

# TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL: UM CENÁRIO COMPATÍVEL COM O ACORDO DE PARIS PARA O SETOR DE TRANSPORTES ATÉ 2050

POLICY PAPER

MARCH 2020



Source: Alf Ribeiro/Shutterstock.com



## RESUMO EXECUTIVO

A transição de um caminho de desenvolvimento intensivo em carbono para uma economia de baixo carbono requer a compreensão das fontes de emissão e suas causas. Para alcançar a meta de 1,5°C estabelecida no Acordo de Paris, os países devem desenvolver estudos que não apenas façam estimativas com base em dados históricos de emissões de GEE e consumo de energia, mas também projeções considerando diferentes níveis de ambição e comprometimento político. Este artigo político fornece cenários de uso de energia e emissões de GEE do setor de transporte até 2050, considerando os compromissos nacionais do Brasil e sua ação climática. Dois cenários são desenvolvidos com base em diferentes níveis de comprometimento governamental. Os resultados mostram que, se o Brasil seguir metas de mitigação bastante ambiciosas e concretas, é possível reduzir as emissões do ano de 2050 em até 25% em relação aos níveis de 2005 (contra um aumento de 101% no cenário conservador). Além disso, a análise de custos aponta que as eletrificações de carros, caminhões e ônibus são ações de mitigação com perspectivas interessantes para 2050. No entanto, barreiras relacionadas ao financiamento, modelos de concessão, normas e regulamentações para novas tecnologias e modelos de negócio precisam ser superadas.

### Autores

Daniel N. S. Gonçalves

George V. Goes

Márcio A. D'Agosto

### Agradecimentos

Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE/UFRJ. Programa de Engenharia de Transportes. Centro de Tecnologia, Bloco H – Sala 117, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

### Abreviaturas

Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)  
Activity–Structure–Intensity–Fuel (ASIF)  
Fifth Assessment Report (AR5)  
Battery Electric Vehicle (BEV)  
Brazilian Forum on Climate Change (FBMC)  
Greenhouse Gas (GHG)  
Global Warming Potential (GWP)  
Hybrid Electric Vehicle (HEV)  
Internal Combustion Engine (ICE)  
Marginal Abatement Cost Curves – (MACC)  
Nationally Determined Contribution (NDC)  
Growth Acceleration Program (PAC)  
Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEV)  
Investment Partnership Program (PPI)  
Transport–Energy–Emissions Multi-Tier Analysis (TEMA)  
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)  
Vehicle Kilometres Travelled (VKT)

# TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL: UM CENÁRIO COMPATÍVEL COM O ACORDO DE PARIS PARA O SETOR DE TRANSPORTES ATÉ 2050

<b>1</b>	<b>DADOS E MODELO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE</b> .....	3
<b>2</b>	<b>PREMISSAS E ESTRATÉGIAS</b> .....	4
<b>3</b>	<b>PROJEÇÕES DE CARBONO SETORIAIS E DE REFERÊNCIA NO BRASIL</b> ..	6
<b>4</b>	<b>PERMITINDO UMA PROFUNDA DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE</b> .....	11
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E IMPLICAÇÕES POLÍTICAS</b> .....	14
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	14
	Referências .....	15

O artigo foi produzido como parte dos esforços da Climate Transparency, uma parceria internacional de 14 organizações de pesquisa e ONGs que compara as ações climáticas no G20, e faz parte de uma série que examina o status, as oportunidades e os desafios na descarbonização do setor de transportes nos países do G20. Pode-se fazer o download dos artigos em:  
[www.climate-transparency.org](http://www.climate-transparency.org)



## INTRODUÇÃO

Na última década, o Brasil alcançou uma posição de liderança na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre os países que submeteram Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (*Nationally Appropriate Mitigation Actions – NAMAs*) e Contribuições Nacionalmente Determinadas (*Nationally Determined Contributions – NDCs*). A NDC brasileira é notavelmente uma das mais ambiciosas, buscando cortes de 37% nas emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030 em comparação com os níveis de 2005. No entanto, a contribuição quantitativa do setor de transportes nesta redução não é clara, devido à não existência de metas específicas em tais compromissos.

Até o momento, o Brasil relatou três comunicações nacionais à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*) e quatro estimativas anuais de GEE. As emissões antropogênicas históricas de GEE no Brasil mostram que reduções já foram registradas, especialmente no setor de Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra (*Agriculture, Forestry and Other Land Use – AFO-LU*). No entanto, estimativas recentes evidenciam uma tendência de alta nas emissões, principalmente devido à retomada das taxas de desmatamento e à expansão legal das áreas de plantio (Goes et al., 2020). Entre 2005 e 2010, as emissões líquidas de carbono foram reduzidas em 53% (de 2,8 Gt para 1,3 Gt), embora entre 2010 e 2015 as emissões tenham aumentado 15% (para 1,5 Gton) (Brazil, 2017).

Ainda não há prognóstico para reverter esse padrão, uma vez que o governo federal acenou para deter ou atrasar as políticas de desenvolvimento de baixo carbono em curso. Enquanto isso, os incentivos econômicos estão em impulsionando a exploração da Amazônia Legal e a contração na titulação e demarcação de terras indígenas. Nestas circunstâncias, os *stakeholders* de outros setores econômicos, como o de transporte, provavelmente aumentarão seus esforços em ações de mitigação ao longo do tempo, de modo que a contribuição do Brasil para os esforços de mitigação permaneça dentro da meta de temperatura, na faixa de 2°C e 1,5°C até 2050, alcançada pelo Acordo de Paris.

Os cenários de longo prazo de energia e clima para a descarbonização do setor de transporte envolvem não apenas entender a natureza de milhões de fontes móveis, mas também como essas variáveis são afetadas por várias questões relacionadas ao transporte, tais como políticas, investimentos em infraestrutura e penetração de novas tecnologias no mercado.

Este artigo desenvolve um cenário compatível com o Acordo de Paris para o setor de transportes até 2050, considerando os compromissos assumidos pelo Brasil e sua ação climática. Para isso, são modelados dois cenários de uso de energia e emissões de GEE, considerando-se o maior nível disponível de detalhamento do setor. O primeiro cenário, o “Cenário do Governo”, baseia-se no cumprimento da NDC brasileira e outras tendências históricas. Por outro lado, o “Cenário de 1,5°C”, um cenário compatível com o Acordo de Paris, baseia-se em ações de mitigação disruptivas, com foco na descarbonização do transporte e, portanto, indo além das metas estabelecidas pela atual NDC. Em seguida, é apresentado um conjunto de barreiras para a transição para uma energia mais eficiente e limpa e, também, são discutidas recomendações para que a ação climática as supere.

Além desta introdução, o artigo é organizado da seguinte forma: a seção 2 fornece informações sobre as abordagens técnicas consideradas nas estimativas de uso de energia e emissões de GEE de referência; a seção 3 descreve as suposições, tecnologias e estratégias para cada cenário; a seção 4 projeta os cenários e analisa todos os investimentos e custos operacionais necessários para as transições estimadas, apresentando resultados por subsetor, ação de mitigação e modo de transporte; conclusões e implicações políticas são apresentadas na seção 5.

## 1. DADOS E MODELO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE

Esta seção apresenta os modelos adotados para as estimativas de uso de energia, emissões de carbono e redução de custos ao longo do tempo. Trata-se de uma atividade importante devido à existência de diversos métodos na literatura que buscam estimar os mesmos resultados, mas com níveis inaceitáveis de precisão. Nesses casos, as estimativas convencionalmente são feitas a partir da projeção do consumo de combustível e variáveis socioeconômicas, desconsiderando-se variáveis de atividade de transporte, como intensidade energética ou ocupação média dos veículos, nesse processo.

Neste estudo, empregamos o modelo ‘*Transport-Energy-Emissions Multi-Tier Analysis*’ (TEMA), desenvolvido no estudo Gonçalves et al. (2019). O TEMA abrange três abordagens técnicas: (i) *bottom-up*; (ii) *top-down*; e (iii) ‘*Activity-Structure-Intensity-Fuel*’ (ASIF). A aplicação de cada uma das abordagens depende da disponibilidade de dados.

Essencialmente, a abordagem *bottom-up* quantifica as emissões desagregadas, permitindo o gerenciamento individual de cada fonte de energia. Isso requer dados locais detalhados, que variam de acordo com a tecnologia e fatores de emissão de GEE.

Por outro lado, as abordagens *top-down* e ASIF calculam as emissões agregadas. Para o caso da *top-down*, as emissões são calculadas com o uso de balanços energéticos nacionais e fatores de emissão padrão (p. ex. do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC). Este procedimento não permite avaliações detalhadas dos fatores que direcionam as emissões de carbono. No entanto, essa abordagem permite medições rápidas e precisas, com menos incertezas sobre as emissões do país, pois menos variáveis são consideradas no processo. No caso da ASIF, apesar de ser essencialmente agregada, essa abordagem pode adicionar algum nível de detalhamento, pois considera a atividade de transporte, a intensidade energética e os fatores de emissões em uma equação ampla para o cálculo das emissões.

A relevância do modelo TEMA é que não apenas são modelados todos os modos de transporte (incluindo dutoviário), mas também é feita uma divisão do transporte rodoviário em 31 variações tecnológicas, incluindo categorias veiculares (automóveis, ônibus, caminhões etc.) e sistemas de propulsão (veículos híbridos elétricos – VHEs, veículos elétricos a bateria – VEBs, veículos *flex-fuel*, veículos movidos a etanol, veículos movidos a gasolina, etc.). Essa distinção é essencial, uma vez que fornece a demanda desagregada de biocombustíveis por tecnologia ao longo do tempo (por exemplo, etanol hidratado, e misturas de etanol anidro e gasolina e de biodiesel e diesel)<sup>1</sup>, e aponta o ritmo e possíveis implicações da transição para caminhos alternativos de desenvolvimento (por exemplo, penetração de veículos elétricos/híbridos no mercado etc.).

Considerando essas abordagens, adotamos a *bottom-up Tier 3* (para gases exceto o dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>) e a *Tier 2* (para CO<sub>2</sub>) no cálculo das emissões de GEE do transporte rodoviário, dado que os fatores de emissão baseados na tecnologia, específicos para o país, e os teores de carbono estão disponíveis. Paralelamente, uma abordagem *top-down* é empregada para refinar os resultados, reduzindo as incertezas. Quando a energia calculada na abordagem *bottom-up* para cada tipo de combustível

<sup>1</sup> Por causa da falta de literatura sobre o assunto.

difere do valor calculado com a *top-down* (que é a abordagem de referência), as diferenças podem ser resolvidas ajustando-se os valores de intensidade de uso (km) e ocupação média dos veículos. Como os outros modos de transporte têm limitações de consistência e confiabilidade em dados de atividade (frota, intensidade de uso, fatores de emissão por ano-modelo etc.), foram usadas as abordagens ASIF e *top-down*.

O cenário de referência foi modelado usando dados macroeconômicos como variáveis *proxy* para projetar a atividade de transporte (e divisão modal) ao longo do tempo. Os dados de saída desse processo são a divisão modal resultante, o uso de energia e as emissões de GEE. A consistência é avaliada através da inspeção de valores esperados de variáveis como intensidade energética (kJ/t-km ou kJ/pass-km), ocupação média dos veículos etc.

Os resultados do modelo energético-climático, assim como as necessidades de investimento e custos operacionais das ações-chave de mitigação, são usados como dados de entrada para estimar as curvas de custo marginal de abatimento (*marginal abatement cost curves* – MACC) (Goes et al., 2020). Assim, o modelo fornece a redução do custo marginal correspondente e a redução cumulativa de emissões de CO<sub>2</sub> alcançada por todas as ações de mitigação adotadas no cenário mais ambicioso (Valenzuela et al. 2017).

O modelo requer dados anuais de atividade de transporte (t-km e pass-km), investimentos, custos de operação, licenciamento, intensidade de uso e rendimento energético, coletados de associações setoriais, operadores privados e da literatura. Dados macroeconômicos (produto interno bruto – PIB, população etc.) e relacionados à energia (propriedades e demanda de combustíveis e biocombustíveis) são coletados a partir de ministérios. Por fim, a intensidade energética e a frota nacional (por tecnologia e fonte de energia) são estimadas por meio de equações específicas.



Crédito editorial: Marcelo Guerra Fotos/Shutterstock.com

## 2. PREMISSAS E ESTRATÉGIAS

Para definir as premissas globais e locais que melhor representem as políticas governamentais, iniciativas privadas e demandas da sociedade até 2050, é importante levantar os compromissos nacionais que já foram firmados e a possibilidade de serem atendidos.

Dessa maneira, as NDCs que poderiam ser aplicados ao transporte são:

- (i) 18% de participação da bioenergia na matriz energética (incluindo a oferta de etanol, misturas de biocombustíveis etc.);
- (ii) promoção de medidas de eficiência; e
- (iii) investimentos em infraestrutura em áreas urbanas.

Em primeira análise, isso mostra que o Brasil indicou um caminho de transição baseado no uso intensivo de bioenergia e ganhos marginais de eficiência energética (especialmente em motores convencionais de combustão interna). A exemplo disso, o *RenovaBio*<sup>2</sup> e o *Rota 2030*<sup>3</sup>, lançados em 2018, foram projetados com esse propósito.

Além disso, tendências históricas, bem como políticas prospectivas, investimentos em infraestrutura e tecnologias (previstas ou imprevistas) aplicadas em áreas específicas foram estudadas e discutidas com *stakeholders*<sup>4</sup> no Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) e *workshops* relacionados ao transporte. Como resultado, um conjunto de ações de mitigação de longo prazo que poderiam ser empregadas com base no contexto brasileiro foi listado da seguinte forma: (i) Expansão da rede ferroviária (passageiros e carga); (ii) Eletrificação de ferrovias (carga); (iii) Eletrificação da frota de veículos rodoviários (passageiros e carga); e (iv) Aumento nas taxas de mistura de biocombustíveis.

Considerando essas premissas, dois cenários são então modelados com base em diferentes níveis de ambição e desempenho setoriais:

- (i) O **‘Cenário do Governo’** considera a tendência histórica de diversas variáveis, tais como investimentos, políticas e ganhos de eficiência. Embora compatível com as metas estabelecidas na NDC, não resulta em diminuição das emissões no setor de transportes.
- (ii) Em contrapartida, o **‘Cenário de 1,5°C’** aposta em um desempenho mais ambicioso, compatível a um cenário de aumento de temperatura de 1,5°C ao final do século até 2050.

Ambos os cenários consideram desempenhos econômicos, sociais e demográficos semelhantes, tais como PIB, crescimento populacional, urbanização, envelhecimento da população, distribuição espacial das atividades nas cidades etc. A Tabela 1 apresenta as premissas e estratégias por escopo<sup>5</sup>:

<sup>2</sup> Tem o objetivo de reduzir a intensidade de carbono em 10,1% até 2028, em comparação com os níveis de 2017 (considerando a abordagem *well-to-wheel* – WTW).

<sup>3</sup> Tem o objetivo de aumentar a competitividade da indústria nacional incentivando melhorias em eficiência.

<sup>4</sup> Atores-chave dos Governos Federal e Estadual, empresas públicas e privadas, meio acadêmico e sociedade civil.

<sup>5</sup> Os investimentos em infraestrutura em andamento são mapeados a partir dos programas governamentais Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), Avançar e Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Esses programas consistem em investimentos maciços em infraestrutura e ações institucionais, incentivando crédito e financiamento. Além disso, as expansões potenciais foram projetadas com base em uma revisão de literatura e consulta especializada. A penetração de tecnologias emergentes é estimada a partir de pesquisas de mercado com fabricantes, revisão de literatura e consulta especializada. Durante esse processo, são analisadas as relações entre os perfis de cidade (para mobilidade urbana e entregas na *última* milha), os ativos industriais e as tendências de mercado (nacionais e internacionais).

Tabela 1: Premissas e estratégias por escopo

Escopo		Premissas e estratégias	
		Cenário do Governo	Cenário de 1.5°C
Padrão de transporte	Passageiros	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aumento marginal da participação dos transportes ferroviário e aquático na divisão modal</li> <li>■ Transferência modal de usuários veículos privados para transporte público (ônibus)</li> <li>■ Taxa histórica de crescimento do transporte ativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Análogo ao Cenário do Governo, porém com estimativas mais ambiciosas</li> </ul>
	Carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aumento das atividades de transporte ferroviário e aquático (t-km), com base nos investimentos em infraestrutura em andamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Análogo ao Cenário do Governo, mas com estimativa adicional de 14%</li> </ul>
Licenciamento de veículos	Veículos leves	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fim das vendas de veículos de combustão interna até 2045</li> <li>■ Crescimento das vendas de VHEs (especialmente <i>flex-fuel</i>) e VEBs, atingindo 100% de participação em 2045</li> <li>■ Crescimento das vendas de motocicletas elétricas a bateria, alcançando 35% de participação em 2050</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fim das vendas de veículos a combustão interna até 2040</li> <li>■ Crescimento das vendas de veículos alternativos (VEB e VHE), atingindo 100% de participação em 2040</li> <li>■ Crescimento das vendas de motocicletas elétricas, alcançando 34% de participação em 2040 e 70% em 2050</li> </ul>
	Veículos pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Redução da participação dos ônibus movidos a diesel de 99% em 2018 para 22% em 2045, sendo substituídos por ônibus híbridos <i>plug-in</i> e elétricos a bateria</li> <li>■ Eletrificação de caminhões restrita a testes na coleta de lixo urbana e uma fração do licenciamento de caminhões leves</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 20% de participação de ônibus movidos a diesel fóssil em 2040</li> <li>■ 10% de participação de caminhões leves elétricos a bateria (abaixo de 10 toneladas) em 2030, atingindo 50% de participação em 2050</li> <li>■ 12% de participação de caminhões pesados elétricos a bateria e híbridos (acima de 10 toneladas) em 2050</li> </ul>
Uso de energia	Biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mistura de biodiesel a 15% (B15) a partir de 2025, mantendo esse percentual até 2050 (para transporte rodoviário, ferroviário e aquático)</li> <li>■ Mistura de 27% (E27) de etanol anidro na gasolina</li> <li>■ Taxa histórica de crescimento do etanol hidratado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mistura de biodiesel em 20% no ano de 2030, em 25% em 2040 e alcançando 30% em 2050</li> <li>■ Mistura de 27% (E27) de etanol anidro na gasolina</li> <li>■ 90% de participação de etanol hidratado no mercado em 2050</li> <li>■ Mistura de bio-óleo em 20% em 2050</li> <li>■ Mistura de bioquerosene em 20% em 2040</li> </ul>
	Eletricidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Eletrificação ferroviária em ritmo lento (transporte de carga)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Análogo ao Cenário do Governo, mas com estimativas mais ambiciosas</li> </ul>
Eficiência energética	Rodoviário	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Melhorias na tecnologia de motores e uso de tecnologias de recuperação de calor (10% em 2030 e 20% em 2050)</li> <li>■ Melhorias operacionais (manutenção) (5% em 2030 e 10% em 2050)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Melhorias na tecnologia de motores e uso de tecnologias de recuperação de calor (15% em 2030 e 25% em 2050)</li> <li>■ Melhorias operacionais (manutenção) (10% em 2030 e 15% em 2050)</li> </ul>
	Aéreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Melhorias nos projetos e na operação de aeronaves (ganhos de 10% em 2030 e 15% em 2050)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Melhorias nos projetos e na operação de aeronaves (ganhos de 10% em 2030 e 15% em 2050)</li> </ul>
	Aquático	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Melhorias nos projetos, peso e motores de navios (7% em 2030 e 12% em 2050)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Melhorias nos projetos, peso e motores de navios (10% em 2030 e 20% em 2050)</li> </ul>
	Ferrovário	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sistemas de propulsão e frenagem regenerativa mais eficientes (5% em 2030 e 7% em 2050)</li> <li>■ Melhorias operacionais (5% em 2030 e 10% em 2050)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sistemas de propulsão e frenagem regenerativa mais eficientes (5% em 2030 e 10% em 2050)</li> <li>■ Para carga: Melhorias operacionais (7% em 2030 e 25% em 2050)</li> </ul>
	Dutoviário	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aumento da capacidade e melhorias operacionais (até 5% em 2050)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Estimativas mais ambiciosas (até 10% em 2050)</li> </ul>
Comportamento do usuário	Road	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uma transferência modal de usuários de automóveis particulares para ônibus</li> <li>■ Transferência modal de usuários de ônibus para transporte por aplicativo</li> <li>■ Taxa histórica de crescimento do transporte ativo (viagens não restritas)</li> <li>■ Serviços de compartilhamento de veículos (<i>car/ride-sharing, pooling</i> etc) em geral eletrificados e restritos a cidades selecionadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uma transferência modal de usuários de automóveis privados para ônibus e transporte por aplicativo</li> <li>■ Aumento significativo do transporte ativo<sup>61</sup></li> <li>■ Redução da taxa de motorização</li> <li>■ Consumidores optarão por veículos mais eficientes</li> <li>■ Crescimento do teletrabalho, reduzindo o número de viagens</li> </ul>
Financiamento	Eletromobilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Facilidades na obtenção de crédito para financiamento de ônibus elétricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Análogo ao Cenário do Governo, mas com estimativas mais ambiciosas</li> <li>■ Desenvolvimento de novos regimes para concessão do transporte de passageiros, especialmente em áreas metropolitanas</li> </ul>

<sup>6</sup> Transporte não motorizado envolvendo atividade física (por exemplo, deslocamentos a pé e em bicicletas).

O Cenário do Governo representa a manutenção dos planos nacionais e dos atuais acordos comerciais. Portanto, esse cenário mantém a política de estímulo ao biodiesel (iniciada em 2005 com uma mistura de 2% no diesel mineral), mas não considera a criação de um mercado para novos biocombustíveis, como bio-óleo e bioquesene. Além disso, este cenário prevê a manutenção do ritmo de transferência modal para modos mais eficientes, como aquático e ferroviário, embora em ritmo lento. A eletromobilidade é restrita aos motoristas em serviços de veículos compartilhados, oferecendo vantagens econômicas para usuários com altas taxas de utilização. O governo não oferece incentivos significativos para mudar para essa tecnologia (de combustão interna para VEB), apesar dos esforços isolados no financiamento de ônibus elétricos. Por essa razão, o mercado de veículos equipados com motores de combustão interna (convencionais ou VHEs) permanece predominante até 2050, especialmente para veículos pesados.

No Cenário de 1,5°C, a sociedade brasileira experimenta uma transformação nos hábitos de consumo (escolha de veículos mais eficientes), uso do transporte público, intermodalidade e combustíveis limpos. Por exemplo, novos modelos de concessão para o transporte público de passageiros estimulam a eletromobilidade e reduzem a dependência em relação ao transporte privado. Somado a isso, o governo incentiva o uso de novos biocombustíveis, como o bio-óleo e o bioquesene, enquanto aumenta a mistura obrigatória de biodiesel no diesel mineral (até 20%) e estimula a produção e o consumo de etanol hidratado em veículos *flex-fuel* e VHEPs. Por fim, este cenário apresenta ganhos de eficiência energética em todos os modos de transporte, através de avanços tecnológicos ou melhorias operacionais.

### 3. PROJEÇÕES DE CARBONO SETORIAIS E DE RÉFERÊNCIA NO BRASIL

Alguns dados históricos de atividade de transporte, uso de energia e emissões são estimados a partir de 1970. Apesar disso, a análise parte de 2005, já que é o ano-base da primeira NDC brasileira (2016).

De acordo com a Figura 1, pode-se concluir que no Cenário de 1,5°C ocorre uma redução de 25% nas emissões quando comparado aos níveis de 2005. Essa percepção é fundamental, dada a forte correlação entre as atividades de transporte e o PIB em todo o mundo (Tob-Ogu et al., 2018), indicando as dificuldades para implementar políticas de baixo carbono sem comprometer o desempenho econômico.

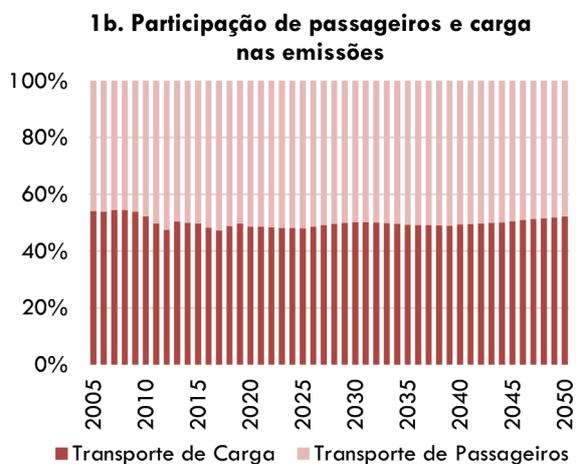
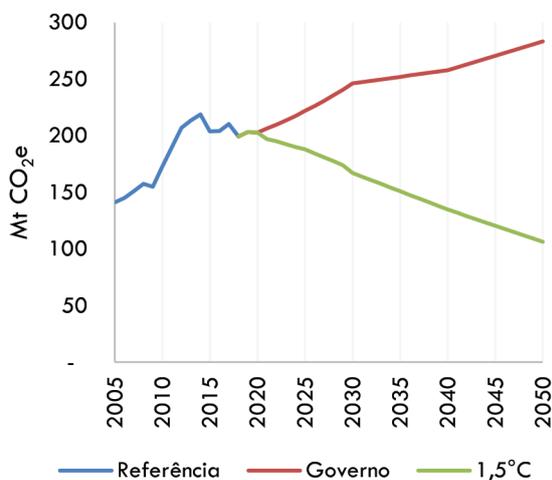
Embora o Cenário de 1,5°C considere emissões 2,7 vezes menores até 2050 do que o Cenário do Governo, e mesmo que não signifique a descarbonização do transporte, ele é relevante para limitar o aquecimento a menos de 1,5°C ao final do século, especialmente considerando um desempenho favorável do setor de AFOLU<sup>8</sup>.

#### O Cenário de 1,5°C

As informações apresentadas abaixo se referem ao cenário de 1,5°C, que se trata de uma estratégia de baixo carbono compatível com o Acordo de Paris. O Cenário do Governo é considerado, principalmente, para permitir a estimativa do potencial de redução de carbono das opções de mitigação (ver seção 'Necessidade de investimentos e análise de custos').

A Figura 2a ilustra as projeções de uso de energia até 2050. Em 2050, a eletricidade permanece como fonte alternativa de energia (2,5% de participação), enquanto o uso de biocombustíveis continua a se expandir, alcançando 35% de participação no final da série temporal. Nesse caso, o etanol hidratado e o biodiesel representam 90% de todos os biocombustíveis consumidos, com 70% e 20% de participação em 2050, respectivamente.

Figura 1. Emissões de GEE do setor de transporte brasileiro<sup>7</sup>



<sup>7</sup> As emissões diretas de GEE modeladas (incluindo CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) foram convertidas em uma unidade equivalente de CO<sub>2</sub>e usando o *Global Warming Potential (GWP)* do *Fifth Assessment Report (AR5)* (Pachauri et al., 2015).

<sup>8</sup> Neste caso, as emissões negativas do setor de AFOLU compensam as emissões de transporte.

Apesar da eletromobilidade ser uma tendência internacional e da existência do programa Rota 2030, o Brasil não avança nessa área no mesmo ritmo dos principais *players* internacionais, como a China e a Europa<sup>9</sup>. No entanto, avanços significativos no uso de energia derivada da biomassa reduzem a dependência nacional em relação ao diesel (de 51% em 2005 para 44% em 2050), o que pode ampliar a segurança energética.

A segurança energética é uma questão crucial para muitos *stakeholders* no Brasil. Recentemente, isso foi evidenciado na greve dos caminhoneiros brasileiros de 2018, realizada por quase 2 milhões de caminhoneiros autônomos que protestavam contra os preços do diesel, o que contribuiu para interrupções e escassez no abastecimento de alimentos, suprimentos médicos e petróleo à nível nacional (Dantas et al., 2019). Como agravante, quase 100% dos ônibus são abastecidos com diesel, assim como a maioria dos caminhões, trens de carga e embarcações de navegação interior e de apoio *offshore*.

Nesse contexto, a Figura 3 apresenta o uso de energia por fonte, levando-se em conta os anos de 2005, 2020 e 2050. Ao contrário das emissões de GEE, o consumo de energia aumenta 120% durante a série temporal. Isso pode ser explicado pelo aumento no uso de biocombustíveis e pelo mercado emergente da eletromobilidade no país (especialmente para veículos leves de passageiros).

Como observado, o consumo de gasolina cai 29% (de 13.638 tep para 9.720 tep), atingindo 8% de participação. Conseqüentemente, o consumo de etanol anidro (biocombustível misturado com gasolina) também diminui. Desconsiderando eventos externos (por exemplo, mudanças nos padrões de transporte ou no comportamento dos usuários), a gasolina é gradualmente substituída por etanol hidratado e eletricidade em veículos leves de passageiros. Por sua vez, a dependência em relação ao diesel diminui em 2040, mas volta aos níveis de 2020 no ano de 2050, devido ao baixo desempenho da eletromobilidade no transporte de carga em veículos pesados.

Figura 2. Estimativas de uso de energia até 2050 para o Cenário de 1,5°C

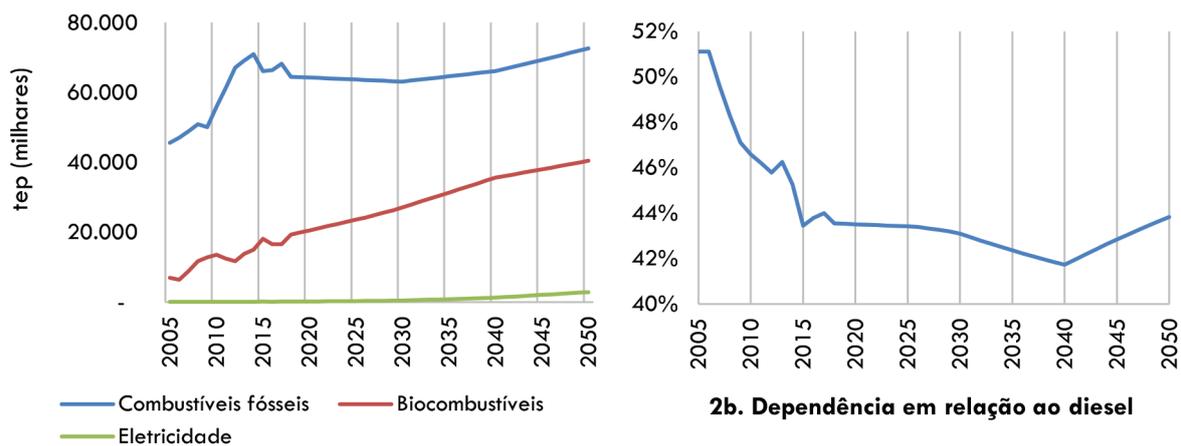
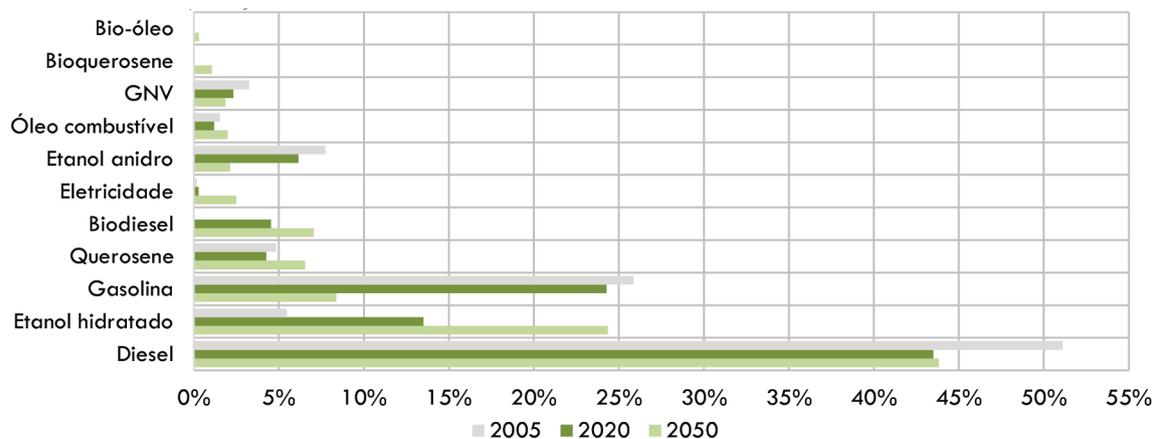


Figura 3. Comparação de fontes de energia entre 2005 e 2050



<sup>9</sup> As barreiras à implementação da eletromobilidade são mostradas na Tabela 3 (na seção 'Permitindo uma profunda descarbonização no transporte').

Como apresentado na Figura 4, o transporte rodoviário se destaca como o principal elemento da matriz de transporte brasileira, especialmente no caso do transporte de passageiros. Embora mudanças nos padrões de transporte para modos mais energeticamente eficientes tenham causado uma redução na participação do transporte rodoviário de 93% em 2005 para 84% em 2050, esse modo de transporte ainda é muito superior ao transporte aéreo, ferroviário e aquático (com 8,5%, 6,9% e 0,1% de participação em 2050, respectivamente). No caso brasileiro, os custos relacionados à infraestrutura para a expansão de metrô e trens metropolitanos são os principais entraves para aumentar a atividade ferroviária.

A divisão modal do transporte de carga tende a ser mais equilibrada ao longo do tempo, com melhorias cruciais de desempenho no transporte ferroviário e aquaviário. Durante a série temporal, o transporte ferroviário amplia sua participação em 9% (de 25% em 2005 para 34% em 2050), enquanto o transporte aquático atinge 25% de participação em 2050. Ambos os desempenhos são impulsionados por fluxos de *commodities*. Completando a lista, os dutos e o transporte aéreo representam 2% e 0,1%, respectivamente.

A divisão modal ao longo da série temporal, por tipo de transporte (passageiros e carga), é apresentada na Figura 5.

A Figura 6 apresenta a frota projetada de veículos de carga no transporte rodoviário. Houve um aumento significativo nas frotas de caminhões leves<sup>10</sup> e pesados<sup>11</sup> desde os anos 2000. Isso pode ser explicado pelo aumento da quantidade de entregas de encomendas no Brasil, resultante da rápida urbanização e diversificação da indústria (que costumava produzir apenas caminhões médios<sup>12</sup> para entregas de curta e longa distância). De fato, a alta participação de caminhões pesados é resultado do uso intensivo do modo de transporte rodoviário para longas distâncias, competindo com modos de alta capacidade, tais como os transportes ferroviário e aquático.

Com relação aos tipos de veículos, os sistemas de propulsão elétrico e híbrido são responsáveis por 30% da frota de caminhões em 2050. No total, é esperada uma frota de 2 milhões de caminhões e, a partir disso, estão previstos mais de 600 mil caminhões elétricos a bateria e híbridos. Especificamente, os caminhões leves são responsáveis pela maior parte dos VEBs, e os caminhões pesados são responsáveis pelos VHEs.

A frota de veículos de passageiros no transporte rodoviário é apresentada na Figura 7. Os resultados apontam para uma frota de 120 milhões de veículos de passageiros em 2050. VEBs e VHEs contabilizam 88 milhões de veículos no mesmo período (73% do total da frota).

Figura 4. Estimativas de atividade de transporte até 2050

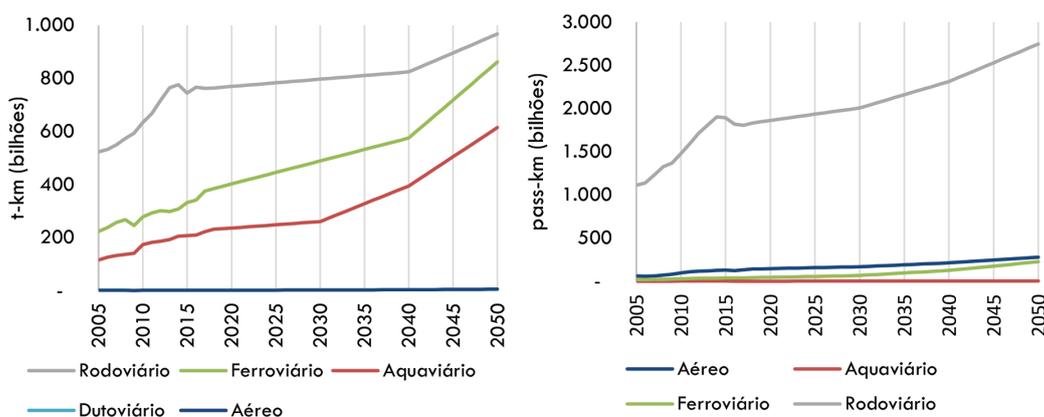
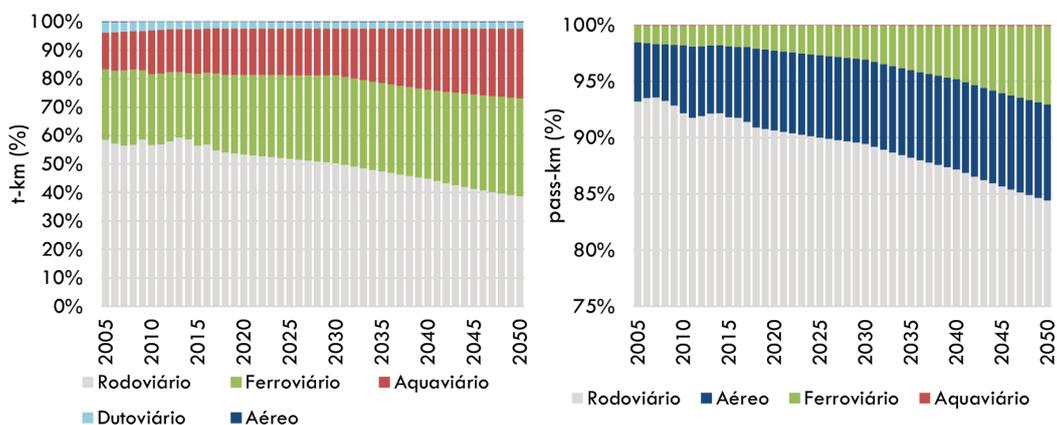


Figura 5. Divisão modal até 2050 por tipo de transporte



<sup>10</sup> Veículos com peso bruto total (PBT) entre 3,5t e 10t.

<sup>11</sup> Veículos com PBT acima de 15t.

<sup>12</sup> Veículos com PBT entre 10t e 15t.

Figura 6. **Perspectivas da frota circulante de veículos de carga no transporte rodoviário**

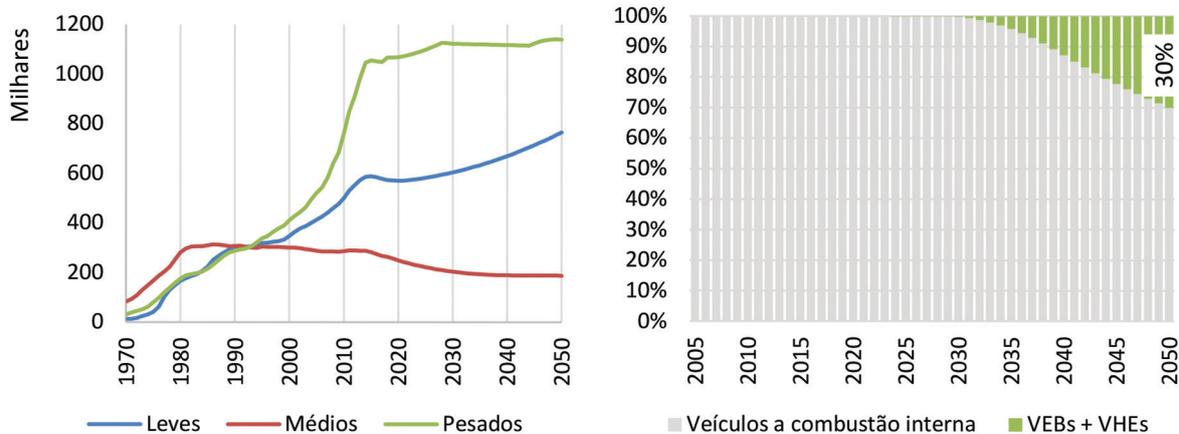
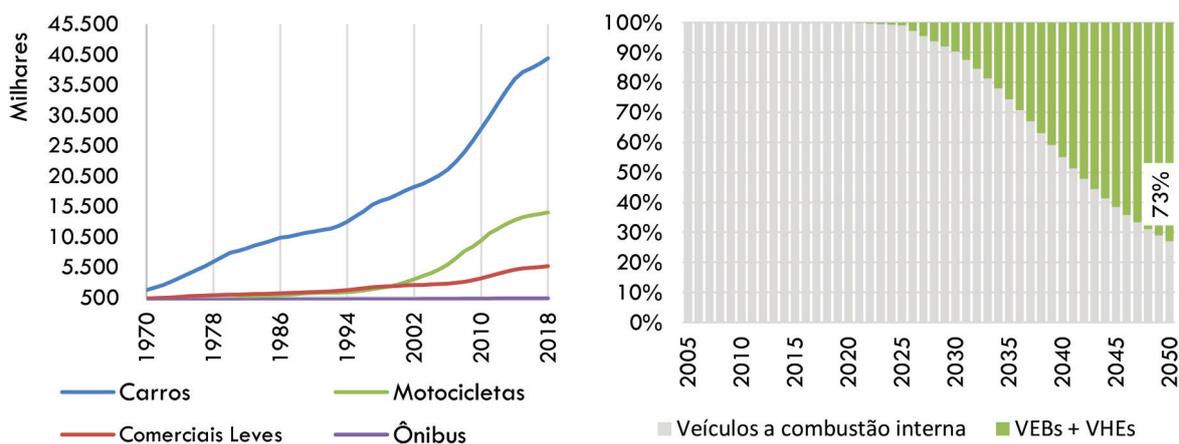


Figura 7. **Perspectivas da frota circulante de veículos de passageiros no transporte rodoviário**



No Brasil, em 2050, a frota de veículos elétricos a bateria será composta predominantemente por ônibus urbanos, comerciais leves, caminhões leves e motoristas de serviços de veículos compartilhados (táxi e por aplicativo). Por outro lado, a frota de veículos híbridos de passageiros será predominantemente composta por carros particulares, caminhões pesados e ônibus regionais.

Como discutido na seção 3, a grande participação dos veículos elétricos de passageiros (VEs) é consequência de mudanças no comportamento do usuário. Isso significa que os usuários escolhem veículos mais eficientes, não apenas para viagens privadas, mas também no transporte por aplicativos e nas viagens de ônibus. A próxima seção discute as necessidades de investimentos, realizando uma análise de custos das principais ações de mitigação que impactam as emissões no cenário de 1,5°C.

### Necessidade de investimentos e análise de custos

Conforme apresentado na seção ‘Dados e Modelo de energia e meio ambiente’, aplicamos um modelo MACC para analisar os custos e o potencial de redução de carbono das opções de mitigação selecionadas, em comparação com um cenário *business as usual*.

*as usual* (Cenário do Governo). Em outras palavras, uma análise MACC aponta o custo-benefício da implementação de uma opção de mitigação ao longo do tempo.

A análise MACC é conduzida por opção de mitigação e cenário, que podem ser baseados na introdução de uma nova tecnologia ou simplesmente no aumento da penetração de alguma ação, comparando-se opções de mitigação com uma situação *business as usual* (por exemplo, investir em veículos elétricos ou manter uma frota convencional de combustão interna?). Os resultados são expostos por meio do custo de carbono evitado (US\$/tCO<sub>2</sub>e), multiplicado pela quantidade total de emissões evitadas (tCO<sub>2</sub>e), de forma a obter o custo total da ação de mitigação.

Dessa maneira, um governo só poderia escolher opções de mitigação cujo custo por tonelada mitigada seja negativo, ou seja, caso hajam economias após sua implementação<sup>13</sup>. É importante ressaltar que não necessariamente as melhores opções para o sistema de transporte são aquelas que têm um custo de mitigação negativo (US\$/tCO<sub>2</sub>e). Por exemplo, as expansões metroviárias no Brasil não são viáveis sob essa perspectiva, embora sejam fundamentais para ampliar a eficiência de um sistema de transporte urbano.

<sup>13</sup> Através de estimativa do custo de abatimento (despesas de capital – CAPEX menos despesas de operação – OPEX) de uma unidade de GEE emitida no Cenário de 1,5°C em relação ao Cenário do Governo.

A Tabela 2 indica o CAPEX necessário para implementar cada ação de mitigação contemplada no Cenário de 1,5°C<sup>14</sup>. Dois horizontes de tempo são apresentados: 2021-2030 (NDC) e 2031-2050 (perspectivas de longo prazo).

No primeiro período (2021 a 2030), apenas os investimentos anunciados pelo governo são considerados em ambos os cenários (com diferenças sutis de ambição entre cada cenário). Isso inclui os programas governamentais RenovaBio, Rota 2030, PPI, Avançar e PAC. Assim, os valores apresentados representam a diferença de custos entre os Cenários do Governo e de 1,5°C.

Entre 2031 e 2050, enquanto poucas opções de mitigação são lançadas no Cenário do Governo, o Cenário de 1,5°C apresenta uma ampla gama de opções de mitigação. Além disso, o país vive uma recuperação econômica após o *impeachment* da presidente

(2016) e da pandemia Covid-19. Por esse motivo, o valor investido no segundo período é substancialmente maior do que no primeiro.

Até 2050, a intervenção mais cara é a expansão da rede metropolitana, alcançando 64,8 bilhões de dólares investidos. Esta ação de mitigação é seguida pela eletrificação de veículos leves (41,8 bilhões) e pela expansão da rede ferroviária (transporte de carga) (3,9 bilhões).

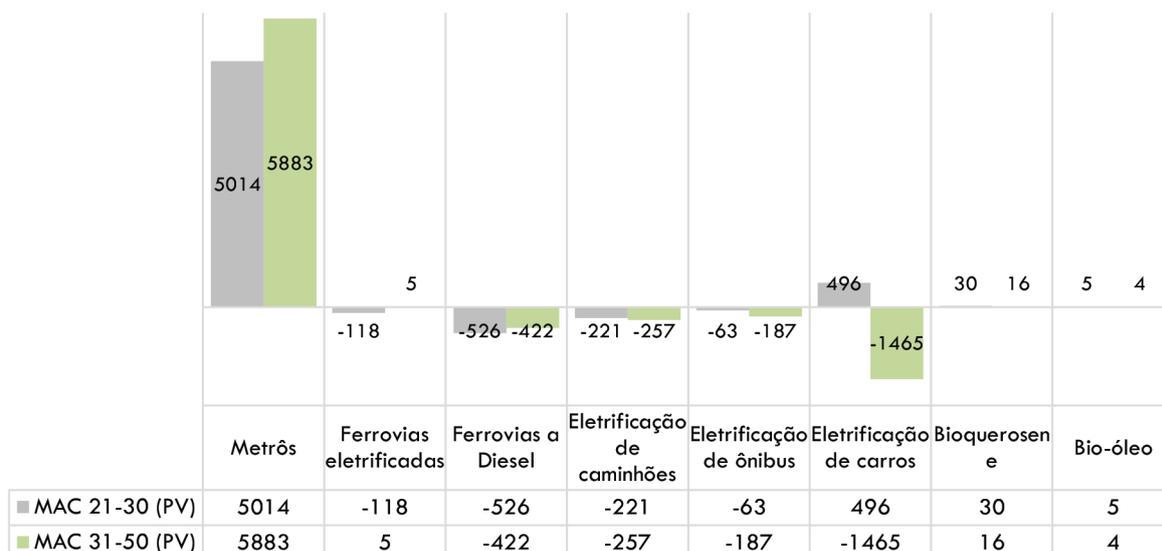
A Figura 8 mostra o custo médio de abatimento para ações de mitigação do cenário de 1,5°C.

Como esperado, na análise MACC, a expansão da malha metropolitana não compensa os custos dos investimentos ao longo do tempo, quando comparada a uma situação convencional de uso do transporte rodoviário (por carros, ônibus, etc). Em relação à

Tabela 2: **CAPEX adicional das ações-chave de mitigação no Cenário de 1,5°C (milhões de US\$)**

Modo	Atividade	Ação de Mitigação	2021 a 2030	2031 a 2050
Ferrovário	Passageiros	Expansão da rede	2.452	62.349
Rodoviário	Passageiros	Eletrificação de veículos leves	271	41.513
Ferrovário	Carga	Expansão da rede	468	3.507
Rodoviário	Passageiros	Eletrificação de ônibus	2	2.739
Ferrovário	Carga	Eletrificação de ferrovias	56	1.092
Rodoviário	Carga	Eletrificação de caminhões	6	805
Aéreo	Passageiros e carga	Mistura de bioquerosene	138	637
Aquático	Carga	Mistura de bio-óleo	1	13
<b>Total</b>			<b>3.394</b>	<b>112.655</b>

Figura 8. **Custo médio de abatimento**



<sup>14</sup> Consideramos uma taxa de desconto de 8% ao ano, descontados os valores presentes.

eletrificação das ferrovias, inicialmente rentáveis, elas enfrentam a concorrência de caminhões pesados (VHEs) no segundo período (que tem menores custos de aquisição e manutenção). Isso acaba comprometendo seus resultados a partir de 2031. Atualmente, toda a frota de trens urbanos de passageiros no Brasil já é elétrica e, portanto, o foco seria nas ferrovias de carga.

Da mesma forma, a eletrificação de carros não compensa no primeiro período (2021 a 2030). No entanto, preços mais baixos da bateria, maior capacidade de carga (para comerciais leves), melhorias no sistema de propulsão (pela indústria local), juntamente com ganhos de eficiência energética, compensam os investimentos no segundo período (2031-2050). A introdução de misturas de bioquesene e bio-óleo também não compensa os investimentos nesta série temporal.

Sob diferentes circunstâncias, as eletrificações de carros e ônibus no Brasil são ações de mitigação com perspectivas interessantes para 2050, uma vez que externalidades positivas de sua implementação compensam o investimento inicial (CAPEX). Esses resultados poderiam apoiar governos e instituições a estudar e implementar estratégias de desenvolvimento sustentável em seus países. Entretanto, novamente, também é necessário avaliar potenciais benefícios que vão além do custo de aquisição e economia com manutenção (por exemplo, expansão de metrô).



Crédito editorial: Antonio Salaverry/Shutterstock.com

## 4. PERMITINDO UMA PROFUNDA DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE

Na medida em que cada ação de mitigação requer certas bases econômicas, políticas e sociais, discutimos com especialistas do FBMC e *stakeholders* externos relacionados ao transporte os meios para sua implementação. Em outras palavras, tentamos investigar quais condições tornam o Cenário de 1,5° C possível e quais barreiras devem ser superadas. A tabela 3 resume esta análise.

No caso da eletrificação das frotas rodoviária e ferroviária, a falta de uma indústria local e fornecedores trabalhando com eletromobilidade, de normas, de regulações, de modelos de concessão, de conhecimento sobre os benefícios econômicos de uma frota elétrica, juntamente com altos custos de aquisição e *lobby* das montadoras de veículos a combustão interna são as principais barreiras que ainda retardam o progresso desta opção de mitigação. Essas barreiras refletem a falta de conscientização, interesse e envolvimento das pessoas encarregadas de sua implementação. Para exemplificar, uma frente parlamentar em favor da eletromobilidade foi dissolvida em 2019.

No entanto, alguns avanços nesse campo têm sido observados nos últimos anos, com diversos estudos sendo desenvolvidos pela academia e apoiados por instituições federais, propondo *roadmaps* para acelerar a eletromobilidade no Brasil. Esses estudos incluem melhorias de normas, regulamentos e modelos de concessão, além de estimular novos modelos de negócios e comunicação. Somado a isso, a implementação de linhas de crédito para veículos híbridos elétricos e *plug-in* está sendo estudada e iniciativas regulatórias locais (em cidades) já estão em vigor para expandir o transporte de baixo carbono.

Apesar de investimentos maciços por meio de programas governamentais, como o PPI, o Avançar e o PAC, a expansão das redes ferroviária e de transporte aquático ainda se encontram limitadas. Isso se deve à falta de estudos técnicos, econômicos e ambientais adequados, à falta de supervisão e controle das obras em andamento e aos congestionamentos de trens e embarcações nas estações portuárias. Para superar essas barreiras, seria necessário incentivar a competição nesses meios de transporte, e também mudar o pensamento político, visando investimentos sustentáveis e de longo prazo.

Por fim, para a introdução do bio-óleo e bioquesene na matriz energética de transporte, seria necessário reduzir seus custos de produção por meio de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e mobilização política, como já acontece com o biodiesel e o etanol.

Tabela 3: **Resumo das principais barreiras e recomendações**

Modo	Atividade	Ação	Barreiras	Políticas atuais	Políticas desejáveis para 1,5°C
Rodoviário	Passageiros	Eletrificação de veículos leves	Mercado restrito (todos os veículos são importados) – Alto custo de aquisição – Falta de conscientização, interesse e envolvimento das pessoas encarregadas de sua implementação – Falta de fabricantes locais de VEs – Lobby das montadoras de veículos a combustão interna – Falta de normas e regulamentações	Redução de impostos para VEs – Políticas de isenção de pedágio – Iniciativas para regulação da eletromobidade (Promob-e/PNME) – Projetos de P&D	Desenvolvimento de um sistema de propulsão nacional para VEs – Prazo para acabar com as vendas de veículos de combustão interna – Facilidades de crédito para financiamento de táxis e de transporte por aplicativo em veículos elétricos
		Ganhos de eficiência energética para veículos leves	As montadoras não estão cumprindo suas metas no programa Rota 2030 – O atual Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) é impreciso	Programa Rota 2030	Introdução de um programa mais ambicioso após 2030 – Melhoria do PBEV
		Eletrificação de ônibus	O modelo de concessão muitas vezes é mal projetado e estruturado – Melhoria da qualidade do ônibus – Lobby das montadoras de veículos a combustão interna – Falta de conhecimento sobre os benefícios econômicos dos ônibus elétricos – Falta de normas e regulamentações	Facilidades de crédito para financiamento de ônibus elétricos (programa Refrota) – Investimentos em frota de VEB na cidade de São Paulo – Iniciativas regulatórias locais para veículos de baixo carbono	Novos modelos de negócios – Mudança na legislação – Revisão das modalidades tarifárias – Incentivos financeiros governamentais (subsídios)
	Passageiros e carga	Ganhos de eficiência energética para veículos pesados	Falta de programas de metas específicos para veículos pesados	Programa Rota 2030	Introdução de um programa mais ambicioso após 2030 – Melhoria do PBEV
	Carga	Eletrificação de caminhões	Mercado de VEs restrito – Alto custo de aquisição – Falta de conscientização, interesse e envolvimento das pessoas encarregadas de sua implementação – Falta de fabricantes locais de VEs – Lobby das montadoras de veículos a combustão interna – Falta de normas e regulamentações	Iniciativas conjuntas entre empresas multinacionais	Novos modelos de negócios – Investimentos e financiamento de tecnologias prospectivas – Desenvolvimento de sistemas de acreditação (esforços para certificação/rotulagem) – Subsídios do governo
Ferroviário	Passageiros	Expansão da rede	Rombos nos orçamentos de obras de infraestrutura – Falta de estudos técnicos, econômicos e ambientais adequados – Decisões baseadas apenas em aspectos financeiros	Obras atrasadas planejadas para Copa do Mundo e Olimpíadas que ainda estão em andamento – Outros investimentos estão restritos a São Paulo	Acesso ao financiamento internacional ( <i>Green bonds</i> ) – Mudança do pensamento político para investimentos sustentáveis e de longo prazo – Investimentos e financiamento de tecnologias prospectivas
	Carga	Eletrificação de ferrovias	Falta de estudos e compromisso político – Falta de construtoras e fornecedores ferroviários locais – Falta de normas e regulamentações	-	Acesso ao financiamento internacional ( <i>Green bonds</i> ) – Mudança do pensamento político para investimentos sustentáveis e de longo prazo – Investimentos e financiamento de tecnologias prospectivas – Ofertas internacionais, incluindo para trechos abandonados ou subutilizados da rede

Modo	Atividade	Ação	Barreiras	Políticas atuais	Políticas desejáveis para 1,5°C
Ferroviário e aquático	Carga	Expansão da rede	Falta de concorrência na cabotagem de contêineres e Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) não a incentiva – Frota envelhecida – Estouros de orçamento em obras de infraestrutura – Falta de estudos técnicos, econômicos e ambientais adequados – Decisões baseadas apenas em aspectos financeiros – Falta de supervisão e controle de obras em andamento – Níveis elevados de burocracia, restringindo a intermodalidade	Programas governamentais PPI, Avançar e PAC	Equivalência dos preços de óleo combustível e lubrificantes entre o transporte de cabotagem e a navegação de longo curso – Acesso ao financiamento internacional ( <i>Green bonds</i> ) para expansão de infraestrutura e renovação da frota – Mudança do pensamento político para investimentos sustentáveis e de longo prazo – Investimentos e financiamento de tecnologias prospectivas (especialmente para ferrovias elétricas) – Estudos específicos para transporte aquático, incluindo acesso rodoviário, licenciamento de obras portuárias, dragagem etc – Redução de impostos e simplificação da burocracia – Incentivos à intermodalidade – Expandir o acesso a portos e ferrovias – Marco legal para concessões nos modos ferroviário e aquático
Aquático Carga Mistura de bio-óleo			Custos elevados – Políticas restritas ao biodiesel e etanol	Programa RenovaBio	Investimentos em P&D
Aéreo	Passageiros e carga	Mistura de bioquerosene			Investimentos em P&D – Investimentos de médio e longo prazo visando atender às demandas nacionais e internacionais



## 5. CONCLUSÃO E IMPLICAÇÕES POLÍTICAS

A busca por uma transição mais rápida para uma economia de baixo carbono precisa abranger múltiplas perspectivas de desempenho de diferentes setores. Este artigo teve como objetivo fornecer cenários de transição energética para o Brasil até o ano de 2050, com foco no transporte. Para isso, consideramos os compromissos nacionais assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, juntamente com uma ampla gama de premissas, discutindo-os com especialistas de instituições públicas e privadas, bem como da sociedade civil, no FBMC e em *workshops* relacionados ao transporte. Como resultado, premissas ligadas a, por exemplo, tendências de mercado, políticas governamentais e demandas da sociedade foram convertidas em ações de mitigação no mais alto nível de detalhamento para analisar seus custos de investimento e potenciais de redução de carbono.

Para estimar os dados de referência e projeções de uso de energia e emissões de GEE, adotamos o método desenvolvido por Gonçalves et al. (2019). Desta forma, empregamos as abordagens *bottom-up/top-down* (para o transporte rodoviário) e *ASIF/top-down* (para os outros modos), fornecendo informações detalhadas sobre o desempenho a longo prazo. Para a análise de custos, a partir de curvas MAC, foi empregado o método desenvolvido por Goes et al. (2020).

Os resultados mostram que o Brasil está no caminho certo para cumprir suas metas da NDC relacionadas ao transporte, embora mais esforços sejam necessários para estar em consonância com uma estratégia de desenvolvimento compatível com um aumento de temperatura de 1,5°C (com redução de emissões em comparação aos níveis de 2005). É importante enfatizar que a redução das emissões de GEE no setor de transporte são de significativa importância política, devido à estreita relação entre atividade de transporte e o PIB. Dessa forma, o Cenário de 1,5°C apresenta uma redução de 25% nas emissões em relação aos níveis de 2005, enquanto as emissões no Cenário do Governo são 101% maiores em relação a esse mesmo ano.

Em suma, a estratégia de desenvolvimento de 1,5°C exige uma ampla mudança na orientação da política local, no momento restrita a incentivar os biocombustíveis e ganhos de eficiência energética (para veículos leves). Portanto, seria necessária uma maior penetração da eletromobilidade no transporte de passageiros e carga, associada a investimentos maciços em infraestrutura (mesmo considerando expansões do metrô), novos modelos de concessão do transporte público e, finalmente, educação básica a respeito os benefícios de um transporte sustentável.

Os esforços de mitigação brasileiros dependerão de qual caminho de desenvolvimento o atual governo local pretende seguir. Até agora, foi mostrada uma propensão para políticas intensivas em carbono, que podem comprometer até mesmo programas em andamento e compromissos ambientais. Fora isso, a análise do MACC revela que a eletrificação de carros pode ser a ação de mitigação que melhor recupera investimentos (reduzindo o consumo de energia e os custos operacionais). Em contrapartida, as expansões metroviárias, assim como os investimentos em bio-óleo e bioquesene, não compensam os custos, pelo menos do ponto de vista da redução das emissões de GEE.

A metodologia adotada neste estudo pode ser aplicada em países com características diferentes.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Este artigo pode apoiar outros estudos de países e regiões com diferentes conjunturas, servindo de referência sobre as principais políticas de mitigação. Isso poderia contribuir para um conjunto de estudos de referência, fornecendo recomendações que determinaríamos as melhores ações de mitigação de GEE no setor de transportes, relacionadas às suas influências sobre os compromissos nacionais, sob diferentes contextos políticos e econômicos.

Para promover a transição energética compatível com um cenário de 1,5°C, recomendamos que o governo brasileiro, o setor privado, a academia e a sociedade civil desenvolvam *roadmaps* e ações climáticas abrangendo os seguintes elementos:

- **Mudança do pensamento político, visando políticas de longo prazo e sustentáveis:** reduzir o número de projetos de curto prazo, dentro de mandatos eleitorais. Desenvolver *roadmaps* de longo prazo, focados em evitar viagens (por exemplo, teletrabalho, ensino a distância), modos de transporte mais energeticamente eficientes e melhorias tecnológicas. Além disso, o governo deve incentivar o desenvolvimento de novas regiões, reduzindo a concentração espacial de renda e a pobreza;
- **Desenvolvimento de uma indústria nacional de VEs, fornecendo também componentes de sistemas de propulsão comerciais:** mudança do perfil atual dos fabricantes, de baterias chumbo-ácido (presentes em veículos convencionais e VHEs) para baterias íon-lítio (presentes em VEBs). Desenvolvimento de um sistema de propulsão nacional, formando profissionais para este novo mercado de VEs;
- **Melhoria ou criação de normas e regulamentações para novas tecnologias e modelos de negócios:** novas normas de infraestrutura de recarga, armazenamento distribuído, descarte ou reuso de baterias e componentes de veículos elétricos etc. Flexibilidade para a construção e operação de novas ferrovias eletrificadas de carga;
- **Novos modelos de negócios e concessões no transporte público, revisando as modalidades tarifárias com apoio financeiro do governo:** modelos de negócios focados em infraestrutura de recarga (estações de recarga, distribuição de energia, armazenamento distribuído e semi-distribuído), veículos elétricos compartilhados etc. Modelos de concessão que demandem a expansão da frota de ônibus elétricos nas cidades, com subsídios governamentais para essas tarifas;
- **Acesso ao financiamento internacional, com foco em tecnologias prospectivas de baixo carbono:** desenvolvimento de parcerias entre bancos de desenvolvimento econômico nacionais e internacionais, com diferentes taxas de financiamento e condições de pagamento para tecnologias de baixo carbono. Atores robustos, como empresas governamentais e de energia, seriam os principais fiadores dessas operações;
- **Ofertas internacionais para resgatar ligações ferroviárias de baixo rendimento:** abertura a mercados externos para aquisição de ferrovias subutilizadas ou abandonadas (que hoje são, aproximadamente, 67% da malha ferroviária brasileira);
- **Redução de impostos e simplificação da burocracia, especialmente para o transporte aquático:** estimulando a competitividade do transporte aquático, reduzindo o preço do óleo combustível praticado na cabotagem, bem como as tarifas portuárias.

## REFERÊNCIAS

Brazil, MCT- Ministry of Science, Technology and Innovation (2017). Annual Estimates of Greenhouse Gas Emissions in Brazil. 4th Edition, Brasília.

Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., La Rovere, E. L., & de Mello Bandeira, R. A. (2020). MRV framework and prospective scenarios to monitor and ratchet up Brazilian transport mitigation targets. *Climatic Change*, 1-21.

Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., de Mello Bandeira, R. A., & Grottera, C. (2020). Transport-energy-environment modeling and investment requirements from Brazilian commitments. *Renewable Energy*.

Gonçalves, D. N. S., Goes, G. V., Márcio de Almeida, D. A., & de Mello Bandeira, R. A. (2019). Energy use and emissions scenarios for transport to gauge progress toward national commitments. *Energy Policy*, 135, 110997.

Dantas, G., Siciliano, B., Freitas, L., de Seixas, E. G., da Silva, C. M., & Arbilla, G. (2019). Why did ozone levels remain high in Rio de Janeiro during the Brazilian truck driver strike? *Atmospheric Pollution Research*.

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dasgupta, P. (2015). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Tob-Ogu, A., Kumar, N., Cullen, J., & Ballantyne, E. E. (2018). Sustainability intervention mechanisms for managing road freight transport externalities: A systematic literature review. *Sustainability*, 10(6), 1923.

Valenzuela, M. M., Espinosa, M., Virgüez, E. A., & Behrentz, E. (2017). Uncertainty of greenhouse gas emission models: A case in Colombia's transport sector. *Transport research procedia*, 25, 4606-4622.



## Sobre a Climate Transparency

A **Climate Transparency** é uma parceria global com uma missão compartilhada de estimular uma “corrida ao topo” na ação climática dos países do G20 através de maior transparência. Ela inclui parceiros de Argentina (*Fundación Ambiente y Recursos Naturales*), Brasil (CentroClima/COPPE UFRJ), China (*Energy Research Institute*), França (*The Institute for Sustainable Development and International Relations*), Alemanha (*Germanwatch*, *HUMBOLDTVIADRINA Governance Platform*, *NewClimate Institute*), Índia (*The Energy and Resources Institute*), Indonésia (*Institute for Essential Service Reform*), México (*Iniciativa Climática de México*), África do Sul (*Energy Research Center/University of Cape Town*) e Reino Unido (*Overseas Development Institute*). A Climate Transparency é financiada pela ClimateWorks Foundation, pela Stiftung Mercator e pelo Banco Mundial e apoiada pela European Climate Foundation.

Esse projeto é parte da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI). O Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) apoia esta iniciativa com base em uma decisão adotada pelo parlamento alemão.



**CENTRO CLIMA**  
CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE MEIO  
AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS - COPPE / UFRJ

O **CentroClima/LIMA**, ligado ao Programa de Planejamento Energético (PPE), faz parte da COPPE, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Desde 1997, o CentroClima / LIMA foi responsável pela execução de cerca de 250 projetos de pesquisa, muitos dos quais para instituições internacionais. Ao longo desse período, foram firmados convênios, parcerias, acordos de cooperação e contratos com órgãos públicos das administrações federal, estadual e municipal, além de empresas e organizações não-governamentais. Essas atividades de pesquisa levaram à publicação de aproximadamente 320 artigos científicos, 75 artigos em periódicos nacionais e internacionais, 70 livros ou capítulos de livros, 140 artigos em Anais de Congressos e 25 artigos em revistas e jornais. Além disso, forneceram material para a elaboração de mais de 80 dissertações de mestrado e 39 teses de doutorado.

### Supported by:



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag