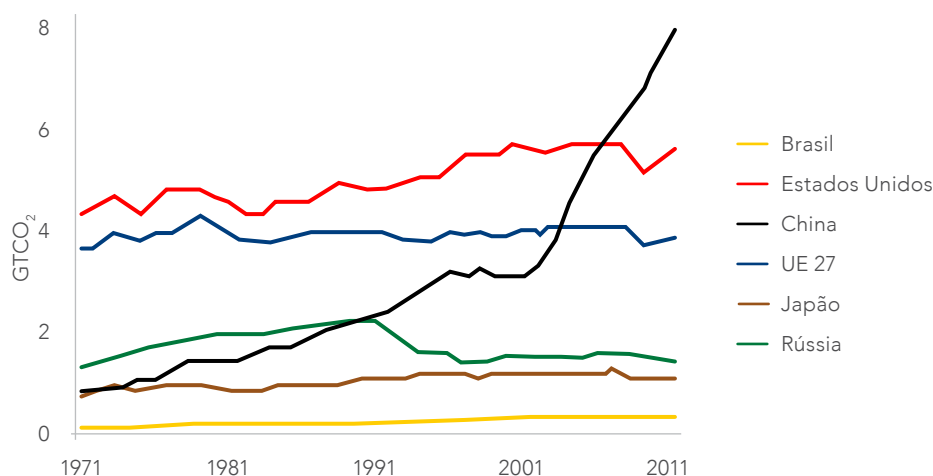
O Brasil, através dos programas Proálcool e PNPB, passou a produzir combustíveis de melhor e elevada qualidade em termos energéticos e ambientais, com ganhos imediatos em reduções na emissão do GEE e nos colocando como pioneiros na utilização de combustíveis renováveis em largas proporções¹⁹⁵. A introdução de veículos *flex fuel* juntamente com políticas de mistura de álcool anidro à gasolina A e

de biodiesel ao diesel foram fundamentais para os ganhos ambientais do período 2000 a 2011, contribuindo com emissões evitadas no volume de 310 MtCO₂ (GAZZONI, 2014).

A Figura 63 apresenta a comparação da evolução das emissões do setor de energia entre Brasil, Estados Unidos, China, União Europeia, Japão e Rússia.

¹⁹⁵. PROCONVE | EMISSÃO VEICULAR. [s. d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/>. Acesso em: 28 set. 2020.

FIGURA 63: COMPARAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DO SETOR DE ENERGIA DE ALGUNS PAÍSES

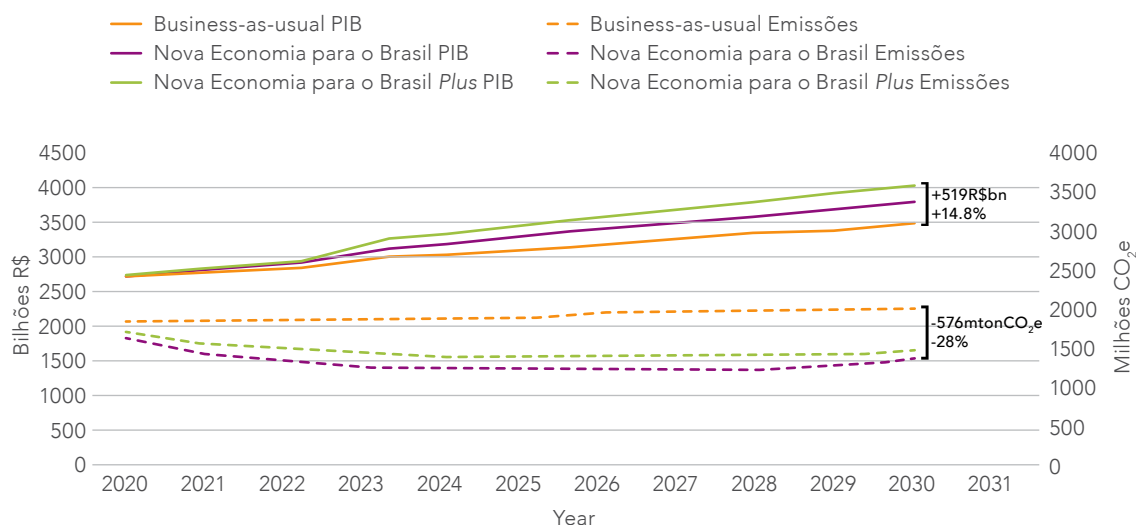


Fonte: IEA apud Gazzoni, 2014.

Ao se atingir plenamente as metas da NDC brasileira, o projeto IES - Brasil 2050 coordenado pelo Centro Clima conclui que além de propiciar uma significativa redução de emissões de GEE, será notório uma melhora acentuada nos indicadores econômicos e sociais do país, como por exemplo o poder de compra de todas as classes, redução nos preços de sua cesta de consumo de bens e serviços, dentre outros. Além disso, um relatório de 2018 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) aponta que com políticas públicas apropriadas, a transição energética brasileira para uma economia mais sustentável e menos poluidora poderia gerar 620 mil novos empregos, o que compensaria os 180 mil que poderiam ser perdidos.

Outro estudo publicado pela WRI Brasil e pela iniciativa *New Climate Economy* (Figura 64), em colaboração com instituições de pesquisa brasileiras, demonstrou que, até do ponto de vista econômico, o Brasil tem um enorme potencial

para ser uma potência ambiental. Uma economia verde significaria, em 2030, um valor acumulado adicional do PIB de R\$2,8 trilhões, além de 2 milhões de empregos a mais em comparação com o modelo atual de desenvolvimento (*business as usual* - BAU). Ou seja, uma economia voltada para baixas emissões de carbono na atmosfera é muito mais interessante para o Brasil, sendo inclusive uma estratégia que deve ser considerada para a saída da crise econômica que o país enfrenta há anos. Este entendimento é determinante para o Brasil e a sua já abalada reputação socioambiental no exterior, como na situação do aumento das queimadas e desmatamento na Amazônia e Pantanal, inclusive sendo assunto de debate na corrida presidencial dos EUA em 2020. Os financiamentos e investimentos privados e internacionais estão cada vez mais relacionados à consciência ambiental e a cobranças de governos, como da Europa ocidental, por eficazes práticas sustentáveis no gerenciamento dos ecossistemas.

FIGURA 64: CRESCIMENTO DO PIB E REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ E NOS CENÁRIOS NEB

Fonte: WRI Brasil, 2020.

De suma importância também é analisar os hábitos dos consumidores brasileiros. A eletromobidade será um inequívoco agente de mudança. Entretanto, a consciência ambiental no Brasil não é significativa. No caso dos carros *flex fuel*, se tomarmos essa situação como parâmetro, podendo-se utilizar como combustível o etanol hidratado ou a gasolina automotiva, a escolha se dará apenas pela diferença dos custos para a maior parte desses consumidores, não sendo ponderada de forma significativa a importância da redução das emissões de gases de efeito estufa e o uso do biocombustível, os brasileiros ainda parecem preferir o uso da gasolina em seus veículos.

O Brasil apresenta dois pontos fortes para a transição energética no setor de transporte - a abundância de recursos, tanto fósseis (petróleo e gás natural) quanto renováveis (etanol, biodiesel e outras fontes) e um segmento de biocombustíveis

já bem estruturado e bem-sucedido, com grande experiência em implementações de políticas públicas (Proálcool, RenovaBio). Ou seja, grandes vantagens competitivas se compararmos com outros países até mesmo desenvolvidos. A particularidade no caso do Brasil da integração entre o agronegócio e os biocombustíveis confere resiliência e permite que esse setor resista melhor a possíveis crises internas e externas.

O Brasil optou e ainda opta, através de suas políticas públicas, ao adotar o RenovaBio como foco, investir nos biocombustíveis para a transição energética no setor de transportes. O país teve uma transição energética bem significativa para o uso de combustíveis não fósseis em veículos leves: até a década de 1990, o Brasil possuía até 90% da frota movida a etanol e, atualmente, possui cerca de 24 milhões de automóveis com motor *flex fuel* (etanol ou gasolina), cerca de 66% da frota circulante. Assim, os biocombustíveis vão continuar

tendo um papel relevante no caso brasileiro, com uma utilização cada vez maior do etanol hidratado, aumentos no percentual do biodiesel no diesel, e o diesel renovável a ser especificado pela ANP, descarbonizando o Ciclo Otto com o etanol e o Ciclo Diesel com a mistura ternária (diesel fóssil, diesel renovável e biodiesel).

Além disso, há uma política moderna alinhada às melhores práticas internacionais (ex.: análise de ciclo de vida, créditos de descarbonização). O programa Rota 2030 aborda com profundidade a eficiência energética com foco em redução das emissões de CO₂ em consonância com os patamares a serem almejados pelos países europeus. Em relação às metas anuais do RenovaBio dos 14,7 milhões de CBIOs, 10 milhões já foram emitidos, dando sinais claros que o programa está cumprindo com seus objetivos.

Países com clima semelhante ao Brasil, como a Índia, poderiam optar pela mesma escolha (biocombustíveis) para que, assim, essa tecnologia bem desenvolvida no país seja vista internacionalmente com maior relevância. É importante, por exemplo, o protagonismo do Brasil no setor de biocombustíveis em iniciativas internacionais como a plataforma Biofuturo. Essa é uma iniciativa internacional presidida pelo Brasil entre 2016 e 2021, e da qual fazem parte outros 19 países interessados nos campos da energia limpa e bioeconomia criada para estimular a maior produção e uso de biocombustíveis, bioenergia e bioprodutos.

Em contrapartida, o fato de estimularmos a exportação do grão de soja (principal insumo do biodiesel) e não do produto beneficiado (o biocom-

bustível) através da Lei Complementar nº 87/1996, conhecida como Lei Kandir, que isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para as exportações de produtos primários, como os itens agrícolas, ao invés do próprio combustível, pode ser um entrave. É preciso rever a lei se quisermos fazer nossa transição energética pelo caminho dos biocombustíveis.

Internacionalmente há uma pressão pela eletrificação como a solução para a transição energética subordinada as pautas europeias (o que pode ser visto como um possível obstáculo ao programa de desenvolvimento dos biocombustíveis no Brasil). Não precisamos perpetuar a “síndrome de vira-lata” e tentar replicar modelos, já que possuímos uma realidade própria e diferente. Fugir desse olhar sob a perspectiva europeia e de países desenvolvidos é extremamente importante, tendo em vista que ainda possuímos um atraso tecnológico para a plena inserção da eletromobilidade no país e, mais ainda, possuímos problemas crônicos de mobilidade nas cidades brasileiras - problemas logísticos, infraestruturantes básicos, transporte público de qualidade. Não adianta possuímos uma frota eletrificada e com altos rendimentos energéticos se continuarmos com rodovias e estradas mal pavimentadas, esburacadas, altos índices de acidentes de trânsito e congestionamentos. O problema do uso correto de energia não se esgota apenas na eficiência do equipamento.

É mais necessário, dada a realidade brasileira, reduzirmos as emissões do setor de transportes a partir da estratégia de aumento da eficiência energética até um barateamento efetivo da tecnologia para expansão das vendas de veículos elétricos.

Existirá um risco de ficarmos atrasados novamente com relação aos outros países acerca da tecnologia de eletromobilidade? Somente o tempo nos dirá, comprovando, ou não, os estudos atuais. No Brasil, o avanço da eletromobilidade é visto como um nicho para frotas específicas (ônibus ou veículos de entrega - "last mile", transporte de produtos do centro de distribuição até o destino final), sem existir uma política de inserção massiva dos veículos elétricos. Ainda são carentes de políticas fiscais e infraestrutura necessária para disseminar o licenciamento mais expressivo desse tipo de frota.

É inegável que a eletricidade vai ter um papel importante no mix energético do setor de transportes brasileiro, mas por enquanto essa participação ainda é pequena. A eletrificação da frota possui diversas barreiras como - preço do veículo, necessidade de subsídios, a troca da frota em si, estrutura de carregamento, especificamente veículos de transporte de carga e frete possuem dificuldades em serem 100% elétricos - o que requer políticas públicas voltadas para essa questão. A transição dos veículos a combustão interna para veículos elétricos será uma realidade em todo o mundo, mas no atual momento, enquanto os preços forem favoráveis ao primeiro, o consumidor brasileiro não irá gastar mais para comprar o segundo.

Números (do berço ao túmulo - desde a matéria prima, seu processamento até o produto final) mostram que motores de combustão movido a etanol são muito competitivos comparados a veículos eletrificados. Devemos perseguir soluções adequadas à realidade brasileira, principalmente dando ênfase ao uso do etanol, uma vez que possuímos, bem desenvolvidos, as tecnolo-

gias de plantação da cana, processamento deste insumo e, enfim, uma capilaridade expressiva na distribuição do biocombustível.

Se considerarmos que a transição energética está associada à descarbonização, o Brasil já possui um modelo exemplar para o mundo. O setor de transporte é muito complexo em termos de planejamento pois envolve modais, infraestrutura, tecnologia e combustíveis. Portanto, se os países estivessem interessados na redução de emissões o investimento no setor deveria ser nos biocombustíveis. A logística e infraestrutura dos biocombustíveis por ser já conhecida permitiria uma transição mais rápida, simples e econômica.

O hidrogênio é uma alternativa com enorme densidade energética, mas também necessita investimentos públicos em infraestrutura. Tecnologias de célula a combustível de hidrogênio, provenientes do etanol (usá-lo como fonte da energia química necessária para a célula a combustível), por exemplo, requer que a indústria sucroenergética mude completamente seu planejamento estratégico seguro na rota do combustível de veículos a combustão interna para poderem implementar técnicas que visem esses novos tipos.

Veículos com pilhas a combustível possuem um rendimento energético na conversão da energia química do combustível em tração para o automóvel significativamente superior do que os com motores de combustão interna, além de possuírem maior autonomia do que os elétricos (DOE, 2019). Essa tecnologia seria extremamente importante para, por exemplo, os longos deslocamentos dos caminhões nas rodovias do país. Seria proporcio-

nado ganhos ambientais e econômicos ao desdieselizar a frota mais dependente deste combustível, além de mitigar as emissões atmosféricas e o impacto negativo na balança comercial brasileira tendo em vista que, para atender a demanda total do setor, o Brasil deve importar o óleo diesel por não possuir capacidade interna nas nossas refinarias, diminuindo a vulnerabilidade nacional às possíveis flutuações no seu preço.

A LEI N° 14.134, dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, bem como para a exploração das atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural foi promulgada visando contribuir para o desenvolvimento do setor de gás.

Além disso, o Brasil pode utilizar o gás natural na forma liquefeita no transporte marítimo e acompanhar a tendência mundial de substituir o óleo combustível (bunker) garantindo, desta forma, as regulamentações da IMO (SZKLO et al., 2018). Porém, apesar da imensa reserva de gás natural nos campos de pré-sal, o país ainda apresenta sua comercialização dificultada principalmente pelos obstáculos logísticos no mercado de energia, a respeito da sua entrada e da sua distribuição (ALMEIDA, 2017). São necessários, portanto, mais investimentos em equipamentos de armazenamento do GNL nas embarcações e remover as barreiras logísticas no que tange ao mercado de energia.

Com relação ao transporte aéreo, devido aos impactos provocados pela pandemia do novo Coronavírus, fica ainda mais difícil prever grandes

mudanças em sua transição energética. Estudos sobre a velocidade de penetração de combustíveis mais limpos (como o querosene de aviação) em seu modal deverão ser revistos por conta da nova mudança de demanda energética do setor.

A ineficiência sistêmica de rendimento energético além da predominância do modal rodoviário são grandes fragilidades no setor de transportes no Brasil. O fato, também, de que ainda não conseguimos desenvolver o gás como combustível de transição energética é outro ponto negativo da experiência brasileira, em particular na transição energética. Não o aproveitar hoje, corre-se o risco no futuro de um trancamento tecnológico quando as últimas inovações estiverem disponíveis no mercado. E, por fim, com relação aos processos de digitalização, tendo em vista, uma sinergia cada vez maior entre a produção, a oferta e o consumo de energia, possui estruturas atrasadas que permitem esse tipo de eficiência.

A precariedade da infraestrutura brasileira, com queda em investimentos há pelo três décadas (CNI, 2016; FRISCHTAK, 2019), cria obstáculos para o desenvolvimento econômico e social do país resultando em altos custos com transporte, devido a um modelo obsoleto e desorganizado, sem integração entre modais, e uma baixa competitividade internacional no mercado. Segundo um estudo do *Climate Policy Initiative* e do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), foram estimados que, somente para o transporte de carga, os investimentos necessários seriam de quase 2% do PIB nacional para que haja retorno do investido em infraestrutura apenas daqui a três anos (ANTONACCIO et al., 2018).

Como soluções para o transporte coletivo e o de carga, aproveitando as características e o potencial brasileiro de grande extensão do território e da faixa litorânea, bem como a abundância de bacias hidrográficas, fazer-se uso de transportes ferroviário e fluvial deveria ser estratégia mandante. Apesar disso, poucos investimentos foram feitos e o Brasil ainda explora muito pouco seu potencial hidroviário e ferroviário. Nas grandes cidades como Rio de Janeiro e São Paulo, os investimentos em infraestrutura por enquanto foram a construção de Bus Rapid Transit (BRT) e Bus Rapid Service (BRS). Tais projetos são considerados de baixo custo, porém entregam poucos benefícios em termos ambientais e de mobilidade urbana.

Portanto, para o Brasil de fato atingir as metas estabelecidas no Acordo de Paris (2015), tendo em vista a ainda incerteza se serão atendidas, serão necessários investimentos de acordo com o que foi abordado e analisado no Caderno e nos estudos de cenários.

Para o transporte de passageiros:

- Eletromobilidade;
- Maior participação do transporte público de passageiros;
- Aumento da ocupação do veículo;
- Mecanismos de compartilhamento de carros;
- Aumento no uso de biocombustível padrão, como etanol e biodiesel na frota, além de novos como o bioquerosene e o biometano; e,
- Incentivo ao transporte ativo (não motorizado) e aos veículos com sistema de propulsão elétricos e híbridos.

Para o transporte de carga:

- Investimentos em infraestrutura e políticas públicas para diversificar a divisão modal;
- Eletrificação das ferrovias;
- Renovação da frota de caminhões;
- Maior penetração de comerciais leves;
- Maior penetração de veículos com sistema de propulsão elétrico e híbrido;
- Aumento da eficiência logística; e,
- Aumento do uso de biocombustíveis, como biodiesel, além da introdução do bioquerosene e do bio-óleo.

Nesse processo de transição energética no setor de transportes em consolidação pelo mundo, as cadeias energéticas associadas serão amplamente afetadas. Muitas questões devem ser levadas em consideração nessa mudança como a garantia de atendimento de uma nova demanda energética, a redução das emissões dos gases de efeito estufa ou mesmo de poluentes locais nas metrópoles e grandes cidades, a definição de novas rotas tecnológicas e o impacto da entrada de inovações no futuro.

Apesar de transições energéticas serem processos lentos, uma das alternativas mais rápidas para reduzir a intensidade de carbono no setor de transportes de baixo carbono é incentivar acordos internacionais para combustíveis. O Brasil, tendo em vista possuir histórico papel protagonista nos grandes fóruns mundiais relacionados às mudanças climáticas e ser importante player no setor, deve agarrar as oportunidades que estão surgindo.

Glossário

ABC - Plano de Agricultura de Baixo Carbono

ABINEE - Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica

Abiogás - Associação Brasileira de Biogás

ACE - Áreas de Controle de Emissões

AIG - Aliança da Indústria Global

ANFAVEA - Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM - American Society for Testing and Materials

BEV - Veículos Elétricos Puros

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CBIO - Crédito de Descarbonização

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CORSIA - Plano de Redução e Compensação de Carbono na Aviação Internacional

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação da Energia

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EUA - Estados Unidos da América

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FCEV - Veículos Elétricos de Célula de Combustível

FIOL - Ferrovia de Integração Leste-Oeste

FNS - Ferrovia Norte-Sul

GEE - gases de efeito estufa

GLoMEEP - Parceria Global para Eficiência Energética Marítima

GLP - gás liquefeito de petróleo

GNL - Gás Natural Liquefeito

GNV - Gás Natural Veicular

HFO - Heavy Fuel Oil

HVO - Óleo Vegetal Hidrogenado

IATA - Associação Internacional de Transporte Aéreo

ICAO - Organização Internacional de Aviação Civil

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IEA - Agência Internacional de Energia

IMO - Organização Marítima Internacional

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IRENA - Agência Internacional de Energia Renovável

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento

LCV - veículos elétricos para transporte comercial

LEV - Veículos de Baixa Emissão

Mapa - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MARPOL - Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios

MGO - Diesel Marítimo

MME - Ministério de Minas e Energia

NDC - Compromissos Nacionalmente Determinados

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OIE - Oferta Interna de Energia

OIEE - Oferta Interna de Energia Elétrica

OIT - Organização Internacional do Trabalho

OMC - Organização Mundial do Comércio

OMM - Organização Meteorológica Mundial

OSU - Orçamento de Subsídios da União

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PHEV - Veículo Híbrido Elétrico Plug-In

PNBP - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

Proálcool - Programa Nacional do Álcool

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROCONVE - Programa de Controle de Emissões Veiculares

PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

QAV - querosene de aviação

RDC - República Democrática do Congo

RSB - Roundtable on Sustainable Biomaterials

RenovaBio - Política Nacional de Biocombustíveis

SAF - Combustíveis Aéreos Sustentáveis

SAFUG - Grupo de Usuários de Combustíveis Sustentáveis e Aviação

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SEforALL - Iniciativa das Nações Unidas Energia para Todos

SIP - Querosene Isoparafina

SPK - Querosene Parafínico Sintético

UNCTAD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

WEF - Fórum Econômico Mundial

REFERÊNCIAS

ABIOVE. (2021). Estatísticas. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Acesso em 17 de abril de 2021, disponível em www.abiove.org.br/estatisticas ABRACICLO. (2021). Dados do Setor: vendas atacado 2020. Associa

Abraham, S., Ganesh, K., Kumar, A.S., Ducq, Y., 2012. Impact on climate change due to transportation sector-research prospective. *Procedia Eng* 38, 3869–3879. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.445>.

AGRA, Agribusiness Intelligence, 2017. World Ethanol & Biofuels Report. Available from: <https://www.agra-net.com/agra/world-ethanol-and-biofuels-report/>. (accessed 15.06.19).

Ajanovic, A., Haas, R., 2014. On the future prospects and limits of biofuels in Brazil, the US and EU. *Appl. Energy* 135, 730–737.

ALL-ELECTRIC VEHICLES. [s. d.]. Disponível em: <http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>. Acesso em: 28 set. 2020.

ALMEIDA, E. et al. Gás do Pré-sal: Oportunidades, Desafios e Perspectivas. Ciclo de Debates sobre Petróleo e Economia. IBP: 2017.

ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). Combustíveis renováveis. Disponível em: <<https://www.anfavea.com.br/informacoes-tecnicas>>. Acesso em: 20 Fev. 2021.

ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2020/anuario.pdf>>.

ANP, Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

ANP, Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Rio de Janeiro, Brasil, 2019.

ANP, Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Rio de Janeiro, Brasil, 2021.

ANTONACCIO, L. et al. Ensuring Greener Economic Growth for Brazil. 2018 Disponível em: <https://climatepolicyinitiative.org/publication/ensuring-greener-economic-growth-forbrazil/>. Acessado em novembro, 2019.

ABREU, R. S., 'Etanol: um dos elementos básicos da transição energética no Brasil' (2021) Revista Opiniões (número 66, divisão C). <<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/revista/leitura/online/ferramentas-de-inteligencia-da-area-agricola-sucro/>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

Acquaye A and others, 'Biofuels And Their Potential To Aid The UK Towards Achieving Emissions Reduction Policy Targets' (2012) *Renewable and Sustainable Energy Reviews Biofuels* 16.

Adam Panayi, 'Energy Density And the Challenges Of Electrification For Heavy Duty Vehicles' (14 de Fevereiro de 2019) < <https://www.benchmarkminerals.com/energy-density-and-the-challenges-of-electrification-for-heavy-duty-vehicles/>>

Agência Internacional de Transporte Aéreo, 'Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF)' (Iata.org, 2020) <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/#tab-1>. Acesso em: 19 de setembro de 2020.

Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução N° 778, de 5 de abril de 2019. Publicado em 08 de abril de 2019. <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70491356/do1-2019-04-08-resolucao-n-778-de-5-de-abril-de-2019-70491250>

Ahmad Fakrul Ramli; Zarina Ab Muis; Wai Shin Ho. 'Carbon Emission Pinch Analysis: An Application To The Transportation Sector In Iskandar Malaysia For 2025' (2018) 21 Clean Technologies and Environmental Policy.

ALLIANZ GLOBAL CORPORATE & SPECIALTY, '10 coronavirus challenges for the shipping sector' (2020).

Aléxia Saraiva, 'Com ou sem carro, brasileiro gasta 127 minutos diários no trânsito' (31 de Maio de 2019) < <https://www.gazetadopovo.com.br/haus/urbanismo/com-ou-sem-carro-brasileiro-gasta-127-minutos-diaros-no-transito/#:~:text=Se%20economizar%20tempo%20era%20uma,dia%20em%20ambos%20os%20casos> >

Ambiente Brasil, 'O que é micromobilidade e por que está crescendo nas grandes cidades' (26 de Junho de 2019) < <https://noticias.ambientebrasil.com.br/redacao/2019/06/26/152640-o-que-e-micromobilidade-e-por-que-esta-crescendo-nas-grandes-cidades.html> >

Amsterdam Round Tables, McKinsey&Company, 'Evolution, Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?' < <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Netherlands/Our%20Insights/Electric%20vehicles%20in%20Europe%20Gearing%20up%20for%20a%20new%20phase/Electric%20vehicles%20in%20Europe%20Gearing%20up%20for%20a%20new%20phase.pdf> >

ANEEL, 'ANNEEL define que bandeira tarifária de julho custará R\$ 9,492 a cada 100 kWh' (29 de Junho de 2021) <https://www.aneel.gov.br/web/guest/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/22368525>

Ariel Cohen, 'Manufactures Are Struggling To Supply Electric Vehicles With Batteries' (25 de Março de 2020) <<https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2020/03/25/manufacturers-are-struggling-to-supply-electric-vehicles-with-batteries/#7ca1bcb51ff3>>

Automotive Business, 'Ambev vai converter mais de 100 caminhões a diesel em elétricos' (10 de Março de 2021) <<https://www.biodieselbr.com/noticias/qualidade/motor/ambev-vai-converter-mais-de-100-caminhoes-a-diesel-em-eletricos-100321>>

BCG, 'The Promise and Pitfalls of E-scooter Sharing' (16 de Maio de 2019) < <https://www.bcg.com/publications/2019/promise-pitfalls-e-scooter-sharing> >

Bill Roberson, 'The Clock Is Ticking On Electric Car Batteries – And How Long They Will Last' (30 de Setembro de 2019) < <https://www.forbes.com/sites/billroberson/2019/09/30/the-clock-is-ticking-on-electric-car-batteriesand-how-long-they-will-last/#6594e6a321d9> >

BloombergNEF, 'Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \$156/kWh In 2019' (03 de Dezembro de 2019) < <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/> >

BloombergNEF, 'Electric Vehicles Short-Term Outlook: Covid-19' (19 de maio de 2020) <<https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-short-term-outlook-covid-19/>>

Bryce Gaton, 'Why are Evs more expensive? Is it really just the battery costs?' (30 de Novembro 2018) < <https://thedriven.io/2018/11/30/ev-price-tipping-point-automakers/>>

BP 68th Statistical Review of World Energy. British Petroleum, Junho de 2019. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>>.

BSI, 'Which smart cities are leading the electric transport Revolution?' < <https://www.bsigroup.com/en-GB/blog/Environmental-Blog/electric-transport-and-smart-cities/> BBC News Brasil. A regra que mudará o transporte de carga no mundo e pressionará o preço do diesel para cima. Publicado em 02 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-50969108>. Acesso em: 28 set. 2020.

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. The introduction of electric vehicles in Brazil: Impacts on oil and electricity consumption. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, n. 5, p. 907–917, jun. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.024>.

BENVENUTTI, Livia M.; URIONA-MALDONADO, Mauricio; CAMPOS, Lucila M.S. The impact of CO2 mitigation policies on light vehicle fleet in Brazil. *Energy Policy*, v. 126, p. 370–379, mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.014>.

BRASIL - Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Estatísticas de Comércio Exterior, 2018. [WWW Document] <http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior> accessed 10.15.2019.

BRASIL - Ministério da Infraestrutura. Concessões: Mapa de projetos das ferrovias, 2020. [WWW Document] <https://infraestrutura.gov.br/concessoes/> accessed 01.15.2020.

BROWN TO GREEN REPORT 2018. 18 jul. 2018. Climate Transparency. Disponível em: <https://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2018>. Acesso em: 28 set. 2020.

BERG, Maxine; HUDSON, Pat (1992). «Rehabilitating the Industrial Revolution». *The Economic History Review*, Vol. 45, No. 1. *The Economic History Review*. 45 (1): 24–50. JSTOR 2598327. doi:10.2307/2598327.

CALABI, A., FONSECA, E., SAES, F, KINDI, E., LIMA, J., LEME, M. & REICHSTUL, H.. 1983. A Energia e a Economia Brasileira. Estudos Econômicos – FIEP/Pioneira, 1983.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. Estudos Avançados, 2014.

- CLARK, Gregory. 2002. The Agricultural Revolution and the Industrial Revolution: England, 1500-1912
- COLE, Daniel H. Climate Change, Adaptation, and Development. Faculty Publications. Paper 386. 2007. Disponível em: <<http://www.repository.law.indiana.edu/cgi?article=1384&context=facpub>>.
- COOK, John, et al. Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters* 11 048002, 2016.
- C.A. Neto, R.P. Soares, I.M. Ferreira, F.M. Pompermayer, A.E. Romminger, Gargalos e Demanda da Infraestrutura Rodoviária e os Investimentos do PAC: Mapeamento IPEA de Obras Rodoviárias. Textos para Discussão 1592, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011.
- CLIMATE TRANSPARENCY. Climate Transparency Report 2020 – Comparing G20 Climate Action and Responses to the COVID-19 crisis.<<https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2020/11/Climate-Transparency-Report-2020.pdf>>
- CNT (2018). Boletim Estatístico CNT. <<https://www.cnt.org.br/boletins>>
- CNI. Economia Circular: Uma Abordagem Geral no Contexto da Indústria 4.0. Confederação Nacional da Indústria. Brasília: CNI, 2017d. 75 p.: il.
- COMO É PRODUZIDO O ETANOL? [s. d.]. Super. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-es-tranho/como-e-produzido-o-etanol/>. Acesso em: 1 out. 2020.
- Cortez, L.A.B. (Ed.), 2016. Proálcool 40 Anos. Blucher FAPESP. Available from: <https://www.blucher.com.br/livro/detalhes/proalcool-40-anos-1196>. (accessed 15.06.19.).
- CORTEZ, Luís A. B.; NIGRO, Francisco E. B.; NOGUEIRA, Luiz A. H.; NASSAR, André M.;
- CANTARELLA, Heitor; MORAES, Márcia A. F. D.; LEAL, Rodrigo L. V.; FRANCO, Telma T.; SCHUCHARDT, Ulf F.; BALDASSIN JUNIOR, Ricardo. Perspectives for Sustainable Aviation Biofuels in Brazil. 7 dez. 2015. *International Journal of Aerospace Engineering*. [Research Article]. DOI <https://doi.org/10.1155/2015/264898>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijae/2015/264898/>. Acesso em: 28 set. 2020.
- Cunha RD (2011) Análise da integração de veículos elétricos na matriz energética brasileira. Federal University of Pará, ThesisDENNY, Danielle Mendes Thame. Competitive renewables as the key to energy transition—RenovaBio: the Brazilian biofuel regulation. *The Regulation and Policy of Latin American Energy Transitions*. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 223–242. DOI 10.1016/B978-0-12-819521-5.00013-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128195215000139>. Acesso em: 28 set. 2020.
- Camila Stefanello, Filipe Marangoni, Cristiane Lionço Zeferino, 'A Importância das Políticas Públicas para o Fomento da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil' (17 a 20 de Abril de 2018) < <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/487/487/>>
- Carlos Alvares, IPEA, 'Planos e programas dos setores de transporte e energia elétrica no Brasil pós-2003' (Agosto de 2016) < http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6977/1/td_2227.pdf >
- Cegás, 'Equivalência energética' < <https://www.cegas.com.br/gas-natural/equivalencia-energetica/> >

César Tizo, 'Quanto tempo passamos no carro?' (06 de Março de 2017) < <https://www.autoo.com.br/quanto-tempo-passamos-no-carro/> >

China News Network, 'A propriedade social da China de bicicletas elétricas chega a 250 milhões' (28 de Outubro de 2018) < <http://www.chinanews.com/cj/2018/10-28/8661930.shtml> >

Chris Randall, 'Mercedes may be toning down EQC targets' (24 de Janeiro de 2020) < <https://www.electrive.com/2020/01/24/mercedes-may-be-toning-down-eqc-targets/> >

Christoph Rauwald, 'Audi pauses e-tron production on battery shortages' (24 de Fevereiro de 2020) < <https://europe.autonews.com/automakers/audi-pauses-e-tron-production-battery-shortages> >

Christopher Cherry, Electric Two-Wheelers in China: Promise, Progress and Potential < http://www.accessmagazine.org/wp-content/uploads/sites/7/2016/01/access37_electric_cycles_China.pdf >

Clean Energy Ministerial (CEM), 'EV30@30 Campaign' (27 de Maio de 2019) < <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a7571ce8-70dd-43a8-9ed7-915cb05fc638/3030CampaignDocumentFinal.pdf> >

Clean Energy Ministerial (CEM), Hydrogen Initiative (2019). <<https://cleanenergyministerial.org/initiative-clean-energy-ministerial/hydrogen-initiative>>

Clovis Goldemberg, Luiz Lebensztajn, Eduardo Lorenzetti Pellini, A Evolução dos Carros Elétricos e Híbridos (2018) < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4551158/mod_resource/content/1/A%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20dos%20ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20V6%20Compacta.pdf >

CNPq, 'Eletrificação de veículos e o futuro do etanol combustível no Brasil' (Dezembro de 2018) < <https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Eletrificacao-de-Veiculos-eo-Futuro-do-Etanol-Combustivel-no-Brasil.pdf> >

COAG Energy Council (2019), Australia's National Hydrogen Strategy. <<https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf>>

Dayana D'Arc de Fátima Palhares. Produção de Hidrogênio por eletrólise alcalina da água e energia solar. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Dissertação de Mestrado, 2016. <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21286/1/Produ%C3%A7%C3%A3oHidrog%C3%AAnioEletr%C3%B3lise.pdf>>

DIAS, Marcos Vinícius Xavier; HADDAD, Jamil; HORTA NOGUEIRA, Luiz; COSTA BORTONI, Edson da; PASSOS DA CRUZ, Ricardo Alexandre; AKIRA YAMACHITA, Roberto; GONCALVES, Jose Luiz. The impact on electricity demand and emissions due to the introduction of electric cars in the São Paulo Power System. Energy Policy, v. 65, p. 298–304, fev. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.052>.

DOE. Types of Fuel Cells. 2019. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-celltechnologies-office>. Acessado em novembro, 2019.

FELIX, Leonardo. "Inovar-Auto": programa de Dilma deixou carro brasileiro 15% mais eficiente. Publicado em 27 de dezembro de 2017. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2017/12/27/innovar-auto-programa-de-dilma-deixou-carro-brasileiro-15-mais-eficiente.htm>> Acesso em: 28 set. 2020.

DIAMOND, Jared. Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies. New York City: W.W. Norton, 1997.

DUBAUX, Rafael. (2017). Desenvolvimento e mudança climática: estímulos à inovação em energia de baixo carbono em países de industrialização tardia./Rafael Dubeuax - Curitiba: Juruá, 2017. 416 p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. O que é energia? Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/o-que-e-energia>>. Acesso em: 20 Fev. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro (2016). Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>>. Acesso em: 02 Mar. 2021.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. O compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Junho de 2016a

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2019b). Balanço Energético Nacional 2019 Ano base 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 28 Set. 2020.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2019b). Balanço Energético Nacional 2020 Ano base 2019. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 16 Nov. 2020

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2019c). Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Versão em consulta pública, conforme Portaria MME no 396, de 21 de outubro de 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acesso em: 5 Set. 2020.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2021). Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, EPE, Brasília, Brasil, 2021. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030__PDE_2030.pdf>

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2020a). Análise de Conjuntura de Biocombustíveis, Ano 2019. Julho de 2020. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-489/Analise_de_Conjuntura_Ano_2019.pdf>

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2021). Análise de Conjuntura de Biocombustíveis, Ano 2020. Julho de 2021. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-615/NT-EPE-DPG-SDB-2021-03_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_ano_2020.pdf>

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2020b). Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2021-2030. Número 03. Rio de Janeiro, 30 de dezembro de 2020. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-569/Informe_Demanda_Ve%C3%ADculos_Leves_2021_2030.pdf>

Espinoza, A., Bautista, S., Narváez, P.C., Alfaro, M., Camargo, M., 2017. Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: a system dynamics model. J. Clean. Prod. 141, 1145–1163.

EXAME, 2019. Ferrovia Transnordestina pode voltar para o governo. Exame.

FAO, 2009. Global Agriculture Towards 2050. Paper Prepared by the High-level Expert Forum for the Conference How to Feed the World by 2050. Food and Agricultural Organization, Rome, October 2009.

FAO, 2012. The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic Growth is Necessary but not Sufficient to Accelerate Reduction of Hunger and Malnutrition. Rome.

Fecombustíveis, 2018. Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes. In: Tributação Dez 2018. Available from: <http://www.fecombustiveis.org.br/revendedor/tributacao/> (accessed 15.06.19.).

F. E. Nigro, "The Brazilian/Sao Paulo perspectives for renewable fuels," in Proceedings of the 1st Sustainable Aviation Biofuel for Brazil Project Workshop, FAPESP, São Paulo, Brazil, April 2012.

FERNANDES, Glauca; MARIANI, Leidiane. O alto potencial de produção e uso

fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil? Coluna Opinião FGV Energia. Março, 2019. <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opinioao_2_-_marco.pdf>

FIESP and ICONE, "Outlook Brasil 2022," 2012, http://icna.org.br/sites/default/files/artigo/Outlook_Brasil_2022.pdf.

FIRJAN. Anuário do Petróleo no Rio 2021. Firjan SENAI, Firjan Sesi. Rio de Janeiro: Firjan, 2021. <<https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/anuario-petroleo-e-gas.htm>>

FRISCHTAK, C. Carta de Infraestrutura. Inter. B Consultoria Internacional de Negócios. 2019.

FRISCHTAK, C. e J. MOURÃO. Uma Estimativa do Estoque de Capital de Infraestrutura no Brasil. 2017. Disponível em: <https://epge.fgv.br/conferencias/modernizacao-da-infraestruturabrasileira-2017/files/estoque-de-capital-de-infrabrasil-22-08-2017.pdf>. Acessado em novembro, 2019.

FGV ENERGIA (2017). Caderno Biocombustíveis. FGV Energia, Rio de Janeiro. Disponível em:<https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_biocombustivel_-_baixa.pdf>. Acesso em: 20 Fev. 2021.

Gaspari, C. A. 2013. Biotecnologia e Terceira Revolução Industrial: Origem, Dinâmica e Perspectiva para Países em Desenvolvimento. Revista Análise. ISSN 1519-0946. Disponível em: <https://revistas.anchieta.br/index.php/Revistanalise/article/view/477>. Acesso em: 07 Mar. 2021

GOLDEMBERG, J. et al (1994). Energy efficiency from the perspective of developing countries. Energy for Sustainable Development, vol. 1, issue 2, July 1994, pp. 28-34.

GAZZONI, Décio Luiz. Balanço de emissões de CO₂ por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas. Londrina: EMBRAPA Soja, 2014. <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102960/1/Doc-334-online.pdf>>

GOES, George Vasconcelos; SCHMITZ GONÇALVES, Daniel Neves; DE ALMEIDA D'AGOSTO, Márcio; DE MELLO BANDEIRA, Renata Albergaria; GROTERA, Carolina. Transport-energy-environment modeling and investment requirements from Brazilian commitments. Renewable Energy, v. 157, p. 303–311, set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.032>.

Goldemberg, J., Da Silva, J.G., Serra, G.E., Moreira, J.R., Conc alves, J.C., 1978. Energy balance for ethyl alcohol production from crops. *Science* 201 (4359), 903906. Available from: <https://doi.org/10.1126/scien- ce.201.4359.903>. (accessed 15.06.19.).

GOMES, Ieda. Gás natural no Brasil e transição energética. Editora Brasil Energia. Publicado em 10 de abril de 2021. <<https://editorabrasilenergia.com.br/gas-natural-no-brasil-e-transicao-energetica/>>

Hledik R (2009) How Green Is the Smart Grid? *Electr J* 22:29–41

HOLLER BRANCO, José Eduardo; BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; ALVES JUNIOR, Paulo Nocera; CAIXETA FILHO, José Vicente. Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the brazilian's transportation network: An application of a network equilibrium model. *Transport Policy*, , p. S0967070X20300263, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.011>.

HORTA NOGUEIRA, Luiz Augusto; MOREIRA, Jose Roberto; SCHUCHARDT, Ulf; GOLDEMBERG, Jose. The rationality of biofuels. *Energy Policy*, v. 61, p. 595–598, out. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.112>.

ICS - Instituto Clima e Sociedade. Publicações. Disponível em:<<https://www.climaesociedade.org/publicacoes>>. Acesso em: 10 Fev. 2021.

IEA - International Energy Agency. Global EV Outlook 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>>. Acesso em: 10 Fev. 2021.

IEA - International Energy Agency. CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights 2016. Disponível em: <https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/3331/2016/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf>. Acesso em: 15 Fev. 2021.

IEA - International Energy Agency. Emissões globais de CO2 relacionadas à energia por setor. <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>>. Acesso em: 20 Mai. 2021.

IEA - International Energy Agency. Global CO2 emissions in 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>>. Acesso em: 05 Fev. 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014. Synthesis Report. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. About the IPCC. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/about/>>. Acesso em: 10 Fev. 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Global warming of 1.5°C. Disponível em:<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf>. Acesso em: 20 Abr. 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>. Acesso em: 11 Ago. 2021.

IRENA Measuring the socio-economic footprint of the energy transition: the role of supply chains. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Measuring_socio-economic_footprint_2019_summary.pdf?la=en&hash=98F94BCC01598931E91B-F49A47969B97ABD374B5>. Acesso: 10 Nov. 2020.

ITDP, 2021. ITDP discute o papel do setor de transporte no enfrentamento das mudanças climáticas. Disponível em: <COP 25: ITDP discute o papel do setor de transporte no enfrentamento das mudanças climáticas>. Acesso em: 15 Abr. 2021.

IATA, Annual Report 2010, International Air Transport Association (IATA), Berlin, Germany, 2010.

IBGE, 2019. Produção Agrícola Municipal, 2017.

IEA, World Energy Outlook 2013, OECD, IEA, Paris, France, 2013.

IEA. E4 Country Profile: Energy Efficiency in Brazil – Analysis. 12 February 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/articles/e4-country-profile-energy-efficiency-in-brazil>>

IEA. TRANSPORT – RENEWABLES 2018 – ANALYSIS. [s. d.]. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2018/transport>. Acesso em: 28 set. 2020.

IEA. MARKET REPORT SERIES: RENEWABLES 2018 – ANALYSIS. [s. d.]. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>. Acesso em: 28 set. 2020.

IMO. Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions. [s. d.]. Disponível em: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>. Acesso em: 28 set. 2020.

IPCC. Summary for Policymakers. Global warming of 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, 2018. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jaiswal, D., De Souza, A.P., Larsen, S., LeBauer, D.S., Miguez, F.E., Sparovek, G., et al., 2017. Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. Nat. Clim. Change 7 (11), 788. Available from: ,<https://doi.org/10.1038/nclimate3410>. (accessed 15.06.19).

JANNUZZI, G. M. (2015). Eficiência Energética. In: Cadernos Adenauer xv (2014), n. 3. Eficiência energética. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, Janeiro 2015. pp. 107-118.

LUCON, Oswaldo; GOLDEMBERG, José. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. Estudos Avançados 23 (65), 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/3t4kHdSrnr7rKbGSLcR-kKDTd/?lang=pt>>.

LEFÈVRE, Julien; WILLS, William; HOURCADE, Jean-Charles. Combining low-carbon economic development and oil exploration in Brazil? An energy–economy assessment. Climate Policy, v. 18, n. 10, p. 1286–1295, 26 nov. 2018. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1431198>.

MAPA, 2009. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar. Ministério de Agricultura e Produção Agropecuária, MAPA/EMBRAPA, Brasília.

McKinsey & Company, Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil, McKinsey & Company, Rio de Janeiro, Brazil, 2010.

MCTIC, 2016. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil (Annual estimates of greenhouse gas emissions in Brazil). Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (accessed 22 November 2018). [http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINA\[L_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINA[L_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd).

Milanez, A. Yabe, D. Nyko, M.S. Valente, L.C. Sousa, A.M.F. L.J. Bonomi, C D F de J, M.D.B. Watanabe, et al., March 2015. 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. Available from: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4283>. (accessed 15.06.19.).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Discussões para implementação da NDC do Brasil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/ndc-do-brasil>. Acesso em: 26 de junho de 2017.

MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF BRAZIL 2019. Third Biennial Update Report to the MMA, 2017. Discussões para implementação da NDC do Brasil (Discussions for Brazil NDC implementation). Environment Ministry (accessed 22 November 2018). Retrieved November, 2018, from. <http://www.mma.gov.br/clima/ndc-do-brasil>.

MME, Ministério das Minas e Energia, August 2017b. RenovaBio - Nota Explicativa Sobre a Proposta de Criação Da Política Nacional de Biocombustíveis.

MME, Ministério das Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira – Ano base 2019 - Edição 2020. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-e-energetico/publicacoes/resenha-energetica-brasileira>>. Acesso em: 5 Dez. 2020.

MME - Ministério de Minas e Energia. RenovaBio. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renova-bio>>. Acesso em: 20 Fev. 2021.

NOGUEIRA, Luiz A.H.; CAPAZ, Rafael S.; SOUZA, Simone P.; SEABRA, Joaquim E.A. Biodiesel program in Brazil: learning curve over ten years (2005-2015): Biodiesel Program in Brazil: Learning curve over ten years (2005-2015). Biofuels, Bioproducts and Biorefining, v. 10, n. 6, p. 728–737, nov. 2016. <https://doi.org/10.1002/bbb.1718>.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CARDOSO, Rafael Balbino; CAVALCANTI, Ceres Zenaide Barbosa; LEONELLI, Paulo Augusto. Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil. Energy for Sustainable Development, v. 24, p. 58–69, fev. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.12.002>.

NovaCana, 2017. Simulações Dos Impactos Do RenovaBio Para o Setor Sucroenergético. Available from: <https://www.novacana.com/n/etanol/politica/pri-meiras-simulacoes-impactos-renovabio-sucroenergetico-080617/>. (accessed 15.06.19.).

NOVAIS, Celso Ribeiro Barbosa de . Mobilidade Elétrica: Desafios e Oportunidades. Caderno Opinião FGV Energia. Agosto, 2016 <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/celso_novais_mobilidade_eletrica.pdf>

OECD-IEA (2018): OECD-IEA Fossil Fuel Support and Other Analysis, <http://www.oecd.org/site/tadffss/data/> Saudi Arabia's and Argentina's fossil fuel subsidies are estimated using a price-gap approach, which compares the average fossil fuel (end) price to a reference price on the full cost of supply, as opposed to the OECD's inventory approach. Data for 2007-2013 is unavailable for Argentina and Saudi Arabia.

ONU - Organização das Nações Unidas. Acordo de Paris sobre o Clima. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/node/88191>>. Acesso em: 10 Fev. 2021.

PENNA, Carlos Gabaglia. O Estado do Planeta – Sociedade de Consumo e Degradação Ambiental. Rio de Janeiro: Record; 1999.

POPPE, Marcelo Khaled; LA ROVERE, Emilio Lèbre. Oportunidades para o Brasil no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo da Convenção do Clima. Parcerias Estratégicas, Vol. 10, N° 21. Brasília: CGEE, 2005.

Pacca, S., Moreira, J.R., 2009. Historical carbon budget of the Brazilian ethanol program. Energy Policy 37, 4863–4873.

PEREIRA, Gonçalves; ROITMAN, Tamar; GRASSI, Carolina. O Planeta, o Brasil e o Renovabio. Caderno Opinião FGV Energia. Agosto, 2018. <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opiniao_-_renovabio.pdf>

PESSOA, Samuel. Inovar-Auto não foi um sucesso. Blog do IBRE. FGV IBRE. Publicado em 19 de janeiro de 2018. Disponível em: <<https://blogdoibre.fgv.br/posts/innovar-auto-nao-foi-um-sucesso>>.

PETROBRAS. Programa de etiquetagem veicular passa a avaliar veículos a diesel e microcompactos. Publicado em 29 de junho de 2016. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/programa-de-etiquetagem-veicular-passa-a-avaliar-veiculos-a-diesel-e-microcompactos.htm>>.

PIRES, Adriano; DELGADO, Fernanda. Covid-19 e o Setor de Petróleo no Brasil. 31 mar. 2020. Poder360. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/opiniao/coronavirus/covid-19-e-o-setor-de-petroleo-no-brasil-por-adriano-pires/>. Acesso em: 28 set. 2020.

PROCEL. [s. d.]. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Procel.aspx>. Acesso em: 28 set. 2020.

PROCONVE | EMISSÃO VEICULAR. [s. d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/>. Acesso em: 28 set. 2020.

FELIX, Leonardo; BRITO, Eugênio Augusto; MATSUBARRA, Vitor. Nova rota para os carros: Entenda o que o programa “Rota 2030” propõe para o futuro do carro brasileiro. [s. d.]. UOL Carros. Disponível em: <<https://www.uol/carros/especiais/rota-2030-o-que-muda-no-carro-do-brasil.htm#industria-de-carros-do-brasil-em-numeros>> Acesso em: 28 set. 2020.

Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D’Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDÚSTRIA 4.0. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI: 10.31510/inf.v15i2.386. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SENS, Moacyr. Avanços Tecnológicos nos Motores Elétricos Weg em Revista, Janeiro – fevereiro, 2001. Disponível em: http://www.fceletrotecnica.com.br/files/weg_evolucao.pdf >. Acesso em: 21 jun. 2021.

SILVA, Dorotéia Bueno da; SILVA, Ricardo Moreira da; GOMES, Maria de Lourdes Barreto. O Reflexo da Terceira Revolução Industrial na Sociedade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2012, Curitiba. Curitiba, ABEPRO, 2012. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr82_0267.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020.

SILVA, M. C. A. da.; GASPARIN, J. L. A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a educação Escolar Brasileira. 2015. Disponível em: http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

TESSMER, Hélio. 2002. Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. Revista Liberato. Educação, Ciência e Tecnologia. V3. N. 3.

TOLMASQUIM, M. T. e SZKLO, A. S., 2000, “A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio”, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

TORRENCE, R. (1983) ‘Time budgeting and hunter-gatherer technology’. In G. N. Bailey (ed.) Hunter-Gatherer Economy in Prehistory: A European Perspective: 11–22. Cambridge: Cambridge University Press.

UNEP - United Nations Environment Programme (2014). Negociações Fundamentais Sobre Mudança Climática Crucial nos Próximos Dias em Lima. (bit.ly/28K8ich).

WEC - World Energy Council. Cenários Mundiais de Energia: Cenários de Transporte Global 2050 (2011). Disponível em: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-scenarios-global-transport-scenarios-2050>>. Acesso em: 8 Mai. 2021.

TN PETRÓLEO. A situação atual do mercado de energia em consequência da queda significativa nos preços do barril, com

Fernanda Delgado (03 de abril de 2020). https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/artigos/artigo_tn_petroleo.pdf>

https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/artigos/covid-19_e_o_setor_de_petroleo_no_brasil_por_adriano_pires_e_fernanda_delgado_poder360.pdf>

SAGE. Etiqueta ENCE, Selos PROCEL e CONPET. 13 out. 2016. Sage Inteligência Energética®. Disponível em: <http://www.e-sage.com.br/diferenca-entre-etiqueta-ence-selo-procel-e-selo-conpet/>. Acesso em: 28 set. 2020.

SCHMITZ GONÇALVES, Daniel Neves; GOES, George Vasconcelos; DE ALMEIDA D'AGOSTO, Márcio; ALBERGARIA DE MELLO BANDEIRA, Renata. Energy use and emissions scenarios for transport to gauge progress toward national commitments. Energy Policy, v. 135, p. 110997, dez. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110997>.

Sousa, E.L., Macedo, I. de C., 2010. Etanol e Bioeletricidade: A Cana-de-Açúcar No Futuro Da Matriz Energética. UNICA União da Indústria de Cana-de-açúcar. Available from: <https://pt.scribd.com/document/37651191/Etanol-e-bioeletricidade-A-cana-de-acucar-na-matriz-energetica-brasileira>. (accessed 15.06.19.).

Szwarcfiter, L., Mendes, F.E., La Rovere, E.L., 2005. Enhancing the effects of the Brazilian program to reduce atmospheric pollutant emissions from vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 10 (2), 153–160.

T. Bunsen, P. Cazzola, M. Gorner, L. Paoli, S. Scheffer, R. Schuitmaker, J. Teter, *Global EV Outlook 2018: towards Cross-Modal Electrification*, 2018.

TEIXEIRA, Ana Carolina Rodrigues; DA SILVA, Danilo Libério; MACHADO NETO, Lauro de Vilhena Brandão; DINIZ, Antonia Sonia Alves Cardoso; SODRÉ, José Ricardo. A review on electric vehicles and their interaction with smart grids: the case of Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 17, n. 4, p. 841–857, abr. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0865-x>.

UNFCCC 2015a. Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President. Draft decision -/CP.21. Conference of the Parties. Twenty-first session, Paris, 30 November to 11 December 2015.FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, United Nations Framework Convention on Climate Change.

United Nations Framework Convention on Climate Change.

VALEC, 2019. *Ferrovias Norte-Sul*.

WILLS, William; LA ROVERE, Emilio Lèbre. Light vehicle energy efficiency programs and their impact on Brazilian CO2 emissions. *Energy Policy*, v. 38, n. 11, p. 6453–6462, nov. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.057>.

WRI Brasil. Nova economia para o Brasil: retomada verde pode aumentar o PIB e criar empregos. 13 ago. 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/retomada-verde-pode-aumentar-o-pib-do-brasil-e-criar-empregos-nova-economia>. Acesso em: 29 set. 2020.

