

Transporte e Clima no Brasil: Diagnóstico das Emissões e Estratégias para uma Transição de Baixo Carbono e Resiliência do Setor

Daniel Neves Schmitz Gonçalves
George Vasconcelos Goes

2026



**CENTRO
BRASIL
NO CLIMA**

AUTORES

Daniel Neves Schmitz Gonçalves

Doutor e Pós-doutorando em Engenharia de Transportes (Coppe/UFRJ)

Pesquisador Sênior em Transição Energética no Setor de Transportes

danielnsg@pet.coppe.ufrj.br

George Vasconcelos Goes

Doutor e Pós-doutorando em Engenharia de Transportes (Coppe/UFRJ)

Pesquisador Sênior em Inventários e Instrumentos Econômico-Financeiros em Transporte e Energia

ggoes@pet.coppe.ufrj.br

COORDENAÇÃO E REVISÃO

Coordenação Técnica:

Fernanda Fortes Westin

Supervisão Técnica:

William Wills

Revisão:

Fernanda Fortes Westin

Beatriz Oliveira de Araújo

Diagramação:

Na Boca do Lobo

CENTRO BRASIL NO CLIMA - CBC

Diretor Executivo:

Guilherme Syrkis

Diretor Técnico:

William Wills

Diretora Financeira:

Márcia Bandeira

Gerente de Projetos:

Fernanda Fortes Westin

Analista de Projetos:

Beatriz Oliveira de Araújo

Citação sugerida

GONÇALVES, Daniel N. S.; GOES, George V.

Transporte e clima no Brasil: diagnóstico das emissões e estratégias para uma transição de baixo carbono e resiliência do setor. Centro Brasil no Clima, setembro de 2026.

REALIZAÇÃO:

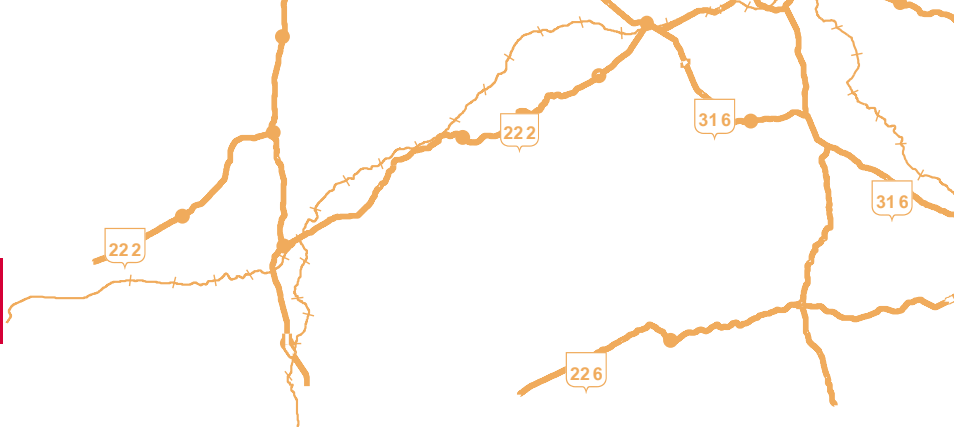


CENTRO
BRASIL
NO CLIMA



OBSERVATÓRIO ESTADUAL
DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Este documento integra a série de Policy Briefs temáticos prevista no conjunto de publicações do Observatório Estadual de Mudanças Climáticas.



Introdução

A descarbonização dos transportes representa um desafio central para o cumprimento das metas do Acordo de Paris no Brasil. Este estudo apresenta um diagnóstico do setor de transportes nas 27 unidades da federação, com ano-base 2024, examinando a composição das emissões por modo e por segmento, o grau de dependência de fontes fósseis e o estágio da eletrificação. O objetivo é oferecer uma base técnica comparável entre estados para subsidiar a formulação e a revisão dos instrumentos de planejamento subnacional, entre eles os Planos de Mitigação, Adaptação e Estratégias de Mudanças Climáticas.

De acordo com o Primeiro Relatório Bienal de Transparência (BTR) submetido à UNFCCC¹ (BRASIL, 2024), as emissões líquidas totais do Brasil em 2022 somaram 2.039 Mt CO₂e. Embora superior ao patamar de 2020, esse volume é 20,4% inferior ao ano-base de 2005 (NDC), queda atribuída primordialmente à categoria LULUCF². Consequentemente, os setores de energia e de transportes assumiram maior relevância na composição das emissões remanescentes.

As emissões do transporte têm crescido mais rápido do que a economia do país. Enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro variou 48% entre 2005 e 2024 (WORLD BANK, 2026), as emissões da categoria aumentaram 56% no mesmo período, impulsionadas majoritariamente pelo modo rodoviário, seguida da subcategoria aviação doméstica, após a recuperação dos níveis pré-pandêmicos em 2023.

Esse resultado mostra que o setor ainda está fora do ritmo necessário para cumprir as metas climáticas, o que reforça a importância de avaliar a capacidade de resposta dos estados.

No modo rodoviário, observa-se uma disparidade entre a frota circulante e as emissões estimadas. Dados do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (Brasil, 2025) indicam que, embora automóveis e motocicletas compo-nham 88% da frota, os veículos pesados do ciclo diesel, caminhões (3%) e ônibus (<1%) concentram parcelas desproporcionais de CO₂e, NOx e material particulado. Isso acontece porque veículos pesados rodam muito mais e consomem bastante diesel, que hoje tem 15% de biodiesel na mistura. Já nos veículos leves, a gasolina tem 30% de etanol anidro. Ainda, diferentemente dos veículos leves, que contam com etanol hidratado, GNV, híbridos e elétricos, caminhões e ônibus ainda dependem quase totalmente do diesel.

A análise das emissões de CO₂e no setor de transportes, com ano-base 2024, fundamenta-se nas estimativas subnacionais do SEEG³, sendo cerca de 52% relativos ao transporte de cargas e 48% ao de passageiros (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2025; CBC, 2026).

As diferenças entre os perfis de transporte dos estados evidenciam realidades muito distintas para carga e passageiros. Enquanto regiões com fluxos logísticos intensivos e alta capacidade de escoamento registram aumen-

¹ Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

² Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas.

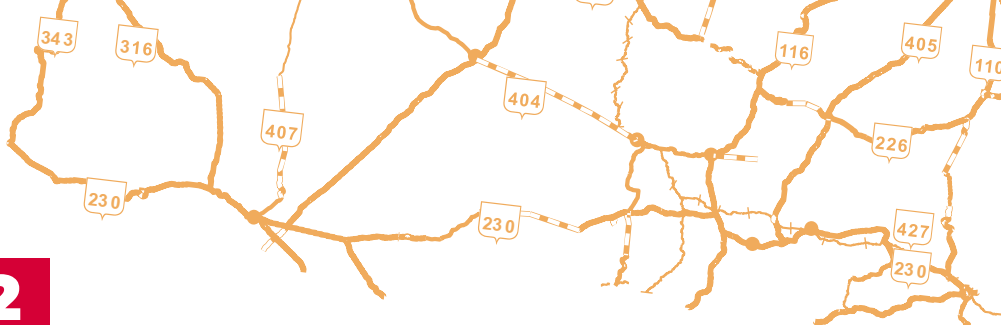
³ Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

to nas emissões, locais com mobilidade urbana consolidada e maior densidade populacional apresentam indicadores mais estáveis.

As maiores emissões do setor de transportes concentram-se nas regiões Sudeste e Sul, impulsionadas pela maior atividade econômica, pelo tamanho das frotas e pela densidade das malhas logísticas. Nesse contexto, São Paulo se destaca como principal emissor nacional, seguido por Minas Gerais e Paraná. Na sequ-

ência, aparecem outros estados relevantes, como Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Bahia, todos com elevados níveis de emissão

O presente *policy brief* consolida a apresentação dos dados gerais estaduais sobre a divisão do setor de transportes por modo, emissões por tipo e transporte, vulnerabilidades e oportunidades de adaptação do setor no país.



CAPÍTULO 2

Metodologia

Os dados de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) que fundamentam as análises estaduais são provenientes do SEEG (Observatório do Clima, 2025) e constam no Anuário Estadual de Mudanças Climáticas (CBC, 2026). Por sua vez, os indicadores de energia e atividade para passageiros e carga derivam do modelo TEMA (Gonçalves et al., 2019), com base no método de desagregação de Goes (2023). Essa combinação metodológica buscou suprir a lacuna de indicadores de consumo energético associados à frota e aos dados de atividade da plataforma.

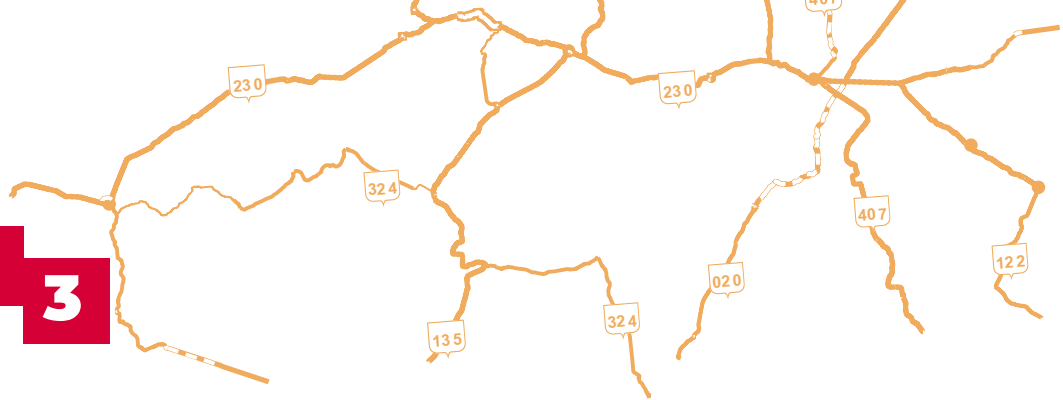
Conforme a nota metodológica do SEEG para o setor de energia (IEMA, 2025), a alocação estadual de combustíveis, com exceção do gás natural, baseia-se em dados do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Contudo, nessas fontes primárias, as vendas de combustíveis para o consumo doméstico e para o bunker (marítimo e aéreo internacional) não são discriminadas.

