

IBTS

INSTITUTO BRASILEIRO
DE TRANSPORTE
SUSTENTÁVEL

TRANSPORTES NO BRASIL

Panorama e Cenários Prospectivos
para atendimento da Contribuição
Nacionalmente Determinada



TRANSPORTES NO BRASIL

**Panorama e Cenários Prospectivos
para atendimento da Contribuição
Nacionalmente Determinada**

RELATÓRIO DE REFERÊNCIA

AUTORES

Daniel Neves Schmitz Gonçalves

George Vasconcelos Goes

Marcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro, 2019

1ª Edição

INSTITUTO BRASILEIRO DE TRANSPORTE SUSTENTÁVEL - IBTS

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93743-08-5



AGRADECIMENTOS

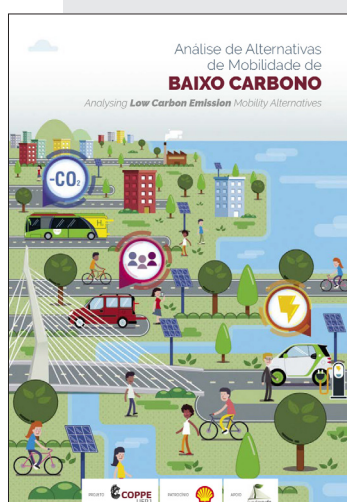
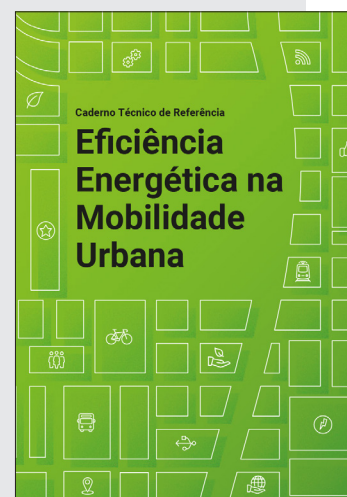
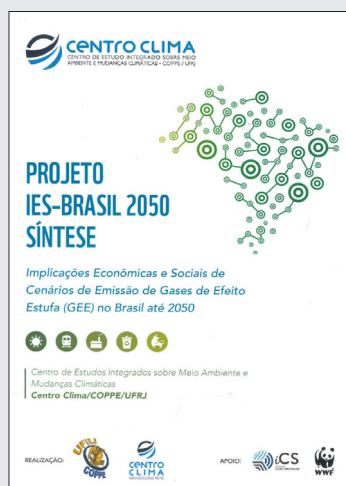
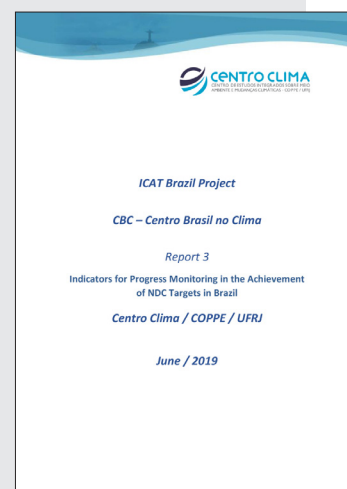
Os autores agradecem aos revisores internos e externos e as instituições que colaboraram com dados setoriais para o aprimoramento metodológico do modelo, especialmente ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

Ademais, as instituições listadas na Tabela A contribuíram para produtos específicos deste estudo, como: (i) função de sucateamento para veículos automotores rodoviários; (ii) rendimento energético da categoria caminhões; (iii) intensidade de uso e rendimento energético da categoria ônibus; e (iv) validação do método e de premissas.

TABELA A. Lista de instituições que contribuíram com o estudo

PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES	SIGLA
Agência Nacional de Aviação Civil	ANAC
Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	ANP
Agência Nacional de Transportes Terrestres	ANTT
Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia	COPPE
Banco Nacional do Desenvolvimento	BNDES
Companhia Ambiental do Estado de São Paulo	CETESB
Empresa de Pesquisa Energética	EPE
Financiadora de Estudos e Projetos	FINEP
<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>	GIZ
<i>Greenpeace</i>	
Instituto Estadual do Ambiente	INEA
Secretaria de Mobilidade Urbana do Ministério do Desenvolvimento Regional	Semob - MDR
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações	MCTIC
Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte	SEST SENAT
Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores	SINDIPEÇAS
Superintendência de Seguros Privados	SUSEP
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS
<i>World Wide Fund for Nature</i>	WWF

TRABALHOS RECENTES NO TEMA



SUMÁRIO EXECUTIVO

Este relatório apresenta as estimativas das emissões antrópicas associadas ao subsetor transportes para: (i) linha de base, considerando o intervalo de 1990 a 2018; e (ii) cenários prospectivos até o ano de 2030.

Apresenta inovações metodológicas quanto à quantidade de modos de transporte modelados, à função de sucateamento dos veículos automotores do modo rodoviário e ao rendimento energético da categoria caminhões.

As premissas consideradas para o desenvolvimento dos cenários de uso de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE) consideram a abordagem ASI (*Avoid, Shift, Improve*), no intuito de abranger um amplo conjunto de políticas e tendências de mercado.

A Tabela B sintetiza as emissões do setor de transportes brasileiro, por modo de transporte. O cenário NDC+ é o único que apresenta reduções em relação ao ano-base (2017).

TABELA B. Emissões de CO_{2e} do setor de transportes (Gg)

ANO	BAU					NDC					NDC+				
	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total
2005	127	3	8	4	141	127	3	8	4	141	127	3	8	4	141
2010	156	3	10	5	173	156	3	10	5	173	156	3	10	5	173
2015	186	3	11	4	204	186	3	11	4	204	186	3	11	4	204
2018	182	3	10	3	199	182	3	10	3	199	182	3	10	3	199
2020	184	3	12	4	203	184	3	12	4	203	184	3	12	4	203
2025	201	4	13	4	222	184	4	12	5	205	166	4	12	5	188
2030	223	4	14	5	246	184	4	13	5	207	144	4	13	6	167

Fonte: Elaborado pelos autores

ÍNDICE

1. Introdução.....	12
2. Narrativa	12
3. Método – estimativas para uso de energia e emissões	13
Fonte de dados.....	16
Protocolos de cálculo.....	18
4. Linha de base	20
Transporte rodoviário	20
Transporte aéreo	25
Transporte aquático	28
Transporte ferroviário	31
5. Cenários NDC 2030.....	34
Premissas	34
Resultados	37
6. Conclusões e implicações políticas	40
Referências	41
Apêndice A – Revisão da função de sucateamento de veículos	43
Apêndice B – Revisão do rendimento energético da categoria caminhões.....	45
Apêndice C – Revisão do rendimento energético, intensidade de uso e distribuição por categoria ônibus.....	49
Apêndice D – Estimativa das emissões do setor de transportes	51
Apêndice E – Workshops conduzidos	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Método para estimar a linha de base e projetar consumo de energia e emissões de GEE em transportes.	15
FIGURA 2. Atividade de transporte de passageiros – Histórico	20
FIGURA 3. Atividade de transporte de carga – Histórico.....	21
TABELA 5. Estimativa da frota circulante nacional – Histórico	21
FIGURA 4. Frota circulante – Histórico.....	22
FIGURA 5. Consumo energético estimado para o transporte rodoviário (10 ³ tep) – Histórico	22
FIGURA 6. Participação relativa de fontes energéticas – Histórico	23
FIGURA 7. Emissões de CO _{2e} por categoria de veículos – Histórico.....	24
FIGURA 8. Emissões de CO _{2e} do transporte rodoviário – Histórico	24
FIGURA 9. Atividade de transporte de passageiros – Histórico	25
FIGURA 10. Atividade de transporte de carga – Histórico.....	26
FIGURA 11. Consumo energético por tipo de combustível do transporte aéreo – Histórico	26
FIGURA 12. Consumo energético por tipo de atividade do transporte aéreo – Histórico	27
FIGURA 13. Estimativa das emissões de CO _{2e} do transporte aéreo – Histórico.....	27
FIGURA 14. Atividade de transporte de passageiro – Histórico.....	28
FIGURA 15. Atividade de transporte de navegação interior – Histórico	29
FIGURA 16. Atividade de transporte de cabotagem – Histórico	29
FIGURA 17. Consumo energético estimado do transporte aquático – Histórico.....	30
FIGURA 18. Emissões de CO _{2e}	30
FIGURA 19. Evolução da atividade de transporte ferroviário de carga – Histórico.....	31
FIGURA 20. Evolução da atividade de transporte ferroviário de passageiro – Histórico	32
FIGURA 21. Consumo energético estimado do transporte ferroviário por fonte – Histórico.....	32
FIGURA 22. Estimativa das emissões de CO _{2e} do transporte ferroviário – Histórico.....	33
FIGURA 23. Emissões de CO _{2e} do setor de transportes – cenários prospectivos	38
FIGURA 24. Procedimento para revisão dos coeficientes de rendimento energético	46
FIGURA 25. Frota circulante da categoria ônibus entre os dois estudos analisados	49
FIGURA 26. IV <i>Workshop</i> Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes	54

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. Dados de entrada do modelo.....	17
TABELA 2. Equações para cálculo da atividade de transporte.....	18
TABELA 3. Estimativa da frota circulante	19
TABELA 4. Cálculo do consumo energético.....	19
TABELA 5. Estimativa da frota circulante nacional – Histórico	21
FIGURA 4. Frota circulante – Histórico.....	22
TABELA 6. Consumo energético estimado para o transporte rodoviário (10^3 tep) – Histórico.....	23
TABELA 7. Escopo e premissas para o setor de transportes.....	35
TABELA 8. Uso de energia desagregado por modo de transporte (10^6 tep)	37
TABELA 9. Emissões de CO ₂ e (em Mt) do setor de transportes.....	38
TABELA 10. Atividade do setor de transportes – passageiros e carga	39
TABELA 11. Funções de sucateamento – transporte rodoviário	44
TABELA 12. Coeficientes ajustados – categorias.....	44
TABELA 13. Coeficientes ajustados para motocicletas.....	45
TABELA 14. Rendimento energético de referência	45
TABELA 15. Estimativa da lotação média de cada estudo.....	47
TABELA 16. Evolução do rendimento energético dos caminhões por tipo (km/l)	48
TABELA 17. Rendimento energético ajustado para a categoria ônibus.....	50
Tabela 18. Nova intensidade de uso de referência para a categoria ônibus.....	50
TABELA 19. Emissões por cenário e modo (em Gg CO ₂ e)	51
TABELA 20. Eventos realizados	53
TABELA 21. Histórico de instituições participantes na série de eventos WCPUET	53

SIGLAS

CH ₄	Metano	ICS	Instituto Clima e Sociedade
CNT	Confederação Nacional dos Transportes	IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência internacional de energia)
CO	Monóxido de carbono	IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima)
CO ₂	Dióxido de Carbono	MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação
CO _{2e}	Dióxido de Carbono Equivalente	MP	Material Particulado
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia	N ₂ O	Óxido nitroso
DPVAT	Seguro Obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres	NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Contribuições Nacionalmente Determinadas)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	NO _x	Óxidos de Nitrogênio
FBMC	Fórum Brasileiro de Mudança do Clima	NM _{VOC}	Compostos orgânicos não voláteis
GEE	Gases de Efeito Estufa	ONU	Organização das Nações Unidas.
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global)	PIB	Produto Interno Bruto
GTP	<i>Global Temperature Potential</i> (Potencial de temperatura global)	Semob	Secretaria de Mobilidade Urbana
HC	Hidrocarboneto	MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Tep	Tonelada equivalente de Petróleo
		UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNIDADES

t	Tonelada
km	Quilometro
kg	Quilograma
m ³	Metro cúbico
\$	Cifrão
%	Porcentagem
g	Grama
kW	Quilowatt
und	Unidade
h	Hora
l	Litro

1. Introdução

Para atingir as metas de mitigação discutidas no Acordo de Paris da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), os países devem desenvolver estudos para não só compreender o histórico de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e consumo de energia para estimar as linhas de base, mas projetá-los considerando diferentes níveis de ambição e compromisso político com a mitigação de GEE.

Assim, o desenvolvimento de estratégias de mitigação de emissões de GEE e de adaptação à mudança do clima passa pela exploração e modelagem da atividade dos setores econômicos significativos de um país.

No mundo, o transporte é o maior consumidor de combustíveis derivados do petróleo, responsável por 57% da demanda global de petróleo (Cazzola *et al.*, 2016). Além disso, 93% do uso final de energia no transporte mundial é originado de derivados de petróleo (BD, 2018).

A atividade de transporte é impulsionada pelo aumento populacional e pelo crescimento econômico. Enquanto a urbanização aumenta rapidamente, atingindo 55% da população mundial (ONU, 2018), os efeitos dos problemas ambientais nos países em desenvolvimento, e mais vulneráveis, são ainda mais críticos (Denton *et al.*, 2014).

Assegurar a sustentabilidade da mobilidade de pessoas e carga é um desafio crucial para todo o mundo nas próximas décadas. Um passo importante foi dado no estabelecimento de metas de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês), sendo a brasileira uma das mais ambiciosas, visando reduzir em 37% as emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030, em comparação aos índices de 2005.

Desta forma, o desenvolvimento de novos cenários de descarbonização das atividades econômicas no Brasil ajuda a decidir como adotar e revisar estratégias ambiciosas para manter as emissões de GEE alinhadas com o objetivo do Acordo de Paris, buscando manter o aquecimento global abaixo de 2°C e idealmente abaixo de 1,5°C, em relação ao período pré-revolução industrial.

Apesar da relevância da atividade de transporte, o Brasil não possui um estudo que modele amplamente o setor a partir de dados históricos consistentes que levem a construção de cenários para atendimento das metas fixadas na NDC brasileira. Para que esta modelagem seja alcançada, deve-se considerar a natureza de milhões de pequenas fontes móveis, impulsionadas por uma variedade de fontes de energia (eletricidade, gasolina, diesel, querosene, GNV, biocombustíveis etc.) e operadas por vários indivíduos ou empresas.

Nessa linha, este estudo explora a abordagem mais detalhada disponível para estabelecer uma linha de base e projetar cenários futuros até o ano de 2030 para atendimento da NDC brasileira quanto ao consumo energético e as emissões de GEE do setor de transporte.

2. Narrativa

Apesar de ser um país não-Anexo I (Ephraums e Jenkins, 1992), o Brasil alcançou uma posição de liderança nos esforços globais para mitigar as emissões de GEE, com metas ambiciosas para 2030.

Até o momento, o país reportou três comunicações nacionais à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (Brasil, 2016), quatro estimativas periódicas de emissões de GEE (Brasil, 2017), além de programas nacionais de incentivo ao uso de biocombustíveis e melhoramento da eficiência energética de veículos automotores.

Nesse tocante, reduções líquidas de emissões alcançadas por alguns setores já foram contabilizadas. A maior parte das mitigações são derivadas do setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo (AFOLU), que tem experimentado reduções desde 2005.

No entanto, o recente avanço do desmatamento em áreas protegidas na Amazônia brasileira (Nogueira et al, 2018; Silva Junior, 2018) e das áreas de plantio (cana de açúcar, soja, café etc.) podem comprometer as metas de redução de emissões do setor para o futuro (Souza-Neto *et al.*, 2018).

Recentemente, o Governo tem sinalizado a interrupção de estratégias de desenvolvimento de baixo carbono ou redução de suas ambições (Stargardter e Boadle, 2019). Anúncios semelhantes também ocorreram nos últimos anos, como a retirada dos Estados Unidos do Acordo de Paris (Nong e Siriwardana, 2018). Apesar disso, é provável que os estados, cidades e empresas contribuam para preencher lacunas deixadas pela inação federal (Urpelainen e Van de Graaf, 2018).

Desta forma, é oportuno que os diferentes setores de atividade econômica tenham a responsabilidade de suplementar eventuais ausências para manter as metas de mitigação.

Para o caso brasileiro, é importante desenvolver cenários nos quais o AFOLU não atinja as metas da NDC e, portanto, o transporte deva extrapolar as metas atuais em cenários mais ambiciosos.

3. Método – estimativas para uso de energia e emissões

Convencionalmente, a condução de inventários nacionais utiliza duas abordagens: *top-down* e *bottom-up* (IPCC, 2006). A aplicabilidade de cada uma delas varia entre os países, conforme a disponibilidade de dados e a maturidade metodológica.

Embora as abordagens *bottom-up* e *top-down* possuam o mesmo objetivo, estimar o consumo energético e emissões de GEE para um país, as etapas metodológicas variam substancialmente, a depender do estudo de referência considerado. Adicionalmente, alguns trabalhos utilizam ambas as abordagens concomitantemente para comparar e ajustar os resultados (Gonçalves e D'Agosto, 2017).

Portanto, o protocolo de cálculo do uso de energia e emissões de GEE deve não apenas ser aderente à realidade do país¹, mas também incorporar melhorias metodológicas por meio de estudos de referência que efetivamente agreguem avanços na confiabilidade das estimativas nacionais.

Ao modelar o uso de energia e emissões do setor de transporte, alguns estudos consideram apenas o transporte de passageiros (Travesset-Baro *et al.*, 2016; Dedinec *et al.*, 2013; Jaber *et al.*, 2012; Han e Hayashi, 2008) ou o transporte de carga (Liimatainen *et al.*, 2014). Ademais, tanto o transporte de carga quanto o de passageiros são estruturados com base em uma combinação de modos de transporte, cuja existência depende da infraestrutura do país e do projeto da rede de transporte.

Por simplificação, alguns estudos optam por modelar somente o modo rodoviário devido a sua representatividade na divisão modal do país (Klavs e Rekis, 2016; Trail *et al.*, 2015; Kay *et al.*, 2014). Poucos estudos nacionais consideram uma diversidade ampla de modos de transporte (Ashina *et al.*, 2012), ainda assim, o transporte ativo (caminhada e ciclismo) e o dutoviário ainda são pouco inseridos nas modelagens adotadas.

¹ Por exemplo, disponibilidade e consistência dos dados por segmento econômico.

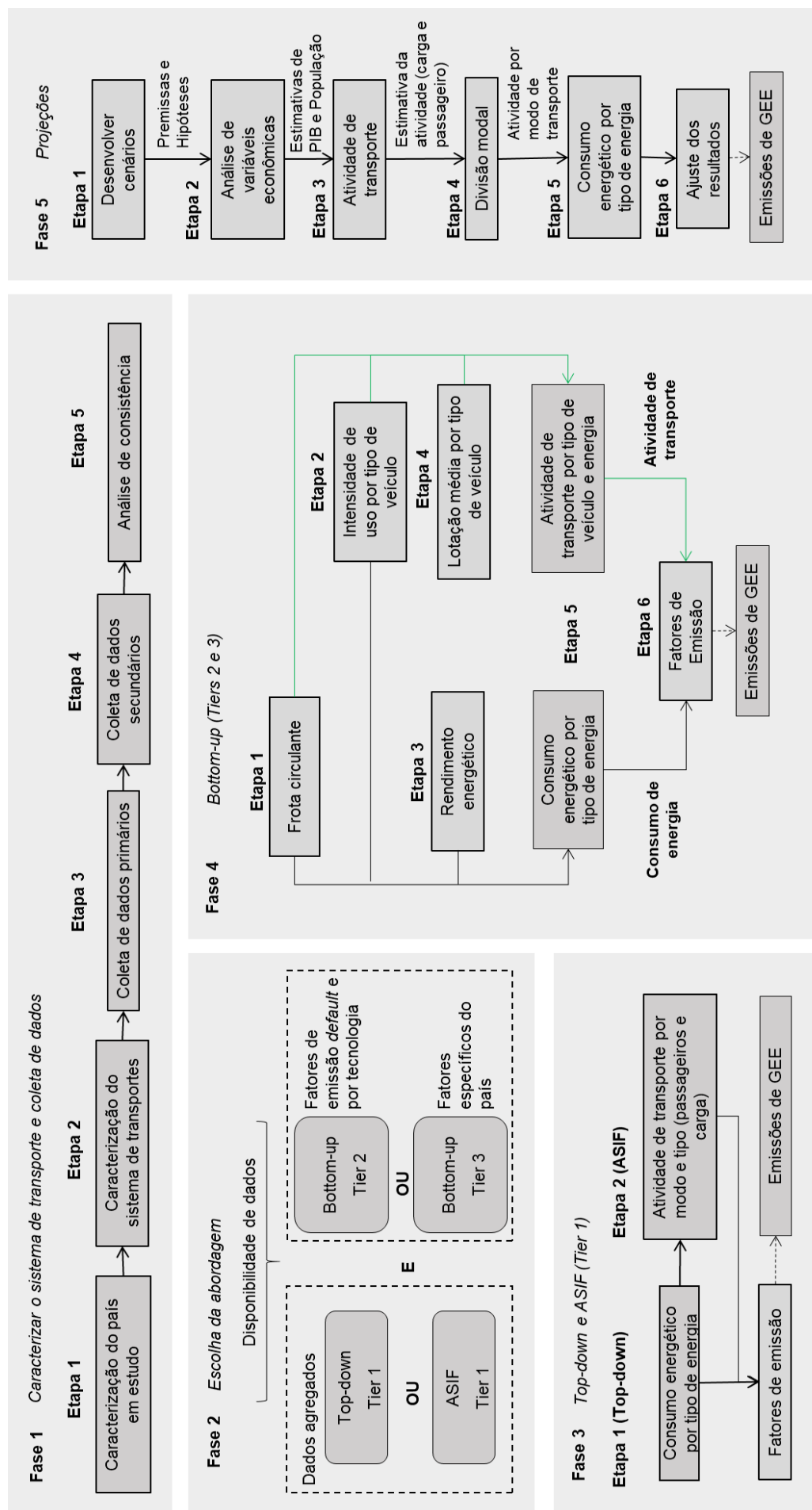
Para efeito deste estudo, recomenda-se a modelagem de todos os modos de transporte ao simular cenários prospectivos, uma vez que os diferentes modos, responsáveis pelo consumo de energia e emissão de GEE, interagem entre si, alterando o padrão das atividades e consequentemente a divisão modal ao longo do tempo.

Isto posto, este trabalho utiliza um método que não apenas estima o uso de energia e as emissões de GEE para todos os modos e tipos (passageiros e carga) de transporte, considerando a infraestrutura nacional, mas também adota abordagens *bottom-up*, ASIF (*Activity, Structure, Intensity, Fuel*) e *top-down* para comparar e ajustar os resultados. Está, portanto, em linha com o estudo de Gonçalves *et al.* (2019) e Gonçalves e D'Agosto (2017).

As principais saídas do modelo são o uso final da energia e níveis de emissão por tipo de veículo, modo de transporte (para diferentes fontes de energia) e atividade de transporte, tanto para passageiros (pass-km) quanto carga (t-km).

Conforme ilustrado na Figura 1, o método é dividido em cinco atividades principais: (1) caracterizar o sistema de transporte e coleta de dados; (2) escolher a abordagem; (3) ASIF e *top-down*; (4) *bottom-up*; e (5) projeções.

FIGURA 1. Método para estimar a linha de base e projetar consumo de energia e emissões de GEE em transportes.



A abordagem ASIF quantifica o valor agregado de uma série de informações setoriais. Para aplicação do método os dados significativos são: divisão modal, atividade de transporte, intensidade energética, uso de energia e emissões de GEE do setor de transportes ao longo do intervalo de análise.

Utiliza-se convencionalmente essa abordagem para estimar as emissões de modos de transporte que não possuem dados detalhados e/ou consistentes o suficiente para utilizar uma abordagem *bottom-up*.

No entanto, a depender da consistência da informação sobre consumo energético nacional e do tipo de GEE modelado², abordagens como *top-down* e ASIF podem fornecer uma informação mais precisa sobre as emissões do que a *bottom-up*, haja vista que há menos incerteza sobre os valores das variáveis no modelo.

Além disso, sempre que utilizar dados exógenos a atividade de transporte, a abordagem ASIF pode ser utilizada para ajustar a atividade de transporte, o consumo energético e as emissões de GEE estimados pela abordagem *bottom-up*.

Fonte de dados

Os dados de entrada do modelo são obtidos com associações setoriais nacionais, ministérios e estudos de referência realizados por instituições de renome.

No Brasil, não há registros estruturados de licenciamento de veículos que forneçam informações sobre a frota em circulação por ano-modelo de veículo. Além disso, não há dados oficiais consistentes sobre a atividade de transporte por ano e por modo.

Para garantir a consistência, os dados de frota circulante e atividade de transporte são estimados de forma desagregada. A Tabela 1 resume as informações de entrada do modelo.

² Por exemplo, no caso do CO₂, em que as emissões são calculadas em unidades de massa de CO₂ por volume de combustível consumido.

TABELA 1. Dados de entrada do modelo

	MODO/ DESCRIÇÃO	DADOS	UNIDADE	FONTE(S)
Rodoviário - Dados gerais	Dados macroeconômicos	População	Habitantes	IBGE
		PIB	R\$	Ministério da Fazenda
	Demanda anual de energia	Por modo e atividade	Tep e unidade comercial	EPE
	Combustíveis e biocombustíveis	Densidade	t/m ³	ANP e EPE
		Composição	% de mistura (p.ex. etanol anidro na gasolina)	(Brasil, 2016)
		Poder calorífico	kcal/kg	ANP e EPE
	Divisão modal	Carga	% modo de transporte	(Gonçalves <i>et al.</i> , 2019)
		Passageiros		
	Dados específicos	Atividade de transporte	t.km, pass-km	Estimado com base em EPE (2012) e Gonçalves e D'agosto (2017)
		Intensidade energética	kJ/t-km, kJ/pass-km	Estimado e ajustado com valores de referência na literatura
		Frota por tipo de veículo, tecnologia e fonte de energia	Unidade	Estimado
		Licenciamento por ano-modelo	Unidade	ABRACICLO, ANFAVEA e FABUS
		Rendimento energético por tipo de veículo, tecnologia e fonte de energia	km/l	(CETESB, 2017) e autores
		Intensidade energética	km/ano	CETESB e MMA
		Ocupação média	pass/veículo	ANTP e NTU
		Carga transportada	t	NTC & Logística
		Quilometragem média por viagem	km/viagem	CETESB e MMA
		Coefficiente AR5 - Global Warming Potential (GWP)	Unidade	(Allen <i>et al.</i> , 2014)
Aéreo	Dados setoriais	Atividade de transporte	t-km e pass-km	ANAC, EPE e McKinsey & Company
		Intensidade energética	kJ/t-km e kJ/t-km	Estimado e ajustado com valores de referência na literatura
Aquático	Dados setoriais	Atividade de transporte	t.km	ANTAQ, EPE e GEIPOT
		Atividade de transporte	p.km	ANTAQ, CCR Barcas, EPE e GEIPOT
		Intensidade energética	kJ/t-km e kJ/t-km	Estimado e ajustado com valores de referência na literatura
Dutoviário	Dados setoriais	Atividade de transporte	t.km	EPL, GEIPOT e M. Transportes
		Intensidade energética	kJ/t-km	Estimado e ajustado com valores de referência na literatura
Ferroviário	Dados setoriais	Atividade de transporte	t.km	ANTT, EPE, GEIPOT
		Atividade de transporte	p.km	CNT, EPE, GEIPOT, Metrô Rio e Supervia.
		Intensidade energética	kJ/t-km e kJ/t-km	Estimado e ajustado com valores de referência na literatura

Legenda: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; EPE – Empresa de Pesquisa Energética; ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas Ciclomotores Motonetes Bicicletas e Similares; ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores; FABUS – Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus; CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; MMA – Ministério do Meio Ambiente; ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos; NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos; NTC e logística – Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística; ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil; GEIPOT – Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes; CNT – Confederação Nacional do Transporte.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados nacionais disponíveis para o transporte ferroviário, aquático, dutoviário e aéreo não são detalhados o suficiente para serem utilizados em uma abordagem *bottom-up*. Por esse motivo, as emissões relativas a estes modos são estimadas considerando a abordagem ASIF.

Por outro lado, as emissões do transporte rodoviário são estimadas adotando a abordagem *bottom-up* Tier 3 para gases não- CO_2 (CH_4 , N_2O , CO , NOx e NMVOC) e Tier 2 para CO_2 .

Protocolos de cálculo

A atividade de transporte é calculada pelo produto entre o total de passageiros/toneladas transportadas, o comprimento da rede e o percentual de quilometragem transportada útil.

Conforme as equações 1 e 2 (Tabela 2), a aplicação de cada fórmula depende da abordagem escolhida: ASIF ou *bottom-up*.

TABELA 2. Equações para cálculo da atividade de transporte

NÚMERO	ABORDAGEM	EQUAÇÃO
Equação 1	ASIF	$At_{m,a,p}^{ASIF} = \sum_i p_i \cdot e_i \cdot km_i$
Equação 2	Bottom-up	$At_{m,a,p}^{bottom-up} = \sum_i F_r \cdot lu_i \cdot Av_i$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em que,

At : atividade de transporte por modo (m), atividade (a) e ano (p);

p_i : passageiro/carga anual transportada na linha (i);

e_i : rede / linha (i) extensão (km);

km_i : quilometragem efetiva (%);

F_r : frota de veículo para veículo do tipo (i) (unidade / ano);

lu_i : intensidade de uso em km (i) (km / ano);

Av_i : Ocupação média do veículo para o tipo de veículo (i).

A frota circulante é estimada com base nas vendas realizadas de veículos nacionais e importados por ano-modelo e em funções de sucateamento (Tabela 3).

São modeladas as categorias de veículos rodoviários: automóveis; comerciais leves; motocicletas; ônibus (micro, urbano e regional) e caminhões (semileves, leves, médios, semipesados e pesados). Segue-se, portanto, as categorias do estudo CETESB (2017).

Os tipos de motores e sistema de propulsão modelados são: dedicados a gasolina etanol; bi-combustível a GNV e *flexible-fuel* (todos do Ciclo Otto ou Atkinson); híbridos diesel-elétricos; veículos BEV do tipo *plug-in* na e diesel.

Para os veículos adaptados para o uso de GNV, utiliza-se uma abordagem *top-down*. As emissões são estimadas a partir do consumo observado de GNV (m^3), multiplicando-o por um fator de emissão médio para cada gás oriundo da queima do GNV.

Nesse caso, considera-se os gases não- CO_2 em unidades de grama por metro cúbico (g/m^3) e o CO_2 em quilograma por metro cúbico (kg/m^3). Após isso, abate-se da frota original a parcela dos veículos que foram adaptados para o uso de GNV.

TABELA 3. Estimativa da frota circulante

NÚMERO	ABORDAGEM	EQUAÇÃO
Equação 3	<i>Bottom-up</i>	$F_{ri} = \sum V_{ia} (1 - S_{ia})$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em que,

F_r : frota circulante do veículo tipo (i) (quantidade/ano);

V_{ia} : vendas anuais do tipo de veículo (i) que usa o tipo de energia (a) (unidade);

S_{ia} : veículos (i) sucateados no ano (a) (unidade).

A equação que fornece a quantidade de veículos sucateada anualmente foi desenvolvida por este grupo de trabalho para o Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa para o subsetor queima de combustíveis fósseis. Na ocasião, adotou-se novos coeficientes para a melhor aderência das estimativas com os dados de veículos adimplentes com o seguro obrigatório DPVAT. O Apêndice A mostra os detalhes sobre os ajustes realizados na função de veículos sucateados.

No procedimento *bottom-up*, o uso de energia é estimado por meio das seguintes entradas: frota circulante por ano-modelo; rendimento energético por ano-modelo e intensidade de uso. A Tabela 4 mostra o protocolo de cálculo do consumo energético.

TABELA 4. Cálculo do consumo energético

NÚMERO	ABORDAGEM	EQUAÇÃO
Equação 4	<i>Bottom-up</i>	$C_i = F_r \cdot \frac{Iu_i}{R_e}$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em que,

C_i : consumo anual de combustível do veículo tipo (i) (l/ano);

F_r : frota circulante para o veículo do tipo (i) (unidade/ano);

Iu_i : Intensidade de uso em km (i) (km/ano);

R_e : rendimento energético do veículo tipo (i) (km/l).

Como contribuição inovadora, este trabalho revisa dados de rendimento energético para a categoria caminhões e ajusta com base na lotação média, estudos de referência e dados gerados pelas montadoras. O Apêndice B detalha o procedimento e os resultados.

A estimativa das emissões de GEE considera a abordagem *bottom-up* Tier 3 para gases não- CO_2 (g/km) e Tier 2 para CO_2 (kg/l). Assim, os fatores de emissão são baseados na tecnologia específica do país e no conteúdo de carbono dos combustíveis em comercialização. Ressalta-se que as informações sobre densidade energética dos combustíveis foram atualizadas até 2018 com base no Balanço Energético Nacional (EPE, 2019).

As emissões Tier 3 são calculadas pelo produto entre a intensidade de uso anual e os fatores de emissão locais. As emissões Tier 2 são estimadas com base na multiplicação do consumo anual de combustível pelo fator de emissão local de CO_2 .

Considera-se a deterioração de emissões dos gases não- CO_2 por acúmulo de rodagem a partir das estimativas de Brasil (2014). Nesse caso, modelam-se os valores para comerciais leves e automóveis do tipo: dedicados a gasolina/álcool; flexible-fuel e híbridos diesel-elétricos. Todas as saídas de emissões de GEE do modelo são em CO_{2e} , utilizando os coeficientes GWP do AR5 (*Fifth Assessment Report*) (Allen *et al.*, 2014).

As estimativas de uso de energia e emissões da abordagem *Bottom-up* são ajustadas com base nas saídas do modelo da abordagem *Top-down*. Divergências podem ser minimizadas ao ajustar os valores de referência de intensidade de uso e ocupação média do veículo.

4. Linha de base

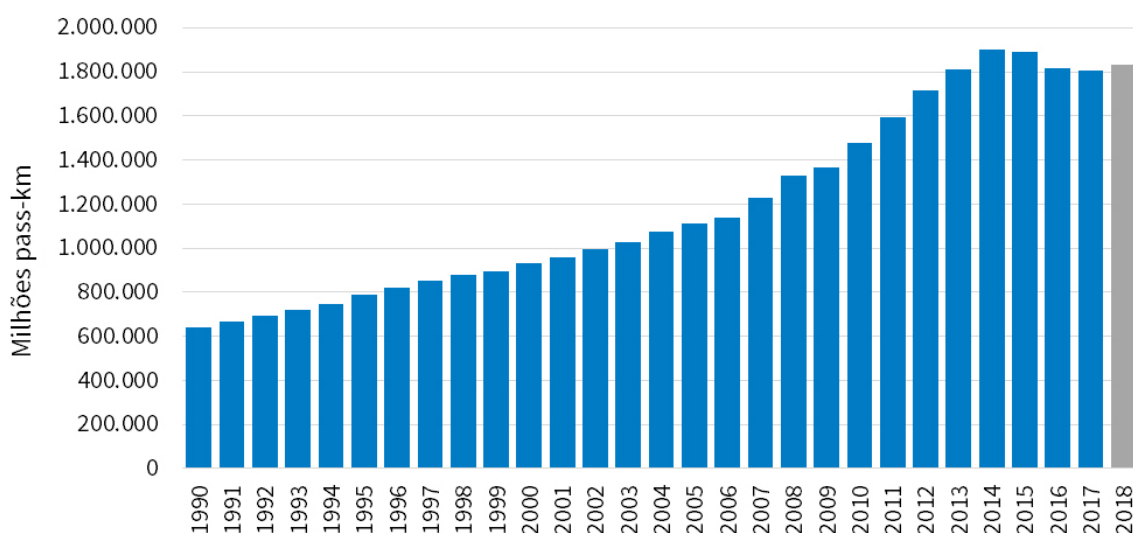
O horizonte temporal do histórico é de 1970 a 2018. Assim, a consistência dos dados é assegurada ao modelar algumas informações em um horizonte de tempo superior. No caso da estimativa da frota circulante, os dados de vendas/licenciamento são coletados a partir de 1957. Para atividade de transporte, os dados iniciais datam de 1970.