WRI Brasil. Roberto Schaeffer explica as modelagens econômicas que mostram vantagens da retomada verde para o Brasil. 20 ago. 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/roberto-schaeffer-explica-modelagens-economicas-vantagens-retomada-verde>. Acesso em: 29 set. 2020

David Nikel, Forbes, 'Electric Cars: Why Little Norway Leads The world In EV Usage' (18 de Junho de 2019) < <https://www.forbes.com/sites/davidnikel/2019/06/18/electric-cars-why-little-norway-leads-the-world-in-ev-usage/#352c053413e3> >

U.S. Department of Energy (2019). Joint Statement of future cooperation on hydrogen and fuel cell technologies among the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (METI), the European Commission Directorate-General for Energy (ENER) and the United States Department of Energy (DOE). <<https://www.energy.gov/articles/joint-statement-future-cooperation-hydrogen-and-fuel-cell-technologies-among-ministry>>

Department of Heavy Industry, Government of India (NAB), 'Electric car for Fame India Scheme Phase II' < <https://fame2.heavyindustry.gov.in/> >

Dorcas Kariuki, 'Barriers to Renewable Energy Technologies development'. February, 2018. <https://www.researchgate.net/publication/348936339_Barriers_to_Renewable_Energy_Technologies_Development>

Doug Demuro, 'Buying a Car: How Long Can You Expect a Car to Last?' (30 de Junho de 2019) <<https://www.autotrader.com/car-shopping/buying=-car-how-long-can-you-expect-car-last240725-#:~:text=In%20general%2C%20however%2C%20people%20don,the%20statistics%20are%20against%20you.>>

Dr David Wyatt, 'Elektro-Lkw 2020-2030' <<https://www.idtechex.com/de/research-report/electric-trucks-2020-2030/710>>

DWMS, 'Energias renováveis: 10 motivos porque reduzem a crise' (Minasol energia solar, 21 de Janeiro de 2019) <<https://www.minasolpaineis.com.br/noticias/2019/01/21/energias-renovaveis-10-motivos-porque-reduzem-a-crise/>>

eCycle, 'Reciclagem: o que é e qual a importância' <<https://www.ecycle.com.br/2046-reciclagem>>

Electrek, 'Tesla Semi: Tesla's upcoming all-electric heavy-duty truck' (09 de Março de 2021) <<https://electrek.co/guides/tesla-semi/#posts>>

Eletra, 'Conheça a Eletra' <<http://www.eletrabus.com.br/>>

Energy Transitions Commission, 'Mission Possible: Reaching net-zero carbono emissions from harder-to-abate sectors' (Novembro de 2018) <http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf>

EPE, 'Matriz Energética e Elétrica' <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ENERGETICA>>

EPE, 'Planejamento Energético e a EPE' <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/planejamento-energetico-e-a-epe>>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)/ Ministério de Minas e Energia(MME), 'Atlas de eficiência energética' (2019).

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)/ Ministério de Minas e Energia(MME), 'Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio', Rio de Janeiro (2021). <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf)>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)/ Ministério de Minas e Energia(MME), 'Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético', Rio de Janeiro (2018).

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)/ Ministério de Minas e Energia(MME), 'Balanço Energético Nacional 2019 – Relatório síntese/ ano base 2018', Rio de Janeiro (2019).

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)/ Ministério de Minas e Energia(MME), 'Análise de conjuntura dos biocombustíveis – Ano 2019', Rio de Janeiro (2020).

European Commission, 'Electrification of the Transport System' (2017) <https://ec.europa.eu/news-room/horizon2020/document.cfm?doc_id=46368>

Fast Company, 'Battery electric Buses: the innovative technology that's re-energizing urban mass transit' (11 de Novembro de 2019) < <https://www.fastcompany.com/90424050/battery-electric-buses-the-innovative-technology-thats-re-energizing-urban-mass-transit> >

Felipe Munoz, Jato, 'Electric cars cost double the price of Other cars on the Market today' (11 de Outubro de 2019) < <https://www.jato.com/electric-cars-cost-double-the-price-of-other-cars-on-the-market-today/> >

F. G. Geels, 'The Dynamics of Transitions in Socio-technical Systems: A Multi-level Analysis of the Transition Pathway from Horse-drawn Carriages to Automobiles (1860–1930)' (Dezembro de 2015)

FGV Energia, 'Carros Elétricos' (Maio de 2017) < https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf >

FGV Energia, 'Biocombustíveis' (2017a) <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_biocombustivel_-baixa.pdf>.

FGV Projetos. 'O que é uma cidade inteligente' < <https://fgvprojetos.fgv.br/noticias/o-que-e-uma-cidade-inteligente> >

Forest Research UK, 'Carbon emissions of different fuels', UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) (2021) <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/biomass-energy-resources/reference-biomass/facts-figures/carbon-emissions-of-different-fuels/> acessado em 14 de março de 2021.

Fostering Effective Energy Transition 2019 Edition (World Economic Forum 2019) <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2019.pdf>.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP), 'Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil' (2013).

Global Carbon Project. Global Carbon Project. (2019). Supplemental data of Global Carbon Budget 2019 (Version 1.0) [Data set]. Global Carbon Project. <https://doi.org/10.18160/gcp-2019>

Global Carbon Project, 'Carbon Budget 2020' (2020).

Global Drive To Zero, 'Policies and actions to promote the uptake of zecvs' < <http://toolkit.globaldrivetozero.org/policies-and-actions/> >

Global Drive To Zero, 'The Program' < <https://globaldrivetozero.org/> >

GREENEA, 'Covid-19: What should business leaders in the biofuel industry know to plan the next stage?' (2020).

GREENEA, 'Is HVO the Holy Grail of the world biodiesel market?' (2015) <<http://www.greenea.com/publication/is-hvo-the-holy-grail-of-the-world-biodiesel-market/>>.

Gregg G. Fleming e Ivan de Lépinay, 'Environmental Trends in Aviation to 2050 – 2019 Report', International Civil Aviation Organization (2019).

G1, 'Preços da gasolina e do diesel sobem nos postos, mostra levantamento da ANP' (12 de Julho de 2021) < <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/12/precos-da-gasolina-e-do-diesel-sobem-nos-postos-mostra-levantamento-da-anp.ghtml> >

Hannah Ritchie, e Max Roser, 'Access to Energy' < [Hearst Autos Research, Car and Driver, 'How Much Is an electric Car?' < <https://www.caranddriver.com/research/a31544842/how-much-is-an-electric-car/> >](https://ourworldindata.org/energy-access#:~:text=940%20million%20(13%25%20of%20the,not%20have%20access%20to%20electricity.> text=940%20million%20(13%25%20of%20the,not%20have%20access%20to%20electricity.></p>
</div>
<div data-bbox=)

Henrique Ribeiro, Xinyue Zhang, 'Lithium oversupply to continue in 2020' (13 de Dezembro de 2019) < <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/metals/121319-lithium-oversupply-to-continue-in-2020#article0> >

HYDROGEN COUNCIL (2020). Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/wpcontent/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf>. Acesso em: 18 Jan. 2021.

IBP, "Smart and sustainable cities' (01 de Setembro de 2020) <https://www.youtube.com/watch?v=uZ-wBW8UPEkY&list=PL17ddTkfV_ffGG7evcxNTh_S94UOttKhq&index=3>

ICAO Secretariat, 'Sustainable Aviation Fuels – 2019 Report' International Civil Aviation Organisation (2019).

Instituto E+ Transição Energética (2020): Manual de Termos e Conceitos: Transição Energética - Rio de Janeiro/RJ – Brasil

International Air Transport Association (IATA), 'COVID-19 and CORSIA: Stabilizing net CO2 at 2019 "pre-crisis" levels, rather than 2010 levels' (2020). <<https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/covid19-and-corsia-baseline-190520.pdf>>

International Air Transport Association (IATA), 'Iata 2015 Report on Alternative Fuels' Montreal (2016). <<https://www.iata.org/contentassets/462587e388e749eeb040df4dfdf02cb1/2015-report-alternative-fuels.pdf>>

International Energy Agency (IEA), 'Africa Energy Outlook 2019' (2019) <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019> acessado em 8 de março de 2021.

International Energy Agency (IEA), 'Hydrogen' (2020) <https://www.iea.org/reports/hydrogen> acessado em 14 de março de 2021.

International Energy Agency (IEA), 'The Future of Hydrogen' (2019) <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> acessado em 14 de março de 2021.

International Energy Agency (IEA), 'Transport sector CO2 emissions by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030', Paris <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/transport-sector-co2-emissions-by-mode-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030>>.

IEA, 'Access to electricity in the Sustainable Development Scenario, 2010-2030', IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/access-to-electricity-in-the-sustainable-development-scenario-2010-2030> >

IEA, 'Annual average investment for power plants in China in the New Policies Scenario, 2001-2040', IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-average-investment-for-power-plants-in-china-in-the-new-policies-scenario-2001-2040> >

IEA (2020), Aviation, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/aviation> >

IEA (2020), Electric Vehicles, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles> >

IEA (2019), Global EV Outlook 2019, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> >

IEA (2020), Global EV Outlook 2020, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> >

IEA, 'India' < <https://www.iea.org/countries/india> >

IEA (2020), International Shipping, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/international-shipping> >

IEA, New electric bus registrations by country/region, 2015-2019, IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/new-electric-bus-registrations-by-country-region-2015-2019> >

IEA, New electric bus registrations in China, 2015-2019, IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/new-electric-bus-registrations-in-china-2015-2019> >

IEA, Passenger rail transport activity by fuel type, 1995-2016, IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/passenger-rail-transport-activity-by-fuel-type-1995-2016> >

IEA, Public charging points in key markets, 2014-2019, IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/public-charging-points-in-key-markets-2014-2019> >

IEA, Publicly accessible electric vehicle fast chargers by country, 2019, IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/publicly-accessible-electric-vehicle-fast-chargers-by-country-2019> >

IEA, Publicly accessible electric vehicle slow chargers by country, 2019, IEA, Paris < <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/publicly-accessible-electric-vehicle-slow-chargers-by-country-2019> >

IEA (2020), Rail, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/rail> >

IEA (2019), The Future of Rail, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail> >

IEA (2020), Tracking Transport 2020, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020> >

IEA (2020), Trucks and Buses, IEA, Paris < <https://www.iea.org/reports/trucks-and-buses> >

IEA Bioenergy (2017). TASK 39, 'Biofuels for the marine shipping sector' <<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>>

IEA Bioenergy (2019) TASK 39, 'Comparison of international Life Cycle Assessment (LCA) biofuels models' <https://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2019/07/IEA-B-T39_Summary_LCA-Project.pdf>

International Institute for Sustainable Development (IISD), 'Real People, Real Change - Strategies For Just Energy Transitions', (2018) GSI Report.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO), 'Prologue to Maritime Perspectives: Digital Connectivity & Data Standards – Singapore online event series' (2020).

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO), 'UN agency launches new global project to tackle maritime GHG emissions', (13 May 2019) <<https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-green-voyage-2050.aspx>>

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO), 'Guidance on the development of a ship implementation plan for the consistent implementation of the 0.50% sulphur limit under marpol annex vi', MEPC.1/Circ.878, (9 November 2018), <<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/MEPC.1-Circ.878.pdf>>

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO), 'Assessment of fuel oil availability – final report' MEPC 70/INF. 6 (25 July 2016) < <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/MEPC%2070-INF.6%20-%20Assessment%20of%20fuel%20oil%20availability.pdf>>

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), 'Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050' Abu Dhabi (2020).

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), 'Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition', Abu Dhabi (2018).

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), 'The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality', Abu Dhabi (2020a).

ILO, 'Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all' < https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/publication/wcms_432859.pdf >

INFINEON, 'Why ships of the future will run on electricity' (July, 2021) < <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electrified-ships/> >

InsideEV's, 'Norway's Electric Ferry Is So Impressive That 53 More Were Ordered' (25 de Março de 2018) < <https://insideevs.com/news/336402/norways-electric-ferry-is-so-impressive-that-53-more-we-re-ordered/> >

International Economic Development Council, 'Analysis of the Electric Vehicle Industry' (2013) < http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/anderson-h1/docs/IEDC_Electric_Vehicle_Industry.pdf >

iPoint, 'Long-Distance, Low-Impact? Inside Cargo Ship Travelling' (09 de Setembro de 2013) < <https://www.ipoint-systems.com/blog/long-distance-low-impact-inside-cargo-ship-travelling/> >

Irena, 'Energy Profile Brazil' < https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/South%20America/Brazil_South%20America_RE_SP.pdf >

I. Wagner, 'Li-ion batteries in EVs by segment – share of cost 2016' (01 de Agosto de 2019) < <https://www.statista.com/statistics/797660/battery-share-of-electric-vehicle-cost-by-segment/> >

IPCC . Climate Change 2014. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em: 10 Abr. 2021.

James Gordon, 'Cobalt: the dark side of a clean future' (04 de Junho de 2019) < <https://www.raconteur.net/business-innovation/cobalt-mining-human-rights> >

Jeff Brind, 'How Demand for Electric Vehicles Will Impact the Supply Chain' (29 de Julho de 2020) < <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/31673-how-demand-for-electric-vehicles-will-impact-the-supply-chain> >

Jeffrey Rissman, 'How To Reach U.S. Net Zero emissions By 2050: Decarbonizing Transportation' (Forbes, 11 de Novembro de 2019) < <https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2019/11/11/how-to-reach-us-net-zero-emissions-by-2050-decarbonizing-transportation/#55da8d2040db> >

Jimmy O'dea, 'Electric vs. Diesel vs. Natural Gas: Which Bus is Best for the Climate?' (19 de Julho de 2019) < [https://blog.ucsusa.org/jimmy-odea/electric-vs-diesel-vs-natural-gas-which-bus-is-best-for-the-climate#:~:text=Electric%20buses%20are%20better%20for,miles%20per%20gallon%20emissions%20Dequivalency.&text=This%20is%202.5%20times%20better,\(4.8%20miles%20per%20gallon\).](https://blog.ucsusa.org/jimmy-odea/electric-vs-diesel-vs-natural-gas-which-bus-is-best-for-the-climate#:~:text=Electric%20buses%20are%20better%20for,miles%20per%20gallon%20emissions%20Dequivalency.&text=This%20is%202.5%20times%20better,(4.8%20miles%20per%20gallon).>) >

Joey Gardiner, 'The rise of electric cars could leave us with a big battery waste problem' (10 de Agosto de 2017) < <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/10/electric-cars-big-battery-waste-problem-lithium-recycling> >

Jonathan Eckart, 'Batteries can be part of the fight against climate change – if we do these five things' (World Economic Forum, 28 de Novembro de 2017) < <https://www.weforum.org/agenda/2017/11/battery-batteries-electric-cars-carbon-sustainable-power-energy/> >

Jon Henley, Elisabeth Ulven, 'Norway and the A-há moment that made electric cars the answer' (19 de Abril de 2020) < <https://www.theguardian.com/environment/2020/apr/19/norway-and-the-a-ha-moment-that-made-electric-cars-the-answer> >

José Goldemberg & José Roberto Moreira (2005). Política energética no Brasil. Estudos Avançados, 19(55), 215-228. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000300015>

José Goldenberg, 'Energia e Desenvolvimento no Brasil', Instituto Energia e Ambiente/USP e Instituto E+ Transição Energética, Rio de Janeiro (2020).

Julio Cesar, 'Confira os preços e principais dados dos modelos que já estão disponíveis no país' (23 de Agosto de 2020) < <https://insideevs.uol.com.br/news/426568/precos-carros-eletricos-brasil/> >

Julio Cesar, 'veja quais são os preços dos carros elétricos à venda no Brasil' (23 de Agosto de 2020) < <https://insideevs.uol.com.br/news/426568/precos-carros-eletricos-brasil/> >

KOREA (2019). Ministry of Trade, Industry and Energy. Hydrogen Economy, Roadmap of Korea. <https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0d025.pdf>

Kritti Bhalla, 'Cost, Acceptance And Charging Biggest EV Challenges, Says Maruti Suzuki' (01 de Setembro de 2019) < <https://inc42.com/buzz/cost-acceptance-and-charging-biggest-ev-challenges-says-maruti-suzuki/> >

Kritti Bhalla, 'Maruti Suzuki Pushes WagonR Electric Launch To 2021: Here's Why' (28 de Outubro de 2019) < <https://inc42.com/buzz/maruti-suzuki-pushes-wagonr-electric-launch-to-2021-heres-why/> >

Kyle Ashdown (2017), 'Electric Cars In Developing Nations Could Do More Harm Than Good' < <https://www.carthrottle.com/post/electric-cars-in-developing-nations-could-do-more-harm-than-good/> >

Leandro Mattera, 'Carros: precisamos (mesmo) trocar tanto?' (2014) < <https://dinheirama.com/carros-precisamos-mesmo-trocar-tanto/> >

Marcelo Henrique de Azevedo, Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro (2018) < https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_CarrosEl%C3%A9tricosViabilidade.pdf >

Mario Osava, 'Electrification of Transport : A Challenge for Urbanised Latin america' (13 de julho de 2020) <<http://www.ipsnews.net/2020/07/electrification-transport-challenge-highly-urbanised-latin-america/> >

Maarten Messagie, 'Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles', Vrije Universiteit Brussel (2014).

Matthew Nitch Smith, The number of cars worldwide is set to double by 2040. World Economic Forum 22 April 2016 <<https://www.weforum.org/agenda/2016/04/the-number-of-cars-worldwide-is-set-to-double-by-2040>>

Mayur Agarwal, What is Alternate Marine Power (AMP) or Cold Ironing? Marine Insight. (14 de dezembro de 2021) < <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/>>

Mengpin Ge e Johannes Friedrich, '4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor' (WRI BRASIL, 28 de Fevereiro de 2020) < <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/02/quatro-graficos-explicam-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor> >

Michael J. Coren, Quartz, 'The median electric car in the US is getting cheaper' (27 de Agosto de 2019) < <https://qz.com/1695602/the-average-electric-vehicle-is-getting-cheaper-in-the-us/> >

Ministério do Meio Ambiente, 'Setor de Transporte é o que Causa Mais Impactos na Qualidade do ar' < <https://www.mma.gov.br/informma/item/6191-setor-de-transporte-e-o-que-causa-mais-impactos-na-qualidade-do-ar> >

Nicole Kobie, 'A Cobalt Crisis Could Put the Brakes on Electric Car Sales' (22 de Fevereiro de 2020) < <https://www.wired.com/story/a-cobalt-crisis-could-put-the-brakes-on-electric-car-sales/> >

Nivalde de Castro e Lorrane Câmara, 'Transição energética e o hidrogênio: oportunidades, desafios e perspectivas' (2020) Serviço de informação Broadcast da Agência Estado de São Paulo.

Nivalde de Castro e Luanda Carolina Alves da Costa, 'Um Breve Panorama Sobre Energias Renováveis Na América Latina' (2019) <<https://geselartigos.com/2019/03/08/um-breve-panorama-sobre-energias-renovaveis-na-america-latina/>> accessed 1 August 2020

Nivalde de Castro e Miguel Pereira Pinto N, 'O Setor De Transporte E A Mobilidade Elétrica' (2020) Serviço de informação Broadcast da Agência Estado de São Paulo http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/50_castro243.pdf.

Nivalde de Castro, André Alves, Diogo Salles e Luiza Masseno, 'Transição Elétrica: os casos de Reino Unido e Alemanha (2020) Agência Canal Energia.

Nivalde de Castro, Luiza Masseno e Lara Moscon, 'Poluição, Segurança Energética e Transição Elétrica em Países Selecionados' (2020) Agência Canal Energia.

Nivalde de Castro, Luiza Masseno e Lara Moscon, 'Novo paradigma da Indústria Automobilística: dos veículos à combustão à mobilidade elétrica' (2020) Agência Canal Energia.

NUMO Quartely Update, 'NUMO Quartely Snapshot Report' (New Urban Mobility alliance, 24 de Março de 2020) <https://www.numo.global/sites/default/files/2020-03/FINAL%20NUMO%20Quarterly%20Snapshot%20Report%20March%202020_0.pdf>

U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 'All electric vehicles' <<https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources>>

Our World in data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember, 'Electricity production by source, World' (2021) < <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked> >

Perspectiva de um Sindicato de Trabalhadores da Função Pública, 'Transição justa e democracia energética', < <http://www.empregos-clima.pt/wp-content/uploads/2018/01/Transicao-Justa-e-Democracia-Energetica-PCS-webcopy.pdf>>

Peter Slowik, Carmen Araujo, Tim Dallmann, e Cristiano Façanha, ' International Evaluation of Public Policies for Electromobility in Urban Fleets' (Novembro de 2018) <https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Brazil-Electromobility-EN-01112018.pdf >

Peter Slowik, Carmen Araujo, Tim Dallmann, Cristiano Façanha, 'International evaluation of public policies for electromobility in urban fleets' (01 de Março de 2019) <<https://theicct.org/publications/international-evaluation-public-policies-electromobility-urban-fleets>>

PodPoint. 'How Long Does It Take To Charge An Electric Car?' (11 de novembro de 2021) < <https://pod-point.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car#:~:text=Summary,with%20a%207kW%20charging%20point.> >

Project90by2030, 'A Just Energy Transition for South Africa' < https://90by2030.org.za/wp-content/uploads/2018/08/JET-one-pager_31July2018_last-version.pdf >

PWC, 'Merge ahead: Electric vehicles and the impact on the automotive supply chain' (Novembro de 2019) < <https://www.pwc.com/us/en/industries/industrial-products/library/electric-vehicles-supply-chain.html> >

Renault Group. The Range of Hybrid Cars. (27 de março de 2020) <<https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/the-range-of-hybrid-cars/>>

Research and Markets, 'Worldwide Electric Vehicle Charging Infrastructure Industry to 2027 – Strategic Recommendations in Key Business Segments' (08 de Julho de 2020) < <https://www.prnewswire.com/news-releases/worldwide-electric-vehicle-charging-infrastructure-industry-to-2027---strategic-recommendations-in-key-business-segments-301090134.html> >

Revista Carga Pesada, 'Novo Actros faz 2,09 Km por litro de diesel' (29 de Maio de 2020) < <https://cargapesada.com.br/2020/05/20/novo-actros-faz-209-km-por-litro-de-diesel/> >

Ricardo de Oliveira, 'O mundo já tem mais de 1,2 bilhão de veículos' <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/o-mundo-ja-tem-mais-de-1-bilhao-de-veiculos/>>.

RU, 'Commercial Vehicle of the Future' (Janeiro de 2017) < <https://www.iru.org/sites/default/files/2017-07/iru-report-commercial-vehicle-of-the-future-en%20V2.pdf> >

Safety4sea, 'Cold Ironing: The role of ports in reducing shipping emissions' (18 de Março de 2019) < <https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/> >

SDGAcademy, 'The 3 Pillars of the Deep Decarbonization of Energy Systems' (20 de Agosto de 2019) < https://sdgacademylibrary.mediaspace.kaltura.com/media/The+3+Pillars+of+the+Deep+Decarbonization+of+Energy+Systems/1_bvcnxqbq >

Sean O'Kane, 'Jaguar will pause I-Pace production because of battery shortage' (11 de Fevereiro de 2020) < <https://www.theverge.com/2020/2/11/21133010/jaguar-ipace-production-halt-lg-chem-batteries> >

Sebrae, 'Cidades inteligentes: o que são?' < <https://inovacaosebraeminas.com.br/cidades-inteligentes-o-que-sao/> >

Shiyang Wang e Mengpin Ge, 'Everything You Need to Know About the Fastest-Growing Source of Global Emissions: Transport' (World Resources Institute, 16 de Outubro de 2019) < <https://www.wri.org/blog/2019/10/everything-you-need-know-about-fastest-growing-source-global-emissions-transport> >

Steve LeVine, 'The man who brought us the lithium-ion battery at the age of 57 has an idea for a new one at 92' (05 de Fevereiro de 2015) < <https://qz.com/338767/the-man-who-brought-us-the-lithium-ion-battery-at-57-has-an-idea-for-a-new-one-at-92/> >

Susan Anenberg, Joshua Miller, Daven Hanze, Ray Minjares, 'A Global Snapshot of the Air Pollution-Related Health Impacts of Transportation Sector Emissions in 2010 and 2015' (2019) < https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global_health_impacts_transport_emissions_2010-2015_20190226.pdf >

The Economic Times, 'What is driving electric three-wheelers to a competitive market in India?' (20 de Março de 2020) < <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/commercial-vehicle/lcv/what-is-driving-electric-three-wheelers-to-a-competitive-market-in-india/73261874> >

The Energy Collective Group, 'A Supply Chain is Growing for Electric Transportation. Here's What It Could Do For One State' (09 de Junho de 2020) < <https://energycentral.com/c/ec/supply-chain-growing-electric-transportation-here%E2%80%99s-what-it-could-do-one-state> >

The Globalist, 'Cobalt for Batteries' (11 de Novembro de 2018) < <https://www.theglobalist.com/batteries-mining-cobalt-democratic-republic-of-congo/> >

The Port of Los Angeles, 'Zero Emissions Technologies' < <https://www.portoflosangeles.org/environment/air-quality/zero-emissions-technologies> >

Thomas Hirsch, Manuela Matthess, Dr. Joachim Fünfgelt, 'Guiding Principles & Lessons Learnt For a Just Energy Transition in the Global South'. Friedrich Ebert Stiftung. December, 2017. Disponível em: <<https://library.fes.de/pdf-files/iez/13955.pdf>>.

Titus Githiru, '5 Problems Electric Scooters Are Causing' (18 de Setembro de 2018) < <https://techweez.com/2018/09/18/electric-scooter-problems/> >

Transport Research Report, 'Electric Bus Technology' (Junho de 2017) < https://www.mrcagney.com/uploads/documents/MRC_Electric_Bus_Report__11072017.pdf >

'Urban Access regulations in Europe'. Low Emissions Zone. <<https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main>>

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 'Review of Maritime Transport 2019' (2019). <https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf>

U.S. Energy Information Administration (EIA), 'What is U.S. electricity generation by energy source?' (2021) <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3> acessado em 8 de março de 2021.

U.S. Department Of Energy, 'All-Electric Vehicles' < <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources> >

U.S. Department of Energy, 'Medium- and Heavy-Duty Vehicle Electrification: Na Assessment of Technology and Knowledge Gaps' (Dezembro de 2019) < <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub136575.pdf> >

Van Deursen, F. Antes do carro, o caos das grandes cidades era o cavalo. Super Interessante. Disponível em: <https://super.abril.com.br/coluna/contaoutra/antes-do-carro-o-caos-das-grandes-cidades-era-o-cavalo/>. Acesso em 12 Jan 2021.

Vanessa Barbosa, Exame, 'A transformação no setor elétrico da China está a todo vapor', (07 de Março de 2017) < <https://exame.com/economia/a-transformacao-no-setor-eletrico-da-china-esta-a-todo-vapor/> >

Vesa Laisi, 'How cities will lead the electric transport revolution' (27 de Novembro de 2018) < <https://www.weforum.org/agenda/2018/11/cities-will-lead-the-electric-transport-revolution> >

VICTOR, D.G., GEELS, F.W. and SHARPE, S., 'Accelerating the Low Carbon Transition: The Case for Stronger, More Targeted and Coordinated International Action' (2019). <<https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2019/12/Coordinatedactionreport.pdf>>

Viny Furlani, 'Carro híbrido: Como funciona? Quais são as diferenças?' < <https://www.noticiasautomotivas.com.br/como-funcionam-os-carros-hibridos/> >

World Bank, Our World in Data, 'Electricity acess' (2016) < <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-the-population-with-access-to-electricity> >

World Economic Forum, 'Electric Vehicles for Smarter Cities: The Future of Energy and Mobility' (Janeiro de 2018) < http://www3.weforum.org/docs/WEF_2018_%20Electric_For_Smarter_Cities.pdf >

World Economic Forum, 'Tackling the harder-to-abate sectors: join the conversation on 7 July' (01 de Julho de 2020) < <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/tackling-the-hard-to-abate-sectors-join-the-conversation/> >

Ying Wang, Su Song, Shiyong Qiu, Lu Lu, Yilin Ma, Xiaoyi Li, e Ying hu, 'Study on international practices for low emission zone and congestion charging' (Janeiro de 2017) < https://files.wri.org/s3fs-public/Study_on_International_Practices_for_Low_Emission_Zone_and_Congestion_Charging.pdf >

Yutong, '63 Yutong Dual-Source Trolleybuses Enter Mexico across the Ocean!' (14 de Outubro de 2019) <<https://en.yutong.com/pressmedia/yutong-news/2019/2019JNOhRqN4yq.html>>

Mantenedores

Empresas que acreditam e investem em pesquisa para
o desenvolvimento do Setor Energético Brasileiro.

A **FGV Energia** agradece a seus **Mantenedores** o apoio
dedicado às suas pesquisas e publicações.



ENERGIA PARA

REPENSAR REDESENVOLVER REVITALIZAR

REPENSAR

Repensar cada campo de óleo & gás com o objetivo de **maximizar** cada ativo, respeitando as comunidades.

REDESENVOLVER

Inovar e implementar novas estratégias de **desenvolvimento** em campos maduros.

REVITALIZAR

Incrementar atividades, **otimizar** as operações, sempre com segurança.



www.3rpetroleum.com.br

O que importa para nós é que a inovação chegue até você.

Por isso, investimos tanto em Pesquisar. Desenvolver. Experimentar. Aplicar. Atuamos, há mais de quatro décadas, com isenção, prontidão e competência, fatores que sustentam nossa credibilidade em níveis nacional e internacional.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel

Pesquisadores e técnicos altamente qualificados

Moderno complexo laboratorial para pesquisa experimental, ensaios e serviços tecnológicos

Papel estratégico no desenvolvimento da indústria nacional

Soluções tecnológicas amplamente utilizadas pelo setor elétrico brasileiro

Apoio técnico em P&D+ I para o governo, entidades setoriais, empresas, fabricantes e concessionárias

Ampla agenda de treinamentos e eventos técnicos
Parcerias com instituições de pesquisa do Brasil e do exterior

Seja um Associado do Cepel

Informações pelo e-mail dg@cepel.br

Saiba mais sobre o Cepel em: www.cepel.br



Eletrobras
Cepel

A pesquisa que constrói o futuro

**equinor**

Em tempos de mudanças
climáticas, sabe o que
a Equinor anda fazendo?
A diferença.



Sustentabilidade está no centro de tudo o que a Equinor faz. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU e o Acordo Climático de Paris influenciam diretamente no desenvolvimento dos nossos negócios. No mundo, somos a empresa com as menores taxas de CO₂ na produção de óleo e gás, e nossas metas para futuros projetos são ainda mais ambiciosas. Queremos zerar nossas emissões próprias de carbono até 2050. Isso sem contar nossos projetos em energia renovável, como o Complexo Solar Apodi, que gera energia para 200 mil famílias brasileiras. Esse é o nosso jeito.

Essa é uma energia com E de Equinor.

equinor.com.br



Usina Hidrelétrica de Funil
Resende - RJ

Transparência & sustentabilidade

**Furnas representa um complexo de 19 Usinas Hidrelétricas,
68 subestações e 43 parques eólicos.**

- 40% da Energia do Brasil passa por Furnas.
- Energia para mais 60% dos domicílios brasileiros.
- 24.000 km de linhas de transmissão que interligam o Brasil.
- 100% na geração de energia limpa para o Brasil.



norteENERGIA
USINA HIDRELÉTRICA BELO MONTE

Foram necessários mais de 40 anos de estudo para instalação da maior hidrelétrica brasileira na Amazônia.

O único aproveitamento hidrelétrico autorizado para a bacia do rio Xingu utiliza aproximadamente 174 km dos 1.979 km de extensão do rio e não alagou terras indígenas para a formação dos seus reservatórios à fio d'água.

Recursos destinados para proteção de mais de 8,6 milhões de hectares em Unidades de Conservação.

Com capacidade instalada de 11.233,1 MW e quantidade média de geração de energia de 4.571 MW fornece energia para 60 milhões de brasileiros.

O compromisso de Belo Monte com as atuais e futuras gerações, se materializa na transformação social promovida na região onde está instalada, com estruturas de educação, equipamentos de saúde, novas moradias, saneamento e qualidade de vida com ações de cidadania.

*Energia da
Amazônia,
essencial
para o Brasil.*



117 Projetos Ambientais



4.130 indígenas beneficiados em 27 programas



33 Hospitais e Unidades de Saúde



513 Km de rede (água e esgoto)



06 novos bairros com infraestrutura completa



3.850 casas construídas



436 salas de aula





A PetroRio investe
na recuperação de ativos,

alongando a vida útil

dos campos e reduzindo
os custos de produção.

Uma empresa inovadora,
dinâmica, criativa, que
evolui e cresce a cada dia.



PetroRio

**A MAIOR
COMPANHIA
INDEPENDENTE
DE ÓLEO E GÁS
DO BRASIL**



ENERGIA QUE VEM DA GENTE

UMA SÉRIE DE HISTÓRIAS
INSPIRADORAS FEITAS
DA ENERGIA QUE SÓ
A GENTE TEM.

**SHELL, IMPULSIONANDO
O PROGRESSO NO BRASIL
HÁ 108 ANOS.**



ESCANEIE
O QR CODE E ASSISTA
ÀS HISTÓRIAS
SHELL.COM.BR



Mantenedores

Ouro



Prata



