ANÁLISE COMPARATIVA EM RELAÇÃO ÀS EMISSÕES DE CO_2 ENTRE O MODO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO E HIDROVIÁRIO: ESTUDO DE CASO NA BR-356 E HIDROVIA DO PARAÍBA DO SUL

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO_2 EMISSIONS BETWEEN ROAD AND WATERWAY TRANSPORTATION MODES: CASE STUDY ON BR-356 AND PARAÍBA DO SUL WATERWAY

Mauro Medeiros de Carvalho Junior - mauro.medeiros@dnit.gov.br - https://orcid.org/0009-0000-4482-9548

Thais de Moura Lima - moura_thais@id.uff.br - https://orcid.org/0009-0008-8679-2745

Marcelo Gomes Miguez - marcelomiguez@poli.ufrj.br - https://orcid.org/0000-0003-4206-4013

RESUMO: Historicamente, o setor de transporte nacional direciona a maior parte dos investimentos em infraestrutura para o modo rodoviário. No entanto, há um movimento para diversificar a matriz de transporte e promover a integração multimodal, indo ao encontro das recomendações do Tribunal de Contas da União (TCU) e do Plano Nacional de Logística (PNL) de 2035. Além disso, o país busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa estando em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo central comparar as emissões de CO_2 entre o transporte rodoviário em um trecho da BR-356/RJ e o transporte hidroviário, no trecho inferior do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro. Para isso, foram utilizados dados de tráfego e modelagem do DNIT, visando a estimativa do volume de carga transportada. Ainda, para o cálculo das emissões de CO_2 foram seguidas as orientações metodológicas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE). A análise subdividiu tanto o trecho rodoviário quanto o hidroviário, em três segmentos, sendo de 208,16 km a totalidade do trecho rodoviário e de 201,76 km, o hidroviário, havendo assim bastante semelhança e representatividade para o estudo proposto. Em síntese, o estudo contribui para uma melhor compreensão das emissões de CO_2 associadas aos dois diferentes modos de transporte estudados, fornecendo subsídios para a promoção de políticas de transporte mais sustentáveis e integradas no Brasil, em conformidade com as metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas pela ONU.

PALAVRAS-CHAVE: hidrovias; navegação; emissões de CO_2; Paraíba do Sul.

ABSTRACT: *Historically, the transportation sector in Brazil directs the majority of its investments towards the road mode. However, there is a movement to diversify the transportation matrix and promote multimodal integration, aligning with the recommendations of the Federal Court of Accounts (TCU) and the 2035 National Logistics Plan (PNL). Additionally, the country aims to reduce greenhouse gas emissions in line with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs). In this context, the present study aims to compare CO_2 emissions between road transportation on a section of BR-356/RJ and waterway transportation on the lower section of the Paraíba do Sul River in the state of Rio de*

Submetido em 28/05/2023 e aceito em 22/08/2023.

https://doi.org/10.70859/2764-9539.v2.n2.66

Janeiro. Traffic data and modeling from DNIT were used to estimate the volume of transported cargo. Methodological guidelines from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the National Emissions Registry System (SIRENE) were followed to calculate CO_2 emissions. The analysis divided the road and waterway sections into three segments, with a total length of 208.16 km for the road segment and 201.76 km for the waterway segment, ensuring a significant and representative scope for the proposed study. In summary, this study contributes to a better understanding of CO_2 emissions associated with these two different modes of transportation and can provide insights for the promotion of more sustainable and integrated transportation policies in Brazil, in line with the United Nations' sustainable development goals.

***KEYWORDS**: waterways; navigation; CO_2 emissions; Paraíba do Sul.*

1 INTRODUÇÃO

O setor de transporte está diretamente relacionado ao progresso de uma nação (Colavite & KonishI, 2015), proporcionando trânsito de mercadoria e de pessoas, sendo assim, de importância na economia de qualquer país. O modo rodoviário é o principal receptor dos investimentos públicos, concentrando 71,0 % de todos os recursos no período de 2001 a 2021 (R$ 319,65 bilhões). Em seguida, estão o aéreo (12,9 %), o ferroviário (11,3 %) e, por último, o aquaviário (4,8 %) (CNT, 2022). A matriz de transporte brasileira, no diagnóstico atual, é altamente dependente do transporte rodoviário. Observa-se que para o ano-base do PNL (2017), 66,21 % da Tonelada Quilômetro Útil (TKU)[1] estava concentrado no modo rodoviário, e 83,25 % do Valor Quilômetro Útil (VKU), contra apenas 5,58 % (TKU) no modo hidroviário. Isso significa que, além de desempenhar papel considerável no transporte de grandes volumes, o transporte rodoviário de cargas é o grande responsável pelo transporte de bens de alto valor agregado para grande parte das demandas, de sua origem, até o destino (PNL, 2035).

Em observância ao tema, o Tribunal de Contas da União – TCU, em 2020, por meio de sua Secretaria-Geral de Controle Externo, realizou uma Auditoria Operacional acerca da "Integração Multimodal dos Transportes". Uma das recomendações realizadas, por meio do Acórdão nº 1327/2020–TCU–Plenário, é que fossem adotadas medidas necessárias para que a navegação interior e de cabotagem estejam contempladas no Plano Nacional de Logística, tornando-se de fato um plano de integração multimodal.

Em complemento às recomendações do TCU, no Plano Nacional de Logística de 2035, há também menção à adoção de ações que busquem a redução das emissões de gases de efeito estufa nos diferentes modos de transporte no país, incentivando a diversificação da matriz nacional, em especial com o incremento do transporte hidroviário. De fato, esses objetivos podem se tornar realidade, estando assim em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Em setembro de 2015, os 193 países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) assumiram o compromisso com uma nova

[1] Os cálculos do TKU e do VKU consideram somente o transporte de cargas doméstico e os trechos em território nacional do que dizem respeito às cargas de exportação e importação. Logo, não são apresentados os valores para a navegação de longo curso e os trechos de transporte rodoviário ou aeroviário, fora o território nacional.

agenda intitulada “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (CNM, 2023).

Nesse sentido, a referida Agenda, que tem validade entre os anos de 2015 e 2030, está segmentada em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), também conhecidos como Objetivos Globais. Ainda, em específico, o ODS 13, que trata da Ação Contra a Mudança Global do Clima, possui como uma de suas metas regionalizada, integrar a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Lei n° 12.187/2009, às políticas, estratégias e planejamentos nacionais. Assim, a proposição de inserção da análise de emissões de CO_2 no planejamento estratégico de diferentes modos de transportes no Brasil está alinhada com os ODS, tanto a nível nacional quanto global.

Diante dos fatos, o presente artigo busca apresentar uma análise comparativa das emissões de CO_2 para o caso concreto, evolvendo um segmento rodoviário da BR-356/RJ e o trecho inferior da hidrovia do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro. Para isso, visando à estimativa do cálculo da emissão de CO_2, foram seguidas as orientações do IPCC (2006), sendo esta a mesma base metodológica utilizada pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE).

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo central realizar a análise comparativa em relação às emissões de CO_2 entre o modo de transporte rodoviário na BR-356/RJ, trecho compreendido entre o entroncamento com a BR-116 até o km-187,7, em Atafona, no município de São João da Barra, e modo de transporte hidroviário, que contempla a HN-602 (Resolução DNIT n°8, de 9 de junho de 2020), trecho localizado na porção inferior do rio Paraíba do Sul, isto é, desde sua foz, no distrito de Atafona/RJ, até a confluência com o rio Pomba, onde há, também, uma interseção com a BR-116/MG.

Os resultados apresentados poderão servir como incentivo adicional a maior representatividade do modo hidroviário na matriz nacional de transporte, assim como alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A utilização da hidrovia do Paraíba do Sul, no presente trabalho, para o transporte de carga ainda é uma proposta teórica devido à ausência de operações efetivas até o momento, porém encontra-se em fase de estudos iniciais. Dessa forma, os cenários de capacidade de carga transportada foram baseados em projeções fundamentadas em critérios técnicos, embora ainda hipotéticos, uma vez que a viabilidade técnica e econômica da hidrovia ainda não foi estudada.

Assim, os estudos aqui realizados sobre a equivalência de comboios-tipo visam oferecer informações iniciais sobre o potencial do transporte hidroviário na região, mas poderão ser evoluídos em estudos futuros, com a coleta de dados primários na hidrovia do Paraíba do Sul.

A comparação entre os modos de transporte quanto às emissões de CO_2 não considerou a implantação da hidroviária aqui analisada. Desse modo, por ausência de dados primários disponíveis, não foi incluído nos cálculos as emissões de CO_2 das possíveis intervenções necessárias para viabilização da hidrovia, tais como: dragagem, implantação de sinalização náutica, construção de portos e terminais, entre outras. Assim, a comparação se deu considerando apenas a fase operativa dos modais analisados, sem inclusões de atividades de manutenção ou implantação.

Por fim, não foi objetivo central do trabalho, há uma tipificação da carga potencial que poderá ser transportada na hidrovia em questão, porém dados do SEBRAE (2023) apontam a existência de 59.767 empresas, nos 7 municípios que são atravessados pelo segmento da hidrovia estudada, sendo 5.477 classificadas como indústrias, as quais poderiam ser beneficiadas com mais uma alternativa de transporte de sua carga. Além disso, na área de estudo há o Porto do Açu, localizado no município de São João da Barra, sendo o maior complexo portuário industrial da América Latina, o qual abriga 21 diferentes empresas e 10 terminais de classe mundial (Porto do Açu, 2023), que, também, poderia se beneficiar da hidrovia, com potencial transporte de carga e passageiros.

No entanto, as limitações supracitadas não invalidam a metodologia proposta e a qualificação dos resultados apresentados, podendo haver apenas pequenas alterações nos dados quantitativos estimados para as emissões de CO_2.

4 METODOLOGIA

Para a estimativa da emissão de CO_2, associado ao modo rodoviário, foi necessário avaliar, inicialmente, as características do tráfego de transporte de carga da BR-356/RJ, especificadamente no trecho destacado para a realização do estudo de caso. Assim, para estimativa das cargas transportadas, foram usados os dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) do DNIT, referente ao ano de 2018, situado no km-14 da referida rodovia. Ainda, para a estimativa do número de veículos que circulam em cada trecho, que é subdivido no Sistema nacional Viário (SNV), foi utilizada a modelagem do Volume Médio Diário Anual (VMDa), de 2021, a qual foi produzida através do Termo de Execução Descentralizada (TED) entre o DNIT e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

De acordo com a Nota Técnica elaborada pelo DNIT e que fundamenta a modelagem do VMDa, a metodologia usada baseia-se em 3 (três) pilares: os dados reais de tráfego, obtidos por meio de pesquisas manuais e de contadores automáticos; a rede rodoviária nacional vetorizada, com os respectivos atributos e parâmetros; e matrizes de origem e destino.

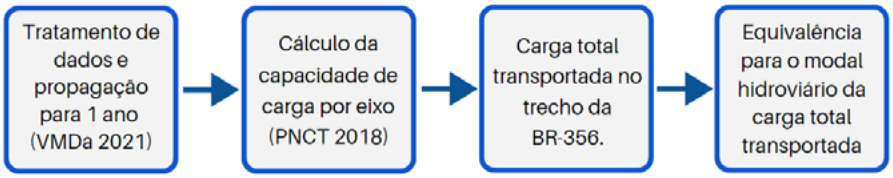
Neste contexto, as fontes de dados utilizadas nesta modelagem estão baseadas no sistema de contagem contínua do PNCT, assim como nos postos de coleta de cobertura e nos postos de pedágio de concessões rodoviárias das seguintes entidades: Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP), Empresa Gaúcha de Rodovias (EGR) e Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER-PR).

No caso concreto, os dados usados como base estão relacionados ao PNCT, uma vez que a rodovia não se encontra em concessão.

4.1 DIMENSIONAMENTO DE CARGA

Inicialmente, foi realizada a triagem dos dados e o dimensionamento de carga do trecho rodoviário em estudo. Destaca-se que estes passos são essenciais para a qualidade das informações geradas e antecedem o cálculo da emissão de CO_2. Na Figura 1 são apresentadas, sucintamente, as principais ações desenvolvidas nesta etapa.

Figura 1 – Mapa do Dimensionamento de Carga



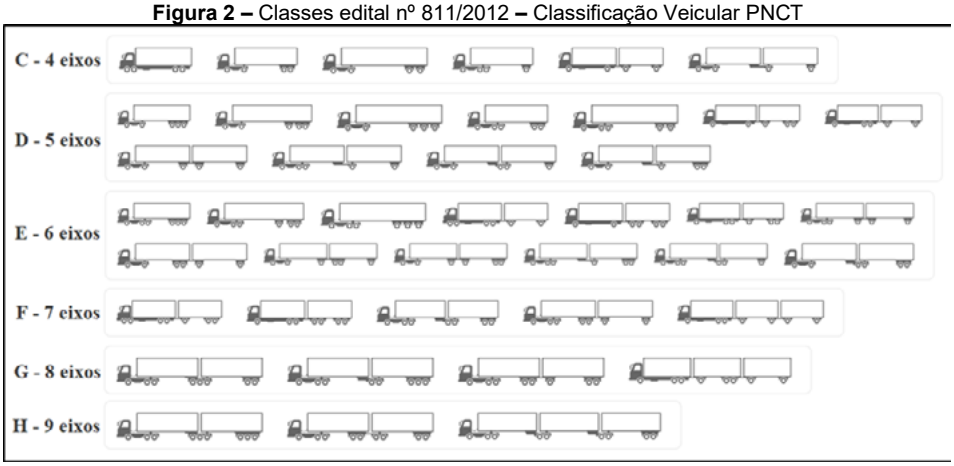
Fonte: Elaboração própria

Tendo em vista que a modelagem de 2021 apresenta a quantidade e tipologia dos veículos que trafegam em cada trecho do SNV da BR-356, na qual o mesmo veículo pode percorrer mais de um trecho do SNV, foi realizado o tratamento dos dados da modelagem, a fim de reduzir duplicidades na estimativa do total de veículos, assim como a incerteza e, consequentemente, possível superdimensionamento no cálculo de emissões. Cabe destacar, que ainda que haja algum possível superdimensionamento, o valor será incluído nos cálculos das emissões, não havendo assim prejuízos para a conclusão do presente trabalho.

Nessa perspectiva, o tratamento dos dados foi realizado por meio da média ponderada, considerando a extensão de cada segmento da rodovia. Assim, cada dado do VMDa foi multiplicado pela respectiva extensão, em quilômetros, relativo ao código de SNV correspondente. Desta forma, após o tratamento dos dados, foi propagado a média diária para o período de 1 ano.

Na esteira do tema, visando o transporte de carga, foram usados os dados de tráfego dos veículos de 4 a 9 eixos (Figura 2), seguindo a classificação do Edital 811/2012 do PNCT. Assim, embasado na distribuição de peso por categoria, disposta na contagem de tráfego de 2018, foi calculado, por meio de média ponderada, a carga transportada para cada eixo e aplicado um fator de redução para a tara.

Figura 2 – Classes edital nº 811/2012 **–** Classificação Veicular PNCT



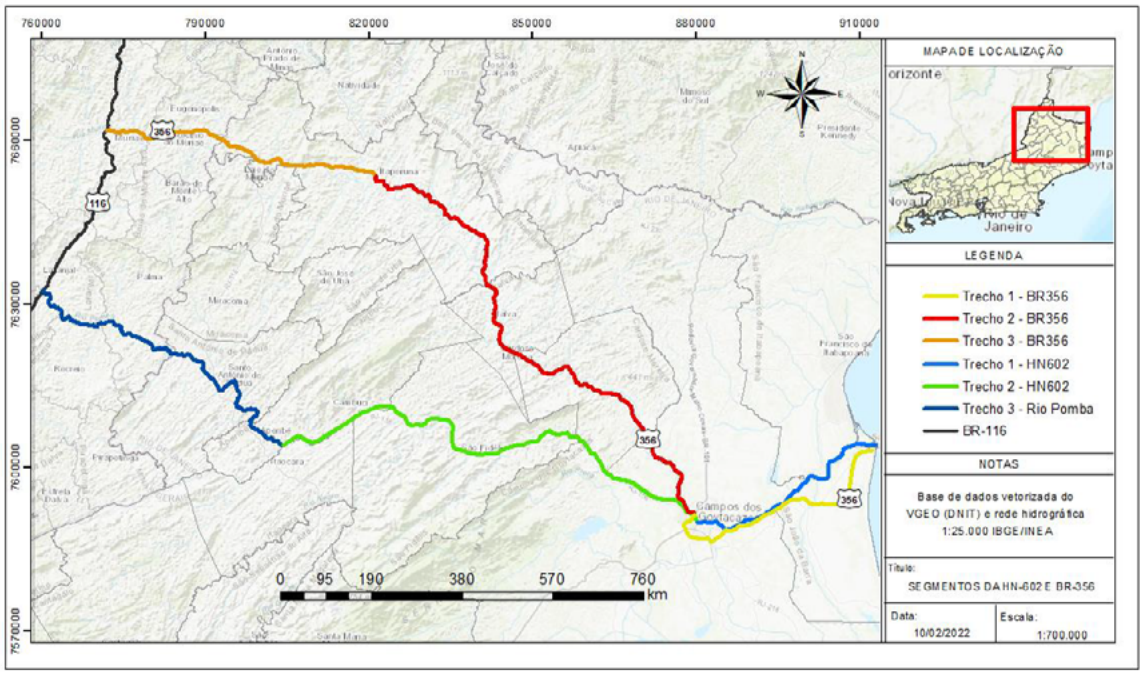
Fonte: adaptado do PNCT (2018)

Nesse contexto, por paralelismo, os pesos por categoria foram usados para o dimensionamento, em tonelada, da carga total transportada no ano de 2021 para o trecho em estudo na BR-356. Assim, a carga transportada dos veículos de 4 a 9 eixos foi multiplicada pelos respectivos dados da modelagem por VMDa de 2021.

Destaca-se que, para melhor organização do cálculo e da comparação dos resultados, a rodovia e a hidrovia em estudo foram subdivididas em 3 (três) segmentos, conforme Figura 3. A segmentação da BR-356 buscou observar os deslocamentos entre as maiores áreas urbanas (Campos, Itaperuna e Muriaé). Para o modo

hidroviário, o rio Paraíba do Sul, também foi dividido em 3 segmentos, sendo o último já no rio Pomba e estando em alinhamento com a extensão dos trechos rodoviários supracitados e as principais cidades ao longo de seu curso d'água.

Figura 3 – Mapa dos segmentos da hidrovia e rodovia em estudo



Fonte: Elaboração própria

Desse modo, tanto para a BR-356 quanto para a hidrovia, o primeiro segmento definido neste estudo parte de São João da Barra/RJ e se estendem até o município de Campos de Goytacazes, no Rio de Janeiro, onde os demais segmentos se subdividem. O segundo segmento da BR-356 segue de Campos/RJ a Itaperuna/RJ e o terceiro segmento se estende de Itaperuna/RJ até o entroncamento com a BR-116. Já, o segundo segmento hidroviário, segue de Campos dos Goytacazes/RJ até a Foz do Rio Pomba, na cidade de Aperibé/RJ e o terceiro segmento segue o percurso do Rio Pomba até o entroncamento com a BR-116.

De forma geral, comparando a extensão dos segmentos rodoviários (208,16 km) e hidroviário (201,76 km) estudados, pode-se observar que ambos possuem praticamente a mesma extensão, o que contribuiu para corroborar a representatividade dos trechos escolhidos para fins de comparação das emissões de CO_2.

Por conseguinte, para o modo hidroviário, foi realizada a equivalência de comboios, que idealmente seriam usados no rio Paraíba do Sul, para transportar a mesma carga calculada para os trechos supracitados da BR-356.

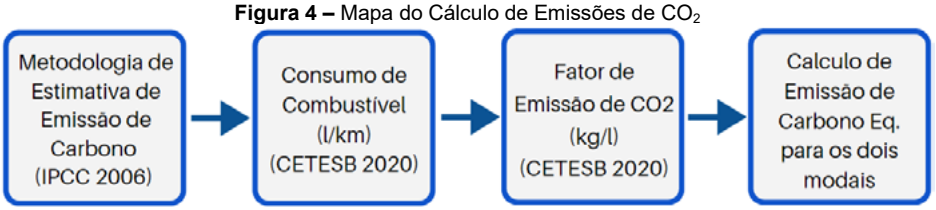
Assim, a capacidade de cada comboio foi estipulada por meio de 02 (dois) cenários. Para o primeiro, foram usados, como parâmetro, os comboios que trafegam nas hidrovias Tietê-Paraná da região sudeste. Já o segundo, está relacionado à capacidade mínima, que seria necessária para o modo hidroviário e rodoviário se igualarem em relação a emissões de CO_2.

4.2 ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE CO_2

Após dimensionadas as cargas transportadas por categoria e a equivalência de veículos e comboios necessários para os dois modais, o

passo seguinte foi a realização do cálculo da estimativa de emissão de carbono. Nessa etapa, foi necessária a definição da metodologia de cálculo e de outros parâmetros adicionais. A Figura 4 ilustra as ações desenvolvidas ao longo desse processo.

Figura 4 – Mapa do Cálculo de Emissões de CO_2



Fonte: Elaboração própria

Conforme o primeiro passo mostrado na Figura 4, a metodologia aqui adotada para o cálculo da emissão de CO seguiu as orientações do IPCC (2006), sendo esta a mesma base metodológica utilizada pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE). Assim, com base na metodologia do IPCC, foram definidas as Equações 1 e 2:

$$Emissão = \sum_{a} [Combustível\ Estimado_a \times FE_a] \quad (1)$$

Sendo:

$Emissão$ é a emissão de CO_2 em kg;

$Combustível\ Estimado$ é o combustível consumido calculado pela Equação (2);

FE é o Fator de Emissão em kg/l;

a é o tipo de combustível.

$$Combustível\ Estimado = \sum_{i,j} [Veículos \times Distância] \times Fator\ de\ Consumo \quad (2)$$

Sendo:

$Combustível\ Estimado$ é o total de combustível estimado usando o dado de distância;

$Veículos$ é o número de veículos do tipo i , usando o combustível j;

$Distância$ é a distância em quilômetros anuais viajados;

$Fator\ de\ Consumo$ é a média de combustível consumido em l/km;

i são os veículos tipo;

j é o combustível tipo.

O cálculo da emissão de gás carbônico (Equação 1) baseia-se em dois parâmetros. O primeiro é o Fator de Emissão (FE), que é a massa de poluente emitida pelos veículos ao circular por uma determinada distância (CETESB, 2020). O segundo é Combustível Estimado, que é calculado por meio da Equação 2, sendo obtido através do combustível consumido em função da autonomia de cada tipo de veículo, ou seja, a distância percorrida pelo veículo consumindo determinada quantidade de combustível.

Nessa perspectiva, a Equação 2 integra o cálculo da estimativa de emissões de CO_2. Dos parâmetros atribuídos na equação supracitada, tem-se a tipologia dos veículos, que é representada pelos veículos de carga de 4 a 9 eixos, para o modo rodoviário, e os comboios usados no transporte hidroviário. Ainda, tem-se a distância percorrida e o fator de consumo configurado pela autonomia de cada veículo. Essa estimativa do Consumo Estimado leva em consideração, também, o combustível tipo, adotado como sendo o diesel, para ambos os casos de estudo, rodoviário e hidroviário.

Na esteira do tema, embasado no Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo, para o ano de 2020, foi usado o fator de emissão para o combustível diesel (FEa) de 2,603 (kg/L). Ademais, sob a mesma bibliografia, foi fundamentada a autonomia em km/l dos veículos rodoviários de 4 a 9 eixos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros consumo médio dos veículos rodoviários

FEa (Kg/L):	2,603
Consumo Caminhões (L/km):	
Semileves	0,11
Leves	0,18
Médios	0,18
Semipesados	0,29
Pesados	0,29

Fonte: Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo (2020)

Por fim, o consumo de combustível do modo hidroviário, considerando um empurrador de comboio fluvial de potência de 800 hp, que comporta até 4 barcaças, foi de 13 litros por hora, de acordo com o documento "Diretrizes para a determinação do Comboio tipo de uma via navegável". Assim, levando em conta que a velocidade média de um comboio fluvial é de 12,5 km/h, foi dimensionada a autonomia em km/l.

5 RESULTADOS

Na realização dos cálculos para combustões móveis, foi usado o método de quantificação de emissão de carbono elaborado pelo IPCC (2006), como descrito na seção de metodologia do presente documento. Nesse sentido, foram encontrados os valores de emissão de CO_2 para os dois modos de transporte aqui estudados.

5.1 RODOVIÁRIO

Diante dos dados obtidos no PNCT, relativo ao ano de 2018, foi determinada a carga transportada por cada tipo de veículo, classificados de 4 a 9 eixos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Capacidade de carga por eixo

Categoria	Capacidade de carga (t)
4 Eixos	21,7
5 Eixos	31,0
6 Eixos	45,7
7 Eixos	50,8
8 Eixos	57,2
9 Eixos	74,1

Fonte: Adaptado do PNCT (2018)

Ademais, com a finalidade de fazer o primeiro input de dados, foi elaborada a Tabela 3 que fornece as informações iniciais a respeito da delimitação da área de estudo, incluindo os Trechos de rodovia e o respectivo código SNV, além de apontar a extensão rodoviária, baseada nos dados contidos no estudo do VMDa, relativo ao ano de 2021.

Tabela 3 – Dados dos segmentos rodoviários de estudo

Dados de Entrada				
Trecho	**SNV**	**Início**	**Fim**	**Extensão (KM)**
1	356BRJ0450	São João da Barra	Campos de Goytacazes	21,6
	356BRJ0430			20,1
	356BRJ0410			5,7
2	356BRJ0390	Campos de Goytacazes - ENTR BR-101 (Trevo Sul de Campos)	Itaperuna	37,3
	356BRJ0385			0,8
	356BRJ0370			16
	356BRJ0350			6,66
	356BRJ0350			10,04
	356BRJ0330			15,2
	356BRJ0310			15,4
	356BRJ0305			0,6
	356BRJ0300			3,2
3	356BRJ0290	Itaperuna (Início pista Dupla)	Muriaé (ENTR BR-116)	5,4
	356BRJ0270			16,3
	356BRJ0250			8,2
	356BRJ0230			1,6
	356BMG0215			24,06
TOTAL:				**208,16**

Fonte: Adaptado do VMD (2021)

Ainda, observando os dados do VMD para o ano de 2021 referente ao modal rodoviário, foi estimado o total de 7.118.281 toneladas transportadas no ano (Tabela 4), seguindo os valores de capacidade de carga para cada eixo (Tabela 2), definidos com base no PNCT de 2018.

Tabela 4 – Número de veículos e carga transportada por segmento

Dimensionamento de Carga						
Trecho	**Eixos**	**Veículos VMD**	**Veículos ANO**	**Carga Transportada ANO (t)**	**Total Veículos ANO**	**Total Carga transportada (t)**
1	4	46	16868	366.281,23	50686	1.839.916,66
	5	30	11034	342.316,90		
	6	49	17757	811.217,06		
	7	6	2124	107.867,23		
	8	0	166	9.512,04		
	9	7	2736	202.722,19		
2	4	79	28992	629.560,66	92065	3.452.411,92
	5	47	17336	537.820,72		
	6	95	34856	1.592.386,37		
	7	13	4688	238.087,93		
	8	1	246	14.067,39		
	9	16	5946	440.488,85		
3	4	39	14064	305.385,90	47149	1.825.953,35
	5	19	6983	216.638,60		
	6	53	19501	890.912,88		
	7	9	3241	164.603,94		
	8	0,1	29	1.635,51		
	9	9	3331	246.776,53		
TOTAL:					**189.900**	**7.118.282**

Fonte: Adaptado do VMD (2021)

Na etapa do cálculo de emissões, primeiramente, foi dimensionado o consumo de combustível, sendo estimado o valor de 9.334.720 L/ano para os três segmentos da BR-356 em estudo e, posteriormente, foi realizada a quantificação da emissão de gás carbônico. Assim, foram encontradas 24.298 toneladas de CO_2 para os 3 trechos, sendo: 6.330 toneladas (Trecho 01); 11.771 toneladas (Trecho 02); e 6.196 toneladas (Trecho 03), conforme ilustra a Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo do consumo de combustível e estimativa de CO_2 para rodovias

Cálculo de Consumo de Combustível e Emissão de CO_2					
Trecho	**Eixos**	**Veículos/ANO**	**Consumo de Combustível (L)**	**Emissões (t)**	**Emissões (t)**
1	4	16868	627005	1632,09	6330,66
	5	11034	410156	1067,64	
	6	17757	1087142	2829,83	
	7	2124	130047	338,51	
	8	166	10177	26,49	
	9	2736	167535	436,09	
2	4	28992	1077690	2805,23	11771,38
	5	17336	644404	1677,38	
	6	34856	2134015	5554,84	
	7	4688	287045	747,18	
	8	246	15051	39,18	
	9	5946	364032	947,57	
3	4	14064	522763	1360,75	6196,24
	5	6983	259571	675,66	
	6	19501	1193945	3107,84	
	7	3241	198451	516,57	
	8	29	1750	4,55	
	9	3331	203943	530,86	
TOTAL:			**9.334.720,34**	**24.298,28**	**24.298,28**

Fonte: Elaboração própria

5.2 HIDROVIÁRIO

Quanto aos resultados obtidos para o modo hidroviário, na Tabela 6 é possível observar a segmentação dos trechos com suas respectivas extensões, conforme definido no capítulo de metodologia do presente estudo.

Tabela 6 – Dados dos segmentos hidroviários de estudo

Dados de Entrada			
Trecho	**Início**	**Fim**	**Extensão (Km)**
1	Foz Atafona	Campos de Goytacazes	39,8
2	Campos de Goytacazes	Foz do Pomba	91,5
3	Foz do Pomba	BR 116	70,46
TOTAL:			**201,76**

Fonte: Elaboração própria

Considerando que a Hidrovia do Paraíba do Sul ainda não possui operação de carga, sendo restrita a pequenas embarcações que navegam entre São João da Barra e Campos, houve a necessidade de se buscar o dimensionamento teórico para o comboio-tipo. Nesse sentido, baseado no Plano Diretor da Hidrovia Tietê-Paraná (2020) e, considerando um calado máximo de 2,50 m, adotou-se para o referido estudo de caso, o comboio-tipo com capacidade de transporte de 2.500 toneladas, conforme ilustra a Tabela 7.

Sendo assim, em relação ao primeiro cenário proposto, isto é, no qual buscou-se a determinação do número de comboios-tipo de 2.500 toneladas, que são necessários para transportar o total da carga estimada para o modo rodoviário (7.118.281 toneladas – Tabela 4), obteve-se o valor estimado de 2.848 comboios/ano.

Por seguinte, foi realizado o cálculo do consumo de combustível, considerando a autonomia 13 L/h de diesel e velocidade média do empurrador de 12,5 km/h, resultando em 215.396 L/ano.

Após a quantificação do consumo de combustível, foi possível fazer a estimativa do cálculo de emissões de CO_2, que resultou em 560,68 toneladas/ano, sendo este consideravelmente menor que o valor de emissões de CO_2 para o modal de rodoviário.

Tabela 7 – Cálculo do consumo de combustível e estimativa de CO_2 para comboios de 2500 (t)

Dimensionamento de Carga			Cálculo de Emissão de CO_2		
Trecho	**Carga Transportada (t)**	**Capacidade de Carga por Comboio (t)**	**Comboios ANO**	**Consumo de combustível (L)**	**Emissões (t)**
1	1.839.916,66	**2500**	736	30463,13	79,30
2	3.452.411,92	**2500**	1381	131412,61	342,07
3	1.825.953,35	**2500**	730	53521,18	139,32
TOTAL:			**2.847**	**215.396,92**	**560,68**

Fonte: Elaboração própria

Em síntese, conforme comprovam os resultados deste estudo, ao comparar-se a emissão de CO_2 para o transporte de uma mesma carga no modo rodoviário e hidroviário, observou-se uma redução de 97,7 % nas emissões associadas ao modal hidroviário.

Ainda, simulou-se, adicionalmente, um segundo cenário, no qual o número de emissões entre os dois modais de transporte foi mantido igual, isto é, tanto para o segmento hidroviário quanto para o rodoviário em estudo, foi adotado o valor de 24.298 toneladas de CO_2, conforme já apresentado na Tabela 5.

Assim, o valor de capacidade de carga para os comboios foi estimado em 57,7 toneladas (Tabela 8), resultando em 123.395 comboios/ano. A partir deste resultado pode-se concluir que comboios que façam o transporte a partir de 57,7 toneladas já se mostram mais eficientes que o modo rodoviário, quanto à questão das emissões aqui analisadas.

Tabela 8 – Cálculo do consumo de combustível e estimativa de CO_2 para comboios de 57,7 (t)

Dimensionamento de Carga			Cálculo de Emissão de CO_2		
Trecho	**Carga Transportada (t)**	**Capacidade de Carga por Comboio (t)**	**Comboios ANO**	**Consumo de Combustível (L/ano)**	**Emissões (t)**
1	1.839.916,66	**57,7**	31.895	1.320.190,01	3.436,45
2	3.452.411,92	**57,7**	59.847	5.695.068,09	14.824,26
3	1.825.953,35	**57,7**	31.653	2.319.463,47	6.037,56
TOTAL:			**123.395**	**9.334.721,57**	**24.298,28**

Fonte: Elaboração própria (2023)

Diante dos resultados apresentados (Tabela 9), percebe-se uma diferença significativa em relação ao consumo de combustível entre os modos de transporte estudados, isto é, no modo rodoviário nota-se consumos consideravelmente superiores, e por conseguinte, também das emissões de CO_2.

Tabela 9 – Síntese dos resultados do cenário com comboios de 2500 toneladas

Rodoviário		Hidroviário	
BR-356/RJ		Paraíba do Sul (segmento estudado)	
Extensão (km):	208,16	**Extensão (km):**	201,76
nº de veículos:	189.900	**nº de comboios:**	123.395
Consumo Combustível (L)	9.334.720,34	**Consumo Combustível (L)**	215.396,92
Emissões CO_2 (g):	24.298,28	**Emissões CO_2 (g):**	560,68

Fonte: Elaboração própria (2023)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos e na comparação entre os modos de transporte rodoviário e hidroviário, foi possível evidenciar a importância de incentivo à multimodalidade dos transportes no Brasil, não só considerando a eficiência logística, como também os aspectos ambientais, em especial, as emissões de gases estufa, como o CO_2.

Para o caso concreto em análise, observou-se diferenças significativas no consumo de combustíveis e, consequentemente, nas emissões de CO_2 entre os modos estudados, quando comparada a mesma carga transportada. Por um lado, o transporte rodoviário apresentou um consumo total de combustível de 9.334.720 litros por ano, resultando em emissões de CO_2 de 24.298 toneladas. Por outro lado, o modal hidroviário, apesar de possuir um consumo de combustível maior por empurrador, mostrou-se muito mais eficiente em termos de emissões, devido ao número reduzido de empurradores que são necessários para transportar a mesma carga rodoviária.

Assim, o consumo de combustível estimado foi de 215.396 litros por ano, resultando em 560,68 toneladas de emissões de CO_2, isto é, uma redução de 97,7 % nas emissões, quando comparado com o rodoviário.

Ainda, em um segundo cenário proposto, no qual o número de emissões entre os dois modos de transporte foi considerado igual, foi possível concluir que comboios que fazem o transporte de cargas superiores a 57,7 toneladas já se mostram mais eficientes quanto à questão das emissões CO_2.

Esses resultados destacam a importância de considerar o modo hidroviário nos planos logísticos de transportes, em consonâncias com as recomendações dos órgãos de controle e alinhamento com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), além de promover maior diversificação e integração multimodal.

REFERÊNCIAS

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **Resolução DNIT n°08, de 9 de junho de 2020**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/resolucao-ndeg-8-2020.pdf. Acesso em: maio de 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Transporte em Foco - Investimentos públicos Federal – Parte 1 (2022).** Disponível em: https://cnt.org.br/analises-transporte. Acesso em: jul. 2023.

COLAVITE, A. S.; F. KONISHI. **A matriz do transporte no Brasil:** uma análise comparativa para a competitividade. Anais XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGeT, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de Emissões Veiculares 2020**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2022/03/Relatorio-Emissoes-Veiculares-2020.pdf. Acesso em: maio de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.DNIT. Institucional. Disponível em: http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Inicio/institucional. Acesso em: maio de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **Nota Técnica do VMDA 2020**. Brasília, 2020. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Modelagem/NOTA_TECNICA_DO_VMDA_2020.pdf. Acesso em: 10 de maio de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **NT modelagem 2021.** Brasília,2022. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Modelagem/NT_2022_VMDA2021.pdf. Acesso em: maio de 2023.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE); NGGIP (NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES PROGRAMME). **Chapter 3: Mobile Combustion.** In: IPCC GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES, Volume 2: Energy. Japan: IGES (Institute for Global Environmental Strategies), 2006. p. 3.1-3.47. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf. Acesso em: maio de 2023.

PNL. **Plano Nacional de Logística: 2035.** Brasília, DF, 2021.

PORTAL DA CONFEFERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (BRASIL). **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** Disponível em: http://www.ods.cnm.org.br/agenda-2030 . Acesso em: maio de 2023.

PORTO DO AÇU. Nossa empresa. Disponível em: https://portodoacu.com.br/nossa-empresa/. Acesso em: ago. de 2023.

RIBEIRO, E. S. **Correlações de emissões e características do combustível em um motor de combustão interna com ignição por centelha operando com biogás e gás natural.** 2021. 243 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-20122021-111010/publico/ElcioSilvaRibeiroCorr21.pdf. Acesso em: maio de 2023.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Data Sebrae Painéis–Empresas.** Disponível em: https://datasebraeindicadores.sebrae.com.br/resources/sites/data-sebrae/data-sebrae. html# /Empresas. Acesso em: ago. de 2023.

SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES. **Plano Diretor Hidrovia Tietê - Comboios**. 2021. Disponível em: http://www.dh.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/07/Plano-Diretor-Hidrovia-Tiete-Comboios-jun2021.pdf. Acesso em: maio de 2023.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. TCU. **Acórdão nº 1327/2020–TCU–Plenário**. Brasília, DF, 2020.