Os resultados apresentados são oriundos da aplicação da abordagem *bottom-up*, Tier 2 para CO_2 e Tier 3 para gases não- CO_2 , ajustados com a aplicação da abordagem ASIF (Tier 2).

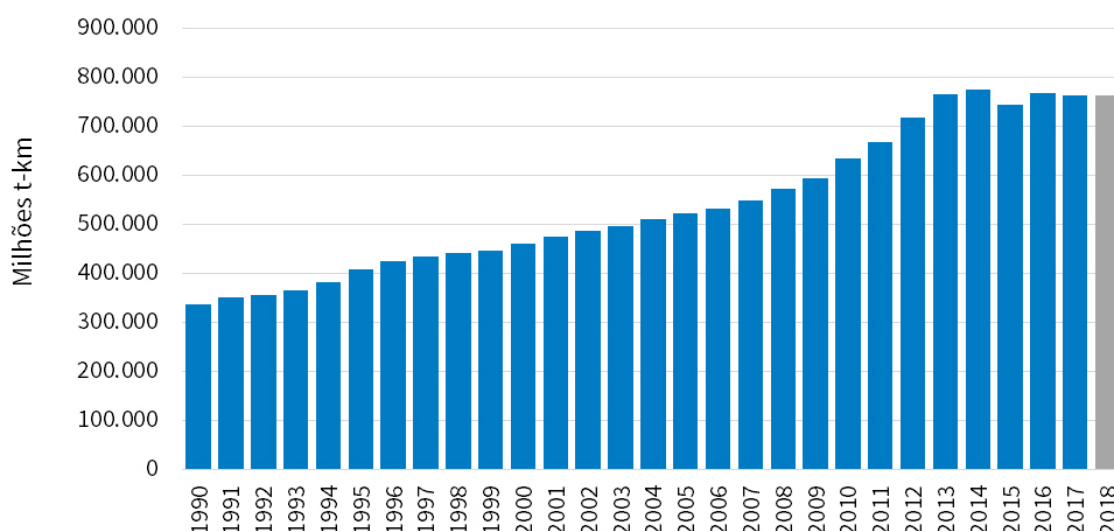
Transporte rodoviário

O modelo considera as atividades de transporte de passageiros e carga como variável de ajuste das estimativas de emissões e consumo energético, tanto para a linha de base como para as projeções para 2030. As Figuras 2 e 3 ilustram os resultados para ambos os tipos de atividade. O ano base dos resultados (1990) segue a da Comunicação Nacional.

FIGURA 2. Atividade de transporte de passageiros – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

FIGURA 3. Atividade de transporte de carga – Histórico

Fonte: Elaborado pelos autores.

No que concerne à frota circulante, a aplicação da função de sucateamento sobre as vendas anuais resulta nos valores apresentados na Tabela 5. O protocolo de cálculo utiliza dados observados de veículos adimplentes com o seguro obrigatório DPVAT e um fator de ajuste para os veículos inadimplentes.

TABELA 5. Estimativa da frota circulante nacional – Histórico

ANO	MOTOCICLETAS	AUTOMÓVEIS	COMERCIAIS LEVE	CAMINHÕES	ÔNIBUS	TOTAL FROTA
1990	1.259.052	11.382.366	1.438.927	893.153	159.747	15.133.245
1995	1.513.505	14.287.217	1.921.427	959.510	192.978	18.874.637
2000	2.637.418	18.568.317	2.539.853	1.055.803	220.720	25.022.111
2005	5.128.278	22.240.587	2.860.492	1.221.007	254.531	31.704.895
2010	9.886.130	30.445.855	3.798.480	1.548.975	318.678	45.998.118
2015	13.728.917	39.971.283	5.410.334	1.924.691	391.614	61.426.839
2018	14.506.602	42.253.705	5.802.002	1.902.819	383.925	64.849.053
% 2018	22,4%	65,2%	8,9%	2,9%	0,6%	100%

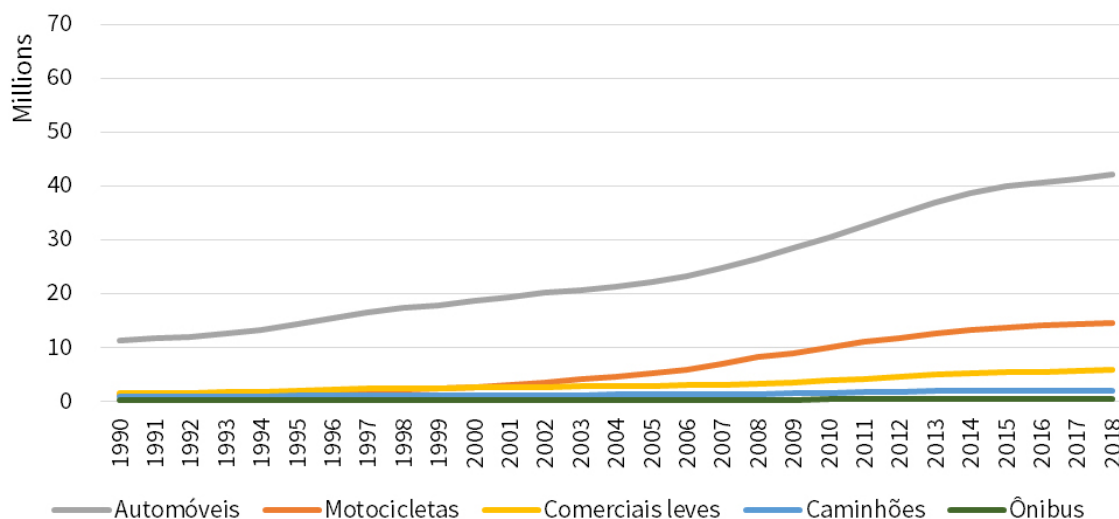
Fonte: Elaborado pelos autores.

Em 2018, a frota circulante estimada é de aproximadamente 65 milhões de veículos automotores. Majoritariamente, é composta por automóveis, motocicletas e comerciais leves (cerca de 96,5% do total).

A taxa de motorização para o ano-base é de 310 veículos/1.000 hab., com uma idade média de 9,6 anos para veículos leves (motocicletas, automóveis e comerciais leves), 10 anos para veículos pesados de passageiros (ônibus) e 12,5 anos para veículos pesados de carga (caminhões).

A Figura 4 ilustra a evolução da frota em circulação para a linha de base.

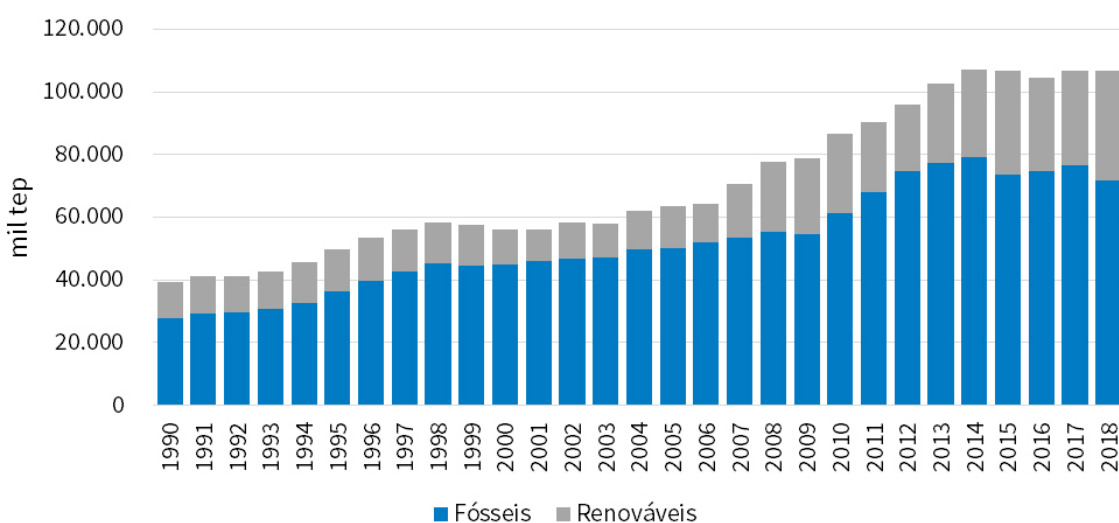
FIGURA 4. Frota circulante – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

O consumo energético final do setor de transporte rodoviário é ilustrado na Figura 5. Após o pico de $79.798 \cdot 10^3$ tep para 2014, o uso da energia é reduzido em 2% até 2018 ($78.019 \cdot 10^3$ tep) (EPE, 2019).

FIGURA 5. Consumo energético estimado para o transporte rodoviário (10^3 tep) – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 6 sintetiza o uso da energia durante o horizonte temporal da linha de base. A combinação de biodiesel e diesel mineral responde, historicamente, por aproximadamente 52% da energia total consumida pelo modo rodoviário.

Na linha de base, a inserção de veículos BEV do tipo plug-in na frota circulante é irrisória. Por esta razão, o consumo de eletricidade não foi exposto nesta etapa.

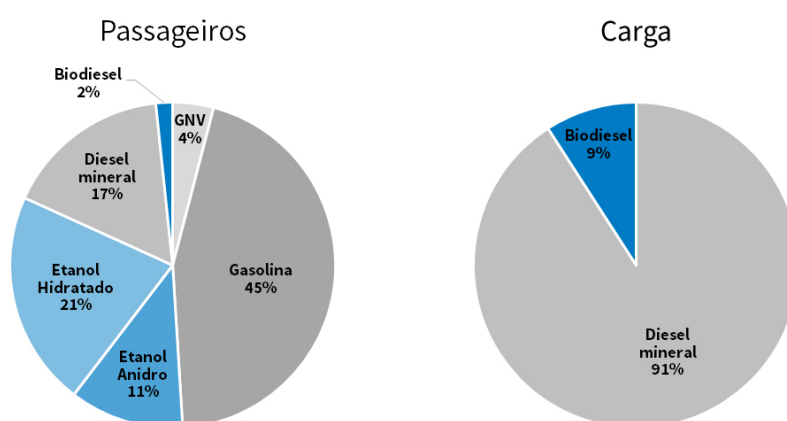
TABELA 6. Consumo energético estimado para o transporte rodoviário (10³ tep) – Histórico

ANO	PASSAGEIROS						CARGA		TOTAL
	GASOLINA A	ETANOL ANIDRO	ETANOL HIDRATADO	GNV	DIESEL MINERAL	BIODIESEL	DIESEL MINERAL	BIODIESEL	
1990	2	7.436	650	5.205	3.438	-	12.544	-	29.276
1995	43	11.057	1.800	5.069	3.470	-	15.809	-	37.250
2000	275	13.261	3.046	2.774	5.133	-	18.277	-	42.766
2005	1.711	13.595	4.079	2.885	5.046	0	20.757	0	48.073
2010	1.767	17.525	3.790	8.243	6.150	287	24.936	1.163	63.861
2015	1.553	23.257	5.842	9.582	6.793	467	28.633	1.967	78.095
2018	1.946	21.558	5.454	10.263	7.933	796	27.325	2.743	78.019

Fonte: Elaborado pelos autores.

O transporte de passageiros responde por 61% do consumo energético do ano-base (2018), enquanto o transporte de carga consome 39%. A participação relativa de cada fonte energética no transporte de passageiros e de carga é ilustrada na Figura 6.

FIGURA 6. Participação relativa de fontes energéticas – Histórico

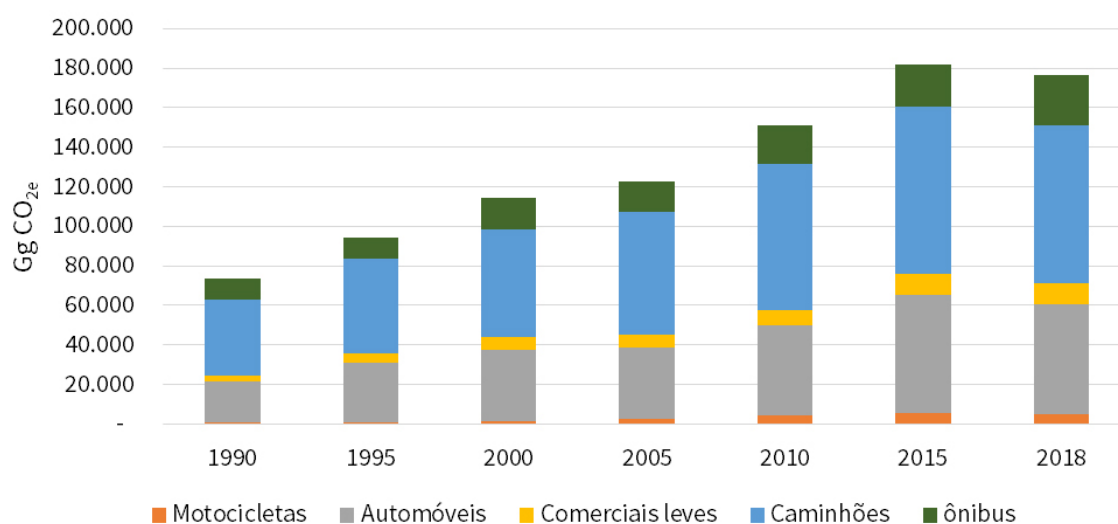


Fonte: Elaborado pelos autores.

A participação de energia renovável atingiu 24,7% em 2018. Comparativamente, em 2015 essa participação foi de 22,9%. Este efeito decorre do aumento da mistura regulamentada do biodiesel no diesel (B10) e da mudança de comportamento do consumidor perante a variação do preço do etanol hidratado no mercado.

Ao estratificar as emissões por categoria de veículos (Figura 7), desconsiderando o consumo de GNV, verifica-se que os caminhões, que compõem 2,9% da frota circulante, emitem 45,3% do CO_{2e} do total de GEE do setor de transportes brasileiro (2018).

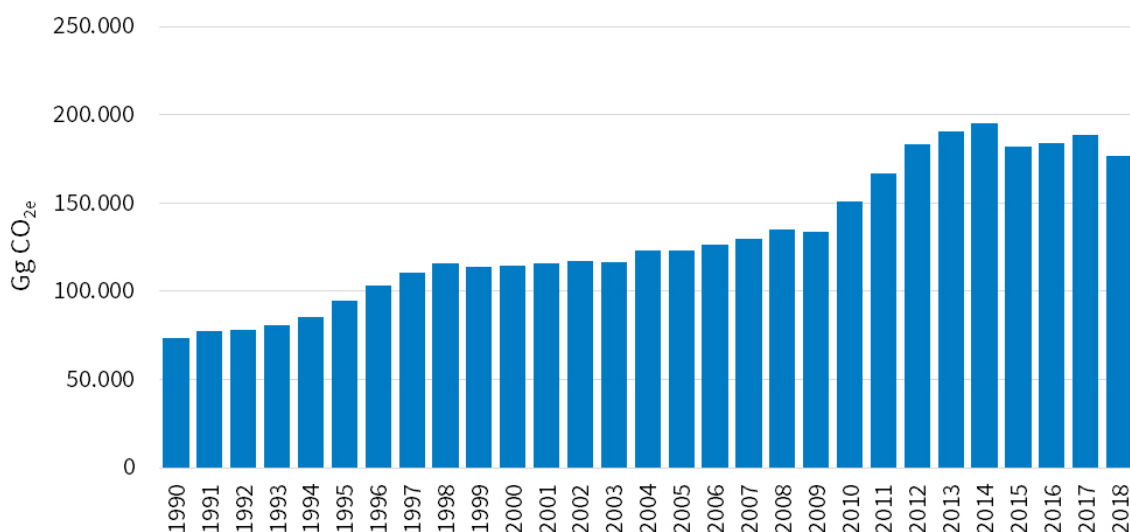
FIGURA 7. Emissões de CO_{2e} por categoria de veículos – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao considerar o consumo de GNV, estima-se as emissões adicionais por uma abordagem *top-down* e tem-se os valores de emissões totais expostos na Figura 8.

FIGURA 8. Emissões de CO_{2e} do transporte rodoviário – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Do mesmo modo, a categoria ônibus, apesar de representar pouco menos do que 1% da frota circulante, emite 14,3% do total de CO_{2e} do setor.

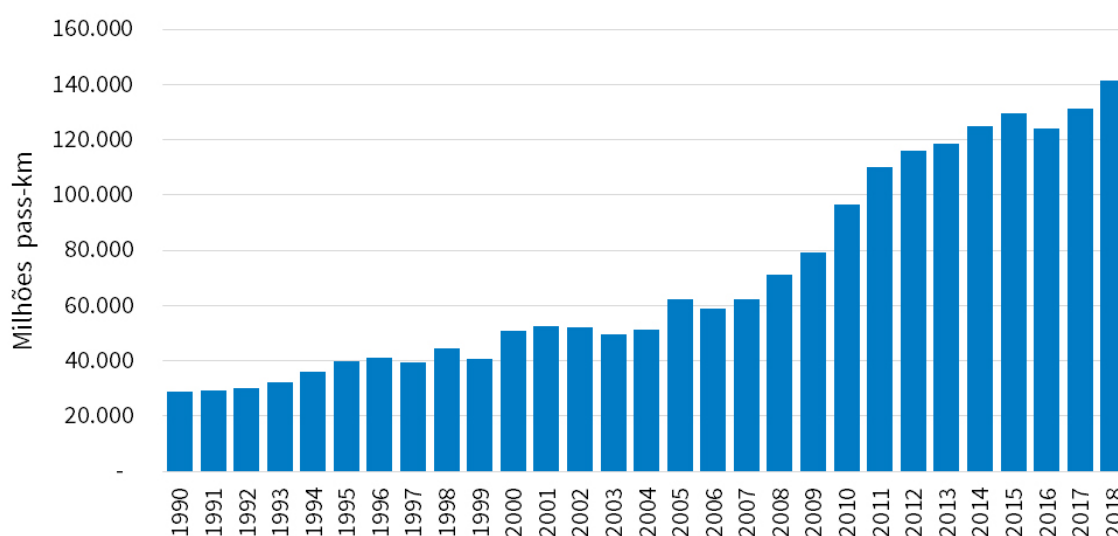
Deve-se destacar que esse fenômeno, assim como no caso dos caminhões, é compensado pelo maior fator de ocupação e carregamento dessas categorias de veículos em relação às de transporte individual ou de menor capacidade, sendo então veículos mais eficientes (kJ/t-km e kJ/pass-km) e menos intensivos em carbono (CO_{2e}/t-km e CO_{2e}/pass-km).

Transporte aéreo

Assim como no modo rodoviário, o modelo considera as atividades de transporte de passageiros e carga como variáveis de ajuste das estimativas de emissões e consumo energético, tanto para a linha de base como para as projeções para 2030.

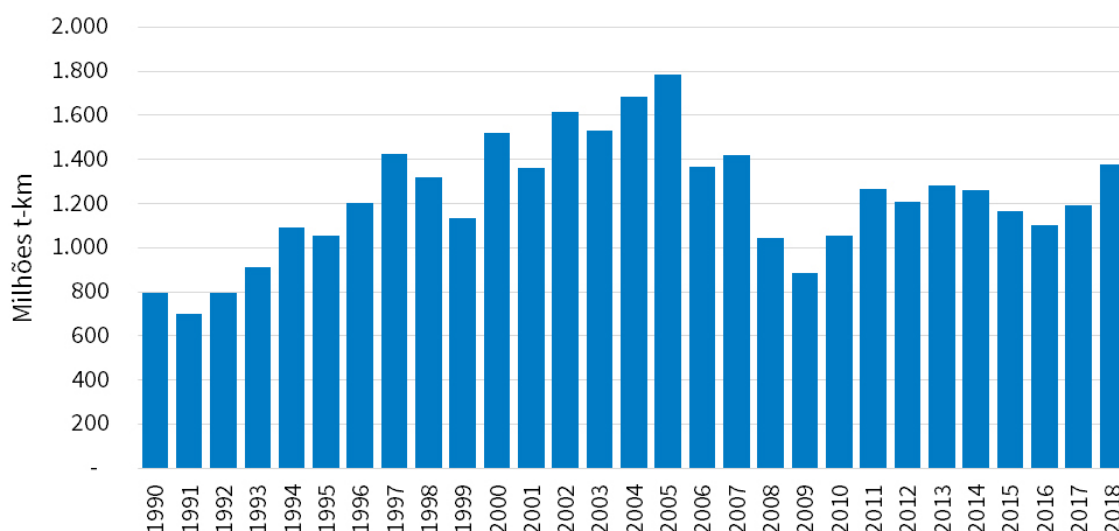
Apesar disso, as abordagens consideradas para as estimativas são ASIF e *top-down*. As Figuras 9 e 10 ilustram os resultados para ambos os tipos de atividade.

FIGURA 9. Atividade de transporte de passageiros – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

FIGURA 10. Atividade de transporte de carga – Histórico

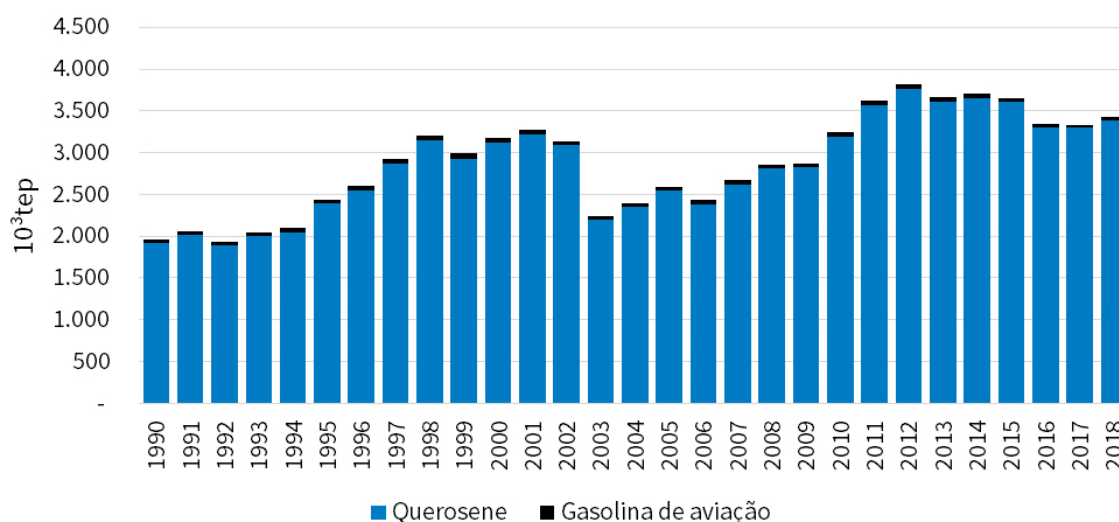


Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se um crescimento médio de 6% ao ano na atividade de transporte de passageiros de 1990 a 2018, aumentando sua participação de 4% para 7% na divisão modal. No tocante ao transporte de carga, a variação histórica está alinhada com as variações econômicas nacionais e internacionais.

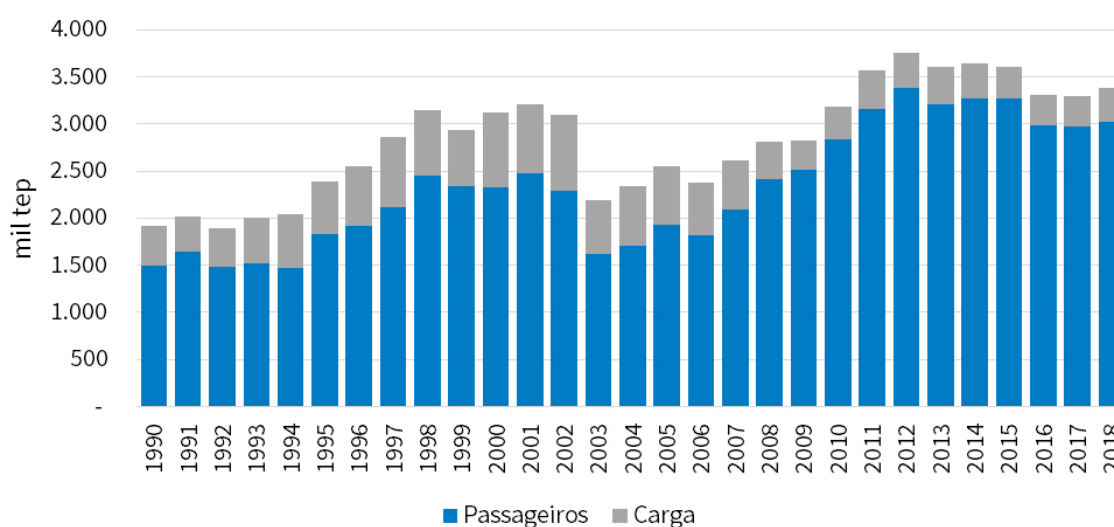
Em relação ao consumo de energia, a Figura 11 apresenta a evolução do consumo por tipo de combustível, enquanto a Figura 12 apresenta por tipo de atividade.

FIGURA 11. Consumo energético por tipo de combustível do transporte aéreo – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

FIGURA 12. Consumo energético por tipo de atividade do transporte aéreo – Histórico



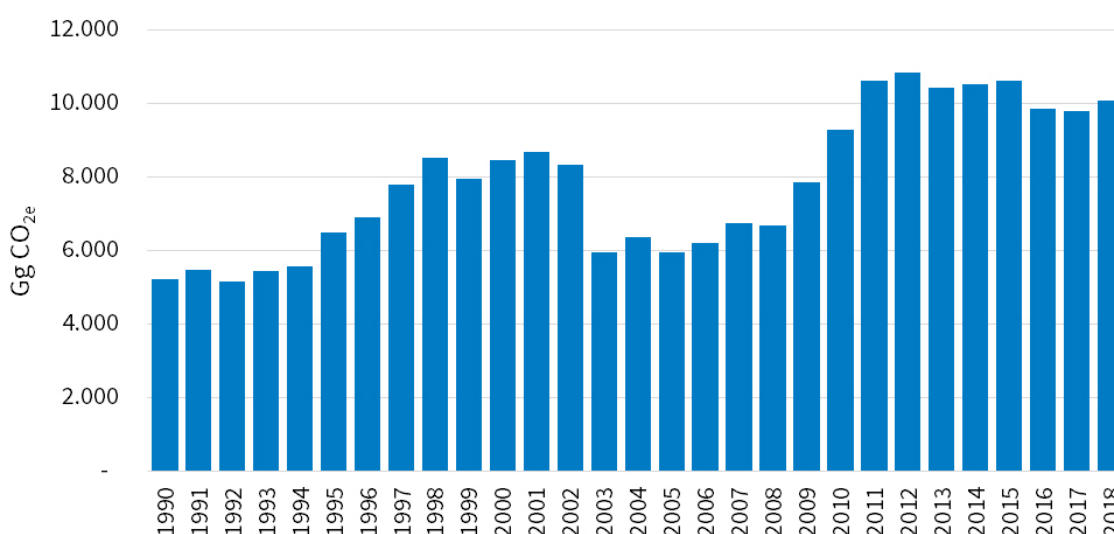
Fonte: Elaborado pelos autores.

O consumo de gasolina de aviação, em média, corresponde a apenas 2% da energia demandada pelo modo. Esta fonte energética é utilizada em aviões de pequeno porte, modelos utilizados para pulverização de lavouras e no transporte especial de passageiros, que não possuem capacidade de transportar uma quantidade relevante de carga.

Com relação à distribuição da demanda de combustível por atividade, observa-se que, historicamente, o transporte de passageiros corresponde por aproximadamente 82% do total. Participação que tem crescido desde 2007 em decorrência do aumento de usuários, chegando a 89% em 2018.

Ao analisar a evolução das emissões totais de CO_{2e} para o modo aéreo (Figura 13), nota-se um aumento anual médio de 2,8%, apesar das reduções de emissões observadas entre os anos de 2003-2009 e 2016-2017.

FIGURA 13. Estimativa das emissões de CO_{2e} do transporte aéreo – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Transporte aquático

Assim como os modos ferroviário e aéreo, os resultados apresentados para a emissão de CO_{2e} do transporte aquático são oriundos da abordagem ASIF (Tier 2).

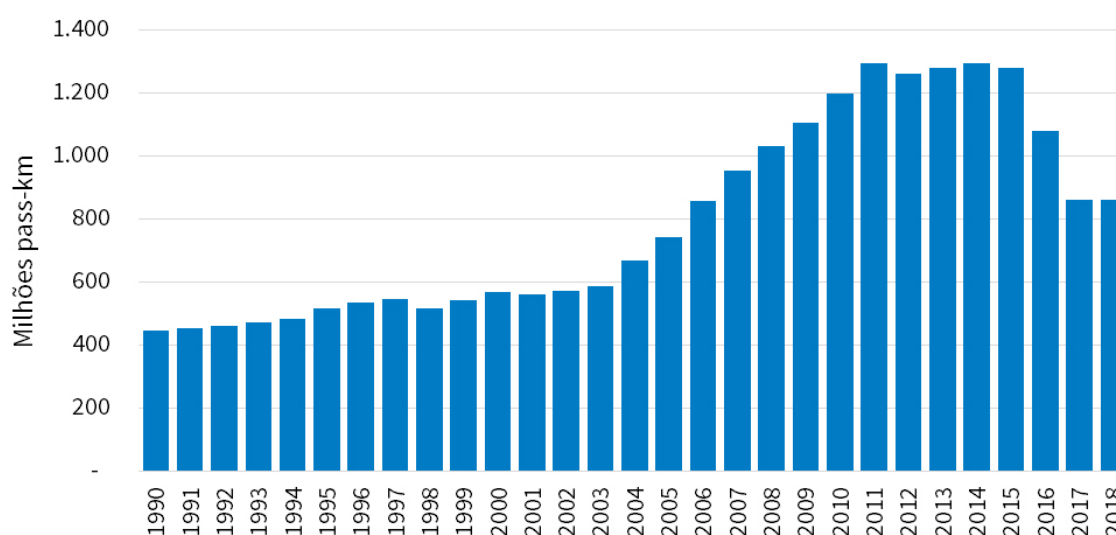
Isso decorre da baixa representatividade do modo aquático na matriz de transportes e das dificuldades encontradas em alocar de forma precisa o consumo energético tanto para o transporte aquático de passageiro quanto de carga.

Essa dificuldade inclui também a falta de conhecimento sobre as proporções médias da demanda de óleo combustível e diesel no transporte marítimo de cabotagem, conforme a divisão adotada pela ANTAQ e a falta de dados referentes ao rendimento energético médio por tipo de embarcação (dado a característica única do desenho dos motores dos modelos de embarcação).

Para atender a abordagem ASIF e estabelecer uma variável de ajuste para as estimativas de emissões e consumo energético, tanto para a linha de base como para as projeções para 2030, é necessário conhecer o histórico de movimentação de passageiro e carga.

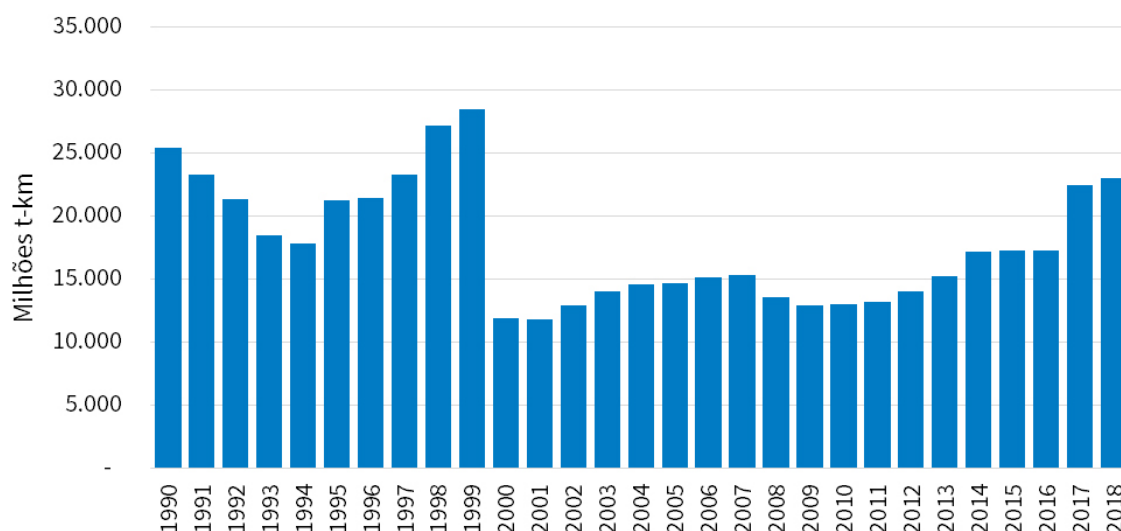
Assim, os dados de atividade são apresentados nas Figuras 14, 15 e 16.

FIGURA 14. Atividade de transporte de passageiro – Histórico



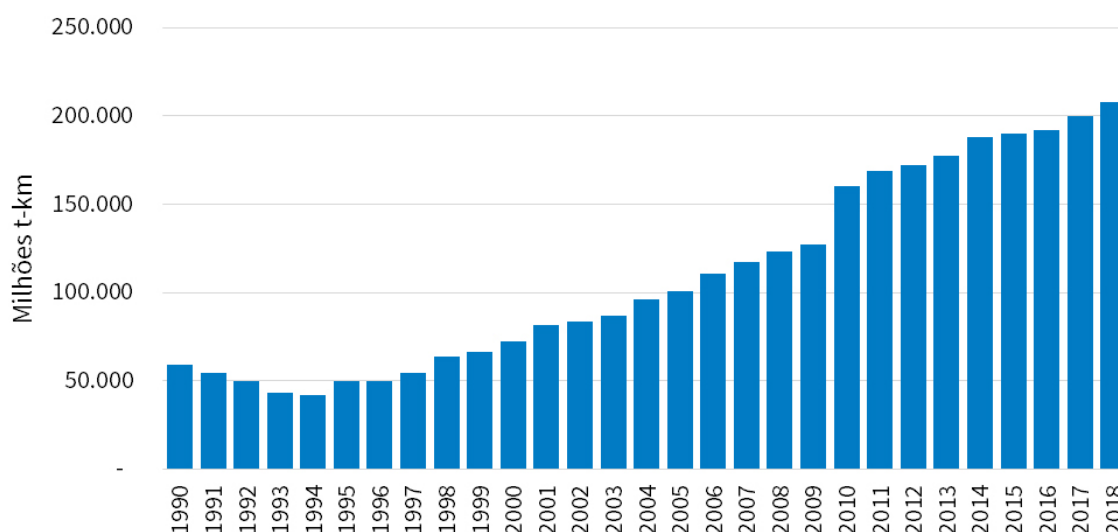
Fonte: Elaborado pelos autores.

FIGURA 15. Atividade de transporte de navegação interior – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

FIGURA 16. Atividade de transporte de cabotagem – Histórico



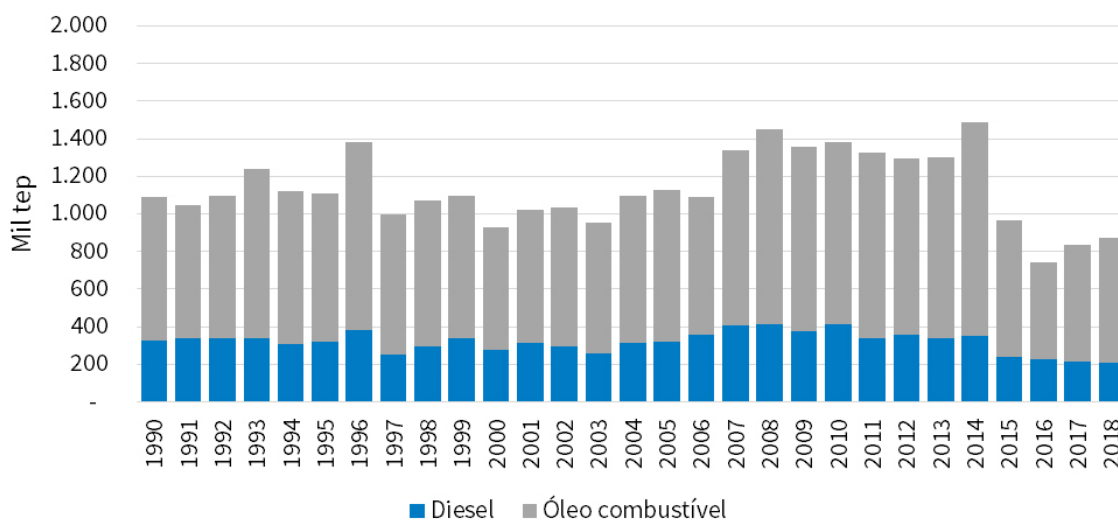
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 14 pode ser observado um aumento da atividade de transporte de passageiros, sobretudo a partir de 2004. Em outras palavras, o crescimento até o ano de 2003 era de aproximadamente de 2%, passando para um crescimento anual entre 10% e 13% até 2007.

Diferente do comportamento da linha de base do transporte de passageiros, a linha de base do transporte de carga por navegação interior oscila consideravelmente, principalmente entre os anos de 1999 e 2000 (ano em que GEIPOT foi extinto). Por outro lado, o transporte de carga por cabotagem tem crescido desde 1998, atingindo 14,7% na divisão modal.

O consumo energético total do transporte aquático, ou seja, a soma do consumo energético de passageiro e de carga (cabotagem e navegação interior) é ilustrado na Figura 17.

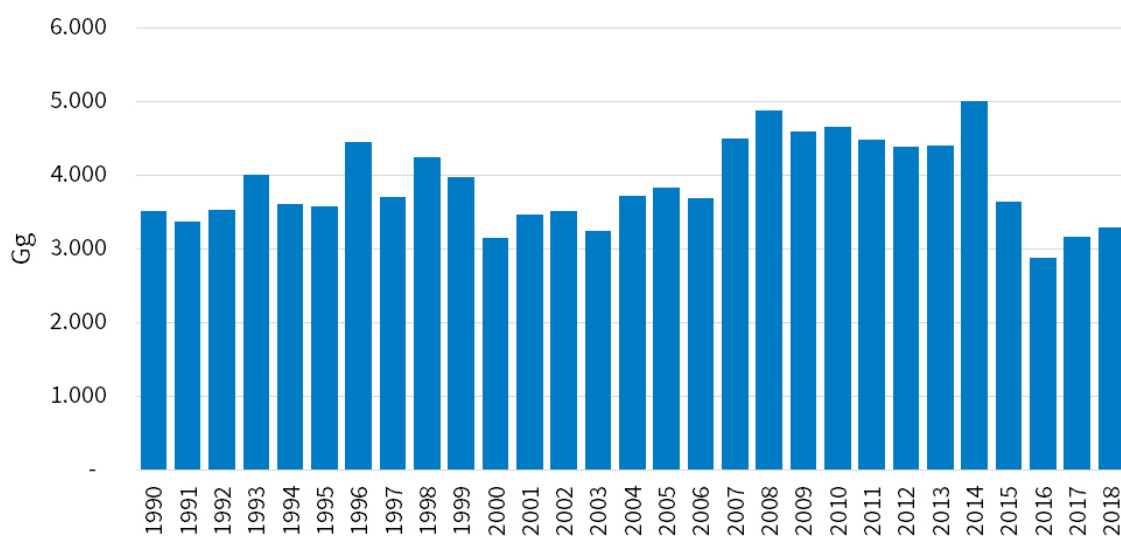
FIGURA 17. Consumo energético estimado do transporte aquático – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 18 apresenta a evolução das emissões de CO_{2e} do modo aquático, estimada a partir da abordagem ASIF, considerando o histórico de atividade, intensidade energética e do consumo por tipo de energia.

FIGURA 18. Emissões de CO_{2e}

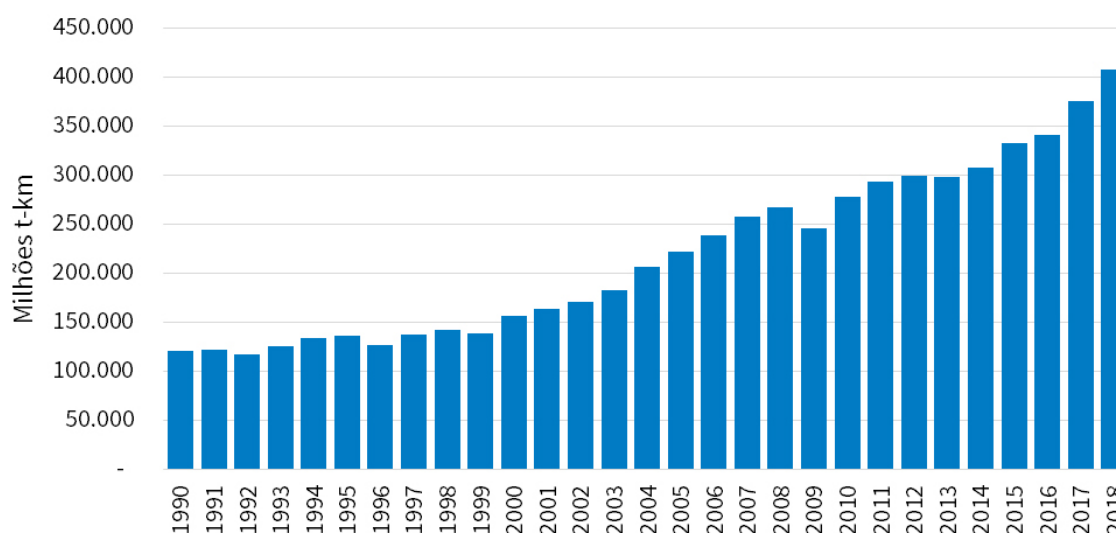


Fonte: Elaborado pelos autores.

Transporte ferroviário

A evolução da atividade do transporte ferroviário de carga foi estimada a partir do somatório da atividade das ferrovias em operação no país ao longo dos anos. A Figura 19 apresenta o total da atividade do transporte ferroviário de carga.

FIGURA 19. Evolução da atividade de transporte ferroviário de carga – Histórico



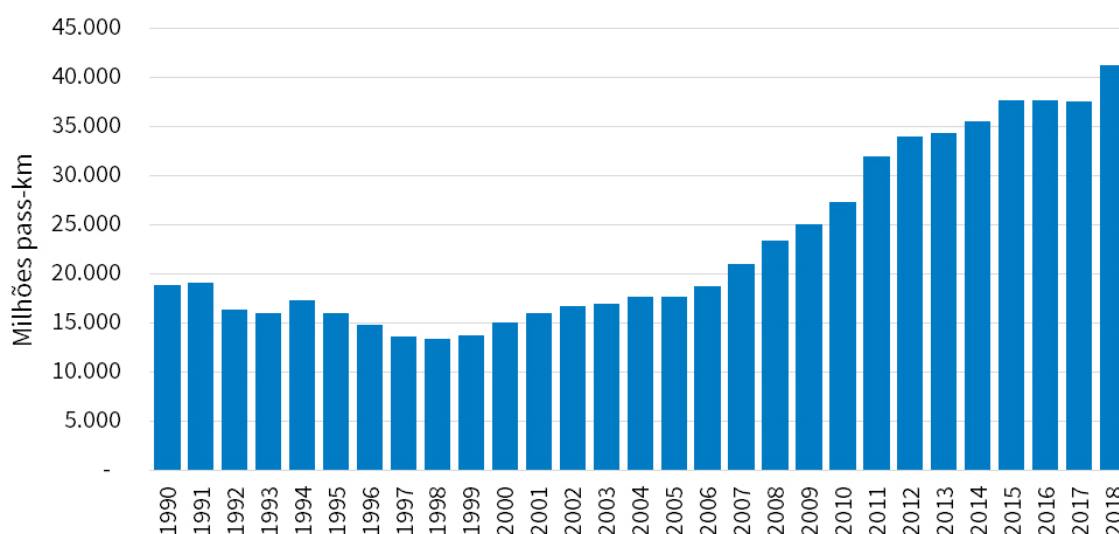
Fonte: Elaborado pelos autores.

Embora existam 12 ferrovias em operação, as ferrovias EFC (Estrada de Ferro Carajás), EFVM (Estrada de Ferro Vitória a Minas) e MRS Logística representam, a partir de 2006, 80% da atividade do setor.

Nesse contexto, o minério de ferro é o principal produto transportado no modo (77% do total em 2018). No tocante à evolução da atividade total, observa-se um crescimento médio de 4,7% a.a. (2006-2018), apresentando apenas uma queda em 2009 (de 8%).

Assim como no transporte ferroviário de carga, para a estimativa da atividade do transporte ferroviário de passageiros somou-se a atividade das linhas de metrô, trens urbanos/metropolitanos e VLT (veículo leve sobre trilhos). A evolução da atividade é apresentada na Figura 20.

FIGURA 20. Evolução da atividade de transporte ferroviário de passageiro – Histórico

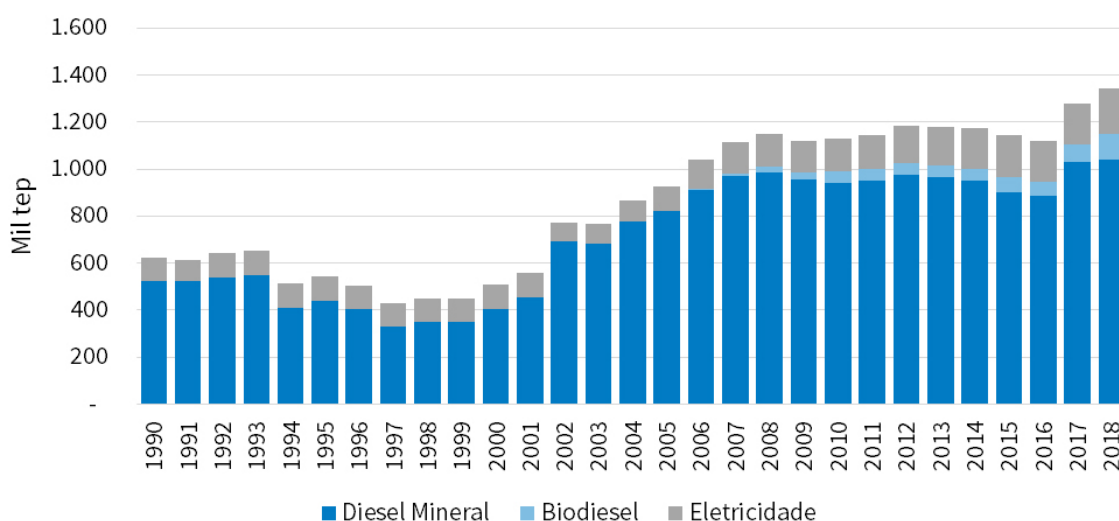


Fonte: Elaborado pelos autores.

O crescimento médio do transporte ferroviário de passageiros para o período de 2000-2018 foi de aproximadamente de 6% ao ano, sendo que a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CTPM), Metrô SP e Supervia Trens Urbanos, representam 85% da atividade do setor.

A evolução do consumo de energia para o modo ferroviário é apresentada na Figura 21. Considera-se o consumo de eletricidade para o transporte de passageiros e o consumo de diesel e biodiesel (mistura obrigatória) para o transporte de carga.

FIGURA 21. Consumo energético estimado do transporte ferroviário por fonte – Histórico



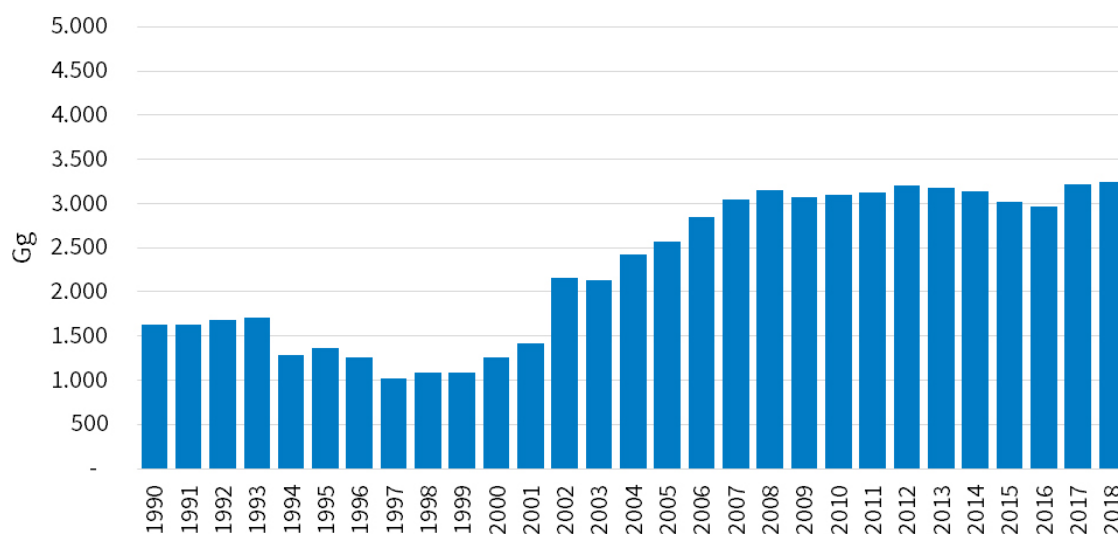
Fonte: Elaborado pelos autores.

A participação do transporte de passageiros na demanda de energia oscilou entre 10% e 23%, sendo em média de 14,2%, o que contribui para a participação de energia renovável no total da energia demandada pelo modo ferroviário.

Inicialmente essa participação era de 16,4%, aumentando para 22,2% conforme o aumento da malha, da demanda no transporte de passageiros e do percentual da mistura de biodiesel no diesel mineral (B10 em 2018).

A evolução emissões de CO_{2e} do transporte ferroviário de carga é apresentada na Figura 22.

FIGURA 22. Estimativa das emissões de CO_{2e} do transporte ferroviário – Histórico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se a estabilidade nas emissões nos últimos 10 anos. Isso se deve aos ganhos em eficiência energética e ao aumento do percentual da mistura de biodiesel no diesel mineral.

5. Cenários NDC 2030

Como se buscou desenvolver cenários para atendimento das metas fixadas na Contribuição Nacional Determinada (NDC brasileira, o horizonte temporal simulado engloba os anos entre 2018 e 2030.

Assim, optou-se por modelar três cenários: (1) BAU (*Business as usual*), considerando as políticas e intervenções vigentes no ano-base (2017); (2) NDC, em que o setor de transportes atinge suas metas da NDC; (3) NDC+, no qual o setor de transportes ultrapassa suas metas, suprimindo inações de outros setores.

Premissas

As premissas são estruturadas de acordo com a abordagem *Avoid-Shift-Improve* (A-S-I) (Viewing, 2017). Assim, o escopo das medidas de mitigação contempla cinco esferas: necessidade de viagens; infraestrutura; mobilidade; eficiência energética; e biocombustíveis.

Para cada esfera, um conjunto de ações é estabelecido de acordo com o nível de ambição dos três cenários. Os cenários são modelados até 2030 com base em dados socioeconômicos (população, PIB e PIB *per capita*) como *variáveis-proxy* para simular o comportamento das saídas do modelo (p. ex. atividade de transporte).

Após esta etapa, é possível estimar a divisão modal adotando um conjunto de medidas para verificar a consistência das projeções, tais como: demanda de biocombustíveis, intensidade energética por modo de transporte e lotação/ocupação média dos veículos automotores.

A Tabela 7 resume as ações de mitigação, as relações com a abordagem da A-S-I e o grau de penetração em cada cenário.

TABELA 7. Escopo e premissas para o setor de transportes

ESCOPO	ASI	PREMISSAS POR CENÁRIO		
		BAU	NDC	NDC+
Necessidade de viagens	A	Redução progressiva da necessidade da realização de viagens por meio de eliminação de viagens (<i>home office</i> , <i>Internet of Things</i> – IoT – etc.) e melhoramento da eficiência do sistema de transportes		
Infraestrutura	S	-	-	Adequação da malha ferroviária, ampliando a capacidade e reaproveitando a malha subutilizada.
		-	Ajuste dos contratos de concessão ou de renovação de concessão de ferrovias na esfera do Programa de Parceria de Investimentos (PPI), de modo a assegurar maior integração entre as malhas.	
		Expansão das malhas ferroviária e aquática com a conclusão dos programas em andamento (PAC e Avançar).		
		-	Criação de mecanismos de diferenciação tributária para o uso do transporte aquático.	
Mobilidade	S	Captação de usuário (transporte público de passageiros) mediante todas as obras em andamento do PAC/Avançar (BRT, VLT metrô e trens urbanos). Intervalo de 5 anos.	Captação de usuário (transporte público de passageiros) mediante todas as obras em andamento do PAC/Avançar (BRT, VLT metrô e trens urbanos). Intervalo de 3 anos.	Captação de usuário (transporte público de passageiros) mediante todas as obras em andamento do PAC/Avançar (BRT, VLT metrô e trens urbanos). Entregue no prazo.
		-	Qualificação da frota ³ de ônibus e expansão da implantação de faixas exclusivas.	Qualificação da frota de ônibus (tornando atrativa a eletrificação) e expansão da implantação de faixas exclusivas.
		Difusão do transporte ativo.	Ampla difusão do transporte ativo e incentivos políticos para sua prática	Ampla difusão do transporte ativo e políticas de indução de demanda.
		-	Aumento da política de integração no transporte urbano de passageiros.	Aumento da política de integração no transporte urbano de passageiros.
		-	-	Participação efetiva do segmento de compartilhamento de viagens e veículos.
Eficiência energética	I	Mudança da divisão modal para modos com maior eficiência energética e menor intensidade de carbono.		
		-	Programa Rota 2030 (12%).	Programa Rota 2030 (18%).
		Evolução tendencial da eficiência energética para os modos aéreo, aquático, dutoviário e ferroviário em operação.		
		Participação de veículos elétricos e híbridos na frota circulante de 0,7% para leves; 1% motocicletas e 0,5% ônibus urbanos.	Participação de veículos elétricos e híbridos na frota circulante de 1,8% para leves; 4,5% motocicletas e 6% ônibus urbanos.	Adoção acentuada da tendência internacional (Cenário “Resto do Mundo” da IEA). Participação de veículos elétricos e híbridos na frota circulante de 2,5% para leves; 8,3% motocicletas; 11,2% ônibus urbanos e 3,5% caminhões leves.
Biocombustíveis	I	RenovaBio: com aumento de oferta de etanol para 35 bilhões de litros <i>Market share</i> - veículos <i>flexible-fuel</i> : 30% (Etanol Hidratado).	RenovaBio: com aumento da oferta de etanol para 42 bilhões de litros. <i>Market share</i> - veículos <i>flexible-fuel</i> : 40% (Etanol Hidratado).	RenovaBio: com aumento da oferta de etanol para 47 bilhões de litros. <i>Market share</i> - veículos <i>flexible-fuel</i> : 60% (Etanol Hidratado).
		Biodiesel: B10.	Biodiesel: B15.	Biodiesel chegando a B20 e Bioquerosene chegando a B2

Legenda: NDC – Contribuição Nacional Determinada; PAC – Programa de Aceleração do Crescimento; BRT – Bus Rapid Transit; VLT – Veículo Leve sobre Trilhos, IEA – Agência Internacional de Energia.

Fonte: Elaborado pelos autores.

³ São maiores, possuem motor traseiro, piso baixo, portas largas, ar condicionado e geralmente são equipados com caixa de câmbio automática.

Os três cenários estão alinhados com as projeções de crescimento da frota circulante do Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (EPE, 2017) e do programa RenovaBio. Em particular, há crescimento da participação de comerciais leves equipados com motores do ciclo diesel até 2020, o que está em linha com a crescente preferência por esse tipo de motor no mercado consumidor brasileiro (ANFAVEA, 2018).

Além disso, a evolução da frota está diretamente relacionada com as projeções da atividade de transporte, com diferenças sutis entre os cenários. No caso do transporte de passageiros, considera-se nas projeções a variação do PIB per capita, enquanto o transporte de carga segue a evolução do PIB (Gonçalves e D'Agosto, 2017).

A divisão modal para o transporte de carga é baseada no cenário econômico do Plano Nacional de Logística – PNL (EPL, 2018). A divisão modal do transporte de passageiros foi conduzida a partir das obras remanescentes do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e do Programa Avançar (EPL, 2018), adotando prazos de execução distintos em cada cenário.

Nos cenários NDC e NDC+, há uma maior captação de passageiros para o transporte público urbano em decorrência de políticas de integração no transporte urbano de passageiros e da qualificação da frota de ônibus, o que se reflete em uma maior taxa de ocupação dos veículos.

Estes cenários também consideram a captura de demanda de passageiros do transporte por ônibus rodoviário pelo transporte aéreo. Adicionalmente, consideram o aumento da quilometragem de faixas exclusivas de ônibus (implantação e uso) como forma de induzir a demanda por passageiros para o transporte coletivo.

Ainda sobre os cenários NDC e NDC+, considerou-se a ampliação do transporte marítimo de cabotagem devido a políticas públicas que estimulam a sua competitividade (p. ex. reduzindo o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS – incidente sobre o óleo combustível). Apesar disso, não são consideradas expansões significativas na infraestrutura de portos e hidrovias (navegação interior).

Em linhas gerais, há mais incentivos nestes cenários para a utilização de modos com menor intensidade de carbono por unidade de energia (tC/TJ) e intensidade de energia (MJ/t-km ou MJ/pass-km). Com isso, as participações dos transportes aquático (especialmente marítimo de cabotagem) e ferroviário (por aumento da capacidade das linhas) na divisão modal do transporte são maiores.

Os três cenários consideram o crescimento tendencial da eficiência energética para automóveis e veículos pesados (carga e passageiros). No entanto, os cenários NDC e NDC+ são mais incisivos no ganho adicional oriundo do melhoramento da eficiência logística. Isto se deve à adoção de programas de incentivo à sustentabilidade no transporte de carga e na mobilidade urbana.

O caderno técnico “Eficiência Energética da Mobilidade Urbana - EEMU” para transporte de passageiros é implementado para introduzir e reportar os impactos das ações de gestão da mobilidade urbana pelos municípios brasileiros a partir de 2025. Assim, há ganhos em eficiência energética para o transporte público (micro-ônibus e ônibus) e aumento da sua participação na divisão modal, bem como do transporte ativo. Tais efeitos capturam demanda do transporte individual de passageiros.

Ademais, os cenários NDC e NDC+ apresentam ganhos efetivos de eficiência energética pelo programa Rota 2030. No cenário NDC+, há maior participação de veículos híbridos gasolina-elétrico e elétricos a partir de 2025, em linha com a tendência global em direção à eletrificação, deixando de ser um nicho no mercado. Assim, há incentivos à revenda e produção de veículos elétricos leves e pesados, exceto no caso das baterias.

Esse fenômeno torna mais agressivo o sucateamento de automóveis e comerciais leves, reduzindo a idade média da frota em decorrência de parcerias entre montadoras e revendedores para o sucateamento imediato de veículos antigos na adesão de linhas de crédito para a aquisição de novos veículos.

Além disso, o cenário NDC+ apresenta uma participação efetiva do segmento de compartilhamento de viagens como *ride hailing*, *ride sharing*, e *car sharing*, sobretudo com veículos elétricos.

Quanto ao uso de biocombustíveis, o programa RenovaBio induz a produção de etanol, atingindo os cenários de baixo e médio crescimento do estudo de Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto: 2018-2030 (EPE, 2018), o que representa 42 bilhões de litros (cenário NDC) e 47 bilhões de litros (cenário NDC+), respectivamente.

As misturas de biodiesel no diesel mineral até 2030 são de: 10% no cenário BAU; 15% no cenário NDC; e 20% no cenário NDC+. No cenário NDC+, considera-se o consumo de bioquerosene no transporte aéreo, iniciando em 2017 com a mistura de 1%.

Resultados

Esta seção apresenta as emissões projetadas para cada cenário, de acordo com os pressupostos de cada cenário.

Os resultados apontam para um crescimento de 34% para veículos leves de passageiros em 2030 (80,5 milhões), porém, o cenário NDC+ apresenta menor intensidade de uso devido a qualificação do transporte por ônibus. Para a categoria ônibus, tem-se crescimento de 28% no cenário BAU (490 mil), 32% no cenário NDC (507 mil) e 36% no cenário NDC+ (523 mil). Por fim, os caminhões apresentam crescimento de 17% no cenário BAU (2,2 milhões), 13% no cenário NDC (2,2 milhões) e 7% no cenário NDC+ (2 milhões). Justifica-se a redução do crescimento da frota de caminhões com o balanceamento da matriz de transportes para os modos ferroviário e aquático.

As implicações ambientais das mudanças nos padrões de transporte de carga, juntamente com todas as hipóteses, são observadas no uso de energia. Isso se deve à migração para modos mais eficientes e a melhorias gerais na eficiência energética após a aplicação de todas as ações de mitigação, notadamente no cenário NDC+.

A Tabela 8 apresenta os resultados de uso de energia do setor de transportes.

TABELA 8. Uso de energia desagregado por modo de transporte (10⁶tep)

ANO	BAU							NDC							NDC+						
	Dutoviário	Ferrovário	Rodoviário	Aéreo	Aquático	Total	% Renováveis	Dutoviário	Ferrovário	Rodoviário	Aéreo	Aquático	Total	% Renováveis	Dutoviário	Ferrovário	Rodoviário	Aéreo	Aquático	Total	% Renováveis
2005	0,2	1	48	3	1	53	14%	0,2	1	48	3	1	53	14%	0,2	1	48	3	1	53	14%
2018	0,1	1	78	3	1	84	23%	0,1	1	78	3	1	69	23%	0,1	1	78	3	1	84	23%
2021	0,1	1	80	4	1	87	24%	0,1	1	79	4	1	86	24%	0,1	1	78	4	1	85	25%
2025	0,1	2	86	4	1	93	23%	0,1	2	83	4	1	90	25%	0,1	2	78	4	2	85	29%
2030	0,1	2	95	4	2	103	23%	0,1	2	88	4	2	96	28%	0,1	2	78	4	2	86	38%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em 2018, o diesel mineral representava 44% do consumo de energia do setor de transportes brasileiro. Participação que permanece nos cenários BAU e NDC. No entanto, até 2030, a participação do diesel atinge 40% no cenário NDC+.

Apesar da tendência internacional de eletrificação (BP, 2018; Bunsen *et al.*, 2018), esse tipo de energia é representativo apenas no cenário NDC+, com 1,2% de participação, o que está de acordo com o cenário “Resto do Mundo” do Global EV Outlook 2018 (Bunsen *et al.*, 2018).

O padrão de consumo energético nacional é refletido nas emissões de GEE. A Tabela 9 apresenta os níveis de emissão de CO_{2e} por modo e absoluto. O estudo parte da premissa de que o modo dutoviário demanda apenas energia elétrica. Como este trabalho só modela o uso final de energia, considera-se uma fonte limpa de emissões.

TABELA 9. Emissões de CO_{2e} (em Mt) do setor de transportes.

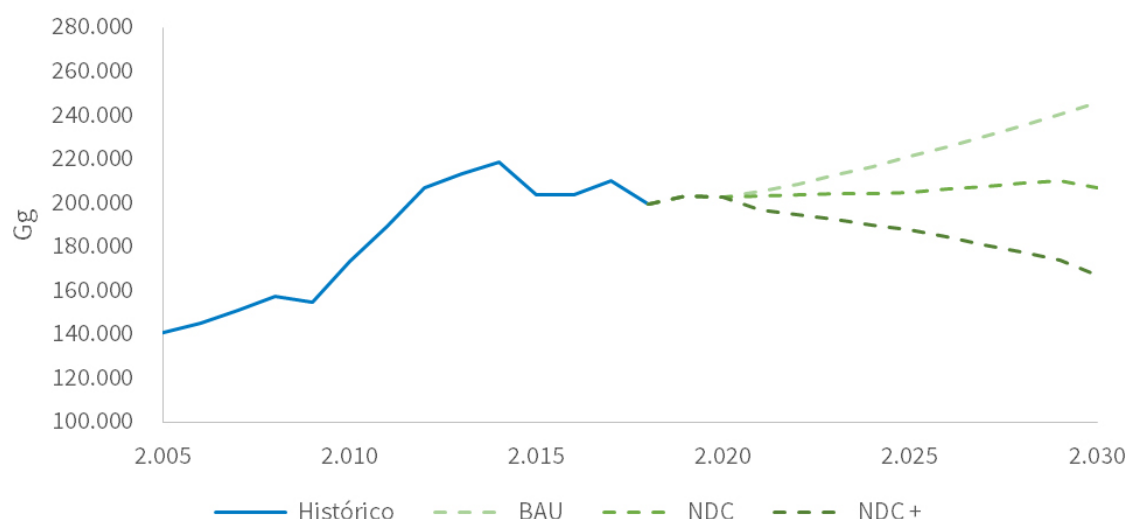
ANO	BAU					NDC					NDC+				
	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Total
2005	127	3	8	4	141	127	3	8	4	141	127	3	8	4	141
2018	182	3	10	3	199	182	3	10	3	199	182	3	10	3	199
2021	187	3	12	3	205	184	3	12	4	203	178	3	12	4	197
2025	201	4	13	4	222	184	4	12	5	205	166	4	12	5	188
2030	223	4	14	5	246	184	4	13	5	207	144	4	13	6	167

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: No Brasil, o transporte por dutos consome eletricidade, não emitindo carbono no seu uso final.

A trajetória futura das emissões de CO_{2e} é evidenciada na Figura 23. Nota-se que somente no cenário NDC+ há abatimentos de emissões em relação ao último ano da série histórica (2018).

FIGURA 23. Emissões de CO_{2e} do setor de transportes – cenários prospectivos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados das emissões desagregadas por tipo de atividade (Tabela 10), mostram que o transporte de carga alcança o transporte de passageiros na projeção das emissões no cenário NDC+, atingindo 50,4% do total emitido pelo setor. Como comparação, no último ano (2018) sua participação é de 47% do total.

A maior mitigação das emissões do transporte de passageiros pode ser explicada pelo aumento da utilização de biocombustíveis. Nesse tocante, o aumento da escolha por etanol no mercado consumidor formado por veículos *flexible-fuel* acarreta abatimentos significativos das emissões.

TABELA 10. Atividade do setor de transportes – passageiros e carga

ANO	BAU		NDC		NDC+	
	PASSAGEIROS	CARGA	PASSAGEIROS	CARGA	PASSAGEIROS	CARGA
2005	68	73	68	73	68	73
2010	86	87	86	87	86	87
2015	106	98	106	98	106	98
2018	106	94	106	94	106	94
2021	109	96	109	95	106	91
2025	118	103	110	95	101	87
2030	131	115	107	100	83	84

Fonte: Elaborado pelos autores.

A atividade de transporte de carga projetada para todos os cenários variou cerca de 105% ao longo da série histórica (2005 a 2030), a uma taxa de crescimento anual de 2,9%. Por outro lado, a atividade do transporte de passageiros variou aproximadamente 125%, a uma taxa de 3,4% ao ano.

Em relação a divisão modal do transporte de carga, o transporte rodoviário responde pela maior parte do transporte de carga nacional, 58% em 2005 e 24% em 2018, com projeção para 52% até 2030 (cenário BAU). Sua representatividade é menor no cenário NDC+, representando 47% em 2030, reflexo da maior atividade de transporte para os modos ferroviário e aquático, que atinge em 2030, 637 bilhões de t-km e 365 bilhões de t-km, respectivamente.

No caso do transporte de passageiros, 90% da divisão modal estará concentrada no modo rodoviário até 2030 (cenários BAU e NDC). Essa situação permanece praticamente inalterada no cenário NDC+.

6. Conclusões e implicações políticas

Este estudo teve como objetivo estabelecer cenários de uso de energia e emissões de GEE para o setor de transportes para o Brasil até 2030, visando cenários de atingimento da NDC.

Um método robusto foi empregado para delinear a linha de base e projetá-la em três cenários prospectivos. Duas abordagens fundamentais foram utilizadas: (i) ASIF, para transporte ferroviário, aéreo, dutoviário e aquático; (ii) *bottom-up*, para o transporte rodoviário; (iii) *top-down* para verificação dos resultados.

As projeções consideraram dados econômicos como variáveis proxy para simular o crescimento da atividade de transporte até 2030. Um conjunto de ações de mitigação e premissas para o setor de transporte brasileiro foram identificadas e discutidas por especialistas do setor em reuniões realizadas na forma de *Workshops*.

Este estudo se caracteriza por uma série de inovações, desde a modelagem dos modos até a revisão de coeficientes de funções. Na visão macro, conduz-se a modelagem de todos os modos de transporte. Defende-se que esta deve ser uma característica fundamental de modelos para cenários prospectivos, uma vez que os modos de transporte sofrem interferências mútuas ao longo do tempo.

Mais além, novas estimativas para a frota circulante foram conduzidas por meio da utilização de informações sobre veículos adimplentes e inadimplentes com o seguro DPVAT (Apêndice A).

Outra inovação deste estudo foi a revisão do rendimento energético da categoria caminhões, cujos coeficientes variam anualmente durante o horizonte temporal do modelo (Apêndice B). Ademais, Todas as inovações foram validadas por especialistas do setor de transportes nacional (Apêndice E).

Por conseguinte, os resultados indicam que o Brasil pode estar em curso para uma matriz energética intensiva em biocombustíveis, com participações de 23%, 28% e 38% nos cenários BAU, NDC e NDC+, respectivamente.

Isso pode explicar por que a eletrificação não avança no setor de transporte brasileiro no ritmo dos principais *players* internacionais como China e Europa (Cazzola *et al.*, 2016). Até 2030, o cenário mais promissor espera uma participação de 6,2% dos veículos elétricos na frota, consumindo pouco mais de 1% do total de energia utilizada no transporte.

O prognóstico sobre o crescimento sustentável do país depende de qual modelo de desenvolvimento o governo pretende implantar. Embora, por enquanto, tenha demonstrado engajamento por políticas de uso intensivo de carbono, o que pode comprometer programas em andamento e compromissos ambientais.

Em uma visão ambiciosa, a partir de 2018 as emissões de GEE poderiam ser reduzidas em 16% (32.238 Gg CO_{2e}), obtidas no cenário NDC+. Por outro lado, há aumentos das emissões no cenário NDC (4%) e no cenário BAU (23%). Isso implica que o Brasil tem o potencial de atingir as metas de mitigação discutidas no Acordo de Paris da UNFCCC, mas depende de qual modelo seguir.

Como pretensões para futuros estudos, sugere-se a criação da categoria de caminhões extrapassados conforme dados de lotação média da ANTT. Adicionalmente, propõe-se a divisão dos automóveis em motorização, sendo: (i) 1.0 a 1.5; (ii) 1.6 a 2.0; e (iii) acima de 2.0.

Ademais, sugere-se modelar o consumo de GNV pela abordagem *bottom-up* e que as associações de fabricantes de veículos automotores (p. ex. ANFAVEA e ABRACICLO) especifiquem em seus dados de vendas os veículos elétricos e híbridos separadamente, tanto para veículos leves como pesados.

Como implicação para a comunidade, este estudo pode apoiar outras pesquisas de países com diferentes características e origens, beneficiando autoridades públicas no processo decisório de quando lançar políticas públicas para o desenvolvimento sustentável de longo prazo.

Referências

ABRACICLO. São Paulo. Disponível em: <http://www.abraciclo.com.br/dados-do-setor/38-motocicleta/80-vendas-varejo>, 2018. Acesso em 08/01/2019.

ACEA – European Automobile Manufacturers Association. Reducing CO2 from trucks: progress in practice Third-party assessment, 2017. Disponível em: < https://www.acea.be/uploads/publications/CO2_from_trucks-progress_in_practice.pdf>. Acesso em: 01/02/2019.

Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Edenhofer, O. (2014). IPCC fifth assessment synthesis report-climate change 2014 synthesis report.

An, Feng; Sauer, Amanda. Comparison of passenger vehicle fuel economy and greenhouse gas emission standards around the world. Pew Center on Global Climate Change, v. 25, 2004.

ANFAVEA. Available at: <http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>, 2018. Acesso em 08/01/2019.

Ashina, S., Fujino, J., Masui, T., Ehara, T., Hibino, G. A roadmap towards a low-carbon society in Japan using backcasting methodology: Feasible pathways for achieving an 80% reduction in CO2 emissions by 2050. Energy Policy, 41, pp. 584–598, 2012.

BP. (2018). Energy Outlook 2018. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>. Acesso em 08/01/2019.

Brasil, MMA — Ministério do Meio Ambiente. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 Ano base 2012 – Relatório Final, Brasília, 2014.

Brasil, MCT – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2016). Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. MCT, Brasília, DF, v. 2.

Brasil, MCT – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2017). Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 4ª edição, Brasília.

Cazzola, P., Gorner, M., Schuitmaker, R., & Maroney, E. (2016). Global EV outlook 2016. International Energy Agency, France.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2017). Emissões veiculares no estado de São Paulo - 2016. <https://doi.org/0103-4103>. Acesso em 01/01/2019

Dedinec, A., Markovska, N., Teseska, V., Duic, N., Kanenivce, G. Assessment of climate change mitigation potential of the Macedonian transport sector. Energy, 57, pp.177-187, 2013

Delgado, Oscar; Lutsey, Nic. The US SuperTruck program: Expediting the development of advanced heavy-duty vehicle efficiency technologies. The International Council on Clean Transportation ICCT, 2014.

Delgado, Oscar; Rodríguez, Felipe; Muncrief, Rachel. Fuel Efficiency Technology in European Heavy-Duty Vehicles: Baseline and Potential for the 2020–2030 Time Frame. communications, v. 49, n. 30, p. 847129-102, The International Council on Clean Transportation ICCT, 2017.

Denton, F., Wilbanks, T. J., Abeysinghe, A. C., Burton, I., Gao, Q., Lemos, M. C., ... & Warner, K.

- (2014). Climate-resilient pathways: adaptation, mitigation, and sustainable development. *Climate change*, 1101-1131.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Estudo Associado ao Plano Decenal de Energia - PDE 2021. Consolidação de Bases de Dados do Setor de Transporte: 1970-2010. Nota Técnica SDB-Abst 1/12012, Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2012.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional - 2018. Ano Base 2017, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2018.
- EPL - Empresa de Planejamento e Logística. PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA PNL – 2025. Disponível em: < <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>>. Acesso em 01/01/2019, 2019.
- Ephraums, J. J., & Jenkins, G. J. J. (1992). *Climate change 1992*. Cambridge University Press.
- FABUS - Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus. Carroçarias produzidas: acumulado - modelo 03 A – folha 01: mapa de produção de carroçarias – associadas: janeiro a dezembro de 2018. São Paulo, c2019. 1 quadro, color., PDF. 37,5KB. Disponível em: < <https://www.fabus.com.br/pdfs/2018-03A.pdf>>. Acesso em 01/01/2019.
- Gonçalves, D. N. S., Goes, G. V., Márcio de Almeida, D. A., & de Mello Bandeira, R. A. (2019). Energy use and emissions scenarios for transport to gauge progress toward national commitments. *Energy Policy*, 135, 110997.
- Gonçalves, d. N. S.; D'agosto, M. de A. Future prospective scenarios for the use of energy in transportation in Brazil and GHG emissions, Business as Usual (BAU) scenario – 2050, Final Report. 1ª ed, Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), Rio de Janeiro, 2017. Scenario Business as Usual (Bau) - 2050. Final Report. Publisher: Brazilian Institute of Sustainable Transport - IBTS. 2017.
- Han, J., Hayashi, Y. Assessment of private car stock and its environmental impacts in China from 2000 to 2020. *Transportation Research Part D*, 13, pp. 471–478, 2008.
- Jaber, J. O., Al-Ghandoor, A. M., Al-Hinti, I., Sawalha, S. A. Prediction of energy consumption of passenger transportation and GHG emissions in Jordan. *Int. J. Global Warming*, Vol. 4, No. 2, 2012.
- Kay, A., Noland, R. B., Rodier, C. J. Achieving reductions in greenhouse gases in the US road transportation sector. *Energy Policy*, 69, pp. 536–545, 2014.
- Klavs, G., R., J. Introduction of energy and climate mitigation policy issues in energy - environment model of Latvia. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 6, 2016.
- Liimatainen, H., Kallionpaa, E., Pollanen, M., Stenholm, P. Tapio, P., Mckinnon, A. Decarbonizing road freight in the future — Detailed scenarios of the carbon emissions of Finnish road freight transport in 2030 using a Delphi method approach. *Technological Forecasting & Social Change*, 81, pp. 177–191, 2014.
- Nogueira, E. M., Yanai, A. M., de Vasconcelos, S. S., de Alencastro Graça, P. M. L., & Fearnside, P. M. (2018). Carbon stocks and losses to deforestation in protected areas in Brazilian Amazonia. *Regional Environmental Change*, 18(1), 261-270.
- Nong, D., & Siriwardana, M. (2018). Effects on the US economy of its proposed withdrawal from the Paris Agreement: A quantitative assessment. *Energy*, 159, 621-629.
- NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Anuário. Disponível em: < <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636687203994198126.pdf>>. Acesso em 08/01/2019, 2018.
- Silva Junior, C., Aragão, L., Fonseca, M., Almeida, C., Vedovato, L., & Anderson, L. (2018). Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia. *Forests*, 9(6), 305.

Sousa-Neto, E. R., Gomes, L., Nascimento, N., Pacheco, F., & Ometto, J. P. (2018). Land use and land cover transition in Brazil and their effects on greenhouse gas emissions. In *Soil management and climate change* (pp. 309-321).

Stargardter, G., Boadle, A. Brazil farm lobby wins as Bolsonaro grabs control over indigenous lands. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-brazil-politics-agriculture/brazil-farm-lobby-wins-as-bolsonaro-grabs-control-over-indigenous-lands-idUSKCN1OW00S>. Acesso em 08/01/2019.

TCU – Tribunal de Contas da União. Relatório de Avaliação de Programa Manutenção de Hidrovias. Brasília, 2016.

Trail, M. A., Tsimpidi, A. P., Liu, P., Tsigaridis, K., Hu, Y., Rudokas, J. R., Miller, P. J., Nenes, A., Russell, A. G. Impacts of Potential CO₂-Reduction Policies on Air Quality in the United States. *Environmental Science & Technology*. 2015.

Urpelainen, J., & Van de Graaf, T. (2018). United States non-cooperation and the Paris agreement. *Climate Policy*, 18(7), 839-851.

Vieweg, M. (2017). Bottom-up GHG Inventory and MRV of Measures. Disponível em: http://transferproject.org/wp-content/uploads/2017/05/Transport-GHG-Inventory-and-MRV-of-measures_Paper_Vieweg_2017.pdf. Acesso em 08/01/2019.

Apêndice A – Revisão da função de sucateamento de veículos

Conforme exposto na Seção 2, a necessidade de revisão dos coeficientes de calibração das funções de sucateamento da frota do transporte rodoviário surgiu durante o processo de desenvolvimento do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa para o subsetor queima de combustíveis fósseis.

Nessa linha, instituições-chave como Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Seguradora Líder e Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS) e Secretaria de Mobilidade Urbana (Semob) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) foram mobilizadas para discutir o modelo e fornecer dados reais de veículos em circulação.

Como resultado das reuniões, optou-se pela utilização dos dados de veículos adimplentes e inadimplentes com o seguro de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres (DPVAT) como estratégia de ajuste dos coeficientes das funções de sucateamento estabelecidas para a realidade brasileira. A Superintendência de Seguros Privados (SUSEP), autarquia federal vinculada ao Ministério da Fazenda, forneceu os dados para a condução do estudo.

Os relatórios Brasil (2014) e Brasil (2016), desenvolvidos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e MCTIC, foram utilizados como referência na análise comparativa. Ressalta-se que as funções de sucateamento destes estudos foram calibradas a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 1988 (Brasil, 2014).

Além disso, dependem do tipo de tecnologia de veículo, sendo: (1) Gompertz para comerciais leves, motocicletas e automóveis com motores do ciclo Otto; (2) Logística para veículos equipados com motores do ciclo Diesel (Brasil, 2011; Brasil, 2014; Gonçalves e D'Agosto, 2017; CETESB, 2018).

Para efeito deste estudo, parte-se da premissa que ambas as funções representam o comportamento da vida útil de veículos equipados com motores do ciclo Diesel e Otto. Portanto, não foi considerada a proposição de novas funções de sucateamento, somente o refinamento dos seus coeficientes com base em dados indicativos e pontuais (no caso, o seguro DPVAT) da frota circulante.

Isto posto, a Tabela 11 apresenta as funções de sucateamento de veículos para a categoria transporte rodoviário, cujos coeficientes serão revisados.

TABELA 11. Funções de sucateamento – transporte rodoviário

DESCRIÇÃO	FUNÇÕES	FONTE
Equação 5	Gompertz	$S_{a,v_{md,k}} = \exp \{ - \exp [a + (b \cdot t)] \}$
Equação 6	Logística	$S_{a,v_{md,k}} = \frac{1}{\{ 1 + \exp [a(t - t_o)] \}} + \frac{1}{\{ 1 + \exp [a(t - t_n)] \}}$

Fonte: Brasil (2014) e Brasil (2016).

Em que,

$S_{a,v_{md,k}}$: fração de veículos sucateada na idade t ;

t : idade do veículo;

a : coeficiente de calibração;

b : coeficiente de calibração.

Nos estudos de referência, os valores de (a) e (b) da função Gompertz são 1,798 e -0,137. No caso da função Logística, os coeficientes (t_o) e (a) são: 17,0 e 0,10 para a categoria caminhões e 15,3 e 0,17 para a categoria comerciais leves equipados com motores do ciclo Diesel.

Nesse contexto, conduziu-se uma análise de sensibilidade para atualizar a frota circulante a partir do ajuste dos coeficientes (a) e (b) para veículos leves e (a) para veículos pesados, utilizando os veículos adimplentes e inadimplentes com o seguro DPVAT como referência.

O ajuste considerou parâmetros/intervalos identificados na literatura de intensidade de uso e ocupação/lotação média por categoria de veículo para assegurar a consistência das estimativas.

Como valores de referência para a intensidade de uso, utilizou-se o estudo Brasil (2014). No caso da lotação e ocupação média por categoria de veículo, utilizou-se dados dos estudos da NTU e ANTP.

Como resultado, a Tabela 12 mostra os coeficientes ajustados, bem como os de referência.

TABELA 12. Coeficientes ajustados – categorias

DESCRIÇÃO	FUNÇÕES	VALORES DE REFERÊNCIA	VALORES AJUSTADOS COM DPVAT
Automóveis e Comerciais leves (Ciclo Otto)	Gompertz	1,798 (a) e -0,137 (b)	1,798 (a) e -0,096 (b)
Caminhões	Logística	17,0 (t_o) e 0,10 (a)	19,1 (t_o) e 0,08 (a)
Comerciais leves – ciclo Diesel	Logística	15,3 (t_o) e 0,17 (a)	17,0 (t_o) e 0,17 (a)

Fonte: Autores, a partir de Brasil (2014).

Nota: Foram mantidos os coeficientes de calibração da categoria ônibus.

Este ajuste representa um acréscimo de 3,3% na frota circulante em relação à estimativa com os coeficientes anteriores no ano-base (2018), ou seja, uma mudança de 58 milhões para 60 milhões de veículos.

No caso das motocicletas (Tabela 13), o ajuste fino dos coeficientes considerou dois períodos: menor ou igual a 4 anos; e acima de 4 anos. Esta divisão está em linha com o estudo de Gonçalves e D'Agosto (2017), que subdivide o sucateamento de motos em novas e seminovas.

TABELA 13. Coeficientes ajustados para motocicletas

DESCRIÇÃO	FUNÇÕES	VALORES DE REFERÊNCIA
Motocicletas	Até 4 anos	0,15 (a) e -0,175 (b)
Motocicletas	Acima de 4 anos	0,80 (a) e -0,093 (b)

Fonte: Elaborado pelos autores Fonte.

Apêndice B – Revisão do rendimento energético da categoria caminhões

Aqui se apresenta o resultado do estudo de revisão do rendimento energético da categoria caminhões para o transporte rodoviário de carga.

Usualmente, os inventários nacionais referenciam os valores contidos nos estudos Brasil (2014) e nas séries de relatórios de emissões veiculares da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017).

A Tabela 14 mostra os valores de referência utilizados para avaliação neste estudo (BRASIL, 2014). As variáveis de rendimento energético informadas nos relatórios da CETESB também são alinhadas com esses dados.

No estudo, o consumo específico dos motores (g/kWh) é baseado em ensaios de motores realizados pela Mercedes-Benz, obtidos pela ANFAVEA até o ano de 2010, enquanto os anos futuros são homologados pela CETESB e Proconve. Além disso, o rendimento energético é baseado em informações levantadas pela ANFAVEA e Petrobrás (BRASIL, 2014).

TABELA 14. Rendimento energético de referência

CAMINHÕES	CONSUMO ESPECÍFICO (l/100km)	RENDIMENTO ENERGÉTICO (km/l)
Semileves	11,0	9,1
Leves	18,0	5,6
Médios	18,0	5,6
Semipesados	29,0	3,4
Pesados	29,0	3,4

Fonte: Brasil (2014).

As considerações preliminares apontam que:

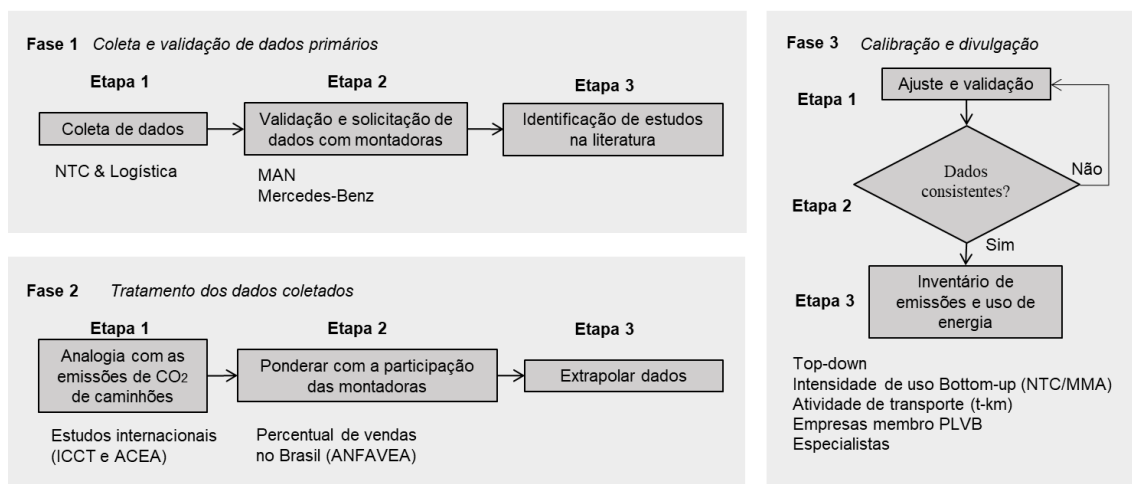
- No 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2014), as variáveis de rendimento energético são as mesmas para as categorias de caminhões leves/médios e semipesados/pesados;
- Não há variações de eficiência ao longo da série histórica (1957 a 2012);
- Considerando dado o rendimento energético dos caminhões, são necessários ajustes na intensidade de uso e lotação média para compatibilizar a abordagem *bottom-up* com a *top-down*.

Assim, o intuito deste estudo é reduzir as incertezas associadas à elaboração de inventários nacionais do modo rodoviário, uma vez que quanto maior a consistência das estimativas de rendimento energético dos veículos automotores, menor os ajustes na intensidade de uso e ocupação média dos veículos.

Para isso, desenvolveu-se um procedimento para coletar variáveis de rendimento energético e avaliar a sua consistência a partir de estimativas de atividade, consulta a especialistas, além de valores de referência na literatura sobre rendimento energético e fatores de emissão de CO₂.

O procedimento de avaliação, ilustrado na Figura 24, considera três fases: (1) coleta e validação dos dados; (2) tratamento dos dados coletados e (3) calibração e divulgação dos resultados.

FIGURA 24. Procedimento para revisão dos coeficientes de rendimento energético



Legenda: ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores; NTC e logística – Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística; MAN – Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg; ICCT – International Council on Clean Transportation; ACEA – European Automobile Manufacturers' Association

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Fase 1 engloba o protocolo de coleta de dados, validação com montadoras que operam em território nacional e identificação de estudos de referência na literatura.

Os dados de rendimento energético da categoria caminhões foram coletados na base de dados da Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística (NTC & Logística). Posteriormente, uma validação preliminar dos dados coletados foi realizada com montadoras de chassis (MAN e Mercedes-Benz).

A última atividade da Fase 1 se caracteriza pela identificação de estudos na literatura para selecionar variáveis de rendimento energético de referência por tipo de caminhão e montadora (operando no país) (Delgado *et al.*, 2017).

Na Fase 2, de tratamento dos dados coletados, fez-se a extrapolação linear das informações para suplementar lacunas e melhorar a consistência das informações em anos específicos. Optou-se por utilizar as emissões de CO₂, visto a correlação entre a sua emissão e a eficiência da queima de combustível derivado do petróleo (AN & SAUER, 2004; ACEA, 2017).

O protocolo de extrapolação considerou quais foram as melhorias em mitigação das emissões de CO₂ para a categoria caminhões, por montadora, ao longo de uma série histórica entre os anos de 1996 e 2016. Assim, ponderou-se os ganhos em eficiência pela participação nas vendas das principais montadoras que atuam no Brasil, utilizando os dados da ANFAVEA (2018) como referência.

A Fase 3 representa a validação e a calibração/ajustes dos resultados extrapolados. Calculou-se as estimativas de consumo energético utilizando as abordagens *top-down* e *bottom-up*, expostas na Seção 2, verificando quais foram os ajustes necessários na intensidade de uso antes e após a alteração do rendimento energético dos caminhões.

Por fim, verificou-se como se comporta a lotação média dos caminhões, considerando percursos em que percorre vazio, antes e depois da alteração do rendimento energético comparando os resultados com estimativas a partir de dados de estudos de referência de Brasil (2014) e dos dados da NTC & Logística. Esta etapa é evidenciada na Tabela 15.

TABELA 15. Estimativa da lotação média de cada estudo

LOTAÇÃO MÉDIA (TONELADAS/VEÍCULO)					
ESTUDOS	SEMILEVE	LEVE	MÉDIO	SEMIPESSADO	PESADO
Brasil (2014)	0,5	1,0	2,0	8,0	10,5
Revisado	0,7	1,3	4,1	9,7	12,8
Intervalo da literatura	0,4 - 1,2	1,2 - 2	2,5 - 4,5	9,7 - 14,6	11,5 - 18,5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores de rendimento energético atualizados foram validados por especialistas no IV Workshop Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes (IV WCPUET), realizado em 27/03/2019, sendo o quarto e o mais recente de uma série de eventos sobre o tema, com a participação de diversas instituições de referência do setor. Os objetivos e resultados do evento são expostos no Apêndice E.

A Tabela 16 mostra os rendimentos energéticos ajustados para todos os tipos de caminhões e sua comparação com aqueles do estudo Brasil (2014). Observa-se que os valores ajustados variam anualmente e por tipo de caminhão e representam uma frota circulante composta por veículos menos eficientes do que no estudo usualmente considerado como referência.

TABELA 16. Evolução do rendimento energético dos caminhões por tipo (km/l)

ANO	BRASIL (2014)					REVISADO				
	SEMILEVE	LEVE	MÉDIO	SEMIPESADO	PESADO	SEMILEVE	LEVE	MÉDIO	SEMIPESADO	PESADO
1957	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,59	3,21	2,18	1,95	1,32
1958	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,65	3,25	2,21	1,97	1,34
1959	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,70	3,29	2,23	2,00	1,35
1960	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,76	3,33	2,26	2,02	1,37
1961	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,82	3,37	2,29	2,05	1,38
1962	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,88	3,41	2,32	2,07	1,40
1963	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,94	3,45	2,34	2,10	1,42
1964	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	4,99	3,50	2,37	2,12	1,44
1965	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,06	3,54	2,40	2,15	1,45
1966	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,12	3,58	2,43	2,17	1,47
1967	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,18	3,63	2,46	2,20	1,49
1968	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,24	3,67	2,49	2,23	1,51
1969	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,31	3,71	2,52	2,26	1,53
1970	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,37	3,76	2,55	2,28	1,54
1971	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,44	3,80	2,58	2,31	1,56
1972	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,50	3,85	2,61	2,34	1,58
1973	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,57	3,90	2,65	2,37	1,60
1974	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,64	3,95	2,68	2,40	1,62
1975	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,70	3,99	2,71	2,42	1,64
1976	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,77	4,04	2,74	2,45	1,66
1977	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,84	4,09	2,78	2,48	1,68
1978	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,92	4,14	2,81	2,51	1,70
1979	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	5,99	4,19	2,84	2,54	1,72
1980	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,06	4,24	2,88	2,58	1,74
1981	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,13	4,29	2,91	2,61	1,76
1982	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,21	4,35	2,95	2,64	1,78
1983	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,28	4,40	2,98	2,67	1,81
1984	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,36	4,45	3,02	2,70	1,83
1985	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,44	4,51	3,06	2,74	1,85
1986	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,52	4,56	3,09	2,77	1,87
1987	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,59	4,62	3,13	2,80	1,90
1988	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,67	4,67	3,17	2,84	1,92
1989	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,76	4,73	3,21	2,87	1,94
1990	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1991	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1992	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1993	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1994	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1995	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1996	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,84	4,79	3,25	2,91	1,97
1997	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	6,92	4,84	3,29	2,94	1,99
1998	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,00	4,90	3,33	2,98	2,01
1999	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,09	4,96	3,37	3,01	2,04
2000	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,18	5,02	3,41	3,05	2,06
2001	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,26	5,08	3,45	3,09	2,09
2002	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,35	5,15	3,49	3,12	2,11
2003	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,44	5,21	3,53	3,16	2,14
2004	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,53	5,27	3,58	3,20	2,17
2005	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,62	5,34	3,62	3,24	2,19
2006	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,72	5,40	3,66	3,28	2,22
2007	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,81	5,47	3,71	3,32	2,25
2008	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	7,90	5,53	3,75	3,36	2,27
2009	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,00	5,60	3,80	3,40	2,30
2010	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,10	5,67	3,85	3,44	2,33
2011	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,19	5,74	3,89	3,48	2,36
2012	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,29	5,80	3,94	3,52	2,38
2013	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,39	5,87	3,98	3,57	2,41
2014	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,49	5,94	4,03	3,61	2,44
2015	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,59	6,01	4,08	3,65	2,47
2016	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,69	6,08	4,13	3,69	2,50
2017	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,79	6,15	4,18	3,74	2,53
2018	9,10	5,60	5,60	3,40	3,36	8,89	6,22	4,25	3,79	2,56

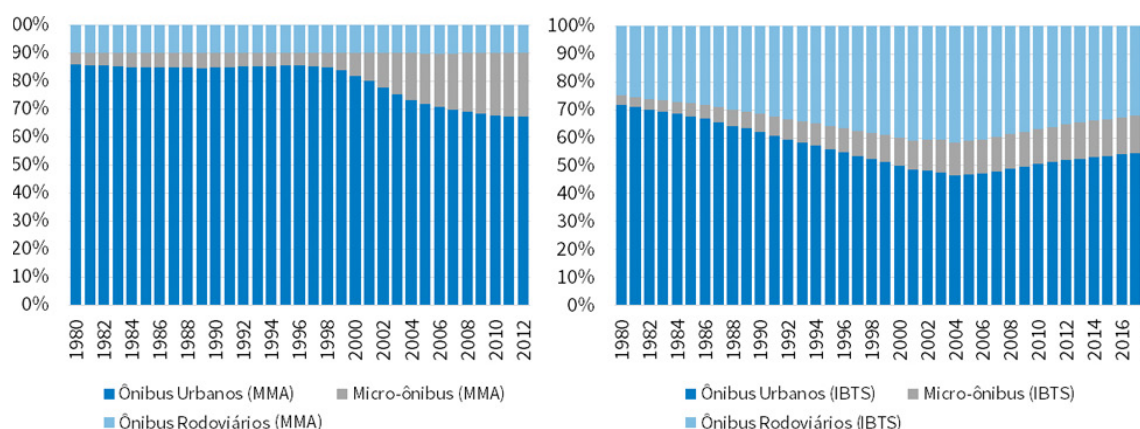
Apêndice C – Revisão do rendimento energético, intensidade de uso e distribuição por categoria ônibus

Assim como na revisão de rendimento energético da categoria caminhões (Apêndice B), foi conduzida a revisão do rendimento energético e da intensidade de uso da categoria ônibus. Neste relatório, a classificação histórica das vendas em ônibus em micro, urbano e rodoviário foi ajustada com base nos dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus (FABUS, 2019) e NTU (2018), em conjunto com os dados de licenciamento da ANFAVEA, visto que os seus relatórios separam os ônibus apenas em urbanos e rodoviários.

Para ajuste da proporção, ponderou-se a presença de ônibus do tipo Midi (39 assentos), intermediário entre o micro e o urbano convencional, em centros urbanos brasileiros. Isso se deve à tendência de adoção desse tipo de ônibus no mercado nacional.

O resultado desse ajuste é exposto na Figura 25, em que compara a proporção da frota de ônibus entre os estudos do Brasil (2014) e IBTS.

FIGURA 25. Frota circulante da categoria ônibus entre os dois estudos analisados



O procedimento utilizado para revisão do rendimento energético é semelhante ao exposto na Figura 24. Os dados são ajustados a partir de dados de montadoras, operadoras de transporte de passageiros por ônibus, prefeituras, governos estaduais e relatórios de referência. Até 2012, os valores permanecem conforme o estudo Brasil (2014). A Tabela 17 apresenta os valores ajustados entre os anos de 2013 e 2018.

TABELA 17. Rendimento energético ajustado para a categoria ônibus

ANO	MICRO-ÔNIBUS	ÔNIBUS URBANO	ÔNIBUS RODOVIÁRIO	ÔNIBUS HÍBRIDO
Até 2012	Brasil (2014)			
2013	3,68	2,23	3,03	2,30
2014	3,57	2,21	3,03	2,31
2015	3,45	2,24	3,03	2,31
2016	3,33	2,23	3,03	2,32
2017	3,22	2,20	3,03	2,32
2018	3,10	2,20	3,03	2,33

Ao calibrar os novos dados de uso de energia da categoria ônibus pela abordagem *bottom-up* com a abordagem *top-down*, foi necessária a adequação da intensidade de uso de referência dessa categoria (Tabela 18).

Os novos valores de intensidade de uso indicam uma base anual de 77.658 km para ônibus urbanos e micro, além de 118.094 km para ônibus rodoviários. Esses valores estão em linha com NTU (2018) e com o Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico (EPE).

Tabela 18. Nova intensidade de uso de referência para a categoria ônibus

MICRO-ÔNIBUS		ÔNIBUS URBANO		ÔNIBUS RODOVIÁRIO	
IDADE	km/ANO	IDADE	km/ANO	IDADE	km/ANO
25	2.721	25	2.721	25	68.150
24	5.718	24	5.718	24	70.147
23	8.715	23	8.715	23	72.145
22	11.713	22	11.713	22	74.143
21	14.710	21	14.710	21	76.141
20	17.708	20	17.708	20	78.138
19	20.706	19	20.706	19	80.136
18	23.703	18	23.703	18	82.134
17	26.701	17	26.701	17	84.132
16	29.698	16	29.698	16	86.129
15	32.695	15	32.695	15	88.127
14	35.693	14	35.693	14	90.125
13	38.691	13	38.691	13	92.122
12	41.688	12	41.688	12	94.120
11	44.686	11	44.686	11	96.118
10	47.683	10	77.658	10	98.116
9	50.680	9	77.658	9	100.113
8	53.678	8	77.658	8	102.111
7	77.658	7	77.658	7	104.109
6	77.658	6	77.658	6	106.107
5	77.658	5	77.658	5	108.104
4	77.658	4	77.658	4	110.102
3	77.658	3	77.658	3	112.100
2	77.658	2	77.658	2	114.098
1	77.658	1	77.658	1	116.095
0	38.829	0	38.829	0	59.047

Apêndice D – Estimativa das emissões do setor de transportes

TABELA 19. Emissões por cenário e modo (em Gg CO_{2e})

ANO	BAU				NDC				NDC+			
	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático
2017	193.974	3.216	10.054	3.160	193.974	3.216	10.054	3.160	193.974	3.216	10.054	3.160
2018	182.422	3.249	10.324	3.294	182.422	3.249	10.324	3.294	182.422	3.249	10.324	3.294
2019	184.522	3.237	11.265	4.267	184.522	3.237	11.265	4.267	184.522	3.237	11.265	4.267
2020	183.677	3.234	11.649	4.237	183.677	3.234	11.649	4.237	183.677	3.234	11.649	4.237
2021	186.605	3.398	11.820	3.418	183.830	3.408	11.809	4.328	177.516	3.360	11.784	4.424
2022	189.648	3.500	11.998	3.580	184.171	3.499	11.973	4.363	175.006	3.453	11.924	4.548
2023	193.044	3.602	12.181	3.747	184.064	3.586	12.141	4.461	172.093	3.542	12.069	4.735
2024	196.682	3.702	12.370	3.920	183.851	3.668	12.313	4.637	169.112	3.627	12.219	5.002
2025	201.057	3.803	12.567	4.100	183.904	3.788	12.489	4.885	166.405	3.750	12.373	5.350
2026	204.949	3.902	12.747	4.248	184.865	3.871	12.736	4.885	162.637	3.860	12.511	5.446
2027	209.096	4.001	12.934	4.402	185.773	3.951	12.863	4.964	158.800	3.967	12.535	5.625
2028	213.495	4.099	13.126	4.561	186.732	4.025	13.111	4.980	154.985	4.069	12.680	5.727
2029	218.081	4.196	13.325	4.726	187.552	4.148	13.360	5.074	151.034	4.220	12.829	5.916
2030	223.094	4.293	13.530	4.897	184.187	4.262	13.485	5.103	143.800	4.364	12.861	6.025

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: No Brasil, o transporte por dutos consome eletricidade, não emitindo carbono no seu uso final.

Apêndice E – Workshops conduzidos

Em 27 de março de 2019, foi realizado o “IV Workshop Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes” (IV WCPUET) na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) com a presença de 32 especialistas e um público total de 40 pessoas. O evento contou com representantes de grandes empresas, Governo Federal e Estadual, academia e sociedade civil.

O objetivo foi apresentar o cenário atual (atividade, uso de energia e emissões de GEE) do setor de transporte e analisar medidas de mitigação necessárias ao cumprimento do compromisso brasileiro junto ao Acordo de Paris.

Trata-se do quarto de uma sequência de eventos que estabelece uma rotina anual de discussão sobre o principal desafio da sociedade para o século XXI: aplicar o conceito de sustentabilidade ao uso de energia para os transportes. Os eventos passados contribuíram para aperfeiçoamentos do método e das premissas consideradas nos cenários projetados a partir de consultas aos *stakeholders*.

Na ocasião do IV WCPUET, foram tratados os possíveis caminhos do setor de transportes que auxiliarão no atendimento da NDC.

Além disso, ratificou-se com especialistas: (i) o ajuste nos rendimentos energéticos do transporte rodoviário na categoria caminhões; (ii) o ajuste nos coeficientes de calibração das funções de sucateamento do transporte rodoviário; (iii) a desagregação de inventários nacionais e (iv) as opções de mitigação e níveis de ambição para indicadores do setor até o ano de 2030.

Dentre as empresas participantes que atuam direta ou indiretamente no setor de transportes, destacam-se: Netz Engenharia Automotiva, Petrobrás e Scania.

O Governo Federal esteve presente por meio da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Agência Nacional de Transportes (ANTT), do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). O Governo Estadual esteve presente por meio de representantes do Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

A academia foi representada pelos Programas de Engenharia de Transportes (PET), Engenharia de Produção (PEP) e Planejamento Energético (PPE) da COPPE/UFRJ, pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia (IME) e pelo Laboratório de Transportes (Lastran) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Representantes da GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*), *Greenpeace*, ITDP (*Institute for Transportation and Development Policy*) e do SEST/SENAT (Serviço Social do Transporte/Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte) também compareceram ao evento.

Como resultado, os novos rendimentos energéticos da categoria caminhões foram ratificados, sendo proposta para futuras edições a readequação das subcategorias de caminhões. Especificamente, propôs-se a incorporação da categoria semipesados à categoria pesados, além da criação da categoria extrapesados conforme dados de lotação média da ANTT.

Adicionalmente, propôs-se a divisão dos automóveis em motorização ou porte. Nessa linha, este grupo de pesquisa defende a utilização da motorização em: (i) 1.0 a 1.6; (ii) 1.6 a 2.0; e (iii) acima de 2.0.

Houve consenso sobre a melhoria da acurácia da frota circulante ao utilizar dados do DPVAT para calibrar os coeficientes das funções Gompertz e Logística, bem como dos indicadores de mitigação para atendimento da NDC.

A Tabela 20 mostra a série de eventos realizados pelo grupo de pesquisa que incorporaram melhorias metodológicas e de consistência de dados aos modelos de estimativas de uso de energia e emissões do setor de transportes desenvolvidos até a presente data.

A Tabela 21 mostra as instituições que participaram dos eventos realizados e que contribuíram com a melhoria das estimativas. Representam uma representativa parcela dos *stakeholders* do setor de transportes, garantindo a confiabilidade dos modelos e dos estudos conduzidos pelo grupo de pesquisa. Por fim, a Figura 25 ilustra o evento conduzido.

TABELA 20. Eventos realizados

WORKSHOP	ANO	LOCAL	CIDADE	ESTADO
I WCPUET	2015	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RJ
II WCPUET	2016			
III WCPUET	2017			
IV WCPUET	2019			
Tecnologias de Mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2050	2016	Hotel Windsor Atlântica		
Cenários de Mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2050	2017	Hotel Windsor Florida		
Discussão do Projeto MRV	2018	Escola Nacional de Administração Pública	Brasília	DF

TABELA 21. Histórico de instituições participantes na série de eventos WCPUET

PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES	SIGLA
Agência Nacional de Aviação Civil	ANAC
Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	ANP
Agência Nacional de Transportes Terrestres	ANTT
Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia	COPPE
Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil	APROBIO
Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes	ANPET
Banco Nacional do Desenvolvimento	BNDES
Empresa de Pesquisa Energética	EPE
Financiadora de Estudos e Projetos	FINEP
<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>	GIZ
<i>Greenpeace</i>	
Instituto Clima e Sociedade	ICS
Instituto Estadual do Ambiente	INEA
Instituto de Energia e Meio Ambiente	IEMA
Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento	ITDP
Instituto de Transporte e Logística da Confederação Nacional de Transportes	ITL/CNT
Ministério das Cidades	UFRGS
Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte	SEST SENAT
Universidade Estadual de Campinas	UNICAMP
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS
Universidade Federal de Itajubá	UNIFEI
<i>World Resources Institute</i>	WRI
<i>World Wide Fund for Nature</i>	WWF

FIGURA 26. IV Workshop Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes



