

Diretrizes Nacionais para Descarbonizar o Transporte Urbano de Carga





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente da República

e Ministro do Desenvolvimento, Indústria,

Comércio e Serviços

Geraldo José Rodrigues Alckmin Filho

Ministra do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Marina Silva

Secretário Nacional de Meio Ambiente Urbano,

Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental

Adalberto Felício Maluf Filho

EQUIPE TÉCNICA DO MINISTÉRIO DO MEIO

AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

Diretor do Departamento

de Meio Ambiente Urbano

Mauricio Guerra

Coordenador-Geral de Cidades Sustentáveis

Salomar Mafaldo de Amorim Júnior

Coordenadora-Geral dos Ambientes Urbanos

à Mudança do Clima

Jennifer Viezzer

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Diretrizes Nacionais para Descarbonizar o Transporte Urbano de Carga

Brasília
MMA
2025

© 2025 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima ou o sítio da Internet no qual pode ser encontrado o original em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/diretrizes-nacionais-para-descarbonizar-o-transporte-urbano-de-carga.pdf>

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos/as autores/as e não refletem necessariamente a posição do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

EQUIPE TÉCNICA

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Ana Luísa Teixeira de Campos, Carlos Mauricio da Fonseca Guerra, Célia Regina Miranda Melo, Clara Reis, Jennifer Viezzer, Juliane Porto Cruz de Medeiros, Leonardo Mendonça de Lima, Mirela Garaventta, Wiéner Anselmo de Medeiros Souza, Salomar Mafaldo de Amorim Júnior.

Representantes de outros órgãos do governo federal, de governos subnacionais, da sociedade civil, da comunidade científica e do setor privado também contribuíram com a elaboração deste documento.

Apoio técnico — WRI Brasil

Mariana Müller Barcelos
Maria Pollyana Abreu
Magdala Arioli
Santiago Silva

Apoio técnico visual — WRI Brasil

Ana Porazzi

Projeto gráfico, diagramação e ilustrações

Néktar Design

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823 Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
 Diretrizes nacionais para descarbonizar o transporte urbano de carga
 [recurso eletrônico] – Brasília, DF : MMA, 2025.
 122 p. : il. color.

Modo de acesso: World Wide Web
ISBN: 978-85-7738-502-7

1. Desenvolvimento econômico. 2. Impacto ambiental. 3. Políticas públicas. I.
Título.

CDU 629.43

IBAMA

Agradecimentos

- Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
 - ABDI
- Agencia Francesa de Desenvolvimento – AFD
- Agência Municipal do Meio Ambiente de Goiânia
 - AMMA
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL
- Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP
- Amazon
- AR70
- Arrow Mobility
- Associação Brasileira de Desenvolvimento – ABDE
- Associação Brasileira de Municípios
- Associação Brasileira de Veículos Elétricos – ABVE
- Associação Brasileira dos Proprietários de Veículos Elétricos – ABRAVEi
- Associação Nacional de Transporte Público – ANTP
- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA
- Ativa Logística
- Banco de Desenvolvimento da América Latina e do Caribe – CAF
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES
- Braspress Transportes Urgentes LTDA
- BYD
- C40 Cities Climate Leadership Group
- Centro de Excelência em Hidrogênio e Tecnologias Energéticas Sustentáveis - CEHTES/UFG
- CEVA Logistics
- Comexport
- Confederação Nacional da Indústria – CNI
- Confederação Nacional do Transporte – CNT
- Conselho Federal de Biologia – CFBio
- Conselho Internacional de Transporte Limpo
 - ICCT Brasil
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq
- Cullen Consulting
- Easy Volt Brasil
- Eletra Industrial Ltda/Tribo Consultoria
- Eletrobrás
- Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos
 - Correios
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE
- Fever Mobilidade
- Frente Nacional de Prefeitas e Prefeitos – FNP
- Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos – COPPETEC
- Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos – Finatec
- Fundação de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais – FUNDEP/UFMG
- Fundação Getúlio Vargas – FGV
- General Motors – GM
- Go Electric e-Mobility
- Grupo Oliver
- House Of Carbon
- Institute for Transportation and Development Policy Brasil – ITDP Brasil
- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE/UFRJ
- Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA
- Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino – IDOR
- International Finance Corporation Brasil – IFC
- Iveco Group

- JAC Motors
- JNR Transportes e Logística
- Laboratório de Energias para Mobilidade – LEMOB
- Latam Mobility
- LTC/Coppe/UFRJ e Lùth Engenharia, Mobilidade e Logística Sustentável (Lùth-e)
- Mercado Livre
- Mercedes Benz do Brasil
- MEV Mobilidade S.A.
- Mileto Tech Motors
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
 - MCTI
- Ministério da Fazenda - MF
- Ministério da Saúde - MS
- Ministério das Cidades - MCID
- Ministério das Comunicações - Mcom
- Ministério de Minas e Energia – MME
- Ministerio do Meio Ambiente e Mudança de Clima
 - MMA
- Ministério do Planejamento e Orçamento - MPO
- Ministério dos Transportes – MT
- Nansen
- NEWE Logística
- Pizzattolog
- Prefeitura Municipal de Balsas
- Prefeitura Municipal de Delmiro Gouveia
- Prefeitura Municipal de Macaé
- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
 - PNUMA
- PROSAFE Engenharia
- Raízen Power
- Recharge Brasil
- Reiter Log
- Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais/MG
- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais
 - SEMAD/MG
- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará – SEMAS/PA
- Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo – SEMIL/SP
- Secretaria de Mobilidade e Infraestrutura do Estado do Espírito Santo – SEMOBI/ES
- Secretaria Geral de Governo do Estado de Goiás/GO
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Cidade Ocidental/GO
- Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Mobilidade de Cidade Ocidental/GO
- Sindicato das Empresas de Transportes de Carga de São Paulo e Região – SETCESP
- Smart Freight Centre – SFC
- Solistica
- Spott
- SWAP-E - Frota Elétrica
- TEVX Higer
- Trans Cares
- TSA CARGO
- TSA Logística LTDA
- Tupy S.A.
- Union Internationale des Transports Publics – UITP
- Universidade de Brasília – UnB
- Universidade de São Paulo – USP
- Universidade Federal de Goiás – UFG
- Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
- Universidade Federal do Ceará – UFC
- Urbanização de Curitiba – URBS
- Urucuia Mobilidade Urbana
- Verda Global
- Via Pajuçara
- Vibra Energia
- Vivanco & Garcia Consulting
- Volkswagen Caminhões & Ônibus
- WEG
- World Wide Fund Brasil – WWF Brasil
- Zeroca

Listas de Siglas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial	CO₂	Dióxido de carbono (ver em Definições)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	CO₂eq	Dióxido de carbono equivalente (ver em Definições)
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica	Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ANM	Agência Nacional de Mineração	Embrapii	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres	EPE	Empresa de Pesquisa Energética
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	Finep	Financiadora de Estudos e Projetos
Brics	Grupo de países de economias emergentes formado por Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul, Arábia Saudita, Egito, Emirados Árabes Unidos, Etiópia, Indonésia e Irã.	FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Camex	Câmara de Comércio Exterior	FNMC	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica	Fonte	Fórum Nacional de Transição Energética
Cetem	Centro de Tecnologia Mineral	G20	Fórum internacional formado pelas principais economias do mundo
CH₄	Metano	GEE	Gases de efeito estufa
CIM	Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima	IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CNT	Confederação Nacional do Transporte	Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
CO	Monóxido de carbono		

INT	Instituto Nacional de Tecnologia	PCVR	Programa Cidades Verdes Resilientes
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores	PIT	Planejamento Integrado de Transportes
MCID	Ministério das Cidades	PlanMob	Plano Nacional de Mobilidade
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	Plante	Plano Nacional de Transição Energética
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços	PNL	Plano Nacional de Logística
MEC	Ministério da Educação	PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
MF	Ministério da Fazenda	PNTE	Política Nacional de Transição Energética
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional	PPP	Parceria Público-Privada
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima	PTE	Plano de Transformação Ecológica — Novo Brasil
MME	Ministério de Minas e Energia	SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões
Mover	Programa Mobilidade Verde e Inovação	TSB	Taxonomia Sustentável Brasileira
MP	Material particulado	VCC-H	Veículo movido a célula de combustível de hidrogênio (ver em Definições)
MT	Ministério dos Transportes	VEH	Veículo elétrico híbrido (ver em Definições)
NIB	Nova Indústria Brasil	VE	Veículo elétrico (ver em Definições)
NO_x	Óxidos de nitrogênio		
ONTL	Observatório Nacional de Transporte e Logística		
P&DI	Pesquisa, desenvolvimento e inovação		
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento		
Paten	Programa de Aceleração da Transição Energética		



Caminhão de carga circulando em via urbana.

São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil



RODÍZIO

INÍCIO
A 400 m

SÓ ÔNIBUS

2ª a 6ª 06-22

Caminhão de carga e carros
circulando em via urbana.

São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Prefácio Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

O Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em especial a Secretaria de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SQA), tem a honra de apresentar este trabalho contendo Diretrizes Nacionais para Descarbonizar o Transporte Urbano de Carga, resultado de uma exitosa parceria entre o WRI Brasil e este Ministério.

Descarbonizar o transporte urbano é etapa fundamental para que o Brasil cumpra com os compromissos firmados no Acordo de Paris e alcance as metas de redução de gases de efeito estufa. O trabalho conduzido pelo WRI demonstra que, com interesse e esforço coletivo, é possível pensarmos em alternativas para que o país avance na agenda de sustentabilidade aliada ao desenvolvimento econômico.

Ao propor uma visão de futuro, fruto de diálogo com diferentes atores envolvidos, setor governamental, setor privado, academia e sociedade, as Diretrizes Nacionais para Descarbonizar o Transporte Urbano de Carga representam um esforço em integrar

diferentes perspectivas, ao mesmo tempo em que consolidam indicações claras a serem adotadas para que o país possa de fato alcançar seus objetivos de descarbonização.

As Diretrizes propõem uma agenda comum a ser priorizada em âmbito federal, mas também ações a serem assumidas por estados e municípios, fortalecendo o compromisso com o federalismo climático. Aliar o potencial brasileiro de produção de biocombustíveis à eletrificação de frotas, sobretudo urbanas, representa um passo importante e inovador na transição energética do setor. Ao elaborar diretrizes para os eixos institucional, econômico e financeiro, tecnológico e dados e conhecimento, esse documento se propõe a ser um referencial para que gestores políticos e técnicos incorporem às políticas existentes e à construção de novas políticas princípios que conduzam nosso país para a transição energética necessária.

Adalberto Maluf

Secretário Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental

Prefácio WRI Brasil

O transporte de cargas é vital para o funcionamento das cidades e o desenvolvimento econômico. É por meio dele que as cadeias produtivas se integram e que os bens circulam e chegam às pessoas. No entanto, essa atividade estratégica também está entre as principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de transportes, além de contribuir significativamente para a poluição do ar nas cidades.

Nos últimos anos, a expansão do comércio eletrônico e das entregas por plataformas digitais intensificou ainda mais essa dinâmica no meio urbano. Se essa mudança de ordem tecnológica intensifica os impactos ambientais e sociais do transporte, ela também abre uma janela de oportunidade: ao enfrentarmos esse desafio de forma coordenada, o transporte de cargas pode ser protagonista na transição para cidades mais sustentáveis.

O Brasil tem condições únicas para liderar essa transformação. Com uma matriz elétrica limpa e em expansão, a substituição de veículos a combustão por opções de zero emissão pode reduzir drasticamente as emissões do setor. Isso sem falar no benefício social, para motoristas e para a população de modo geral — um estudo recente do WRI Brasil mostrou que o transporte de cargas é o principal poluidor do ar nas cidades.

Foi para contribuir com essa mudança que o WRI Brasil colaborou com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, com apoio da Drive Electric Campaign, no desenvolvimento destas diretrizes nacionais de descarbonização do transporte urbano de carga. Entre 2024 e 2025, realizamos dezenas de entrevistas e cinco oficinas que coletaram as perspectivas de representantes do governo federal, de estados e municípios, além de empresas, academia e sociedade civil. Esse processo coletivo permitiu construir propostas alinhadas às necessidades reais do setor e às ambições climáticas do país.

O relatório que agora apresentamos consolida essas contribuições. Ele aponta caminhos práticos para políticas públicas nacionais que podem acelerar a transição, como a eletrificação da frota, a promoção de soluções logísticas inteligentes e o redesenho do uso do espaço urbano. A experiência internacional mostra que a descarbonização do transporte de cargas é viável e traz ganhos em eficiência, inovação e competitividade.

Essa agenda não se limita a mitigar impactos ambientais: ela pode ser motor de desenvolvimento econômico e de modernização logística. Ao alinhar sustentabilidade com produtividade, o Brasil tem a chance de se tornar referência mundial em transporte urbano de cargas de baixas emissões, conciliando crescimento com responsabilidade climática.

O desafio é grande, mas o caminho está traçado. Com colaboração entre governos, empresas, academia e sociedade civil, é possível transformar o transporte de cargas em um vetor de prosperidade limpa. O WRI Brasil se orgulha de contribuir com esse esforço e reafirma seu compromisso em apoiar iniciativas que façam das nossas cidades lugares mais saudáveis, inovadores e sustentáveis para todos.

Luis Antonio Lindau
Diretor de Cidades do WRI Brasil



Entregadores descarregando caminhões.
São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Sumário

SUMÁRIO EXECUTIVO	14
DEFINIÇÕES	18

Introdução	24
-------------------------	----

Processo de construção	30
-------------------------------------	----

Diretrizes para descarbonização do transporte urbano de carga	36
--	----

VISÃO DE FUTURO PARA O BRASIL	38
METAS	38
MEDIDAS POR EIXO ESTRATÉGICO	44
Eixo institucional	46
Eixo econômico e financeiro	56
Eixo tecnológico	66
Eixo de dados e conhecimento	76

Considerações finais	86
-----------------------------------	----

REFERÊNCIAS	90
--------------------------	----

APÊNDICE – DIRETRIZES NA PRÁTICA: COMO AS POLÍTICAS PÚBLICAS EXISTENTES OU EM DESENVOLVIMENTO SE RELACIONAM COM AS DIRETRIZES NACIONAIS PARA DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA	98
Introdução	98
Políticas nacionais relacionadas ao contexto urbano	99
Eixo institucional.....	99
Eixo econômico e financeiro.....	101
Eixo tecnológico.....	101
Eixo de dados e conhecimento.....	102
Políticas nacionais relacionadas a logística e transporte rodoviário	103
Eixo institucional.....	103
Eixo econômico e financeiro.....	105
Eixo tecnológico.....	106
Eixo de dados e conhecimento.....	107
Políticas nacionais relacionadas a indústria	108
Eixo institucional.....	109
Eixo econômico e financeiro.....	110
Eixo tecnológico.....	111
Eixo de dados e conhecimento.....	113
Políticas nacionais relacionadas a energia e mineração	115
Eixo institucional.....	115
Eixo econômico e financeiro.....	117
Eixo tecnológico.....	117
Eixo de dados e conhecimento.....	118
Políticas nacionais relacionada a resíduos	118
Eixo institucional.....	119
Eixo econômico e financeiro.....	120
Eixo tecnológico.....	120
Eixo de dados e conhecimento.....	120

Sumário Executivo

INTRODUÇÃO

O transporte de carga é fundamental para as cadeias produtivas e de consumo, além de ser essencial para o desenvolvimento econômico mundial. No ambiente urbano, sua presença aumentou significativamente impulsionada pelo crescimento do comércio eletrônico durante a pandemia de Covid-19, o que evidenciou desafios relacionados à emissão de poluentes locais e de gases de efeito estufa (GEE), bem como à ineficiência logística e à mobilidade urbana.

Diante da transição econômica global frente às mudanças climáticas, a descarbonização do transporte de carga é estratégica, especialmente em países cuja logística depende fortemente do modo rodoviário. No Brasil, o maior emissor de GEE no setor de transportes é justamente o transporte de carga. Essa transição representa não apenas um desafio, mas também uma oportunidade para impulsionar a inovação tecnológica e fortalecer a posição do Brasil na transição energética global.

Com uma matriz elétrica majoritariamente limpa (88,2%) (EPE, 2025), o Brasil reúne condições privilegiadas para acelerar soluções de baixa emissão no transporte de carga.

Essa transição exige a articulação de políticas multissetoriais, envolvendo os setores de transporte, energia, indústria e planejamento urbano, em diferentes níveis de governo. No contexto urbano, em que a concentração de infraestrutura de recarga e atores é maior, reúnem-se condições ideais para que soluções de baixo carbono se desenvolvam e ganhem escala, gerando, além da redução de GEE, benefícios para a saúde pública e a qualidade ambiental da população urbana.

O projeto Descarbonização do Transporte Urbano de Carga foi concebido para elaborar diretrizes nacionais que orientem políticas públicas voltadas à redução das emissões no setor. Financiado pela Drive Electric Campaign e implementado pelo WRI Brasil em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, o projeto promoveu uma construção coletiva e multissetorial dessas diretrizes.

AS DIRETRIZES PARA DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA

O processo adotado incluiu três etapas: mapeamento e análise de políticas públicas nacionais e internacionais, entrevistas com

atores-chave e mobilização de diferentes setores para cocriação das diretrizes. Como principal resultado, foram elaboradas diretrizes para políticas públicas de nível federal, compostas por visão de futuro, metas e medidas, e organizadas em quatro eixos temáticos: institucional, econômico e financeiro, tecnológico e de dados e conhecimento.

A **Figura SE1** representa a estrutura dessas diretrizes, incluindo os detalhamentos elaborados para cada um dos eixos. Essas diretrizes refletem experiências, ambições e desafios dos diferentes atores e setores envolvidos, conectando-os a ações concretas apoiadas por políticas públicas existentes ou em desenvolvimento, bem como por boas práticas internacionais.

Figura SE1 | Estrutura das diretrizes



Fonte: Elaborado pelos autores.

As medidas trazem importantes recomendações orientadas ao potencial das tecnologias de zero emissão, reconhecendo também o papel complementar de soluções de transição diante

das especificidades do contexto nacional. A seguir, a **Figura SE2** apresenta as principais medidas por eixo temático.

Figura SE2 | Síntese das medidas propostas por eixo estratégico

EIXO INSTITUCIONAL



- Estratégia nacional para transição energética do transporte de carga;
- Integração com entes subnacionais;
- Ambiente colaborativo de experiências brasileiras de descarbonização veicular;
- Padronização e regulação;
- Setor público como indutor do mercado;
- Programa de inspeção veicular de emissões;
- Plano nacional de eletromobilidade.

EIXO TECNOLÓGICO



- Plano de expansão da infraestrutura de recarga para veículos elétricos;
- Desenvolvimento de polos tecnológicos especializados;
- Fomento a projetos-piloto de larga escala;
- Programas de P&DI para sustentabilidade e cadeia de valor para baterias;
- Rota tecnológica para transição energética do setor de transportes;
- Desenvolvimento da indústria nacional;
- Eficiência logística e integração multimodal.

EIXO ECONÔMICO E FINANCEIRO



- Incentivos financeiros à indústria nacional de veículos zero emissão;
- Criação de mecanismos de financiamento específicos para o transporte de carga;
- Incentivos financeiros para infraestrutura de recarga e adequação da rede elétrica;
- Incentivos financeiros ao uso de veículos de baixa e zero emissão;
- Programa de sucateamento e reciclagem de veículos抗igos;
- Desenvolvimento da cadeia de valor para reúso, reaproveitamento e reciclagem de baterias;
- Financiamento privado para descarbonização do transporte de carga.

EIXO DE DADOS E CONHECIMENTO



- Observatório nacional de transporte de carga e emissões;
- Projetos-piloto e P&DI;
- Integração público-privada para nacionalização de conhecimento;
- Profissionalização e capacitação;
- Integração e disseminação de conhecimento.

Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

As diretrizes apresentadas neste relatório representam um ponto de partida estratégico para que o governo federal lidere a descarbonização do transporte de carga no Brasil. Fruto de um processo colaborativo entre setores público, privado e sociedade civil, o documento oferece uma base integrada para alinhar políticas de transporte, energia, indústria e planejamento urbano. A implementação eficaz dessas diretrizes requer ações coordenadas em

diferentes frentes: planejamento regulatório de longo prazo, investimentos em infraestrutura energética e de dados, renovação da frota e promoção de projetos-piloto em centros urbanos. Com um caminho tecnológico claro e previsível, o Brasil tem potencial para converter sua matriz energética limpa em vantagem competitiva, posicionando-se como referência global na transição para um transporte de carga de baixo carbono.



Motorista de transporte de carga urbana realizando entrega.
Guarulhos/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Definições

Biocombustível: combustível sólido, líquido ou gasoso produzido a partir de biomassa recente, ou seja, matéria orgânica de origem vegetal, animal ou de resíduos, em contraste com os combustíveis fósseis derivados de biomassa antiga. Os principais tipos são bioetanol, biodiesel, biogás, biometano, biobutanol, bio-hidrogênio, entre outros. Os biocombustíveis são considerados fontes renováveis de energia, pois podem ser rapidamente reabastecidos por processos naturais e, embora emitam GEE durante sua produção e uso, a quantidade emitida varia conforme o tipo de combustível (Demirbaş, 2008; Rodionova *et al.*, 2017; Venkateswaran, 2022).

Biometano: biocombustível gasoso composto principalmente por metano (CH_4), obtido a partir do biogás. O biogás é produzido pela digestão anaeróbia de resíduos orgânicos (como resíduos agrícolas, esterco, resíduos alimentares e lodo de esgoto), constituindo uma mistura de CH_4 , dióxido de carbono (CO_2) e outros gases. O biometano resulta do processo de purificação do biogás em que são removidos o CO_2 , o sulfeto de hidrogênio (H_2S), umidade e outros contaminantes, tornando-o equivalente ao gás natural em termos de composição e poder calorífico (Koonaphapdeelert; Aggarangsi; Moran, 2020; Mignogna *et al.*, 2023; Pavičić *et al.*, 2022;

Swinbourn; Li; Wang, 2024). As principais emissões associadas ao uso do biometano em motores veiculares são CO_2 , óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metano (HCNM) e, em alguns casos, CH_4 residual e amônia (NH_3) (Cignini, 2020; 2022; Lee *et al.*, 2021).

Célula de combustível de hidrogênio: dispositivo eletroquímico que converte a energia química do hidrogênio e de um oxidante (geralmente oxigênio) diretamente em eletricidade, água e calor, sem combustão, por meio de reações eletroquímicas. O processo ocorre em temperaturas variadas, dependendo do tipo de célula, e resulta apenas em água como subproduto, portanto, uma tecnologia limpa e eficiente para geração de energia (Thomas *et al.*, 2020; Aminudin *et al.*, 2023; Manoharan *et al.*, 2019). As células de combustível de hidrogênio são consideradas promissoras para aplicações em transporte, geração de energia estacionária e sistemas portáteis devido à sua alta eficiência e zero emissões (Aminudin *et al.*, 2023; Manoharan *et al.*, 2019).

Dióxido de carbono (CO_2): gás natural que também é subproduto da queima de combustíveis fósseis (como petróleo, gás e carvão), da queima de biomassa, de mudanças no uso da terra e de processos industriais (por

exemplo, produção de cimento). É o principal GEE antropogênico que afeta o balanço radiativo da Terra e gás de referência pelo qual outros GEE são medidos e, portanto, classificado com potencial de aquecimento global de nível 1 (IPCC, 2021).

Dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}): unidade de medida padrão que expressa o impacto climático dos GEE de forma comparável. Indica a quantidade de CO₂ que teria efeito de aquecimento equivalente à emissão de outro GEE, considerando um indicador climático específico e um período definido. Para estimar o impacto climático de um conjunto de GEE, somam-se as emissões equivalentes de CO₂ de cada gás. Existem diferentes métodos e horizontes temporais para esse cálculo e, apesar de serem usados para comparar emissões de diversos GEE, isso não implica que esses gases tenham efeitos idênticos em todos os aspectos das mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Frenagem regenerativa: processo em que o motor elétrico de um veículo atua como gerador durante a desaceleração, convertendo a energia cinética em energia elétrica, que é então armazenada na bateria do veículo. Isso contrasta com os freios convencionais que transformam a energia cinética em calor por meio do atrito, desperdiçando-a completamente (Cheepinapi *et al.*, 2023; Güney; Kiliç, 2020; Sharma *et al.*, 2019).

Gases de efeito estufa (GEE): componentes gasosos da atmosfera, naturais e antropogênicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos do espectro de radiação emitido pela superfície terrestre, pela atmosfera e pelas nuvens. Essa propriedade causa o efeito estufa. Os principais GEE na atmosfera são vapor de água (H₂O), CO₂, óxido nitroso (N₂O), CH₄ e ozônio (O₃). GEE artificiais incluem hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonos (HFCs), clorofluorcarbonos (CFCs) e perfluorcarbonos (PFCs), alguns dos quais também destroem a camada de ozônio e são regulados pelo Protocolo de Montreal (IPCC, 2021).

Hidrogênio verde: é o hidrogênio produzido por um processo que não gera emissões de carbono, obtido por meio da eletrólise da água e utiliza exclusivamente eletricidade proveniente de fontes renováveis, como energia solar, eólica ou hidrelétrica (Incer-Valverde *et al.*, 2023; Abad; Dodds, 2020; Angelico *et al.*, 2025; Sebbagh; Şahin; Beldjaatit, 2024; Zainal *et al.*, 2024). Veículos elétricos equipados com células de combustível de hidrogênio verde são considerados verdadeiramente livres de emissões de gases poluentes e de efeito estufa, já que o único subproduto do processo de geração e uso da energia é o vapor d'água (Pindoriya *et al.*, 2023; Samsun *et al.*, 2022; Halder *et al.*, 2024). Esse uso do hidrogênio

verde é destacado como solução potencial para descarbonizar o setor de transportes, especialmente em aplicações que exigem maior autonomia e recarga rápida, como ônibus, caminhões e veículos de longa distância (Halder *et al.*, 2024; Samsun *et al.*, 2022; Béthoux, 2020), embora ainda haja desafios significativos relacionados ao custo de produção, à infraestrutura de abastecimento e à maturidade tecnológica das células de combustível (Abad; Dodds, 2020; Hassan *et al.*, 2024; Squadrito; Maggio; Nicita, 2023). O hidrogênio verde se diferencia de outros tipos de hidrogênio por não emitir GEE em sua produção, como são os casos do hidrogênio produzido a partir de gás natural (hidrogênio cinza) e daquele cuja produção utiliza a captura de carbono (hidrogênio azul) (Incer-Valverde *et al.*, 2023; Zainal *et al.*, 2024).

Material particulado (MP): mistura heterogênea de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, classificadas principalmente pelo seu diâmetro aerodinâmico. O MP10 refere-se a partículas com diâmetro igual ou inferior a 10 micrômetros (μm), enquanto o MP2,5, conhecido como material particulado fino, refere-se a partículas com diâmetro igual ou inferior a 2,5 μm , originados principalmente de fontes como emissões veiculares, queima de biomassa, atividades industriais e poeira urbana (Akhbarizadeh *et al.*, 2021; Fiordelisi *et al.*, 2017; Mukherjee; Agrawal, 2017a; Thangavel; Park; Lee, 2022). Essas partículas

são suficientemente pequenas para serem inaladas. O MP10 é composto por poeira, pólen, partículas de solo e fumaça, enquanto o MP2,5 é formado principalmente por produtos de combustão, como emissões de veículos e queima de combustíveis fósseis. A distinção entre eles é que o MP2,5 é composto por partículas menores que permanecem suspensas por mais tempo no ar, o que o torna mais danoso à saúde humana, já que pode penetrar profundamente nos pulmões e atingir a corrente sanguínea, aumentando os riscos à saúde com o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias (Fiordelisi *et al.*, 2017; Marcazzan *et al.*, 2001; Mukherjee; Agrawal, 2017b; Thangavel; Park; Lee, 2022).

Minerais críticos: recursos minerais essenciais para a transição energética e para setores estratégicos, como energia limpa, tecnologia e defesa. Dentre eles, destacam-se lítio, cobalto, níquel e terras raras, fundamentais para a produção de baterias de veículos elétricos, turbinas eólicas, painéis solares e semicondutores. Esses minerais desempenham papel central na redução da pegada de carbono e na segurança econômica e geopolítica, especialmente diante da crescente demanda global por sustentabilidade e digitalização. Sua disponibilidade está sujeita a riscos de escassez e à dependência de poucos fornecedores (Brasil, 2025).

Neutralidade de carbono: condição em que as emissões antropogênicas de CO₂ são compensadas por remoções equivalentes. Esse equilíbrio pode ocorrer no âmbito de uma entidade – como país, estado, cidade – ou de uma atividade – como indústria, transportes, mineração. A neutralidade de carbono¹ é frequentemente avaliada ao longo do ciclo de vida, incluindo emissões indiretas, mas também pode ser limitada às emissões e remoções sobre as quais a entidade ou atividade tem atuação direta (IPCC, 2021)².

Sistemas de armazenamento de energia em baterias (na sigla em inglês, Bess): conjuntos integrados de baterias, sistemas de controle e conversores eletrônicos projetados para armazenar energia elétrica e liberá-la conforme a demanda, desempenhando papel fundamental na estabilidade e flexibilidade das redes elétricas modernas (Lacap; Park; Beslow, 2021; Steckel; Kendall; Ambrose, 2021). Além de utilizarem baterias novas, esses sistemas também podem empregar baterias provenientes de veículos elétricos que atingiram o fim de sua vida útil automotiva, mas ainda possuem capacidade significativa de armazenamento, prática conhecida como

segunda vida das baterias (Farakhor *et al.*, 2024; Al-Wreikat; Attfield; Sodré, 2022). O reaproveitamento dessas baterias em Bess contribui para a sustentabilidade ambiental, na medida em que reduz resíduos e prolonga o ciclo de vida dos materiais, além de oferecer benefícios econômicos, como menor custo inicial em comparação com sistemas de baterias novas (Steckel; Kendall; Ambrose, 2021; Yang *et al.*, 2022). Estudos demonstram que baterias de segunda vida podem ser aplicadas com sucesso em microgrids, sistemas residenciais e aplicações em larga escala, mantendo desempenho adequado para armazenamento estacionário (Lacap; Park; Beslow, 2021; Reschigian; Sevdari; Marinelli, 2024). No entanto, desafios como a heterogeneidade dos módulos, degradação diferenciada e necessidade de gerenciamento específico ainda precisam ser superados para maximizar a eficiência e a vida útil desses sistemas (Farakhor *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2023).

Veículo movido a célula de combustível de hidrogênio (VCC-H): aquele que utiliza célula de combustível, geralmente do tipo membrana de troca de prótons, que converte hidrogênio e oxigênio em eletricidade, água e calor por meio de uma reação eletroquímica, alimentando um

¹ Neutralidade de carbono e emissões líquidas zero de CO₂ são conceitos que se sobrepõem, que podem ser aplicados em escala global ou subglobal (por exemplo, regional, nacional ou subnacional). Em escala global, os termos são equivalentes. Em escalas subglobais, "emissões líquidas zero de CO₂" geralmente se referem a emissões e remoções sob controle direto ou de responsabilidade territorial da entidade reportante, enquanto "neutralidade de carbono" costuma considerar emissões e remoções dentro e fora desse controle (IPCC, 2021).

² Em alguns casos, a neutralidade de carbono pode depender do uso de compensações (offsets) para equilibrar emissões residuais após ações de mitigação (IPCC, 2021).

motor elétrico. Seu processo de operação é de zero emissão, resultando apenas em vapor d'água como único subproduto. Pode incluir baterias auxiliares para armazenar energia de frenagem regenerativa e fornecer potência adicional quando necessário (Manoharan *et al.*, 2019; Mester; Pisarov, 2025; Prokin; Prokin, 2024; Tong, 2024).

Veículo de baixa emissão: aquele projetado para emitir quantidades significativamente reduzidas de GEE e poluentes atmosféricos em comparação com veículos convencionais. Isso inclui emissões de CO₂, NO_x, CO, hidrocarbonetos não queimados e material particulado fino (MP2,5) (Kossioris *et al.*, 2025; Maurer *et al.*, 2023; Haider; Davis; Kumar, 2024; Hausberger *et al.*, 2022; Muratori *et al.*, 2023). Por exemplo, para NO_x, limites de emissão ultrabaixos (de 6 a 33 mg/km, dependendo do cenário) são considerados necessários para que o impacto na qualidade do ar seja minimizado, mas ainda não zero emissão (Maurer *et al.*, 2023). São veículos de baixa emissão aqueles movidos a combustíveis alternativos (híbridos, híbridos *plug-in* e alguns veículos a gás) que reduzem as emissões de CO₂ e outros poluentes, mas não as eliminam completamente.

Veículo elétrico (VE): aquele que utiliza energia elétrica como fonte primária de propulsão, utilizando energia armazenada em baterias recarregáveis ou outros sistemas de armazenamento elétrico. Abrange veículos

híbridos e totalmente elétricos, incluindo aqueles que utilizam células de combustível de hidrogênio como fonte de eletricidade (Shao; Zheng, 2023; Endiz, 2023).

Veículo elétrico a bateria (VEB): tipo de VE cuja propulsão é inteiramente elétrica, que utiliza exclusivamente as baterias como fonte de energia para alimentar um ou mais motores elétricos. Não possui motor a combustão interna, células a combustível ou qualquer fonte secundária de energia e não emitem poluentes durante o uso, sendo considerado veículo zero emissão (Faraz *et al.*, 2021; König *et al.*, 2021; Sharma; Panwar; Tripathi, 2020).

Veículo elétrico híbrido (VEH): aquele que combina motor de combustão interna com motor elétrico alimentado por baterias. O motor a combustão interna fornece a principal fonte de energia em viagens longas, enquanto o motor elétrico pode complementar o motor a combustão interna ou operar sozinho em modo totalmente elétrico, especialmente em ambientes urbanos. A bateria é recarregada por frenagem regenerativa e pelo excesso de energia do motor interno a combustão, e não é possível recarregá-la diretamente na rede elétrica. Existem diferentes configurações e graus de hibridização, mas todos os VEHs atuais utilizam motores a combustão combinados com motores elétricos (Mashadi; Crolla, 2011; Yang; Emadi, 2013).

Veículo elétrico híbrido plug-in: tipo de VEH que permite o recarregamento da bateria por frenagem regenerativa, pelo motor a combustão interna e diretamente na rede elétrica. Essa tecnologia possui baterias maiores, o que permite percorrer distâncias consideráveis apenas com energia elétrica e, quando a carga se esgota, o motor a combustão assume o papel principal, garantindo autonomia semelhante à de veículos convencionais (Mashadi; Crolla, 2011; Singh *et al.*, 2020; Yang; Emadi, 2013).

Veículo zero emissão: aquele que, durante a operação, não emite poluentes atmosféricos nem GEE, como CO₂, NO_x, CO, hidrocarbonetos residuais de combustão

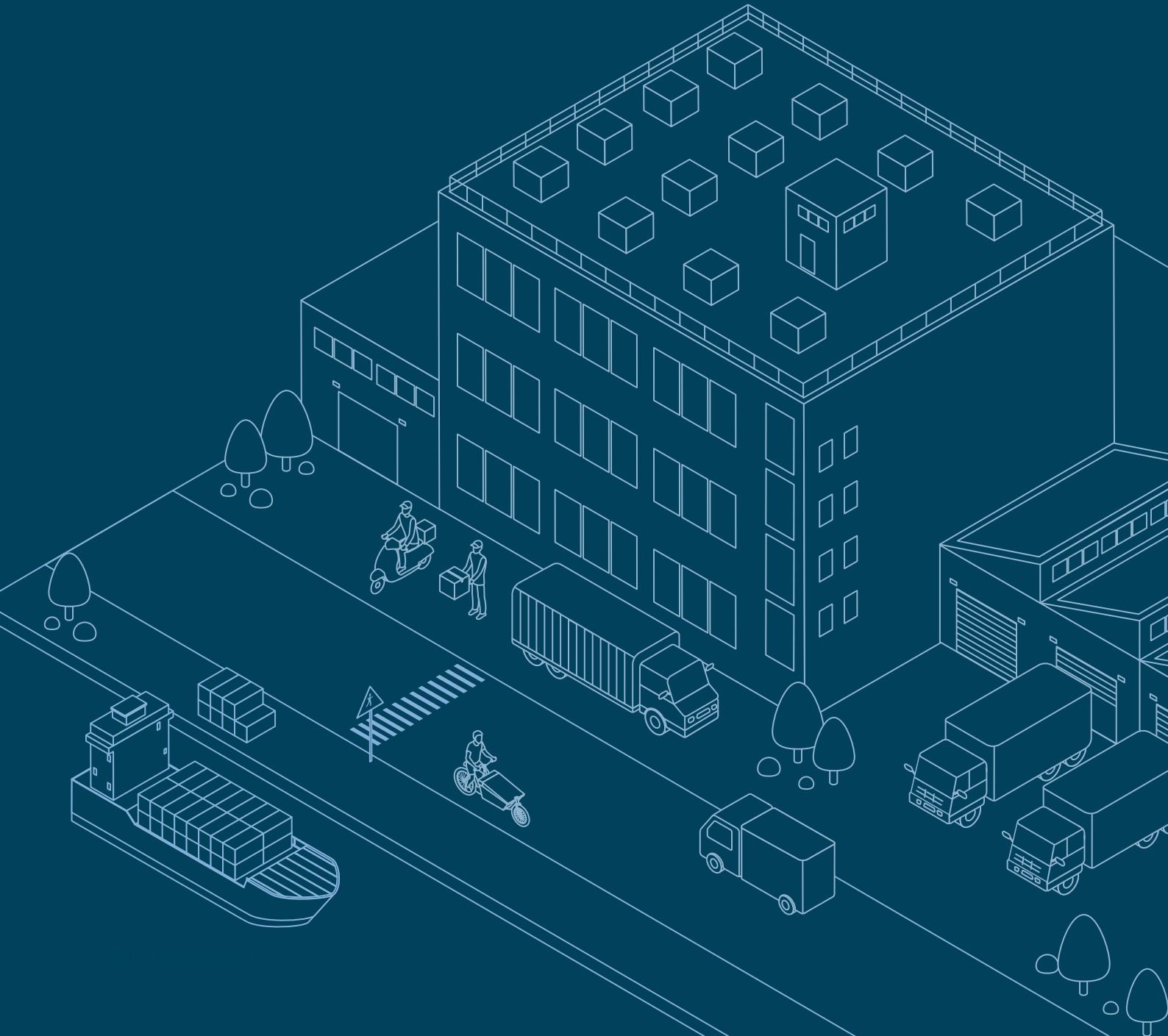
incompleta ou MP2,5. São exemplos os veículos elétricos a bateria e os movidos a célula de combustível de hidrogênio. Esse tipo de tecnologia é considerado essencial para a descarbonização do setor de transportes, pois apresenta uma pegada de emissões significativamente inferior à dos veículos convencionais, especialmente quando a eletricidade ou o hidrogênio utilizado é proveniente de fontes renováveis (Haider; Davis; Kumar, 2024; Hausberger *et al.*, 2022; Muratori *et al.*, 2023). A literatura destaca que veículos zero emissão não apenas eliminam as emissões diretas, mas também têm potencial para reduzir drasticamente as emissões do ciclo de vida, dependendo da matriz energética utilizada (Haider; Davis; Kumar, 2024).



Ciclista entregador de aplicativo
em via urbana.
São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Introdução



O transporte de carga é fundamental para o desenvolvimento econômico global e responsável pelo fluxo de mercadorias e insumos entre setores produtivos e diretamente para o consumidor final. O crescimento acelerado do comércio eletrônico, particularmente após a pandemia de Covid-19, ampliou significativamente a demanda por serviços logísticos urbanos. No Brasil, esse fenômeno refletiu-se em um aumento de 68% das vendas online em 2020, que passaram a representar 11% do varejo total nacional (Mansano, 2021). Desde então, o setor vem mantendo uma trajetória de expansão contínua, com um aumento acumulado de 127% no faturamento em 2024 comparado ao de 2019. As projeções indicam que, até 2029, esse ritmo de crescimento deverá ser mantido, com taxas anuais variando entre 10% e 15% (ABComm, 2023a; 2023b).

O setor de transportes responde por 53,3% das emissões brasileiras de GEE provenientes do setor de energia (SEEG, 2024), com predominância do modo rodoviário, que corresponde a 92,4% dessas emissões (SEEG, 2024). Nesse segmento, o transporte de carga, que movimenta 65,3% das mercadorias no país (PIT, 2025), é responsável por 53,5% das emissões do setor de transportes (SEEG, 2024), embora represente apenas 16,5% da frota nacional (Anfavea, 2025). Essa desproporção decorre da matriz energética do setor de transportes, ainda baseada em

75,2% de combustíveis fósseis (IEA, 2025). Tais características colocam o transporte rodoviário de carga como um dos segmentos prioritários para políticas de descarbonização.

O conceito de descarbonização evoluiu ao longo dos anos para englobar não apenas a redução das emissões de CO₂, mas também de todos os GEE, expressos em dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}). Esse avanço inclui estratégias tanto para reduzir emissões na fonte quanto para remover gases presentes na atmosfera (Speizer et al., 2024; van Heerden et al., 2025; Pan et al., 2018; Shao; Ni, 2024; Gota et al., 2019).

No setor de transportes, a aplicação desse conceito envolve políticas e tecnologias voltadas à redução direta das emissões por meio de medidas como eletrificação, uso de biocombustíveis e hidrogênio, mudança modal, melhoria da eficiência veicular e energética, além de ações de compensação e remoção de emissões residuais (Speizer et al., 2024; Fang et al., 2023; Liu et al., 2024). Para alcançar metas climáticas ambiciosas, é necessário adotar um portfólio de estratégias que contemple mudanças tecnológicas, estruturais e comportamentais, bem como integração com

outros setores, como de energia e indústria (Fang *et al.*, 2023; Gota *et al.*, 2019; Jing *et al.*, 2024; Hwang; Maharjan; Cho, 2023; Sharmina *et al.*, 2020; Speizer *et al.*, 2024).

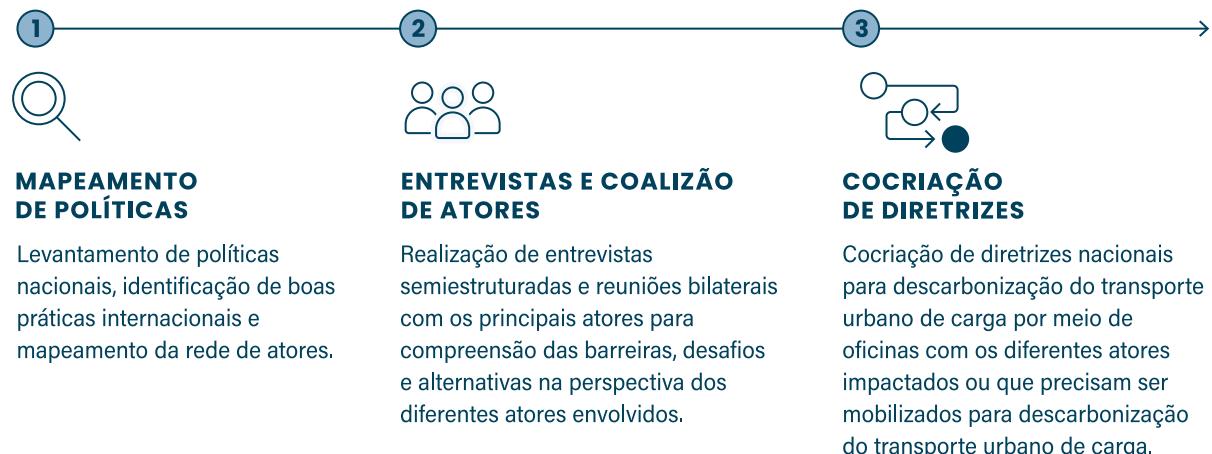
No Brasil, a eletromobilidade e os biocombustíveis estão evoluindo em um cenário de desafios e oportunidades. Ainda nos anos 1970, com a crise do petróleo, o país iniciou uma transição energética voltada para biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, atualmente, fontes de competitividade e desenvolvimento econômico nacional (Zamboni *et al.*, 2021). Por outro lado, os veículos elétricos têm se destacado como solução promissora para a descarbonização do transporte, especialmente em regiões com matrizes elétricas majoritariamente renováveis, como é o caso do Brasil, com 88,2% de fontes renováveis (EPE, 2025). Esses veículos oferecem vantagens como emissão zero de GEE durante a operação, redução de poluentes locais e menor ruído, além de maior eficiência energética e custos operacionais reduzidos no longo prazo, o que os tornam especialmente atrativos para operações urbanas (WRI, 2024).

As áreas urbanas apresentam condições favoráveis para implementação de iniciativas inovadoras de descarbonização. Nas cidades, têm-se menores distâncias, maiores concentrações de infraestrutura de recarga, de empresas e de consumidores, além de operações de diferentes níveis de complexidade. O transporte de carga, quando

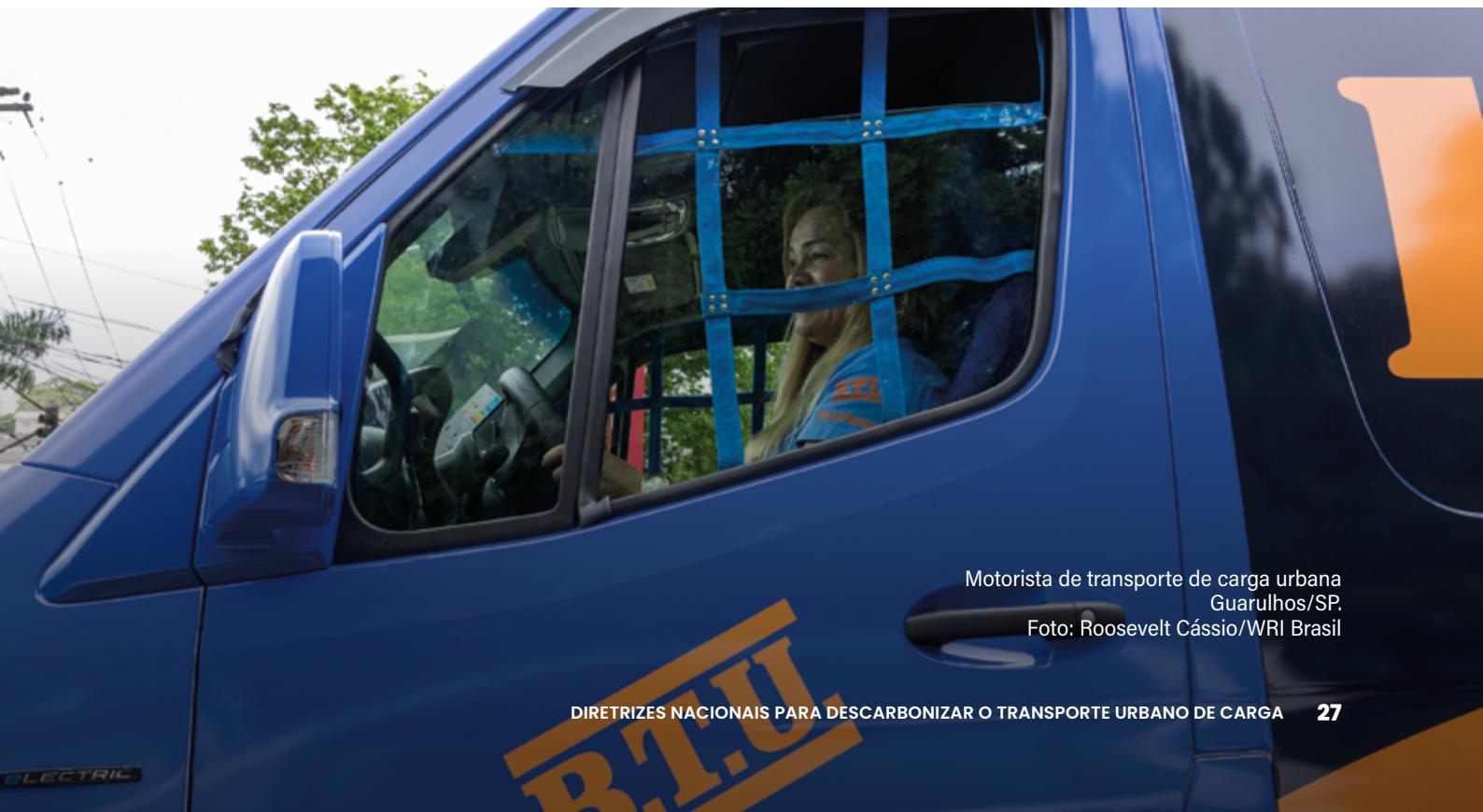
opera nas cidades, está em um ambiente multisectorial, influenciado por políticas provenientes de diferentes áreas e de diferentes níveis de governo. A descarbonização do transporte urbano de carga é influenciada por uma combinação de políticas nacionais e locais, que vão desde aquelas voltadas ao transporte rodoviário, ao setor energético, à indústria e à coordenação com governos subnacionais, até medidas municipais de planejamento urbano e incentivos ou restrições ao uso de veículos limpos.

A descarbonização efetiva precisa de coordenação regulatória, investimentos em infraestrutura e adoção de tecnologias emergentes, considerando as particularidades do contexto brasileiro e lições de experiências internacionais. Diante desse cenário, o projeto Descarbonização do Transporte Urbano de Carga foi concebido com o objetivo de estruturar uma coalizão multisectorial para desenvolver diretrizes nacionais que promovam a redução de emissões no transporte urbano de cargas. Financiado pela Drive Electric Campaign e implementado pelo WRI Brasil em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, a iniciativa integrou evidências técnicas, experiências internacionais e perspectivas dos diversos atores envolvidos na cadeia logística, visando formular recomendações abrangentes e aplicáveis para a transição energética do setor. As etapas do projeto estão descritas na **Figura 1**.

Figura 1 | Etapas do projeto Descarbonização do Transporte Urbano de Carga



Fonte: Elaborado pelos autores.



Motorista de transporte de carga urbana
Guarulhos/SP.
Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Tendências globais na descarbonização do transporte de carga



Chile

O Chile destaca-se na América Latina por sua abordagem participativa e gradual para descarbonizar o transporte de carga. A Estratégia Nacional de Electromobilidade, lançada pelo governo chileno em 2018 e atualizada em 2021 por meio de um processo consultivo que envolveu os setores público, privado e sociedade civil, estabeleceu metas temporais diferenciadas por segmento veicular. Dentre elas, destaca-se a meta de que 100% das vendas de veículos de carga sejam de modelos elétricos até 2045 (Chile, 2021b).

O país implementou mecanismos inovadores de colaboração público-privada, como o programa Giro Limpio, que certifica empresas de transporte sustentável e, em maio de 2025, contava com 650 participantes, incluindo transportadores, operadores logísticos e geradores de carga (Ubilla *et al.*, 2023). Além disso, o país estabelece ações concretas até 2026 para massificar o uso dessa tecnologia, propostas na Ruta para el Avance de la Electromobilidad en Chile (Chile, 2023a). Dentre essas ações, está o Plan Maestro de

Meta:

100%

das vendas de veículos de carga sejam de
veículos elétricos
até

2045

Infraestructura de Carga Pública, lançado em junho de 2025, que garante a existência de um ponto de recarga a cada 100 km na Macrozona Norte do país (Chile, 2023a).

O Chile aproveitou suas vantagens competitivas, particularmente suas reservas de lítio (46,6% das reservas mundiais), para desenvolver uma cadeia de valor em mobilidade de baixa emissão (Brasil, 2024). Essa estratégia é complementada pela Estratégia Nacional de Hidrogênio Verde, que visa posicionar o país como exportador global de combustíveis sustentáveis, com metas de produção escalonadas até 2030 (Chile, 2020).



China

A China consolidou-se como líder global na descarbonização do transporte de carga por meio de uma estratégia integrada que combina planejamento estatal, incentivos de mercado e desenvolvimento tecnológico. O New Energy Vehicle Industrial Development Plan 2021-2035 é direcionado a veículos zero emissão e estabeleceu metas progressivas, incluindo a eletrificação de 100% das frotas públicas até 2035 e o desenvolvimento de tecnologias autônomas (ICCT, 2021).

Shenzhen emergiu como cidade modelo, implementando as primeiras zonas de logística verde onde apenas veículos zero emissão têm acesso irrestrito 24 horas por dia (Xue, 2021). Essa política, aliada a subsídios diretos, resultou na operação de mais de 70 mil veículos elétricos de carga na cidade até 2019 (Xue, 2021).

A província de Guangdong destaca-se na promoção de veículos zero emissão e na aplicação do hidrogênio verde. O governo provincial adota incentivos, como subsídios diretos para a aquisição de caminhões, isenções fiscais, acesso preferencial à infraestrutura de recarga e linhas de financiamento com juros reduzidos, tornando esses veículos mais acessíveis e atrativos para empresas e consumidores (Niu; Ma; Zhang, 2023). A cidade de Foshan, localizada nessa

Meta:

eletrificação de

100%

frotas públicas

até

2035

província, consolida-se desde 2009 como referência em produção, armazenamento e uso de hidrogênio verde, estimulando sua aplicação em setores como transporte, comunidades, agricultura e indústria, com a meta de transformar o hidrogênio em uma indústria trilionária capaz de impulsionar a modernização econômica (Serena; Lynn, 2024; Nanhai, 2024; Wu, 2023; Xin, 2023).

Em 2024, a JD Logistics anunciou a implementação em larga escala de caminhões pesados movidos a células de combustível de hidrogênio, com autonomia de 400 km e tempo de reabastecimento de aproximadamente 10 minutos (Chai; Wang, 2024). No ano seguinte, em 2025, a Sinopec, maior empresa de refino de petróleo da China, lançou uma rota de 1.150 km dedicada à operação de caminhões pesados movidos a célula de combustível de hidrogênio, ligando a cidade de Chongqing ao Porto de Qinzhou, na região sul do país, em Guangxi (China, 2025).

Processo de construção



Este relatório apresenta os resultados de um processo de três etapas que combinou análise documental, entrevistas com diversos atores-chave e construção participativa de diretrizes. O processo de construção adotado permitiu consolidar evidências técnicas

aliadas a percepções práticas e teóricas dos atores envolvidos ou daqueles que precisam ser engajados na descarbonização do transporte urbano de carga. O intuito é que as recomendações finais sejam representativas e tecnicamente viáveis em sua implementação.



Vista aérea da cidade.
São Paulo/SP.

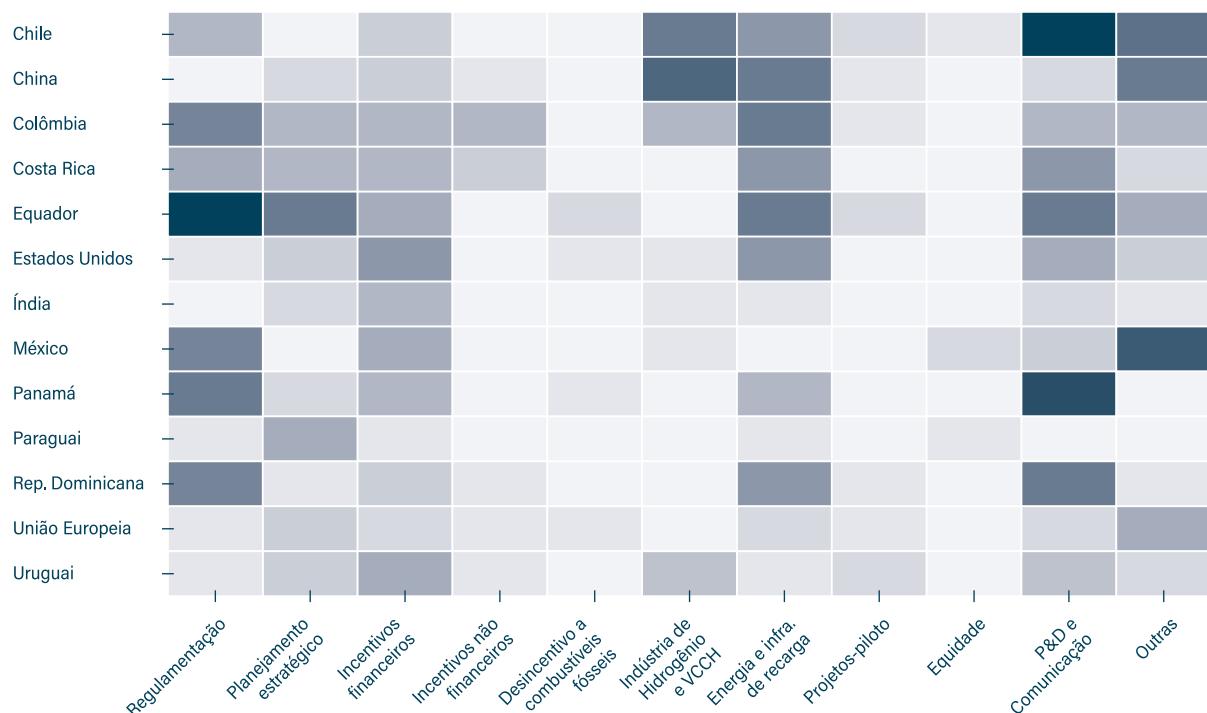
Fonte: Erich Sacco/Adobe Stock.

ETAPA 1 MAPEAMENTO DE POLÍTICAS

A primeira etapa consistiu em um levantamento abrangente de políticas públicas nacionais e internacionais relacionadas à descarbonização do transporte de carga. Foram analisadas 23 iniciativas brasileiras, nas quais identificaram-se potencialidades e lacunas na abordagem específica para o transporte urbano de cargas. Paralelamente, foram revisadas experiências

em 13 países e grupo de países, incluindo nove nações latino-americanas (Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, México, Panamá, Paraguai, República Dominicana e Uruguai), China, Estados Unidos, Índia e União Europeia. Esse mapeamento, concluído em maio de 2024, revelou tendências globais com ênfase em medidas como incentivos financeiros, desenvolvimento de infraestrutura de recarga, normatização técnica e apoio a pesquisas, conforme demonstrado na **Figura 2**.

Figura 2 | Tendências de medidas internacionais para descarbonização do transporte de carga
— quanto mais escura, maior a incidência da medida nas principais políticas de descarbonização do país



Fonte: Elaborado pelos autores.

ETAPA 2 ENTREVISTAS E COALIZÃO DE ATORES

Para compreender os desafios e alternativas sob a perspectiva dos atores-chave, foram realizadas 23 entrevistas semiestruturadas, entre julho de 2024 e janeiro de 2025, junto a 28 representantes de diferentes setores, incluindo governo, indústria, transportadores

e academia, como apresentado na **Figura 3**. As discussões foram organizadas em quatro eixos temáticos: institucional – que abordou questões de governança e de políticas públicas –, financeiro – com foco em mecanismos de incentivo e investimento –, tecnológico – tratando da disponibilidade e adoção de soluções viáveis tecnicamente – e de dados e conhecimento – essencial para embasar decisões estratégicas.

Figura 3 | Atores e setores entrevistados



Fonte: Elaborado pelos autores.

ETAPA 3 CONSTRUÇÃO DE DIRETRIZES

A etapa final se deu pela realização de quatro oficinas setoriais com 96 participantes organizados de acordo com seus perfis estratégicos. A primeira oficina reuniu representantes do governo federal, de instituições financeiras, terceiro setor e academia. A segunda foi realizada com

fabricantes de veículos e provedores de infraestrutura energética. A terceira envolveu gestores públicos estaduais e municipais. A quarta contou com a participação de transportadores e embarcadores, considerando transportadores os responsáveis pela movimentação física de cargas e embarcadores os que contratam esses serviços, geralmente empresas que produzem ou comercializam bens, conforme apresentado na **Figura 4**.

Figura 4 | Oficinas setoriais de construção das diretrizes



Fonte: Elaborado pelos autores.

As oficinas seguiram uma metodologia estruturada para cocriar visões de futuro, estabelecer metas específicas e propor medidas concretas. Como resultado, foram elaboradas quatro perspectivas estratégicas que, embora variassem na ênfase em equidade social, eletrificação, desenvolvimento tecnológico ou políticas públicas, convergiram na meta de neutralidade de carbono até 2050. Também foi estabelecido um conjunto de objetivos organizados em fases temporais, iniciando com a preparação da infraestrutura de recarga e da base legal até 2030 e culminando na consolidação da neutralidade carbônica em 2050.

Os dados coletados nas três etapas foram sistematicamente analisados para identificar convergências e complementaridades entre as diferentes fontes de informação. As análises apoiaram a elaboração de diretrizes que refletem tanto as evidências técnicas quanto as demandas práticas dos setores, garantindo que as recomendações sejam equilibradas e aplicáveis ao contexto brasileiro.



Entregadores descarregando caminhão de carga urbana.

São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Diretrizes para descarbonização do transporte urbano de carga



O Brasil tem potencial para avançar na descarbonização do transporte urbano de carga, aproveitando oportunidades estratégicas que combinam inovação tecnológica, políticas públicas e fortalecimento da indústria nacional. Embora o ambiente urbano seja o principal foco deste trabalho, políticas eficazes para o transporte urbano de carga devem estar alinhadas a estratégias nacionais mais amplas na medida em que concentram demandas, infraestrutura de recarga e condições mais favoráveis à descarbonização veicular. Isso porque seu desenvolvimento depende de ações coordenadas pelo governo federal, a exemplo do fortalecimento da indústria e do planejamento integrado do setor de transportes, incluindo rotas de longa distância. Além disso, soluções testadas no ambiente urbano – como a expansão da infraestrutura de recarga e a adoção de novas tecnologias – podem impulsionar avanços no transporte de longa distância, criando sinergias entre as escalas local e nacional.

Com base nos insumos das três etapas do projeto – mapeamento de políticas nacionais e internacionais, entrevistas com especialistas e oficinas setoriais – e buscando identificar os principais **desafios** da descarbonização e vislumbrar oportunidades de desenvolvimento para o país, foi consolidada uma **visão** de futuro para a descarbonização do transporte

urbano de carga no Brasil, acompanhada de orientações para a definição de **metas** que devem guiar a transição nas próximas décadas.

O elemento central deste trabalho são as medidas recomendadas que indicam ações passíveis de serem adotadas pelo governo federal a fim de enfrentar os desafios do setor e acelerar a transição para zero emissões, considerando uma visão abrangente dos obstáculos identificados. Para apoiar sua implementação e contextualizar o processo de construção, cada medida está associada a:

1. **Desafios específicos** do eixo temático;
2. **Visão de futuro** para o eixo;
3. **Atores-chave** capazes de impulsionar sua adoção;
4. **Políticas públicas nacionais** relacionadas que podem viabilizar sua execução;
5. **Exemplos internacionais** que demonstram soluções já aplicadas em outros países.

Essa estrutura permite organizar grupos de medidas que respondem aos principais desafios do setor, oferecendo um caminho estruturado para a neutralidade de emissões, que busque sinergia entre as escalas local e nacional.

VISÃO DE FUTURO PARA O BRASIL

A visão de futuro para o transporte urbano de carga foi construída a partir de um processo participativo, com a contribuição de representantes de diversos setores da cadeia logística, garantindo a integração de diferentes perspectivas e, também, o alinhamento aos objetivos de longo prazo. A visão formulada considera a integração de diferentes soluções para o alcance da neutralidade de carbono no setor até 2050, conforme detalhado na **Figura 5**.

Figura 5 | Visão de futuro para o transporte urbano de carga no Brasil

VISÃO



ATÉ 2050, O BRASIL TERÁ UM SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGA NEUTRO EM EMISSÕES DE GEE, BASEADO EM:



Tecnologias de baixa e zero emissão de GEE

(elétricos e combustíveis sustentáveis);



Infraestrutura multimodal mais eficiente;



Políticas públicas coordenadas;



Desenvolvimento tecnológico nacional com equidade social.

Fonte: Elaborado pelos autores.

METAS

Embora as oficinas setoriais tenham discutido possíveis metas para a descarbonização do transporte de carga, este documento não estabelece números ou compromissos fechados. A definição de metas específicas deve ser fruto de um processo colaborativo, com a participação de todos os órgãos e entidades responsáveis pela implementação das diretrizes, incluindo ministérios, agências reguladoras e demais entes governamentais, conduzido pelos próprios atores responsáveis pela implementação das ações, considerando órgãos federais, estaduais e municipais. Essa abordagem participativa contribuirá para a adequada contextualização das metas às distintas realidades regionais e setoriais, além de fortalecer o comprometimento dos diversos atores com sua implementação.

Nesse sentido, por meio das metas discutidas nas oficinas setoriais, foi possível consolidar uma estrutura em quatro fases que representam marcos orientadores para o avanço da descarbonização no transporte de carga. Essas fases foram formuladas com base nos subsídios técnicos obtidos nas etapas iniciais do projeto, incluindo análise documental e entrevistas com especialistas, e validadas nas oficinas realizadas com representantes de diferentes segmentos da cadeia logística. A estrutura proposta considera os desafios mapeados, as oportunidades identificadas e o grau de maturidade necessário para viabilizar transformações graduais e bem sustentadas no setor, conforme detalhado na **Figura 6**.

Figura 6 | Fases orientadoras para a definição das metas



Fonte: Elaborado pelos autores.

A definição de metas claras e mensuráveis é reconhecida como elemento fundamental para a implementação eficaz das diretrizes propostas. Tais metas devem orientar o planejamento, a execução e o monitoramento contínuo das ações, permitindo ajustes progressivos e avaliação de resultados.

Recomenda-se, ainda, que a formulação dessas metas utilize como referência a metodologia **Smart** (do inglês, *Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound*), que assegura a definição de objetivos estratégicos com as seguintes características:

- **Específicos (Specific)**: com delimitação clara de escopo e abrangência;
- **Mensuráveis (Measurable)**: com indicadores quantitativos e qualitativos adequados;
- **Alcançáveis (Achievable)**: considerando a realidade técnica e operacional do setor;
- **Relevantes (Relevant)**: alinhados à visão de futuro para a descarbonização do setor;
- **Temporais (Time-bound)**: com prazos definidos para implementação.

Exemplos de metas internacionais

PREPARAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE RECARGA E BASE LEGAL



China

Até 2025

Alcançar mais de 80% de veículos de nova energia nas frotas públicas (ônibus, táxis e veículos de entrega), novas ou renovadas, em zonas-piloto e regiões-chave com poluição do ar.

Baseada no New Energy Vehicle Industrial Development Plan 2021-2035, que inclui zonas com políticas específicas de fomento à infraestrutura de recarga e exclusão de caminhões elétricos do limite de peso máximo subsidiável.

Até 2035

Atingir 100% da frota pública eletrificada.

Envolve a consolidação da infraestrutura de recarga e metas regulatórias rigorosas aplicadas por regiões e setores.



Ecuador

Até 2025

Elevar para 1% a 3% a participação de caminhões leves de carga elétricos.

Até 2030

Ampliar para 5% a 10% a participação de caminhões leves de carga elétricos.

Até 2040

Ampliar para 30% a 40% a participação de caminhões leves de carga elétricos.

Contemplada na Estrategia Nacional de Electromovilidad, que prevê regulamentação de infraestrutura de recarga, incentivos fiscais e tarifários, além de metas por categoria de veículo.



República Dominicana

Até 2030

Elevar para 10% a participação dos veículos leves de carga elétricos.

Até 2050

Ampliar para 50% a participação dos veículos leves de carga elétricos.

Derivadas do Plan Estratégico Nacional de Movilidad Eléctrica, que inclui medidas para remover obstáculos regulatórios, fortalecer capacidades institucionais e expandir a infraestrutura de recarga.

ACELERAÇÃO DA TRANSIÇÃO TECNOLÓGICA



Índia

Até 2029

Implantar 15 mil caminhões elétricos via plataforma e-Fast Índia.

A e-Fast Índia é uma das iniciativas de estímulo à eletrificação do transporte de carga, com incentivos à produção nacional e à criação de um ecossistema local de eletromobilidade.



México

Até 2040

Alcançar 100% das vendas de veículos leves e pesados em modelos elétricos ou híbridos conectáveis.

Prevista na Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica com ações para desenvolvimento da indústria, testes de tecnologia e eletrificação de corredores logísticos.



Colômbia

Até 2030

Implantar de 1.500 a 2.000 veículos leves de célula de combustível a hidrogênio para transporte de passageiros e carga.

Implantar de 1.000 a 1.500 veículos pesados de célula de combustível a hidrogênio.

Metas definidas na Ruta del Hidrógeno de Colombia, com foco na introdução de novas tecnologias para o transporte sustentável.

CONSOLIDAÇÃO DA FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS E INFRAESTRUTURA DE RECARGA



União Europeia

Até 2030

Disponibilizar navios oceânicos de zero emissão para o mercado.

Parte da transição logística completa da UE, incluindo o transporte marítimo de carga.



México

Até 2030

Elevar para 50% as vendas de veículos leves e pesados de zero emissão.

Meta da Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, com ações específicas para o setor de carga, como estímulos fiscais, regulamentação e capacitação.

Até 2050

Atingir 100% das vendas de veículos leves e pesados em modelos elétricos.

Complementa o ciclo de metas da Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica para garantir eletrificação total da frota nacional ao longo das décadas.



Estados Unidos

Até 2030

Elevar para 30% as vendas dos veículos médios e pesados de zero emissão.

Até 2040

Atingir 100% das vendas de veículos médios e pesados de zero emissão.

Inseridas no U.S. National Blueprint for Transportation Decarbonization, com metas graduais e políticas federais de apoio a infraestrutura e incentivos.

NEUTRALIDADE DE CARBONO E TRANSFORMAÇÃO TECNOLÓGICA



Chile

Até 2045

Alcançar 100% das vendas de veículos elétricos para transporte de carga rodoviário e ônibus interurbano.

Meta da Estratégia Nacional de Electromobilidade. Apoiada por políticas integradas, como o Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026, o programa Giro Limpio e o programa Experiencia Electrologística.



Costa Rica

Até 2050

Reducir 20% as emissões do transporte de carga, com base em 2018.

Metas estabelecidas no Plano Nacional de Descarbonização 2018-2050, especificamente no eixo 3, com foco em modos e combustíveis de menor emissão.



União Europeia

Até 2030

Reducir 55% das emissões líquidas de GEE em comparação com 1990;

Reducir 55% das emissões de CO₂ para carros novos e 50% para vans novas.

Até 2035

Neutralizar 100% das emissões de CO₂ de carros e vans novos.

Até 2050

Zerar emissões líquidas de GEE;

Reducir 90% das emissões do setor de transportes;

Exigir emissão zero em todos os veículos pesados novos.

Metas inseridas no Green Deal, na Lei Climática Europeia e nos Padrões de Emissão para Veículos, com planos integrados e abrangentes.

MEDIDAS POR EIXO ESTRATÉGICO

Esta seção apresenta um conjunto integrado de diretrizes estratégicas para a descarbonização do transporte urbano de carga no Brasil, elaborado com base no processo de construção descrito no Capítulo Processo de construção. As recomendações aqui consolidadas consideram o potencial das tecnologias de zero emissão, reconhecendo também o papel complementar de soluções de transição diante das especificidades do contexto nacional, como o uso dos biocombustíveis.

A estrutura proposta está organizada em quatro eixos estratégicos – institucional, econômico e financeiro, tecnológico e de dados e conhecimento –, cada um apresentado com seus respectivos desafios identificados, visão de futuro e um conjunto de medidas a serem adotadas. Essa abordagem busca oferecer uma compreensão abrangente das demandas em nível federal para a descarbonização do transporte urbano de carga, estabelecendo uma base estruturada para a atuação coordenada entre os diversos agentes e esferas de governo.

Buscando integrar os produtos elaborados pelas diferentes etapas já descritas, os desdobramentos temáticos se estruturaram pela conexão entre os desafios com as medidas, sugerindo instrumentos institucionais já existentes, atores-chave para sua implementação, além de referências de outros países. Essa organização temática busca orientar a formulação de políticas públicas, a alocação de recursos e o direcionamento de investimentos públicos e privados de forma alinhada aos compromissos de descarbonização e desenvolvimento sustentável do país. Além disso, a proposta visa garantir a coerência entre os instrumentos de planejamento, os mecanismos de financiamento e a adoção de tecnologias adequadas à realidade brasileira.

Na sequência, cada eixo é apresentado com suas especificidades. A **Figura 7** sintetiza todas as medidas propostas por eixo estratégico, servindo como guia para a leitura das seções subsequentes.

Figura 7 | Síntese das medidas propostas por eixo estratégico



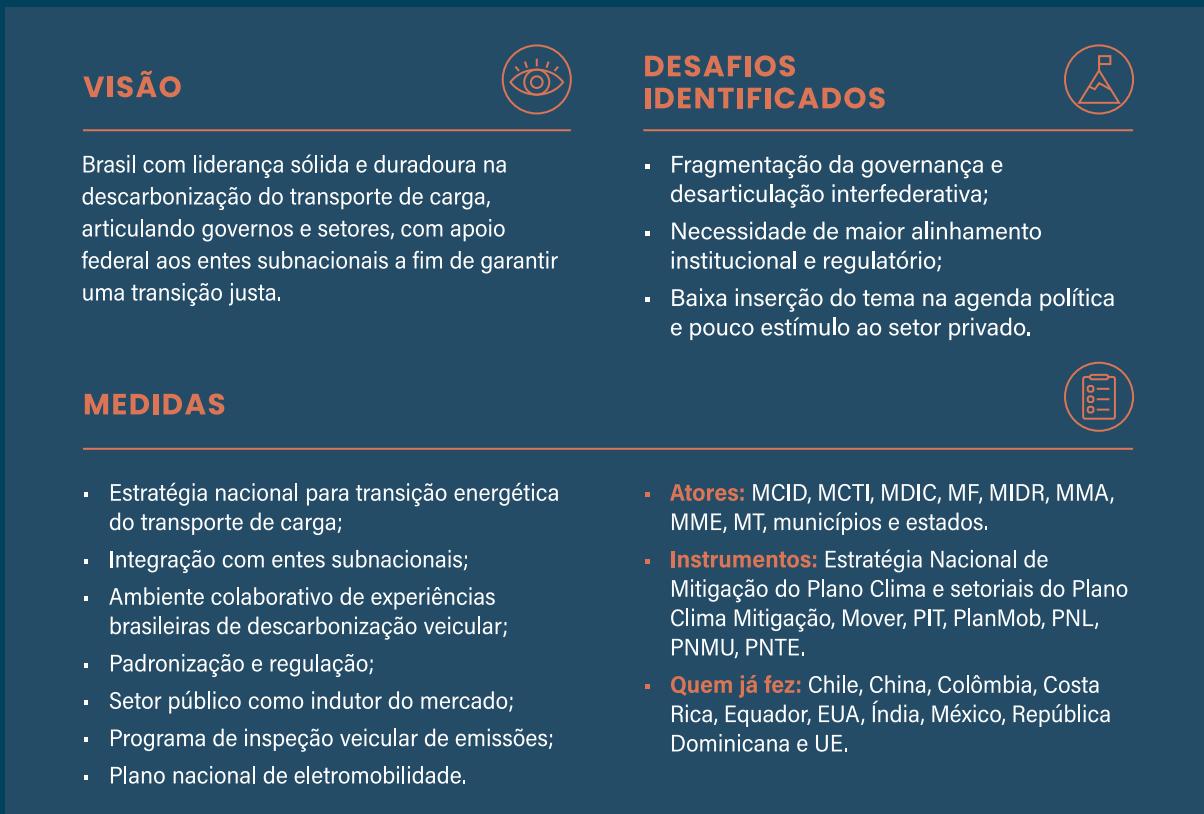
Fonte: Elaborado pelos autores.



Eixo institucional

O eixo institucional aborda os aspectos normativos e de governança necessários à criação de um ambiente propício à transição energética no transporte urbano de carga. Esse componente estratégico enfoca a articulação entre políticas públicas, planejamento urbano integrado e mecanismos de governança multinível, estabelecendo bases para as demais ações de descarbonização. A **Figura 8** apresenta um resumo das medidas para o eixo institucional, as quais são detalhadas a seguir.

Figura 8 | Resumo do eixo institucional



Fonte: Elaborado pelos autores.



Fragmentação da governança e desarticulação interfederativa.

A descentralização da governança torna o ambiente institucional complexo e pouco integrado. No nível federal, a gestão do transporte é dividida entre múltiplos ministérios, o que dificulta a formulação de políticas coordenadas. Nas regiões metropolitanas, a falta de articulação entre governos locais resulta em regulamentações divergentes – como restrições de horário para veículos de carga que variam de um município para outro – e compromete a eficiência logística. Além disso, prefeituras e estados frequentemente têm pouca clareza sobre suas próprias competências e até mesmo sobre quais ações podem adotar nesse campo.

Necessidade de maior alinhamento institucional e regulatório.

A falta de alinhamentos institucionais relacionados ao conceito de descarbonização, às diferentes tecnologias disponíveis e à inexistência de uma estratégia nacional coesa são fatores que dificultam a formulação de políticas eficazes e que engajem o setor privado. Somam-se a esse cenário a falta de tributação que desincentive o uso de combustíveis fósseis e movimentos indutores

econômicos contrários, como a redução de IPVA para veículos antigos, a falta de incentivos para adoção de veículos limpos e a inclusão de veículos elétricos no Imposto Seletivo, que desencorajam a adesão a soluções sustentáveis no curto prazo.

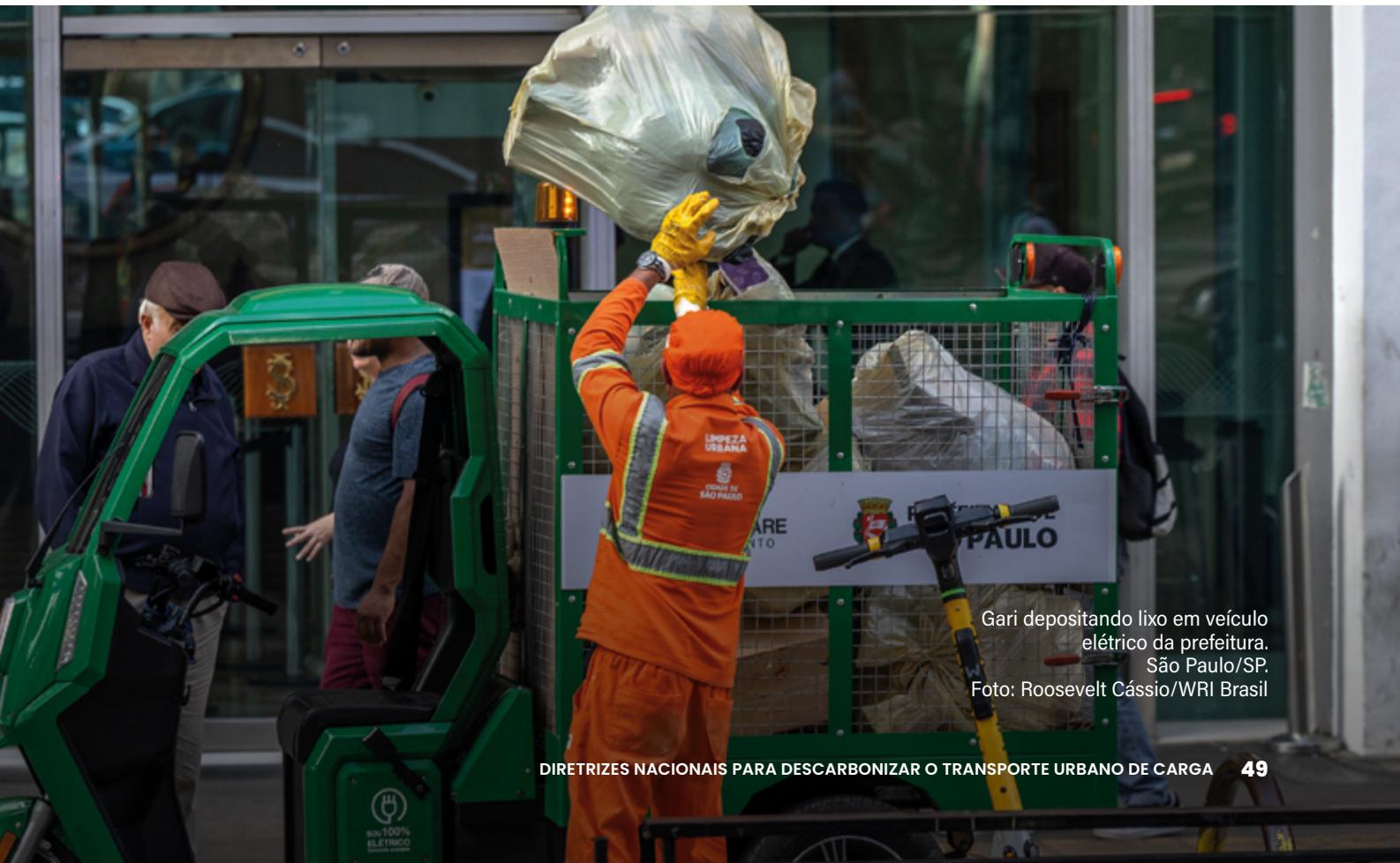
Baixa inserção do tema na agenda política e pouco estímulo ao setor privado.

O tema da descarbonização do transporte de carga historicamente não tem ocupado um espaço relevante na agenda política, resultando em baixa adesão de governos locais para regulamentar o setor. A intangibilidade dos impactos ambientais da não descarbonização do transporte de carga contribui para reduzir a pressão pública para medidas mais efetivas. O setor, com forte presença de empresas privadas, é caracterizado por uma alta pulverização, tornando desafiadora a implementação de políticas públicas. Por outro lado, a falta de previsibilidade de demanda regulatória e de incentivos congruentes desestimula investimentos do setor privado. Enquanto grandes empresas têm adotado metas corporativas de sustentabilidade por meio de práticas sustentáveis ESG (na sigla em inglês de Ambiental, Social e Governança), pequenas empresas dependem fortemente de incentivos e capacitação para aderirem à transição tecnológica.

VISÃO DE FUTURO DO EIXO INSTITUCIONAL



Brasil com liderança sólida e duradoura na descarbonização do transporte de carga, articulando governos e setores, com apoio federal aos entes subnacionais a fim de garantir uma transição justa.



Gari depositando lixo em veículo elétrico da prefeitura.
São Paulo/SP.
Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

MEDIDAS PRIORITÁRIAS DO EIXO INSTITUCIONAL



1 Estratégia nacional para transição energética do transporte de carga.

Desenvolver uma estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga no Brasil, definindo prioridades, metas Smart (específicas, mensuráveis, atingíveis, relevantes e temporais), fases e prazos. A estratégia deve englobar os diferentes setores impactados e os atores com poder de decisão em sua implementação, garantindo maior alinhamento entre políticas públicas e segurança para investimentos.

2 Integração com entes subnacionais.

Garantir a articulação com entes subnacionais para a promoção e o alinhamento de políticas que incentivem a descarbonização veicular, a eficiência logística e a multimodalidade regional. Dentre as ações a serem promovidas, destacam-se: incentivos para veículos zero emissão, como IPVA verde e progressivo, benefícios atrelados a selos de sustentabilidade e ao uso de veículos elétricos a bateria em áreas urbanas (isenção de estacionamento e pedágios, entre outros); implementação de centros

de distribuição e rede de pontos públicos urbanos automatizados de coleta e retirada de encomendas – como armários inteligentes – alinhados a políticas de planejamento urbano; e incentivos a modos mais sustentáveis para entregas urbanas, como bicicletas elétricas.

3 Ambiente colaborativo de experiências brasileiras de descarbonização veicular.

Criar um ambiente multisectorial para troca de conhecimentos e resultados de projetos-piloto a fim de facilitar a conexão com o ecossistema e com as iniciativas globais. O objetivo é que todos os atores, incluindo pequenas e médias empresas, colaborem na superação dos desafios para o avanço da descarbonização.

4 Padronização e regulação.

Estabelecer padrões, por meio de normas e regulamentações, para tecnologias e instalações de infraestrutura de recarga (que garantam segurança, interoperabilidade e escalabilidade), bem como de adaptação e modernização de veículos a combustão a fim de reduzir emissões (retrofit), além de incentivos à adoção de veículos zero emissão no transporte de carga (como selos de sustentabilidade e a regulação do mercado de carbono). Tais medidas devem estar alinhadas às melhores práticas internacionais e particularidades do mercado brasileiro.

5 Setor público como indutor do mercado.

Implementar um programa nacional para substituição progressiva de frotas públicas por veículos zero emissão. Além disso, exigir a adoção de frotas zero emissão e a instalação de infraestrutura de recarga como requisito em licitações, concessões e contratos públicos, incentivando especialmente a produção nacional desses veículos e outras tecnologias.

6 Programa de inspeção veicular de emissões.

Implementar um programa nacional de inspeção veicular para modelos médios e pesados com o objetivo de retirar de circulação aqueles que excedam os limites de emissões. O programa deverá estar integrado a um plano abrangente de sucateamento e reciclagem que incentive a renovação da frota por veículos de baixa emissão, com foco especial em pequenos e médios transportadores. O valor dos incentivos para a aquisição de novos veículos será proporcional ao seu nível de emissão, com incentivos máximos para veículos zero emissão.

7 Plano nacional de eletromobilidade.

Estabelecer um plano para o desenvolvimento da eletromobilidade no Brasil que concilie especificidades da eletromobilidade e do transporte de carga. O plano definirá mecanismos de incentivos financeiro e não financeiro, expansão da infraestrutura de recarga, adaptação da rede elétrica, gestão sustentável de baterias, regulação tecnológica, articulação federativa, além de metas, prazos e um sistema de monitoramento contínuo.





Van dos Correios em via urbana.

São Paulo/SP

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

A seguir, são indicados atores e instrumentos com potencial para apoiar esta temática e incorporar as diretrizes propostas.

Entidades do governo que podem contribuir para as medidas³:

- Principais.** MCID, MCTI, MDIC, MF, MIDR, MMA, MME, MT, municípios e estado.
- Apoios.** ABDI, ABNT, Aneel, ANM, ANTT, CIM, Conama, Fonte, Ibama, Infra S.A., Inmetro, INT, entidades representativas do setor privado, da academia e da sociedade civil.

Instrumentos em vigor ou em desenvolvimento⁴ com potencial de apoio e incorporação das medidas prioritárias:

- Principais. Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Cidades, Energia e Transportes, PIT, PlanMob, Plante, PNL, PNMU (Lei nº 12.587/2012) e Mover (Lei nº 14.902/2024).
- Apoios. ONTL, PAC, Paten (Lei nº 15.103/2025), PCVR, Plano Clima Mitigação setoriais Indústria, Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos, Plante, PTE e TSB.

³ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente as entidades participantes.

⁴ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente os instrumentos envolvidos.

Quem já adotou medidas para o eixo institucional

Estratégia nacional para transição energética do transporte de carga

A definição de diretrizes nacionais para a descarbonização do transporte de carga tem sido estratégia fundamental em diversos países. Metas claras e prazos definidos proporcionam segurança jurídica para investimentos e alinham os diversos atores envolvidos. A **União Europeia**, por exemplo, integrou o transporte de carga no Green Deal, estabelecendo reduções obrigatórias de emissões e padrões técnicos para veículos comerciais (European Commission, 2023c). A **Costa Rica** desenvolveu o Plano Nacional de Descarbonização 2018-2050, que organizou as ações em dez eixos, incluindo um específico para transporte de carga, com metas progressivas como a eletrificação de 20% da frota até 2030 (Costa Rica, 2019a). O **Chile**, para atender seus compromissos firmados no Acordo de Paris, adotou três estratégias principais para a descarbonização do transporte: Estrategia Nacional de Electromovilidad, revisada em 2021, com metas previstas de eletrificação de 100% dos veículos pesados até 2045 (Chile, 2021b);

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, de 2020, para descarbonizar 71% do transporte de carga até 2050 (Chile, 2020); além de medidas de eletrificação, logística urbana, eficiência em mobilidade e intermodalidade no ambiente urbano definidas pela Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible de 2021 (Chile, 2023c).

Integração com entes subnacionais

A articulação entre governos nacionais e subnacionais tem sido essencial para implementar incentivos locais eficazes e acelerar a adoção de veículos zero emissão. Na **Colômbia**, a Lei nº 1.964/2019 estabelece reduções no imposto veicular e descontos em revisões técnicas para veículos elétricos nos municípios onde esses benefícios foram implementados (Colombia, 2019). No **Equador**, a cidade de Guayaquil criou um programa de subsídios específico para a compra de ônibus e táxis elétricos (US\$ 15 mil para ônibus e US\$ 4 mil para táxis), complementando os incentivos fiscais nacionais (Ecuador, 2020). O **Chile** desenvolveu o aplicativo EcoCarga, que integra informações sobre infraestrutura de recarga em todas as regiões do país, fruto de uma colaboração entre o governo nacional e os municípios (Chile, 2024a).

Ambiente colaborativo de experiências de descarbonização veicular

A criação de plataformas de compartilhamento de conhecimento tem sido uma estratégia em vários países para promover ambientes colaborativos, democratizar o acesso a informações técnicas e conectar diferentes atores do ecossistema de descarbonização. A **Índia** lançou a iniciativa Shoonya, que inclui uma plataforma online com ferramentas para avaliação de custos e do impacto da adoção de veículos elétricos para transporte de carga urbana em última milha, além de relatórios públicos sobre os resultados alcançados (Shoonya Zero Pollution Mobility, 2024). Além disso, a plataforma e-Fast India conecta os diversos atores dos setores público e privado para acelerar a adoção de caminhões elétricos, promovendo a troca de dados operacionais e lições apreendidas em projetos-piloto (e-Fast, 2024). Na **União Europeia**, o Sustainable Transport Forum serve como espaço permanente para discussão de políticas e compartilhamento de experiências entre os setores público e privado e academia (European Commission, 2023b). O **Chile** implementou a Plataforma de Electromovilidad, que reúne casos de implementação, regulamentações e dados técnicos, facilitando o acesso a informações por parte de empresas e gestores públicos (Chile, 2024b). Por fim, os planos estratégicos da **Colômbia** e da **República Dominicana** contemplam iniciativas de cooperação entre

governo e entes privados. No caso colombiano, criou-se uma instância interministerial permanente composta também por entidades territoriais e setores privados e técnicos para estabelecer padrões técnicos, coordenação de pilotos e outras ações (Colombia, 2020). Já no caso dominicano, um de seus objetivos é o estabelecimento de uma coordenação interinstitucional, que utiliza-se de plataformas de diálogos existentes e capacidades profissionais dos setores público e privado (Anaya, 2020).

Padronização e regulação

A definição de normas e regulações tem sido essencial para garantir segurança e interoperabilidade de novas tecnologias que, aliada a metas e incentivos claros, cria um ambiente seguro para investimentos do mercado. O **Chile** regulamentou a infraestrutura de recarga através do Pliego Técnico Normativo nº 15, que estabelece padrões para instalação segura de pontos de recarga e homologação de carregadores (Chile, 2006), atualizado em 2024. A **União Europeia** desenvolveu a Battery Regulation, que define requisitos obrigatórios para eficiência, durabilidade e reciclagem de baterias (European Commission, 2023d). Nos **Estados Unidos**, a Agência de Proteção Ambiental (na sigla em inglês, EPA) estabeleceu padrões de emissões progressivamente mais rígidos para caminhões pesados, com metas específicas por categoria de veículo (US EPA, 2024).

Setor público como indutor do mercado

A liderança do governo na renovação de frotas por veículos zero emissão tem sido um poderoso catalisador em diversos países ao impulsionar o mercado e criar condições para produção ou venda local desses veículos. A **Costa Rica** determinou que 100% das aquisições de veículos oficiais devem ser de veículos elétricos até 2025 (Costa Rica, 2019a). Por meio da Lei nº 1.964/2019, a **Colômbia** estabeleceu metas obrigatórias para frotas públicas (30% elétricas até 2025) e transporte massivo (100% até 2035). A **China** implementou uma política de compras públicas de caminhões elétricos, especialmente para serviços urbanos, como coleta de lixo, criando escala para a indústria local (ICCT, 2021).

Programa de inspeção veicular de emissões

Esses programas, vinculados a incentivos para renovação de frotas por veículos limpos, podem acelerar a redução de emissões do setor, além de possibilitar que pequenas e médias empresas participem da transição tecnológica. O **Equador** implementou o Plan de Renovación Vehicular, que oferece incentivos econômicos para sucateamento de veículos com mais de dez anos e isenções fiscais para aquisição de novos veículos (Emmov, 2019). Entre 2008 e 2015, o plano retirou 20.241 veículos de circulação,

com estimativa de economia de 36 milhões de galões de combustível (Ecuador, [s.d.]). A **União Europeia** estabeleceu normas de emissões (padrões Euro) progressivamente mais rigorosas, integradas a programas de inspeção periódica obrigatória (European Commission, 2023c). O **México** desenvolveu o Programa Transporte Limpio, que avalia anualmente mais de 90 mil veículos e certifica operações sustentáveis (México, 2023).

Plano nacional de eletromobilidade

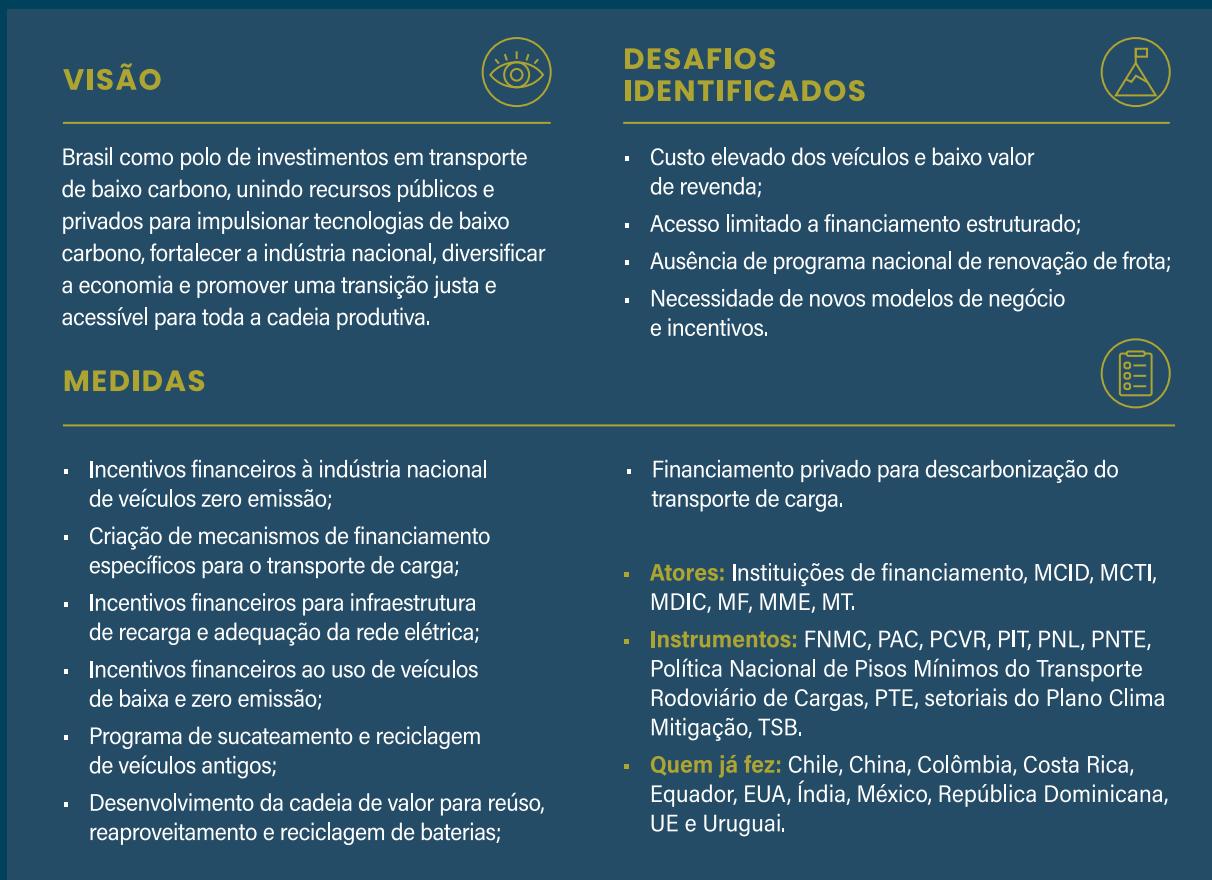
Tem sido comum em diversos países que planos mais abrangentes de descarbonização sejam detalhados em estratégias específicas de eletromobilidade, com destaque aos latino-americanos, como **Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, México, Panamá, Paraguai e República Dominicana** (Anaya, 2020; Chile, 2021b; Colombia, 2020; Costa Rica, 2019b; BID, 2021; México, 2023; ONU, 2019; Paraguay, 2023). Destaca-se o exemplo do **Chile**, que definiu metas e políticas robustas em quatro eixos (tecnologia, infraestrutura, capital humano e articulação) com um plano de trabalho detalhado para ser implementado de 4 a 5 anos (Chile, 2021b). Na Ásia, **China** e **Índia** lideram a descarbonização do setor pela criação e implementação de diferentes políticas para eletrificação e para o transporte a hidrogênio verde.



Eixo econômico e financeiro

Este eixo concentra-se nos mecanismos de viabilização econômica da transição energética, analisando instrumentos financeiros e modelos de negócio que possam acelerar a adoção de tecnologias limpas. A estruturação desse componente considera tanto os desafios de custos iniciais quanto a necessidade de criar modelos de negócios sustentáveis e viáveis técnica e economicamente. A **Figura 9** apresenta um resumo do eixo econômico e financeiro.

Figura 9 | Resumo do eixo econômico e financeiro



Fonte: Elaborado pelos autores.

DESAFIOS DO EIXO ECONÔMICO E FINANCEIRO



Custo elevado dos veículos e baixo valor de revenda.

O custo inicial mais elevado dos caminhões elétricos, em comparação aos veículos a diesel, é um dos principais desafios financeiros para a transição tecnológica no transporte de carga. Apesar da tendência de redução desses custos com o avanço da escala produtiva e de menores custos operacionais e de manutenção, a capacidade limitada de investimento, especialmente entre pequenas e médias empresas, se apresenta como fator restritivo à adoção dessas tecnologias no atual modelo de negócios do setor. Além disso, o mercado secundário de veículos elétricos ainda é incipiente, e esses ativos tendem à desvalorização acelerada, sobretudo pelo fato de que grandes frotistas costumam renovar e revender seus veículos antes do período em que o retorno econômico do elétrico se concretiza.

Acesso limitado a financiamento estruturado.

O setor de transporte de carga é majoritariamente privado, o que limita o acesso a financiamentos públicos estruturados. Diferentemente do segmento de ônibus, que tem avançado na descarbonização com incentivos governamentais, o de caminhões não está amplamente contemplado por políticas públicas de financiamento estruturado. Os requisitos exigidos por bancos multilaterais de desenvolvimento e o foco em operações de maior escala tornam o acesso ao crédito ainda mais desafiador para empresas de menor porte e transportadores autônomos.

Ausência de programa nacional de renovação de frota.

A inexistência de um programa nacional de renovação e de sucateamento de frota voltado ao transporte de carga limita o avanço da descarbonização do setor, já que não há incentivos para a retirada de veículos抗igos e para a promoção de tecnologias mais limpas. Na ausência de fomentos à substituição de veículos com maior impacto ambiental, a permanência de frotas com altos índices de emissão segue como uma realidade para parte significativa dos operadores.

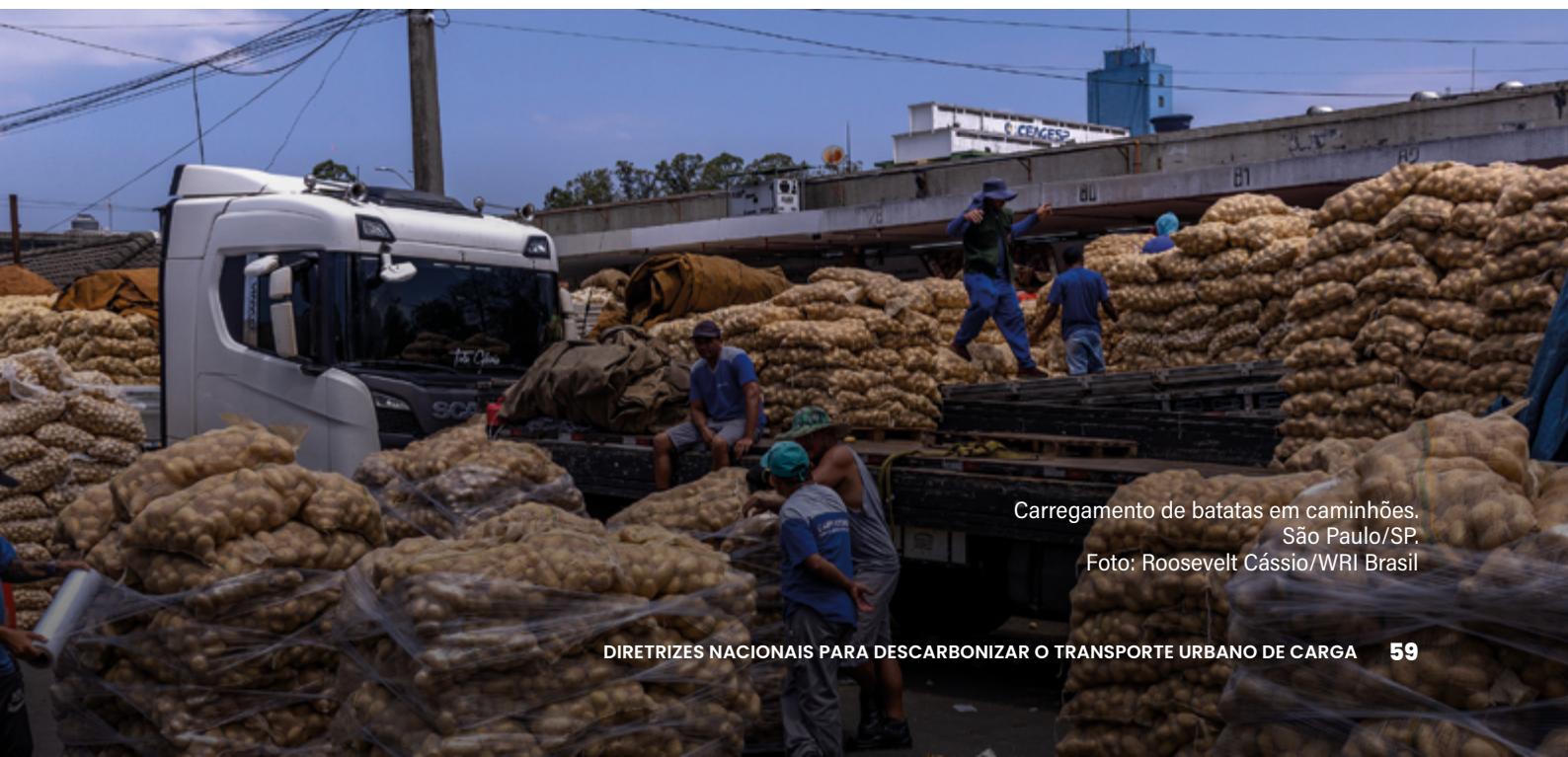
Necessidade de novos modelos de negócio e incentivos.

Iniciativas – como compras agregadas, com intermediação governamental, modelos de locação de frota, como o leasing, e novos modelos de negócio – são opções para ampliar o acesso a frotas limpas. No entanto, novas alternativas podem necessitar de uma mudança cultural. Além disso, tendo em vista a viabilidade econômica e o ganho de escala, as novas tecnologias dependem de modelos de negócios que alcancem a paridade de custo total de propriedade entre veículos de baixa emissão e os movidos a diesel, requerendo um conjunto coordenado de políticas de incentivo e medidas regulatórias.

VISÃO DE FUTURO DO EIXO ECONÔMICO E FINANCEIRO



Brasil como polo de investimentos em transporte de baixo carbono, unindo recursos públicos e privados para impulsionar tecnologias de baixo carbono, fortalecer a indústria nacional, diversificar a economia e promover uma transição justa e acessível para toda a cadeia produtiva.



Carregamento de batatas em caminhões.
São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

MEDIDAS PRIORITÁRIAS DO EIXO ECONÔMICO E FINANCEIRO



1 Incentivos financeiros à indústria nacional de veículos zero emissão.

Promover incentivos financeiros ao desenvolvimento de tecnologias nacionais para veículos zero emissão e baterias de tração que armazenam energia necessária ao funcionamento dos veículos elétricos a bateria, visando fortalecer a indústria brasileira e diversificar a economia.

2 Criação de mecanismos de financiamento específicos para o transporte de carga.

Diante do alto custo inicial dos veículos de carga zero emissão e das dificuldades de acesso ao crédito, especialmente entre pequenas e médias empresas transportadoras, recomenda-se o desenvolvimento de instrumentos financeiros voltados ao setor. Linhas de crédito dedicadas, combinadas a garantias públicas e fundos de mitigação de risco, podem viabilizar a aquisição desses veículos. É essencial que esses instrumentos sejam acessíveis, com condições adequadas à realidade do setor, de modo a ampliar a adoção de tecnologias de baixa emissão.

3 Incentivos financeiros para infraestrutura de recarga e adequação da rede elétrica.

Instituir incentivos financeiros e mecanismos para criação de linhas de financiamento orientados a implementação de pontos de recarga e adequação da rede de energia elétrica. O objetivo é suportar a eletrificação de todos os modos de transporte, incluindo o de carga.

4 Incentivos financeiros ao uso de veículos de baixa e zero emissão.

Estabelecer incentivos fiscais progressivos, como IPVA verde e benefícios vinculados a selos de sustentabilidade, isenção de estacionamento, pedágios e outras tarifas. O valor do incentivo deve ser inversamente proporcional ao nível de emissões e ao impacto ambiental do veículo, garantindo estímulos maiores aos veículos zero emissão. Adicionalmente, critérios de emissões e de eficiência energética podem ser incorporados à definição de valores de fretes no transporte rodoviário, de modo a gerar vantagens econômicas a transportadores que operem com frotas mais limpas e eficientes. Também podem ser considerados incentivos indiretos, a exemplo de taxas especiais de energia elétrica para eletroterminais, entre outros modelos de incentivos.

5 Programa de sucateamento e reciclagem de veículos antigos.

Implementar mecanismos financeiros para estimular a destinação adequada - sucateamento e reciclagem - de veículos antigos e altamente poluentes, inclusive os de carga, vinculando-os a programas de inspeção veicular de emissões, de modo a promover a renovação da frota poluente por veículos de baixa emissão.

6 Desenvolvimento da cadeia de valor para reúso, reaproveitamento e reciclagem de baterias.

Adotar políticas para essas finalidades, com incentivos para logística reversa e infraestrutura de descarte adequado.

7 Financiamento privado para descarbonização do transporte de carga.

Criar mecanismos com o intuito de atrair investimentos privados para projetos de descarbonização do transporte de carga, por meio de P&DI, parcerias público-privadas (PPPs), contrapartidas de concessões, de projetos com externalidades, de isenções fiscais concedidas, entre outros.

A seguir, são indicados atores e instrumentos com potencial para apoiar esta temática e incorporar as diretrizes propostas.

Entidades do governo que podem contribuir para as medidas⁵:

- **Principais:** Instituições de financiamento, MCID, MCTI, MDIC, MF, MME e MT.
- **Apoios:** ABDI, Aneel, ANTT, Camex, Fonte, MIDR, MMA, municípios, estados e entidades representativas do setor privado, da academia e da sociedade civil.

Instrumentos em vigor ou em desenvolvimento⁶ com potencial de apoio e incorporação das medidas prioritárias:

- **Principais:** FNMC, Mover, Paten, PIT, PNTE e Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas (Lei nº 13.703/2018).
- **Apoios:** Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Cidades, Energia, Indústria, Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos, Transportes, PAC, PCVR, PlanMob, Plante PNL e TSB.

⁵ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente as entidades participantes.

⁶ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente os instrumentos envolvidos.

Quem já adotou medidas para o eixo econômico e financeiro

Incentivo à indústria nacional de veículos zero emissão

Diversos países implementaram políticas para estimular sua indústria local de veículos sustentáveis, considerando incentivos fiscais direcionados e aproveitamento de vantagens comparativas para desenvolver cadeias produtivas nacionais. A **China** adotou uma estratégia de alto grau de mobilização, com o New Energy Vehicle Industrial Development Plan 2021-2035, que ofereceu subsídios diretos à produção local e estabeleceu metas progressivas para conteúdo nacional (ICCT, 2021). Como resultado, empresas como BYD e Foton, tornaram-se líderes globais em caminhões elétricos. A **Índia** reduziu de 12% para 5% a taxa do Imposto sobre Bens e Serviços de veículos elétricos produzidos localmente, impulsionando fabricantes como a Tata Motors (India, 2019). O **Chile**, por sua vez, está se valendo de suas vastas reservas de lítio (46,6% do global) para atrair investimentos em fabricação de baterias e montagem de veículos (Chile, 2023b).

Facilitação de crédito para aquisição de veículos zero emissão

Programas de financiamento acessíveis têm sido fundamentais para democratizar o acesso a veículos sustentáveis. Modelos que combinam regulamentação financeira e instrumentos inovadores de garantia podem viabilizar a transição para frotas sustentáveis, especialmente para pequenos e médios operadores. A **Costa Rica** definiu na Lei nº 9.518/2018 a obrigatoriedade de que instituições financeiras revisem suas linhas de crédito para oferecer condições especiais para a aquisição de veículos elétricos (Costa Rica, 2018). O **Uruguai**, através do projeto Movés, criou uma linha de créditos verdes que já emprega a economia futura em combustível no subsídio de taxas de juros (Uruguay, 2022b). Na **Índia**, a iniciativa e-Fast desenvolveu mecanismos de compartilhamento de riscos para facilitar o acesso a capital por pequenos transportadores (e-Fast, 2024).



Incentivo financeiro para infraestrutura de recarga e adequação da rede elétrica

A expansão da infraestrutura de recarga tem sido apoiada por diversos modelos de financiamento, combinando recursos públicos com modelos de negócio sustentáveis para a operação dessa infraestrutura. O **Chile** implementou o programa + Carga Pública, que oferece cofinanciamento para instalação de carregadores em regiões com pouca infraestrutura, além de assessoria técnica para projetos privados (Agencia de Sostenibilidad Energética, 2024). A **União Europeia** vinculou fundos do European Green Deal à expansão de redes transeuropeias de recarga, com metas obrigatórias de cobertura (European Commission, 2023a). Nos **Estados Unidos**, a National Zero-Emission Freight Corridor Strategy direcionou investimentos federais para infraestrutura de recarga ao longo de rotas estratégicas (United States, 2024).

Incentivos ao uso de veículos de baixa emissão

Sistemas de incentivos fiscais progressivos por nível de emissão criam um efeito cascata na renovação de frotas. A **Colômbia** estabeleceu, na Lei nº 1.964/2019, redução do imposto veicular, descontos em revisões técnicas e benefícios como estacionamento preferencial para veículos elétricos (Colombia, 2019). O **Equador** implementou isenções

do Imposto a Consumos Especiais e do Imposto de Valor Agregado (IVA) para veículos elétricos, com alíquotas progressivas conforme o valor do modelo (Ecuador, 2018). A **República Dominicana** oferece redução de 50% no imposto de importação para veículos não convencionais através da Lei nº 103-13 (República Dominicana, 2013).

Programa de sucateamento e reciclagem de veículos antigos

Programas estruturados de sucateamento e reciclagem de frota, vinculados a programas de renovação de frota e programas de inspeção veicular, geram benefícios ambientais e econômicos tangíveis. O **Equador** implementou o Plan de Renovación Vehicular que, entre 2008 e 2015, retirou de circulação 20.241 veículos antigos, com estimativa de economia de 36 milhões de galões de combustível (Ecuador, [s.d.]). O **México** desenvolveu o Programa Transporte Límpio, que em 2022 evitou 3,3 milhões de toneladas de CO₂ através da renovação de frotas (México, 2023). A **União Europeia** integrou o sucateamento às normas Euro, com exigências sobre adaptações de design que favoreçam a reciclagem de veículos novos (European Commission, 2023e).

Desenvolvimento da cadeia de valor para baterias

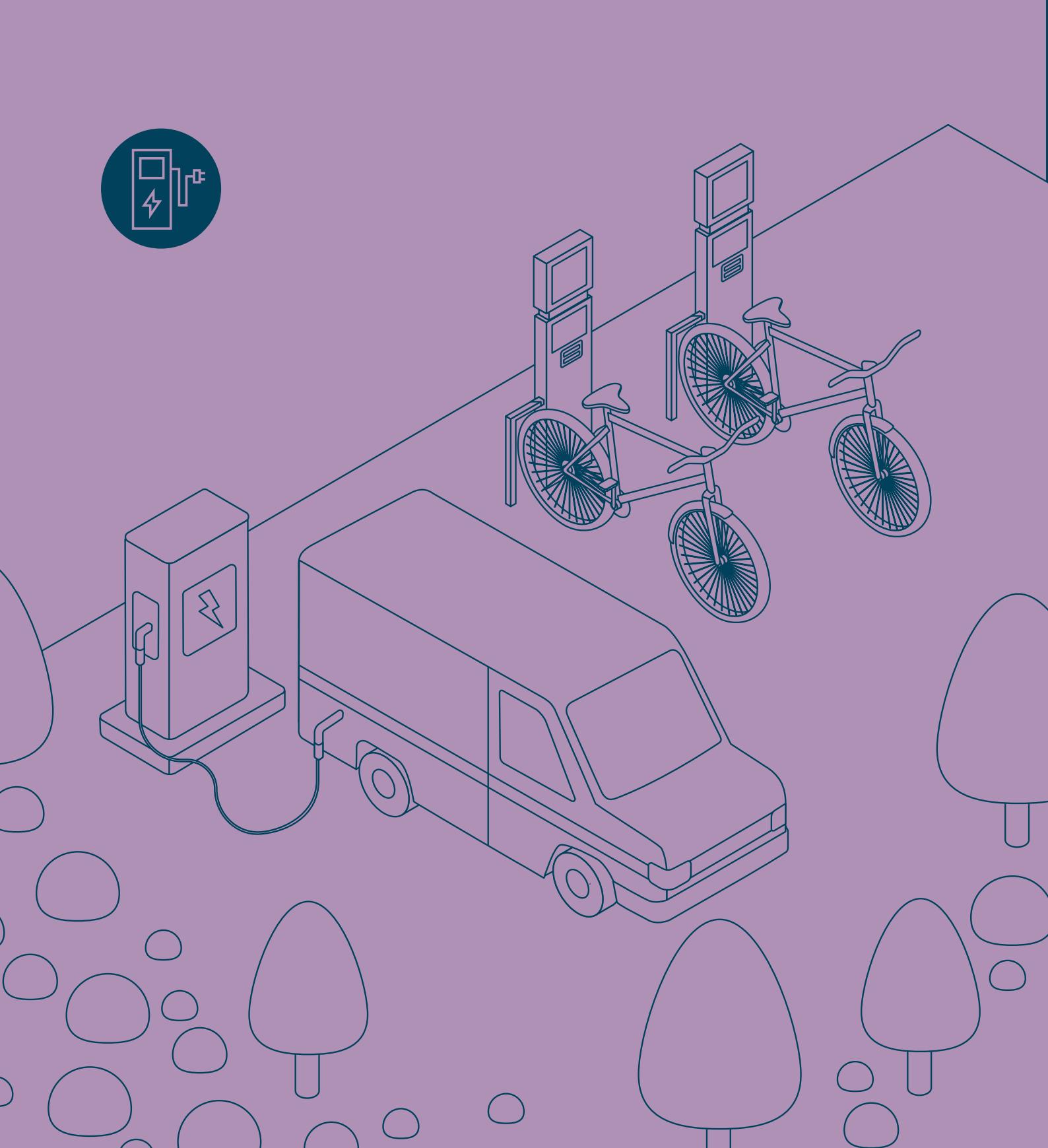
Políticas para economia circular de baterias estão avançando globalmente, com questões relacionadas a regulamentação específica e investimentos em tecnologia para fechar o ciclo de vida dos componentes. A **União Europeia** estabeleceu na Battery Regulation metas obrigatórias de conteúdo reciclado (70% para baterias de chumbo e 50% para as de lítio, até 2030) (European Commission, 2023d). A **China** desenvolveu um ecossistema integrado, desde a mineração até a reciclagem, com plantas industriais especializadas (ICCT, 2021). Os **Estados Unidos** incluíram a reciclagem de baterias no programa SuperTruck 3, com investimento de US\$ 127 milhões (EUA, 2021).

Financiamento privado para descarbonização

Modelos inovadores de captação de recursos privados têm surgido para complementar investimentos públicos e ampliar a adoção de novas tecnologias. A **União Europeia** criou o Innovation Fund, financiado por leilões de créditos de carbono, que destina recursos a projetos de descarbonização do transporte (European Commission, 2023c). O **Chile** estruturou Compromiso público privado por la electromovilidad, em que empresas assumem metas voluntárias em troca de benefícios (Chile, 2021a). A **Índia** desenvolveu o modelo Pay-as-you-save na iniciativa Shoonya, em que futuras economias em combustível garantem empréstimos (Shoonya Zero Pollution Mobility, 2024).



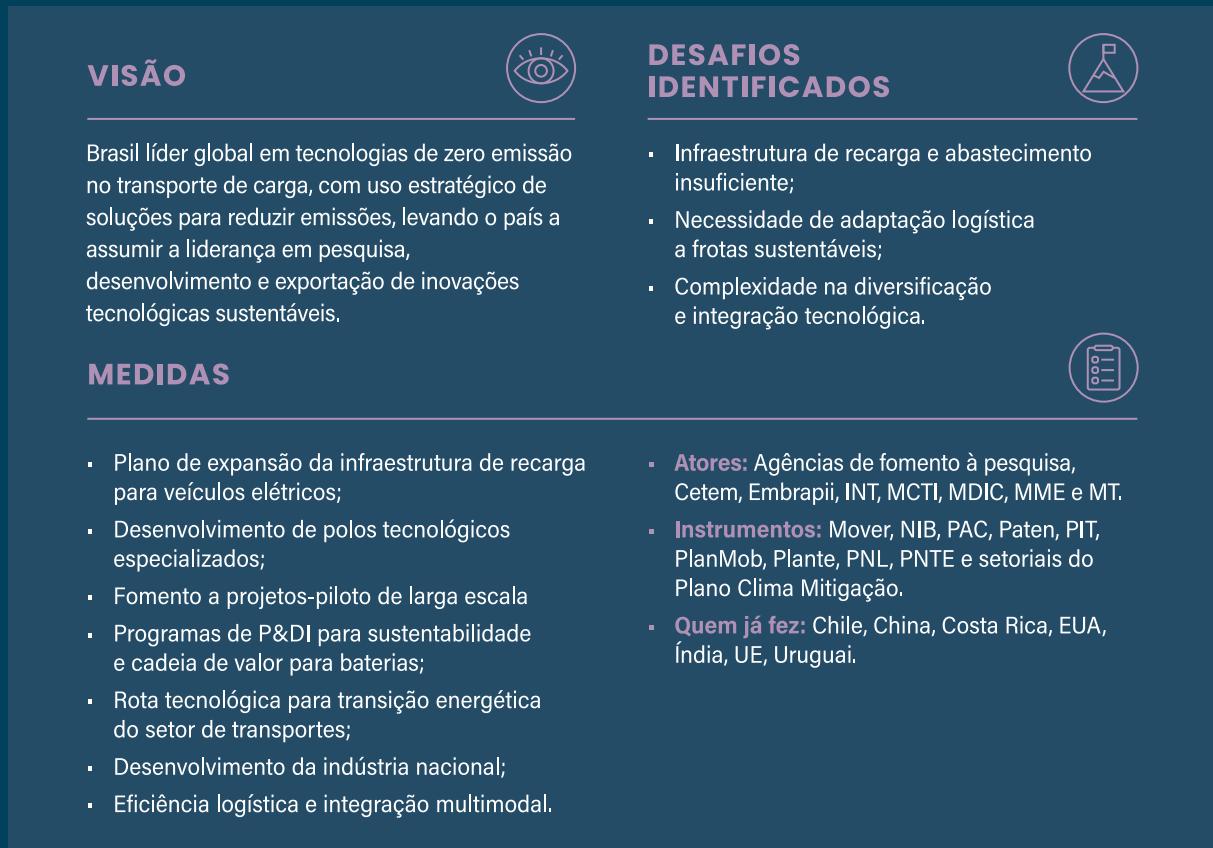
Caminhões estacionados.
São Paulo/SP.
Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil



Eixo tecnológico

Este eixo trata dos aspectos tecnológicos fundamentais para viabilizar a descarbonização do transporte de carga no Brasil, com foco em infraestrutura de recarga, eficiência energética, cadeia produtiva, monitoramento e testes-piloto. São considerados os principais desafios técnicos e operacionais, como a insuficiência de pontos de recarga e abastecimento, a complexidade na integração de múltiplas soluções energéticas e as adaptações logísticas necessárias à adoção de frotas sustentáveis. A **Figura 10** apresenta um resumo do eixo tecnológico

Figura 10 | Resumo do eixo tecnológico



Fonte: Elaborado pelos autores.



Infraestrutura de recarga e abastecimento insuficiente.

Um dos principais desafios à descarbonização veicular do transporte rodoviário de carga no Brasil está relacionado a insuficiência de postos de recarga e abastecimento. A ausência de redes adequadas limita a viabilidade da descarbonização, especialmente em rotas de longa distância, nas quais a autonomia de veículos elétricos, por exemplo, ainda não atende plenamente às exigências operacionais. Em áreas urbanas, embora essa limitação seja menos acentuada, persiste a necessidade de um planejamento coordenado que garanta a instalação de pontos estratégicos de recarga e abastecimento. A multiplicidade de agentes envolvidos no transporte de carga e a falta de cooperação entre atores também dificultam a consolidação de investimentos conjuntos em infraestrutura de recarga.

Necessidade de adaptação logística a frotas sustentáveis.

No âmbito da operação logística por veículos elétricos, aspectos como o tempo de recarga das baterias e o peso adicional desses componentes podem influenciar a eficiência em determinadas configurações de serviço, os quais tendem a ser superados com planejamento operacional, amadurecimento tecnológico e ganhos de experiência. Nesse contexto, outras tecnologias em desenvolvimento, como as células de combustível de hidrogênio, e soluções já disponíveis para transição, como os biocombustíveis, ampliam as opções para descarbonização, embora também tenham desafios de produção, distribuição e uso integrado.

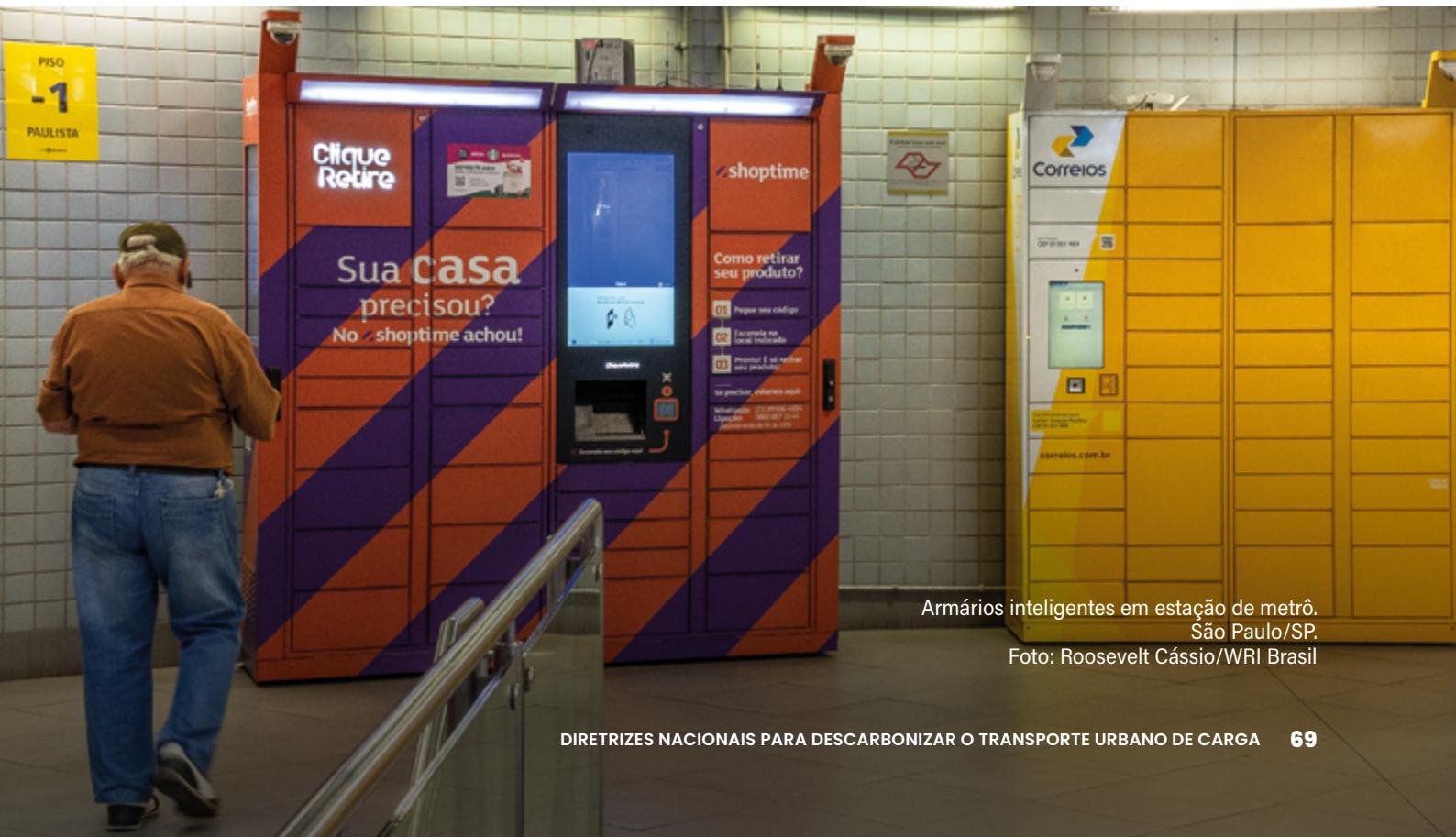
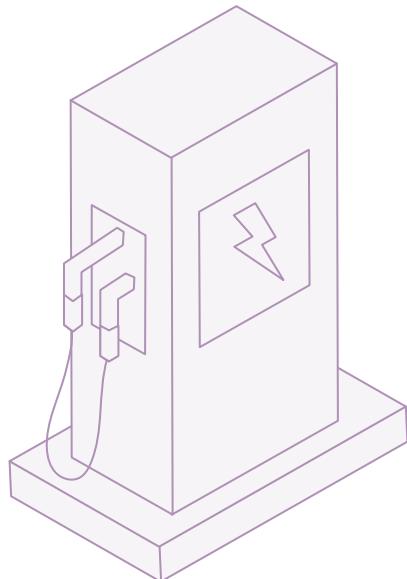
Complexidade na diversificação e integração tecnológica.

A diversidade de opções tecnológicas disponíveis no Brasil para a redução das emissões no transporte de carga evidencia a importância de uma abordagem integrada e estratégica. O predomínio histórico do diesel na matriz energética do setor impõe barreiras à diversificação, ao mesmo tempo em que a coexistência de diferentes soluções tecnológicas pode dificultar a convergência necessária para ganhos em escala. Nesse cenário, a superação dos desafios técnicos e estruturais requer uma visão sistêmica que considere as especificidades operacionais, logísticas e territoriais do Brasil.

VISÃO DE FUTURO DO EIXO TECNOLÓGICO



Brasil líder global em tecnologias de zero emissão no transporte de carga, com uso estratégico de soluções para reduzir emissões, levando o país a assumir a liderança em pesquisa, desenvolvimento e exportação de inovações tecnológicas sustentáveis.



Armários inteligentes em estação de metrô.
São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil



1 Plano de expansão da infraestrutura de recarga para veículos elétricos.

Estabelecer um plano nacional com incentivos para pontos de recarga dos tipos rápida e de oportunidade, em centros urbanos e em rotas estratégicas, garantindo padrões mínimos de qualidade, compatibilidade e segurança, integração à rede elétrica de alta capacidade e atendimento à demanda de veículos elétricos para transporte de carga.

2 Desenvolvimento de polos tecnológicos especializados.

Criar polos tecnológicos, em parceria com universidades e empresas, voltados à inovação e ao desenvolvimento de tecnologias essenciais à transição energética. O objetivo é fomentar P&DI de soluções sustentáveis, como o refino de minerais críticos, a otimização de baterias, o desenvolvimento de novos materiais leves para veículos, a criação de fontes alternativas de energia e o aperfeiçoamento de processos eficientes de reúso e reciclagem de componentes. A iniciativa visa fortalecer a autonomia tecnológica do Brasil, reduzir o impacto da cadeia produtiva e promover um transporte de carga zero emissão, além de reforçar a posição econômica e geopolítica do país.

3 Fomento a projetos-piloto de larga escala.

Promover projetos-piloto em escala real de operação para desenvolver, validar e otimizar tecnologias zero emissão, com o objetivo de abordar desafios, como tempo de recarga, peso de baterias, modelos de negócios e de operação, além de fomentar inovações que consolidem essa tecnologia e reduzam os riscos de adoção e investimento.

4 Programas de P&DI para sustentabilidade e cadeia de valor para baterias.

Implementar programas de P&DI para fabricação, reúso, reaproveitamento e reciclagem de baterias. O objetivo é promover uma cadeia ambiental e economicamente sustentável que abranja desde a extração responsável de minerais críticos e a produção de baterias até sua segunda vida útil (como armazenamento de energia renovável ou aplicações menos demandantes), garantindo o descarte adequado.

5 Rota tecnológica para transição energética do setor de transportes.

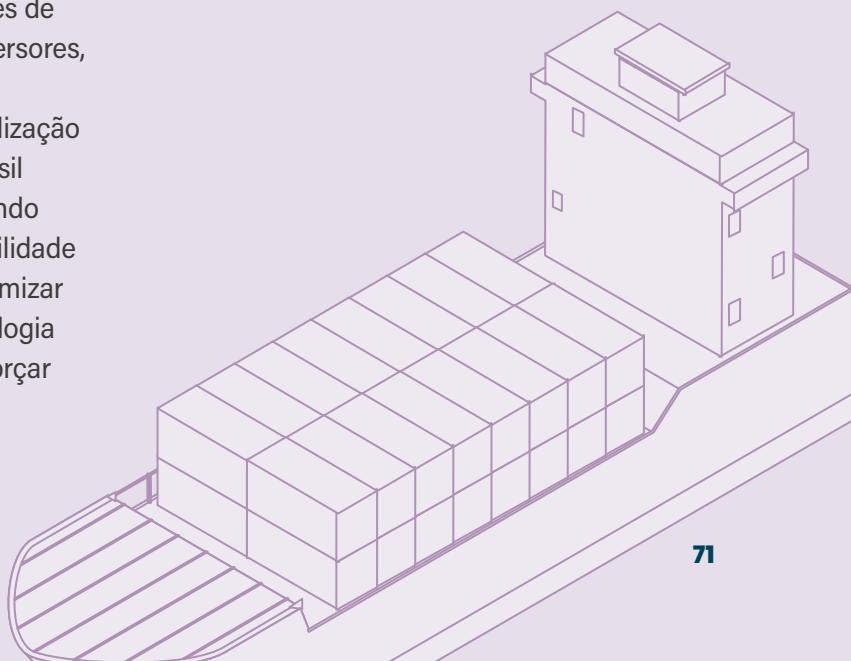
Estabelecer diretrizes nacionais para a transição energética do transporte de carga, priorizando tecnologias de zero emissão e considerando uma visão holística das diferentes opções disponíveis e em desenvolvimento. As diretrizes deverão avaliar os impactos nos curto, médio e longo prazos, bem como dos papéis de cada tecnologia na transição energética. Também deverão promover políticas de incentivos e desincentivos baseado no potencial de descarbonização, de impactos, nas metas de redução de GEE e na viabilidade das tecnologias.

6 Desenvolvimento da indústria nacional.

Fortalecer a cadeia produtiva com incentivos à fabricação local de veículos de carga zero emissão, autopeças e infraestrutura de apoio, incluindo o fortalecimento de fornecedores de componentes críticos, como motores, inversores, sistemas de baterias e equipamentos de recarga. Além disso, promover a industrialização de minerais críticos para posicionar o Brasil como polo de processamento, intensificando sua competitividade global, com a possibilidade de aumentar receitas de exportação, dinamizar setores como metalurgia, plásticos, tecnologia da informação e engenharia, também reforçar a soberania tecnológica e a resiliência econômica do país.

7 Eficiência logística e integração multimodal.

Promover a participação e integração de modos mais sustentáveis na matriz de transporte de carga, articulando ações nos níveis federal, estadual e municipal. No nível regional e urbano, estimular ações de eficiência logística, como a implantação de centros logísticos, redes de armários inteligentes, fracionamento de carga, operação em horários de menor trânsito, coordenação regulatória entre municípios conurbados e estímulo ao uso de bicicletas elétricas. No nível federal, promover integração e migração para ferrovias e hidrovias, melhoria da infraestrutura rodoviária, fomento ao desenvolvimento de veículos de carga mais eficientes, incentivo à implantação de sistemas de gestão de tráfego em fluxo contínuo e ao uso de telemetria para gestão inteligente de rotas e frotas.





Ponto de carregamento elétrico para carros elétricos (veículos elétricos que poluem menos) pintado no chão.

Fonte: Road Red Runner/Adobe Stock.

A seguir, são indicados atores e instrumentos com potencial para apoiar esta temática e incorporar as diretrizes propostas.

Entidades do governo que podem contribuir para as medidas⁷:

- **Principais:** Agências de fomento à pesquisa, Cetem, Embrapii, EPE, Finep, INT, MCTI, MDIC, MME e MT.
- **Apoios:** ABDI, ABNT, Aneel, ANM, Cepel, CNT, Infra S.A., Inmetro, instituições de financiamento, MCID, MEC, MMA, municípios e estados, entidades representativas do setor privado, da academia e da sociedade civil.

Instrumentos em vigor ou em desenvolvimento⁸ com potencial de apoio e incorporação das medidas prioritárias:

- **Principais:** Mover, NIB, PAC, Paten, PlanMob, Plante, PIT, Plano Clima Mitigação setoriais Cidades, Transportes, PNL, PNTE.
- **Apoios:** Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Energia, Indústria e Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos, Fonte, ONTL, PCVR, PTE e TSB.

⁷ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente as entidades participantes.

⁸ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente os instrumentos envolvidos.

Quem já adotou medidas para o eixo tecnológico

Plano de expansão da infraestrutura de recarga para veículos elétricos

Para a expansão da infraestrutura de recarga e abastecimento de tecnologias de baixa emissão, é necessária uma combinação de regulamentação, ferramentas de informação e PPPs. O **Chile** implementou o Pliego Técnico Normativo nº 15 para regulamentar a instalação segura de pontos de recarga (Chile, 2006) e criou o aplicativo EcoCarga para mapear estações públicas (Chile, 2024a). Além disso, o programa + Carga Pública promoveu a instalação de infraestrutura de recarga em regiões com pouca oferta através de licitações e cofinanciamentos (Agencia de Sostenibilidad Energética, 2024). Os **Estados Unidos**, por sua vez, desenvolveram a National Zero-Emission Freight Corridor Strategy, priorizando investimentos em infraestrutura de recarga ao longo de rotas estratégicas (United States, 2024). A **Colômbia** também desenvolveu diferentes políticas que contemplam a expansão de sua infraestrutura de recarga, o que figura como principais pontos da lei que promove o uso de veículos elétricos (Colombia, 2019) e da Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (Colombia, 2020).

Desenvolvimento de polos tecnológicos especializados

A colaboração entre academia, indústria e governo pode acelerar o avanço tecnológico. A **China**, por exemplo, investiu pesadamente em centros de pesquisa para o desenvolvimento de baterias e geração de hidrogênio verde (Serena; Lynn, 2024; Nanhai, 2024). A **União Europeia** criou a European Clean Trucking Alliance, que reúne universidades, indústrias e governos para impulsionar P&DI em mobilidade sustentável (ECTA, 2024).

Fomento a programas de P&DI e projetos-piloto

Políticas para projetos-piloto são importantes estratégias para testar tecnologias em condições reais antes da ampla implementação. O **Uruguai** efetivou o projeto Movés, que testou veículos elétricos em operações reais de logística, incluindo um programa de testes gratuitos para empresas, o que permitiu percorrer mais de 200 mil km e evitar a emissão de 51 toneladas de CO₂ (Uruguay, 2022a). A **União Europeia** criou o projeto NextETRUCK visando um sistema inovador de alta eficiência de operação de caminhões elétricos para transporte urbano, abordando desafios como autonomia e custos (European Commission, 2022). Os **Estados Unidos** investem US\$ 200 milhões no programa de pesquisa Electric Drive Vehicle Battery Recycling and Second

Life Applications (EUA, 2022), que envolve universidades, entidades sem fins lucrativos e empresas privadas, com o objetivo de aprimorar tecnologias de segunda vida para baterias e, estrategicamente, reduzir a dependência de insumos estrangeiros na fabricação.

Políticas que assegurem a correta destinação de baterias após seu uso em veículos são essenciais para a sustentabilidade ambiental dessas tecnologias e podem impulsionar o desenvolvimento de um novo setor no país. Os **Estados Unidos**, com o programa Supertruck 3, financiou pesquisas em reciclagem de baterias e eficiência energética para caminhões, com investimento de US\$ 127 milhões (EUA, 2021). A **China** estabeleceu um ecossistema completo para baterias, desde a extração de matérias-primas até a reciclagem, posicionando-se como líder global nesse mercado (ICCT, 2021).

Rota tecnológica para transição energética do setor de transportes

Planos de médio e longo prazos, com metas mensuráveis e regulatórias, podem oferecer a segurança necessária às novas tecnologias no país. A **Costa Rica** implementou seu Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 com metas claras para cada setor e prazos específicos para a eletrificação do transporte de carga (Costa Rica, 2019a). A **União Europeia**, com o Green Deal, integrou o transporte de carga em uma estratégia abrangente de neutralidade

climática (European Commission, 2024). O desenvolvimento de uma rota tecnológica clara depende de um conjunto de políticas que estabeleçam não só objetivos, metas e medidas, mas iniciativas capazes de orientar e coordenar investimentos, público e privados, atrelados a um ordenamento tecnológico racional e condizente com recursos e necessidades nacionais. Dessa forma, induz-se um novo ambiente de oportunidades e sinergias que elevam a competitividade e desenvolvem as cadeias produtivas. Resultados desse tipo de iniciativa já podem ser observados com maior maturidade na **China**, atual líder mundial na produção de veículos de novas energias. A **União Europeia**, por sua vez, começa a apresentar avanços consistentes: hoje responde por 25% das vendas globais de veículos elétricos, e a aquisição de caminhões zero emissões cresceu 53% no primeiro semestre de 2024 em relação ao mesmo período do ano anterior (World Bank Group, 2025).

Desenvolvimento da indústria nacional

Políticas industriais bem desenhadas podem criar cadeias produtivas competitivas. A **China** implementou uma política intensiva de subsídios para fabricantes locais de veículos elétricos, resultando em empresas que se tornaram líderes globais (ICCT, 2021). A **Índia** reduziu impostos para veículos elétricos produzidos localmente, impulsionando empresas como

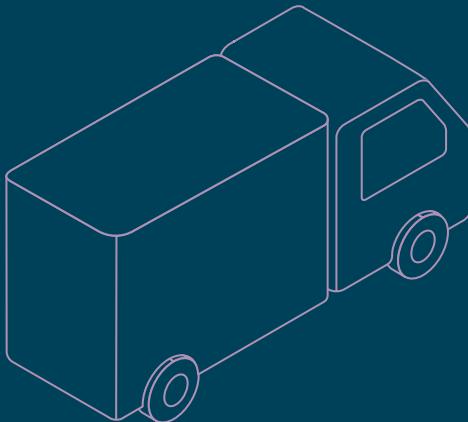
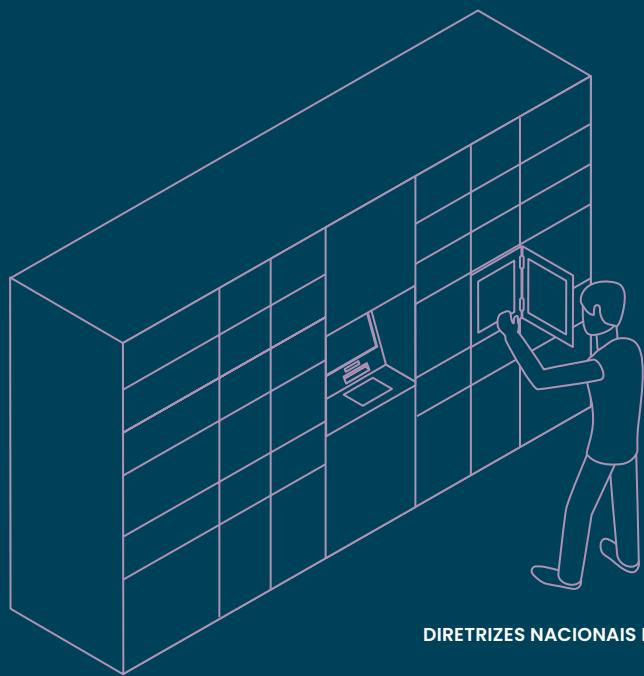
a Tata Motors (India, 2019). **Chile e Colômbia** apresentam políticas de incentivo à indústria nacional de forma mais consistente em suas estratégias de produção de hidrogênio verde.

Eficiência logística e integração multimodal

Para promover a descarbonização do transporte de carga no Brasil, é essencial adotar medidas contínuas de eficiência logística urbana que reduzam deslocamentos, otimizem rotas e aumentem a fluidez operacional. A **União Europeia** recomenda estratégias como o transporte colaborativo entre operadores, a adoção de microcentros de distribuição e armários inteligentes, além da criação de centros de consolidação urbana para melhorar a última milha, da integração de infraestrutura para devoluções e logística

circular e de incentivos ao transporte colaborativo entre operadores logísticos, o que permite o compartilhamento de frota entre empresas para aproveitamento de capacidade ociosa através da combinação de cargas complementares (Expert Group on Urban Mobility, 2022).

Experiências internacionais demonstram resultados positivos: **Nova Iorque** implementou em 2025 a cobrança por congestionamento, o que acelerou o tráfego de caminhões com uma queda de 44% nos tempos de viagem para veículos comerciais (Geotab, 2025). **Londres**, por sua vez, reduziu emissões e congestionamentos por meio do programa LoCITY, que incentiva a adoção de veículos de baixa emissão, centros de consolidação e bicicletas de carga (Transport for London, 2016). Já **Paris** avançou com o centro logístico Connect Paris, que combina mobilidade elétrica, consolidação de entregas e integração ferroviária, minimizando operações redundantes (Prologis France, 2022).

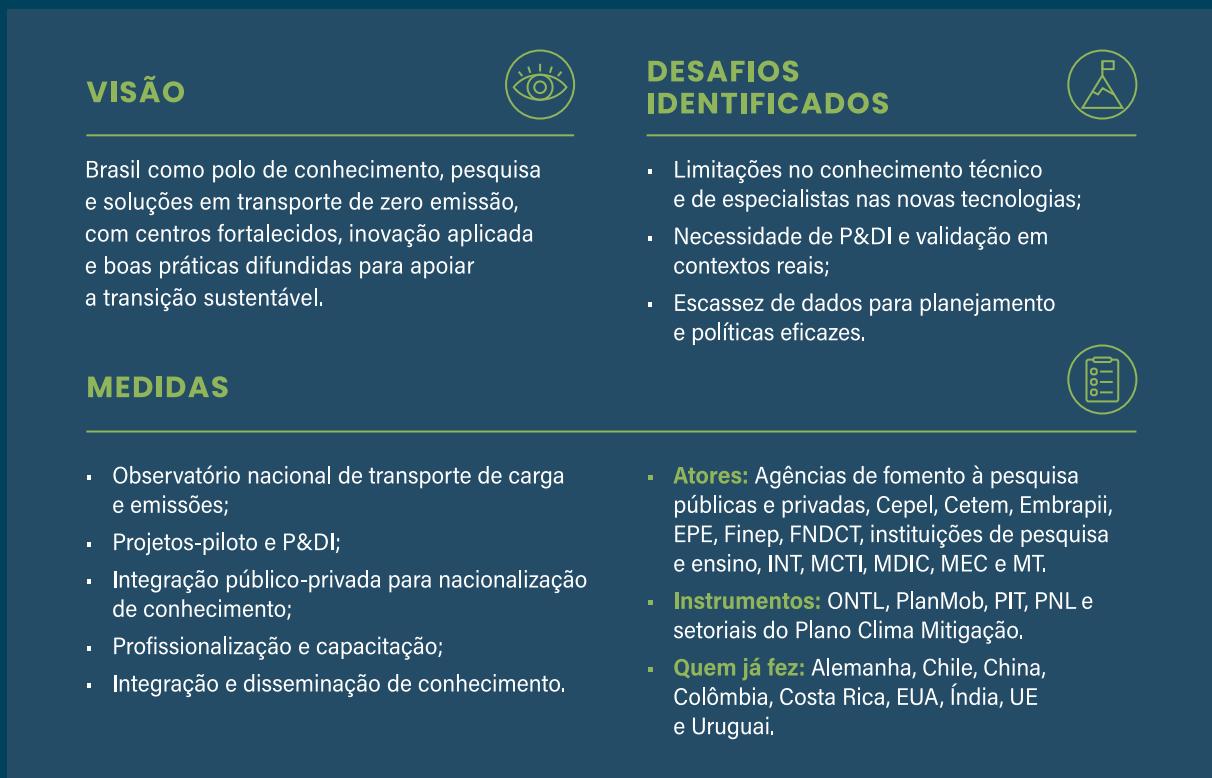




Eixo de dados e conhecimento

Centrado na construção de bases informacionais robustas, este eixo aborda os sistemas de monitoramento, pesquisa aplicada e capacitação profissional necessários para embasar a tomada de decisões estratégicas. A estruturação deste componente reconhece a importância de dados confiáveis e conhecimento especializado para orientar políticas públicas e investimentos privados. A **Figura 11** apresenta um resumo do eixo dados e conhecimento.

Figura 11 | Resumo do eixo de dados e conhecimento



Fonte: Elaborado pelos autores.

DESAFIOS DO EIXO DE DADOS E CONHECIMENTO



Limitações no conhecimento técnico e de especialistas nas novas tecnologias.

A falta de clareza sobre as soluções tecnológicas disponíveis e suas aplicações específicas aos diferentes segmentos logísticos exige conhecimento técnico qualificado, tanto em relação ao funcionamento das tecnologias quanto às suas implicações ambientais, operacionais e econômicas. Ainda são limitadas as informações consolidadas sobre o desempenho real das novas tecnologias em condições diversas de uso, considerando aspectos como degradação de baterias, variações de autonomia conforme o clima e limitações da infraestrutura de recarga e abastecimento. Esses fatores, aliados à carência de profissionais especializados nos setores público e privado, dificultam a consolidação de análises que apoiem a tomada de decisão quanto à adoção das novas tecnologias em larga escala.

Necessidade de P&DI e validação em contextos reais.

O desenvolvimento e o aprimoramento das tecnologias limpas aplicadas ao transporte de carga exigem investimentos contínuos

em P&DI, bem como a realização de projetos-piloto em contextos operacionais reais. A insuficiência de testes em ambientes controlados e de validação em campo limita a percepção de viabilidade econômica e técnica, especialmente em setores que operam com margens econômicas pequenas e mais sensíveis ao risco. Além disso, a transição para veículos zero emissão também exige planejamento logístico cuidadoso, pois nem sempre é possível realizar substituição direta entre veículos elétricos e os convencionais movidos a diesel. Em determinadas operações, a necessidade de recarga pode demandar o redimensionamento da frota, com impactos diretos sobre custos e infraestrutura necessária.

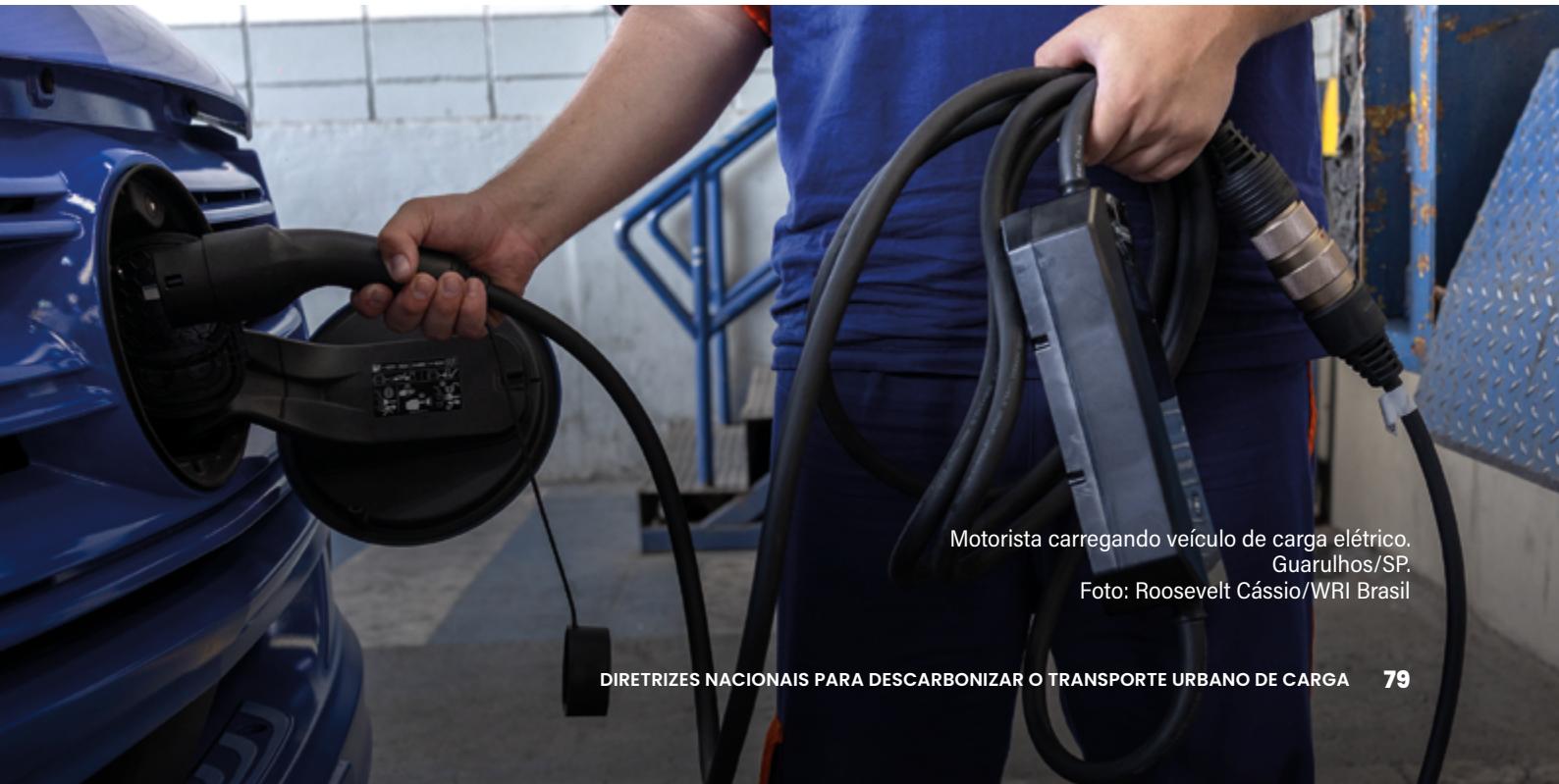
Escassez de dados para planejamento e políticas eficazes.

Adicionalmente, a escassez de dados sobre o transporte de carga, urbano e rodoviário, representa um entrave para a formulação de políticas públicas eficazes. Informações limitadas sobre emissões, rotas, tipologias de carga e características operacionais dificultam o planejamento estratégico e a definição de critérios técnicos adequados para orientar a substituição tecnológica e os investimentos associados.

VISÃO DE FUTURO DO EIXO DE DADOS E CONHECIMENTO



Brasil como polo de conhecimento, pesquisa e soluções em transporte de zero emissão, com centros fortalecidos, inovação aplicada e boas práticas difundidas para apoiar a transição sustentável.



Motorista carregando veículo de carga elétrico.
Guarulhos/SP.
Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

MEDIDAS PRIORITÁRIAS DO EIXO DE DADOS E CONHECIMENTO



1 Observatório nacional de transporte de carga e emissões.

Fortalecer o Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL) para que atue também como plataforma nacional de monitoramento das emissões do transporte de carga, coordenando e padronizando dados nacionais e regionais. A intenção é permitir a adaptação de políticas públicas às especificidades territoriais e viabilizará o uso de dados sobre emissões evitadas como instrumento de apoio ao financiamento de projetos e políticas de descarbonização.

2 Projetos-piloto e P&DI.

Ampliar projetos voltados à descarbonização do transporte de carga a fim de promover testes em campo e projetos-piloto com veículos de baixa emissão em frotas públicas e privadas, inclusive em corredores logísticos estratégicos, contando com a participação ativa de universidades e centros de pesquisa, de modo a assegurar a disseminação pública dos resultados.

3 Integração público-privada para nacionalização de conhecimento.

Estimular parcerias entre os setores privado e público e universidades para gerar conhecimento, promover programas de capacitação de profissionais locais e nacionalização de tecnologias zero emissão.

4 Profissionalização e capacitação.

Implementar programas nacionais de capacitação em eletromobilidade e transporte sustentável, de modo a promover parcerias com instituições de ensino e do setor privado, além de incentivar a qualificação técnica de profissionais dos setores público e privado.

5 Integração e disseminação de conhecimento.

Realizar campanhas nacionais de conscientização sobre descarbonização e capacitação técnica, que promovam redes de troca de experiências entre governo, empresas, universidades e sociedade civil, a fim de discutir soluções tecnológicas e estratégias sustentáveis.

A seguir, são indicados atores e instrumentos com potencial para apoiar esta temática e incorporar as diretrizes propostas.

Entidades do governo que podem contribuir para as medidas⁹:

- **Principais:** Agências de fomento à pesquisa públicas e privadas, Cepel, Cetem, Embrapii, EPE, Finep, FNDCT, instituições de pesquisa e ensino, INT, MCTI, MDIC, MEC e MT.
- **Apoios:** ABDI, CNT, Infra S.A., MCID, MMA, MME, municípios e estados.

Instrumentos em vigor ou em desenvolvimento¹⁰ com potencial de apoio e incorporação das medidas prioritárias:

- **Principais:** ONTL, PIT, PlanMob, Plano Clima Mitigação setoriais Cidades e Transportes e PNL.
- **Apoios:** Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Energia, Indústria e Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos, Fonte, Mover, NIB, PAC, Paten, PCVR, Plante, PNTE, PTE e TSB.

⁹ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente as entidades participantes.

¹⁰ Lista não exaustiva que relaciona parcialmente os instrumentos envolvidos.



Pequena van de carga dirigindo em rodovia transportando mercadorias.
Fonte: bilanol/Adobe Stock.

Quem já adotou medidas para o eixo de dados e conhecimento

Observatório nacional de transporte de carga e emissões

A criação de um sistema integrado de monitoramento de emissões e logística por meio de plataformas centralizadas de dados podem aumentar a transparência, permitir comparações regionais e facilitar o financiamento de projetos sustentáveis. O **Chile** desenvolveu o Observatorio Logístico, uma plataforma que reúne dados sobre

operações de transporte, com resultados detalhados de projetos-piloto, como a Experiencia Electrologística, que testou veículos elétricos em Santiago e Concepción (Observatório Logístico, 2025). Essa iniciativa permitiu a coleta de dados operacionais em condições reais, como desempenho energético, custos operacionais e padrões de uso, que são disponibilizados publicamente para orientar tanto políticas públicas quanto investimentos privados. Nos **Estados Unidos**, o programa SmartWay da Agência de Proteção Ambiental estabeleceu um sistema abrangente de monitoramento de emissões de caminhões e frotas comerciais (US EPA, 2024), criando referências setoriais e um programa de certificação para operações logísticas sustentáveis. Já a **União Europeia** integrou dados de emissões do transporte de carga na



plataforma da European Environment Agency, que serve como base para a formulação de políticas como o European Green Deal (European Commission, 2023c).

Projetos-piloto e P&DI

A implementação de projetos-piloto em condições reais de operação, com a participação de universidades e centros de pesquisa, além de ampla divulgação dos resultados, foi adotada em diversos países a fim de consolidar as novas tecnologias e reduzir riscos de investimento. O **Uruguai**, através do projeto Movés, realizou testes com veículos elétricos na logística urbana, incluindo triciclos e vans elétricas, que superaram as metas de testes do projeto e reduziram significativamente as emissões (Uruguay, 2022b). Esses testes geraram dados valiosos sobre desempenho operacional, custos de manutenção e padrões de recarga que foram divulgados publicamente para orientar tanto empresas quanto formuladores de políticas. Na **Colômbia**, o projeto GiroZero desenvolveu uma série de projetos-piloto em parceria com universidades e empresas de logística (Giro Zero, 2024), focando na otimização de rotas e redução de emissões em frotas de carga urbana. A **China** apresenta exemplos marcantes de testes em escala real, com grandes empresas que implementaram

frotas de caminhões elétricos a bateria e movidos a hidrogênio em suas operações logísticas, gerando dados que subsidiaram políticas públicas de incentivo à mobilidade limpa (Chai; Wang, 2024; Alibaba Group, 2021).

Integração público-privada para nacionalização de conhecimento

A colaboração entre setores pode reduzir custos de pesquisa e desenvolvimento, ao mesmo tempo em que capacita profissionais locais e promove o amadurecimento tecnológico e operacional coletivamente. A **Alemanha**, através da European Clean Trucking Alliance, estabeleceu um modelo de cooperação que reúne fabricantes de veículos, pesquisadores e representantes governamentais (ECTA, 2024), que criou um ecossistema favorável ao desenvolvimento de soluções para veículos pesados zero emissão. Na **Índia**, a iniciativa e-Fast India conecta empresas de logística, montadoras e instituições acadêmicas (e-Fast, 2024) com o objetivo de adaptar tecnologias elétricas às condições específicas do mercado local. O **Chile** implementou o programa Giro Limpio que, além de certificar empresas de transporte sustentável, oferece apoio técnico em parceria com universidades locais (Ubilla *et al.*, 2023).

Profissionalização e capacitação

A formação de mão de obra qualificada, que busque alinhar os currículos de formação às demandas reais do setor produtivo, garante que os profissionais estejam preparados para os desafios da transição energética. A **Costa Rica** estabeleceu na Lei nº 9.518/2018 a criação de cursos técnicos especializados em manutenção de veículos elétricos (Costa Rica, 2018), desenvolvidos em parceria com institutos de formação profissional e adaptados às necessidades do mercado local. Na **União Europeia**, o projeto Freight Electric Vehicles in Urban Europe (Frevue) implementou programas de treinamento padronizados para operadores de frotas elétricas em oito cidades europeias (2Zero Emission, 2023), abrangendo desde procedimentos básicos de recarga até manutenção avançada. Os **Estados Unidos**, através do Departamento de Energia, desenvolveram amplos programas de capacitação profissional (EUA, 2021), que contemplam desde formação técnica para mecânicos até cursos avançados de engenharia em mobilidade elétrica.

Integração e disseminação de conhecimento

A disseminação de conhecimento que combine materiais educativos acessíveis com espaços permanentes de debate e atualização de políticas são estratégias valiosas para a conscientização pública e a criação de redes de colaboração entre diferentes atores. A **Índia** implementou a iniciativa Shoonya, que alia campanhas públicas de conscientização com produção de relatórios técnicos detalhados sobre a redução de emissões alcançada (Shoonya Zero Pollution Mobility, 2024). No **Chile**, a Plataforma de Electromovilidad oferece um amplo acervo de recursos educativos (Chile, 2024b), como cursos online, guias técnicos e estudos de caso detalhados, disponíveis para empresas, gestores públicos e cidadãos em geral. A **União Europeia** estabeleceu o Sustainable Transport Forum como um espaço permanente de discussão (European Commission, 2023b), reunindo anualmente representantes governamentais, líderes industriais e organizações da sociedade civil para debater avanços e desafios na descarbonização do transporte.

**CARGA E
DESCARGA**

PERMITIDA

2^a a 6^a 20 - 06h

Sáb. após 14h

Domingo



Ciclista entregador de aplicativo.

São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Considerações finais



As diretrizes apresentadas neste relatório representam um passo inicial para que o governo federal assuma um papel de liderança na aceleração da descarbonização do transporte de carga no Brasil, incluindo o transporte urbano. Mais do que um conjunto de recomendações, elas são um instrumento estratégico para orientar políticas públicas e mobilizar setores em torno de uma agenda de baixo carbono.

A construção dessas diretrizes por meio de um processo colaborativo, que envolveu atores públicos, privados e da sociedade civil, garante uma visão ampla e alinhada aos desafios do setor logístico. A diversidade de contribuições permite identificar barreiras, oportunidades e caminhos de ações intersetoriais, aumentando a aplicabilidade das medidas propostas.

Ao adotar uma abordagem sistêmica, as diretrizes oferecem uma base para fortalecer o alinhamento entre políticas públicas existentes e futuras. A articulação entre diferentes setores é importante para reduzir sobreposições, lacunas e contradições regulatórias, a fim de promover sinergias que podem acelerar a transição para uma matriz logística de baixo

carbono. Essa integração não só aumenta a efetividade das políticas implementadas, como orienta investimentos públicos e privados de forma estratégica, maximizando resultados ambientais, sociais e econômicos.

Políticas de descarbonização para o transporte urbano afetam diretamente a qualidade do ar e a saúde pública. Além disso, é necessário que estejam alinhadas a estratégias industriais, energéticas e de desenvolvimento do país, unindo metas de descarbonização, incentivos à produção de tecnologias limpas e expansão da infraestrutura de recarga e abastecimento de combustíveis renováveis. As cidades têm papel essencial nesse processo, não apenas como centros de demanda logística, mas como laboratórios vivos para testar, validar e dar escala a soluções. Projetos-piloto integrados, como corredores verdes para transporte de carga, zonas de baixa emissão e programas de eletrificação de frotas, podem acelerar inovações e servir como referências para escala em nível nacional.

Atualmente, veículo elétrico a bateria é a única tecnologia zero emissão com condições de operar em larga escala e é fundamental para a neutralidade de carbono até 2050. O Brasil está bem posicionado para aproveitar essa oportunidade graças à sua matriz elétrica renovável e ao parque industrial automotivo consolidado. No entanto, faltam políticas que orientem esse caminho e incentivem a produção e a adoção nacional de veículos

elétricos. Nesse contexto, a elaboração de um plano nacional de eletromobilidade, que proporcione uma visão coordenada e integrada dos setores de indústria, energia e transporte para promover a tecnologia, constitui um instrumento estratégico para o país. Além de ampliar os benefícios ambientais, econômicos e sociais da descarbonização, a eletromobilidade pode manter o país competitivo como exportador de veículos em um mercado global que demanda cada vez mais veículos zero emissão.

As decisões tecnológicas tomadas hoje moldarão o setor de transportes nas próximas décadas, impactando a competitividade do país, a eficiência da logística nacional e o cumprimento das metas climáticas brasileiras. É preciso previsibilidade regulatória e uma rota tecnológica nacional definida, que considerem fases, prioridades e metas de médio e longo prazo bem estabelecidas. Políticas de incentivo devem vir acompanhadas de medidas de desincentivo de modo que favoreçam tecnologias zero emissão e desencorajem combustíveis fósseis. Programas de renovação, inspeção e sucateamento de frotas, por exemplo, podem acelerar a retirada de circulação de veículos抗igos e integrar à transição as pequenas e médias empresas, que enfrentam maiores barreiras de acesso ao crédito e à inovação.

A continuidade deste trabalho depende do avanço das diretrizes para a realização de ações concretas no âmbito das competências de cada órgão, de modo que transformem recomendações estratégicas em medidas efetivas. Para isso, é fundamental manter a integração entre governo, setor privado e sociedade civil, apoiada por sistemas de monitoramento e avaliação de resultados. Investir na coleta, no acompanhamento contínuo e na disponibilização pública de informações sobre o transporte de carga e suas emissões orientará políticas mais eficazes, engajará a sociedade e o setor privado e aumentará a previsibilidade para a realização de novos investimentos.

O Brasil dispõe de ampla variedade de tecnologias para descarbonizar o transporte de carga e tem condições de explorá-las de forma estratégica. Para transformar esse potencial em resultados, é importante ter definido um percurso claro de transição a fim de que haja maior segurança ao investimento do setor privado. Isso requer entender os impactos econômicos, ambientais e climáticos de cada tecnologia durante todo o ciclo de vida. Com metas e mandatos bem estruturados, o país poderá alcançar a neutralidade de carbono até 2050 e, ao alinhar inovação, sustentabilidade e competitividade, tornar-se referência global.



Motoboy em via urbana.

São Paulo/SP.

Foto: Roosevelt Cássio/WRI Brasil

Referências

- 2ZERO EMISSION. Home. **2zeroemission**, Página Inicial, 2023. Disponível em: <https://www.2zeroemission.eu/>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- ABAD, A. V.; DODDS, P. E. Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. **Energy Policy**, v. 138, 111300, March 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111300>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- ABCOMM. Crescimento do e-commerce brasileiro. [S. I.], **ABCOMM**, 2023a. Disponível em: <https://dados.abcomm.org/crescimento-do-e-commerce-brasileiro>. Acesso em: 7 ago. 2025.
- ABCOMM. Previsão de vendas online. [S. I.], **ABCOMM**, 2023b. Disponível em: <https://dados.abcomm.org/previsao-de-vendas-online>. Acesso em: 7 ago. 2025.
- AGENCIA DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA. + Carga Pública. **Agencia de Sostenibilidad Energética**, 2024. Disponível em: <https://www.ecomovilidad.cl/2022/07/25/carga-publica/>. Acesso em: 7 jun. 2024.
- AKHBARIZADEH, R.; DOBARADARAN, S.; TORKMAHALLEH, M.A.; SAEEDI, R.; AIBAGHI, R.; GHASEMI, F. F. Suspended fine particulate matter (PM2.5), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: Their possible relationships and health implications. **Environmental Research**, v. 192, 110339, Jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110339>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- ALIBABA GROUP. **Alibaba Group Carbon Neutrality Action Report**. [S. I.]: Alibaba Group, 2021. Disponível em: https://sustainability.alibaba.com/download/Alibaba%20Group%20Carbon%20Neutrality%20Action%20Report_2021I217_ENG_Final_single%20page.pdf. Acesso em: 22 jul. 2024.
- AL-WREIKAT, Y.; ATTFIELD, E.; SODRÉ, J. Model for payback time of using retired electric vehicle batteries in residential energy storage systems. **Energy**, v. 259, n. 15, 124975, Nov. 2022, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124975>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- AMINUDIN, M. A.; KAMARUDIN, S.; LIM, B. H.; MAJILAN, E.H.; MASDAR, M. S.; SHAARI, N. An overview: Current progress on hydrogen fuel cell vehicles. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 48, n. 11, p. 4371-4388, Feb, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.156>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- ANAYA, F. **Plan Estratégico Nacional de República Dominicana**. [S. I.]: INTRANT, 2020. Disponível em: <https://mem.gob.do/wp-content/uploads/documentos-transicion/1%20Plan%20Estrategico%20Nacional%20de%20Movilidad%20Electrica%202020.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ANFAVEA - 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-ANUARIO-2025altafinal_compressed-1.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.
- ANGELICO, R.; GIAMETTA, F.; BIANCHI, B.; CATALANO, P. Green Hydrogen for Energy Transition: A Critical Perspective. **Energies**, v. 18, n. 2, p. 404, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en18020404>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- BÉTHOUX, O. Hydrogen Fuel Cell Road Vehicles and Their Infrastructure: An Option towards an Environmentally Friendly Energy Transition. **Energies**, v. 13, v. 22, 6132, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13226132>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- BID – Banco Interamericano. Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador: Consultoría para la elaboración de una **Estrategia Nacional de Electromovilidad en Ecuador**. Bogotá: BID, 2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/604886334/Estrategia-Nacional-de-Electromovilidad-Ecuador>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Lítio: Um Caminho para Transição Energética. **Serviço Geológico do Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/litio/nomundo.html>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Definição de minerais críticos. **Ministério de Minas e Energia.gov.br**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/minerais-criticos.png/view>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- CHAI, A.; WANG Y. JD Logistics Adopts Hydrogen-Powered Heavy-Duty Trucks on a Large Scale, Reducing Annual Carbon Emissions by Nearly 1,000 Tons. **Jdcorporateblog**, 30 de Jan, 2024. Disponível em: <https://jdcorporateblog.com/jd-logistics-adopts-hydrogen-powered-heavy-duty-trucks-on-a-large-scale-reducing-annual-carbon-emissions-by-nearly-1000-tons/>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- CHEEPINAPI, M. M.; MORLA, J.; PICHUKA, N. K.; SHAIK, A.; VEERAMUCHU, J. P.; PADAGA, K. B.; SHAFEE, S. M. Design and Fabrication of Regenerative Braking System. **International Journal For Multidisciplinary Research**, v. 5, n. 3, May-June, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i03.2775>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CHILE. Ministério de Economía, Fomento y Reconstrucción. **Decreto nº 4/20.018**, de 2006. Ley General de Servicios Eléctricos. Santiago, 2006. Disponível em: <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2021/01/RIC-N15-Infra-para-la-recarga-de-vehiculos-electricos.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.

CHILE. Ministério de Energía. **Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde**: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. Santiago, 2020. Disponível em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-chile.pdf. Acesso em: 5 jun. 2024.

CHILE. Ministério de Energía. **Compromiso público privado por la electromovilidad 2022**. Santiago, 2021a. Disponível em: [https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/Acuerdo%20Pu%CC%81blico%20Privado%20Electromovilidad%202022_1%20\(1\).pdf](https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/Acuerdo%20Pu%CC%81blico%20Privado%20Electromovilidad%202022_1%20(1).pdf). Acesso em: 5 jun. 2024.

CHILE. Ministério de Energía. **Estrategia Nacional de Electromovilidad**. Santiago, 2021b. Disponível em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf. Acesso em: 5 jun. 2024.

CHILE. Ministério de Energía. **Hoja de ruta para el avance de la electromovilidad en Chile**: Acciones concretas al 2026. Santiago, Chile, 2023a. Disponível em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/hoja_de_ruta_para_el_avance_de_la_electromovilidad_en_chile_acciones_concretas_al_2026.pdf. Acesso em: 2 ago. 2025.

CHILE. **National Lithium Strategy – For Chile and its People**. Santiago, 2023b. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campa%C3%B1as/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-EN.pdf. Acesso em: 8 ago. 2025.

CHILE. Ministério de Transportes y Telecomunicaciones. **Estrategia Nacional de Movilidad Sustentable**. Santiago: Ministério de Transportes y Telecomunicaciones, 2023c. Disponível em: <https://www.euroclima.org/en/global-public-transport-summit-uitp/estrategia-nacional-de-movilidad-sostenible-de-chile/viewdocument/543>. Acesso em: 5 jun. 2024.

CHILE. Ministério de Energía. **Eco Carga**. Santiago, Chile, 2024a. Disponível em: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/ecocarga>. Acesso em: 7 jun. 2024.

CHILE. Ministério de Energía. **Plataforma de Electromovilidad**. Santiago, Chile, 2024b. Disponível em: <https://energia.gob.cl/electromovilidad>. Acesso em: 7 jun. 2024.

CHINA launches first cross-region hydrogen heavy-duty truck route. **China Daily**, 14 abr. 2025. Disponível em: <https://www.chinadaily.com.cn/a/202504/14/WS67fd0b76a3104d9fd381f360.html>. Acesso em: 5 ago. 2025.

CIGNINI, F.; GENOVESE, A.; ORTENZI, F.; VALENTINI, S.; CAPRIOLI, A. Performance and emissions comparison between biomethane and natural gas fuel in passenger vehicles. **E3S Web of Conferences**, v. 197, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019708019>. Acesso em: 10 ago. 2025.

CIGNINI, F.; GENOVESE, A.; ORTENZI, F.; VALENTINI, S.; CAPRIOLI, A. Performance and emissions comparison between biomethane and natural gas fuel in passenger vehicles: results of the third testing campaign. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2385, 012061, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2385/1/012061>. Acesso em: 10 ago. 2025.

COLOMBIA. **Ley 1964 de 2019**. Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 2019. Disponível em: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1964-2019.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.

COLOMBIA. Ministério de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica**. Bogotá, D.C. Colombia: Ministério de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020. Disponível em: <https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/ENME.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.

COSTA RICA. **Ley n. 9518**, 25/01/2018. Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico. San José, Costa Rica, 2018. Disponível em: https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=85810. Acesso em: 7 jun. 2024.

COSTA RICA. Ministério de Ambiente y Energía. **Plan de Descarbonización 2018-2050**. San José, Costa Rica: MINAE, 2019a. Disponível em: <https://cambioclimatico.minae.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.

COSTA RICA. Ministério de Ambiente y Energía. **Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030**. San José, Costa Rica: MINAE, 2019b. Disponível em: <https://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%20DE-41579/Version1/PlanTranspElect.pdf>. Acesso em: 4 maio 2024.

DEMIRBAŞ, A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 8 p. 2106-2116, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ECTA - European Clean Trucking Alliance. The European Clean Trucking Alliance calls for zero-emission road freight. **ECTA**, 2024. Disponível em: <https://clean-trucking.eu/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

ECUADOR. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. **El Gobierno Nacional a través del Plan Renova modernizó 20.241 unidades de transporte.** Quito - Ecuador. [s. d.]. Disponível em: <https://www.obraspublicas.gob.ec/el-gobierno-nacional-a-traves-del-plan-renova-modernizo-20-241-unidades-de-transporte/>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ECUADOR. Congresso Nacional. **Ley de Regimen Tributario Interno, LRTI.** Quito, 2018. Disponível em: <https://www.ces.gob.ec/lotaipl/2018/Agosto/Anexos-literal-a2/LEY%20DE%20REGIMEN%20TRIBUTARIO%20INTERNO%20LRTI.pdf>. Acesso em: 4 maio 2024.

ECUADOR. **Registro Oficial No.462-** Martes 24 de marzo del 2020 Edición Especial. Guayaquil, Ecuador, 2020. Disponível em: <https://derechoecuador.com/registro-oficial-no462-martes-24-de-marzo-del-2020-edicion-especial/>. Acesso em: 7 jun. 2024.

E-FAST. What is e-FAST?, **e-FAST India** – Página inicial. 2024. Disponível em: <https://efastindia.org/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

EMMOV. Plan renova. **Empresa Mancomunada de Movilidad**, 2019. Disponível em: <https://emmov.gob.ec/plan-renova/>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ENDIZ, M. A Comparison of Battery and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles for Clean Transportation. **Orclever Proceedings of Research and Development**, v. 2, n. 1, p. 10-17, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56038/oprd.v2i1.230>. Acesso em: 17 ago. 2025.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balance Energético Nacional 2025.** Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf. Acesso em: 8 ago. 2025.

EUA. Department of Energy. **DOE Announces \$162 Million to Decarbonize Cars and Trucks.** Washington, D.C., 2021. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-162-million-decarbonize-cars-and-trucks>. Acesso em: 29 jul. 2024.

EUA. Department of Energy. **Electric Drive Vehicle Battery Recycling and 2nd Life Apps Program.** Washington, D.C., 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/infrastructure/electric-drive-vehicle-battery-recycling-and-2nd-life-apps>. Acesso em: 11 ago. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Efficient and affordable Zero Emission logistics through NEXT generation Electric TRUCKs. **European Commission**, Brussels, 1 July, 2022. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/101056740>. Acesso em: 30 jul. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. European Climate Law. **European Commission**, Strasbourg, 18 dec., 2023a. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en. Acesso em: 30 jul. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Factsheet on Greening Freight. **European Commission**, Strasbourg, 10 Jul, 2023b. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_23_3771. Acesso em: 30 jul. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Greening freight for more economic gain with less environmental impact. **European Commission**, Strasbourg, 10 Jul, 2023c. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3767. Acesso em: 30 jul. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Sustainable transport, infrastructure and fuels. **European Commission**, Brussels, 8 Oct, 2023d. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ganda_23_4758. Acesso em: 30 jul. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Proposed Regulation on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles. **European Commission**, Brussels, 16 out., 2023e. Disponível em: <https://ec.europa.eu/newsroom/env/items/803759/en>. Acesso em: 11 ago. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. The European Green Deal: A growth strategy that protects the climate. **European Commission**, Brussels, 2024. Disponível em: <https://ec.europa.eu/stories/european-green-deal>. Acesso em: 30 jul. 2024.

EXPERT GROUP ON URBAN MOBILITY. **Recommendations on Urban Logistics.** Sustainable urban logistics planning (SULP). Brussels: EGUM SG4, 2022. Disponível em: https://transport.ec.europa.eu/document/download/b818ff86-2463-4949-9413-d3ca559f60b9_en?filename=EGUM_Recommendations_SG4_D1_SULP.pdf. Acesso em: 10 ago. 2025.

FANG, Y. R.; PENG, W.; URPELAINEN, J.; HOSSAIN, M. S.; QIN, Y.; Ma, T.; REN, M.; LIU, X.; ZHANG, S.; HUANG, C.; DAI, H. Neutralizing China's transportation sector requires combined decarbonization efforts from power and hydrogen supply. **Applied Energy**, v. 349, 121636, Nov 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121636>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FARAKHOR, A.; WU, D.; CHEN, P.; WANG, J.; FANG, H. Economic Optimal Power Management of Second-Life Battery Energy Storage Systems. **ArXiv, abs/2408.16197**. v. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16197>. Acesso em: 22 ago. 2025

FARAZ, A.; AMBIKAPATHY, A.; THANGAVEL, S.; LOGAVANI, K.; PRASAD, G. Battery Electric Vehicles (BEVs). In: PATEL, N.; BHOI, A.K.; PADMANABAN, S.; HOLM-NIELSEN, J.B. (eds) **Electric Vehicles**. Green Energy and Technology. Singapore: Springer, 2021, p.137-160. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9251-5_8. Acesso em: 17 ago. 2025.

FIORDELISI, A.; PISCITELLI P.; TRIMARCO B.; COSCIONI E.; IACCARINO G.; SORRIENTO D. The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases. **Heart Fail Rev**, v. 22, n. 3, p. 337-347, May, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10741-017-9606-7>. Acesso em: 16 ago. 2025.

GEOTAB. Altitude by Geotab Study Reveals Impact of NYC Congestion Pricing on Commercial Fleets. Vehicles Moving Faster, Fewer Large Trucks and Idling Metrics Unchanged. **Geotab**, 25 jul. 2025. Disponível em: <https://www.geotab.com/press-release/nyc-congestion-report/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

GIRO ZERO. Pilotos GiroZero. **Giro Zero**, 2024. Disponível em: <https://girozero.uniandes.edu.co/proximos-pilotos>. Acesso em: 7 jun. 2024.

GOTA, S.; HUIZENGA, C.; PEET, K.; MEDIMOREC, N.; BAKKER, S. Decarbonising transport to achieve Paris Agreement targets. **Energy Efficiency**, v. 12, p. 363-386, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S10205-018-9671-3>. Acesso em: 22 ago. 2025.

GÜNEY, B.; KILIÇ, H. Research on Regenerative Braking Systems: A Review. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, v. 9, n. 9, p. 160-166. Sep. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344154270_Research_on_Regenerative_Braking_Systems_A_Review. Acesso em: 16 ago. 2025.

HAIDER, M.; DAVIS, M.; KUMAR, A. Development of a framework to assess the greenhouse gas mitigation potential from the adoption of low-carbon road vehicles in a hydrocarbon-rich region. **Applied Energy**, v. 358, 122335, Mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122335>. Acesso em: 16 ago. 2025.

HALDER, P.; BABAIE, M.; SALEK, F.; SHAH, K.; STEVANOVIC, S.; BODISCO, T.; ZARE, A. Performance, emissions and economic analyses of hydrogen fuel cell vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 199, 114543, Jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114543>. Acesso em: 16 ago. 2025.

HASSAN, Q.; ALGBURI, S.; SAMEEN, A. Z.; SALMAN, H. M.; JASZCZUR, M. Green hydrogen: A pathway to a sustainable energy future. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 50, Part B, p. 310-333, Jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.321>. Acesso em: 16 ago. 2025.

HAUSBERGER, S. *et al.* **Definition und Anforderungen von "Zero Impact Emissionsniveaus" aus der Perspektive der Luftgüte**. Frankfurt: FVV, 2022. Disponível em: https://www.fvv-net.de/fileadmin/Stories/020.90_ZIV_Zero-Impact_Vehicles/03_TB_R602_FT22_AB_1407_Zero_Impact_Vehicle_Emissions_Conceptual_Study_2022-03-31.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

HWANG, J.; MAHARJAN, K.; CHO, H. A review of hydrogen utilization in power generation and transportation sectors: Achievements and future challenges. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.48, n. 74, p. 28629-28648, Aug, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.024>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ICCT. INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. **China's New Energy Vehicle Industrial Development Plan for 2021 to 2035**. ICCT Policy Update, 2021. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/China-new-vehicle-industrial-dev-plan-jun2021.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2024.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy end-uses and efficiency indicators**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-efficiency-indicators>. Acesso em: 8 ago. 2025.

INCER-VALVERDE, J.; KORAYEM, A.; TSATSARONIS, G.; MOROSUK, T. "Colors" of hydrogen: Definitions and carbon intensity. **Energy Conversion and Management**, v. 291, n. 1, 117294 Sep. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117294>. Acesso em: 16 ago. 2025.

INDIA. Ministry of Finance. **GST rate on all Electric Vehicles reduced from 12% to 5% and of charger or charging stations for EVs from 18% to 5%**. Hiring of electric buses by local authorities exempted from GST Changes in GST rates shall be effective from 1st August, 2019. Nova Déli: Press Information Bureau, 27-July-2019. 2019. Disponível em: <https://pib.gov.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=192337>. Acesso em: 30 jul. 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf. Acesso em: 6 ago. 2025.

JING, H.; CHEN, Y.; MA, M.; FENG, W.; XIANG, X. Global carbon transition in the passenger transportation sector over 2000–2021. **Sustainable Production and Consumption**, v. 51, p. 556-571, Nov, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.10.006>. Acesso em: 22 ago. 2025.

KÖNIG, A.; NICOLETTI, L.; SCHRÖDER, D.; WOLFF, S.; WACLAU, A.; LIENKAMP, M. An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles. **World Electric Vehicle Journal**, v. 12, n. 1, p. 21, feb. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/WEVJ12010021>. Acesso em: 17 ago. 2025.

KOONAPHAPDEELERT, S.; AGGARANGSI, P.; MORAN, J. Introduction to biomethane. In: KOONAPHAPDEELERT, S.; AGGARANGSI, P.; MORAN, J. **Biomethane: Production and Applications**. Singapore: Springer, 2020, p. 1-15. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8307-6_1. Acesso em: 10 ago. 2025.

KOSSIORIS, T.; MAURER, R.; STERLEPPER, S.; GÜNTHER, M.; PISCHINGER, S. Achieving NOx Emissions with Zero-Impact on Air Quality from Diesel Light-Duty Commercial Vehicles. **Energies**, v. 18, n. 8, 1882, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en18081882>. Acesso em: 17 ago. 2025.

LACAP, J.; PARK, J. W.; BESLOW, L. Development and Demonstration of Microgrid System Utilizing Second-Life Electric Vehicle Batteries. **Journal of Energy Storage**, v. 41, 102837, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JEST.2021.102837>. Acesso em: 22 ago. 2025.

LEE, S.; YI, U. H.; JANG, H.; PARK, C.; KIM, C. Evaluation of emission characteristics of a stoichiometric natural gas engine fueled with compressed natural gas and biomethane. **Energy**, v. 220, 119766, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119766>. Acesso em: 10 ago. 2025.

LIU, M.; WEN, Y.; WU, X.; ZHANG, S.; WU, Y. Province-Level Decarbonization Potentials for China's Road Transportation Sector. **Environmental Science & Technology**, v. 58, n. 41, p. 18213-18221, oct. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06755>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MANOHARAN, Y.; HOSSEINI, S. E.; BUTLER, B.; ALZAHHRANI, H.; FOU, B. T.; ASHURI, T.; KROHN, J. Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status and Future Prospect. **Applied Sciences**, v. 9, n. 11, 2296, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/APP9112296>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MANSANO, F. O crescimento dos marketplaces em 2021. **Abcomm.org**, 2021. Disponível em: <https://abcomm.org/noticias/o-crescimento-dos-marketplaces-em-2021/>. Acesso em: 3 jun. 2024.

MARCAZZAN, G.; VACCARO, S.; VALLI, G.; VECCHI, R. Characterisation of PM10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 27, p. 4639-4650, sep. 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00124-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00124-8). Acesso em: 16 ago. 2025.

MASHADI, B.; CROLLA, D. Hybrid Electric Vehicles. In: MASHADI, B.; CROLLA, D. **Vehicle Powertrain Systems**. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2011, p. 425-510. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119958376.Ch7>. Acesso em: 17 ago. 2025.

MAURER, R.; KOSSIORIS, T.; HAUSBERGER, S.; TOENGES-SCHULLER, N.; STERLEPPER, S.; GÜNTHER, M.; PISCHINGER, S. How to define and achieve Zero-Impact emissions in road transport?. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 116, 103619, Mar 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103619>. Acesso em: 17 ago. 2025.

MESTER, G.; PISAROV, J. Hydrogen Fuel Cell Vehicles. **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, v. 23, n. 2, p. 105-109, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.7906/idecs.23.2.3>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MÉXICO. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. **Programa Transporte Limpio**. Ciudad de Mexico, 2023. Disponível em: <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-transporte-limpio-190236>. Acesso em: 7 jun. 2024.

MIGNOGNA, D.; CECI, P.; CAFARO, C.; CORAZZI, G.; AVINO, P. Production of biogas and biomethane as renewable energy sources: a review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 18, 10219, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app131810219>. Acesso em: 10 ago. 2025.

MUKHERJEE, A.; AGRAWAL, M. A Global Perspective of Fine Particulate Matter Pollution and Its Health Effects. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 244, p. 5-51, Springer, 2017a. Disponível em: https://doi.org/10.1007/988_2017_3. Acesso em: 16 ago. 2025.

MUKHERJEE, A.; AGRAWAL, M. World air particulate matter: sources, distribution and health effects. **Environ Chem Lett**, v. 15, p. 283-309, 2017b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0611-9>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MURATORI, M.; BORLAUG, B.; LEDNA, C.; JADUN, P., & KAILAS, A. Road to zero: Research and industry perspectives on zero-emission commercial vehicles. **iScience**, v. 26, n. 5, 106751, Maoi, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106751>. Acesso em: 17 ago. 2025.

NANHAI District, Foshan, Guangdong - Green Hydrogen Project to Revolutionize Waste Recycling and Energy Production. **Hydrogen Newsletter**, 01 Mar, 2024. Disponível em: <https://www.hydrogennewsletter.com/nanhai-district-foshan-guandong-green-hydrogen-project-to-revolutionize-waste-recycling-and-energy-production/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

NIU, T.; MA, Y.; ZHANG, Y. Real-world use cases for zero-emission trucks: Market review and policy suggestions for Guangdong province. **Working Paper 2023-22** - ICCT, 2023. Disponível em: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/10/ZETs-Guangdong-working-paper-22-A4-70074-v3.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2024.

OBSERVATORIO LOGÍSTICO. Experiencia Electrologística 2022. Reportes de datos – Energía y medioambiente, **Observatorio Logístico**, 2025. Disponible em: <https://www.observatoriologistico.cl/reportes-de-datos/experiencia-electrologistica-2022>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ONU – Organização das Nações Unidas. Medio Ambiente. Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica de Panamá. [S. I.]: **Gaceta Oficial Digital**, martes 29 de octubre de 2019, n. 28892-A, 2019. Disponible em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/pan106638anx.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.

PAN, X.; WANG, H.; WANG, L.; CHEN, W. Decarbonization of China's transportation sector: In light of national mitigation toward the Paris Agreement goals. **Energy**, v. 155, n. 15, p. 853-864, July, 2018. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.144> Acesso em: 22 ago. 2025.

PARAGUAY. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. **Plan Maestro de Movilidad Eléctrica para el Transporte Público Urbano y Logístico de Paraguay**. Asunción, 2023. Disponible em: <https://www.euroclima.org/en/component/edocman/plan-maestro-de-movilidad-electrica-para-el-transporte-publico-urbano-y-logistico-en-paraguay/viewdocument/544?Itemid=1>. Acesso em: 30 jul. 2024.

PAVIČIĆ, J.; MAVAR, K. N.; BRKIĆ, V.; SIMON, K. Biogas and biomethane production and usage: technology development, advantages and challenges in Europe. **Energies**, v. 15, v. 8, 2940, 2022. Disponible em: <https://doi.org/10.3390/en15082940>. Acesso em: 10 ago. 2025

PINDORIYA, R. M.; AHUJA, V.; SHARMA, A.; SINGH, A.; JAIN, S. An Analytical Review on State-of-the-Art of Green Hydrogen Technology for Fuel Cell Electric Vehicles Applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY AND FUTURE ELECTRIC TRANSPORTATION (SEFET), 3, 2023, Bhubaneswar, India. **Anais...** online, 2023, p. 1-17. Disponible em: <https://doi.org/10.1109/SeFeT57834.2023.10245483>. Acesso em: 16 ago. 2025.

PIT – PLANEJAMENTO INTEGRADO DE TRANSPORTES. Portal de Dados Abertos. Indicadores > Indicadores Atualizados > Aba "Matriz racional". 2025. Disponible em: <https://pit.infrasa.gov.br/dados-abertos/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

PROKIN, M.; PROKIN, D. Regenerative Braking For Fuel Cell Powertrain. In: MEDITERRANEAN CONFERENCE ON EMBEDDED COMPUTING (MECO), 13, 2024, Budva, Montenegro. **Anais...** online, 2024, p. 1-4. Disponible em: <https://doi.org/10.1109/MECO62516.2024.10577868>. Acesso em: 17 ago. 2025.

PROLOGIS FRANCE. Prologis unveils CONNECT Paris 67,000 sq.m. urban logistics hub designed for last mile electric mobility. **Prologis France**, Paris, 17 oct, 2022. Disponible em: <https://www.prologis.fr/en/insights/articles/prologis-unveils-connect-paris-67000-sqm-urban-logistics-hub-designed-last-mile>. Acesso em: 6 ago. 2025.

REPÚBLICA DOMINICANA. **Ley N. 103-13**. Ley de incentivo a la importación de vehículos de energía no convencional. Santo Domingo, 2013. Disponible em: <https://dgi.gov.do/legislacion/leyesTributarias/Documents/Otras%20Leyes%20de%20Inter%C3%A9s/103-13.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2024.

RESCHIGLIAN, T.; SEVDARI, K.; MARINELLI, M. Repurposing Second Life EV Battery for Stationary Energy Storage Applications. 2024 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), Dubrovnik, Croatia, **Anais...** online, 2024, p. 1-5. Disponible em: <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE62998.2024.10863548>. Acesso em: 22 ago. 2025.

RODIONOVA, M. V. et al. Biofuel production: Challenges and opportunities. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 12, p. 8450-8461, 2017. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2016.11.125>. Acesso em: 10 ago. 2025.

SAMSUN, R. C.; REX, M.; ANTONI, L.; STOLTEN, D. Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Station Infrastructure: A Global Overview and Perspectives. **Energies**, v. 15, n. 14, 4975, 2022. Disponible em: <https://doi.org/10.3390/en15144975>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SEBBAGH, T.; ŞAHİN, M. E.; BELDJAAIT, C. Green hydrogen revolution for a sustainable energy future. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 26, p. 4017-4040, 2024. Disponible em: <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02995-9>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SEEG – **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. Plataforma de monitoramento de emissões de gases de efeito estufa na América Latina. Versão 12, atualização em 8 nov. 2024. Disponible em: <https://seeg.eco.br>. Acesso em: 8 ago. 2025.

SERENA; LYNN, E. China's First Household Waste Hydrogen Production Project in China Lands in Nanhui. 2024. **Foshan News** 28-02-2024. Disponible em: <https://www.foshannews.net/h/4724/20240522/713374.html>. Acesso em: 22 jul. 2024.

SHAO, P.; ZHENG, H. Comparison of Electric Vehicles and Hydrogen Fuel Cell Vehicles. **Highlights in Science, Engineering and Technology**, v. 32, p. 259-270, 2023. Disponible em: <https://doi.org/10.54097/hset.v32i.5176>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SHAO, Z.; NI, M. Fuel cells: Materials needs and advances. **MRS Bulletin**, v. 49, p. 451-463, 2024. Disponible em: <https://doi.org/10.1557/s43577-024-00722-9>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SHARMA, S.; PANWAR, A. K.; TRIPATHI, M. M. Storage technologies for electric vehicles. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 7, n. 3, p. 340-361, Jun. 2020. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.04.004>. Acesso em: 16 ago. 2025.

- SHARMA, S.; SINGH, A. N.; YADAV, R.; JHA, A.; VANSHAJ, K.; FAHIM, R. Regenerative Braking System. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, v. 3, n. 4, p.298-300, jun, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31142/ijtsrd23546>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- SHARMINA, M.; EDELENBOSCH, O. Y.; WILSON, C.; FREEMAN, R.; GERAAT, D. E. H.; GILBERT, P.; LARKIN, A.; LITTLETON, E.; TRAUT, M.; VUUREN, D.; VAUGHAN, N.; WOOD, F.; QUÉRÉ, C. Decarbonising the critical sectors of aviation, shipping, road freight and industry to limit warming to 1.5–2°C. *Climate Policy*, v. 21, n. 4, p. 455 – 474, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1831430>. Acesso em: 22 ago. 2025
- SHOONYA ZERO POLLUTION MOBILITY. **Shoonya**. 2024. Disponível em: <http://shoonya.info>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- SINGH, H.; AMBIKAPATHY, A.; LOGAVANI, K.; PRASAD, G.; THANGAVEL, S. Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEVs), In: Patel, N.; Bhoi, A. K.; Padmanaban, S.; Holm-Nielsen, J. B. (eds) **Electric Vehicles**. Green Energy and Technology. Singapore: Springer, 2020, p. 53-72. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9251-5_3. Acesso em: 17 ago. 2025.
- SPEIZER, S.; FUHRMAN, J.; LOPEZ, L.; GEORGE, M.; KYLE, P.; MONTEITH, S.; MCJEEON, H. Integrated assessment modeling of a zero-emissions global transportation sector. *Nature Communications*, 15, 4439, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48424-9>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- SQUADRITO, G.; MAGGIO, G.; NICITA, A. The green hydrogen revolution. *Renewable Energy*, v. 216, 119041, nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119041>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- STECKEL, T.; KENDALL, A.; AMBROSE, H. Applying leveled cost of storage methodology to utility-scale second-life lithium-ion battery energy storage systems. *Applied Energy*, v. 300, n. 15, 117309, Oct., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.117309>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- SWINBOURN, R.; LI, C.; WANG, F. A comprehensive review on biomethane production from biogas separation and its techno-economic assessments. *ChemSusChem*, v. 17, n.19, e202400779, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cssc.202400779>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- THANGAVEL, P.; PARK, D.; LEE, Y-C. Recent Insights into Particulate Matter (PM2.5)-Mediated Toxicity in Humans: An Overview. *Int J Environ Res Public Health*, v. 19, n. 12, p. 7511. Jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph19127511>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- THOMAS, J. M.; EDWARDS, P. P.; DOBSON, P. J.; OWEN, G. P. Decarbonising energy: The developing international activity in hydrogen technologies and fuel cells. *Journal of Energy Chemistry*, v. 51, p. 405-415, dec. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jecchem.2020.03.087>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- TONG, X. Hydrogen Fuel Cell Vehicles for Sustainable Development in the Automotive Industry. *MATEC Web of Conferences*, v. 404, 01008, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202440401008>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- TRANSPORT FOR LONDON. LoCITY Freight Programme to deliver improved air quality. Londres, **Transport for London** jan. 2016. Disponível em: <https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2016/january/tfl-launches-freight-programme-to-deliver-improved-air-quality>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- UBILLA, L.; CONCHA, F. B.; LARA, V. T.; NÚÑEZ, C. M.; MUÑOZ, M. A.; CONCHA, J. S. M. **Reporte Público Giro Limpio 2023**. Santiago: Agencia de Sostenibilidad Energética, 2023. Disponível em: <https://www.girolimpicio.cl/wp-content/uploads/2023/09/Reporte-Giro-Limpio-Sep2023.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- UNITED STATES. Department of Transportation. **Biden-Harris Administration Releases First-Ever National Strategy to Accelerate Deployment of Zero-Emission Infrastructure for Freight Trucks**. Washington, DC, 2024. Disponível em: [https://highways.dot.gov/newsroom/biden-harris-administration-releases-first-ever-national-strategy-accelerate-deployment#:~:text=The%20National%20Zero%2DEmission%20Freight%20Corridor%20Strategy%20will%20prioritize%2C%20sequence.freight%20corridors%20\(2027%2D2030\)](https://highways.dot.gov/newsroom/biden-harris-administration-releases-first-ever-national-strategy-accelerate-deployment#:~:text=The%20National%20Zero%2DEmission%20Freight%20Corridor%20Strategy%20will%20prioritize%2C%20sequence.freight%20corridors%20(2027%2D2030)). Acesso em: 29 jul. 2024.
- URUGUAY. Ministerio de Industria, Energía y Minería. **MOVÉS. Proyecto MOVÉS de movilidad eficiente lanzó programa TuVE para pruebas de vehículos eléctricos sin costo**. Montevideo, 2022a. Disponível em: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/proyecto-moves-movilidad-eficiente-lanzo-programa-tuve-para-pruebas-vehiculos>. Acesso em 22 jul. 2024.
- URUGUAY. Ministerio de Industria, Energía y Minería. **Proyecto Movés - Hacia la Movilidad Eficiente y Sostenible en Uruguay**. [S. I]; MIEM-MA-MVOT-AUCI-PNUD-GEF, 2022b. Disponível em: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-12/undp-uy-publicacion-proyecto-MOVES-2022.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- US EPA. Biden-Harris Administration finalizes strongest-ever pollution standards for cars that position U.S. companies and workers to lead the clean vehicle future, protect public health, address the climate crisis, save drivers money. **US EPA**, Washington, 20 March, 2024. Disponível em: <https://www.epa.gov/newsreleases/biden-harris-administration-finalizes-strongest-ever-pollution-standards-cars-position>. Acesso em: 29 jul. 2024.
- VAN HEERDEN, R. EDELENBOSCH, O. Y.; DAIOGLOU, V. *et al.* Demand-side strategies enable rapid and deep cuts in buildings and transport emissions to 2050. *Nature Energy*, v. 10, p. 380-394, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-025-01703-1>. Acesso em: 22 ago. 2025.

VENKATESWARAN, C.; FEGADE, V.; RAMACHANDRAN, M.; SARAVANAN, V.; TAMILARASAN, V. Review on Various Application Bio Fuels. **Materials and its Characterization**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.46632/mc/1/1/3>. Acesso em: 10 ago. 2025.

WANG, H.; RASHEED, M.; HASSAN, R.; KAMEL, M.; TONG, S.; ZANE, R. Life-Extended Active Battery Control for Energy Storage Using Electric Vehicle Retired Batteries. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 38, n. 6, p. 6801-6805, June, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2023.3252362>. Acesso em: 22 ago. 2025.

WORLD BANK GROUP. **Enhancing Transport Decarbonization in the European Union**. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, jan. 2025. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099012125085536598/pdf/P5016401b3ed380a618fac1940454097e66.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

WRI. Beijing Low-Emission Zone. **WRI, org**, 2024. Disponível em: <https://www.wri.org/initiatives/beijing-low-emission-zone>. Acesso em: 22 jul. 2024.

WU, J. China's first biogas to hydrogen facility inaugurated in Foshan. Substack newsletter. **China Hydrogen Bulletin**, 18 de Setembro, 2023. Disponível em: <https://chinahydrogen.substack.com/p/chinas-first-biogas-to-hydrogen-facility>. Acesso em: 22 jul. 2024.

XIN, Z. Foshan to hold global convention on hydrogen technologies. **China Daily**, 28/03/2023, 2023. Disponível em: <https://www.chinadaily.com.cn/a/202303/28/WS6422808da31057c47ebb6fd7.html>. Acesso em: 22 jul. 2024.

XUE, L. Lessons from Shenzhen's Green Logistic Zones: Fast-Tracking Zero-Emissions Freight. **The City Fix**, 11 de março, 2021. 2021. Disponível em: <https://thecityfix.com/blog/shenzhens-green-logistic-zones-fast-tracking-zero-emission-freight/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

YANG, Y.; EMADI, A. Hybrid and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. **Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering**, p. 1-22. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/047134608X.W8191>. Acesso em: 17 ago. 2025

YANG, Y.; QIU, J.; ZHANG, C.; ZHAO, J.; WANG, G. Flexible Integrated Network Planning Considering Echelon Utilization of Second Life of Used Electric Vehicle Batteries. **IEEE Transactions on Transportation Electrification**, v. 8, n. 1, p. 263-276, March, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3068121>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ZAINAL, B. S.; KER, P. J.; MOHAMED, H.; ONG, H. C.; FATTAH, I. M. R.; RAHMAN, S. M. A.; NGHIEM, L. D.; MAHLIA, T. M. I. Recent advancement and assessment of green hydrogen production technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 189, Part A, 113941, Jan, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113941>. Acesso em: 16 ago. 2025

ZAMBONI, L.; LEAL, L. M.; CASTRO, B.; COSTA, V. J. B. da; BARBOSA P. Políticas Públicas e Inovações Regulatórias para Mobilidade Elétrica e a Eletrificação de Frotas Comerciais. **Canal Energia**, 26 de julho, 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53181392/politicas-publicas-e-inovacoes-regulatorias-para-mobilidade-eletrica-e-a-eletroficiacao-de-frotas-comerciais>. Acesso em: 3 jun. 2024.

Apêndice – Diretrizes na prática: como as políticas públicas existentes ou em desenvolvimento se relacionam com as diretrizes nacionais para descarbonização do transporte urbano de carga

INTRODUÇÃO

Este apêndice apresenta um conjunto de sugestões para a operacionalização das diretrizes para descarbonização do transporte de carga, com foco em ações de curto prazo, distribuídas em cinco temas aos quais as políticas nacionais podem estar relacionadas: contexto urbano, logística e transporte rodoviário, indústria, energia e mineração e resíduos.

As propostas buscam demonstrar de que maneira essas diretrizes podem ser integradas a instrumentos já existentes – leis, programas governamentais e políticas públicas setoriais

– ou como novos mecanismos podem impulsionar a transição energética no transporte de carga. Além disso, são indicados atores-chave – instituições públicas, setor privado, academia e instituições financeiras – com potencial capaz de contribuir para a implementação dessas medidas, seja por meio de coordenação, financiamento, pesquisa ou regulamentação. O objetivo é oferecer um caminho viável e estruturado para incorporar a descarbonização nas práticas setoriais, sempre considerando a necessidade de adaptação às particularidades de cada segmento

POLÍTICAS NACIONAIS RELACIONADAS AO CONTEXTO URBANO



Visão geral

Políticas nacionais podem acelerar a descarbonização do transporte urbano de carga ao oferecer suporte técnico, incentivos estratégicos e alinhamento interfederativo para municípios e estados, reconhecendo que grande parte das ações de implementação está no âmbito federal. Essa abordagem contempla a revisão integrada de planos de mobilidade a fim de incorporar o transporte de carga de forma articulada ao planejamento urbano, o estímulo à adoção de veículos leves de baixa e zero emissão e a criação de padrões técnicos e selos de sustentabilidade que orientem incentivos fiscais e operacionais. Medidas federais também podem fomentar programas de sucateamento e adaptação de veículos a combustão (*retrofit*), a implantação de infraestrutura de recarga padronizada e segura, bem como a expansão de centros de distribuição com operação de zero emissão e redes de armários inteligentes. A coordenação entre governo federal, entes subnacionais e setor privado — apoiadas por programas como o PAC Cidades, Programa Cidades Verdes Resilientes e por fóruns internacionais — potencializa o intercâmbio de boas práticas e a adoção de soluções inovadoras. O fortalecimento de instrumentos para coleta de dados, capacitação técnica,

formação de profissionais e campanhas educativas consolida um ambiente colaborativo que acelera a transição energética e a redução das emissões no transporte urbano de carga.

Atores principais e de apoio

ABNT, Aneel, BNDES, Cepel, Embrapii, Finep, Ibama, Inmetro, INT, MCID, MCTI, MDIC, MEC, MF, MMA, MME, MT.

Instrumentos principais e de apoio

Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Cidades, Energia, Indústria, Transportes e Resíduos Sólidos e Efluentes domésticos, Fundo Clima, Mover, ONTL, PAC Cidades, Paten, PCVR, Pemob, PlanMob, Plante, PNMU, FNDCT, NIB, PTE, SIMU e TSB.



Eixo institucional

- Participação, em conjunto com entes subnacionais, na construção da estratégia multissetorial para descarbonização do transporte de carga no Brasil a fim de inserir a dimensão urbana dessa transição.
- Definição de prioridades, metas SMART (específicas, mensuráveis, atingíveis, relevantes e temporais), fases e prazos que orientem governos estaduais e municipais na implementação de políticas voltadas à descarbonização de veículos leves de carga no ambiente urbano.

- Suporte técnico e metodológico a municípios e estados na revisão dos planos de mobilidade municipais e metropolitanos para que seja assegurada a inclusão do transporte de carga e de estratégias para sua descarbonização.
- Promoção e suporte a entes subnacionais na incorporação de medidas para descarbonização do transporte urbano de carga em planos e políticas locais, quais sejam: incentivos para veículos zero emissão, como IPVA verde e progressivo, benefícios atrelados a selos de sustentabilidade e ao uso de veículos elétricos a bateria em áreas urbanas (isenção de estacionamento e pedágios, acesso a zonas de baixa emissão); implementação de centros de distribuição e redes de armários inteligentes públicos em áreas urbanas, visando reduzir deslocamentos e promover a integração do transporte de carga ao planejamento urbano; previsão de contrapartidas para polos geradores de carga; e incentivos a modos mais sustentáveis, como bicicletas de carga elétricas e bicicletas convencionais e elétricas.
- Promoção de plataformas multisectoriais e fóruns de diálogo institucionais, empresariais, acadêmicos e internacionais, com participação ativa no G20, nos Brics, em acordos bilaterais e pactos globais.
- Fomento à troca de boas práticas e resultados de projetos-piloto na descarbonização de veículos leves de carga com o objetivo de ampliar a adoção de soluções inovadoras no ambiente urbano.
- Estabelecimento de padrões, por normas e regulamentações, alinhadas ao nível federal, para tecnologias e instalação de infraestrutura de recarga em áreas urbanas (para garantir segurança, interoperabilidade e escalabilidade), adequados às melhores práticas internacionais e às particularidades do mercado brasileiro.
- Desenvolvimento de selos de sustentabilidade para mensurar o impacto ambiental de diferentes tecnologias e combustíveis de veículos leves (incluindo GEE e MP), adotados por governos locais como mecanismos de incentivos fiscais e operacionais, de modo a assegurar benefícios máximos a veículos zero emissão.
- Implementação, no âmbito de governos locais, de programa de substituição progressiva dos veículos que compõem as frotas públicas municipais e estaduais por modelos zero emissão, bem como de infraestrutura de recarga, além de considerar em licitações requisitos que incentivem a adoção de veículos de baixa emissão.



Eixo econômico e financeiro

- Estímulo e apoio a governos locais para o estabelecimento de incentivos fiscais e benefícios operacionais urbanos voltados a veículos leves de carga com menor impacto ambiental, como isenções de tarifas de estacionamento e de pedágios urbanos e flexibilização de restrições de circulação.
- Incentivo e apoio à implementação do IPVA verde com alíquotas diferenciadas de acordo com o nível de emissões, aplicando valores reduzidos para veículos de baixa emissão e benefícios máximos para veículos zero emissão.
- Criação e financiamento de programas de adaptação e modernização de veículos a combustão (*retrofit*) e de sucateamento para veículos leves抗igos e mais poluentes, em parceria com os governos locais, com o intuito de fortalecer a cadeia de valor gerada e priorizar a substituição por modos ativos, como bicicletas de carga elétricas, bicicletas convencionais e elétricas, especialmente na logística de última milha.
- Apoio técnico e priorização de investimentos via PAC Cidades para implantação de infraestrutura zero emissão, englobando expansão da infraestrutura de recarga em áreas estratégicas, espaços públicos e de serviços públicos, centros urbanos de distribuição de carga, rede de armários inteligentes, entre outros.
- Estímulo à participação do setor privado na implantação de centros de distribuição zero emissão e de infraestrutura de recarga pública em corredores de distribuição e centros urbanos, por meio de PPPs ou contrapartidas aos governos locais.
- Incentivo financeiro a projetos de reúso de baterias veiculares em aplicações estacionárias urbanas, como iluminação pública, sistema de armazenamento de energia em bateria (Bess) para hospitais, escolas, ginásios, equipamentos temporários, entre outros.



Eixo tecnológico

- Apoio aos governos locais para implementação de infraestrutura de recargas rápida e de oportunidade em centros urbanos e rotas estratégicas, em parceria com o setor elétrico.
- Estabelecimento de padrões mínimos de qualidade, compatibilidade e segurança para instalação de infraestrutura de recarga em ambientes urbanos, considerando a modelos de PPPs e a adequação da rede de energia.
- Apoio a projetos-piloto de veículos de carga leve zero emissão e de outras soluções sustentáveis de entregas urbanas, como a substituição de motocicletas a combustão por modelos elétricos, bicicletas de carga e bicicletas convencionais ou elétricas.

- Apoio a projetos-piloto para reaproveitamento de baterias veiculares em aplicações estacionárias urbanas, como iluminação pública, Bess para hospitais, escolas, ginásios e equipamentos temporários.
- Fomento à adoção estratégica de tecnologias sustentáveis no ambiente urbano, por meio da priorização de veículos zero emissão, com a substituição gradual de frotas públicas e de uso em serviços públicos, de forma a acelerar a transição energética.
- Apoio a entes subnacionais na adoção de medidas que aumentem a eficiência logística e otimizem o uso do espaço urbano, como centros logísticos; armários inteligentes; zonas de baixa emissão ou restritas a veículos motorizados, onde se prioriza a distribuição realizada por modos ativos a partir de núcleos logísticos externos; áreas de carga e descarga inteligentes; plataformas digitais de compartilhamento de frotas de veículos zero emissão; polos de logística reversa, entre outros.
- Integração do transporte urbano de carga e o impacto de suas emissões em levantamentos, pesquisas de origem e destino e demais sistemas nacionais de monitoramento e informação sobre transporte e mobilidade.
- Apoio ao desenvolvimento e à implementação de metodologia padronizada para cálculo de emissões do transporte de carga urbano, que avalie todo o ciclo de vida de tecnologias de veículos leves, considerando: (i) emissões de GEE e MP em todas as fases (produção, operação, descarte), (ii) mudança no uso da terra para biocombustíveis (incluindo carbono sequestrado), (iii) impacto ambiental de baterias e outros componentes críticos, (iv) comparação entre diferentes tecnologias (combustão, elétricos, híbridos, biocombustíveis) e (v) realização de projetos-piloto para validação de metodologias de cálculo de emissões.
- Incentivo e apoio a projetos-piloto em áreas urbanas com veículos de carga leve zero emissão, com monitoramento de resultados e compartilhamento de conhecimento para novos projetos.
- Estabelecimento de parcerias com instituições de ensino e pesquisa para o desenvolvimento de programas especializados na formação de profissionais em tecnologias de descarbonização do transporte urbano de carga.



Eixo de dados e conhecimento

- Apoio a coleta, padronização e análise de dados referentes ao transporte urbano de carga e suas emissões veiculares.

- Implementação de programas de capacitação destinados a gestores públicos e outros profissionais, focados na implementação de soluções e políticas de descarbonização do transporte urbano de carga.
- Promoção de campanhas educativas sobre transporte sustentável que enfatizem benefícios ambientais e econômicos da transição energética, programas de incentivo para adoção de veículos zero emissão, vantagens dos sistemas de pequenas entregas por bicicletas convencionais e elétricas.

POLÍTICAS NACIONAIS RELACIONADAS A LOGÍSTICA E TRANSPORTE RODOVIÁRIO



Visão geral

A descarbonização do transporte rodoviário de carga exige políticas nacionais que promovam a integração entre diferentes modos logísticos, incentivem a renovação da frota, ampliem a infraestrutura de recarga e abastecimento de combustíveis alternativos e estimulem ganhos de eficiência operacional em corredores estratégicos. Também é necessária a coordenação de ações entre governo federal, entes subnacionais, setor privado, operadores logísticos e concessionárias a fim de adequar

investimentos em infraestrutura de recarga à transição para veículos médios e pesados de baixa ou zero emissão. Além disso, é preciso adotar padrões técnicos unificados, incentivar a produção nacional de tecnologias limpas, ampliar programas de inspeção e reciclagem de veículos e apoiar iniciativas de logística intermodal a fim de reduzir a dependência do modo rodoviário de alta emissão.

Atores principais e de apoio

Aneel, ANTT, BNDES, Cepel, Cetem, Embrapii, Finep, Inmetro, INT, MCID, MCTI, MDIC, MEC, MMA, MME, MT.

Instrumentos principais e de apoio

Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Energia, Indústria, Transportes, Fundo Clima, Mover, NIB, ONTL, Paten, PNL, PTE, SBCE e TSB.

Eixo institucional

- Desenvolvimento de uma estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga no Brasil, com a inclusão de medidas específicas para veículos médios e pesados, o aumento da eficiência energética e a migração do transporte rodoviário para modos de menor emissão.

- No âmbito da estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga no Brasil, definir ações prioritárias, metas SMART (específicas, mensuráveis, atingíveis, relevantes e temporais), fases e prazos gerais e específicos para orientar formuladores de políticas públicas locais e federais voltadas à descarbonização, considerando infraestrutura rodoviária e corredores logísticos estratégicos.
- Prioridade à descarbonização de rodovias federais e estaduais localizadas em áreas urbanas, bem como de regiões impactadas por ferrovias, portos e aeroportos, de modo a promover a redução de impactos ambientais, econômicos e sociais sobre as populações urbanas por meio de uma abordagem integrada e coordenada com os governos locais.
- Apoio à criação de centros logísticos próximos a portos e polos de distribuição, visando reduzir deslocamentos e minimizar impactos em áreas urbanas.
- Alinhamento integrado de prioridades, metas e fases relacionadas aos transportes rodoviário de longa distância e urbano, no âmbito da estratégia nacional de descarbonização do transporte de carga.
- Coordenação de plataformas multisectoriais e fóruns de diálogo para consolidação de conhecimento em tecnologias de baixo carbono e compartilhamento de resultados de projetos-piloto no transporte rodoviário, envolvendo entes subnacionais, transportadores, operadores logísticos, concessionárias de infraestrutura, provedores de infraestrutura de recarga, entre outros.
- Estabelecimento de normas e regulamentações para infraestrutura de recarga em rodovias, especialmente para caminhões médios e pesados, e para operação de veículos elétricos, incluindo revisão do peso permitido por eixo para veículos zero emissão.
- Desenvolvimento de padrões técnicos e de interoperabilidade entre veículos, sistemas de recarga e sistemas de telemetria.
- Estabelecimento de selos de sustentabilidade para classificar o impacto ambiental de diferentes tecnologias e combustíveis (considerando GEE e MP), a serem utilizados pelos diversos níveis de governo na formulação de incentivos fiscais e operacionais, de modo a assegurar benefícios máximos para veículos zero emissão.
- Desenho e implementação de programa para substituição progressiva da frota de serviço público em nível federal e de serviços de apoio e manutenção rodoviária por veículos zero emissão.

- Coordenação de programa nacional de inspeção veicular para modelos médios e pesados, integrado a um plano de sucateamento e reciclagem que priorize a renovação da frota com veículos zero emissão.
- Desenvolvimento, articulação com outros órgãos e implementação do plano nacional de eletromobilidade, estabelecendo metas de eletrificação com base na identificação de segmentos de operação mais vantajosas para eletrificação e respectivas fases de adoção.
- Inclusão, no plano nacional de eletromobilidade, da previsão de expansão da infraestrutura de recarga em rodovias e adequação da rede elétrica em corredores logísticos estratégicos, articulando as necessidades com o setor energético.
- Fomento à instalação de pontos de recarga rápida em corredores logísticos estratégicos, com incentivos para adequação da rede elétrica em postos e centros de apoio ao transporte de longa distância.
- Incorporação de critérios de emissões e eficiência energética à definição de valores de frete no transporte rodoviário, de modo que gere vantagens econômicas para transportadores que adotem frotas mais limpas e eficientes.
- Criação de mecanismos de compensação de emissões via Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), permitindo que transportadoras recebam créditos por redução efetiva de emissões.
- Implementação de programa de sucateamento e reciclagem para caminhões médios e pesados, com bonificações financeiras proporcionais ao ganho de eficiência energética obtido com a substituição.
- Concessão de incentivos financeiros a projetos de reaproveitamento de baterias de veículos elétricos e híbridos, médios e pesados, utilizados no transporte de longa distância.
- Atração de investimentos via concessões e PPPs para implantação de infraestrutura de recarga e abastecimento de combustíveis alternativos em rotas de alta demanda do transporte rodoviário de longa distância.



Eixo econômico e financeiro

- Criação de selo de eficiência energética e de emissões para veículos de carga a fim de estimular a indústria nacional a desenvolver modelos alinhados a padrões de eficiência e de baixa emissão voltados ao transporte rodoviário de longa distância.
- Estabelecimento de benefícios fiscais proporcionais à classificação do selo de eficiência, de modo que assegure acesso prioritário a linhas de crédito e garantias públicas para transportadoras que adotem veículos mais limpos e eficientes.



Eixo tecnológico

- Coordenação da expansão de pontos de recarga em rodovias e corredores logísticos estratégicos, cujo planejamento integre concessionárias, setor elétrico e governos federal e subnacionais.
- Estabelecimento de diretrizes e padrões mínimos de qualidade, compatibilidade e segurança para infraestrutura de recarga em ambiente rodoviário, considerando demanda de veículos pesados e integração à rede elétrica de alta capacidade.
- Realização e promoção de projetos-piloto em corredores logísticos com caminhões médios e pesados de baixa emissão e de infraestrutura de recarga.
- Articulação com instituições de pesquisa, universidades e setor privado para avaliação de desempenho, custo total de propriedade e emissões do ciclo de vida completo de novas tecnologias.
- Incorporação de requisitos de inovação em editais de concessão rodoviária, de modo que concessionárias participem de projetos-piloto.
- Viabilização de projetos de segunda vida de baterias em aplicações estacionárias rodoviárias, como iluminação e sistemas de armazenamento de energia em bateria (Bess) para uso de equipamentos em geral.
- Coordenação, junto ao setor privado e setores do governo federal, da logística reversa de baterias usadas de veículos pesados, que contemple as normas ambientais e a necessidade de pontos de coleta em locais estratégicos.
- Definição, em conjunto com setores nacionais de mineração, energia, indústria e tecnologia, da rota tecnológica nacional na transição energética do transporte de carga, priorizando tecnologias zero emissão em conjunto com setores nacionais de mineração, energia, indústria e tecnologia.
- Fomento à produção nacional de veículos pesados zero emissão, autopeças e infraestrutura de apoio voltada à operação em longas distâncias, considerando componentes críticos, como sistemas de baterias de alta capacidade, motores e equipamentos de recarga ultrarrápida.
- Incentivo à demanda por veículos médios e pesados zero emissão produzidos no Brasil, bem como por suas soluções de recarga e abastecimento.
- Implantação e ampliação de sistemas de fluxo livre (free flow) e de manutenção da infraestrutura viária, integrados à telemetria, nas principais rodovias federais a fim de reduzir consumo de energia e emissões.

- Promoção de um planejamento logístico nacional que considere a localização de polos produtivos, fluxos de carga e modos de transporte, com foco em reduzir percursos redundantes, incentivar cadeias de suprimento eficientes e de baixa emissão. Tal medida deve incluir a integração de rodovias a terminais intermodais (ferrovia/hidrovia), com prioridade para corredores de exportação e de alto volume de carga.



Eixo de dados e conhecimento

- Coordenação do observatório nacional (ONTL), para que atue também como plataforma nacional de monitoramento das emissões do transporte de carga, de modo a assegurar a integração de bases de dados nacionais e regionais. O observatório deverá contar com o suporte de entes subnacionais para coleta e consolidação de informações sobre o transporte urbano de carga e suas emissões a fim de gerar dados confiáveis que subsidiem políticas setoriais.
- Colaboração no desenvolvimento e implementação de metodologia unificada de cálculo de emissões do transporte de carga, abrangendo todo o ciclo de vida das tecnologias veiculares, considerando: (i) emissões de GEE e MP em todas as fases (produção, operação, descarte), (ii) mudança no uso da terra para biocombustíveis (incluindo carbono sequestrado), (iii) impacto ambiental de baterias e outros componentes críticos, (iv) comparação entre diferentes tecnologias (combustão, elétricos, híbridos, biocombustíveis) e (v) realização de projetos-piloto para validação de metodologias de cálculo de emissões.
- Incentivo e ampliação a projetos-piloto com veículos de baixa emissão em frotas de transporte rodoviário de longa distância, com prioridade a corredores logísticos estratégicos.
- Incentivo e ampliação de testes em campo para validação tecnológica e avaliação de eficiência energética e ambiental dos veículos e combustíveis alternativos no transporte rodoviário.
- Disseminação pública dos resultados desses projetos para estimular a adoção em larga escala das soluções validadas.
- Implementação de plataformas digitais colaborativas para compartilhamento de melhores práticas e soluções tecnológicas validadas.
- Estímulo a parcerias entre setor público, empresas de transporte rodoviário de longa distância, empresas de infraestrutura de recarga e setor produtivo em geral, com centros de pesquisa e universidades para desenvolvimento e nacionalização de tecnologias zero emissão.

- Promoção de redes e fóruns para troca de experiências entre governos, empresas de transporte, universidades e sociedade civil focados em soluções tecnológicas e estratégias de descarbonização.
- Desenvolvimento de programas nacionais de capacitação profissional sobre operação e gestão de frotas rodoviárias de baixa emissão, voltados a motoristas, gestores e técnicos do transporte rodoviário de carga.
- Parcerias com instituições de ensino técnico e superior para oferta de cursos e treinamentos especializados sobre tecnologias de baixa emissão no transporte de carga de longa distância.
- Realização de campanhas nacionais sobre os benefícios ambientais e econômicos da transição energética no transporte rodoviário de carga, orientadas a transportadores, profissionais do transporte de carga, gestores e população em geral.
- Divulgação sistemática da evolução da descarbonização do transporte de carga, incluindo frota, infraestrutura de recarga e redução de CO₂, além de melhores práticas e avanços tecnológicos para ampliar o impacto no setor.

POLÍTICAS NACIONAIS RELACIONADAS A INDÚSTRIA



Visão geral

A descarbonização do transporte de carga no Brasil depende de políticas industriais capazes de fomentar a produção nacional de veículos, componentes e tecnologias de baixa e zero emissão, que fortaleçam cadeias produtivas estratégicas e promovam a competitividade internacional. Isso envolve o estímulo à inovação tecnológica, a ampliação da capacidade fabril e o desenvolvimento de polos regionais especializados, integrando indústria, universidades e centros de pesquisa. Essas políticas devem priorizar a nacionalização de componentes críticos — como baterias, motores elétricos, células a combustível e sistemas de recarga —, incentivar a adoção de práticas de economia circular, promover a qualificação da mão de obra e garantir acesso a financiamento competitivo para empresas inovadoras. A coordenação entre diferentes setores, aliada a padrões técnicos e de sustentabilidade, permitirá que a indústria brasileira lidere a transição energética do transporte de carga, reduzindo dependências externas e gerando empregos qualificados.

Atores principais e de apoio

ABNT, BNDES, Camex, Cetem, Cepel, Embrapii, Finep, INT, MCTI, MDIC, MEC, MF, MIDR, MT.

Instrumentos principais e de apoio

Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Cidades, Energia, Indústria, Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos e Transportes, FNDC, Fundo Clima, Mover, NIB, Observatório Nacional da Indústria, PAC, Paten, PNNU, PTE e TSB.



Eixo institucional

- Promoção de incentivos para o desenvolvimento industrial de tecnologias de baixa emissão alinhados a estratégia multisectorial para transição energética do transporte de carga.
- Definição de metas SMART (específicas, mensuráveis, atingíveis, relevantes e temporais), de fases e prazos para inovação e produção de veículos zero emissão da indústria brasileira, de maneira a estimular a transição da indústria e atender às demandas geradas na estratégia multisectorial de descarbonização do transporte de carga.
- Fortalecimento da capacidade industrial para atender demandas regionais relacionadas à descarbonização a fim de garantir produção de tecnologias e veículos compatíveis com as especificidades locais e alinhados a políticas subnacionais.
- Promoção da articulação federativa para adaptação da base produtiva às necessidades dos entes subnacionais de modo a facilitar a implementação local de soluções inovadoras e sustentáveis.
- Apoio à colaboração entre indústrias, startups e centros de pesquisa, conectando o ecossistema industrial nacional a redes globais de inovação e fortalecendo o ambiente colaborativo para o desenvolvimento de tecnologias de baixa emissão.
- Estímulo ao compartilhamento de resultados de projetos-piloto e de boas práticas entre indústria, startups e centros de pesquisa, por meio de plataformas multisectoriais e fóruns de diálogo, integrando o ecossistema nacional com iniciativas globais para acelerar a inovação tecnológica.
- Desenvolvimento e estabelecimento de padrões técnicos e regulatórios para fabricação nacional de veículos de baixa e zero emissão e de tecnologias de adaptação e modernização de veículos (*retrofit*), em conformidade com as normas nacionais e internacionais de padronização e regulação, garantindo interoperabilidade entre veículos, sistemas de recarga e telemetria.
- Criação de normas técnicas para logística reversa e rastreamento de emissões na cadeia de suprimentos.

- Fortalecimento da indústria nacional a fim de atender a demanda proveniente do programa nacional de substituição progressiva das frotas públicas por veículos zero emissão, assegurando capacidade produtiva alinhada ao mercado emergente.
- Ampliação e desenvolvimento de cadeias produtivas integradas para suprir as necessidades do plano nacional de eletromobilidade, contemplando a produção de veículos elétricos, componentes estratégicos para veículos sustentáveis e infraestrutura de recarga associada a fim de assegurar a articulação federativa e monitoramento contínuo.
- Estímulo à instalação de pontos de recarga em garagens e pátios industriais.
- Apoio à indústria de equipamentos e componentes para recarga e gestão de energia e fortalecimento de fornecedores nacionais.
- Desenvolvimento de sistemas integrados para reincorporação de peças sucateadas na cadeia produtiva.
- Estímulo à indústria de reciclagem e reaproveitamento de insumos a fim de criar novos nichos de mercado.
- Incentivos para criação de polos industriais especializados em logística reversa e reciclagem de baterias.
- Suporte a modelos de negócios baseados em economia circular com integração à produção nacional de componentes.
- Utilização de PPPs e contrapartidas de concessões para ampliar a capacidade industrial e de serviços relacionados a veículos e infraestrutura de baixa emissão de carbono.



Eixo econômico e financeiro

- Implementação do programa Mover como mecanismo central de desenvolvimento e fortalecimento da indústria nacional de veículos zero emissão, incluindo fabricação de baterias de tração e tecnologias associadas; visando também a atração de investimentos privados para tecnologias limpas.
- Criação de linhas de crédito específicas para aquisição de caminhões zero emissão (novos e usados), com prioridade para pequenas e médias empresas transportadoras.
- Integração de mecanismos de crédito para aquisição de veículos zero emissão com programas de sucateamento e economia circular.



Eixo tecnológico

- Fomento à indústria de infraestrutura de recarga com o objetivo de garantir padrões mínimos de qualidade, compatibilidade e segurança.

- Incentivo à produção local de carregadores rápidos e inteligentes, integrados à rede elétrica de alta capacidade e adequados à demanda por veículos pesados.
- Implantação de polos industriais regionais focados em tecnologias para descarbonização do transporte de carga, com ênfase em processos de fabricação de veículos e componentes de tecnologias zero emissão.
- Fomento à criação de centros integrados de inovação que reúnam indústria, universidades e centros de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias avançadas, como processamento de minerais estratégicos, materiais mais leves para veículos e células de combustível.
- Desenvolvimento de polos industriais voltados a reciclagem e reaproveitamento de componentes veiculares, especialmente baterias, promovendo circularidade e redução de impacto ambiental.
- Estabelecimento de programas industriais específicos para P&DI em eficiência energética, novas tecnologias de baterias e sistemas de armazenamento energético avançados, alinhados às prioridades da NIB.
- Promoção de projetos-piloto que integrem novas tecnologias de propulsão zero emissão que simulem condições reais de operação para ajuste de modelos de negócios e escala industrial.
- Estabelecimento de programas de transferência tecnológica por meio de parcerias entre indústria e centros tecnológicos que viabilizem a transferência de conhecimento e tecnologia e acelerem a fabricação e a comercialização nacional de veículos e componentes estratégicos de novas tecnologias.
- Criação de programas industriais dedicados à cadeia sustentável de baterias, desde a extração responsável de minerais críticos até o desenvolvimento de processos para segunda vida, reciclagem e descarte adequado.
- Estabelecimento de parcerias com centros de pesquisa para desenvolvimento de tecnologias de reaproveitamento e reciclagem de resíduos industriais que reduzam a dependência de insumos importados e gerem valor local.
- Promoção de normas e certificações ambientais para processos industriais da cadeia de baterias para garantir sustentabilidade econômica e ambiental do setor.
- Definição de diretrizes industriais que priorizem a adoção e produção local de tecnologias zero emissão, alinhando investimentos industriais às metas nacionais de redução de GEE.

- Articulação com setores correlatos (energia, mineração, logística, indústria e tecnologia) para garantir coerência e sinergia nas decisões tecnológicas de descarbonização do transporte de carga.
- Desenvolvimento de mecanismos de incentivo e financiamento para que indústrias adotem tecnologias limpas e processos produtivos eficientes, considerando impactos econômicos e ambientais em curto, médio e longo prazos.
- Implementação de programas de capacitação técnica e atualização tecnológica para a indústria, visando maior competitividade e soberania tecnológica no setor de transportes.
- Incentivos a empresas que invistam na fabricação local de veículos de carga zero emissão e componentes críticos (motores, inversores, baterias, sistemas de recarga).
- Estímulo à verticalização da cadeia produtiva local, incluindo o processamento de minerais críticos, manufatura de autopeças e desenvolvimento de infraestrutura de apoio.
- Fomento à PPPs que ampliem a capacidade produtiva industrial e a internacionalização de produtos e tecnologias brasileiros, a fim de fortalecer a economia e a independência tecnológica do país.
- Desenvolvimento de soluções industriais para equipamentos inteligentes de gestão de frotas, telemetria e sistemas de fluxo livre (*free flow*) que promovam eficiência energética e operacional do transporte de carga.
- Produção de componentes tecnológicos para centros logísticos, armários inteligentes comunitários e sistemas de carregamento distribuído, suportando a logística urbana sustentável.
- Investimento em pesquisa industrial para a fabricação de veículos de carga com materiais avançados e aerodinâmica otimizada a fim de reduzir o consumo energético.
- Criação de polos industriais tecnológicos, em parceria com instituições de pesquisa, universidades e setor privado, para desenvolvimento de tecnologias que contribuam para a transição energética, considerando tecnologias para o refino de minerais estratégicos, sistemas avançados de armazenamento energético, otimização e reciclagem de baterias e componentes, materiais leves para veículos, estudos de fontes de energia alternativas e desenvolvimento de processos eficientes de reúso e reciclagem de componentes.

- Desenvolvimento de polos industriais regionais especializados em tecnologias de baixa emissão para transporte de carga, como produção de veículos de baixa emissão, autopeças e infraestrutura de apoio voltados à operação em curtas, médias e longas distâncias, incluindo componentes críticos, como sistemas de baterias de alta capacidade, motores, inversores e equipamentos de recarga ultrarrápida.
- Fomento a projetos P&DI que apoiem a definição de diretrizes tecnológicas para a transição energética do transporte de carga, priorizando tecnologias zero emissão e integrando-os com diferentes setores federais, como mineração, energia, indústria e tecnologia.
- Alocação estratégica de recursos para P&DI previstos em políticas nacionais, com foco no desenvolvimento de tecnologia nacional para industrialização de minerais estratégicos e fortalecimento de cadeias industriais de alto valor agregado, como motores, baterias, inversores e sistemas eletrônicos para veículos zero emissão.
- Fomento à produção local de veículos pesados zero emissão, autopeças e infraestrutura de apoio voltados à operação em longas distâncias, que leve em consideração componentes críticos como sistemas de baterias de alta capacidade, motores, inversores e equipamentos de recarga ultrarrápida.

- Desenvolvimento e produção nacional de soluções de abastecimento para combustíveis alternativos, como hidrogênio verde e biometano, em corredores logísticos.



Eixo de dados e conhecimento

- Promoção de projetos P&DI focados em tecnologias veiculares zero emissão e processos industriais sustentáveis que estimulem testes práticos e adaptação tecnológica no contexto brasileiro.
- Incentivo a projetos P&DI focados em desenvolvimento e produção de baterias nacionais para veículos de carga, visando maior eficiência energética, durabilidade e menor impacto ambiental.
- Desenvolvimento de sistemas de monitoramento para avaliar e divulgar os resultados das iniciativas de descarbonização na indústria automotiva e de componentes.
- Promoção da nacionalização e adaptação tecnológica, com participação ativa de centros de pesquisa e indústrias, que garantam a viabilidade técnica e econômica das soluções para avanço tecnológico em armazenamento de energia.
- Desenvolvimento e implementação de metodologia unificada para cálculo de emissões veiculares do transporte de carga urbano, abrangendo todo o ciclo de vida das tecnologias veiculares, considerando:

- (i) emissões de GEE e MP em todas as fases (produção, operação, descarte), (ii) mudança no uso da terra para biocombustíveis (incluindo carbono sequestrado), (iii) impacto ambiental de baterias e outros componentes críticos, (iv) comparação entre diferentes tecnologias (combustão, elétricos, híbridos, biocombustíveis) e (v) realização de projetos-piloto para validação de metodologias de cálculo de emissões.
- Estabelecimento de parâmetros baseados nas emissões (GEE e MP) de todo o ciclo de vida das tecnologias veiculares para estabelecimento de metas e fases de descarbonização da indústria em seu portfólio produzido e comercializado no Brasil.
 - Estímulo a parcerias estratégicas entre indústria, centros de pesquisa, universidades e setor público para formação de equipes técnicas qualificadas e capacitação profissional especializada em desenvolvimento e manutenção de tecnologias veiculares zero emissão, de modo a fortalecer a cadeia produtiva local e de consumo de veículos e componentes zero emissão.
 - Estímulo a parcerias entre setor público e indústria, com centros de pesquisa e universidades para desenvolvimento e nacionalização de tecnologias zero emissão.
 - Promoção de redes e fóruns para troca de experiências entre governos, empresas de transporte, universidades e sociedade civil, com foco em soluções tecnológicas e estratégias industriais para produção de veículos e equipamentos zero emissão.
 - Desenvolvimento de programas nacionais de capacitação profissional para a indústria de veículos zero emissão, voltados a profissionais da indústria, gestores públicos, entre outros.
 - Parcerias com instituições de ensino técnico e superior para oferta de cursos e treinamentos especializados sobre tecnologias de baixa emissão no transporte de carga de longa distância.
 - Realização de campanhas nacionais sobre os benefícios ambientais e econômicos da transição energética no transporte de carga e as oportunidades na indústria brasileira.
 - Criação de plataformas e redes nacionais de compartilhamento e disseminação de conhecimento técnico-industrial e de inovações tecnológicas entre empresas, centros de pesquisa e governo.

POLÍTICAS NACIONAIS RELACIONADAS A ENERGIA E MINERAÇÃO



Visão geral

A transição para um transporte de carga descarbonizado exige políticas nacionais que integrem energia e mineração em uma estratégia coordenada que garantam segurança energética, suprimento sustentável de minerais críticos e expansão de infraestrutura de recarga alinhada à eletromobilidade. Isso envolve o planejamento conjunto de geração, transmissão e distribuição de energia renovável, adaptação da rede elétrica para atender à crescente demanda de veículos elétricos e a produção sustentável de biocombustíveis e outras fontes limpas. Na mineração, é essencial assegurar práticas de baixo impacto ambiental, desenvolver cadeias nacionais para o beneficiamento e refino de minerais estratégicos, além de garantir o fornecimento sustentável de insumos para baterias e demais componentes críticos. A articulação entre governo, setor produtivo, centros de pesquisa e entes federativos deve priorizar padrões técnicos, incentivos econômicos e plataformas colaborativas que permitam inovação, eficiência e redução de emissões ao longo de toda a cadeia energética e mineral.

Atores principais e de apoio

Aneel, ANM, BNDES, Cepel, Cetem, Embrapii, Finep, Fonte, INT, MCTI, MEC, MF.

Instrumentos principais e de apoio

Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Cidades, Energia, Indústria e Transportes e Resíduos Sólidos e Efluentes domésticos, FNDCT, Mover, NIB, PAC, Paten, Plante, PTE.



Eixo institucional

- Integração do planejamento energético à estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga, considerando adaptação da rede elétrica para garantir sua capacidade de atender ao crescimento da eletromobilidade no transporte de carga.
- Expansão planejada de fontes renováveis de energia elétrica e produção sustentável de biocombustíveis alinhadas a prioridades, metas, fases e prazos estabelecidos na estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga, garantindo sustentabilidade e oferta de energia para a transição rumo à neutralidade de carbono no setor de transportes.
- Estabelecimento de desincentivos progressivos para o uso de combustíveis fósseis, alinhados às metas da Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e à estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga.

- Articulação interfederativa e participação em fóruns setoriais para integração de geração, transmissão e distribuição de energia renovável que contemple as especificidades regionais.
- Definição e implementação de padrões técnicos para infraestrutura de recarga que garantam segurança, escalabilidade e interoperabilidade entre veículos, sistemas de recarga e telemetria.
- Criação de tarifas de energia diferenciadas para recarga em horários de baixa demanda a fim de incentivar o uso eficiente da rede elétrica.
- Utilização de projetos públicos para fomentar investimentos em infraestrutura energética sustentável para transporte de carga, incluindo fontes renováveis e infraestrutura de recarga.
- Planejamento conjunto da cadeia de minerais críticos e estratégicos que assegure o suprimento para desenvolvimento da eletromobilidade em diferentes entes federativos.
- Desenvolvimento de planos de descarbonização para mineradoras, com metas para transporte sustentável do minério.
- Promoção de plataformas multisectoriais e colaborativas para troca de experiências e dados entre os setores de energia, mineração e transporte, de modo a fomentar inovação conjunta e disseminação de boas práticas.
- Planejamento integrado das cadeias de suprimentos energéticos e minerais para atender a produção e operação dos veículos elétricos no transporte de carga, conforme as necessidades do plano nacional de eletromobilidade.
- Adoção de políticas para gestão sustentável de baterias e demais componentes críticos, considerando reciclagem e reutilização.
- Monitoramento contínuo da capacidade energética e mineral para garantir sustentabilidade e segurança do plano.



Eixo econômico e financeiro

- Linhas de financiamento específicas para adaptação e modernização da rede elétrica, visando a expansão da eletromobilidade.
- Instrumentos econômicos para apoiar a expansão de fontes renováveis dedicadas ao fornecimento de energia limpa para veículos elétricos.
- Apoio financeiro e incentivo a projetos estruturantes em corredores logísticos e alinhados à estratégia multisectorial de descarbonização do transporte de carga.
- Programas de financiamento para tecnologias de mineração de baixo impacto ambiental.

- Implantação de centros industriais integrados que combinam geração de energia renovável local, processamento de minerais estratégicos e operações logísticas com veículos elétricos, com o intuito de fomentar ecossistemas sustentáveis e autossuficientes.



Eixo tecnológico

- Adaptação tecnológica da rede elétrica nacional para suportar a demanda de carga veicular, alinhada ao plano de expansão da infraestrutura de recarga para veículos elétricos.
- Integração de programas de energias renováveis à eletromobilidade a fim de reforçar a transição energética do setor de transportes.
- Implementação de projetos-piloto de tecnologias de recarga rápida e redes inteligentes, aperfeiçoando a eficiência e a confiabilidade da infraestrutura elétrica.
- Criação de polos tecnológicos para o desenvolvimento de processos de beneficiamento e refino de baixo impacto ambiental para minerais críticos e estratégicos de forma a fortalecer a cadeia nacional de suprimentos.
- Estabelecimento de programas de transferência tecnológica, por meio de parcerias com empresas multinacionais, para capacitação e fabricação nacional de componentes estratégicos da eletromobilidade.

- Promoção da industrialização sustentável de matérias-primas a fim de garantir valor agregado e menor pegada de carbono na produção.
- Desenvolvimento de rotas logísticas rodoviárias e ferroviárias zero emissão dedicadas ao escoamento da produção mineral, integrando modos sustentáveis.
- Estudos e implementação de tecnologias de baixo carbono na logística do setor mineral, visando a redução de emissões em toda a cadeia.



Eixo de dados e conhecimento

- Monitoramento das emissões associadas à logística do setor mineral para permitir a adaptação de políticas de redução das emissões no transporte de minérios.
- Promoção de P&DI para projetos de baterias nacionais para veículos de carga com foco em maior eficiência energética, durabilidade e menor impacto ambiental; recondicionamento, reúso e reciclagem de baterias veiculares; infraestrutura de recarga ultrarrápida; infraestrutura de rede elétrica para atender a demandas geradas pela transição energética do setor de transportes; novas tecnologias de armazenamento de energia.

- Criação de polos tecnológicos em regiões mineradoras, fomentando parcerias entre setor público, indústria e academia para desenvolver tecnologias de baixa emissão e processos sustentáveis.
- Implementação de programas de formação e capacitação profissional do setor de energia e mineração, com foco em tecnologias de baterias sustentáveis e logística de baixo carbono.
- Parcerias com instituições de ensino para formação especializada em operação e gestão de processos sustentáveis na cadeia mineral e energética.
- Desenvolvimento de pesquisa em logística de baixo carbono para o setor mineral, considerando avaliação de rotas, modos e tecnologias que reduzam emissões no transporte de minérios.
- Mapeamento de reservas nacionais de minerais críticos e estratégicos.

POLÍTICAS NACIONAIS RELACIONADAS A RESÍDUOS



Visão geral

A gestão de resíduos do transporte de carga, especialmente baterias e componentes eletrônicos, é elemento-chave para assegurar que a descarbonização seja ambientalmente

sustentável e socialmente responsável. Políticas nacionais devem alinhar logística reversa, reciclagem e economia circular aos planos de eletromobilidade, estabelecendo padrões técnicos para recuperação de materiais críticos, incentivando a criação de polos tecnológicos e fomentando a inovação em reaproveitamento e rastreamento de resíduos. A coordenação entre governo federal, municípios, indústria, operadores logísticos e centros de pesquisa é essencial para estruturar ecossistemas de coleta, triagem e processamento eficientes. O fortalecimento de instrumentos econômicos e de financiamento pode viabilizar investimentos em infraestrutura de reciclagem e capacitação profissional, assegurando que baterias, componentes e demais materiais sejam reinseridos na cadeia produtiva com o menor impacto ambiental possível.

Atores principais e de apoio

ABNT, BNDES, Cetem, Embrapii, Finep, Ibama, INT, MCTI, MEC, MF, MMA.

Instrumentos principais e de apoio

Estratégia Nacional de Mitigação do Plano Clima e setoriais Resíduos Sólidos e Efluentes domésticos, Cidades, Energia, Indústria, Transportes, FNDCT, Fundo Clima, ONTL, PAC Plano Clima Mitigação, PTE e TSB.



Eixo institucional

- Implantação de diretrizes para a gestão sustentável dos resíduos gerados por veículos, especialmente baterias e componentes elétricos, alinhadas a prioridades, metas, fases e prazos da estratégia multisectorial para a descarbonização do transporte de carga.
- Fomento à criação de ecopontos municipais para a coleta seletiva de baterias e peças elétricas, de maneira alinhada às políticas locais de planejamento urbano e logística sustentável.
- Incorporação de experiências de logística reversa e reciclagem de baterias em ambientes colaborativos que estimulem o desenvolvimento de projetos-piloto para geração de energia a partir de resíduos, como a produção de CH₄.
- Regulamentação da logística reversa de baterias e do uso de segunda vida, além de processos de recondicionamento, sucateamento e reciclagem, em conformidade com as melhores práticas internacionais.
- Elaboração de diretrizes para a gestão sustentável dos diversos componentes provenientes dos veículos elétricos, das baterias e da infraestrutura de recarga.
- Definição de padrões técnicos para a recuperação de materiais críticos, garantindo eficiência e sustentabilidade do processo.
- Integração do programa nacional de sucateamento e reciclagem veicular com políticas de reciclagem e logística reversa para a destinação adequada de baterias e veículos retirados de circulação.
- Desenvolvimento e incorporação de diretrizes para a gestão sustentável dos resíduos gerados por veículos elétricos, de baterias e componentes da infraestrutura de recarga, no âmbito do plano nacional de eletromobilidade.
- Articulação institucional para o alinhamento das ações com as metas nacionais de sustentabilidade, incluindo mecanismos de cooperação entre os diferentes atores da cadeia produtiva.



Eixo econômico e financeiro

- Fomento à indústria de logística reversa para comissionamento e destinação de partes recicláveis de veículos.
- Estímulo a investimentos em unidades de processamento e reciclagem a fim de garantir sustentabilidade e circularidade da cadeia produtiva.
- Criação de incentivos fiscais e financeiros para programas de reciclagem de baterias e componentes veiculares.
- Promoção de contrapartidas privadas e PPPs para operações de logística reversa de baterias e materiais relacionados.



Eixo tecnológico

- Apoio à criação de polos tecnológicos especializados em processos eficientes de reúso e reciclagem, alinhados ao desenvolvimento de tecnologias essenciais para a transição energética.
- Desenvolvimento de tecnologias para reaproveitamento de resíduos veiculares, de modo a fortalecer a economia circular e a sustentabilidade da cadeia produtiva.
- Incentivo a programas de P&DI voltados à logística reversa de baterias a fim de assegurar reaproveitamento, reciclagem e descarte adequado.
- Desenvolvimento de tecnologias para rastreamento e gestão inteligente de resíduos, integrando inovação à eficiência logística e à cadeia de valor.
- Incentivo à adoção de processos industriais sustentáveis na cadeia veicular para reduzir impactos ambientais e otimizar recursos.
- Criação de sistemas de rastreamento e gestão inteligente para cadeias de logística reversa que assegurem transparência, eficiência e conformidade ambiental.
- Desenvolvimento de um sistema unificado para rastreamento de resíduos, com transparência e controle na gestão ambiental.
- Desenvolvimento e implementação de plataformas e redes de compartilhamento de conhecimento técnico sobre coleta, gestão e reciclagem de resíduos veiculares, incluindo baterias.
- Desenvolvimento de projetos-piloto que testem técnicas avançadas de reciclagem, recondicionamento e processamento de materiais críticos oriundos do transporte de carga.
- Promoção da nacionalização do conhecimento e desenvolvimento de práticas inovadoras para o reaproveitamento de resíduos do setor de transportes.
- Implementação de programas e estímulo a parcerias entre setor público, empresas privadas, centros de pesquisa e universidades para formação e capacitação profissional em logística reversa especializada e gestão sustentável de resíduos veiculares, incluindo baterias.
- Realização de campanhas de comunicação e de conscientização sobre descarte adequado de componentes veiculares e gestão responsável de resíduos no setor de transportes.
- Divulgação ampla de boas práticas e soluções inovadoras para a gestão de resíduos do transporte de carga, fomentando redes de troca de experiências entre os diversos atores do setor.



Eixo de dados e conhecimento

- Integração de sistemas de dados sobre resíduos veiculares que permita o monitoramento e a análise das práticas de descarte e reciclagem no setor de transporte de carga.



CIDADES
VERDES
RESILIENTES

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO Povo BRASILEIRO