Para contornar essa limitação, o modelo TEMA realiza a separação entre os volumes domésticos e de bunker, bem como a segmentação entre transporte de passageiros e de carga, a partir de variáveis *proxy* de atividade. O modelo assume que as disparidades nas operações aeroportuárias estaduais demandam matrizes de atividade específicas para a correta distribuição do consumo. Esse nível de detalhamento metodológico permite uma compreensão mais refinada sobre as trajetórias e as tendências das emissões no setor de transportes.

A análise realizada neste estudo fundamentou-se no cruzamento de dados operacionais e institucionais, balizada pelas seguintes referências e premissas:

Fontes de Dados:	Análise Comparativa Subnacional:	Modelagem de Desagregação:	Convenção Analítica de Sinais:
Utilização de dados oficializados no Primeiro Relatório Bienal de Transparência (BTR) submetido à UNFCCC, inventários nacionais de emissões (MMA/Ministério dos Transportes) e estimativas do SEEG/Observatório do Clima (2025).	Contraste entre a maturidade institucional (presença de Planos de Mitigação, Adaptação e Estratégias de Mudanças Climáticas) e o desempenho ambiental dos estados (variação das emissões de CO ₂ e entre 2023 e 2024).	Aplicação do modelo TEMA, baseado no método de desagregação de Goes (2023), para avaliar indicadores de energia e atividade de transporte.	Definição de que valores positivos no indicador de variação correspondem à redução de emissões (melhora), enquanto valores negativos indicam aumento (deterioração).



Diagnóstico Setorial: Infraestrutura, Matriz de Transportes e Transição Energética no Brasil

Os perfis de transporte estaduais revelam realidades distintas entre carga e passageiros: regiões com fluxos logísticos intensos e alta capacidade de escoamento tendem a registrar aumento das emissões, enquanto áreas com mobilidade urbana consolidada e maior densidade populacional apresentam indicadores mais estáveis.

As maiores emissões do transporte concentram-se no Sudeste e no Sul, impulsionadas pela atividade econômica, pelo tamanho das frotas e pela densidade logística. São Paulo lidera, seguido por Minas Gerais e Paraná; depois vêm Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Bahia, conforme ilustrado na Figura 1.

A composição dessas emissões varia conforme a estrutura econômica regional:

- » **Predomínio de carga** em estados com forte base agroindustrial e mineral (ex.: Mato Grosso, Tocantins, Goiás e Minas Gerais).
- » **Predomínio de passageiros** em áreas urbanas densas e com alta motorização individual (ex.: Distrito Federal, Rio de Janeiro e estados do Norte/Nordeste).

A análise agregada dos dados estaduais consolida o transporte de cargas como o principal vetor de emissões, de acordo com o inventário nacional, respondendo por 52% do total emitido (114,3 MtCO₂e), enquanto o transporte de passageiros é responsável por 48% (105,4

MtCO₂e), totalizando 219,7 MtCO₂e em 2024.⁴ Esse cenário mostra que o maior impacto sobre o inventário de GEE provém da carga, cuja oscilação nas emissões é mais acentuada que a do segmento de passageiros.

A estabilização no transporte de pessoas decorre de fatores estruturais, recentes crises econômicas, dos reflexos agudos da pandemia em 2020-2021 e, sobretudo, de programas de eficiência energética veicular (Inovar-Auto, Rota 2030 e Mover). Embora a venda de elétricos a bateria (BEV) tenha crescido 39 vezes entre 2020 e 2024 (ANFAVEA, 2025), seu impacto global ainda é incipiente. O verdadeiro amortecedor de emissões tem sido os biocombustíveis, impulsionados pelo avanço da mistura compulsória de etanol anidro na gasolina, que saltou de 20% em 2005 para 30% em 2025, além do uso do etanol hidratado e do GNV.

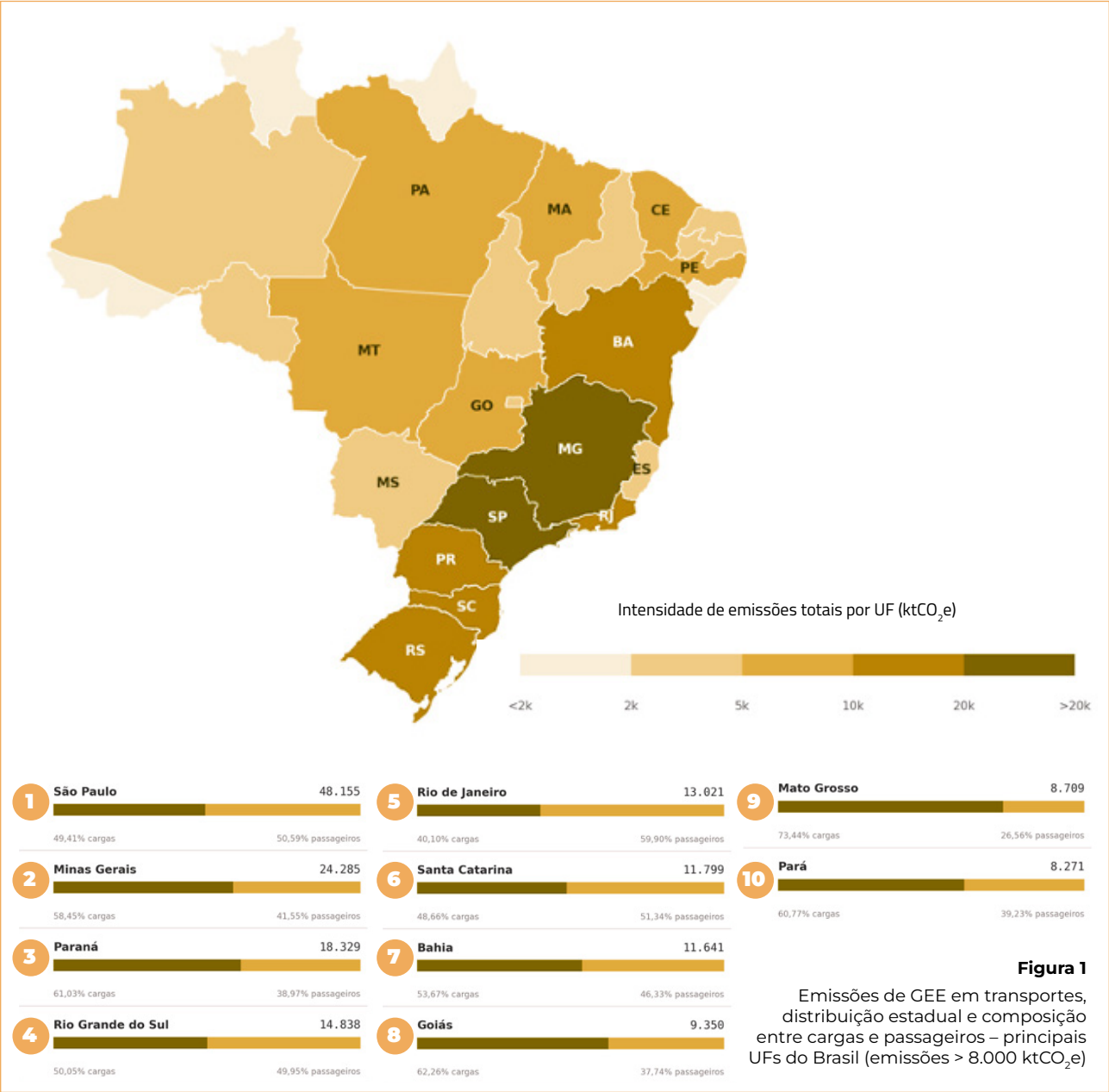
Já o segmento de cargas segue dependente do diesel fóssil. Apesar dos avanços pontuais apontados pela ANFAVEA para 2024, como o aumento de 22 vezes nas vendas de caminhões elétricos leves e médios desde 2020 e

⁴ O total nacional do SEEG para o setor de Transportes em 2024 é de 221,4 MtCO₂e (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2025), valor também reportado pelo Anuário Estadual de Mudanças Climáticas (CBC, 2026). A diferença de 2,4 Mt em relação ao valor consolidado neste estudo corresponde integralmente a emissões do modo hidroviário não alocadas pelo SEEG a nenhuma unidade da federação (SEEG, Dados Nacionais v.13.0, aba Consulta Estados 2024, célula O23, setor Transportes, modo Hidroviário, coluna Não Alocado). Por não poderem ser atribuídas a uma UF, essas emissões não constam no Quadro 1, que é estruturado por unidade da federação.

uma frota circulante de cerca de mil veículos a gás/biometano, essa dependência fóssil se estende do modo rodoviário à navegação interior, cabotagem e ferrovias. A transição da carga esbarra em barreiras estruturais como a escassez de pontos de recarga rápida para veículos pesados, baixa capilaridade do biometano e forte restrição de crédito por exigência de garantias. Além disso, independente do segmento (passageiros ou carga), o setor de transportes foi historicamente moldado pela escolha do modo rodoviário. Isto posto, o país enfrenta a complexa tarefa de equilibrar a cir-

culação de riquezas e o deslocamento de sua população com as urgentes metas de descarbonização e resiliência territorial.

Embora no Brasil, o modo rodoviário seja predominantemente (conforme apresentado no Quadro 1) utilizado em trajetos de escala continental, onde a intermodalidade ferroviária ou aquática seria energeticamente mais eficiente, sua aplicação ideal deveria se restringir a distâncias curtas e a serviços “porta a porta”, segmentos nos quais sua capilaridade representa uma vantagem competitiva real.



QUADRO 1: PARTICIPAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE POR MODO DE TRANSPORTE E UNIDADE DA FEDERAÇÃO (ANO BASE 2024).

ESTADO	EMISSIONES (KT CO ₂ E)	RODOVIÁRIO	FERROVIÁRIO	AÉREO	AQUÁTICO
Acre	483	96%	0%	4%	0%
Amapá	551	96%	0%	2,6%	1,40%
Amazonas	2.938	86%	0%	7,24%	6,76%
Pará	8.271	71%	15,24%	3,13%	10,63%
Rondônia	2.605	84%	0%	1,60%	14,40%
Roraima	569	96%	0%	4%	0%
Tocantins	3.236	96%	3,08%	0,92%	0%
Alagoas	1.875	91%	0%	9%	0%
Bahia	11.641	95%	0,02%	4,03%	0,95%
Ceará	5.552	92%	0,05%	7,66%	0,29%
Maranhão	5.378	96%	0,73%	1,82%	1,45%
Paraíba	2.463	95%	0%	5%	0%
Pernambuco	6.368	89%	0%	10,56%	0,44%
Piauí	2.498	98%	0%	2%	0%
Rio Grande do Norte	2.362	92%	0%	8%	0%
Sergipe	1.583	97%	0%	3%	0%
Goiás	9.350	96%	0,88%	2,14%	0,98%
Mato Grosso	8.709	92%	5%	3%	0%
Mato Grosso do Sul	4.770	97%	1%	1,25%	0,75%
Distrito Federal	2.952	76%	0,10%	23,90%	0%
Espírito Santo	4.447	97%	0,70%	1,70%	0,60%
Minas Gerais	24.285	93%	4,51%	2,49%	0%
Rio de Janeiro	13.021	94%	0,01%	5,58%	0,41%
São Paulo	48.155	89%	0,40%	7,70%	2,90%
Paraná	18.329	97%	0,78%	1,96%	0,26%
Rio Grande do Sul	14.838	97%	0,11%	1,40%	1,49%
Santa Catarina	11.799	98%	0,03%	1,64%	0,33%

Fonte: Elaborado a partir de ANP (2024), abordagem TEMA (2025), adaptado de Goes (2023), e Anuário Estadual de Mudanças Climáticas (CBC, 2026).

Os modos aquático e ferroviário apresentam a maior ecoeficiência, com intensidade de carbono e energética significativamente inferiores (cerca de 8 vezes menor) ao modo rodoviário (OSML, 2026). No extremo oposto da eficiência energética e climática, o modo aéreo figura como o de maior impacto chegando a uma intensidade energética e de carbono até 12 vezes superior (OSML, 2026), o que restringe sua viabilidade ambiental a cargas de alto valor agregado e urgência.

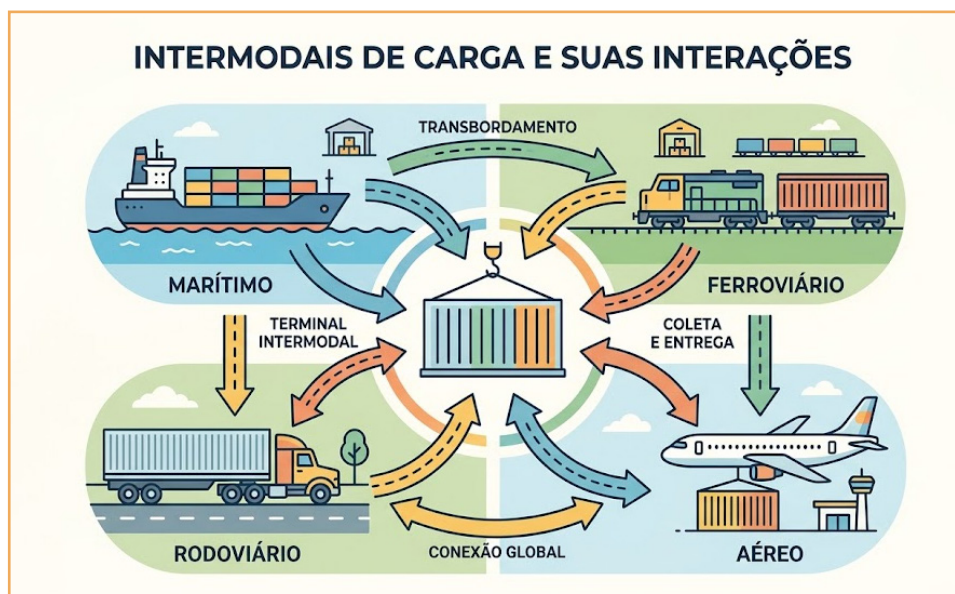


Figura 2
Exemplo da sinergia entre os modos de transporte

Diante disso, as variações nos índices de emissão transcendem a dimensão estritamente ambiental: elas atuam como indicadores diretos das disparidades na oferta de infraestrutura, na especialização econômica local e nas distâncias geográficas que separam as zonas produtoras dos principais centros urbanos e portos regionais.

As raras e principais exceções à hegemonia esmagadora do transporte rodoviário no Brasil, que responde por mais de 90%, concentram-se na Região Norte e no Distrito Federal, em função de condicionantes geográficos e institucionais específicos:

- » **A Alternativa Aquática na Amazônia:** Destaca-se o aproveitamento natural das hidrovias, com Rondônia e Amazonas registrando, respectivamente, 14,40% e 6,76% de participação das emissões no modo aquático.
- » **O Case de Diversificação do Pará:** O estado consolida-se como a matriz mais diversificada do país, apresentando a menor taxa de emissões rodoviárias (71%) ao conciliar a maior operação ferroviária nacional (15,24% das emissões da matriz de transportes) e uma expressiva

movimentação aquática (10,63% das emissões).

- » **O Hub Aéreo Federal:** O Distrito Federal destoa completamente do panorama nacional ao concentrar 23,90% de suas emissões do setor provenientes da atividade no modo aéreo, reflexo da centralidade de Brasília como hub político e logístico de passageiros.

3.1. Paradoxo da descarbonização: Biocombustíveis x Eletrificação

Mesmo nos estados onde o ecossistema rodoviário é amplamente dominante, o impacto ambiental varia substancialmente em função dos combustíveis utilizados. O Quadro 2 indica que, quanto maior a participação do etanol hidratado em relação à gasolina C no volume total abastecido, menor tende a ser a dependência de fontes fósseis. Nas frentes em que esse consumo é expressivo, impulsionado pela proximidade de polos produtores e por diferenciais tributários, a presença de renováveis aumenta de forma proporcional, atenuando a pegada de carbono regional de forma mais imediata do que a eletrificação isolada.

O infográfico (Figura 3) mapeia a robusta in-

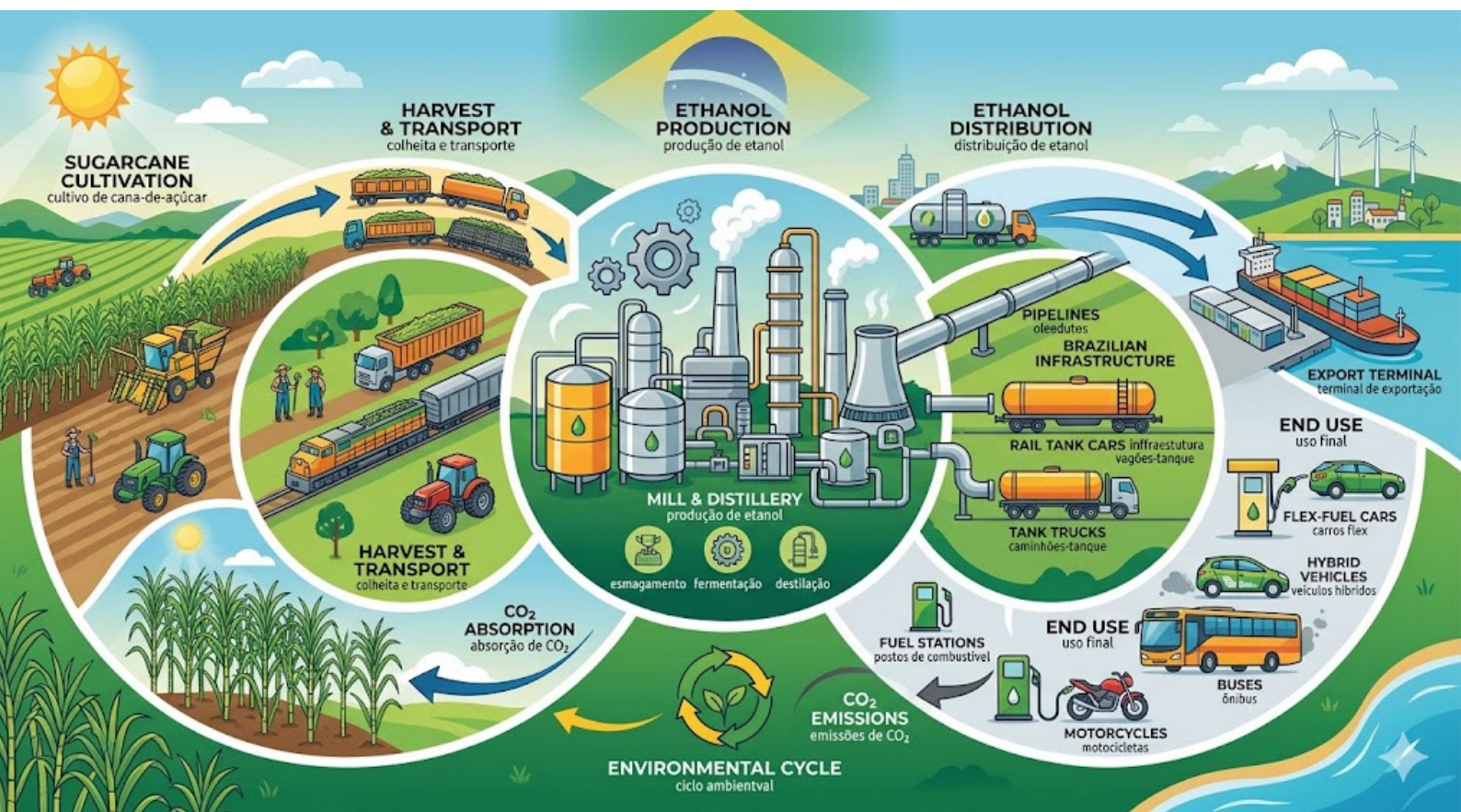


Figura 3 Cadeia logística da produção, distribuição e uso do Etanol

fraestrutura de distribuição logística nacional, que conecta dutos, ferrovias e caminhões-tanque aos postos de combustível e terminais de exportação, até culminar no uso final por frotas de automóveis, motos e ônibus. Esse ecossistema fecha seu ciclo ambiental na base do diagrama, demonstrando como o carbono emitido na queima do biocombustível tende a ser reabsorvido pela própria lavoura, consolidando o etanol como um ativo estratégico de baixa intensidade de emissões.

Em contrapartida, áreas com baixa penetração de biocombustíveis mantêm o seu perfil fortemente concentrado no petróleo, frequentemente superando a marca de 80% de dependência fóssil.

Por outro lado, os dados revelam que a redução estrutural de emissões no longo prazo se concentra nos estados que alinham a bioener-

gética à incorporação tecnológica e institucional. O desempenho do Distrito Federal e de São Paulo, que registraram as retrações mais expressivas no período, decorre diretamente da maior penetração da eletromobilidade. São Paulo, por exemplo, destaca-se pela introdução em larga escala de ônibus de emissão zero, evidenciando que a transformação da matriz energética é indissociável da modernização da frota.

Embora alguns estados apresentem aumento no licenciamento de veículos elétricos, ainda dependem de combustíveis fósseis, o que dificulta a redução da participação desses combustíveis, conforme o Quadro 2. Esse cenário sugere que o volume da frota elétrica, não é o único determinante para a descarbonização setorial, sendo a penetração de biocombustíveis e a real diversificação dos modos de transporte igualmente decisivas.

QUADRO 2: INDICADORES DE PARTICIPAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS E ELETRIFICAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTE, POR UNIDADE DA FEDERAÇÃO.

	COMBUSTÍVEIS				ELETRIFICAÇÃO	
	PARTICIPAÇÃO EM VOLUME DO ETANOL HIDRATADO EM RELAÇÃO À GASOLINA C	PARTICIPAÇÃO DO MODO RODOVIÁRIO NO SETOR DE TRANSPORTE	CONSUMO		PARTICIPAÇÃO RELATIVA DE ÔNIBUS ELÉTRICOS POR UF EM RELAÇÃO A FROTA NACIONAL	LICENCIAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (BEV E PHEV) 2022 A 2026
			FÓSSIL	RENOVÁVEL		
AC	12%	96%	80%	20%	~0%	553 (0,13%)
AL	14%	91%	79%	21%	~0%	6.117 (1,49%)
AP	2%	96%	82%	18%	~0%	738 (0,18%)
AM	27%	86%	78%	22%	~0%	5.025 (1,22%)
BA	22%	95%	78%	22%	2%	14.662 (3,56%)
CE	11%	92%	80%	20%	~0%	10.517 (2,55%)
DF	26%	76%	73%	27%	0,5%	39.609 (9,62%)
ES	14%	97%	80%	20%	~0%	11.752 (2,85%)
GO	53%	96%	66%	34%	1,4%	12.433 (3,02%)
MA	6%	96%	83%	17%	~0%	4.444 (1,08%)
MT	65%	92%	70%	30%	~0%	6.580 (1,60%)
MS	34%	97%	76%	24%	~0%	4.133 (1,00%)
MG	36%	93%	74%	26%	~0%	26.966 (6,55%)
PA	8%	71%	84%	16%	3,3%	4.059 (0,99%)
PB	20%	95%	75%	25%	~0%	4.570 (1,11%)
PR	30%	97%	76%	24%	1,6%	30.005 (7,29%)
PE	17%	89%	79%	21%	~0%	13.464 (3,27%)
PI	9%	98%	81%	19%	~0%	3.552 (0,86%)
RJ	32%	94%	78%	22%	~0%	25.706 (6,24%)
RN	9%	92%	81%	19%	~0%	5.876 (1,43%)
RS	3%	97%	82%	18%	0,8%	22.779 (5,53%)
RO	6%	84%	83%	17%	~0%	2.642 (0,64%)
RR	6%	96%	83%	17%	~0%	602 (0,15%)
SC	8%	98%	81%	19%	~0%	27.421 (6,66%)
SP	53%	89%	65%	35%	88%	123.002 (29,86%)
SE	12%	97%	79%	21%	1%	2.979 (0,72%)
TO	13%	96%	83%	17%	~0%	1.678 (0,41%)

Fonte: Elaborado a partir de ANP (2024), abordagem TEMA (2025), adaptado de Goes (2023), e Anuário Estadual de Mudanças Climáticas (CBC, 2026).

O etanol atua como meio de distribuição maduro para a transição energética no Brasil, conforme as figuras 4a e 4b, e análises de produção até o seu uso indica sua superioridade ambiental frente aos combustíveis fósseis. Além disso, a integração de tecnologias BECCS pode possibilitar a obtenção de emissões negativas de CO₂, enquanto a hibridização (HEV) otimiza a descarbonização sem sobrecarregar a infraestrutura elétrica. Por fim, protocolos de certificação rigorosos são essenciais para a sustentabilidade da cadeia produtiva.

Assim, o panorama estadual evidencia que a descarbonização do setor dependerá da combinação entre ativos já maduros, como os biocombustíveis, e avanços graduais em eletrificação, eficiência energética e mudança modal.

Diante disso, as variações nos índices de emissão transcendem a dimensão estritamente ambiental, atuando como indicadores diretos das disparidades na oferta de infraestrutura, na especialização econômica local e nas distâncias geográficas que separam as zonas produtoras dos principais centros urbanos e portos regionais. O êxito das estratégias de mitigação passa a depender da intensidade e da escala de implementação dessas soluções combinadas. No âmbito subnacional, isso pressupõe a coordenação interfederativa para viabilizar projetos de impacto sistêmico. No nível federal, o avanço está condicionado ao fortalecimento de políticas de comando e controle voltadas à bioenergia, à modernização do ambiente regulatório, sobretudo para a rede de recarga pública de alta capacidade, e à efetiva integração dos transportes. O Quadro 3 sugere de forma resumida o foco de atuação da União e das Unidades Federativas e o impacto esperado com as medidas destacadas para a descarbonização do setor.

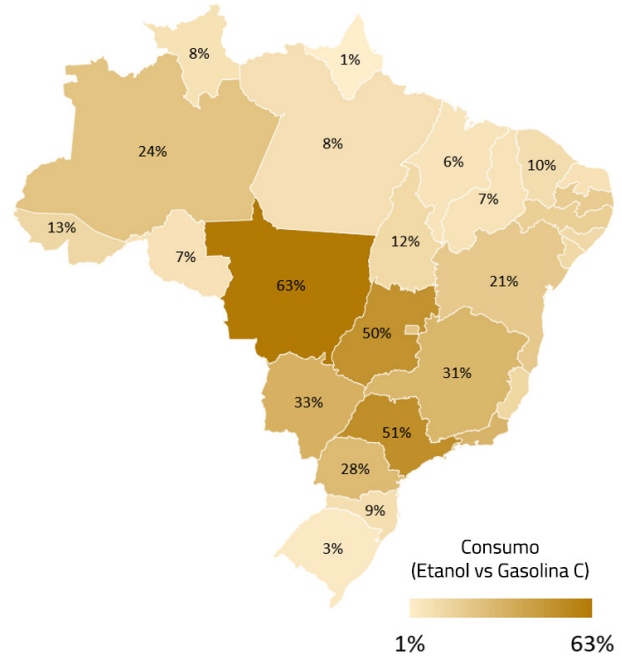


Figura 4a

Volume de etanol hidratado consumido em relação à gasolina C (m³).

Fonte: Elaborado a partir de ANP (2024).

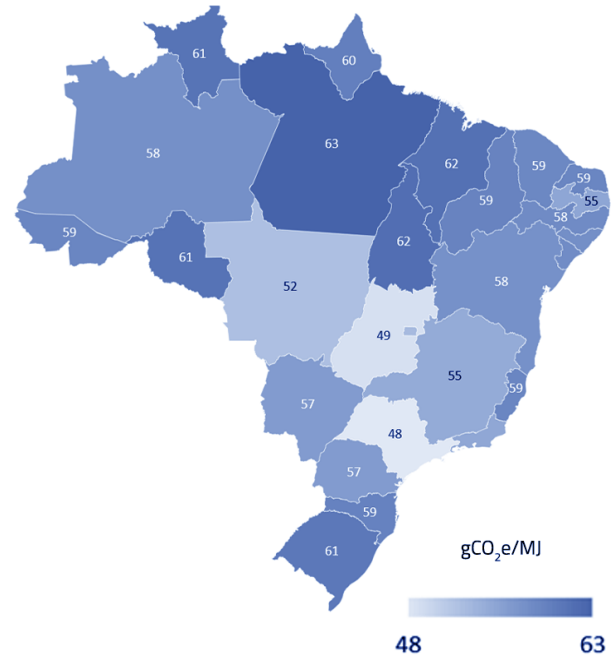


Figura 4b

Intensidade de carbono por unidade da federação (gCO₂e/MJ).

Fonte: Elaborado a partir de ANP (2024), abordagem TEMA (2025), adaptado de Goes (2023), e Anuário Estadual de Mudanças Climáticas (CBC, 2026)

QUADRO 3: CONDICIONANTES E IMPACTOS SISTÊMICOS ESPERADOS PARA CADA NÍVEL DE COMPETÊNCIA

HORIZONTE	FOCO DE ATUAÇÃO	COMPETÊNCIA PRINCIPAL	IMPACTO ESPERADO
IMEDIATO	Ações de comando e controle (definição dos percentuais de mistura de biocombustíveis à gasolina e ao diesel).	União (Âmbito Federal)	Redução imediata nas emissões considerando o ciclo de vida.
MÉDIO PRAZO	Eletrificação do transporte público coletivo e controle residual do consumo de etanol em frotas cativas.	Estados (Âmbito Subnacional)	Redução estrutural de emissões pela eletromobilidade. O êxito depende da intensidade/escala da tecnologia e da penetração de biocombustíveis para contrabalançar a dependência fóssil.
LONGO PRAZO	Investimentos em infraestrutura de transporte de grande capacidade (Ferrovias e Cabotagem).	União e Estados (Exige coordenação interfederativa/ interestadual)	Impacto sistêmico na descarbonização através da integração intermodal e redução da dependência do modo rodoviário.

3.2. Gargalos do setor de transporte diante das mudanças climáticas

O sistema de transporte está cada vez mais exposto aos impactos das mudanças climáticas. Evidências do 6º Relatório do IPCC indicam aumento da intensidade das chuvas no período úmido e redução da umidade na estação seca, especialmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Nesse contexto, a infraestrutura viária é altamente suscetível a inundações e alagamentos, agravados pela baixa permeabilidade dos solos e pela crescente impermeabilização urbana. Além disso, a eletrificação do transporte introduz novos desafios: o aumento das temperaturas e das ondas de calor compromete o desempenho e a vida útil de baterias de íon-lítio e de componentes como inversores e transformadores da rede de distribuição.

A resiliência da infraestrutura de energia e transportes frente à crise climática exige investimentos urgentes em adaptação e superdimensionamento de ativos, demandando sistemas preparados para regimes climáticos severos. A rede elétrica e as estações de recarga são vulneráveis a tempestades com ventos fortes e descargas atmosféricas, que podem causar flutuações de tensão, sobrecargas e interrupções prolongadas no fornecimento, comprometendo a regularidade do serviço. Projeções de longo prazo indicam a expansão das áreas de alta suscetibilidade a esses riscos (AdaptaBrasil, 2026), exigindo que a infraestrutura seja dimensionada para suportar regimes climáticos significativamente mais severos.

O planejamento do setor deve priorizar obras de contenção de encostas, grampeamento do solo e sistemas de drenagem profunda em áreas de deslizamento, capazes de gerenciar o escoamento hídrico e evitar a perda de esta-

bilidade do terreno, enquanto regiões costeiras e urbanas necessitam de barreiras contra a elevação do mar, além de corredores verdes e pavimentos refletivos para mitigar ilhas de calor, preservando a integridade dos materiais de pavimentação, que podem sofrer deformações sob temperaturas extremas. Essa modernização da infraestrutura física deve ser integrada ao monitoramento em tempo real para garantir a segurança social e a viabilidade econômica das cidades.

Outro gargalo enfrentado pelo setor de transportes é a baixa disponibilidade de infraestrutura para modos de alta capacidade, onde o cenário atual das ferrovias no Brasil apresenta um desafio estrutural complexo, o qual envolve estudos para a reativação de aproximadamente 7.400 km de trilhos inativos que exigem um investimento estimado em 75 bilhões de reais (Folha de São Paulo, 2025). Além disso, nenhum dos 61 trechos analisados possui viabilidade econômica estritamente privada. Isso ocorre porque a reconstrução apresenta custo médio de R\$ 10 milhões por quilômetro, que somado aos passivos acumulados por décadas de abandono, como invasões e degradação física, impede que a receita operacional cubra os custos iniciais e garanta o retorno esperado pelos investidores sem o aporte direto de recursos públicos (Folha de São Paulo, 2025).

Nesse contexto, a viabilização dessas linhas férreas está atrelada, por exemplo, a modelos de financiamento de projetos e parcerias público-privadas. Como cerca de 6.102 km que demandam subsídios operacionais permanentes, o financiamento não pode depender unicamente do fluxo de caixa do projeto, sendo necessária a estruturação de garantias estatais e novos marcos regulatórios, como os chamamentos públicos e concessões baseadas no critério de menor valor de subsídio, como no caso do projeto da EF-118.

Quanto ao perfil de utilização dos trechos, há uma predominância do transporte de cargas como principal vetor de viabilidade econômica. Dos cerca de 7.400 km recuperáveis, aproximadamente 5.900 km seriam prioritariamente para carga, 1.200 km para modelo misto (carga e passageiros) e apenas cerca de 300 km exclusivamente para passageiros, concentrados em regiões metropolitanas e ainda dependentes de subsídios contínuos. Essa característica reflete a maior previsibilidade e capacidade de geração de receita dos fluxos de carga em larga escala, em contraste com os serviços de passageiros de média distância.

Além disso, no setor ferroviário a limitação da malha é agravada por entraves operacionais como conflitos urbanos, que representam um dos maiores obstáculos à eficiência de sua utilização. Por exemplo, a expansão desordenada das cidades resultou em milhares de passagens em nível e invasões de faixa de domínio, que forçam reduções bruscas de velocidade nesses perímetros urbanos, o que gerou aumento o consumo de combustível, elevação do tempo de viagem e aumento do risco e número de acidentes.

A predominância de modelos de concessão focados apenas na manutenção de vias já existentes, em detrimento da expansão da rede, gera dificuldade para financiamentos para projetos devido aos altos custos iniciais e do retorno tardio dos investimentos. Iniciativas recentes buscam enfrentar esse cenário através de incentivos governamentais destinados a destravar projetos de ferrovias, focando na simplificação de processos e na migração entre modos de transporte, visando o transporte de cargas para aumentar a atratividade do setor.

Já o aproveitamento das hidrovias no Brasil é restringido por uma infraestrutura precária e pelo baixo investimento ao longo dos anos

em obras de infraestrutura e manutenção. As principais dificuldades residem na necessidade de dragagem, derrocamento e sinalização de vias navegáveis, além da construção de eclusas que permitam a transposição de desníveis em algumas regiões. O setor também sofre com elevada burocracia, além de custos elevados com praticagem e tripulação. A disparidade de investimentos é considerada elevada, visto que em 2018, as necessidades estimadas para o setor eram na ordem de 500

vezes superiores ao orçamento autorizado, evidenciando a dependência do capital privado para a viabilização de novos portos e acessos terrestres (CNT, 2018).

A Figura 5 sintetiza as principais vulnerabilidades climáticas e os gargalos estruturais do sistema de transportes detalhados anteriormente, relacionando os impactos diretos na infraestrutura com as respectivas propostas de mitigação e adaptação.

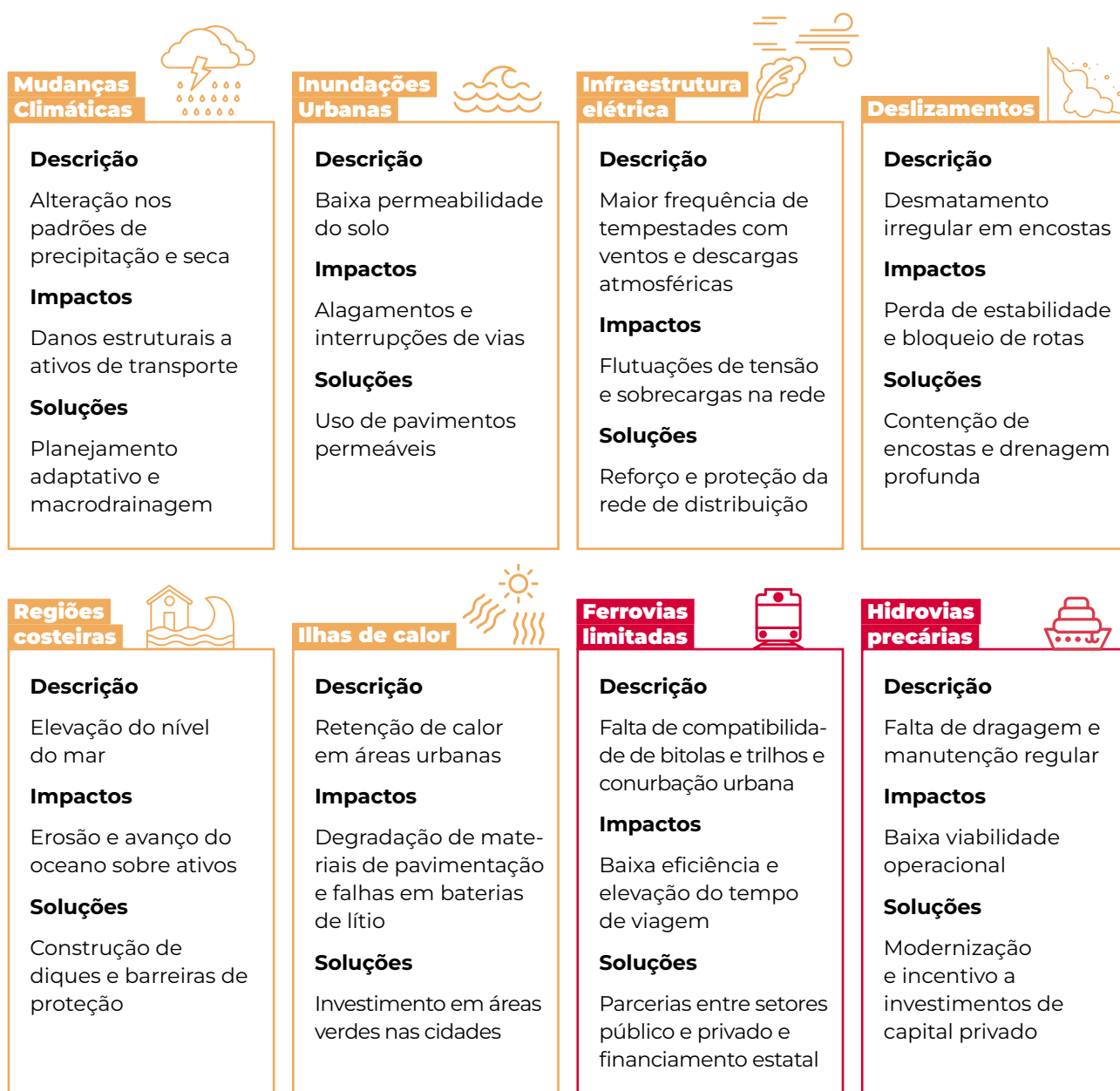


Figura 5 Panorama de Vulnerabilidades e Adaptação da Infraestrutura de Transportes

■ vulnerabilidades climáticas ■ vulnerabilidades estruturais

3.3. Estratégias de mitigação e adaptação para o sistema de transportes no Brasil

Estratégias de mitigação e adaptação convergem para a implementação de tecnologias de alta eficiência e infraestruturas adaptáveis, dimensionadas para suportar os impactos climáticos mais rigorosos. Nesse contexto, os ônibus elétricos representam um avanço importante, porque consomem menos energia do que os ônibus a diesel Euro VI e a intensidade de carbono na perspectiva de ciclo de vida integral (WTW, do inglês *Well-to-Wheel*), da produção ao uso, aproximadamente 13 vezes menor que a alternativa fóssil, conforme os parâmetros de emissões estimados de 1,6 kg CO₂e/km para os ônibus diesel e 0,12 kg CO₂e/km para os ônibus elétricos (EPE, 2025).

Para garantir a resiliência operacional do sistema de frotas eletrificadas diante de cheias e inundações frequentes, as diretrizes técnicas e editais de licitação devem exigir baterias com certificação de segurança UL 2580 (resistência à submersão temporária) e planos de contingência com rotas alternativas que evitem áreas cronicamente alagáveis. Além disso, para mitigar o estresse térmico causado por ondas de calor sobre as baterias e os componentes eletrônicos, torna-se essencial o uso de Sistemas de Gerenciamento de Baterias (BMS) com refrigeração ativa.

Essa estratégia de eletrificação é fortalecida por intervenções na infraestrutura civil e na matriz energética. O uso de sistemas de armazenamento de energia (BESS) com baterias de segunda vida surge como uma oportunidade para atuar como backup em apagões e como fonte de alívio nos picos de demanda da rede. Fora dos veículos, a substituição do asfalto convencional por blocos intertravados permeáveis melhora a drenagem pluvial e reduz a pegada de carbono da construção (Yu *et al.*, 2025). Adicionalmente, a instalação de soluções baseadas na natureza (SbN), como telhados verdes e jardins de chuva em terminais, contribui para

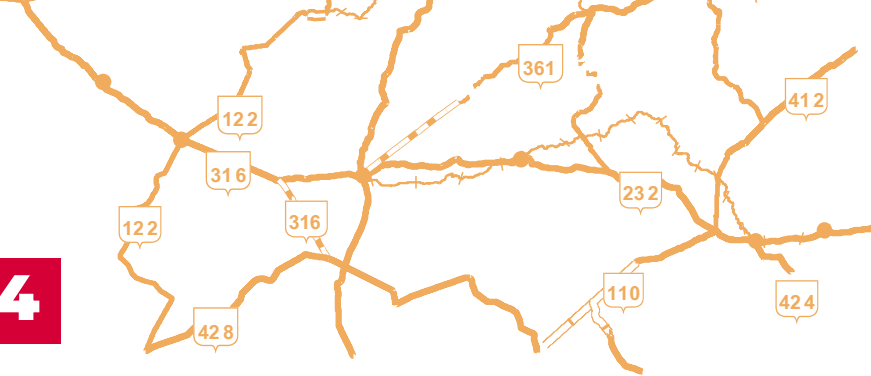
a regulação do microclima e mitiga ilhas de calor (Ximenes e Maglio, 2022). Do ponto de vista de mercado, a contratação de energia de fontes 100% renováveis no Mercado Livre de Energia assegura a sustentabilidade na origem e protege os custos operacionais contra a volatilidade do diesel e de bandeiras tarifárias por escassez hídrica (MME, 2023).

Na prática, projetos de eletromobilidade avançam pelo Brasil impulsionados pelo PAC e pelo Projeto AcoplaRE. Entre as iniciativas, destacam-se os estudos concluídos de pré-viabilidade para a Região Metropolitana de Salvador com foco na aquisição de 180 ônibus elétricos, Porto Alegre com o planejamento de 100 unidades (em sua maioria articulados), e a Região Metropolitana da Grande Vitória (ES) com mais 50 veículos voltados à redução de poluentes e ao conforto acústico. Em menor escala, Teresina projeta 30 veículos em estudos de pré-viabilidade e Rio Branco prepara a licitação de seis ônibus elétricos, desenhando infraestruturas de recarga estruturadas para suportar variações climáticas futuras.

Por fim, o planejamento reconhece o papel estratégico do etanol devido à sua cadeia de produção e distribuição já consolidada no país. Com uma baixa intensidade de carbono na perspectiva WTW, o biocombustível reduz drasticamente os GEEs e os poluentes locais, como óxidos de enxofre (SO₂) e materiais particulados (MP), podendo ter sua performance otimizada com tecnologias de captura e armazenamento de carbono (BECCS) e certificações de desmatamento zero. Assim, a combinação entre biocombustíveis e eletrificação por meio de veículos HEV configura-se como uma trajetória acelerada e financeiramente viável de transição. Esta integração cumpre metas climáticas de curto e médio prazo sem pressionar os orçamentos com investimentos imediatos em infraestrutura de recarga em larga escala, atendendo de forma imediata aos segmentos onde a eletrificação total ainda não é viável. Uma síntese das estratégias pode ser observada no Quadro 4.

QUADRO 4: ESTRATÉGIAS: MOBILIDADE SUSTENTÁVEL, ADAPTAÇÃO E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

EIXO ESTRATÉGICO	TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES	IMPACTOS, RESILIÊNCIA E BENEFÍCIOS	MÉTRICAS, DIRETRIZES E CASOS PRÁTICOS
ELETRIFICAÇÃO DA FROTA	Ônibus 100% Elétricos	- Consumo energético menor que o diesel Euro VI. - Descarbonização profunda no ciclo de vida integral (<i>Well-to-Wheel</i>).	- Pegada de carbono cerca de 13 vezes menor que a fóssil. - Elétrico: 0,12 kg CO₂e/km vs Diesel: 1,6 kg CO₂e/km (EPE, 2025).
ELETRIFICAÇÃO DA FROTA	Segurança Fluvial e Térmica	- Proteção e resiliência dos ativos contra inundações. - Proteção da eletrônica de bordo contra ondas de calor excessivo.	- Exigência da norma de submersão temporária UL 2580. - Sistemas BMS com refrigeração ativa. - Planos de contingência com rotas alternativas.
INFRA-ESTRUTURA E RESILIÊNCIA URBANA	Sistemas BESS (Baterias de 2ª Vida)	- Armazenamento estratégico de energia. - Backup contra apagões e alívio da rede nos horários de pico.	Economia circular aplicada através do reuso de baterias degradadas como BESS (segunda vida).
	Pavimentação Permeável e Sbn	- Facilitação da drenagem pluvial e controle de escoamento superficial. - Atenuação do microclima e das ilhas de calor. - Baixa pegada de carbono na construção civil.	- Substituição de asfalto por blocos intertravados (Yu et al., 2025). - Instalação de telhados verdes e jardins de chuva em terminais (Ximenes e Maglio, 2022).
	Mercado Livre de Energia	- Garante a origem 100% limpa da matriz do transporte. - Proteção financeira (<i>hedge</i>) contra flutuações tarifárias e do diesel.	- Contratação de fontes 100% renováveis. - Proteção contra bandeiras de escassez hídrica (MME, 2023).
AVANÇO GEOGRÁFICO DA ELETROMOBILIDADE	Programas de Renovação (PAC e AcoplaRE)	- Substituição tecnológica. - Redução de poluentes locais e forte melhoria no conforto acústico. - Infraestruturas de recarga preparadas para as expectativas de mudanças do clima.	R. M. de Salvador: Estudo para 180 ônibus elétricos. Porto Alegre: Estudo para 100 ônibus elétricos (maioria articulados). R. M. Grande Vitória: estudo para 50 ônibus elétricos. Teresina: Estudo para 30 veículos elétricos. Rio Branco: Licitação de 6 ônibus elétricos.
BIOCOMBUSTÍVEIS E TRANSIÇÃO HÍBRIDA	Etanol e Veículos HEV	- Baixa intensidade de emissões de GEE de forma global. - Redução imediata de poluentes locais (SO₂ e materiais particulados). - Permite o cumprimento de metas de curto/médio prazo em setores de difícil eletrificação total.	- Cadeia logística e produtiva já amplamente consolidada no Brasil. - Combinação tecnológica que dispensa investimentos imediatos em redes de recarga. - Potencializado por tecnologias BECCS e protocolos de desmatamento zero.



Recomendações de políticas para transição energética do setor

A governança climática subnacional no Brasil ainda apresenta avanços desiguais. Segundo o Anuário 2026, apenas 15 das 27 unidades federativas possuem inventários estaduais de emissões de GEE, enquanto outras quatro encontram-se em estágio avançado de elaboração. Apesar do progresso em algumas regiões, persistem lacunas relevantes, sobretudo no Norte (Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima) e no Nordeste (Alagoas, Paraíba e Maranhão), que limitam a qualidade dos diagnósticos e a comparabilidade dos dados.

A ausência desses registros nessas localidades limita a precisão do diagnóstico setorial e a formulação de estratégias locais de mitigação, tornando a universalização dos inventários uma prioridade para a governança climática nacional.

As ações de mitigação de emissões fundamentam-se na redução da necessidade de deslocamentos motorizados. Nesse contexto, o trabalho remoto contribui para a eliminação de viagens desnecessárias e a redução da carga sobre a infraestrutura viária, resultando no corte direto de emissões e no aumento da eficiência operacional do transporte público.

A mobilidade ativa, baseada em caminhadas e no uso da bicicleta, é a alternativa de emissão zero mais eficaz para deslocamentos curtos, desde que conte com infraestrutura segura e integrada ao transporte público, ajudando a resolver o “desafio da última milha” (ou *last mile challenge*), termo que se refere ao trecho final do deslocamento entre uma estação ou

ponto de transporte público e o destino final do usuário, como casa ou trabalho (Torres, 2020; Mohiuddin, 2021).

Paralelamente, investimentos em transporte coletivo de alta capacidade e sua eletrificação são essenciais, mas enfrentam barreiras como elevado CAPEX e escassez de financiamento dedicado (Sclar et al., 2019), além de instabilidade regulatória e contratos de concessão inadequados no Brasil, o que desestimula investimentos e favorece o transporte individual.

O uso de biocombustíveis e a eletrificação das frotas (especialmente na logística urbana e no transporte coletivo), reduz poluentes locais e GEE. Esse cenário, quando integrado a políticas como as Zonas de Baixa Emissão (ZBE), definidas como áreas urbanas com restrições para reduzir poluição e emissões de carbono (Carvalho Neto *et al.*, 2026), potencializa os avanços que, contudo, dependem da manutenção de uma matriz elétrica limpa e da integração entre mudanças comportamentais, priorização do transporte coletivo e inovação tecnológica.

A metodologia *Avoid-Shift-Improve* (ASI), como demonstrado no Quadro 5, é uma estrutura de planejamento estratégico utilizada no planejamento de transportes e logística para promover a mobilidade sustentável e a descarbonização. Em vez de focar apenas em soluções tecnológicas, a metodologia propõe uma hierarquia de intervenções que prioriza a eficiência sistêmica.

QUADRO 5: METODOLOGIA ASI NOS SEGMENTOS DE PASSAGEIROS E CARGAS

PILAR ASI	APLICAÇÃO: TRANSPORTE DE PASSAGEIROS	APLICAÇÃO: TRANSPORTE DE CARGAS	IMPACTOS GERAIS & BENEFÍCIOS SISTÊMICOS
AVOID (EVITAR OU REDUZIR)	Uso do solo: Planejamento urbano integrado e denso (Desenvolvimento Orientado ao Transporte - DOT). Reduz distâncias de viagem (Digitalização: Fomento ao teletrabalho (<i>home office</i>) e <i>e-commerce</i> para eliminar viagens desnecessárias.	Otimização de cadeias: Minimização de viagens sem carga (retorno vazio / <i>backhaul</i>). Desenho de rede: Criação de corredores alternativos eficientes entre zonas de produção e consumo para evitar rotas longas e ineficientes.	• Redução direta no consumo de energia. • Alivia a saturação da infraestrutura rodoviária e urbana.
SHIFT (MUDAR OU TRANSFERIR)	Modos coletivos: Migração do carro particular para transportes de média/alta capacidade (BRT, Metrô, VLT), menor consumo por passageiro-km Mobilidade ativa: Incentivo à caminhada e bicicleta por meio de infraestrutura segregada e segura. Integração intermodal: Estações que facilitam a transição entre modos ativos e coletivos.	Ferrovias: Expansão e reativação da malha ferroviária nacional (atualmente 70% ociosa ou subutilizada). Cabotagem e Hidrovias: Aproveitamento dos 8.500 km de costa e vias navegáveis interiores. Integração multimodal: Conectividade física eficiente entre redes hidroviárias e ferroviárias para longas distâncias	• Transferência de modos intensivos em carbono para opções com menor impacto ambiental. • Aumento da capacidade total do sistema. • Redução drástica de congestionamentos, acidentes e emissões por t.km ou pax/km.
IMPROVE (MELHORAR)	Eletrificação: Transição de frotas convencionais para tecnologias de emissão zero (baterias ou células a combustível). Combustíveis: Uso de energias alternativas limpas (biometano, etanol e hidrogênio verde) nas frotas de veículos leves e pesados. Sistemas Inteligentes (ITS): Otimização da operação para reduzir tempo de viagem e consumo.	Eficiência veicular: Metas específicas de eficiência energética para veículos pesados (aprimorando o Rota 2030). Biocombustíveis: Incentivo ao uso de misturas reguladas de HVO (óleo vegetal hidrotratado) e biodiesel. Eletrificação de redes: Foco em ferrovias de carga e caminhões para logística urbana de curta distância (última milha). Digitalização logística: ITS aplicado a processos portuários para eliminar filas e desperdício de combustível.	• Atua diretamente na demanda remanescente. • Redução contínua de emissões por quilômetro rodado. • Quebra da dependência de combustíveis fósseis e do diesel importado.

O transporte de cargas no Brasil enfrenta uma vulnerabilidade estratégica por ser majoritariamente rodoviário (cerca de 70%) e altamente dependente do óleo diesel. A aplicação da metodologia estruturada ASI gera externalidades positivas vitais para o país. Na saúde, a redução de poluentes locais (como material particulado e NOx) melhora a qualidade do ar em corredores urbanos e portos, diminuindo gastos públicos com doenças respiratórias. Na economia e segurança energética, a estratégia reduz a necessidade de importação de diesel e protege a logística nacional contra a volatilidade dos preços internacionais do petróleo e oscilações cambiais. No clima, o ASI é o pilar central para o cumprimento da NDC brasileira, convertendo um sistema ineficiente em uma rede resiliente e de baixo carbono.

A metodologia ASI no setor de cargas transcende a agenda ambiental, consolidando-se como uma estratégia de soberania econômica. Ao integrar a otimização de fluxos (*Avoid*), a migração para modos de alta capacidade (*Shift*) e a eficiência da frota (*Improve*), o país não apenas reduz emissões, mas moderniza sua infraestrutura, transformando o antigo custo logístico em um ativo de competitividade sustentável.

Diferente do setor de cargas, onde o ganho é majoritariamente econômico e logístico, o ASI no transporte de passageiros gera benefícios sociais imediatos: reduz o trânsito, descarboniza o ar dos centros urbanos, melhora a saúde pública pelo estímulo à atividade física e democratiza o acesso ao espaço público.



Considerações e recomendações finais

A análise do presente estudo consolida evidências de que a trajetória das emissões de GEE no setor de transportes brasileiro exige uma reformulação das políticas públicas setoriais. O crescimento de 56% das emissões entre 2005 e 2024, superior ao ritmo de expansão do PIB no mesmo período, sinaliza que o modelo de desenvolvimento vigente é ineficiente e ambientalmente insustentável. Reverter esse quadro requer uma abordagem integrada, capaz de contemplar as especificidades operacionais e tecnológicas do transporte de passageiros e de carga, orientada por governança baseada em dados e por capacidade adaptativa frente aos efeitos das mudanças climáticas.

Os resultados também mostram que a descarbonização do setor não depende de uma solução única, mas da integração entre ativos já disponíveis, inovação tecnológica e infraestrutura resiliente. Nesse contexto, o etanol se destaca como ativo estratégico imediato da transição energética brasileira, por se apoiar em uma cadeia madura de produção, distribuição e uso final. Sob a perspectiva *well-to-wheel*, seu desempenho ambiental é superior ao dos combustíveis fósseis, contribuindo para reduzir a intensidade de carbono, especialmente nos estados com maior penetração de biocombustíveis. A incorporação de tecnologias BECCS (Captura e Armazenamento de Carbono Associado à Bioenergia), amplia ainda mais esse potencial, podendo viabilizar, em rotas específicas, emissões líquidas negativas de CO₂. Ao lado disso, a combinação entre etanol e veículos híbridos, bem como o uso de

biodiesel e biometano em segmentos estratégicos, constitui uma via de transição factível no curto e no médio prazo, sobretudo onde a eletrificação plena ainda enfrenta limitações de infraestrutura.

No transporte de passageiros, as políticas públicas devem priorizar a consolidação do *framework Avoid-Shift-Improve* como eixo do planejamento urbano, incentivando a migração do transporte individual para modos coletivos de alta capacidade e para a mobilidade ativa. A estabilização recente das emissões nesse segmento não deve ser interpretada como sinal de suficiência, mas como oportunidade para acelerar a transição para frotas de baixa ou zero emissão. Nesse sentido, a eletrificação do transporte público e do transporte urbano de carga apresenta elevado potencial de eficiência, embora sua expansão dependa de marcos regulatórios adequados, financiamento para infraestrutura de recarga e gestão inteligente da demanda sobre a rede elétrica.

Além da mitigação, a resiliência da infraestrutura de transportes diante de eventos climáticos extremos deve ser tratada como prioridade estratégica. A incorporação de soluções baseadas na natureza, a exemplo de sistemas de drenagem sustentáveis, taludes verdes, pavimentos permeáveis e telhados verdes em estacionamentos e paradas de ônibus e pavimentação ecológica são medidas que visam contribuir com a continuidade operacional, reduzir prejuízos econômicos e ampliar a capacidade adaptativa do setor.

Nesse cenário, a descarbonização efetiva depende também da superação da fragmentação institucional, o que torna indispensável o fortalecimento de instrumentos de monitoramento, transparência e coordenação entre os diferentes níveis de governo.

A trajetória recente das emissões demonstra que o modelo atual atingiu seu limite de sustentabilidade, exigindo uma transição imediata para uma governança orientada por evidências e articulada com metas de adaptação e mitigação.

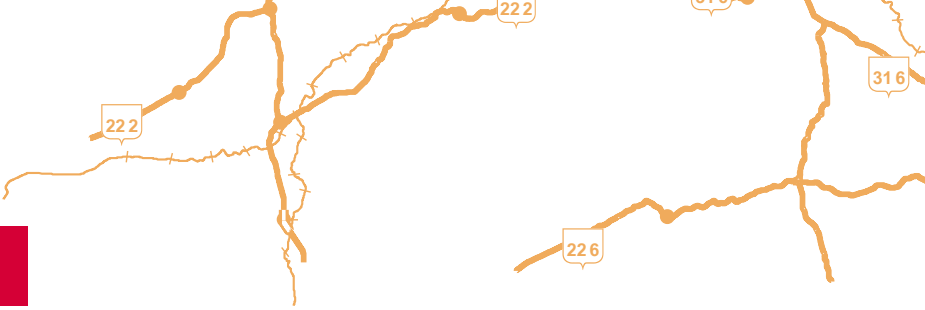
Para viabilizar essa transformação, recomendam-se as seguintes ações prioritárias:

» **Monitoramento:** Consolidar os planos estaduais (ex., Planos de Mobilidade, planos estaduais de logística e transportes, entre outros) como as bases técnicas definitivas para o planejamento dos estados em consonância com os municípios. A centralização de inventários estaduais e a adoção de *benchmarks* de eficiência permitirão que as decisões governamentais abandonem o caráter reativo e passem a ser fundamentadas em evidências em tempo real.

» **Tecnologia e Infraestrutura:** Promover estratégias entre biocombustíveis e eletromobilidade, priorizando a eletrificação do transporte público e particular, priorizando o uso de ativos imediatos (etanol, biodiesel e biometano) onde a infraestrutura já está estabelecida.

» **Resiliência e Adaptação:** Integrar soluções baseadas na natureza e sistemas de drenagem sustentáveis aos projetos de infraestrutura de transporte, de forma a maximizar a continuidade operacional frente ao aumento de eventos climáticos extremos.

Por fim, a articulação entre marcos regulatórios, instrumentos de monitoramento e planejamento de longo prazo oferece ao Brasil a oportunidade de transformar o atual passivo ambiental do setor de transportes em uma agenda estratégica de desenvolvimento. Ao alinhar descarbonização, resiliência e eficiência sistêmica, o país pode avançar no cumprimento de suas metas climáticas e responder de forma mais consistente à demanda social por sistemas de transporte limpos, confiáveis e preparados para os desafios futuros.



REFERÊNCIAS

1. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2025. São Paulo: ANFAVEA, 2025. Disponível em: https://anfavea.com.br/site/wp-content/uploads/2025/04/DIGITAL-ANU-ARIO-2025altafinal_compressed-1.pdf. Acesso em: 11 abr. 2026.
2. BRASIL. Primeiro Relatório Bial de Transparência à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BTR1). Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes>. Acesso em: abril/2026.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: ano-base 2024. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2025. Disponível em: https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2025/12/IEMA_inventariorodoviario.pdf. Acesso em: abril/2026.
4. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. AdaptaBrasil MCTI: plataforma de dados sobre o clima. Rio de Janeiro: MCTI, [2026]. Disponível em: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>. Acesso em: 2 jun. 2026.
5. Carvalho Neto, D. D. d., Gonçalves, D. N. S., Wagner, G. M., Reis, A. C., Marujo, L. G., & D'Agosto, M. d. A. (2026). Governing Low- and Zero-Emission Zones in the Global South: An ASIF-Based Framework for Rio de Janeiro. Urban Science, 10(2), 93. <https://doi.org/10.3390/urbansci1002009>.
6. CNT - Confederação Nacional do Transporte. O Transporte Move o Brasil. Confederação Nacional do Transporte. 2018. Disponível em: O Transporte Move o Brasil. <https://www.cnt.org.br/propostas-cnt-transporteasil>. Acesso em: 15 de abril de 2026.
7. CNT - Confederação Nacional do Transporte. Transporte e Desenvolvimento Socioeconômico: Emissões de GEE. Brasília: CNT, 2023.
8. EPE. Balanço Energético Nacional - Relatório Síntese 2025 (Ano base 2024). Brasília, Brazil: Empresa de Pesquisa Energética, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>.
9. ESTRADA DE FERRO PARANÁ OESTE S.A. (FERROESTE). R\$ 82 milhões: governador autoriza pavimentação do terminal da Ferroeste. Portal Ferroeste, Cascavel, PR, 24 fev. 2025. Disponível em: <https://www.ferroeste.pr.gov.br/Noticia/R-82-milhoes-governador-autoriza-pavimentacao-do-terminal-da-Ferroeste>. Acesso em: 21 maio 2026.
10. Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., La Rovere, E. L., & de Mello Bandeira, R. A. (2020a). MRV framework and prospective scenarios to monitor and ratchet up Brazilian transport mitigation targets. Climatic Change, 162(4), 2197-2217.
11. Folha de São Paulo. Ferrovias abandonadas têm 7.400 km que podem ser reativados e dependem de R\$ 75 bi públicos 2025. Disponível em: [Ferrovias antigas têm 7.400 km que podem ser reativados - 13/04/2026 - Economia - Folha](https://www.folha.com.br/ferrovias-antigas-tem-7400-km-que-podem-ser-reativados-13/04/2026-Economia-Folha). Acesso em: 14 abr. 2026.
12. Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., Márcio de Almeida, D. A., de Mello Bandeira, R. A., & Grottera, C. (2020b). Transport-energy-environment modeling and investment requirements from Brazilian commitments. Renewable Energy. Acesso em: 10 abril de 2026.
13. Gonçalves, D.N.S.; Goes, G.V.; D'Agosto, M. de A (2019a). Transportes no Brasil – Panorama e Cenários Prospectivos para atendimento da Contribuição Nacionalmente Determinada; Rio de Janeiro, 2019. Available at: <https://ibts.eco.br/relatorios-tecnicos/>. Acesso em: 10 abril de 2026.
14. 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. Acesso em: 10 abril de 2026.
15. Gonçalves, D.N.S.; Goes, G.V.; D'Agosto, M. de A (2020). Energy transition in Brazil: Paris Agreement compatible scenario for the transport sector up to 2050. Available at: <https://ibts.eco.br/relatorios-tecnicos/>. Acesso em: 10 abril de 2026.
16. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). AR6 Sixth Assessment Report. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>. Acesso em: 20 maio 2026.
17. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Global Transport CO2 Emissions by Mode. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org>.
18. Mohiuddin, Hossain. Planning for the first and last mile: a review of practices at selected transit agencies in the United States. Sustainability, [s. l.], v. 13, n. 4, art. 2222, 2021. DOI: 10.3390/su13042222.
19. RITCHIE, Hannah. Which form of transport has the smallest carbon footprint? Our World in Data, 2020 (Atualizado em 2024).
20. OSML - Observatório da Mobilidade Sustentável. Intensidade de carbono do transporte. Disponível em: <https://osml.eco.br/intensidade/>. Acesso em: 2 jun. 2026.
21. Ximenes, D.S.S.; MAGLIO, I. C. Soluções Baseadas na Natureza e adaptação climática no Brasil: estudo de cidades costeiras vulneráveis. Revista LABVERDE, v. 12, n. 1, p. 183-206, 21 nov. 2022.
22. WORLD BANK. GDP (constant 2015 US\$). Base de dados: World Development Indicators. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?locations=BR>. Acesso em: abril/2026.
23. YU, Huayang et al. Carbon emission assessment in asphalt pavement maintenance: A comparative study of five methods. Case Studies in Construction Materials, v. 22, p. e04668, jul. 2025.



CENTRO
BRASIL
NO CLIMA



OBSERVATÓRIO ESTATUAL
DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS