



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SOROCABA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Guilherme Henrique Gonçalves Lisboa

ESTUDO DA TRANSIÇÃO DO USO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS PARA
ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SEGMENTO DE TRANSPORTE

Sorocaba

2023

GUILHERME HENRIQUE GONÇALVES LISBOA

**ESTUDO DA TRANSIÇÃO DO USO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS PARA
ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SEGMENTO DE TRANSPORTE**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia da UNESP Sorocaba como requerimento para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Cesar Germano Martins

Sorocaba

2023

L769e Lisboa, Guilherme Henrique Gonçalves
Estudo da transição do uso de combustíveis fósseis para energias renováveis no segmento de transporte / Guilherme Henrique Gonçalves Lisboa. -- Sorocaba, 2023
64 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Antônio Cesar Germano Martins

1. Energia. 2. Transporte. 3. Análise energética. 4. Energia - Fontes alternativas. 5. Políticas públicas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

ESTUDO DA TRANSIÇÃO DO USO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS PARA ENERGIAS
RENOVÁVEIS NO SEGMENTO DE TRANSPORTE

GUILHERME HENRIQUE GONÇALVES LISBOA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Prof. Dr. Everson Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antônio Cesar Germano Martins
Orientador/UNESP-Campus de Sorocaba

Prof. Dr. Eduardo Verri Liberado
UNESP- Campus de Sorocaba

Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão
UNESP – Campus de Sorocaba

Julho de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Gervano e Luciana, que sempre me apoiaram na busca por uma educação de qualidade, fornecendo todo suporte emocional e as condições necessárias para a conclusão desta etapa.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Germano, pela disposição e por compartilhar de suas experiências nas quais foram fundamentais na elaboração deste trabalho.

Agradeço aos amigos que partilharam todos os momentos durante a graduação; e as entidades estudantis que participei – Centro Acadêmico César Lattes, Associação Atlética Acadêmica UNESP Sorocaba e a Trombateria – que foram essenciais para minha permanência na universidade e que colaboraram em meu desenvolvimento pessoal.

Agradeço aos docentes que participaram da minha formação acadêmica.

LISBOA, G. H. G. **Estudo da transição do uso de combustíveis fósseis para energias renováveis no segmento de transporte**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2023.

RESUMO

O presente trabalho consiste em um estudo acerca do cenário nacional do segmento de transporte de carga e passageiros e sua transição energética a partir de fontes renováveis, com foco na eletromobilidade. Para isso, foi realizado uma análise dos impactos socioambientais deste setor bem como um estudo das energias renováveis dentro do contexto de transportes. Além disso, foram apresentadas as principais iniciativas desenvolvidas e em desenvolvimento sobre o assunto e, em paralelo, as barreiras e oportunidades decorrentes desta transição.

Palavras-chave: energias renováveis; transporte; transição energética.

LISBOA, G. H. G. **Estudo da transição do uso de combustíveis fósseis para energias renováveis no segmento de transporte**. 2023. Final Paper (Bachelor's degree Automation and Control Engineering) – Sorocaba Institute of Science and Technology, São Paulo State University, Sorocaba, 2023.

ABSTRACT

The present work consists in a review about the national scenario of the load and passenger transport segment and its energy transition to renewable sources, with focus on electromobility. For this, an analysis of the socio-environmental impacts of this sector was carried out, as well as a study of renewable energies within the context of transportation. In addition, the main initiatives developed and under development on the subject were considered and, in parallel, the barriers and opportunities associated with this transition.

Keywords: renewable sources; transport; energy transition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo do setor de transportes por fonte de energia (mil tep).....	20
Figura 2 - Impactos do transporte urbano na pobreza e inclusão social	24
Figura 3 - Os 3D's da Energia	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABGD	Associação Brasileira de Geração Distribuída
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ACEEE	American Council for na Energy-Efficient Economy
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Anfavea	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BDNES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BRS	Bus Rapid Service
BRT	Bus Rapid Transit
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEBRI	Centro Brasileiro de Relações Internacionais
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONPET	Programa Nacional do Uso dos derivados do Petróleo e Gás Natural
COV	Composto Orgânico Volátil
EE	Eficiência Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWEC	Global Wind Energy Council
IEA	Internacional Energy Agency
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPi	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículos
IRENA	Internacional Renewable Energy Agency

MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
Metro DF	Companhia do Metropolitano do Distrito Federal
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Medida Provisória
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCVC	Poluente Climático de Vida Curta
PDE	Plano Decenal de Expansão
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PL	Projeto de Lei
PM	Particulate Matter
PNE 2030	Plano Nacional de Energia 2030
PNEf	Programa Nacional de Eficiência Energética
PNESET	Política Nacional de Incentivo à Geração de Energia Solar Fotovoltaica Conectada a Sistemas de Eletromobilidade sobre Trilhos
PNH2	Programa Nacional de Hidrogênio
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PROCaC	Programa Brasileiro de Células a Combustível
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Proconve	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROH2	Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para Economia do Hidrogênio
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REN	Resoluções Normativas
Reporto	Regime Tributário para Incentivo à Modernização e à Ampliação da Estrutura Portuária
TCO	Total Cost of Ownership
TNC	The Nature Conservancy

UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VE	Veículo Elétrico
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	13
2.1	Objetivos Gerais.....	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	METODOLOGIA	14
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
4.1	Panorama do setor brasileiro de transporte.....	19
4.2	Impactos do segmento de transporte no contexto socioambiental	21
4.3	Eficiência energética	24
4.4	Energias renováveis dentro do setor de transportes.....	28
4.4.1	<i>Processo histórico e legislativo das energias renováveis.....</i>	<i>28</i>
4.4.2	<i>Principais iniciativas no segmento de transporte</i>	<i>33</i>
4.4.2.1	<i>Energia Solar.....</i>	<i>34</i>
4.4.2.2	<i>Biocombustíveis.....</i>	<i>35</i>
4.4.2.3	<i>Hidrogênio</i>	<i>38</i>
4.5	Transição Elétrica	38
4.5.1	<i>Descarbonização.....</i>	<i>39</i>
4.5.2	<i>Descentralização.....</i>	<i>40</i>
4.5.3	<i>Digitalização.....</i>	<i>40</i>
4.6	Eletromobilidade.....	41
4.6.1	<i>Vantagens.....</i>	<i>43</i>
4.6.2	<i>Desafios e Obstáculos.....</i>	<i>44</i>
4.6.3	<i>Cenário Nacional.....</i>	<i>46</i>
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO	49
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial impulsionou a primeira grande transição energética entre os séculos XVII e XIX. O sistema que antes era descentralizado, local e em pequena escala, passou para uma exploração verticalizada e em grande escala, a fim de atender as necessidades dos setores industrial, energético e de transporte. Esse modelo ainda se estende aos dias de hoje, com os impactos perpassando a esfera ambiental - com as elevadas emissões de poluentes atmosféricos, contribuindo para as alterações climáticas e o aquecimento global, por exemplo - e econômica, através das perdas energéticas e dos altos investimentos na modernização e expansão da cadeia energética como um todo (MENDES, 2020a).

É notório que o crescimento tecnológico e econômico pós revolução industrial é um dos principais responsáveis pela urbanização vertiginosa e pelos conglomerados urbanos ao redor do mundo. Como consequência, o maior consumo de energia e principalmente as emissões de poluentes atmosféricos oriundas da queima de combustíveis fósseis são perceptíveis e vem gerando preocupação por parte dos grandes líderes mundiais.

Desse modo, é cada vez mais necessária a discussão acerca deste tema, no intuito de reduzir a taxa de emissões na atmosfera, bem como em desenvolver alternativas que sejam mais sustentáveis. Para isso, o setor de transporte se torna peça fundamental.

Considerando o cenário mundial e observando o panorama brasileiro, segundo o Balanço Energético Nacional, em 2019 mais de 58% das emissões de CO₂ do setor energético são provenientes do segmento de transporte (EPL *et al.*, 2021). Dentro deste panorama, uma parcela expressiva está relacionada as atividades do transporte de carga devido a sua dependência ao modal rodoviário e uso do óleo diesel fóssil (IEMA, 2022). Em relação ao transporte de passageiros, o deslocamento da população correspondeu a 20% do consumo de energia de origem fóssil no Brasil em 2019 (IEMA, 2021a).

A discussão a respeito da eficiência energética no setor de transportes ganha mais destaque como consequência de uma sociedade com maior poder aquisitivo e a tendência de crescimento das demandas por mobilidade urbana, além dos impactos econômicos e socioambientais acarretados por ela, levando a um menor consumo de combustíveis fósseis, a redução das emissões de poluentes e dos custos a cerca deste tema (ROITMAN, 2017).

A agenda climática é um dos maiores desafios da atualidade não só a nível nacional, mas também global e, conforme apresentado anteriormente, o segmento de transporte, principalmente o modal rodoviário, tem grande participação nesses impactos. A criação de políticas públicas acerca do tema é importante na preservação da atual e das futuras gerações.

Assim, o avanço na criação de combustíveis mais ecológicos e alternativas renováveis para o abastecimento deste setor vem ganhando espaço e o desenvolvimento de pesquisas e estudos comparativos se tornam essenciais.

O presente trabalho examina este tema, observando os impactos econômicos e socioambientais envolvidos na produção dessas tecnologias, mais especificamente nas que estão relacionadas a energia elétrica. Para isso, procurou-se entender o cenário energético e elétrico nacional, o papel do setor de transporte e as políticas públicas desenvolvidas para mitigar seus efeitos. Por fim, realizou-se uma análise a respeito da eletrificação do setor de transportes e como esta vertente corrobora em uma transição sustentável, sinalizando os desafios a serem superados no panorama brasileiro.

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

2.1 Objetivos Gerais

Com o desenvolvimento deste trabalho é esperado um estudo do panorama nacional do segmento de transporte de carga e passageiros e sua transição energética a partir de fontes renováveis, com foco na eletromobilidade. Além disso, por meio deste estudo, pretende-se contribuir para a literatura com uma discussão acerca das iniciativas oriundas de energias renováveis no setor de transportes, bem como as oportunidades e barreiras enfrentadas para que esta transição ocorra.

2.2 Objetivos Específicos

A fim de atender o objetivo geral, os objetivos específicos foram estipulados:

- Estudo do cenário energético brasileiro
- Estudo dos impactos ambientais e socioeconômico resultantes do setor de transportes;
- Análise dos programas de eficiência energética e as principais iniciativas na esfera legislativa a respeito de energias renováveis e setor de transporte;
- Estudo da eletromobilidade no contexto nacional;
- Discussão acerca das principais vantagens dessa transição bem como as barreiras e oportunidades ocasionadas por ela

3 METODOLOGIA

De acordo com os objetivos apresentados anteriormente, o presente trabalho foi realizado por meio de artigos e pesquisas encontrados na base de dados do *Google Scholar*. Para complementar o estudo, utilizou-se de documentos, reportagens e outros trabalhos temáticos pesquisados em sites e anais digitais.

Para isso, a pesquisa seguiu uma metodologia racional, de modo que a construção do trabalho abordasse os assuntos pertinentes a este tema e sua elaboração atingisse seus objetivos. Além do uso de artigos desenvolvidos por órgãos relacionados ao tema, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), por exemplo; foi analisada a data de elaboração dos anais, considerando pesquisas em sua maioria datadas a partir de 2018 a fim de que o estudo apresentasse resultados coerentes com a atualidade.

Primeiramente foi realizada uma pesquisa com embasamento teórico a respeito do segmento de transporte de carga e passageiros, entendendo seus impactos no contexto socioambiental e sua demanda na matriz energética nacional. Depois foram estudadas as principais iniciativas renováveis dentro deste segmento bem como o cenário legislativo para o fomento de uma mobilidade urbana sustentável.

Após esta etapa, foi efetuado um estudo a respeito da eletromobilidade, entendendo o cenário nacional, suas vantagens no contexto econômico e social, além de identificar os principais desafios e as oportunidades para sua implementação. Por fim, foi realizada uma análise em relação a transição elétrica deste segmento, entendendo quais as alternativas para sua inserção na agenda da mobilidade urbana e como o Brasil pode usufruir desta transformação rumo a uma economia mais sustentável e eficiente.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão da matriz energética nacional é produto de uma série de fatores que vão desde a abundância de recursos energéticos no país até os programas e políticas de incentivo desenvolvidos (e em desenvolvimento) pelo governo federal (EPE, 2016).

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o país ultrapassou em março de 2023 a marca de 190GW de capacidade instalada centralizada na matriz elétrica, com expansão de 2,04 GW no primeiro bimestre – sendo 1,14 GW a partir de usinas eólicas (BRASIL, 2023a). Além disso, no primeiro trimestre deste ano, o Brasil atingiu a maior produção de energia limpa dos últimos 12 anos, onde mais de 90% da energia gerada e utilizada foi produzida por fontes renováveis, de acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (BRASIL, 2023c).

Estes investimentos são parte integrante do planejamento energético do Ministério de Minas e Energia (MME), permitindo maior competitividade no mercado, além da disponibilidade e diversificação do leque energético do país (BRASIL, 2023c). O Plano Decenal de Expansão (PDE) estima que até 2031 cerca de R\$ 119 bilhões sejam investidos na geração renovável centralizada e R\$ 121 bilhões na geração descentralizada (distribuída e sistemas isolados), com mais da metade de ambos os montantes sendo direcionados para fontes solar e eólica (BRASIL, 2023c).

De acordo com Reive Barros, ex-secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME, “o Brasil se destaca no mundo pela utilização cada vez maior de fontes renováveis, contribuindo, dessa forma, para uma redução maior da emissão de gases de efeito estufa, com valores compatíveis com os compromissos assumidos no Acordo de Paris” (BRASIL, 2020a). Essa utilização pode ser vista pela participação significativa que as energias renováveis possuem tanto na matriz elétrica quanto energética do país. Em relação a primeira, o Brasil possui 83% das renováveis – considerando que a média mundial é de 25% - ao passo que na segunda, o valor é equivalente a 46% - frente aos 15% da média mundial (ABEEÓLICA, [2022?]). No entanto, mesmo ocupando uma posição de destaque, os investimentos do país neste ramo ainda ficam muito atrás se comparado a nível global.

No que tange a matriz elétrica, tanto daquelas que são renováveis quanto das não renováveis, a hidráulica representa cerca de 60% da energia utilizada no cenário nacional (ESFERABLOG, 2021). Ela é produzida em usinas hidrelétricas, por meio das águas de rios, sendo dependente da quantidade de chuvas – embora haja reservatórios para épocas de escassez (BRASIL, 2020a). É devido ao seu enorme potencial hídrico, que o Brasil vem historicamente

focando seus investimentos em hidrelétricas, possuindo mais de 870 hidrelétricas, centrais geradoras hidrelétricas e pequenas centrais hidrelétrica segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (ESFERABLOG, 2021).

Sua exploração remonta ao final do século XIX, com expansão mais significativa a partir da década de 50 do século XX, como resultado de uma decisão estratégica do Governo em explorar o potencial hidrelétrico brasileiro (EPE, 2016). Na década de 90 essa expansão foi marcada por taxas bastante modestas devido as reformas institucionais no setor elétrico para atrair investimentos privados, e neste mesmo período começam os questionamentos a respeito dos impactos socioambientais que essa expansão acarretaria no cenário nacional (EPE, 2016). Além da inundação de áreas utilizáveis para pecuária, esta fonte de energia colabora na remoção da mata ciliar, bem como na destruição da fauna e flora local. Dentre os impactos sociais pode-se citar os danos aos patrimônios históricos e culturais da região e a desapropriação das comunidades ribeirinhas e indígenas que dependem dos recursos locais para sua sobrevivência (ÓRIGO ENERGIA, 2022).

Embora esta fonte seja predominante no país, a inserção dos biocombustíveis é outra alternativa que corrobora na renovabilidade da matriz nacional. O etanol entrou em cena no início dos anos 70, a fim de reduzir a dependência do país com as importações de energia e sua exposição as variações do preço do petróleo, visto que nesta mesma época a economia mundial vivenciava a primeira crise do petróleo (EPE, 2016).

A participação dos biocombustíveis tem impacto significativo na redução de poluentes atmosféricos. Sua combustão gera 80% a 90% menos emissões de materiais particulados se comparado a gasolina e diesel, sendo mais sustentável e benéfico para a saúde humana. Entre 2003 - início das vendas de carros *flex* no Brasil - e 2020, o país conseguiu substituir 566 milhões de toneladas de CO₂ equivalente e, de acordo com as metas de descarbonização aprovadas do RenovaBio (citado mais adiante neste documento), serão substituídos 718 milhões de toneladas de CO₂ equivalente entre 2020 e 2031 (NASTARI, 2022).

Já em relação ao funcionamento dos motores a combustão, se destaca o uso de etanol no ciclo Otto com atuação de 43,4% em 2021; o biodiesel no ciclo Diesel¹, com meta fixada pelo governo federal de 10% em 2022; e a nascente indústria de biogás e biometano, o que pode

¹ Ciclo Otto e Diesel é referente ao funcionamento de motores a combustão. A principal diferença entre eles é que no primeiro, também chamado de “ciclo de quatro tempos”, a mistura de ar e combustível é aspirada antes de ser comprimida no interior dos cilindros e seu processo de combustão é por centelha; ao passo que no segundo, é aspirado apenas o ar, sendo o combustível misturado após a compressão no interior dos cilindros e sua combustão ocorre por autoignição. Disponível em: <https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diesel>.

e elevar a geração de bioeletricidade e substituição do óleo diesel no setor de transportes de carga e passageiros (NASTARI, 2022).

Outro modal que vem ganhando espaço é energia solar fotovoltaica, que consiste na conversão da luz solar em energia elétrica através de células fotovoltaicas (GASPARIN *et al.*, 2021). Isso se deve as inúmeras vantagens que essa fonte de energia acarreta. Além de ser uma geração de energia limpa, renovável e de baixo impacto ambiental, sua versatilidade chama atenção, podendo ser enquadrada tanto na geração centralizada quanto distribuída. A primeira é mais tradicional, com produção de energia elétrica em grandes fontes geradoras e sendo distribuídas ao consumidor por meio de linhas de transmissão. Já a segunda se refere as instalações de pequena escala, próximas ao próprio consumidor, no qual o excedente é encaminhado à rede de transmissão (GASPARIN *et al.*; 2021).

Outro fator importante é a geração de empregos. Segundo estudo levantado pela Agência Internacional para Energias Elétricas (do inglês, *Internacional Renewable Energy Agency - IRENA*), 40,3% das vagas de empregos geradas a partir do setor de energias renováveis em 2016, equivale à produção fotovoltaica. Vale ressaltar que para cada megawatt instalado, são necessários de 25 a 30 empregados, dentre eles instaladores, fabricantes, montadores e projetistas, por exemplo (GASPARIN *et al.*, 2021).

No cenário nacional, essa fonte de energia tem grande potencial de crescimento, possibilitando maior diversificação da matriz energética, garantindo melhor confiança, qualidade e segurança no sistema elétrico (GASPARIN *et al.*, 2021). Segundo dados da ANEEL, ela representa cerca de 26 GW de capacidade instalada (BRASIL, 2023b). Além disso, as condições climáticas do país são favoráveis em sua implementação, visto que há uma elevada incidência de radiação solar em praticamente todo o território, com maior pico no norte do estado da Bahia e menor incidência no litoral de Santa Catarina, que possui cerca de 40% mais radiações do que os melhores índices encontrados na Alemanha, país referência tanto na implementação quanto no uso desta energia (GASPARIN *et al.*, 2021).

Outro fator que favorece no desenvolvimento desta alternativa energética em território brasileiro são as grandes reservas de silício existentes, detendo cerca de 95% das reservas mundiais (equivalente a 78 bilhões de toneladas). Este elemento é altamente utilizado na indústria eletrônica e microeletrônica pelas suas características semicondutoras, sendo material básico para a produção de células solares (STEFANELLO; MARANGONI; ZEFERINO, [2018?]).

Além dessas alternativas, a fonte eólica tem demonstrado crescimento sólido, sendo hoje a segunda fonte com maior participação na matriz energética nacional (mais de 10%), além de

ocupar o sexto lugar no Ranking de Capacidade Instalada do Conselho Global de Energia Eólica (do inglês, *Global Wind Energy Council* - GWEC) (ABEEÓLICA, [2022?]). Esse desenvolvimento é devido aos investimentos realizados nesta matriz nos últimos 11 anos (ultrapassando a marca de US\$ 42 bilhões), bem como a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), abrindo caminho para fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas no Brasil, com exigências de conteúdo nacional para os aerogeradores frutos desse programa (ABEEÓLICA, [2022?]). Esses fatores, aliado as características naturais presentes em território nacional – ventos estáveis, com intensidade certa e sem mudanças bruscas de velocidade ou direção – explica o rápido desenvolvimento de uma cadeia produtiva local e eficiente (ABEEÓLICA, [2022?]).

Vale ressaltar a geração de oportunidades e desenvolvimento socioeconômico acarretado por essa fonte de energia. Parques eólicos chegam em áreas remotas do país, principalmente no Nordeste, e sua instalação contribui com a injeção de renda direta na região, por meio dos arrendamentos de terras dos pequenos proprietários e pagamento de impostos aos municípios alocados (ABEEÓLICA, [2022?]). Como a colocação de um aerogerador ocupa uma pequena parcela do terreno, não impede de o proprietário seguir com o plantio e cultivo de terras bem como a pecuária local, podendo ainda investir e ampliar estas atividades através do capital pago pelo arrendamento (ABEEÓLICA, [2022?]). Além disso, a comunidade é impactada pela geração de empregos diretos e indiretos. Segundo o estudo “Estimativas dos Impactos dinâmicos do setor eólico sobre a economia brasileira”, divulgado pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), entre 2011 e 2020 a estimativa de empregos gerados por esta fonte de energia foi de quase 196 mil, ou seja, 10,7 empregos por MegaWatt (MW) instalado na fase de construção de parques – e 0,6 empregos por MW instalado para Operação e Manutenção. Outro ponto levantado pelo estudo foi seu impacto na redução de emissões de CO₂, sendo uma energia limpa e renovável (ABEEÓLICA, [2022?]).

Por fim, o hidrogênio é outra alternativa que vem ganhando destaque nos últimos anos, sendo uma das fontes mais abundantes do mundo. Porém, pelo fato de estar combinado com outros elementos químicos, seu processo de extração é complexo. Suas características permitem que tenha alta densidade energética e baixo peso molecular, podendo ser utilizado em diversas aplicações, além de ser atrativo para o setor de combustíveis. Sua produção pode ser realizada a partir de diferentes matérias-primas e sua classificação² é de acordo com a origem da fonte

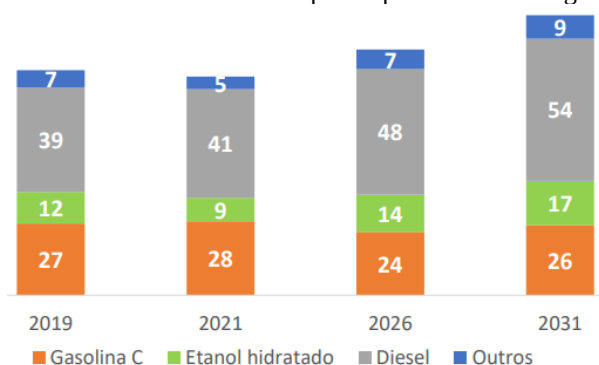
² No Brasil, a classificação é referenciada na literatura por cores, seguindo o padrão adotado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/d0b37807-75c4-494d-a296-1e050d5755b3>

energética e o emprego de tecnologias de inserção de carbono no subsolo ou reuso do CO₂ para os demais processos produtivos (CNT, 2023).

Aliada às metas de descarbonização global, os processos produtivos de Hidrogênio vêm sendo induzidos de modo a assegurar uma responsabilidade ambiental, como é o caso do Hidrogênio Verde ou Hidrogênio Renovável, que é um combustível alternativo produzido pela eletrólise da água por meio do uso de fontes renováveis – eólica, solar e hidráulica, por exemplo – e vem se destacando como uma solução promissora dentro do setor de transportes por cumprir requisitos de sustentabilidade. Além de receber energia elétrica de fontes renováveis, fazendo com que sua cadeia produtiva não possua rastros de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) significativas, ele pode ser estocado por longos períodos bem como ser transportado por grandes distâncias em diferentes modais – e mantendo, ainda sim, a qualidade durante sua distribuição (CNT, 2023).

4.1 Panorama do setor brasileiro de transporte

O setor de transportes pode ser classificado em cinco categorias (aéreo, dutoviário, aquaviário, ferroviário e rodoviário) cada uma possuindo características específicas de acordo com sua finalidade: passageiros, carga ou misto (NUNES, 2017). No que tange a sua participação na matriz energética brasileira, segundo o Balanço Energético Nacional 2022 (ano base 2021), o setor teve maior representatividade (32,5%), superando o segmento industrial (32,3%) e a tendência é de um crescimento médio equivalente à 2,5% ao ano entre o período de 2021 e 2031 (EPE, 2022). Como consequência, a demanda por combustíveis fósseis será maior (Figura 1), em decorrência da forte dependência do setor na utilização dessa fonte de energia.

Figura 1 - Consumo do setor de transportes por fonte de energia (mil tep³)

Fonte: EPE (2022)

Entre os impactos do alto consumo de combustíveis fósseis, a emissão dos GEE é uns do que mais se destaca, confirmando que o setor de transportes, além de ser energeticamente ineficiente, é nocivo ao meio ambiente. Dentre os modais que compõem este segmento, o rodoviário é o principal colaborador na manutenção deste cenário, carecendo de investimentos e melhorias. Isso pode ser evidenciado pela baixa eficiência energética, pouco investimento na malha rodoviária do país e os obstáculos enfrentados quanto a inserção de novas tecnologias, caracterizando-se por equipamentos de alta vida útil e elevado custo (NUNES, 2017). Segundo estudo publicado pela ILOS, empresa especializada em Logística e *Supply Chain*, este modal é o segundo mais caro do setor, ficando atrás apenas do transporte aéreo (ILOS, 2017). A Tabela 1 mostra a relação de custos e participação de cada modal usado no país.

Tabela 1 - Custos e Participação dos modais de transporte no Brasil em 2016

2016		
Modal	%TKU ⁴	R\$/Mil TKU
Aéreo	0,1%	R\$ 2.154
Rodoviário	63%	R\$ 353
Aquaviário	13%	R\$ 120
Dutoviário	4%	R\$ 103
Ferrovário	21%	R\$ 62

Fonte: Adaptado de ILOS (2017)

³ Tep ou Toneladas Equivalentes de Petróleo corresponde à energia que pode ser obtida a partir da combustão de uma tonelada de petróleo padrão, sendo equivalente a 41,868 gigajoules (GJ) ou 11,630 megawatt-hora (MWh). Disponível em: <https://goldenergy.pt/glossario/toneladas-equivalentes-petroleo-tep/>

⁴ TKU (Tonelada Quilômetro Útil) é a quantidade de toneladas úteis transportadas multiplicada pela quilometragem percorrida pelas mesmas, sendo aplicada para análise no que tange à carga transportada. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10094/10094_5.PDF

Isso se torna ainda mais relevante se analisado sob o ponto de vista da participação e do crescimento de veículos pesados nos últimos anos. Entre 2005 e 2018, a taxa de crescimento da frota de caminhões foi equivalente a 3,5% ao ano, impactando no aumento do consumo de diesel em 10 milhões de toneladas equivalentes de petróleo neste mesmo período (EPE, 2021a). Dentro desse segmento, caminhões pesados tiveram papel significativo, com aumento de 219% entre 2000 e 2020 em decorrência, principalmente, de 3 fatores (EPE, 2021a):

- Intenso crescimento econômico entre 2000 e 2015;
- Forte aumento de *commodities*, impactando no setor de mineração e agrícola;
- Localização dessas *commodities* em regiões em que resulta no transporte por longas distâncias.

Como citado anteriormente, o setor de transporte tem papel central no consumo de energia no cenário nacional. Segundo o Anuário Estatístico de Transporte publicado pelo Ministério da Infraestrutura em 2020, o modal rodoviário é responsável por 95% da energia consumida em transporte no Brasil, o equivalente a 873 milhões de megawatts-hora (LICHOTTI; BUONO, 2022). Vale destacar também que entre 2000 e 2016, o aumento chegou a ser de 180% (CAVALCANTI; ROSCOE, 2019).

Além disso, em virtude do desenvolvimento tecnológico e das demandas por parte da mobilidade urbana, sua participação tende a ser ainda mais presente. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, a demanda energética do segmento de transporte de cargas deve aumentar de +1,3% (2014-2018) para +3,8% (2019-2031) ao passo que o transporte de passageiros chega a 5,4% ao ano (EPE, 2022).

4.2 Impactos do segmento de transporte no contexto socioambiental

Desde o Relatório de Brundtland (1987) até o Protocolo de Quioto (1997), muitas foram as oportunidades globais para discussão acerca das mudanças climáticas e seus impactos. Em uma perspectiva mais recente, em 2015 aconteceu o Acordo de Paris, no qual 190 países assinaram um documento reconhecendo os impactos da atividade humana no aumento da temperatura do planeta e criando metas para controle deste aquecimento, se comprometendo ao acréscimo máximo de 2°C comparado a temperatura média do período pré-industrial (CHAMBRIARD, 2020).

Segundo Edenise Garcia, diretora de Ciências da ONG *The Nature Conservancy* (TNC), “a poluição atmosférica está associada sobretudo à emissão de gases e de elementos particulados provenientes de diferentes fontes” (THOMAS, 2021). Abaixo encontram-se os principais compostos deste tipo de poluição (TORRES *et al.*, 2020):

- Material particulado (*Particulate Matter* – PM): mistura heterogênea de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, composta por elementos prejudiciais à saúde humana. Nesta categoria, os que mais se destacam são o PM₁₀ e PM_{2,5}, com tamanhos equivalentes a 10µm e 2,5µm, respectivamente;
- Ozônio (O₃): formado a partir da reação fotoquímica (por meio de raios ultravioletas) do dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros compostos orgânicos voláteis (COV), sendo prejudicial aos órgãos do sistema respiratório;
- Dióxido de Enxofre (SO₂): gás incolor e de forte odor, sendo considerado um dos principais parâmetros para análise da qualidade do ar e saúde humana. Sua inalação em doses elevadas causa danos principalmente ao sistema respiratório inferior;
- Monóxido de carbono (CO): gás incolor, inodoro e sem sabor proveniente da combustão em condições não ideais e incompleta pela presença insuficiente de oxigênio. Tem grande afinidade com a hemoglobina e em grandes quantidades no sangue, dificulta o transporte de oxigênio dos pulmões para os tecidos do corpo humano;
- Óxidos de Nitrogênio (NO_x): dos sete compostos de nitrogênios, o monóxido e dióxido de nitrogênio (NO e NO₂, respectivamente) são os mais importantes quando o assunto é poluição atmosférica, sendo considerado um bom marcador da poluição veicular.

Em relação à qualidade de vida da população, a poluição atmosférica é responsável pela morte prematura de cerca de 7 milhões de pessoas a cada ano, segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU). Ela colabora no agravamento de doenças respiratórias/cardiovasculares e, conseqüentemente, no número de hospitalizações em decorrência dessas enfermidades (REDAÇÃO NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL, 2022). Além disso, causa maiores complicações para outras doenças, desde demência e diabetes até problemas de fertilidade e leucemia infantil, segundo um estudo realizado pelo Fórum de Sociedades Respiratórias (SEDDON *et al.*, 2019). Seguindo este mesmo pensamento, em um recorte etário da população, tem-se que crianças e idosos são mais passíveis aos efeitos dessa exposição, apresentando sintomas como diminuição da função pulmonar, mudanças no sistema imunológico e aumento no uso de medicamentos (TORRES *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que os prejuízos vão muito além da saúde humana, transpassando por outras conjunturas. Com relação ao clima, segundo a Coalização Clima e Ar Limpo, os Poluentes Climáticos de Vida Curta (PCVC) são responsáveis por 30% a 40% do aquecimento global, impactando na elevação do nível do mar e insegurança hídrica. O material particulado dificulta

a penetração da luz solar no planeta, influenciando na taxa de evaporação da água (e consequentemente nos regimes pluviais), bem como na trajetória e intensidade das monções em determinados locais. Outro exemplo é o ozônio (O₃), responsável por danificar estruturas celulares de plantas e reduzir a taxa de fotossíntese delas (SEDDON *et al.*, 2019).

Esses fatos atrelados ao crescente uso do transporte individual motorizado, seja pela busca por maior conforto, segurança e mobilidade da população, quanto pela maior acessibilidade deste bem, prejudica ainda mais na qualidade do ar, principalmente dos grandes centros urbanos. Mas este não é o único impacto causado por este modal. Aumento de congestionamentos e acidentes de trânsito, além dos entraves de acesso as cidades por parte da população de baixa renda são outros exemplos a serem citados (IEMA, 2021a).

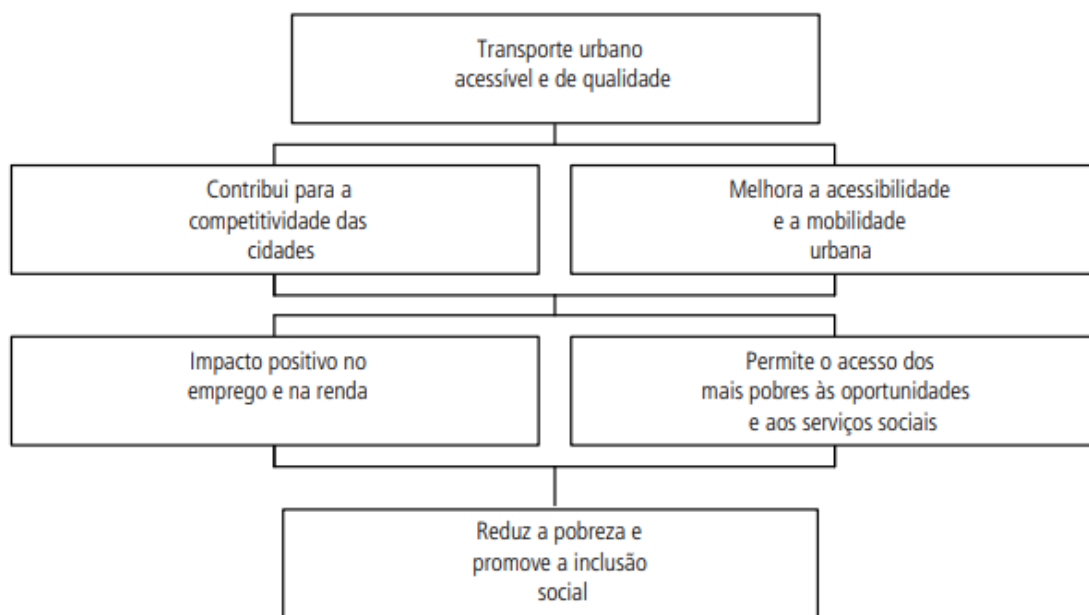
A pandemia do Covid-19 teve grandes impactos na economia do país bem como no comportamento de suas atividades econômicas, sobretudo no setor industrial, de energia e transporte. Em 2020 este segmento teve a maior queda absoluta de emissões dentro do modal energético com uma redução equivalente a 5,6% (IEMA, 2021b).

Contudo, a despeito dessa diminuição, neste mesmo ano as emissões brutas nacionais dos GEE corresponderam a um aumento de 9,5%, ao contrário do patamar global, onde houve redução de quase 7%. Dentre os principais motivos, tem-se a expansão da frente agrícola e, consequentemente, aumento do desmatamento, sobretudo nas regiões da Amazônia e Cerrado. A emissão desses gases na atmosfera em decorrência das mudanças no uso do solo correspondeu a 46% do total bruto, equivalente a um crescimento de 23,6% se comparado ao ano anterior (IEMA, 2021b).

Diante disso, o país se tornou o quinto maior emissor de gases do efeito estufa no planeta, representando 3,2% do total mundial e com um perfil correlacionado ao uso da terra e agropecuária, nos quais correspondem a quase três quartos (73%) das emissões nacionais (IEMA, 2021b).

O investimento no setor de transporte não se restringe à saúde e poluição atmosférica. Maior acessibilidade e qualidade no setor público de transporte são peças chaves no combate à pobreza e na promoção da inclusão social, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Impactos do transporte urbano na pobreza e inclusão social



Fonte: BOREKI (2021)

Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 20 cidades brasileiras mostrou maior tendência de concentração de atividades e serviços nas regiões centrais, colaborando na desigualdade de oportunidades, principalmente dentro do recorte das famílias de baixa renda, nas quais em sua maioria estão localizadas em regiões mais distantes e carentes de infraestrutura urbana (BOREKI, 2021)

Os custos com transporte têm impactos significativos nessas famílias. Além de representar o principal item de despesa com serviços públicos, sua renda também está relacionada com mobilidade urbana, onde elas tendem a restringir os deslocamentos motorizados, sendo quase exclusivamente voltados para escola e trabalho (GOMIDE, 2003).

Assim, o desenvolvimento de alternativas no que tange a expansão e planejamento deste setor merece atenção por parte do poder público. Não só pelo fato dele ser um direito assegurado pela constituição, uma vez que em 2015 houve a inclusão do Transporte Público na categoria de Direitos do Cidadão, mas também como resposta aos efeitos à saúde humana e ao meio socioambiental como um todo.

4.3 Eficiência energética

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia – ABESCO (2016) a eficiência energética é “uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia [...] e consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização” (NUNES, 2017). Em uma perspectiva

socioambiental, é a capacidade de gerar a mesma quantidade de energia utilizando menos recursos naturais (ENGIE, 2022).

Cerca de 2/3 da energia primária requerida é dissipada ao longo da cadeia energética e nas mais variadas formas - calor, movimento e processos industriais, por exemplo (ERBER; MARQUES, [2019]). Um estudo realizado pelo Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente (do inglês, *American Council for an Energy-Efficient Economy* - ACEEE (2018)), envolvendo 25 países, mostra que o Brasil se encontra na 20ª posição quando o assunto envolve políticas e empenhos para promoção da eficiência energética (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Diante disso, ainda que este tema seja politicamente atraente e proporciona benefícios tanto em escala ambiental como social, os incentivos e esforços na mudança dos processos de transformação desta cadeia ainda são incipientes, evidenciando como são amplas as oportunidades de melhoria em termos de eficiência, onde as ações devem abranger os agentes responsáveis por toda cadeia energética.

Vale ressaltar que esta pauta não foi estruturada com planejamento de longo prazo, e os esforços governamentais para esta agenda são oriundos de respostas reativas a episódios de dificuldade no atendimento da demanda por energia. A crise do petróleo na década de 70, crise do financiamento internacional em 80 e racionamento da energia elétrica em 2001 são alguns exemplos (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Assim, os compromissos elaborados para esta agenda devem ser complementares e sinérgicos a fim de atender os requisitos de energia do país nas esferas econômica e socioambiental. Para isso, a comunicação com esses nichos deve ser ampla e esclarecedora, evidenciando a importância e os métodos utilizados (ERBER; MARQUES, [2019]).

Nesse sentido, a implementação de programas e projetos se faz necessária e a estruturação para seu financiamento deve beneficiar-se das experiências internacionais, de modo a desenvolver um mercado de eficiência energética mais competitivo (ARAUJO, 2021). Isso requer organização, recursos, além de um fluxo contínuo e amplo de informações processadas, na busca por novas políticas e conceitos, propiciando resultados mais expressivos e exigindo a participação e suporte ativo da esfera governamental (ERBER; MARQUES, [2019]).

Esse potencial de transformação pode ser ainda comprovado por outros dois pontos: custo da energia – onde o país ocupa a 37ª posição entre os 110 países com a energia mais cara do mundo, segundo estudo publicado pelo Instituto Acende Brasil⁵ - e seu desperdício no contexto nacional. O primeiro está atrelado principalmente a ausência de uma política industrial no país,

⁵ Disponível em: <https://acendebrasil.com.br/imprensa/o-panorama-da-eficiencia-energetica-no-brasil/>

o que implica na perda de competitividade da indústria nacional como ocorreu com a Ford do Brasil em 2021 em que a mesma encerrou suas atividades no país. Esse fato se deve, principalmente, ao ambiente legal e regulatório instável, política tributária, falta de infraestrutura e ineficiência energética (ARAÚJO, 2021).

Já o segundo, entre o período de 2015 a 2017 o desperdício de energia custou ao país um total de R\$61,7 bilhões. No entanto, estima-se uma economia energética superior a R\$4 bilhões e igual a R\$2,4 bilhões, para os segmentos da indústria e comércio, respectivamente (ARAÚJO, 2021).

O fato é que a busca por alternativas e melhorias para a eficiência energética deve ser constante e, para isso, é necessário atuar nos diferentes níveis que contemplam este setor, como manutenção, recebimento e controle operacional, abastecimento e tecnologia (REDAÇÃO, 2022).

Segundo Roitman (2017), pesquisadora da FGV Energia, “a maior eficiência permite crescimento sem implicar em um impacto de igual tamanho no consumo de combustíveis, além de reduzir custos e evitar emissões desnecessárias”. Para ela, as ações e melhorias para este contexto acabam por desenvolver soluções que mantêm o mesmo padrão de comportamento, isto é, voltadas apenas para aumentar a eficiência de veículos, motores e combustíveis (ROITMAN, 2017). Além dos altos investimentos em infraestruturas, estas iniciativas se mostram ineficientes para a redução dos congestionamentos, por exemplo (CAVALCANTI; ROSCOE, 2019).

Um estudo realizado pela Internacional Energy Agency (IEA) mostra que nos países emergentes, como o Brasil, a demanda por energia no setor de transportes entre 2000 e 2016, aumentou 180% e o consumo energético por passageiro mais do que triplicou. O menor número de passageiros por veículos e a mudança entre os modos de transporte – maior uso de automóveis ao invés do transporte público - são alguns dos fatores que colaboraram para este cenário (ROITMAN, 2017).

Desse modo, para além dessas soluções convencionais, muitas alternativas que estão sendo implementadas no Brasil e no mundo têm como ótica o conceito *Avoid-Shift-Improve* (A-S-I), traduzido como Evitar-Mudar-Melhorar (ROITMAN, 2017).

Na primeira parte (*Avoid*), a demanda por mobilidade deve ser analisada por meio de uma melhor gestão e planejamento urbano, de forma a desmotivar o uso de transportes individuais (CAVALCANTI; ROSCOE, 2019). Entre as iniciativas, rodízios de carros, o estabelecimento de áreas exclusivas para pedestres e remoção de vagas de estacionamento gratuito são alguns exemplos. Além disso, outra solução é a tarifa de congestionamento ou pedágio urbano.

Podendo variar com as faixas de horário, é uma taxa cobrada ao motorista que está inserido no perímetro do centro da cidade, com o uso de câmeras e radares eletrônicos para a arrecadação. Isso confere melhorias tanto para a qualidade do ar quanto na velocidade média dos trajetos, permitindo que ele seja realizado em menor tempo, além da geração de receitas que podem ser destinadas para o aprimoramento do sistema de transportes, principalmente o transporte público (ROITMAN, 2017).

Em relação as estratégias *Shift* estão englobadas aquelas que visam promover mudanças para meios de transporte mais eficientes tanto do modal de carga quanto de passageiros. No caso do primeiro, a substituição dos veículos individuais pelo coletivo pode ser alcançada por meio da implementação de corredores expressos para ônibus (*Bus Rapid Service* – BRS ou *Bus Rapid Transit* – BRT), que além de serem mais simples, são mais baratos se comparados com a implementação de linhas de metrô e trem. Outra solução é o compartilhamento de veículos (*car sharing*, em inglês), que consiste em um serviço de aluguel de carros. Por fim, a adoção de veículos não motorizados - bicicletas e deslocamentos a pé, por exemplo - podem ser incitadas por meio de medidas com pouco impacto financeiro ao poder público e até mesmo através de parcerias com a iniciativa privada. Entre essas medidas estão a construção de ciclovias e ciclo faixas, aumento do tamanho das calçadas e a implementação de zonas livres de carros, por exemplo. No que tange ao modal de cargas, uma das principais alternativas é a transição do modal rodoviário pelo ferroviário ou marítimo (cabotagem), sendo este último pouco explorado no país (ROITMAN, 2017).

Por fim, na categoria *Improve* estão as medidas que procuram melhorar a eficiência energética dos veículos, associadas principalmente ao uso de combustíveis mais sustentáveis, otimização de motores e desenvolvimento de novas tecnologias. Desse modo, ações regulatórias podem ser implantadas como o estabelecimento de padrões de eficiência energética nos veículos e promoção de incentivos fiscais aos automóveis menos poluentes (*carros flex*, por exemplo). Além disso, a adoção de medidas informativas, como a etiquetagem de veículos – sinalizando quão eficiente e qual sua classificação – e dados de consumo energético na cidade e região, podem colaborar para mudanças comportamentais mais sustentáveis da comunidade (ROITMAN, 2017).

A grande dependência dos combustíveis fósseis pelo setor de transporte coloca em risco a segurança energética e econômica do país. O estabelecimento de medidas que promovam a concorrência entre os combustíveis energéticos utilizados por este segmento se torna necessário.

Assim, o incentivo a diversificação de combustíveis pode contribuir para aumentar a eficiência energética além de evitar o desabastecimento no país – como aconteceu em maio de 2016 com a greve dos caminhoneiros (ROITMAN; SILVA, 2018). A expansão de biocombustíveis é uma das opções mais viáveis, visto que o Brasil além de ser um dos maiores produtores de combustíveis renováveis, possui avançada infraestrutura para isso (ROITMAN; SILVA, 2018).

Considerados como a evolução natural da tecnologia veicular, a mobilidade elétrica também é outra alternativa. Embora no Brasil ela seja embrionária se comparada ao cenário mundial, as expectativas é que ainda nesta década os números sofram crescimentos expressivos em decorrência das significativas reduções de custos das baterias utilizadas na frota veicular, possibilitando paridade com veículos convencionais. Além disso, são veículos que apresentam melhor tecnologia, performance e eficiência, no qual pode ser essencial frente a uma matriz energética nacional predominantemente renovável (CNT, 2022).

4.4 Energias renováveis dentro do setor de transportes

O Brasil é o terceiro maior consumidor de energia no setor de transportes (NASTARI, 2022). Sua grande extensão territorial – 8,51 milhões de quilômetros quadrados – atrelado ao fato do modal rodoviário ser o principal meio de transporte utilizado, e a significativa participação do setor agropecuário na economia nacional principalmente em operações de plantio, colheita e transportes, por exemplo, são os principais fatores que colaboram para tal posicionamento (NASTARI, 2022).

Desse modo, a alta demanda do setor de transportes bem como sua participação nos impactos socioambientais exige a necessidade de políticas públicas voltadas para eletrificação, modernização e diversificação da matriz energética brasileira e sua aplicação neste segmento (ZAGO; AVELAR, 2020). O fomento de políticas públicas nos diferentes modais que contemplam o setor corrobora no cumprimento de compromissos tanto no âmbito nacional quanto internacional que foram assumidos pelo país em relação a agenda de mudanças climáticas.

4.4.1 Processo histórico e legislativo das energias renováveis

A viabilização do desenvolvimento sustentável é produto de políticas públicas voltadas ao aperfeiçoamento da produção e distribuição de tecnologias para o mercado de eficiência energética e o incentivo para uso de energias renováveis (GASPARIN *et al.*, 2021). A criação de programas e marcos regulatórios por parte do governo mostra quais são as suas prioridades

para o crescimento do mercado energético, ou seja, ele pode ser influenciado pelas políticas, a normatização e o planejamento energético estabelecidos pelo Estado (GASPARIN *et al.*, 2021).

A agenda de Eficiência Energética (EE) brasileira, como mencionado anteriormente, é pautada na ausência de um planejamento estruturado e de longo prazo. A condução de programas e implantação de políticas públicas no país ocorreu de forma reativa, como resposta a episódios específicos marcados pelas dificuldades no atendimento a demanda energética (SCHUTZE; HOLZ, 2021). A primeira iniciativa do governo voltada a EE data no início da década de 80. Em meio aos impactos econômicos acarretados pelas crises do petróleo (1973 e 1979), o debate acerca do tema levou o país a implementar o Programa Conserve (1981) que era pautado em 3 principais pilares: conservação de energia na indústria, desenvolvimento de produtos eficientes e a substituição de energéticos importados por fontes nacionais (ALTOÉ *et al.*, 2017).

No entanto, as medidas para reduzir a dependência do petróleo não era o único ponto a ser solucionado. Neste mesmo período, devido ao colapso do financiamento internacional, o Brasil enfrentou uma severa crise fiscal, bem como estagnação econômica e elevados índices de inflação, dificultando o governo a atuar e investir na expansão do setor elétrico. Desse modo, as políticas adotadas passaram a ser direcionadas à conservação no uso da eletricidade (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

Em 1984, em resposta a esta nova diretriz governamental, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com o intuito de fornecer aos consumidores informações a respeito do nível de EE dos equipamentos disponíveis no país (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Em 1985, por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, do MME e Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) (ALTOÉ *et al.*, 2017). Sua missão era promover o uso racional de energia elétrica e combater seu desperdício. Em 1991, o Programa Nacional do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET) é criado, com a finalidade de estimular o uso eficiente dos recursos não renováveis (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Ambos os programas, executados pela Eletrobrás e Petrobras, respectivamente, tem atuação em diversos setores, como transporte, indústria, infraestrutura, entre outros.

Aliado à crise financeira, as questões climáticas começam a ganhar destaque no cenário internacional, pressionando o governo brasileiro e demais países industrializados a se mobilizar e desenvolver políticas que contemplassem a EE na agenda energética (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Desse modo, a ANEEL é criada com o objetivo de regular o setor elétrico nacional a fim de otimizar e reduzir desperdícios em toda a cadeia energética (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

Em 2000 é promulgado o Programa de Eficiência Energética (PEE) através da Lei Federal nº 9.991, determinando que as concessionárias de distribuição de energia elétrica deveriam investir anualmente um percentual mínimo de sua receita líquida em projetos voltados a EE (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

No ano seguinte, devido à falta de investimentos e ao longo período de estiagem, o setor elétrico brasileiro é impactado por uma grave crise de abastecimento. Como resposta a este cenário e somado ao fato de a demanda por energia elétrica ser maior que a capacidade de produção, houve a implementação de um plano de racionamento de energia (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Neste mesmo ano se estabeleceu o principal marco legal na área de EE, com o lançamento da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, por meio da Lei Federal nº 10.295/2001 (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Ela estabelecia que era responsabilidade do Poder Executivo o desenvolvimento de mecanismos voltados a eficiência energética de máquinas e equipamentos fabricados e comercializados no país. De modo a regulamentar esta Lei, o Decreto nº 4.059/2001 determinou os níveis máximos de consumo de energias dos dispositivos contemplados pela lei supracitada (ALTOÉ *et al.*, 2017). Além disso, o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) foi criado para atuar na regulação e estipulação desses valores nos diversos aparelhos consumidores de energia (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

Em 2002, é divulgado o Programa Brasileiro de Células a Combustível (PROCaC)⁶ pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, com o objetivo de fomentar pesquisas por parte do poder público e privado, para obtenção de conhecimentos sobre hidrogênio em geradoras de energia (CNT, 2023).

Com o objetivo de reverter a queda de investimentos no setor energético e atrair investimentos de capital privado, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é criada em 2004, sendo responsável pelo desenvolvimento de metas direcionadas a conservação de energia, além de estudos e pesquisa no planejamento de energia elétrica, fontes renováveis e EE (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

⁶ Em 2005 este programa foi reformulado, passando a ser nomeado como Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para Economia do Hidrogênio (ProH₂). Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/d0b37807-75c4-494d-a296-1e050d5755b3>

Em 2005, é publicado o Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, na tentativa de decretar as primeiras políticas públicas de incentivo ao uso desta fonte energética no país (CNT, 2023).

Vale ressaltar que desde 2006 o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) possui um subsídio destinado a projetos de economia e eficiência energética bem como em ações que auxiliem na transição energética (CNT, 2023).

Em parceria com o MME, EPE e técnicos do setor elétrico, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) traz estimativas de expansão do setor energético brasileiro. A Segunda edição - PDE 2016, lançada em 2007 e que tem como base o período de 2007 a 2016 – apresenta os principais mecanismos de fomento a EE e ações que eram necessárias de serem implementadas no país à época de lançamento. Já a edição lançada em 2010 incorpora os indicadores de EE nas projeções de consumo (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

Ainda em 2007, o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) é lançado, apresentando o planejamento de longo prazo, por meio de estudos e diretrizes, a serem implementados no setor de energia.

Já em 2011, por meio portaria nº 594/2011, o MME cria o Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEf) com o objetivo de realizar um diagnóstico mais aprofundado da EE no planejamento do setor de energia e desenvolver estratégias acerca do tema (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Com este programa, foi listado uma série de ações que poderiam ser desenvolvidas e aplicadas nas diferentes áreas da economia brasileira - industrial, transportes e educação, por exemplo – de modo a aumentar a conservação de energia (ALTOÉ *et al.*, 2017). No ano seguinte, através da Lei nº 12.715/2012 é lançado o programa Inovar-Auto (que seria extinto em 2017 e sucedido pelo Programa Rota 2030 em 2018). Essa iniciativa, focada no setor automotivo, tinha como missão conceder incentivos tributários de modo a gerar maior competitividade e produção de veículos com maior nível de EE (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

Além disso, em 2012 houve outros dois importantes marcos regulatórios com as Resoluções Normativas (REN) nº 481 e 482 da ANEEL. A primeira estabeleceu descontos de 80% na Tarifa de Uso de Transmissão e Tarifas de Uso de Distribuição nos 10 primeiros anos para projetos com potência menor ou igual a 30 MW injetada na rede - desde que entrassem em operação até 2017 (GASPARIN *et al.*, 2021). Já a segunda instituía um sistema de compensação de energia elétrica no país (*Net Metering*) para as unidades consumidoras com mini geração distribuída com potência de até 1MW, a partir de fontes renováveis. Se ao final do mês, a produção de energia excede o total consumido, seriam gerados créditos com validade de até 36 meses (ALTOÉ *et al.*, 2017). Em 2015 essa resolução foi atualizada pela Resolução ANEEL nº

687, com período de compensação estendido para 60 meses bem como o aumento do limite de potência para as fontes hidráulicas para 3MW e 5MW para as demais fontes de energia renováveis (ALTOÉ *et al.*, 2017).

Outro incentivo voltado para geração distribuída foi o estabelecimento de financiamentos diferenciados para sistemas fotovoltaicos, como o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), lançado pelo MME em 2015, no qual promovia o crescimento da geração distribuída com base em energias renováveis, sendo aderida por alguns bancos e instituições privadas – BNDES, Santander, Bradesco, Banco do Brasil, por exemplo – através do lançamento de linhas de créditos para financiamento na aquisição de sistemas fotovoltaicos (GASPARIN *et al.*, 2021).

Os anos de 2017 e 2018 foram marcados por iniciativas de EE orientadas ao setor industrial, com o lançamento do Programa Aliança e Programa Brasil Mais Produtivo, respectivamente. O primeiro visava a aplicação de uma metodologia de redução do consumo de água e energia através de ajustes no processo produtivo em empresas voluntárias, ao passo que a segunda tinha a finalidade de aumentar os níveis de EE e produtividade na indústria nacional (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

O ano de 2020 é marcado pelo covid-19, cujos efeitos impactaram os mais diversos segmentos. No setor elétrico, por exemplo, houve significativa queda no consumo. Como resposta a tentativa de aumento das tarifas por parte das distribuidoras foi aprovada a Medida Provisória (MP) nº 998, no qual determinava que os recursos suspensos no PEE fossem direcionados a modicidade tarifária (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Além disso, é lançado o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), com a EE tendo papel de maior destaque no documento (SCHUTZE; HOLZ, 2021).

Em 2021 ocorreram muitas discussões e eventos a cerca deste tema que resultaram na promulgação de duas resoluções favoráveis ao mercado de hidrogênio. A primeira foi a Resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) nº 02/2021, estabelecendo orientações sobre desenvolvimento, pesquisa e inovação no segmento energético nacional. Já a segunda foi a Resolução CNPE nº 06/2021 com o objetivo de realizar estudos para proposição de diretrizes do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH₂), instituído pela Resolução CNPE nº 06/2022, consolidando a indústria de hidrogênio na matriz energética do país, por meio do desenvolvimento de tecnologias e políticas públicas, pautadas nos seguintes eixos estratégicos (CNT, 2023):

- Fortalecimento das bases científico e tecnológicas;
- Arcabouço legal e regulatório-normativo;

- Abertura e crescimento do mercado e competitividade;
- Cooperação internacional;
- Planejamento energético;
- Capacitação de recursos humanos.

De modo geral, este programa visa acelerar e desenvolver a economia de hidrogênio no país, por meio do desenvolvimento de políticas públicas e incentivo a tecnologia, afim de expandir este mercado e trazer maior competitividade energética (EPE, 2022).

Além disso, foi sancionada a Lei 14.120/2021, originária na MP nº 998/20, na qual entre outros pontos, destina para a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)⁷ 30% dos recursos que as concessionárias de energia elétrica são obrigadas a aplicar em programas de pesquisa e desenvolvimento e de eficiência energética (AGÊNCIA CÂMARA NOTÍCIAS, 2021). Outro marco importante foi o lançamento do Programa de Transição Energética, uma parceria entre a EPE, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Centro Brasileiro de Relações Internacionais (CEBRI), com o objetivo de desenvolver cenários e estratégias para promoção da neutralidade de carbono até 2050 (EPE, 2021b).

Em 2022, por meio da Resolução CNPE 06/2022, é instituído o Programa Nacional de Hidrogênio e estabelecido a estrutura de governança do programa (RICARDO CARNEIROS ADVOGADOS, 2022). Além disso, foi publicado o Decreto nº 10.946/2022, que regulamenta as diretrizes para geração de energia elétrica por meio de empreendimentos *offshore*, principalmente quanto a uso de recursos naturais e espaços físicos no mar, sendo um grande avanço para a fonte eólica nacional (ABEEÓLICA, [2022?]). No que tange a utilização do hidrogênio na esfera nacional, pode-se citar o Projeto de Lei (PL) nº 725/2022 que estabelece parâmetros para uso do hidrogênio verde, inserindo-o como alternativa na transição de uma economia de baixo carbono e sua adição obrigatória nos gasodutos (CNT, 2023).

4.4.2 Principais iniciativas no segmento de transporte

No cenário político de eficiência energética, o Estado tem papel fundamental nesta cadeia, por meio da regularização e regulamentação das ações desenvolvidas. Além disso, os programas que estão inseridos neste contexto não se restringem apenas a esfera política: os impactos de cunho socioambiental também devem ser considerados e analisados. A transição energética é

⁷ CDE é responsável por vários subsídios presentes na conta de luz pagas pelos consumidores. Na época que foi sancionada a Lei 14.120/2021 havia R\$ 3,4 bilhões não utilizados em projetos de P&D e EE. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/731624-sancionada-lei-que-altera-regras-do-setor-eletrico-para-conter-tarifas/>.

dependente dos valores e comportamentos inseridos na sociedade e há a necessidade de estimular economicamente – por meio de incentivos fiscais e financeiros - aqueles que contribuem nesta transformação (GALLOTTI, 2021).

Estes instrumentos econômicos, além de corroborarem na implementação da eficiência energética, por meio da redução de gastos e consumo, por exemplo, incita o setor privado e social, bem como os demais que a agenda de EE tem interface, a adotarem estas medidas (GALLOTTI, 2021).

Outro ponto a ser destacado é a criação de políticas públicas complementares: os marcos regulatórios bem como as ações de eficiência energética têm como o foco principal os consumidores residenciais. No entanto, é necessário que essas políticas mitiguem os impactos dos agentes que fazem parte de toda a cadeia energética (GALLOTTI, 2021). As soluções devem ser examinadas multidisciplinarmente, de modo que a integração entre as instituições, sejam elas das áreas de planejamento, meio ambiente e trânsito, por exemplo, seja o ponto de partida para qualquer estruturação e desenvolvimento dessas políticas acerca do tema (CETESB, [201-?]). Além disso, promover planejamento integrado do uso do solo e transporte, por meio de políticas que incentivem a ocupação em vazios urbanos – diminuindo os deslocamentos pendulares entre emprego e residência – e de modo que possa mitigar na expansão mais controlada da mancha urbana, bem como uma melhor gestão ambiental urbana e maior disseminação de informações sobre meio ambiente no setor de transportes, trânsito e planejamento urbano também são pautas pertinentes nesse contexto (CETESB, [201-?]).

Ademais, é fundamental a implementação de medidas que promova o uso racional de energia. O estímulo ao crescimento econômico, investimento na agenda de EE e desenvolvimento de tecnologias e modelos de negócios pautados em pesquisa e inovação são essenciais para alavancar a competitividade do mercado nacional (GALLOTTI, 2021).

Nos tópicos a seguir são analisadas as iniciativas desenvolvidas no mercado de energias renováveis e como o Brasil vem se posicionando neste setor.

4.4.2.1 Energia Solar

No Brasil existem alguns casos na qual a energia solar é utilizada no segmento de transportes, mais especificamente em transportes terrestres. Entre eles está o primeiro veículo elétrico carregado com energia solar no país, localizado em Santa Catarina no ano de 2016. Com trajeto de 25,3 quilômetros entre dois campi da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a recarga é feita do laboratório da faculdade, por meio de módulos solares fotovoltaicos integrados (LESSA; ANDRADE; PASCHOAL, 2020).

Outro exemplo é a cidade de Brasília que possui duas estações metroviárias autossuficientes – Estação Solar Guariroba e Estação Solar Samambaia Sul, com capacidade de gerar 288 mil kWh e 308 mil kWh, respectivamente; e abastecendo 100% do consumo do local. Além disso, o sistema está conectado à rede municipal e o excedente é transferido, beneficiando toda malha urbana da cidade. Esse projeto faz parte do Programa Metro Sustentável, parceria da Companhia do Metropolitano do Distrito Federal (Metrô – DF) junto ao Governo de Brasília, e tem a finalidade de desenvolver projetos sustentáveis no sistema metropolitano, além da conscientização de passageiros e funcionários a respeito da agenda ambiental (LESSA; ANDRADE; PASCHOAL, 2020).

Além desses programas, pode ser citado o Projeto de Lei (PL) nº 6.123/2019 - Política Nacional de Incentivo à Geração de Energia Solar Fotovoltaica Conectada a Sistemas de Eletromobilidade sobre Trilhos (PNESET). Ele concentra uma série de proposições a respeito da inclusão de energias renováveis neste modal, como a diversificação, modernização e ampliação da matriz energética; autonomia energética e independência econômica no segmento; a busca por soluções mais sustentáveis para alimentação dos sistemas elétricos de tração dos trens; e estímulo a pesquisa, tecnologia e inovação (ZAGO; AVELAR, 2020).

Entre os incentivos está a isenção do PIS/Cofins incidentes sobre a energia elétrica consumida pelo transporte público, bem como a inclusão desse setor no Regime Tributário para Incentivo à Modernização e à Ampliação da Estrutura Portuária (Reporto)⁸ (AGÊNCIA CÂMARA NOTÍCIAS, 2020).

É notório que o aproveitamento desta forma de energia pode ocorrer de diversas formas no setor de transportes. Cabe a esfera pública e privada investirem neste meio de modo que ela se torne mais acessível a comunidade e corrobore no crescimento de outros setores nos quais tem interface, sejam aqueles que se referem a mobilidade urbana ou indústria, e tornando-os mais sustentáveis (LESSA; ANDRADE; PASCHOAL, 2020).

4.4.2.2 Biocombustíveis

De modo a expandir a parcela de biocombustíveis na matriz energética nacional, o Governo desenvolveu iniciativas que colaboraram neste processo. Além de fomentar a competitividade do mercado, foram consideradas algumas externalidades desses combustíveis,

⁸ O Reporto garante a suspensão de vários impostos que recaem sobre máquinas, equipamentos, peças de reposição e outros bens. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-registra-maior-producao-de-energia-limpa-dos-ultimos-12-anos>.

credibilizando seu investimento. Entre elas, estão a redução de GEE, promoção de tecnologias agrícolas, automotivas e industriais além da geração de emprego, por exemplo (SAMPAIO, 2022).

Entre as políticas públicas, tem-se o Proálcool, lançada em decorrência da crise do petróleo de 1973, de modo que pudesse diminuir a dependência externa deste combustível e desenvolver a tecnologia nacional (SAMPAIO, 2022). Ela é marcada por 4 fases:

- 1ª Fase (1975 – 1979): por meio de financiamentos e subsídios, é marcada pela produção do álcool anidro de modo que este fosse usado como aditivo à gasolina e com a Petrobras sendo a principal responsável por toda cadeia produtiva, desde a compra até sua precificação;
- 2ª Fase (1979 -1986): marcada pelo estímulo à produção de álcool hidratado, sendo utilizado para além do setor automobilístico. Foi o período de maior expansão, com grandes investimentos governamentais e fixação de 20% da mistura de álcool à gasolina;
- 3ª Fase (1986 -2003): com a queda do preço do petróleo no mercado internacional e mudanças de investimentos prioritários pelo Governo – sendo destinados principalmente para o controle inflacionário – houve desaceleração desta matriz no cenário nacional, com a desregularização do setor e, conseqüentemente, livre concorrência no mercado;
- 4ª Fase (2003 – atualmente): este período é marcado pela assinatura do Protocolo de Kyoto pelo Brasil e introdução do carro *flex fuel* no país. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo ficando atrás apenas dos Estados Unidos.

No que tange ao Biodiesel, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2004, com a finalidade de implementar uma cadeia produtiva sustentável tanto na esfera técnica como econômica, com enfoque na geração de emprego e inclusão da agricultura familiar no processo produtivo. Este programa foi responsável por toda regulamentação do biodiesel no cenário nacional, por meio de atos legais e modelos de comercialização diferenciados, como o Selo Combustível Social e a implementação de um Regime Tributário diferenciado, com o objetivo de estimular a produção da agricultura familiar e viabilizar sua inserção na cadeia produtiva (SAMPAIO, 2022).

Desse modo, a iniciativa foi pautada tanto no aspecto mercadológico como socioambiental, levando o biodiesel a assumir um papel de destaque na esfera econômica nacional. No entanto, a diversificação de insumos é o principal obstáculo enfrentado pela iniciativa. O óleo de soja é responsável por cerca de 70% do biodiesel produzido no país – com o sebo bovino representando 17% da produção – e a instabilidade da soja quanto a precificação no mercado impacta no valor final do combustível, perdendo competitividade com seu análogo fóssil (SAMPAIO, 2022).

A fim de atender os compromissos assumidos pelo país no Acordo de Paris, em 2017 foi instituída a Lei nº 13.576/2017 - Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). O programa abrange todo mercado de biocombustíveis, sendo traçada uma sistemática que estimule sua competitividade e sua participação na matriz energética brasileira, por meio de um trabalho conjunto do poder público, setores da agroindústria energética, sociedade civil e meio científico-acadêmico (SAMPAIO, 2022).

Ela reconhece o papel desses insumos na segurança energética e na mitigação de GEE, sendo construída sob três óticas: (i) metas de descarbonização, (ii) certificação da cadeia produtiva e (iii) emissão de créditos de descarbonização; e seu mecanismo de funcionamento é baseado em iniciativas internacionais (SAMPAIO, 2022). Em resumo, o Renovabio visa o atingimento de uma relação adequada entre eficiência energética e redução de emissões de GEE tanto na produção como na comercialização e uso de biocombustíveis (NASTARI, 2022).

Além das iniciativas supracitadas, outros programas merecem ser mencionados, entre eles o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), Programa Rota 2030 e Programa Combustível do Futuro. O primeiro define os limites de emissão de poluentes por veículos automotores que devem ser cumpridos na sua homologação para comercialização em mercado nacional (NASTARI, 2022). Já o segundo, estabelece os requisitos obrigatórios para comercialização e importação de veículos novos, além dos padrões de eficiência energética para as indústrias automotivas quanto a comercialização de veículos leves e pesados (NASTARI, 2022). Por fim, o terceiro, aprovado pela CNPE por meio da Resolução nº. 07 em 20 de abril de 2021 propõe alternativas para aumentar o uso de combustíveis de baixa intensidade de carbono, além de medidas para integração das Políticas Públicas voltadas a temas de energia e meio ambiente (NASTARI, 2022).

Com relação ao biometano, gás purificado resultante do processamento de diferentes biomassas, atualmente possui políticas que estabelecem as regras quanto ao seu uso e comercialização, ganhando destaque na esfera privada por ser uma fonte renovável de energia. Além disso, a ANP, pela Resolução nº 685/2017, determina as normas para certificação do controle de qualidade, os critérios do biometano oriundo de estação de tratamento de esgoto e aterros sanitários nos quais são destinados para o modal veicular, e sua comercialização em território brasileiro. Vale ressaltar que sua venda deve atender as regras definidas no Regulamento Técnico nº 01/2017 da ANP (CNT, 2021).

4.4.2.3 Hidrogênio

O Programa Nacional de Hidrogênio foi essencial para o desenvolvimento desta fonte no cenário nacional, impactando também no segmento de transportes de acordo com os pontos abaixo (CNT, 2023):

- Eletrificação de frotas mediante aplicação do hidrogênio em células à combustível;
- Inserção de H₂ nos processos produtivos de demais combustíveis renováveis, como a etapa de hidrotreatamento para produção de diesel verde;
- Mapeamento de Leis e Regulações de modo que contribuam para o financiamento e inclusão do H₂ como combustível na matriz energética brasileira.

Além deste programa, no âmbito da esfera regional, as Lei nº 17.563/2021 e nº 14.826/2016 de São Paulo e Curitiba, respectivamente, tem papel de destaque. Elas determinaram incentivos municipais ao uso de carros elétricos ou movidos à hidrogênio, estimulando o último com desonerações tributárias e geração de créditos para ser abatidos no Imposto sobre Propriedade de Veículos (IPVA) e Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) (CNT, 2023).

É evidente o esforço do Estado em relação ao lançamento de iniciativas ao longo dos últimos 20 anos. Com as metas de sustentabilidade sendo cada vez mais rigorosas, esta fonte pode ser uma alternativa viável nesta transição, compondo o leque de combustíveis e sendo necessário no setor de transportes. Para isso, é preciso avançar ainda mais em pesquisas de desenvolvimento e incentivos financeiros de modo que o mercado se torne competitivo e que este seja direcionado para sua produção e venda em escala nacional (CNT, 2023).

4.5 Transição elétrica

O desenvolvimento da mobilidade elétrica vem como alternativa para revolucionar o mercado, impactando positivamente na administração da oferta bem como na redução e resolução dos problemas relacionados ao congestionamento, por meio da descarbonização do setor de transporte que demanda atualmente cerca de 70% da energia de combustíveis fósseis segundo a IEA (CISNEROS; ALCALÁ, 2019). Para isso, é necessário o desenvolvimento e transição de todas as etapas que compõem a cadeia elétrica, como o mercado de baterias e carregadores, pontos de carregamento e as fontes energéticas necessárias para seu funcionamento.

O setor energético mundial vem passando por um processo de grandes mudanças com o objetivo de adequar tanto a produção quanto o consumo, impulsionando o desenvolvimento equilibrado e sustentável no setor (COMERC ENERGIA, 2022). Isso é justificado pela sua grande participação nas emissões de GEE, o que o torna o maior contribuinte nesta transição.

A IRENA afirma que “com a aposta nas energias renováveis e eficiência energética, pode-se reduzir a emissão de carbono na atmosfera em cerca de 90%” (MENDES, 2020b).

Desse modo, a “era dos renováveis” evidencia a existência de um novo paradigma energético sustentado na massificação das energias renováveis, exploração sustentável dos recursos, além da descentralização e digitalização da produção (MENDES, 2020a). É por meio desta transição energética que nasce o conceito dos “3D’s da Energia” que têm como base a Descarbonização, Descentralização e Digitalização, conforme ilustrado na Figura 3. Esses conceitos devem funcionar de forma equilibrada, transversal e interconectada uma vez que o investimento nas energias renováveis depende de um plano de eficiência energética e, conseqüentemente, dos processos e toda cadeia envolvida.

Figura 3 - Os 3D's da Energia



Fonte: MENDES (2020b)

4.5.1 Descarbonização

O pilar da Descarbonização envolve as fontes energéticas e visa reduzir as emissões de gás carbônico na atmosfera de modo a alcançar a neutralidade climática. Segundo Jeffrey D. Sachs, diretor do Instituto Terra, essa etapa deve ser feita por meio da Descarbonização Profunda (DP), que além de ser mais acessível e viável, ocorre por meio de três vias (MENDES, 2020b):

- Eficiência Energética tendo como base tecnologias e sistemas inteligentes (IT, IoT e AI, por exemplo);
- Descarbonização da eletricidade, onde cada país busca as alternativas energéticas que forneça melhor aproveitamento;
- Eletrificação, com a inserção e desenvolvimento de veículos elétricos e biocombustíveis avançados.

Desse modo, é um compromisso que atinge todas as esferas, desde o poder público, por meio de legislações e educação ambiental, até mesmo o setor privado e a sociedade, conscientizando-as sobre suas responsabilidades neste cenário.

4.5.2 *Descentralização*

Essa segunda categoria está relacionada a uma exploração otimizada dos sistemas elétricos através de alternativas que impactam toda a cadeia energética, desde a produção até o consumo, estimulando maior competitividade na economia local e voltada para uma gestão de zero carbono (MENDES, 2020a). No entanto, essa flexibilização do setor acaba proporcionando desafios em relação ao planejamento e otimização dos recursos em vista da maior demanda, diversificação e aumento de pequenos produtores, por exemplo (MENDES, 2020a). Assim, é necessária uma transição de forma transversal e que sincronize ambos modelos energéticos de modo a evitar certos impactos socioeconômicos como aumento nos custos de eletricidade, maiores desigualdades sociais e integração ineficaz das energias renováveis (MENDES, 2020a). Uma abordagem holística deve ser feita, analisando os componentes desta transição, desde as estruturas e políticas de mercado, até as possibilidades de tecnologia e capacitação, desenvolvendo infraestrutura capaz de suporta-los e adotando normas que auxiliem na regularização e fiscalização de sua implementação (MENDES, 2020a).

De modo geral, a descentralização visa os investimentos nas novas fontes energéticas, sendo um vetor de transformação e rompimento do setor com o modelo centralizado de geração de energia. Essa abertura colabora no processo de desenvolvimento e aceleração da Geração Distribuída (GD), ou seja, pequenos geradores localizados próximo ao local de consumo e que podem abastecer a região, reduzindo os atores participantes da cadeia de geração e transmissão de energia e, conseqüentemente, os custos e impactos causados pelos mesmos (COMERC ENERGIA, 2022).

4.5.3 *Digitalização*

Por fim, o ultimo pilar se resume na modernização do segmento elétrico, por meio da automação, inovação e novos sistemas de gerenciamento e comunicação. Isso pode ser visto na instantânea troca de informações operacionais bem como na articulação entre os atores deste sistema - geradores, operadores e consumidores (COMERC ENERGIA, 2022).

A contínua entrada de novas fontes de energia bem como de outros *players* no mercado vem dinamizando o setor elétrico, no qual deverão analisar fatores que serão participantes e ativos no processo - transporte e serviços inteligentes, por exemplo - além de colaborarem para sistemas mais acelerados e instantâneos. Neste contexto, a “digitalização” é necessária para o

desenvolvimento de novos modelos, a fim de atender os crescentes desafios da geração e consumo de energia (CISNEROS, 2019).

Além disso, ela desempenha um papel fundamental para que a descarbonização do setor energético seja segura, sustentável e impactante, devendo ser encarada como uma oportunidade de transformar o sistema a fim de torná-lo multidirecional, integrador e responsivo (MENDES, 2022).

No entanto, os desafios atrelados a esse paradigma impõem que o setor aplique conceitos ligados a Indústria 4.0, *Big Data/Analytics* e Inteligência Artificial (AI), por exemplo; conferindo um sistema mais eficiente, seguro e confiável (MENDES, 2022). Outros benefícios podem ser citados, como o aprimoramento nas operações de prevenção e manutenção do sistema, otimização da produção e eficiência energética, melhorias no que tange a gestão de integração de energias renováveis e atuação em tempo real das cargas diversificadas, além de facilitar a supervisão e identificação de erros e fraudes (MENDES, 2022). Em relação ao consumidor, ele passa a ter uma participação mais ativa do processo visto que a digitalização permite uma melhor gestão do seu consumo e de maneira instantânea bem como a venda dos excedentes produzidos pelos microprodutores residenciais e comunitários (MENDES, 2022).

4.6 Eletromobilidade

Fomentar a mobilidade urbana é produto de um conjunto de ações integradas e complementares, exigindo que tanto o setor energético como automotivo se reinventem, priorizando alternativas mais sustentáveis e acessíveis a toda comunidade (MALUF, 2019).

Diante disso, metas ambientais mais rigorosas e que estão relacionadas aos compromissos internacionais com finalidade em reduzir os efeitos das mudanças climáticas, bem como colaborar na qualidade de vida nos centros urbanos, abrem espaço para o tema da eletromobilidade (CONSONI, 2019). Seu conceito é baseado na utilização de energia elétrica como forma de acionamento – total ou parcial – dos meios de transportes, englobando também toda a cadeia produtiva na qual faz interface, ou seja, produção de baterias e carregadores, pontos de abastecimento, fonte de energia para este carregamento, além de toda infraestrutura associada (CNT, 2022). Este modal tem se concentrado em veículos leves de passageiros, embora nos últimos anos começou a ganhar destaque em veículos pesados também. De acordo com sua propulsão de baixa emissão, eles podem ser classificados em quatro grupos, conforme abaixo (CNT, 2022):

- Veículo Elétrico a Bateria (VEB): eletricamente puro, sendo alimentado por bateria carregada por fonte externa;

- Veículo Elétrico Híbrido (VEH): coexistência de dois motores, sendo o primeiro de caráter elétrico e abastecido por bateria carregada durante o percurso e/ou energia de frenagem, ao passo que o segundo é um motor a combustão interna;
- Veículo Elétrico Híbrido Plug-In (VEHP): combina elementos dos modelos supracitados, com motor elétrico e combustão interna, onde o primeiro pode ser abastecimento de forma interna ou externa;
- Veículo Elétrico a Célula de Combustível (VECC): alimentado por energia elétrica por meio de células movidas a hidrogênio e combustíveis líquidos reformados.

Historicamente, a eletromobilidade remonta desde a segunda metade do século XIX, fato que pode ser confirmado por meio de relatórios datados neste período e cujos valores apontavam maiores vendas de veículos elétricos do que seus similares a combustão. Isso pode ser explicado pela presença de empresas voltadas a este setor, além do mercado automotivo favorecer seu desenvolvimento, alegando que a eletricidade cumpria de maneira mais satisfatória os requisitos de um sistema de tração do que as máquinas a vapor, por exemplo (PASCOAL; FURTADO; FERREIRA FILHO, 2018). No entanto, no decorrer dos anos, a indústria direcionou seus esforços na fabricação de veículos movidos a combustíveis fósseis, pois entregavam maior desempenho de velocidade e sua venda no mercado possuía menor valor de custo (PASCOAL; FURTADO; FERREIRA FILHO, 2018).

E essa priorização tem se estendido até os dias de hoje. Segundo dados do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), cerca de 93% das viagens motorizadas no país utilizam combustível fóssil (LIMA; BRIZON, 2019). Em decorrência disso, o setor de transportes é o maior responsável por emissões antrópicas de CO₂ totalizando 46,3% do total. De modo a cumprir com os compromissos assinados no Acordo de Paris e mitigar os efeitos relacionados a poluição atmosférica, a eletrificação do modal rodoviário surge como alternativa relevante (LIMA; BRIZON, 2019).

O Brasil tem grande potencial de se tornar um dos principais líderes na transição verde, seja pelo amplo mercado consumidor e parque industrial desenvolvido como também pelo acesso a matéria prima e tecnologias sustentáveis (ESTADÃO SUMMIT, 2022c). Vale ressaltar que o país tem uma matriz energética limpa e diversificada, o que pode colaborar para abertura de um leque de opções tecnológicas em relação a eletrificação e ganhar espaço de destaque no cenário internacional (ESTADÃO SUMMIT, 2022c). Segundo Diogo Souto Maior, diretor de Políticas Públicas da 99 Tecnologia, “existe uma vontade e uma demanda, mas a implantação do ecossistema está em uma velocidade aquém do nível de possibilidade do Brasil”. Altos preços praticados no mercado, a falta de infraestrutura de recarga e maior conscientização da

população sobre os impactos financeiros e socioambientais são os principais obstáculos a serem superados (ESTADÃO SUMMIT, 2022c).

4.6.1 *Vantagens*

O Fórum Econômico Mundial aponta três princípios para transição elétrica no setor de transporte: (i) uma abordagem de múltiplas partes interessadas e que considere as especificações de cada região, (ii) instalação de infraestruturas de carregamento e (iii) priorização da eletrificação de veículos de alta utilização. Neste último caso, em que o transporte público e de carga são englobados, é considerado o volume de quilometragem rodado, no qual é superior a parcela representada por veículos particulares (LIMA; BRIZON, 2019).

Além das soluções decorrentes da eletromobilidade atender as questões socioambientais, estas devem também satisfazer os desafios do próprio setor. Segundo o Banco Mundial, a política da mobilidade urbana sustentável deve ser pautada em quatro objetivos: (i) mitigação das mudanças climáticas, (ii) acesso universal, (iii) maior segurança nos deslocamentos e (iv) maior eficiência das soluções de mobilidade (LIMA; BRIZON, 2019).

Neste caso, o ônibus é um meio de transporte que pode atender os requisitos supracitados e seus benefícios atingem tanto a esfera econômica como socioambiental. Ônibus elétricos ocupam menos espaço viário, possuem capacidade de carregar mais pessoas usando menos energia, além de apresentarem custos de manutenção e operação menores que aqueles movidos a diesel. Isso impacta em tarifas mais baixas, possibilitando maior acessibilidade da população, bem como fomentar a transferência modal dos veículos individuais para o público, diminuindo os congestionamentos urbanos (LIMA; BRIZON, 2019).

De modo geral, veículos elétricos possuem emissão zero de gases de efeito estufa em seus deslocamentos e seus motores são mais silenciosos, mitigando a poluição atmosférica e sonora da região (ESTADÃO SUMMIT, 2022d). Isso resulta em uma menor dependência de combustíveis fósseis e aumento da segurança energética nacional (CNT, 2022).

No âmbito econômico, um estudo realizado pela InsideEVs com 11 veículos dos principais modelos disponíveis no Brasil, mostrou que recarregar um carro elétrico acaba sendo mais barato que abastecer veículos convencionais (ESTADÃO SUMMIT, 2022d). De acordo com os dados divulgados, um JAC e-JSQ – modelo mais barato disponível no mercado – com bateria equivalente de 30 kWh pode se deslocar 300km e tem custo médio de R\$ 0,11 por quilometro rodado. Para o caso oposto, um Porsche Taycan 4S com bateria de 79 kWh pode se deslocar 407 km e ter gasto médio de R\$ 0,21 por quilometro rodado. Fazendo um comparativo

com veículos populares, seu custo médio gira em torno de R\$ 0,42 por quilometro rodado (ESTADÃO SUMMIT, 2022d).

Outro ponto a ser levantado são as baterias utilizadas, cujos ciclos de vida são longos e os custos associados a manutenção são muito menores se comparados a seus análogos a diesel. No que tange ao cenário estrutural, o Brasil possui uma infraestrutura elétrica robusta, na qual pode ser beneficiada com a inserção dessa tecnologia (CNT, 2022).

Um dos principais obstáculos enfrentados pelo Estado é a inclusão de ônibus elétricos de modo a evitar grandes despesas no sistema, visto que eles custam quase que o dobro do preço se comparado ao ônibus à combustão. No entanto, por mais que sua aquisição seja elevada, uma análise de custos totais da operação (do inglês TCO – *Total Cost of Ownership*), nos quais são considerados além dos custos de aquisição, as despesas operacionais com combustível (energia) e com manutenção, mostra que em 10 anos de uso, este parâmetro pode ser reduzido em até 20% (MALUF, 2019).

Um caso de sucesso foi a cidade de São Paulo. A aquisição desses ônibus elétricos foi feita sem a bateria (50% do total), sendo esta alugada pelo valor economizado, não impactando no aumento de tarifas, por exemplo. Além disso, o estabelecimento da Lei 16.802/2018 intitulada como Lei do Clima fomentou o desenvolvimento deste segmento, visto que ela exige a redução de 10% ao ano da emissão de poluentes locais e GEE (MALUF, 2019).

Por fim, é importante ressaltar os grandes investimentos realizados pelo Brasil em inovação com os biocombustíveis que, atrelados ao grande potencial no setor de renováveis, pode ser favorável para integração e complementariedade dessa tecnologia (MALUF, 2019).

4.6.2 *Desafios e Obstáculos*

Segundo estudo divulgado pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), estima-se que até 2035 dois terços dos veículos vendidos serão eletrificados. Por mais que se apresente como uma solução eficiente na redução de poluentes atmosféricos, é necessário ter uma visão holística do produto, analisando desde a extração da matéria prima até seu término de vida e reciclagem. Nesse sentido, a emissão de poluentes na cadeia produtiva de veículos bem como descarte de baterias são problemas ainda a serem considerados (ESTADÃO SUMMIT, 2023a).

No que diz respeito a reciclagem das baterias, muitas vezes ela é restrita ao alumínio, deixando dúvidas no protocolo de descarte dos outros materiais já que eles não podem ser despejados em aterros sanitários comuns por conta do potencial de contaminação do solo e possibilidade de explosões e incêndios (ESTADÃO SUMMIT, 2022a). Além disso, por mais

que algumas indústrias cogitem em realizar de forma automatizada a coleta da matéria útil dessas baterias – que além de ser demorada, é perigosa – a falta de padronização dos modelos dificulta em sua implementação (ESTADÃO SUMMIT, 2022a). Com relação a produção desses modelos, outro desafio é encontrado, considerando que a maioria das baterias utilizadas são de íons de lítio, elemento que é extraído por meio da mineração (ESTADÃO SUMMIT, 2022b).

Vale ressaltar a problemática atrelada ao transporte público, mais especificamente os ônibus elétricos. A alegação do poder público da falta de veículos disponíveis e o fato de poucas empresas estarem interessadas, reflete nas licitações e nas readequações necessárias no projeto, dificultando sua inserção dentro do mercado (ESTADÃO SUMMIT, 2023b). Devido ao alto custo inicial, muitas cidades não possuem fundos para investir nesse modal. Aliado a essa questão financeira, existe ainda o impasse em saber qual o momento certo para se eletrificar: as baterias estão ficando cada vez mais baratas e considerando os riscos de financiamento relacionados a queda de custo desta tecnologia, muitas vezes as decisões de compra são adiadas (LIMA; BRIZON, 2019).

Além disso, a falta de experiência com a operação de ônibus elétrico em escala comercial também é uma das dificuldades a ser superada. Os operadores de ônibus tendem a ser resistentes quanto aos riscos em experimentar novas tecnologias e a desigualdade destes operadores em relação ao risco tecnológico é significativa – nem todos possuem capacidade e recursos para operarem em período de teste, por exemplo. Considerando a menor flexibilidade operacional devido a autonomia das baterias bem como seu maior tempo de abastecimento dificultam ainda mais sua adoção no mercado (LIMA; BRIZON, 2019).

É notório que o segmento automobilístico vem enfrentando nos últimos anos uma transformação radical que coloca em risco o componente mais importante de um veículo: o Motor a Combustão Interna (MCI) dependente dos combustíveis fósseis (CONSONI, 2019).

O fato de países – como EUA, Noruega, França, Alemanha, por exemplo - assumirem metas relacionadas a este tema e elas serem anunciadas publicamente mostra que a descarbonização do setor de transporte é uma realidade cada vez mais concreta e que o forte posicionamento do estado em legitimá-las é um ponto em comum diante das diferentes realidades e contextos econômicos de cada um (CONSONI, 2019).

Contudo, essa transição não será trivial, visto que essa mudança impacta em toda a cadeia produtiva. Isso pode ser observado pela resistência gerada das partes interessadas que constituem o sistema socio-técnico em torno do MCI, da rede de assistência e manutenção dos veículos, da geração de combustíveis fósseis até sua distribuição nos postos de abastecimento

e da própria indústria a seus fornecedores. Atrelado a isso, existe a contestação da expertise já consolidada no mercado de trabalho em torno dos sistemas tradicionais de combustão (CONSONI, 2019).

No caso brasileiro, sua jornada na busca por alternativas renováveis é marcada pelos biocombustíveis (etanol e biodiesel), que se mostram ainda como os maiores protagonistas principalmente pela sua difusão e aceitação no mercado, visto que utilizavam da arquitetura veicular do MCI. Além disso, a tecnologia *flex fuel* foi decisiva para alavancar as vendas, representando cerca de 90% dos veículos comercializados. Nesse sentido, em 2019, o lançamento de automóvel elétrico híbrido permitia combinar em um veículo com MCI o uso do etanol e um motor elétrico (CONSONI, 2019). Essa tecnologia complementar é uma alternativa de grande potencial para proporcionar maior competitividade no mercado automobilístico e colaborar na inserção da eletromobilidade neste segmento.

4.6.3 *Cenário Nacional*

A eletromobilidade vem crescendo constantemente ao longo dos últimos anos. Em 2021, as vendas de carros elétricos representaram 10% das vendas globais - totalizando cerca de 6,6 milhões de veículos - e a tendência é que sua participação seja ainda maior nos próximos anos (ESTADÃO SUMMIT, 2023a). Segundo um estudo da consultoria AlixPartners, estima-se que sua participação global chegue a 33% em 2028 e 54% até 2035 (ESTADÃO SUMMIT, 2023a).

No cenário nacional, o país teve recorde de vendas de veículos elétricos em 2020, com quase 20 mil unidades emplacadas – 66% a mais que em 2019 – enquanto houve redução de 26% nas vendas dos análogos movidos a combustíveis fósseis (ESTADÃO, 2021). Mesmo batendo recorde de vendas de veículos elétricos em 2020, esta frota é pouco significativa, representando apenas 1% do mercado (TECMUNDO, 2021). Apesar do setor ter recebido nos últimos anos um expressivo investimento nas infraestruturas públicas e semi públicas para estes modelos, além do aumento de eletropostos no território brasileiro, seu crescimento ainda é modesto se comparado ao mercado mundial. (ESTADÃO SUMMIT, 2023a).

Nesse sentido, a adoção de alguns incentivos é fundamental para seu avanço e amadurecimento. Entre eles estão a regularização no fornecimento do serviço de recarga para veículos elétricos (Regulação ANEEL); eliminação dos impostos de importação que incidem diretamente na venda de veículos (CAMEX) além de redução da disparidade dos impostos para produtos industrializados, nacionais e estrangeiros para veículos elétricos (CONSONI, 2019).

Vale ressaltar a influência do Programa Rota 2030 na expansão da eletromobilidade no setor de transportes brasileiro. Além de prever a redução significativa do Imposto sobre

Produtos Industrializados (IPI) na venda do veículo, incentiva projetos de pesquisa e desenvolvimento da cadeia do setor, estimulando a produção de novas tecnologias, automação de processos e incremento da eficiência energética. Isso impacta positivamente no valor final dos veículos e a longo prazo na maior acessibilidade deste produto para a população (ESTADÃO SUMMIT, 2023a). No entanto tais ações, como mostrado por experiências internacionais, ainda são insuficientes caso o Brasil queira se posicionar como ator protagonista neste setor (CONSONI, 2019).

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) Mobilidade é outra iniciativa que tem papel fundamental, por meio de projetos que prioriza o transporte coletivo, mais especificamente aqueles relacionados aos veículos leves sobre trilhos (VLT) e monotrilhos, na tentativa de mitigar a desigualdade social do segmento de transportes (PASCOAL; FURTADO; FERREIRA FILHO, 2018). Além disso, tem-se o BNDES Finem, programa de financiamento a partir de R\$20 milhões para projetos voltados a mobilidade urbana, como aquisição de caminhões e ônibus híbridos, elétricos ou movidos a combustíveis limpos (PASCOAL; FURTADO; FERREIRA FILHO, 2018).

Já o Inova-Energia gerencia ações de inovação e aprimoramento de instrumentos de apoio oferecidos pela ANEEL, BNDES e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). No campo da eletromobilidade, suas iniciativas são pautadas nos seguintes nichos (PASCOAL; FURTADO; FERREIRA FILHO, 2018):

- Motores e Sistemas de Tração (*Powertrains*): aprimoramento de tecnologias para sistemas, componentes e motores de tração elétrica para veículos híbridos/elétrico, bem como fomento da eficiência energética nestes sistemas;
- Baterias e acumuladores de energia: desenvolvimento da cadeia produtiva de baterias e seus componentes voltados para veículos híbridos e elétricos;
- Produção em escala: projetos voltados ao desenvolvimento e implementação de veículos híbridos e elétricos, preferencialmente a etanol.

Entre as propostas que corroboram para esta transição, mas que ainda precisam ser aprovadas, estão o PL nº 5.332/2020 e PL nº 2.156/2021. O primeiro proíbe a venda de veículos leves movidos a gasolina ou diesel a partir de 2030, enquanto o segundo propõe a Política Nacional de Mobilidade Elétrica, com maior adoção do uso de energias limpas no Brasil (ESTADÃO SUMMIT, 2023b). Além disso, a partir de 2040 determinou-se que qualquer veículo de tração automotora por motor a combustão seja proibido de circular conforme Projeto de Lei do Senado nº 304/2017 (AGÊNCIA SENADO, 2020).

Prossegue na Câmara Federal o Projeto de Lei 3.174/20, importante passo no incentivo e aquisição de carros elétricos, por meio da criação de linhas de créditos para fabricação de veículos elétricos no Brasil, bem como a troca da frota do governo federal e corte de impostos. Neste último, veículos elétricos terão isenção total de IPI, ao passo que os modelos híbridos contarão com decréscimo de 50% no tributo (TECMUNDO, 2021).

Por fim, a criação e sinergia de entidades voltadas para o desenvolvimento desse setor é fundamental. Entre elas, pode-se citar a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), que trabalha em conjunto com entidades empresariais relacionadas ao setor automotivo a fim de incentivar e desenvolver o modal elétrico (ABVE, [2020?]) e a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD), que tem como objetivo a inclusão de diversos segmentos na geração distribuída, incluindo pautas como retorno financeiro, eficiência energética, segurança jurídica e previsibilidade de gastos em relação ao consumo e geração de energia (TECMUNDO, 2021).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO

A indústria automobilística é um oligopólio mundial que tem bem estabelecidos seus padrões de produção, processos e estratégias comerciais. A partir do momento que os VE atingirem patamar semelhante aos seus análogos a combustíveis fósseis, as filiais do setor automotivo tendem a se mobilizar para eletrificação dos mercados nacionais, atingindo assim o cenário brasileiro, em vista de sua capacidade produtiva, potencial de demanda e dimensão territorial (CASTRO *et al.*, 2021).

Como citado anteriormente, o país tem desenvolvido incentivos fiscais de modo que o mercado de VE tenha maior competitividade. No entanto, esses estímulos são voltados para o transporte individual. Isso evidencia que essa eletrificação pode ter caráter conservador e excludente, visto que sua transição exige altos investimentos, se restringindo apenas a uma parcela da população – aquela detentora de maior renda – e indo em uma direção contrária aos princípios da mobilidade urbana (IEMA, 2022).

A eletrificação dos transportes individuais traz inúmeros benefícios ambientais, mas é necessário um equilíbrio desses esforços econômicos e fiscais, de modo que eles possam ser também direcionados ao transporte público.

Diante disso, é crucial que sejam feitas mudanças na maneira como o transporte público funciona no Brasil a fim de avançar na mobilidade urbana, especialmente em termos de eficiência e sustentabilidade. Essa transição energética é desafiadora, mas com grande potencial de evolução (ESTADÃO SUMMIT, 2023b).

Primeiramente, deve-se ter em mente que o investimento privado é complementar e não determinante no desenvolvimento e implementação de políticas voltadas para a transição energética (IEMA, 2022).

Na esfera legislativa, o país não possui programas e políticas consolidadas para sua aquisição, o que demanda altos investimentos iniciais (CNT, 2022). Desse modo, é necessária uma análise mais assertiva das iniciativas desenvolvidas, revisão de seus respectivos conteúdos e a construção de um modelo de financiamento para que essa transformação seja justa (IEMA, 2022). Em relação a infraestrutura, esses veículos requerem uma rede complexa de abastecimento na qual se encontram de maneira tímida no país. Além disso, o mercado energético ainda é dominado por combustíveis líquidos, sendo dependente da rede de energia nacional para determinar seu caráter renovável (CNT, 2022).

Quanto a eletrificação do transporte de carga, os caminhões possuem aspectos específicos para cada região, o que pode dificultar a massificação dos VE. Segundo Marcos Saltini, diretor de relações institucionais da Volkswagen Caminhões, enquanto na Europa caminhões

transportam cerca de 40 toneladas, este valor pode chegar até 75 toneladas no Brasil, impactando principalmente nos requisitos de operação (CASTRO *et al.*, 2021).

Em contrapartida, isso pode abrir oportunidades para que o país ganhe destaque neste mercado. Ciente desta situação, a Volkswagen Caminhões comunicou um investimento de R\$ 2 bilhões a fim de se adequar as tendências tecnológicas no período de 2021 a 2025, além de ter estabelecido projetos em parcerias com usuários de VE (CASTRO *et al.*, 2021).

Ademais, a ausência de uma política industrial que priorize o desenvolvimento do setor automobilístico brasileiro faz com que o país incentive a compra de veículos de tecnologias ultrapassadas e baseadas em combustíveis fósseis. Além de focar tardiamente – se comparado ao cenário internacional - em modelos de maior segurança e com padrões de emissões mais rígidos (como o EURO VI⁹, sendo adotado apenas em 2023), não desenvolveu os fornecedores e toda a cadeia produtiva envolvida neste processo (ESTADÃO, 2021).

Isso pode ser percebido pela capacidade da indústria nacional na produção de VE, na qual é inferior se comparado a produção de transportes dependentes do diesel, exigindo maior tempo de confecção e adiando o processo de mudança da frota, por exemplo. A ausência de modelos, principalmente de ônibus articulados e biarticulados, acarreta em pouca competitividade das licitações e aumento do preço final. Por fim, as formas pouco flexíveis para contratação de fornecedores é outro ponto de atenção, necessitando na busca e criação de novos modelos e possibilidade (IEMA, 2022). Maiores emissões de poluentes, colapso do sistema de saúde, aumento de desemprego e perda de competitividade do setor são algumas das inúmeras consequências desta deficiência estrutural (ESTADÃO, 2021).

O uso de articulações econômicas e fiscais para o aumento de competitividade do transporte coletivo é fundamental. Atrelado a isso, é necessária uma maior participação das esferas estaduais e municipais, assim como acontece com os setores de educação e saúde, de modo que as políticas desenvolvidas sejam sinérgicas e que satisfaçam as demandas de mobilidade urbana, geração de emprego e o desenvolvimento econômico (IEMA, 2022).

Enquanto essas barreiras não forem superadas, é necessário o desenvolvimento de alternativas que colaborem nessa transição, como subsídios federais e locais e arrendamento mercantil de veículos e baterias, por exemplo. Além disso, é fundamental a elaboração de novos arranjos contratuais com alocação de risco adequada e direcionamento para aqueles que tem

⁹ O Euro VI é um conjunto de diretrizes que regulamentam as emissões de poluentes para motores a diesel. No Brasil esta regulamentação é realizada pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e entrou em vigor em janeiro de 2023, conforme Resolução nº 490 publicada no Diário Oficial da União. Disponível em: <https://blog.texaco.com.br/ursa/sistema-euro-6/>

maior capacidade de suportá-los (LIMA; BRIZON, 2019). Por fim, adoção de novas fontes de financiamento para a operação das frotas também é outra medida a ser realizada, a fim de evitar que este processo de transição reflita em seu encarecimento dos veículos elétricos (ESTADÃO SUMMIT, 2023b).

A mobilidade elétrica abre espaço para novos negócios ao setor elétrico, principalmente no que diz respeito a infraestrutura de recarga, fornecimento de energia, modelos de operação e empregabilidade, por exemplo (CASTRO *et al.*, 2021). E o Brasil tem muito a ganhar com o amadurecimento desses setores, podendo se tornar um dos principais protagonistas no ramo. No entanto, é necessário o incentivo por parte do poder público e privado em aproveitar as vantagens oferecidas pelo país para o desenvolvimento e sinergia entre as tecnologias sustentáveis, acarretando em impactos positivos tanto no contexto socioambiental quanto econômico e financeiro (MALUF, 2019).

É fundamental definir metas para a eletromobilidade de modo que elas possam ser desenhadas por meio de um consenso cooperativo e apoio do próprio estado a fim de assegurar os interesses nacionais. Após o estabelecimento dessas diretrizes, deve-se estruturar seu direcionamento e articulação, bem como a continuidade e revisão das políticas de modo que elas perpassem pelas esferas nacional, estadual e local (CONSONI, 2019).

6 CONCLUSÃO

O Brasil vem se destacando no contexto de energias renováveis, em especial o modal eólico e solar. Isso é em decorrência dos recursos energéticos encontrados em território nacional, bem como o desenvolvimento dos programas de incentivo e amadurecimento da esfera legislativa frente a uma ótica mais sustentável. Conforme apontado nas seções anteriores, em 2023 o Brasil atingiu seu maior pico de produção renovável dos últimos 12 anos, resultando em uma matriz elétrica renovável com índices bem superiores ao nível global, tendo efeitos que vão além do contexto ambiental, como maior competitividade no mercado, diversificação da matriz energética, maior segurança, qualidade e confiança no sistema elétrico.

Fazendo um recorte da matriz energética nacional, observa-se que o setor de transporte - em especial o modal rodoviário - possui maior parcela de representatividade no consumo de energia, e medir esforços para que este segmento passe por uma transição verde é de extrema importância, visto que possui forte dependência na utilização de combustíveis fósseis, provando ser um segmento energeticamente ineficiente e nocivo ao meio ambiente.

Os impactos dessa dependência passam tanto pela esfera econômica quanto socioambiental. No que tange a primeira, o modal rodoviário, por exemplo, além de ser extremamente caro, enfrenta obstáculos para se modernizar. Já no contexto ambiental, a utilização de combustíveis fósseis eleva os níveis de poluição atmosférica, colaborando no aumento do aquecimento global e interferindo nos regimes pluviais e no ciclo de monções em determinados locais do planeta. Por fim, em relação ao cenário social, a poluição atmosférica é responsável pela morte de milhões de pessoas todo ano, impactando na qualidade de vida da sociedade, principalmente de crianças e idosos, sobrecarregando o sistema de saúde. Além disso, investir neste segmento é dar maior acessibilidade a população de baixa renda, sendo fundamental no combate à pobreza e promoção da inclusão social, por exemplo.

Assim, é imprescindível que esta transição ocorra o mais breve possível. Por mais que o país desenvolva políticas de economia verde, ela é feita sem planejamento de longo prazo e sendo reativa a episódios de instabilidade da matriz energética brasileira. Observa-se que esta pauta ainda é incipiente, sendo necessários esforços e usufruir de experiências internacionais para desenvolver de maneira mais assertiva a agenda de eficiência energética e programas voltados ao tema.

O fomento de ações para eletrificação, modernização e diversificação da matriz energética, além de acarretar em maior segurança energética e econômica ao país, faz com que os compromissos relacionados as metas de mudanças climáticas sejam cumpridas pelo Brasil.

Para isso, a presença do Estado é fundamental, tendo papel estruturador nesta transição e atuando na regularização e regulamentação dessas políticas.

Além disso, o desenvolvimento desta pauta deve ser examinado sob uma ótica holística - analisando todos os agentes que fazem parte da cadeia energética – e de forma complementar, de modo que integração dos setores de planejamento, meio ambiente e transportes, por exemplo, seja o ponto de partida para implementação desses programas.

Nesse sentido, a eletromobilidade ganha espaço, sendo uma das principais apostas para uma transição verde e mobilidade urbana justa. Essa premissa é ainda mais reforçada diante das grandes transformações que tanto o setor energético quanto automotivo vem passando, com a construção de um paradigma mais sustentável e equilibrado, impactando suas cadeias de produção e consumo, por meio da massificação de energias renováveis, descentralização e digitalização do ciclo energético, além da exploração mais sustentável dos recursos.

As vantagens desta alternativa impacta tanto a esfera socioambiental – com menores níveis de poluição atmosférica e sonora nas regiões – como no âmbito econômico, com maiores níveis de eficiência energética, custos mais baixos quanto a manutenção e operação e a infraestrutura elétrica nacional. No entanto, muitas barreiras ainda devem ser superadas para que sua implementação seja efetiva. Entre elas, estão a reciclagem e autonomia de baterias, padronização em sua produção, elevado custo de aquisição, novos modelos dos processos regulatórios, proporcionando maior competitividade; desenvolvimento da cadeia de produção, capacitação técnica para a nova rede de serviços e melhorias na infraestrutura de recarga.

O trabalho de pesquisa desenvolvido comprova que o Brasil tem conhecimento técnico e científico para a descarbonização e eletrificação do setor de transportes. Tanto os programas quanto as iniciativas realizadas no campo legislativo provam isso. No entanto, observa-se que os esforços por parte do governo federal estão direcionados ao desenvolvimento da indústria automotiva, colaborando na manutenção do status quo do transporte individual.

Para que os entraves supracitados sejam cumpridos, é fundamental o estabelecimento de uma sólida política de mobilidade urbana que impacte tanto a operação quanto a produção e consumo de energia do setor de transportes, além de definir papéis e os limites de atuação das esferas governamentais, num trabalho conjunto e sinérgico entre esses poderes.

Além disso, para que essa transformação seja comportada pelo país, é preciso uma reforma imediata na infraestrutura elétrica do país. Por mais que a matriz elétrica nacional seja diversificada, seu arranjo é composto por tecnologia muito aquém daquela necessária para manter e operar caso essa transição verde seja efetiva no Brasil. Sistemas mais acelerados e

inteligentes, de modo a aprimorar tanto as operações de prevenção e manutenção, quanto fomentar melhorias na produção e integração das energias utilizadas.

É preciso que as políticas atinjam a mobilidade como um todo, com premissas que combine tanto os aspectos de infraestrutura quanto de adoção das novas tecnologias veiculares, fontes de energia e financiamento da operação, acarretando no desenvolvimento consistente de uma economia de baixo carbono e inclusão social, e assegurando os interesses nacionais frente ao mercado internacional.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. **O Setor**. [2022?]. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/>. Acesso em: 19 abr. 2023.

ABVE. **Quem Somos?**. [2020?]. Disponível em: <http://www.abve.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 23 maio 2023.

AGÊNCIA CÂMARA NOTÍCIAS. **Projeto incentiva geração de energia solar para uso em veículo sobre trilhos**. 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/633750-projeto-incentiva-geracao-de-energia-solar-para-uso-em-veiculo-sobre-trilhos/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

AGÊNCIA CÂMARA NOTÍCIAS. **Sancionada lei que altera regras do setor elétrico para conter tarifas**. 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/731624-sancionada-lei-que-altera-regras-do-setor-eletrico-para-conter-tarifas/>. Acesso em: 22 abr. 2023.

AGÊNCIA SENADO. **Venda de veículo a gasolina ou diesel pode ser proibida no Brasil em 2030**. 2020. Elaborado por Rodrigo Baptista. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/02/12/venda-de-veiculo-a-gasolina-ou-diesel-pode-ser-proibida-no-brasil-em-2030>. Acesso em: 15 maio 2023.

ALTOÉ, Leandra *et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 31, n. 89, p. 285-297, abr. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/vPxbFKL9Jvwg559c6cgCZWp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ARAUJO, Frederico. **O panorama da eficiência energética no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/o-panorama-da-eficiencia-energetica-no-brasil/>. Acesso em: 11 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, ABESCO, 2016. Disponível em: <http://www.abesco.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BOREKI, Vinicius. **O transporte coletivo é um indutor de inclusão social, emprego e renda.** [S. l.], 7 jul. 2021. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/gpbc/metrocard/transporte-publico-um-indutor-de-emprego-e-renda/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil ultrapassa os 190 GW em capacidade de geração de energia elétrica.** 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-ultrapassa-os-190-gw-em-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil registra maior produção de energia limpa dos últimos 12 anos.** 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-registra-maior-producao-de-energia-limpa-dos-ultimos-12-anos>. Acesso em: 19 abr. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Capacidade instalada de geração distribuída solar cresce e atinge 18 GW.** 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/capacidade-instalada-de-geracao-solar-cresce-e-atinge-18-gw>. Acesso em: 19 abr. 2023.

BRASIL. **Reporto.** 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/incentivos/reporto>. Acesso em: 02 maio 2023.

BRASIL. Serviços e Informações do Brasil. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira.** 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 18 abr. 2020.

CASTRO, Nivalde de *et al.* **Transição energética e a eletrificação de frotas comerciais: desafios e oportunidades.** Desafios e oportunidades. 2021. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/41_castro_2021_01_18.pdf. Acesso em: 06 jun. 2023.

CAVALCANTI, Leonardo; ROSCOE, Beatriz. **Demanda por eficiência energética nos transportes aumentou 180% em 16 anos.** 2019. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/08/05/interna->

brasil,775511/demanda-por-eficiencia-energetica-nos-transportes-aumentou-180-em-16.shtml. Acesso em: 13 mar. 2023.

CELPLAN. **Como aumentar a eficiência energética no transporte ferroviário?** 2022. Disponível em: <https://celplan.com.br/como-aumentar-a-eficiencia-energetica-no-transporte-ferroviario/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

CETESB. **Emissão Veicular.** [201-?] Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/transporte-sustentavel/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CHAMBRIARD, Magda. **Transição energética, efeito do Covid-19, aceleração do crescimento: No Brasil, tudo acaba em logística.** 2020. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opinioao_-_transicao_energetica_0.pdf. Acesso em: 18 jan. 2023.

CISNEROS, Pablo. **Os 3 D de Energia: Descarbonização, digitalização e descentralização.** 2019. Disponível em: <https://www.caf.com/pt/conhecimento/visoes/2019/11/os-3-d-de-energia-descarbonizacao-digitalizacao-e-descentralizacao/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

CISNEROS, Pablo; ALCALÁ, Andrés. **Energias renováveis e eficiência energética para a mobilidade urbana sustentável, um futuro não tão distante.** 2019. Disponível em: <https://www.caf.com/pt/conhecimento/visoes/2019/07/energias-renovaveis-e-eficiencia-energetica-para-a-mobilidade-urbana-sustentavel-um-futuro-nao-tao-distante/>. Acesso em: 17 mar. 2023

CNT. **Biometano, uma alternativa limpa para o modal rodoviário.** 2021. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/dbfbcb58-6a50-4a6d-a43a-ddf26f5365f6>. Acesso em: 28 abr. 2023.

CNT. **Eletromobilidade:** uma das soluções para alcançar a neutralidade de carbono. Uma das soluções para alcançar a neutralidade de carbono. 2022. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/6f6fa68d-a1bd-4938-a42d-49b3766cab4a>. Acesso em: 15 maio 2023.

CNT. **Hidrogenio, uma alternativa para o modal rodoviário.** 2023. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/d0b37807-75c4-494d-a296-1e050d5755b3>. Acesso em: 01 maio 2023.

COMERC ENERGIA. **Conheça os 3 D's da Energia: Descarbonização, Digitalização e Descentralização.** 2022. Disponível em: <https://panorama.comerc.com.br/3-ds-da-energia-descarbonizacao-digitalizacao-descentralizacao>. Acesso em: 14 mar. 2023.

CONSONI, Flávia. **Na direção da eletromobilidade: Uma transição possível?** 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bc/article/download/87380/82193>. Acesso em: 10 maio 2023.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA (EPL) *et al.* Metodologia EPLIEMA para emissões de GEE e poluentes locais, [s. l.], maio 2021. Disponível em: https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/MetodologiaEmissoes_GEE.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023

ENGIE. **O que é eficiência energética e quais são seus benefícios?.** [S. l.], 21 jan. 2022. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/o-que-e-eficiencia-energetica/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

EPE. **Carta Anual de Políticas Públicas e Governança Corporativa.** 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/acesso-a-informacao/institucional/SiteAssets/Paginas/Forms/EditForm/Carta%20Anual%20EPE%202022_ano%20base%202021.pdf. Acesso em: 02 maio 2023.

EPE. **Demanda Energética do Setor de Transportes.** 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Transportes_PDE%202031_2022.02.09.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética participou do lançamento do Programa de Transição Energética.** 2021b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/empresa-de-pesquisa-energetica-participou-do-lancamento-do-programa-de-transicao-energetica>. Acesso em: 20 abr. 2023.

EPE. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia.** 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.

EPE. **Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil – Benchmarking Internacional**. 2021a. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20\[PT\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20[PT].pdf). Acesso em: 15 mar. 2023.

ERBER, Pietro; MARQUES, Marcos José. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UMA BUSCA PERMANENTE**. [2019]. Disponível em: http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/Eficiencia_Pietro_Marcos.pdf. Acesso em: 08 mar. 2023.

ESFERABLOG. **Energia renovável no Brasil: confira oportunidades, desafios e exemplos de empresa que utilizam**. 2021. Disponível em: <https://blog.esferaenergia.com.br/fontes-de-energia/energia-renovavel-no-brasil>. Acesso em: 07 abr. 2023.

ESTADÃO, Mobilidade. **A hora e a vez do veículo elétrico no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/a-hora-e-a-vez-do-veiculo-eletrico-no-brasil/>. Acesso em: 16 maio 2023.

GALLOTTI, Verônica Dias Moreira. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMPODERAMENTO DAS SUAS POLÍTICAS PÚBLICAS**. 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/energetica-e-empoderamento>. Acesso em: 05 maio 2023.

GASPARIN, Fernanda Bach *et al.* A Influência de Políticas Públicas para o Progresso da Geração Solar Fotovoltaica e Diversificação da Matriz Energética Brasileira. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 77-81, 28 jul. 2021. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210102>. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v14n1a16.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GOMIDE, Alexandre de Ávila. **TRANSPORTE URBANO E INCLUSÃO SOCIAL: ELEMENTOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS**, [s. l.], julho 2003. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2893/1/TD_960.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023.

ILOS. **Custos Logísticos no Brasil**. 2017. Disponível em: https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20_CustosLog2017.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970-2020)**, [s. l.], 2021b. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/10/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 16 jan. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Impacto da pandemia de Covid-19 nas emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, [s. l.], maio 2020. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/05/notatecnicageebrasilpandemia.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Perspectivas para uma Transição Energética Justa no Transporte Público Coletivo no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/perspectivas-para-uma-transicao-energetica-justa-no-transporte-publico-coletivo-no-brasil>. Acesso em: 07 jun. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Relatório Anual 2021**, [s. l.], junho 2022. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wpcontent/uploads/2022/06/RelatorioAnual_IEMA_2022.pdf. Acesso em: 15 jan. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Relatório Anual 2020**, [s. l.], 2021a. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/10/relatorioanual_2020IEMA.pdf. Acesso em: 16 jan. 2023.

LESSA, Avanir C.; ANDRADE, Hyan H. S. de; PASCHOAL, Natalia V. P. Aproveitamento da energia solar para meios de transportes terrestres. RGE - Revista de Gestão e Estratégia. Assis, v.1, n.1, 2020. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/5059/1/APROVEITAMENTO-DA-ENERGIA-SOLAR-PARA-MEIOS-DE-TRANSPORTES-TERRESTRES.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

LICHOTTI, Camille; BUONO, Renata. **EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, TAMANHO NÃO É DOCUMENTO**. 2022. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/em-eficiencia->

energetica-tamanho-nao-e-

documento/#:~:text=Optar%20por%20ve%C3%ADculos%20mais,as%20emiss%C3%B5es%20de%20gases%20poluentes. Acesso em: 20 mar. 2023.

LIMA, Gregório Costa Luz de Souza; BRIZON, Luciana Costa. **Perspectivas e desafios da eletromobilidade no transporte público**. 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bc/article/download/87378/82191>. Acesso em: 10 maio 2023.

MALUF, Adalberto. **A Eletromobilidade e as cidades do futuro**. 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bc/article/download/87382/82195>. Acesso em: 12 maio 2023.

MENDES, Claudino. **A hora D da Descentralização**. 2020a. Disponível em: <https://cdc3c.com/os-3d-da-transicao-energetica-e-os-designios-nacionais-2/>. Acesso em: 16 mar. 2023.

MENDES, Claudino. **Digitalizar para otimizar**. 2022. Disponível em: <https://cdc3c.com/os-3d-da-transicao-energetica-e-os-designios-nacionais-parte-iii-digitalizar-para-otimizar/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MENDES, Claudino. **O caminho para a Descarbonização**. 2020b. Disponível em: <https://cdc3c.com/os-3d-da-transicao-energetica-e-os-designios-nacionais/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

NASTARI, Plínio. **Políticas públicas voltadas à mobilidade: Oportunidade para continuar evoluindo em termos energéticos e ambientais**. 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/05/09/politicas-publicas-voltadas-a-mobilidade-oportunidade-para-continuar-evoluindo-em-termos-energeticos-e-ambientais.html>. Acesso em: 25 abr. 2023.

NUNES, Daniella Martins. **Eficiência Energética no Transporte Rodoviário de cargas: estudo de caso da frota de uma distribuidora de aço**. 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12569/TCCE_EEAPP_EaD_2017_NUNES_DANIELLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 05 mar. 2023.

ÓRIGO ENERGIA. **Energia Impactos socioambientais das usinas hidrelétricas**. 2022. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/impactos-socioambientais-das-usinas-hidreletricas/>. Acesso em: 11 abr. 2023.

PASCOAL, Erik Telles; FURTADO, Anderson Elias; FERREIRA FILHO, Valter Silva. **ELETROMOBILIDADE NO BRASIL: iniciativas, oportunidades e desafios**. INICIATIVAS, OPORTUNIDADES E DESAFIOS. 2018. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/simea2018/PAP04.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

REDAÇÃO NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. **QUAIS são os principais poluentes do ar e como contribuir para reduzi-los?**. 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/09/quais-sao-os-principais-poluentes-do-ar-e-como-contribuir-para-reduzi-los>. Acesso em: 15 jan. 2023.

RICARDO CARNEIROS ADVOGADOS. **Resolução CNPE Nº 6, de 23.06.2022, que institui o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) e estabelece a estrutura de governança do programa**. 2022. Disponível em: <https://rcarneiroadvogados.com.br/resolucao-cnpe-no-6-de-23-06-2022-que-institui-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2-e-estabelece-a-estrutura-de-governanca-do-programa/>. Acesso em: 01 maio 2023.

ROITMAN, Tamar. **EVITAR, MUDAR E MELHORAR: ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS TRANSPORTES**. 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/20399/Coluna%20Opinio%20Fevereiro%20-%20Transportes%20-%20Tamar.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ROITMAN, Tamar; SILVA, Tatiana Bruce da. **CONCORRÊNCIA INTERENERGÉTICA E INTERMODAL NO SETOR DE TRANSPORTES: POSSIBILIDADES PARA O BRASIL**. 2018. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/julho-_concorrenca_interenergetica.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

SAMPAIO, Adriana Monte Pereira de Macedo. **A POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS E AS METAS BRASILEIRAS NO ACORDO DE PARIS: uma proposta de avaliação a partir da legislação. UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO A PARTIR**

DA LEGISLAÇÃO. 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46843/1/PoliticaNacionalBiocombustiveis_Sampaio_2022.pdf. Acesso em: 21 abr. 2023.

SCHUTZE, Amanda; HOLZ, Rhayana. **Eficiência energética no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://pp.nexojournal.com.br/linha-do-tempo/2021/Efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-no-Brasil1>. Acesso em: 09 mar. 2023.

SEDDON, Jessica; CONTRERAS, Seth; ELLIOTT, Beth. **5 impactos pouco conhecidos da poluição do ar**. [S. l.], 5 jun. 2019. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/5-impactos-pouco-conhecidos-da-poluicao-do-ar>. Acesso em: 17 jan. 2023.

STEFANELLO, Camila; MARANGONI, Filipe; ZEFERINO, Cristiane Lionço. **A IMPORTÂNCIA DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O FOMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL**. [2018?]. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/487/487>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SUMMIT, Estadão. **A transição elétrica das frotas de ônibus é uma possibilidade?** 2023b. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/sustentabilidade/a-transicao-eletrica-das-frotas-de-onibus-e-uma-possibilidade/>. Acesso em: 18 maio 2023.

SUMMIT, Estadão. **Carros elétricos são mesmo o futuro?** 2022b. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/carros-eletricos-sao-mesmo-o-futuro/>. Acesso em: 17 maio 2023.

SUMMIT, Estadão. **Carros elétricos: peso dos modelos pode ser um problema ambiental**. 2022a. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/sustentabilidade/carros-eletricos-peso-dos-modelos-pode-ser-um-problema-ambiental/>. Acesso em: 18 maio 2023

SUMMIT, Estadão. **Carros elétricos: quanto custa carregar um veículo no Brasil?** 2022d. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/compartilhando-o-caminho/carros-eletricos-quanto-custa-carregar-um-veiculo-no-brasil/>. Acesso em: 18 maio 2023.

SUMMIT, Estadão. **O que esperar do mercado de veículos elétricos para 2023?** 2023a. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/o-que-esperar-do-mercado-de-veiculos-eletricos-para-2023/>. Acesso em: 13 maio 2023.

SUMMIT, Estadão. **Summit Mobilidade aborda caminhos para o carro elétrico no Brasil.** 2022c. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/summit-mobilidade-aborda-caminhos-para-o-carro-eletrico-no-brasil-2/>. Acesso em: 17 maio 2023.

TECMUNDO. **Como o Brasil pode acelerar a migração para o carro elétrico?** 2021. Elaborada por Beto Marcelino. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/211362-brasil-acelerar-migracao-o-carro-eletrico.htm>. Acesso em: 17 maio 2023.

THOMAS, Jennifer Ann. **Poluição do ar: o que é, causas e consequências.** 2021. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/sociedade/noticia/2021/07/09/poluicao-do-ar-o-que-e-causas-e-consequencias.ghml>. Acesso em: 15 jan. 2023.

TORRES, L. M.; PINHEIRO, C. D. P. S.; AZEVEDO, S. D.; RODRIGUES, P. R. S.; SANDIM, D. P. R. **Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente.** *Naturae*, v.2, n.1, p.23-33, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>

ZAGO, Marina Fontão; AVELAR, Mariana Magalhães. **O desafio da sustentabilidade energética no transporte urbano.** 2020. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/319418/o-desafio-da-sustentabilidade-energetica-no-transporte-urbano>. Acesso em: 21 abr. 2023.