

CABOTAGEM E A DESCARBONIZAÇÃO DA MATRIZ DE TRANSPORTE DE CARGA BRASILEIRA

PAULO MARCELO RAPOSO MACHADO COSTA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ

Resumo

O presente artigo analisou e comparou dados relacionados à emissão de gases do efeito estufa (GEE) no transporte de carga containerizada, que apresentam o mesmo peso e volume, através do transporte rodoviário e da navegação de cabotagem, em toneladas de gás carbônico equivalente (tCO₂e), por determinada matriz origem/destino. O estudo concluiu que a navegação de cabotagem apresenta melhor eficiência ambiental quando comparado ao transporte de carga rodoviário, ao emitir menor quantidade de toneladas de gás carbônico equivalente (tCO₂e) por tonelada de carga quilômetro útil (TKU).

Palavras Chave

transporte rodoviário, cabotagem, descarbonização

CABOTAGEM E A DESCARBONIZAÇÃO DA MATRIZ DE TRANSPORTE DE CARGA BRASILEIRA

1. INTRODUÇÃO

Em 2022, o setor de transporte foi responsável pelo consumo de 35,02% da toda energia consumida no país, ficando à frente do setor industrial (34,05%), e dos setores residencial (11,34%), energético (9,2%), agropecuário (5,12%), comercial (3,65%) e público (1,62%) (EPE-MME, 2024).

No mesmo ano, a atividade de transporte foi responsável por 58,67% do total de CO₂ equivalente (CO₂e) emitida na atmosfera, seguida pelos setores industrial (23,79%), residencial (11,34%), energético (9,2%), agropecuário (5,12%), comercial (3,65%) e público (1,62%) (EPE-MME, 2024).

Isso se deve principalmente ao setor de transporte ser altamente dependente da queima de combustíveis fósseis para obtenção de energia, principalmente óleo diesel (44,63%), gasolina automotiva (27,05%) e álcool Etílico (16,95%), biodiesel (4,59%) e querosene (3,5%) e gás natural (2,23%), enquanto o setor industrial se utiliza principalmente da energia elétrica gerada pelas hidrelétricas brasileiras (21,64%), e de outras fontes de energia, que mitigam a emissão de gases do efeito estufa, a exemplo do bagaço de cana-de-açúcar (18,33%) e outros combustíveis de baixo carbono (10,65%) (EPE-MME, 2024).

Em 2022, de toda energia consumida pela atividade de transporte no país, o modo rodoviário respondeu por 93,86% enquanto a cabotagem consumiu 1,23% (EPE/MME, 2023).

Somente o modo rodoviário foi responsável por 92,43% das emissões de GEE do setor de transporte no país em 2022, enquanto o transporte aéreo emitiu 4,49%, o modo aquático (1,67%) e o modo ferroviário (1,41%) (EPE/MME, 2024).

A navegação de cabotagem apresenta melhor eficiência ambiental do que modo rodoviário, dado que apresenta um fator de emissão de GEE de 8,02 gCO₂e/TKU enquanto o transporte rodoviário apresenta um fator de emissão de 52,77 gCO₂e/TKU (INFRA S.A, 2024).

Apesar do território brasileiro apresentar dimensão continental e possuir uma extensa costa de aproximadamente 7,4 mil quilômetros, além de 1,6 mil quilômetros de hidrovia pelo Rio Amazonas até Manaus, e boa parte das atividades econômicas se desenvolver em até 300 km do litoral, o modo rodoviário é responsável pelo transporte de 65% de toda carga transportada no país enquanto a cabotagem representa 8% (SILVEIRA JR, 2018; CARVALHO, 2023).

Em 2023, o Brasil transportou 213,18 milhões de toneladas de carga, entre cargas containerizada, geral, granel líquido e gasoso, e granel sólido (ANTAQ, 2024).

Um estudo realizado em 2018 pelo ILOS estimou que para cada contêiner transportada pela cabotagem, existem 9,7 contêineres transportados pelo modo rodoviário com perfil de carga favorável à cabotagem (ABAC, 2020).

2. METODOLOGIA

O presente artigo analisou e comparou dados relacionados à emissão de gases do efeito estufa (GEE) no transporte de carga containerizada, que apresentam o mesmo peso e volume, através do transporte rodoviário e da navegação de cabotagem, em toneladas de gás carbônico equivalente (tCO₂e), por determinada matriz origem/destino (tabela1).

Para tanto, utilizou-se de uma calculadora desenvolvida pela Log-in Logística Intermodal S.A. (companhia brasileira de navegação de cabotagem), que determina a quantidade emitida de GEE na atividade de transporte em função do peso de carga e da distância percorrida, multiplicado pelo fator de emissão de GEE de cada modo de transporte.

A metodologia utilizada pela Companhia é baseada no GHG Protocol, que apresenta fatores de emissões de GEE estabelecidos pela Ministério do Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais do Governo Britânico (DEFRA), e considera o transporte realizado por caminhão articulado com capacidade de carga acima de 33 toneladas e por média de navios de contêiner.

Dito isto, o fator de emissão GEE utilizado foi de 80,17 gCO₂e/TKU para o transporte rodoviário e de 16,14 gCO₂e/TKU para a navegação de cabotagem.

A ferramenta apresenta também o plantio de árvores necessário para compensar a emissão de tCO₂e na atividade de transporte, baseado em estudo de captura mínima atmosférica e incorporação do CO₂e por árvore reflorestada desenvolvido pela SOS Mata Atlântica, considerando o tempo de vida da árvore de 20 anos.

Dessa forma, o fator de conversão para neutralizar a emissão de GEE na atividade de transporte é de 0,14 tCO₂e/árvores.

Com relação à matriz origem/destino analisada, considerou-se as distâncias marítimas de uma rota dedicada ao transporte de contêiner operada pela Log-in (Serviço Manaus), que tem origem em Santos-SP (0 km), passa por Itaguaí-RJ (354 km), Salvador-BA (1747 km); Suape-PE (2332 km), Pecém-CE (3220 km), e destino em Manaus-AM (6112 km).

Já para o modo rodoviário, considerou-se que o fornecedor e o cliente final estão localizados em regiões próximas aos portos analisados (hinterlândia). Nesse sentido, o trajeto e a distância rodoviária entre as matrizes origem/destino foram determinados a partir da geolocalização dos Portos de Santos-SP (0 km), Itaguaí-RJ (475 km), Salvador-BA (2064 km), Suape-PE (2731 km), Pecém-CE (3194 km) e Manaus-AM (3960 km), obtida no sítio *google maps*.

Em média, os cargueiros da Log-in carregam 2800 TEU's (2800 contêineres de 20 pés) que são estufados com 33 toneladas de carga. Assim, em cada viagem, considerou-se que uma embarcação de cabotagem pode transportar em média até 92,4 mil toneladas de carga.

As emissões de GEE em tCO₂e de cada modo de transporte *i* segue a fórmula $E_i = DA_i \cdot FE_i$, onde:

DA_i = Dado de Atividade do modo de transporte *i* (TKU);

FE_i = Fator de Emissão de GEE do modo de transporte *i* (tCO₂e/TKU).

DA_i = p.d, onde:

p = quantidade transportada em cada viagem pela embarcação da Log-in (toneladas).

d = distância percorrida pelo modo de transporte (km).

A quantidade de árvores necessárias para neutralizar a emissão de GEE de cada modo de transporte *i* segue a fórmula $N_i = E_i/FC_i$, onde:

E_i = Emissão de GEE do modo de transporte *i* (tCO₂e).

FC_i - Fator de conversão de plantio de árvores para compensar emissão de GEE do modo de transporte *i* (tCO₂e/plantio de árvores).

Outrossim, o estudo realizou uma análise de sensibilidade para determinar a quantidade de tCO₂e emitida pela atividade de transporte de carga, ao ocorrer uma variação positiva de 1%, 2% e 3% na quantidade total transportada pela cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário (tabela 2).

Em 2023, a navegação de cabotagem transportou aproximadamente 213,18 milhões de toneladas de carga por aproximadamente 1216 km. O equivalente à 259,26 bilhões de toneladas por quilometro útil – TKU (ANTAQ, 2024).

Nesse sentido, a emissão gerada por cada modo de transporte em cada cenário é dada pela equação $E_{ix} = DA_{ix}.FE_i$, onde x representa os cenários de variação na quantidade total transportada por cada modo de transporte “ i ”, onde $1\% \leq x \leq 3\%$ para cabotagem e $-1\% \leq x \leq -3\%$ para o transporte rodoviário. A emissão evitada em cada cenário de incremento é dada pela equação $ER_x = \sum E_{ix}$.

Em virtude da cabotagem não realizar o serviço de coleta de carga no fornecedor e entrega ao cliente final (“serviço porta a porta”), adicionou-se à etapa de navegação do porto de origem ao porto de destino mais quatro componentes de custo: (i) do transporte rodoviário da carga do fornecedor (ponto 1) ao porto de origem (ponto 2); (ii) do transbordo da carga - elevação da carga no porto de origem; (iii) do transbordo da carga - tombamento da carga no porto de destino (ponto 3); e (iv) do transporte rodoviário de carga do porto de destino ao cliente final (ponto 4).

3. RESULTADOS

Tabela 1: tCO₂e x neutralização de emissão (rotas analisadas)

Rodoviário			Cabotagem			Benefícios			
Posição	TKU	GEE	plântio de	Posição	TKU	GEE	plântio de	emissão	redução no
(0km)	milhões	(tCO ₂ e)	árvores	(0km)	milhões	(tCO ₂ e)	árvores	evitada	plântio de
Santos-SP	0	0	0	Santos-SP	0	0	0	0	0
(0km)				(0km)					
Itaguai-RJ	44	3518	25133	Itaguai-RJ	33	528	3771	2990	21362
(475 km)				(354 km)					
Salvador-BA	191	15289	109211	Salvador-BA	161	2605	18612	12684	90599
(2064 km)				(1747 km)					
Suape-PE	252	20230	144503	Suape-PE	215	3478	24844	16752	119659
(2731 km)				(2332 km)					
Pecem-CE	295	23660	169002	Pecem-CE	298	4802	34304	18858	134698
(3194 km)				(3220km)					
Manaus-AM	366	29334	209532	Manaus-AM	565	9116	65115	20218	144417
(3960 km)				(6112 km)					

Fonte: Log-in e *google maps*, elaboração própria, 2024.

Tabela 2:

- i. Coluna A: incrementos na quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao modo rodoviário;
- ii. Coluna B: impactos da atividade de transporte rodoviário e da navegação de cabotagem em termos de emissões e neutralizações de GEE;
- iii. Coluna C: emissões e neutralizações de GEE em determinado cenário de incremento da quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário;
- iv. Coluna D: emissões e neutralizações de GEE em determinado cenário de incremento da quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário, considerando também o impacto do transporte da etapa rodoviário de 100 km entre o fornecedor e o porto de origem (distância rodoviária) e 100 km entre o porto

- v. Coluna E: emissões e neutralizações de GEE em determinado cenário de incremento da quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário, considerando também o impacto do transporte da etapa rodoviário de 200 km entre o fornecedor e o porto de origem (distância rodoviária) e 200 km entre o porto de destino e o cliente final (distância rodoviária) para realização do serviço porta a porta;
- vi. Coluna F: emissões e neutralizações de GEE em determinado cenário de incremento da quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário, considerando também o impacto do transporte da etapa rodoviário de 300 km entre o fornecedor e o porto de origem (distância rodoviária) e 300 km entre o porto de destino e o cliente final (distância rodoviária) para realização do serviço porta a porta;
- vii. Coluna G: média das emissões e neutralizações em determinado cenário de incremento da quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário (média das emissões e neutralizações das colunas C, D, E e F).

Tabela 2: Emissões e neutralizações de CO₂e no transporte rodoviário x cabotagem

A	B	C	D	E	F	G
-1%	Emissão rodoviária (milhões tCO ₂ e)	-0,2079	-0,2079	-0,2079	-0,2079	-0,2079
1%	Emissão cabotagem (milhões tCO ₂ e)	0,0418	0,0760	0,1102	0,1444	0,0931
	Emissão evitada (milhões tCO ₂ e)	0,1660	0,1318	0,0976	0,0635	0,1147
	Redução do plantio árvores (milhões)	1,1857	0,9416	0,6974	0,4533	0,8195
-2%	Emissão rodoviária (milhões tCO ₂ e)	-0,4157	-0,4157	-0,4157	-0,4157	-0,4157
2%	Emissão cabotagem (milhões tCO ₂ e)	0,0837	0,1521	0,2204	0,2888	0,1862
	Emissão evitada (milhões tCO ₂ e)	0,3320	0,2636	0,1953	0,1269	0,2295
	Redução do plantio árvores (milhões)	2,3715	1,8832	1,3949	0,9066	1,6390
-3%	Emissão rodoviária (milhões tCO ₂ e)	-0,6236	-0,6236	-0,6236	-0,6236	-0,6236
3%	Emissão cabotagem (milhões tCO ₂ e)	0,1255	0,2281	0,3306	0,4332	0,2794
	Emissão evitada (milhões tCO ₂ e)	0,4980	0,3955	0,2929	0,1904	0,3442
	Redução do plantio árvores (milhões)	3,5572	2,8248	2,0923	1,3598	2,4585

Fonte: Log-in e *google maps*, elaboração própria, 2024

4. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

O estudo analisou e comparou a quantidade emitida de gás carbônico equivalente (CO₂e), em função dos parâmetros de TKU (peso da carga e distância) pelo modo rodoviário e a

navegação de cabotagem ao transportarem uma carga containerizada de 92,4 mil toneladas através da rota Santos (SP) - Manaus (AM).

Ao analisar o percurso com origem em Santos-SP e destino em Manaus-AM, constatou-se que o transporte rodoviário emite 3,21 vezes mais CO₂e que a navegação de cabotagem. Esse valor abaixo do que apresenta a literatura se deve à distância rodoviária percorrida (3960 km) ser bem inferior a distância marítima (6112 km), o que não ocorre para as outras matrizes origem/destino analisadas (tabela 1).

O trajeto com origem em Santos-SP e destino em Pecém-CE, por exemplo, que apresenta distâncias marítimas e rodoviárias similares, o transporte rodoviário emite 4,92 vezes mais CO₂e que a navegação de cabotagem (tabela 1). Já no trajeto Santos-SP até Itaguaí-RJ, o transporte rodoviário emite 6,66 vezes que a navegação de cabotagem.

Outrossim, para neutralizar a emissão de GEE, uma viagem de Santos-SP até Manaus-AM através do transporte rodoviário necessitaria do plantio de 209.532 árvores enquanto através da navegação de cabotagem a necessidade de plantio seria de 65.115 árvores (tabela 1).

Os resultados encontrados na análise de sensibilidade, que incluiu uma etapa rodoviária de até 300 km de distância do litoral na navegação de cabotagem, demonstra que a redução anual média de emissão de GEE na atividade de transporte de carga brasileira pode alcançar o montante aproximado de 110 mil de tCO₂e, 220 mil tCO₂e e 330 mil tCO₂e, caso ocorram, respectivamente, incrementos de 1%, 2 % e 3% na carga total transportada pela cabotagem no exercício 2023, em substituição ao transporte rodoviário (Tabela 2).

Da mesma forma, ao incrementar a quantidade transportada pela navegação de cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário (1%, 2% e 3%), verifica-se, respectivamente, uma redução significativa da necessidade do plantio de árvores de 0,78 milhões, 1,57 milhões; 2,35 milhões, que seriam utilizadas para neutralizar as emissões de GEE caso o transporte da carga fosse realizado pelo modo rodoviário. (tabela 2).

5. CONCLUSÕES

Com relação à emissão de GEE, a navegação de cabotagem demonstrou eficiência ambiental ao emitir menor quantidade de toneladas de gás carbônico equivalente (tCO₂e) por tonelada de carga quilômetro útil (TKU) quando comparado ao transporte de carga via modo rodoviário.

De fato, o estudo verifica a relevância de se reduzir a dependência do modo rodoviário nas operações de transporte de carga no Brasil, em prol da redução de emissões de GEE na atmosfera.

O estudo revela também que em 2023 a emissão de GEE pela navegação de cabotagem foi cerca de 4,19 milhões de tCO₂e (neutralização com o plantio de 29,92 milhões de árvores). Se a mesma carga fosse transportada pela mesma distância através do transporte rodoviário, a quantidade emitida de GEE seria aproximadamente 20,78 milhões de tCO₂e (neutralização com o plantio de 148,43 milhões de árvores). Ao optar por transportar 259,26 bilhões de TKU's pela cabotagem em detrimento ao transporte rodoviário, a atividade de transporte de carga no país evitou a emissão de aproximadamente 16,59 milhões de tCO₂.

De acordo com 2º Inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas ano base 2021 publicado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (2021), as seis usinas termelétrica que mais emitiram GEE em 2021 foram: Porto do Pecém I - CE (3,5 milhões do tCO₂e), Candiota III - RS (3,3 milhões do tCO₂e) e Termorio - RJ (3,0 milhões do tCO₂e), Termomacaé - RJ (2,9 milhões do tCO₂e), Norte Fluminense - RJ (2,5 milhões do tCO₂e) e

João Lacerda - SC (1,8 milhões de tCO₂e). Juntas, as três usinas termelétricas emitiram no referido ano 17 milhões de tCO₂e.

É importante destacar que não foi objeto deste estudo, as perspectivas futuras em relação ao desenvolvimento e utilização de combustíveis eficientes de baixo carbono que podem alterar a dinâmica atual das emissões de GEE por modo de transporte.

Outrossim, o estudo não analisou outros indicadores de desempenho logístico (custo de transporte, tempo de trânsito e segurança da carga) na atividade de transporte de carga, que influenciam sobremaneira a escolha do modo de transporte pelos embarcadores de carga.

Ainda assim, empresas que estão comprometidas com a agenda ESG podem vislumbrar na cabotagem uma oportunidade socioambiental na atividade de transporte para atingir suas metas de descarbonização e negociá-las no mercado de crédito de carbono.

Por fim, o estudo revela que apesar da cabotagem apresentar melhor eficiência ambiental, quando comparado ao modo rodoviário, não tem a capacidade de conectar diretamente produtores e consumidores, através de um serviço de transporte porta a porta. Nesse sentido, entende-se que os serviços de transporte não são excludentes, dado que o transporte rodoviário de carga continuará atendendo a demanda, de forma complementar à cabotagem, executando um maior número de viagens através de distâncias mais curtas (última milha), transportando as mercadorias do porto de destino ao consumidor final ou, ainda, das zonas produtoras ao porto, realizando o serviço porta a porta.

REFERÊNCIAS

- ABAC. Associação Brasileira de Armadores de Cabotagem. Ciclo da cabotagem. Disponível em: <https://abac-br.org.br/embarcacoes/> (acesso em 05/05/2024)
- ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviário. Estatístico Aquaviário 2024. Disponível em: <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/transpcabotagem.html#pt> (acesso em 10/05/2024).
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. O Transporte Move o Brasil: propostas da CNT para o país. Brasília-DF, 2022. Disponível em: <https://cnt.org.br/propostas-cnt-transporte/> (acesso em 08/05/2024).
- D'AGOSTO, M.O.; Oliveira, C. Logística sustentável: vencendo o desafio contemporâneo da cadeia de suprimentos. Rio de Janeiro, Elsevier, 2018.
- EPE. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf> (acesso em 10/05/2024).
- Google maps. Localização geográfica. Disponível em: www.google.com/maps/ (acesso em 11/06/2024).
- INFRA S.A. Anuário Estatístico de transporte, 2013-2022. Disponível em: https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/Anuario-Estatistico-de-Transporte-2013-2022_VF_2.pdf (acesso em 05/07/2024).
- INFRA S.A. Simulador de gases de efeito estufa – GEE. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/aplicacoes/simulador-de-gases-de-efeito-estufa-gee/> (acesso em 05/07/2024).
- IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html (acesso em: 13/05/2024)
- Log-in Logística Intermodal S.A. Programação de navios 2024. Disponível em: www.loginlogistica.com.br/programacao/programacao-de-navios/ (acesso em 04/06/2024).
- Log-in Logística Intermodal S.A. Calculadora de CO₂ Log-in. Disponível em: <https://calculadoradeco2.loginlogistica.com.br/calculadora/> (acesso em 05/07/2024).
- SILVEIRA JR., Aldery. Cabotagem Brasileira: Uma Abordagem Multicritério. 1ª ed. Curitiba: Appris, 2018.. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.