TRANSPORTES
revistatransportes.org.br
anpet
associação nacional de pesquisa e ensino em transportes
anpet.org.br

Ações e políticas para redução da emissão de CO_2 no transporte de cargas do Brasil

Actions and policies to reduce CO_2 emission in Brazilian freight transportation

José Eduardo Holler Branco[1], Daniela Bacchi Bartholomeu Bonato[1], Paulo Nocera Alves Junior[1], José Vicente Caixeta Filho[1]

[1]Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil

Contato: jehbranco@usp.br, (JEHB); daniela.bartholomeu@alumni.usp.br, (DBBB); pjnocera@yahoo.com.br, (PNAJ); jose.caixeta@usp.br, (JVCF)

Recebido:
13 de julho de 2020
Aceito para publicação:
8 de abril de 2023
Publicado:
26 de julho de 2023

Editor de Área:
Marcio de Almeida D'Agosto
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Palavras-chave:
Logística verde.
Planejamento de transportes.
Emissão de CO_2.
Políticas ambientais.

Keywords:
Green logistics.
Transport planning.
CO_2 emission.
Environmental policies.

DOI: 10.58922/transportes.v31i2.2415

OPEN ACCESS
CC BY

RESUMO
Dois aspectos estão se tornando cada vez mais cruciais no planejamento de sistemas de transporte eficientes: desempenho energético do transporte e emissão de CO_2. O transporte inter-regional de cargas é um dos que mais emite CO_2 no Brasil, em função da grande quantidade de mercadorias que precisa ser transportada em rotas de longas distâncias, majoritariamente por meio de caminhões, devido à escassez de infraestrutura intermodal. É de amplo conhecimento que o modo rodoviário de transporte apresenta elevado consumo de diesel e emissão de CO_2 por tonelada de carga transportada. Caso o país não coloque em prática ações e políticas com o objetivo de melhorar a eficiência energética, o transporte de cargas deverá intensificar expressivamente seu impacto sobre as mudanças climáticas, dificultando que o país atinja a meta de redução de CO_2 acordada durante a COP21. Em vista disso, este artigo tem como objetivo fazer uma análise exploratória das principais ações e políticas recomendadas para reduzir as emissões de CO_2 do transporte de cargas no Brasil, e mensurar quantitativamente seus impactos. A análise fundamenta-se na matriz origem e destino de cargas projetada pela Empresa de Planejamento e Logística, usada como base para mensurar as emissões de CO_2 e os impactos das ações recomendadas nesse estudo, comparando-se a emissão estimada para 2015 e 2025. Os resultados revelam que as ações recomendadas têm potencial para reduzir 39% da emissão anual de CO_2 em 2025 no país, o que significa evitar a emissão de 43 milhões de toneladas de CO_2 por ano no transporte de mercadorias. Além disso, as ações e políticas sugeridas resultam também em ganhos econômicos na forma de redução de custos de transporte, o que tende a favorecer a implantação das ações com baixa dependência de financiamento público.

ABSTRACT
Two aspects are becoming increasingly critical in transport systems planning: the energy performance of transport and the emission of CO_2. Interregional cargo transportation is one of the most important CO_2 emitting in the transport sector of Brazil, due to the large amount of cargo that needs to be transported over long-distance routes, in the huge part by trucks due to the scarcity of multimodal infrastructure. It is widely known that the road transport mode presents high diesel consumption and CO_2 emissions per tonne of cargo transported. If the country does not implement actions and policies aiming to

mitigate CO_2 emissions, eventually, the freight transportation will significantly increase its environmental impact, worsening the greenhouse effect and climate change, and preventing the country from reaching its CO_2 reduction goal agreement made during COP21. In view of this, this article aims to make an exploratory analysis of the main recommended actions and policies to reduce CO_2 emissions from cargo transportation in Brazil and to quantitatively measure their impacts. The results reveal that the recommended actions have the potential to reduce 39% of the annual CO_2 emission in 2025 in the country, which means avoiding the emission of 43 million tons of CO_2 per year in freight transportation. Also, the suggested actions and policies could provide important economic gains, which makes the projects attractive for private investments, which means they could be implemented with little use of public funding.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transporte brasileiro é responsável por cerca de 35% do consumo de combustíveis fósseis e por mais de 48% das emissões de CO_2 no país (Brasil, 2019b). Estima-se que o transporte inter-regional de cargas do Brasil deve lançar na atmosfera 111 milhões de toneladas de CO_2 em 2025, caso não haja sejam definidas ações para reduzir esse efeito (EPL, 2018).

A elevada dependência em relação ao transporte rodoviário e ao consumo de combustíveis fósseis tornam o transporte de mercadorias uma das atividades que mais emite CO_2. As estradas rodoviárias dão conta de aproximadamente 61,1% do total de carga transportada no país, enquanto em outros países de tamanho geográfico semelhante, essa participação é inferior a 30% (CNT, 2018). O Brasil possui cerca de 1,7 milhão de quilômetros de estradas, mas apenas 30 mil quilômetros de ferrovias e 20 mil quilômetros de hidrovia, modalidades estas mais eficientes em termos energéticos principalmente devido às suas maiores capacidades de carga por viagem (Brasil, 2019b; Branco et al., 2022).

Agravando esse cenário, o investimento público total em infraestrutura de transportes vem caindo sistematicamente ao longo dos anos. Entre 2010 e 2017, reduziu 37% (Brasil, 2019b), o que prejudica ainda mais o desempenho do transporte de cargas no Brasil, e aumenta o gasto energético bem como as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Tendo em vista este contexto e a urgente necessidade de conter os efeitos das atividades econômicas nas mudanças climáticas, este artigo objetiva recomendar ações e políticas públicas relevantes que apresentam expressivo potencial para reduzir as emissões de CO_2 geradas pelo transporte inter-regional de mercadorias no país. Também tem como objetivo fazer uma análise quantitativa do potencial de redução de CO_2 das principais ações recomendadas, e discutir oportunidades e dificuldades para implementação destas. Espera-se que a quantificação do efeito das ações recomendadas em médio prazo possa ajudar na priorização de esforços e investimentos direcionados para essa finalidade.

Uma série de trabalhos vêm analisando o impacto de ações específicas na emissão de CO_2 do transporte de cargas no Brasil (Bartholomeu e Caixeta Filho, 2009; Bartholomeu, Péra e Caixeta-Filho, 2016; Péra et al., 2019). O presente artigo, em particular, tem como objetivo reunir um conjunto de ações que contribuem para mitigar a emissão de CO_2 desse setor, pautando-se em iniciativas que vêm sendo adotadas em importantes países que também têm como desafio reduzir a emissão de GEE no transporte de cargas. Ademais, por meio de uma análise quantitativa mensura-se o impacto das ações selecionadas para o ano de 2025,

com base nos fluxos de transporte da matriz Origem-Destino de cargas projetada pela Empresa de Planejamento e Logística (EPL) no âmbito do Plano Nacional de Logística - PNL (EPL, 2018). Essa abordagem destaca a contribuição do artigo, que também propõe ações complementares ao PNL para reduzir o impacto ambiental do transporte de cargas.

2. PRINCIPAIS POLÍTICAS E AÇÕES PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES NO TRANSPORTE DE CARGAS

Mobilidade e Logística são indispensáveis para o desenvolvimento econômico e bem-estar da sociedade. As crescentes preocupações com o ambiente e o desenvolvimento sustentável, combinadas com as externalidades negativas geradas pelo transporte de passageiros e cargas, vêm pressionando os stakeholders a valorizar aspectos socioambientais no desenvolvimento de políticas e ações voltadas para a área de logística e transportes. Os esforços e ações que vêm sendo direcionados para mitigar os efeitos ambientais da logística consolidam o conceito de "Logística Verde" (Zubedi et al., 2018; Macharis et al., 2014; McKinnon et al., 2010).

Segundo Chang e Qin (2009), embora os sistemas logísticos promovam o desenvolvimento econômico, eles podem causar efeitos indesejáveis no ambiente, como geração de resíduos, congestionamentos, poluição sonora e atmosférica. O conjunto dessas externalidades negativas tem fomentado o desenvolvimento da Logística Verde, que busca reduzir os impactos ambientais dos sistemas logísticos, por meio de tecnologia avançada e aumento da ecoeficiência das operações logísticas. Uma abordagem um pouco mais ampla defende a importância de proposição de estratégias e ações para melhorar a sustentabilidade dos sistemas logísticos, também melhorando sua performance social e econômica, além da ambiental, nas diversas atividades da logística, como transporte, embalagens, armazenagem, tecnologia da informação (TI) e logística reversa (Chang e Qin, 2009).

Grandes economias ao redor do mundo têm dado atenção ao problema, desenvolvendo programas voltados para estimular o ganho de eficiência energética e a redução das emissões de GEE nos transportes. Uma série de ações vêm sendo propostas, desenvolvidas ou adotadas como estratégias para promover sistemas mais ecoeficientes no transporte de cargas (Zubedi et al., 2018; CNT, 2020; Ricardo Energy & Environment, 2017; Bartholomeu, Péra e Caixeta-Filho, 2016; EC, 2011).

Na União Europeia (UE) tem sido proposto um amplo conjunto de políticas e iniciativas concretas com foco no desenvolvimento de um sistema de transporte mais competitivo, com menor impacto ambiental, e que favoreça a mobilidade. Tais iniciativas vêm sendo direcionadas para a remoção dos principais gargalos da infraestrutura de transportes, redução do consumo de combustível fóssil e geração de empregos. Espera-se que as ações propostas reduzam a dependência europeia por petróleo importado e promovam um corte de 60% nas emissões de GEE do setor de transportes até 2050. O pacote de políticas de transporte da UE inclui: i) metas agressivas de redução do uso de combustíveis fósseis via substituição por combustíveis renováveis com baixa emissão líquida de carbono; ii) diretrizes para acelerar o desenvolvimento tecnológico dos veículos de transporte e a renovação da frota; iii) políticas para ampliação da infraestrutura intermodal e estímulo para migração do transporte de cargas para os modos menos poluentes; iv) pacote de

ações para redução das emissões do transporte aquaviário fluvial, de cabotagem e marítimo de longo curso; v) disseminação do uso de sistemas de informações de tráfego de veículos de carga em tempo real, ferramentas de roteamento eletrônico para otimização do uso da capacidade de carga dos veículos de transporte e melhoraria da coordenação do tráfego entre os modos de transporte (EC, 2011).

Em outros países, como na Rússia (Russia, 2014; Trofimenko, Komkov e Donchenko, 2018), Índia (Mehra e Verma, 2016), China (Retzer, 2019; Transport Policy Net, 2019; Zhao, Liu e He, 2009), EUA (Black, 1996; Zhou, 2012) e Canadá (2019), também verifica-se programas específicos e políticas direcionadas para minimizar os impactos ambientais do transporte de cargas. Dentre estratégias que vêm sendo adotadas, destaca-se a seguir um conjunto de ações que se mostram recorrentes nesses países:

- Aumento do uso de veículos elétricos ou híbridos;
- Ampliação da participação dos biocombustíveis de baixa emissão líquida de carbono;
- Redução do consumo energético dos veículos de transporte;
- Redução do congestionamento e demanda por viagens;
- Construção e melhor integração da infraestrutura intermodal de transporte;
- Construção de novas infraestruturas compatíveis com novas tecnologias dos veículos;
- Desenvolvimento e disseminação do uso de Sistemas Inteligentes de Transporte para maximizar o uso da capacidade de carga dos veículos, por meio de uma melhor coordenação entre as cargas que devem ser transportadas e o tráfego dos veículos;
- Disseminação de sistemas que permitem maior compartilhamento de informações entre usuários e fornecedores de serviços de transporte;
- Campanhas para disseminação de medidas comportamentais e tecnologias de assistência aos condutores para estimular a condução de veículos de forma a minimizar o consumo de combustíveis (Eco-driving);
- Maior uso de telemetria e equipamentos de navegação por GPS;
- Criação de incentivos e subsídios baseados na eficiência e nas emissões de CO_2;
- Mensuração da emissão de CO_2 das operações de transporte e ampla divulgação dessas por meio de benchmarkings informações para estimular a migração para os modos com menor impacto ambiental;
- Construção de corredores de transporte eficientes para fluxos de longa distância e exportação;
- Melhoria da performance da logística de entrega de cargas nos grandes centros urbanos (last mile logistics); e
- Fomento à pesquisa e inovação tecnológica voltados para o desenvolvimento de sistemas logísticos e de transporte sustentáveis.

No presente estudo são analisados os potenciais de mitigação de emissão de CO_2 decorrente de seis ações selecionadas pelos autores, dentre o conjunto de inciativas que vêm sendo implementadas em outros países, que revelam grande potencial de impacto na matriz de transporte de cargas brasileira. As ações recomendadas são descritas a seguir:

i) Ampliação do transporte intermodal de cargas

O modo rodoviário apresenta o maior consumo de combustível por quantidade de carga transportada, em relação aos modos ferroviário, hidroviário e dutoviário, e, portanto, resulta na maior emissão de CO_2 por tonelada quilômetro útil (TKU). Tendo em vista esta característica, ações que fomentem uma maior participação das modalidades ferro, hidro e dutoviária no transporte de cargas revelam importante efeito na redução da emissão de GEE (Branco et al., 2011; Branco et al., 2022).

ii) Estímulo ao uso de sistemas inteligentes de transporte para aumentar a ocupação da capacidade de carga dos veículos

O uso de sistemas inteligentes de transporte permite aumentar a taxa de ocupação do caminhão, reduzindo as viagens e deslocamentos sem carga, portanto, diminuindo a emissão de CO_2 por tonelada de carga transportada (EC, 2011).

iii) Aumento da frota de caminhões com tecnologias de baixo consumo de combustível

Estudos têm demonstrado que é possível reduzir aproximadamente 30% o consumo de combustíveis de caminhões por meio da adoção de novas tecnologias nos veículos de transporte rodoviário de cargas, com previsão de estarem comercialmente disponíveis no horizonte entre 2020 e 2030 (Ricardo Energy & Environment, 2017; Transport & Environment, 2017).

iv) Aumento do transporte de cargas em veículos de maior capacidade

Segundo estudo realizado pela associação Europeia de fabricantes de veículos automotores (ACEA, 2019), o uso de veículos de maior capacidade (caminhões extrapesados) permite a consolidação de cargas de veículos menores, reduzindo o consumo de combustível e emissão de CO_2 por tonelada de carga transportada. De acordo com o estudo, um projeto piloto envolvendo a substituição dos caminhões típicos usados na Suécia com capacidade de 100 m^3 por caminhões extrapesados com capacidade de 200 m^2 permitiu reduzir o consumo de combustível em 28,5% e a emissão de CO_2 em 27,0%, por quantidade de carga transportada.

v) Aumento do uso de combustíveis alternativos com menor emissão de CO_2

Os fabricantes de caminhões ao redor do mundo vêm dedicando esforços no desenvolvendo de motores elétricos, híbridos e veículos movidos a combustíveis renováveis.

Alguns países já estão usando caminhões pesados elétricos a bateria no transporte de cargas (UNU, 2015), opção tecnológica que tem se revelado mais competitiva ao longo do tempo. Contudo, ainda existem importantes dificuldades que devem ser superadas pera viabilizar o uso dessa tecnologia em larga escala: i) as baterias usadas no armazenamento de energia elétrica representam peso adicional expressivo, reduzindo a capacidade de carga dos veículos; ii) os veículos ainda revelam baixa autonomia, requerendo a instalação de infraestrutura e pontos de recarga ao longo do percurso; iii) os tempos parados para a recarga das baterias são elevados, o que diminui a performance operacional dos veículos; iv) a eletrificação massiva dos caminhões pode gerar picos de energia elétrica e sobrecarregar a rede de distribuição de energia (Liimatainen, van Vliet e Aplyn, 2019). No caso de caminhões leves e semipesados que percorrem curtas distâncias, o uso de veículos elétricos vem apresentando maior viabilidade técnica e econômica (Ramos, 2019;

Liimatainen, van Vliet e Aplyn, 2019). Importante destacar que utilização de caminhões elétricos resulta em benefícios ambientais apenas se a matriz energética tiver uma base limpa e renovável. Caso o país apresente uma participação majoritária de fontes energéticas fósseis na geração de energia elétrica, a energia usada no transporte também vai resultar em emissão de CO_2 em níveis elevados, não diretamente pelo motor do veículo, mas referente à etapa de geração de energia.

Alternativamente, a tecnologia de caminhões elétricos a células de combustível permite que a célula de combustível gere a própria energia elétrica consumida no motor dos veículos, a partir de um volume de hidrogênio. Esta opção confere maior autonomia aos veículos, mas também requer investimentos para implantar a rede de abastecimento de hidrogênio. Existem projetos no Brasil para o desenvolvimento de veículos a célula de combustível abastecidos com etanol (UNICAMP, 2019), essa tecnologia permitiria aproveitar o a elevada capacidade de produção desse biocombustível no país, bem como sua ampla rede de distribuição já consolidada (Liimatainen, van Vliet e Aplyn, 2019; Ricardo Energy & Environment, 2017).

No Brasil, vem se mostrando proeminente o uso do biogás (biometano) nos caminhões de carga. O país já apresenta tecnologia bem desenvolvida para a produção em larga escala de caminhões que podem ser abastecidos com esse biocombustível, que vem aumentando espaço na matriz energética nos últimos anos (Costa, 2020). As 521 plantas instaladas no país produziram 1,3 bilhão de m^3 de biogás em 2019 - sendo 12% produzido por meio da digestão de resíduos da agropecuária e 78% a partir da digestão de resíduos sólidos urbanos e de tratamento de esgotos (Energia Hoje, 2020). Estima-se que o país possui um potencial de produção de aproximadamente 44,1 bilhões de m^3 de biogás (ABIOGÁS, 2023).

vi) Medidas para redução da emissão de CO_2 no transporte ferroviário

A Comunidade Europeia implantou um conjunto de ações que permitiu reduzir 41% a emissão de CO_2 de 1990 a 2010. Com o objetivo de dar continuidade a esse ganho na performance dos indicadores de sustentabilidade, os operadores do transporte ferroviário de cargas na Europa se uniram em torno de um programa denominado "Railenergy", que teve como meta reduzir 6% a emissão de CO_2 do transporte ferroviário entre 2010 e 2020, por meio das seguintes ações (UIC, 2015):

- Aumentar a performance energética do material rodante (locomotivas e vagões);
- Implantar uma campanha para condução dos trens com economia de combustível (Eco-driving);
- Disseminar o uso de sistemas de assistência ao condutor dos trens em tempo real que permita conduzir as composições ferroviárias com o mínimo consumo de combustível;
- Ampliar o uso de sistemas inteligentes de gestão do tráfego de trens; e
- Melhorar a performance das operações de manobras dos trens.

Adota-se como premissa que existe um potencial equivalente para redução da emissão de CO_2 do transporte ferroviário brasileiro, entre o ano base 2015 e o horizonte de 2025.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A partir da revisão a respeito das principais ações que vêm sendo adotadas internacionalmente para mitigação das emissões de CO_2 no transporte de mercadorias, o presente estudo analisa e quantifica o impacto de um pacote de ações selecionadas, consideradas mais eficazes para redução da emissão de CO_2 no transporte de cargas do Brasil em médio prazo, adotando-se como horizonte de planejamento o ano 2025.

O impacto das ações nas emissões de CO_2 é calculado com base nos fluxos de transporte da matriz Origem-Destino de cargas projetada pela Empresa de Planejamento e Logística no âmbito do Plano Nacional de Logística – PNL (EPL, 2018), que estima as quantidades de cargas transportadas na malha multimodal em 2015 e projetadas para 2025, considerando a implantação das principais ferrovias planejadas e expansão da malha multimodal de transporte considerados no PNL. Adotando-se como referência a matriz de transporte, que representa o total transportado de cargas no país, por meio de cada modo de transporte, estimadas no PNL, calcula-se a emissão total de CO_2 no transporte inter-regional de cargas no país, bem como os impactos das ações em termos de redução da emissão de CO_2.

A Figura 1 sintetiza as etapas do método empregado no estudo.

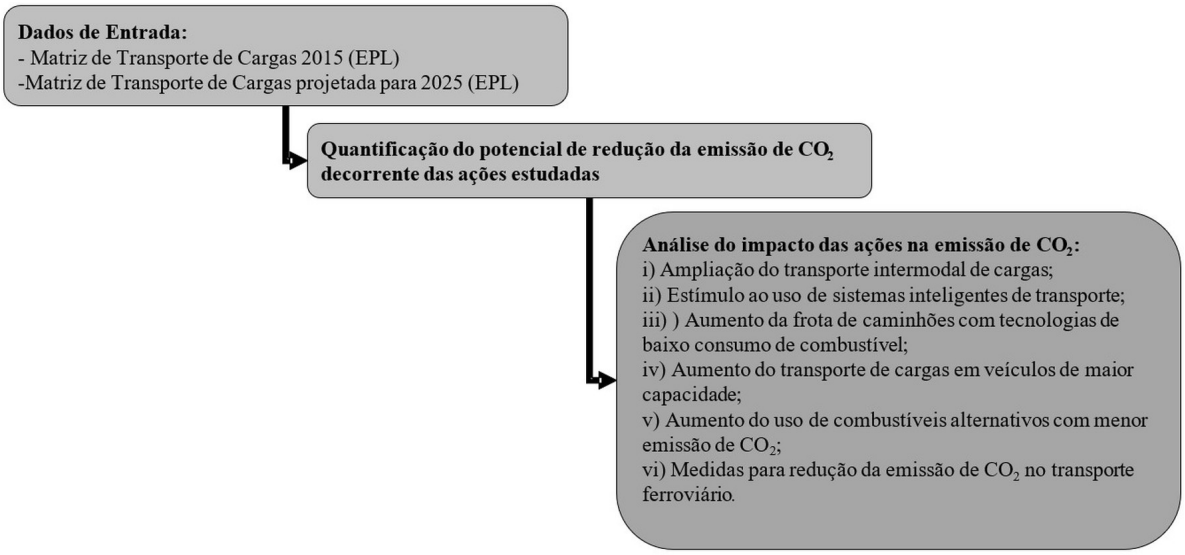


Figura 1. Esquematização das etapas do estudo.

O escopo das análises compreende os fluxos de transporte entre as zonas de oferta, que representam os locais que produzem cargas, e as zonas de demanda, que representam os locais de consumo de cargas do mercado doméstico ou as localidades que abrigam os terminais de exportação. Não fazem parte da análise os fluxos internacionais.

Conforme descrito, estima-se a emissão da matriz de transporte de cargas referente ao ano de 2015 e mensura-se o impacto das seis ações de redução das emissões de CO_2 propostas no horizonte de planejamento até 2025, de acordo com os métodos e premissas apresentados a seguir.

i) Ampliação do transporte intermodal de cargas

Para calcular o potencial de mitigação das emissões de CO_2 decorrentes de uma maior participação da intermodalidade no transporte de cargas no país, utilizou-se a carteira de projetos de infraestrutura de transporte propostos pelo Programa Avançar e previstos para entrar em operação até 2025 (EPL, 2018). Estima-se que o montante de investimento necessário na referida carteira de projetos de infraestrutura de transportes até 2025 seja de R$ 93,4 bilhões (INFRA, 2018). De forma sucinta, os projetos considerados no programa e, consequentemente, nos cálculos do potencial de mitigação são:

- Construção de 7,8 mil quilômetros e duplicação ou manutenção de 4,0 mil quilômetros de rodovias, promovendo melhorias em importantes vias rodoviárias de acesso a terminais intermodais e aos portos;
- Readequação da capacidade das ferrovias em operação e construção de três novas ferrovias planejadas: i) Ferrovia Ferrogrão – ligando Sorriso (MT) a Miritituba (PA), com 1.142 km de extensão; ii) Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL) – ligando Caetité (BA) ao Porto de Ilhéus (BA), com 537 km de extensão; e iii) tramo Sul da Ferrovia Norte-Sul (FNS) – ligando Porto Nacional (TO) a Estrela D'Oeste (SP), com 1.544 km; e
- Derrocamento do Pedral do Lourenço, viabilizando o transporte entre Marabá (PA) até Vila do Conde (PA) por meio da Hidrovia do Tocantins (560 km).

O potencial de redução da emissão total de CO_2 resultante da ampliação da intermodalidade é calculado comparando-se, então, a emissão total de CO_2 no transporte de cargas estimada nos seguintes cenários:

- Cenário 2015-MI2015: considera a quantidade total transportada em TKU em 2015 e a distribuição modal considerando a malha intermodal existente em 2015;
- Cenário 2025-MI2015: considera a quantidade total de transporte em TKU estimada para 2025 e a distribuição modal considerando a malha intermodal de 2015; e
- Cenário 2025-MI2025: considera a quantidade total de transporte em TKU estimada para 2025 e a distribuição modal considerando a malha intermodal futura, a ser implementada até 2025.

ii) Estímulo ao uso de sistemas inteligentes de transporte para aumentar a ocupação da capacidade de carga dos veículos

A quantificação do impacto dessa ação baseia-se na estimativa do potencial de redução da emissão de CO_2 proporcionado pelo aumento da taxa de ocupação média da capacidade dos veículos de transporte.

A Figura 2 ilustra os veículos típicos usados no transporte rodoviário de cargas no Brasil, categorizados de acordo com as capacidades de carga:

(a) Categoria Semipesados: caminhões de chassi, com 3 ou 4 eixos, com capacidade de carga entre 15 e 20 toneladas;

(b) Categoria Pesados: combinações veiculares com 5 ou 6 eixos, composta por cavalo-trator e implemento do tipo semirreboque, com capacidade de carga entre 25 e 35 toneladas; e

(c) Categoria Extrapesados: combinações veiculares com 7 ou 9 eixos, composta por cavalo-trator e implemento do tipo Bitrem ou Rodotrem, com capacidade de carga entre 45 e 55 toneladas.

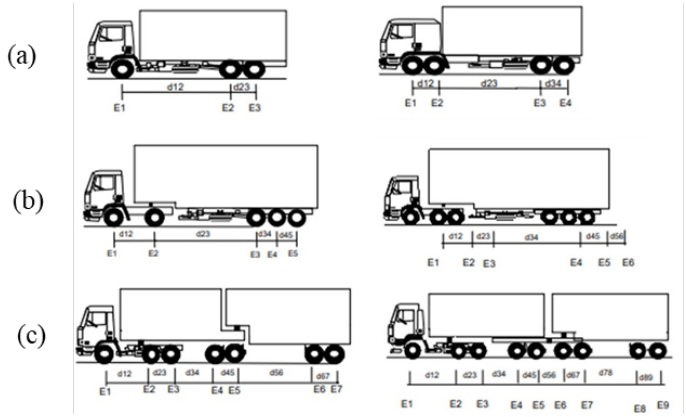


Figura 2. Veículos típicos das categorias de veículos de transporte rodoviário de cargas usados no Brasil [fonte: DNIT (2020)].

Por meio da Equação 1 calcula-se as taxas de emissão de CO_2 para diferentes níveis de ocupação média da capacidade de carga do veículo.

$$CO2_c = \frac{CD_c.E.1000}{CC_c.OM} \quad (1)$$

Onde:

$CO2_c$: Taxa de emissão de CO_2 de cada categoria de caminhão c (kg CO_2/mil TKU);

CD_c: Consumo de diesel de cada categoria de caminhão c (L/km);

E: Coeficiente de emissão de CO_2 por litro de diesel consumido (kg CO_2/L);

CC_c: Capacidade de carga de cada categoria de caminhão c (toneladas); e

OM: Ocupação média da capacidade de carga do caminhão (%).

O consumo de diesel desses veículos baseia-se em uma pesquisa de dados de consumo de combustível realizada pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG), que contou com a participação de mais de 900 transportadores respondentes no âmbito da Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas (ANTT, 2020a).

Utiliza-se como fator de emissão do diesel atualmente comercializado no Brasil, uma mistura de 88% de diesel puro com 12% de biodiesel (B12): 2,582 kg de CO_2/litro de diesel, calculado considerando-se a proporção de 12% de biodiesel puro, com fator de 2,431 kg de CO_2/litro (Brasil, 2019a), e 88% de diesel puro, com fator de 2,603 kg de CO_2/litro de diesel (Bartholomeu e Caixeta Filho, 2009).

Para a estimativa do impacto decorrente do uso de sistemas inteligentes de transporte nas emissões, foi feita uma simulação dos efeitos do aumento da ocupação do veículo nas emissões das três categorias de veículos típicos usados no transporte rodoviário inter-regional de cargas no Brasil, apresentada na Figura 3. Devido à ausência de estudos a respeito da ocupação média dos veículos de transporte rodoviário de cargas no país, para fins de quantificação do impacto dessa ação na redução da emissão de CO_2, assume-se como premissa que a implantação de um sistema inteligente de transporte resultaria em um aumento da ocupação média da capacidade de cargas dos caminhões de 55% para 60%. Considerando este aumento no nível de ocupação média dos veículos, estima-se um potencial de redução de aproximadamente 8,0% das emissões do transporte rodoviário de cargas no país.

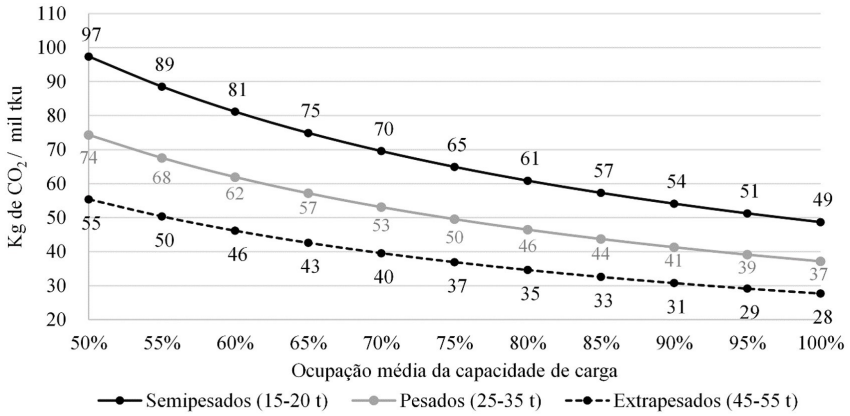


Figura 3. Emissão média de CO_2 (kg de CO_2 por mil TKU) para diferentes níveis de carregamento médio, e redução esperada na emissão de CO_2 [fonte: elaborado pelos autores].

iii) Aumento da frota de caminhões com tecnologias de baixo consumo de combustível

O país conta com uma frota de caminhões em operação de aproximadamente 1,9 milhão de caminhões com idade média de 17,9 anos (ANTT, 2020b). Com isso, a migração para uma frota mais nova e com maior nível tecnológico deve acontecer de forma gradativa e depende da taxa de substituição de frota que o mercado conseguiria alcançar e do ritmo de desenvolvimento das tecnologias. Para estimar o potencial de redução das emissões neste caso, considerou-se uma melhora na performance energética dos caminhões na ordem de 30%, tendo como referência o estudo realizado pela Ricardo Energy & Environment (2017), linearmente distribuída dentro de um período de dez anos, e dois cenários de renovação da frota de caminhões (Figura 4):

- Cenário otimista (CO), com taxa de renovação da frota de 20% ao ano (taxa de aquisição observada entre 2010 e 2015, quando houve um pico das vendas de caminhões novos devido aos financiamentos com juros subsidiados (FINEP, 2009; ANFAVEA, 2020);
- Cenário conservador (CC), com taxa de renovação da frota de 15% ao ano.

Adotando-se como referência a projeção conservadora (CC), estima-se uma redução de aproximadamente 7% na emissão de CO_2 do transporte rodoviário de cargas até 2025.

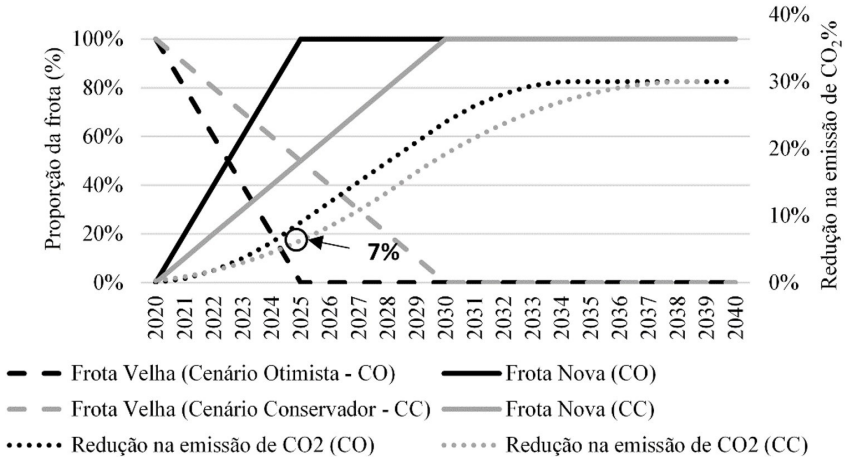


Figura 4. Estimativa da redução na emissão de CO_2 ocasionada pela renovação de frota de caminhões com pacotes tecnológicos voltados para redução do consumo de combustível [fonte: elaborado pelos autores].

iv)Aumento do transporte de cargas em veículos de maior capacidade

Outra ação com potencial de mitigar a emissão de CO_2 é aumentar o uso de caminhões de maior capacidade em rotas mais longas. Para ilustrar a vantagem desta ação, a Tabela 1 apresenta a estimativa da emissão de CO_2 por tonelada quilômetro útil de transporte produzido (TKU) adotada nesse estudo.

Tabela 1. Consumo de diesel e emissão de CO_2 de veículos de transporte rodoviário de cada categoria de capacidade de carga, com taxa de ocupação média de 55%

Categoria de veículos	Consumo de Diesel	Capacidade de carga	Emissão de CO_2
(caminhões)	litro/km	t	kg CO_2/mil TKU
Semipesados	0,33	15-20	81
Pesados	0,43	25-35	62
Extrapesados	0,53	45-55	46

Fonte: resultados com base no consumo de diesel divulgado pela ANTT (2020a) e fator de emissão de 2,603 kg CO_2/litro de diesel.

A Figura 5 apresenta a simulação do potencial de redução de CO_2 à medida que aumenta a participação de veículos extrapesados no transporte de cargas. Para mensurar a redução na emissão de CO_2 decorrente dessa ação em 2025, adota-se como referência o ganho obtido adotando-se como premissa um aumento da participação de veículos extrapesados (45-55 t) de 40% para 60%, e uma redução da participação de veículos pesados (30-35 t) de 60% para 40%, no transporte de cargas. Essa ação apresenta um potencial de redução de emissão de CO_2 de aproximadamente 7%.

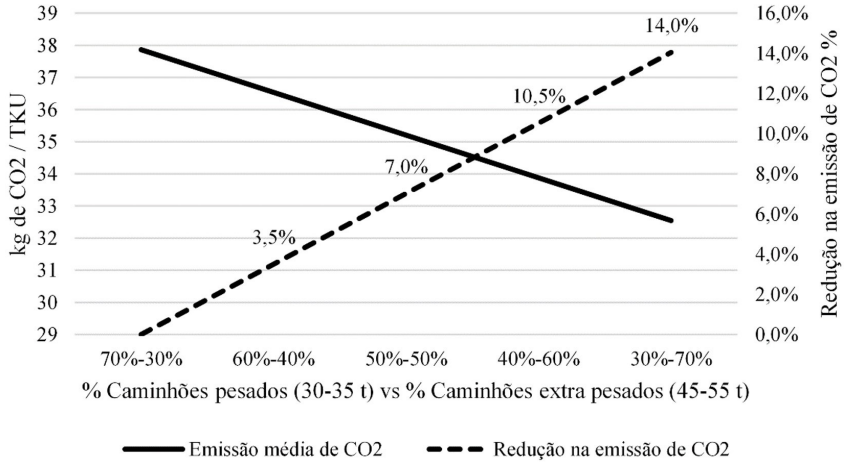


Figura 5. Emissão média e potencial de redução de CO_2 devido ao aumento da participação da frota de caminhões extrapesados (45-55 t) no transporte e redução na participação de caminhões pesados (35-45 t) [fonte: elaborado pelos autores].

v) Aumento do uso de combustíveis alternativos com menor emissão de CO_2

O Biometano foi o biocombustível considerado como substituto do Diesel, por duas razões: a) o país já possui tecnologia para produção em larga escala de caminhões movidos à biometano, e apresenta grande potencial para expansão da produção no país (Costa, 2020); b) esse biocombustível apresenta expressivo potencial de mitigação das emissões de CO_2 em comparação ao diesel. A comparação da emissão de CO_2 desses combustíveis,

considerando as emissões de todas as operações da cadeia de suprimentos necessárias para disponibilizá-los para consumo final (abordagem Well to Wheel), indica que o biogás pode reduzir as emissões em 41% frente ao diesel. A análise foi baseada no consumo dos veículos do mercado europeu e em dados de EC (2014), Ricardo Energy & Environment (2016).

Tendo em vista que o aumento do uso do biogás depende da substituição da frota, a Figura 6 apresenta uma simulação do potencial de redução de CO_2, considerando que 30% dos veículos de transporte produzidos nos próximos anos poderão ser abastecidos com biogás, e que a taxa de substituição da frota antiga por novos veículos será de 20% no cenário otimista (CO) e 15% no cenário conservador (CC). Adotando-se como referência o cenário conservador, estima-se que em 2025 a ampliação da frota de caminhões movida a biogás proporcionaria um potencial de redução na emissão de CO_2 de aproximadamente 6,0%.

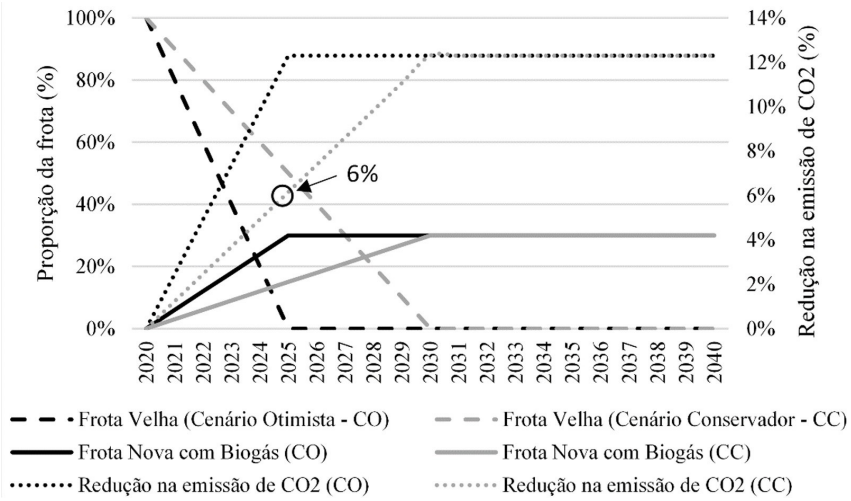


Figura 6. Redução na emissão de CO_2 decorrente da ampliação da frota de veículos abastecidos com biogás, considerando uma taxa de substituição da frota de 20% (cenário otimista) e de 15% (cenário conservador), e que 30% dos veículos novos serão movidos a biogás. Considera-se que a emissão líquida de CO_2 do Biogás seja 41% menor do que a emissão do diesel (Ricardo Energy & Environment, 2016) [fonte: elaborado pelos autores].

vi) Medidas para redução da emissão de CO_2 no transporte ferroviário

Para fins de análise do impacto desse tipo de ação no Brasil, considera-se como referência a meta de 6% de redução de CO_2 até 2025, equivalente a meta estabelecida pelo programa "Railenergy, proposta pelos operadores ferroviários europeus (Railenergy, 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Iniciando a análise dos resultados a partir do impacto decorrente da ampliação da intermodalidade, a Tabela 2 apresenta a emissão de CO_2 do transporte de cargas no país, estimada por modo de transporte, considerando os três cenários de análise. Verifica-se que as alterações na rede intermodal de transportes propostas pelo PNL tendem a ocasionar grandes mudanças na distribuição modal, principalmente, uma expressiva migração de fluxos de carga do modo rodoviário para o modo ferroviário, revelando grande potencial de redução da emissão de GEE no transporte de cargas.

Tabela 2. Distribuição dos fluxos entre os modos de transporte, quantidades de transporte (toneladas quilômetro útil - TKU) e emissão anual de CO_2 observados em cada cenário de análise

	Cenário 2015-MI2015			Cenário 2025-MI2015			Cenário 2025-MI2025		
	PM[1]	TKU	CO_2*	PM[1]	TKU	CO_2*	PM[1]	TKU	CO_2*
	%	Bilhões	Milhões t	%	Bilhões	Milhões t	%	Bilhões	Milhões t
Rodoviário	64,9	1.548,0	87,8	64,9	1.891,7	107,3	50,2	1.462,9	83,0
Ferroviário	15,0	356,8	1,8	15,0	436,0	2,2	30,7	896,1	4,5
Aquaviário	15,7	375,2	0,9	15,7	458,5	1,1	15,4	449,4	1,1
Dutoviário	4,4	106,1	0,0	4,4	129,7	0,1	3,7	107,5	0,0
Total	100,0	2.386,1	90,5	100,0	2.915,9	110,6	100,0	2.915,9	88,6

[1]PM: participação percentual de cada modo na matriz de transporte de cargas.
*Considera-se os coeficientes de emissão de CO_2 (kg/mil TKU) de cada modo de transporte apresentados no Plano Nacional de Logística - PNL (EPL, 2018).
Fonte: elaborado pelos autores com base em EPL (2018).

Observa-se que, caso a carteira de projetos de infraestrutura propostos para ampliação da rede intermodal não seja implementada até 2025, a emissão total de CO_2 do setor de transportes de carga deve saltar de 90,5 para 110,6 milhões de toneladas, revelando um acréscimo de 20 milhões de toneladas de CO_2 na emissão anual (aumento de 33%). Por outro lado, a implantação dos projetos de infraestrutura planejados permitiria que uma maior quantidade de carga seja transportada no futuro (acréscimo de 22% no TKU em 2025 se comparado a 2015), e ainda assim uma menor emissão total de CO_2 seja observada (estima-se uma redução de 2% nas emissões em 2025 frente as de 2015).

Por outro lado, a ampliação do transporte intermodal deve evitar, em 2025, a emissão de aproximadamente 22 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera decorrente das operações de transporte de cargas no país em relação ao cenário no qual não sejam realizados os investimentos previstos na malha intermodal. Este volume mitigado representa, portanto, um potencial de redução de 20% na emissão de gás carbônico.

A seguir, são descritos os efeitos individuais decorrentes da implementação de cada ação. Para tanto, são comparadas as emissões de CO_2 estimadas da matriz de transporte de cargas do Brasil em 2025 após a implementação da ação em análise, com as emissões estimadas para este mesmo ano, caso a ação não seja implementada (ou seja, o Cenário 2025-MI2015 é a linha de base). A Tabela 3 sintetiza os resultados alcançados para as seis ações analisadas. De fato, a ação que apresenta maior potencial para mitigação das emissões está relacionada à ampliação do transporte intermodal de cargas, seguida pelas ações que estimulam o uso de sistemas inteligentes de transporte.

Tabela 3. Efeito individual das ações na redução na emissão de CO_2 da matriz de transporte de cargas em relação ao Cenário 2025-MI2015

	Redução na emissão de CO_2	
Ações	milhões de t	(%)
1) Ampliação do transporte intermodal de cargas	22,0	19,9%
2) Estímulo ao uso de sistemas inteligentes de transporte	8,6	8,0%
3) Aumento da frota de caminhões com tecnologias de baixo consumo de combustível	7,5	6,8%
4) Aumento do transporte de cargas em veículos de maior capacidade	7,5	6,8%
5) Aumento do uso de combustíveis alternativos com menor emissão de CO_2	6,4	5,8%
6) Medidas para redução da emissão de CO_2 no transporte ferroviário	0,1	0,1%

Fonte: resultados do estudo.

A Tabela 4 apresenta as emissões de CO_2 da matriz de transporte de cargas do Brasil projetadas para 2025 tanto no Cenário 2025-MI2015 (cenário base), quanto com a inclusão das diferentes ações. Note-se que, se implementadas integralmente, todas as ações podem proporcionar um impacto total de quase 39% na emissão de CO_2 do transporte de cargas no país, o que representa uma emissão evitada de aproximadamente 43 milhões de toneladas de CO_2 em 2025.

Tabela 4. Emissão de CO_2 da matriz de transporte de cargas projetada para 2025 (Cenário 2025-MI2015) e após a implementação das ações, e redução acumulada na emissão de CO_2

Emissão de CO_2 (milhões de t)							
Modalidade de Transporte	**2025-MI2015**	**Ação 1**	**Ação 2**	**Ação 3**	**Ação 4**	**Ação 5**	**Ação 6**
Rodoviário	107,29	82,97	76,34	70,99	66,02	62,06	62,06
Ferroviário	2,19	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,23
Aquaviário	1,10	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Dutoviário	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Total do Transporte de Cargas	110,6	88,6	82,0	76,6	71,6	67,7	67,4
Redução acumulada de CO_2 (%) em relação ao cenário 2025-MM2015	--	19,9%	25,9%	30,8%	35,2%	38,8%	39,1%

Fonte: resultados do estudo.

A Figura 7 apresenta a emissão média (expressa em kg de CO_2 por mil TKU) projetada para 2025 tanto no Cenário base (2025-MI2015) quanto para o acumulado das ações implementadas, bem como a respectiva redução percentual acumulada das ações.

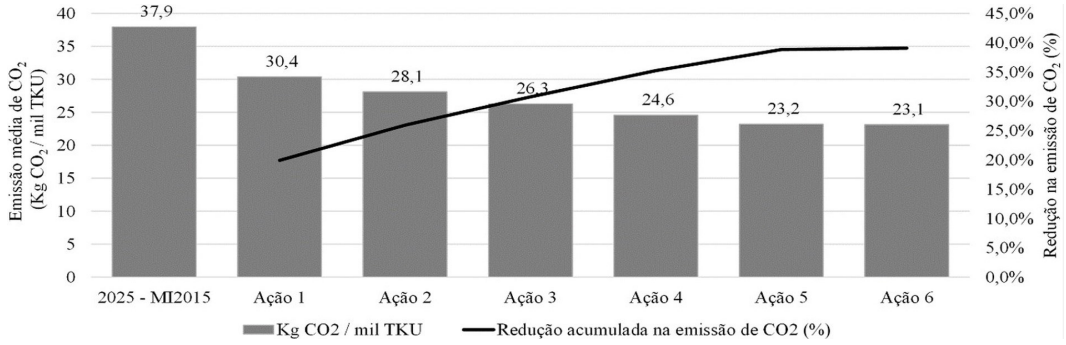


Figura 7. Emissão média de CO_2 no transporte de cargas (kg CO_2/mil TKU) projetada no Cenário 2025-MI2015 e após a implementação das ações, e redução acumulada na emissão de CO_2 (%) [fonte: resultados do estudo].

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo analisou o potencial de mitigação das emissões de CO_2 no transporte de cargas decorrente da implementação de seis possíveis ações (ampliação do transporte intermodal de cargas; estímulo ao uso de sistemas inteligentes de transporte; aumento da frota de caminhões com tecnologias de baixo consumo de combustível; aumento do transporte de cargas em veículos de maior capacidade; aumento do uso de combustíveis alternativos com menor emissão de CO_2; e medidas para redução da emissão de CO_2 no transporte ferroviário).

A ação com maior potencial de mitigação diz respeito ampliação do transporte intermodal de cargas, por meio das obras propostas no PNL. Neste sentido, esta ação deve evitar a emissão de 22 milhões de t de CO_2 em 2025, o que representa um abatimento de

19,9%. Na sequência, o estímulo ao uso de sistemas inteligentes de transporte deve evitar 8,9 milhões de t de CO_2 na atmosfera em 2025, ou seja, um potencial de abatimento de 8,0%.

Nota-se que o conjunto de ações recomendadas pelo estudo apresenta expressivo potencial para redução da emissão de CO_2 no transporte de cargas brasileiro. Se todas as ações analisadas forem implementadas de maneira conjunta, há um potencial de redução de aproximadamente 39% da emissão total de gás carbônico estimada para 2025. Isto significa uma emissão anual evitada de 43 milhões de toneladas de CO_2, e uma matriz de transporte menos carbono-intensiva, com a emissão média reduzida de 37,9 kg de CO_2/mil TKU em 2015 para 23,1 kg de CO_2/mil TKU em 2025.

Cabe destacar, no entanto, que não foi objeto deste estudo a análise dos custos das ações, mas sim, a ênfase no potencial de mitigação. Particularmente no caso da ação 1, são previstos, de acordo com o Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2020), investimentos necessários da ordem de R$ 93,4 bilhões. Estudo desenvolvido por Branco et al. (2022) demonstra que os principais projetos de aumento da malha ferroviária compreendendo a Ferrovia Ferrogrão, Ferrovia Norte-Sul e Ferrovia de Integração Oeste-Leste apresentam indicadores de retorno econômico bastante atrativos, estimulando a participação do capital privado. No caso das demais ações propostas nesse estudo, contudo, verifica-se uma escassez de informações a respeito dos custos de investimento. Sugere-se, portanto, que trabalhos futuros desenvolvam tal abordagem econômica visando complementar os resultados do presente estudo. De qualquer maneira, acredita-se que as ações devam ser estimuladas pelo órgão público, através do delineamento de um ambiente regulatório e jurídico que atraiam a iniciativa privada, mas que, dadas as características das ações e os impactos que devem gerar, os investimentos para a implementação de tais ações sejam realizados predominantemente por meio da iniciativa privada.

As ações indicadas pelo estudo, além de proporcionar expressiva redução na emissão de gás carbônico, estão associadas a ganhos significativos de eficiência energética, permitindo reduzir significativamente o consumo de diesel, insumo que mais onera os custos de transporte de cargas no país. Dessa forma, espera-se que essas ações exerçam também grande impacto na redução dos custos de transporte. Considerando que tais ações podem promover ganhos econômicos importantes para os agentes envolvidos no transporte de cargas, espera-se que os investimentos necessários para a implementação de tais ações sejam atrativos ao capital privado. Ao Governo caberia principalmente o papel de fomentar e coordenar estas ações de modo a efetivamente tirá-las do papel e torná-las realidade, por meio de inciativas como: i) avanço das concessões das principais ferrovias planejadas; ii) criação de políticas voltadas ao desenvolvimento tecnológico dos caminhões, estabelecendo metas de redução do uso de combustíveis fósseis; iii) estabelecimento de campanhas para implantação de sistemas inteligentes de transporte em nível nacional visando aumentar a taxa de ocupação média da capacidade dos veículos de transporte; iv) lançamento de um programa para aumentar a oferta de biogás no país e seu uso no transporte de cargas; e v) estabelecimento de metas de redução da emissão de CO_2 nas ferrovias.

É importante destacar que o presente estudo teve como escopo o transporte de cargas em território nacional, das regiões de produção até as regiões de consumo do mercado doméstico ou até os portos, contudo, não considerou o transporte marítimo de longo

curso entre os terminais de exportação e os terminais portuários dos países importadores. Dessa forma, sugere-se que trabalhos futuros considerem uma modelagem que permita avaliar o impacto de ações considerando toda a logística de cargas do país, incluindo os fluxos internacionais, e inclua ações para reduzir a emissão de CO_2 no transporte aquaviário de longo curso. Além disso, recomenda-se que a modelagem quantifique também os ganhos econômicos gerados pelas ações de redução de CO_2, tendo em vista que é uma informação importante para avaliar a viabilidade de investimentos privados nas ações, e para priorizar os recursos necessários para a implementação destas.

Finalmente, ressalta-se que o pacote de ações propostas nesse estudo tem como horizonte de planejamento o ano 2025, ano considerado como referência para os cálculos. As obras e ações podem não necessariamente ser concluídas neste período, existindo uma série de riscos de atraso na implantação. Contudo, isso não prejudica a análise a respeito do potencial das ações, dado que o ano de comparação foi o mesmo para todas as análises realizadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Processos nº 2018/24353-3 e 2018/20436-1. Também agradecem o apoio do Belmont Forum pelo financiamento desses projetos em parceria com a FAPESP.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2020a) Política Nacional de Pisos Mínimos de Frete. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/politica-nacional-de-pisos-minimos-de-frete> (acesso em 08/04/2023).

Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2020b) RNTRC em Números. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/rntrc-1/rntrc-em-numeros> (acesso em 08/04/2023).

Associação Brasileira de Biogás – ABIOGÁS (2023) Potencial de Biogás no Brasil. Disponível em: <https://abiogas.org.br/potencial-do-biogas-no-brasil> (acesso em 08/04/2023).

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2020) *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira*. São Paulo: ANFAVEA. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario2020/anuario.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Bartholomeu, D.B. e J.V. Caixeta Filho (2009) Quantification of the environmental impacts of road conditions in Brazil. *Ecological Economics*, v. 68, n. 6, p. 1778-1786. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.11.009.

Bartholomeu, D.B.; T.G. Péra e J.V. Caixeta-Filho (2016) Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO_2 no transporte rodoviário de cargas. *Journal of Transport Literature*, v. 10, n. 3, p. 15-19. DOI: 10.1590/2238-1031.jtl.v10n3a3.

Black, W.R. (1996) Sustainable transportation: a US perspective. *Journal of Transport Geography*, v. 4, n. 3, p. 151-159. DOI: 10.1016/0966-6923(96)00020-8.

Branco, J.E.H.; D.B. Bartholomeu; P.N. Alves Jr. et al. (2022) Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the brazilian's transportation network: an application of a network equilibrium model. *Transport Policy*, v. 124, p. 61-9. DOI: 10.1016/j.tranpol.2020.03.011.

Branco, J.E.H.; J.V. Caixeta-Filho; A.H. Gameiro et al. (2011) Otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor centro-norte: o que pensam as empresas e instituições envolvidas? *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*, v. 6, n. 12, p. 143-159.

Brasil, Ministério da Agricultura e Pecuária (2019a) Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mda/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb> (acesso em 08/04/2023).

Brasil, Ministério da Infraestrutura (2020) Política de Concessões: Rio, Terra, Céu e Mar. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/concessoes/projetos> (acesso em 08/04/2023).

Brasil, Ministério da Infraestrutura, Empresa de Planejamento e Logística – EPL (2019b) *Diagnóstico Logístico – 2010-2018*. Brasília: EPL. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes/diagnostico-

logistico/#:~:text=Diagn%C3%B3stico%20Log%C3%ADstico%20%E2%80%93%202010%20a%202018&text=Esta%20consolida%C3%A7%C3%A3o%20propicia%20condi%C3%A7%C3%B5es%20de,temporal%20de%202010%20%C3%A0%202018> (acesso em 08/04/2023).

Canada (2019) Transportation 2030: Green and Innovative Transportation. Disponível em: <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/transportation-2030-green-innovative-transportation> (acesso em 08/04/2023).

Chang, Q. e R. Qin (2009) Analysis on development path of Tianjin green logistics. *International Journal of Business and Management*, v. 3, n. 9, p. 96-98. DOI: 10.5539/ijbm.v3n9p96.

Confederação Nacional do Transporte – CNT (2018) *Boletim Estatístico CNT*. Brasília: CNT.

Confederação Nacional do Transporte – CNT (2020) Anuáro CNT do Transporte 2020: Estatísticas Consolidadas. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Anuarios> (acesso em 08/04/2023).

Costa, D. (2020) Gás: nova porta se abre ao transporte de carga., *Estadão*, 27 de abril de 2020. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/gas-nova-porta-se-abre-ao-transporte-de-carga/> (acesso em 08/04/2023).

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2020) *Quadro de Fabricanes de Veículos*. Brasília: DNIT. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/pesagem/copy2_of_QFV2021OUTUBRO.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Empresa de Planejamento e Logística – EPL (2018) Plano Nacional de Logística e Transportes - PNL 2025. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-2025> (acesso em 08/04/2023).

Energia Hoje (2020) Geração de Biogás Cresceu 36% em 2019. Disponível em: <https://energiahoje.editorabrasilenergia.com.br/geracao-de-biogas-cresceu-36-em-2019/> (acesso em 08/04/2023).

European Automobile Manufacturers Association – ACEA (2019) *High Capacity Transport: Smarter Policies for Smart Transport Solutions*. Bruxelas: ACEA. Disponível em: <https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Paper-High_Capacity_Transport.pdf> (acesso em 08/04/2023).

European Comission – EC (2011) White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/roadmap-to-a-single-european> (acesso em 08/04/2023).

European Comission – EC (2014) Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1cffb832-f2bc-42df-9dc2-59db08e24eee/language-en> (acesso em 08/04/2023).

Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP (2009) PSI - Programa de Sustentação do Investimento. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/afinep/213-fontes-de-recurso/outras-fontes/psi-programa-de-sustentacao-do-investimento/38-psi-programa-de-sustentacao-do-investimento> (acesso em 08/04/2023).

INFRA (2018) Futuro Ministro Recebe Lista com 103 Projetos de Transportes de R$ 93 bi em Investimentos. Disponível em: <https://www.agenciainfra.com/blog/futuro-ministro-recebe-lista-com-103-projetos-de-transportes-de-r-93-bi-em-investimenos/> (acesso em 08/04/2023).

International Railway Association – UIC (2015) *Rail Transport and Envoironment - Facts & Figures*. Paris: UIC. Disponível em: <https://uic.org/IMG/pdf/facts_and_figures_2014_v1.0-2.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Liimatainen, H.; O. van Vliet e D. Aplyn (2019) The potential of electric trucks – an international commodity-level analysis. *Applied Energy*, v. 236, p. 804-814. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.12.017.

Macharis, C.; S. Melo; J. Woxenius et al. (2014) *Sustainable Logistics*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited. DOI: 10.1108/S2044-994120140000006022.

McKinnon, A.; S. Cullinane; M. Browne et al. (2010) *Green Logistics. Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. Londres: Kogan Page. Disponível em: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/LOGISTIK/document%20(9).pdf> (acesso em 08/04/2023).

Mehra, S. e S. Verma (2016) *Smart Transportation - Transforming Indian Cities: Transportation Sector Reforms and Developments in India*. Nova Déli: Grant Thornton. Disponível em: <https://www.grantthornton.in/globalassets/1.-member-firms/india/assets/pdfs/smart-transportation-report.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Péra, T.G.; D.B. Bartholomeu; C.T. Su et al. (2019) Evaluation of green transport corridors of Brazilian soybean exports to China. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n. 3, p. 398-412. DOI: 10.14488/BJOPM.2019.v16.n3.a4.

Railenergy (2020) Project Targets. Disponível em: <http://www.railenergy.org/targets.shtml> (acesso em 08/04/2023).

Ramos, A. (2019) Caminhões elétricos cada vez mais reais., *Estadão*, 28 de novembro de 2019. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/caminhao-eletrico-cada-vez-mais-reais/> (acesso em 08/04/2023).

Retzer, S. (2019) *China Transport Policy Briefing: The Monthly Update of GIZ in China*. Pequim: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Disponível em: <https://transition-china.org/wp-content/uploads/2021/02/2018_06_PolicyBriefing.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Ricardo Energy & Environment (2016) *The Role of Natural Gas and Biomethane in the Transport Sector*. Shoreham-by-Sea: Ricardo Energy & Environment. Disponível em: <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2016_02_TE_Natural_Gas_Biomethane_Study_FINAL.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Ricardo Energy & Environment (2017) *Heavy Duty Vehicles Technology Potential and Cost Study*. Shoreham-by-Sea: Ricardo Energy & Environment. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/HDV-Technology-Potential-and-Cost-Study_Ricardo_Consultant-Report_26052017_vF.pdf> (acesso em 08/04/2023).

Russia, Russian Ministry of Transport (2014) On Approving a New Version of the Transport Strategy of the Russian Federation up to 2030. Disponível em: <http://government.ru/en/dep_news/13191/> (acesso em 08/04/2023).

Transport & Environment (2017) Truck Fuel Consumption Could Be Cut by One Third in 10 Years - Research. Disponível em: <https://www.transportenvironment.org/discover/truck-fuel-consumption-could-be-cut-one-third-10-years-research/#:~:text=May%2029%2C%202017-,Truck%20fuel%20consumption%20could%20be%20cut%20by%20one%20third%20in,%2C%20a%20consultancy%2C%20has%20found.> (acesso em 08/04/2023).

Transport Policy Net (2019) Regions China. Disponível em: <https://www.transportpolicy.net/region/asia/china/> (acesso em 08/04/2023).

Trofimenko, Y.; V. Komkov e V. Donchenko (2018) Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, v. 177, p. 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012014.

United Nations University – UNU (2015) This 100 Percent Electric Eighteen-Wheeler Just Hit the Road in Germany. Disponível em: <https://ourworld.unu.edu/en/this-100-percent-electric-eighteen-wheeler-just-hit-the-road-in-germany> (acesso em 08/04/2023).

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (2019) Unicamp, Nissan e o Carro Movido com Eletricidade Gerada por Etanol. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2019/04/26/unicamp-nissan-e-o-carro-movido-com-eletricidade-gerada-por-etanol> (acesso em 08/04/2023).

Zhao, P.; J. Liu e L. He (2009) Study on the development of modern green logistics in China. In Wang, B. e Q. Luo (eds.) *2009 International Conference on Innovation Management*. Nova York: IEEE, p. 43-46. DOI: 10.1109/ICIM.2009.17.

Zhou, J. (2012) Sustainable transportation in the US: a review of proposals, policies, and programs since 2000. *Frontiers of Architectural Research*, v. 1, n. 2, p. 150-165. DOI: 10.1016/j.foar.2012.02.012.

Zubedi, A.; Z. Jianqiu; Q.A. Arain et al. (2018) Sustaining low-carbon emission development: an energy efficient transportation plan for CPEC. *Journal of Information Processing Systems*, v. 14, n. 2, p. 322-45.