

## ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>: ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS E O CASO EM EMBARCAÇÕES MARITIMAS

### CO<sub>2</sub> EMISSION ESTIMATION: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MAIN METHODS AND THE CASE IN SEA VESSELS

Luis Felipe Umbelino dos Santos <sup>1</sup>

Luiz Pinedo Quinto Junior <sup>2</sup>

Saulo Marelli Matos <sup>3</sup>

**RESUMO:** No contexto de mudanças climáticas, o crescimento populacional e o processo de industrialização promovem constantes procura de energia. As emissões de gases do efeito estufa (GEE) apresentam crescimentos consideráveis e o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) representa 97% dos gases emitidos pela queima de combustíveis fósseis. No Brasil, o modal de transporte marítimo contribui para o desenvolvimento da indústria de óleo e gás principalmente nas operações de apoio na construção dos poços de petróleo e gás. Um dos impactos ambientais mais importantes nos serviços marítimos com embarcações é a poluição do ar compreendendo a emissão de gases e partículas da queima de combustíveis fósseis. Neste recorte, buscamos avaliar com este artigo a quantidade de emissões do gás dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente associado ao consumo de combustíveis fósseis por fontes móveis geradoras (veículos a combustão), através da comparação dos quatro principais métodos de estimativas

---

<sup>1</sup> Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Macaé. Realizou Estágio de Pós-Doutorado em Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2015), Doutorado em Ecologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2008), Mestrado em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (2004) e Bacharelado e Licenciatura em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2001). Atuou como professor e coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Doutorado em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos e da Pós Graduação Lato Sensu em Energias e Sustentabilidade. Participo como Conselheiro Titular do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba desde 2014 e como membro do Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Macaé e das Ostras desde 2013 até 2022. Atuou nas Áreas de Geografia, Ecologia e Hidrologia, com atividades recentes de pesquisa relacionadas a Gestão dos Recursos Hídricos, Conservação de Áreas Protegidas e Manejo de Bacias Hidrográficas. E pesquisador associado do Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental - LEMAM/IFF e do Grupo de Estudos Ambientais - GEA/UERJ.

<sup>2</sup> Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1979), mestrado em Planejamento Urbano pela Universidade de Brasília (1988) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (2002). Atualmente é professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense em Campos dos Goitacazes. Ministrou aulas no curso de Arquitetura e Urbanismo da UEL, Universidade Católica de Santos, Centro Universitário Belas Artes e Engenharia Civil da UnB. Tem experiência na área de Planejamento Urbano e Regional, com ênfase em Gestão Municipal, atuando principalmente nos seguintes temas: Planejamento Urbano-Gestão Participativa, Plano Diretor, Desenho e Projeto Urbano, grandes projetos de infraestrutura e impactos urbanísticos e em Legislação Urbana e Ambiental. Pesquisa os impactos ambientais e urbanos da construção do Complexo Portuário do Açú-Norte do Rio de Janeiro.

<sup>3</sup> Possui graduação em Engenharia de Petróleo pela Universidade de Vila Velha (2008). Foi professor da Faculdade de Castelo de 2010 a 2011. Pós-graduado MBA em gestão empresarial - FGV (2014-2016). Especialização em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela UNESA (2018-2019).



nas atividades operacionais com embarcações no ambiente offshore e os impactos para a neutralização por plantio de árvores e em área plantada.

**Palavras-chave:** fontes móveis; estimativas de emissão; neutralização de emissões.

**ABSTRACT:** In the context of climate change, population growth and the industrialization process promote enormous searches for energy. Greenhouse gas (GHG) emissions show considerable growth and CO<sub>2</sub> is responsible for 97% of gases emitted by burning fossil fuels. In Brazil, the maritime transport modal contributes to the development of the oil and gas industry, mainly in support operations in the construction of oil and gas wells. One of the most important environmental impacts in maritime services with vessels is air pollution, comprising the emission of gases and particles from the burning of fossil fuels. In this paper, we seek to evaluate with this article the quantify of these gas emissions associated with the consumption of fuels by mobile generating sources (combustion vehicles), through the comparison of different estimation methods in operational activities with vessels in the offshore environment and impacts for neutralization by planting trees and in planted area.

**Keywords:** mobile sources; emission estimates; neutralization of emissions.

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas estão no centro da crise ambiental e a poluição do ar é uma dimensão desta ameaça ambiental global, que ocorre principalmente, através da emissão de gases do efeito estufa e o desequilíbrio pelo aumento da concentração na atmosfera. E assim, alterando a forma de absorção da energia solar na superfície do planeta, provocando impactos diretos na mudança do clima, aquecimento global, ondas de calor, mudanças no regime de chuvas, doenças respiratórias e outros (IPCC,2022).

A urbanização com a necessidade de ampliar construções para moradias, prédios e indústrias e a circulação de pessoas, produtos e serviços por frotas móveis tem alterado consideravelmente a absorção da radiação na superfície terrestre e os seus efeitos já podem ser percebidos, como as ilhas de calor e alterações do regime de chuva, devido as emissões de poluentes gasosos para o ambiente (SEEG, 2023).

No Brasil o modal de transporte marítimo contribui para o desenvolvimento da indústria de óleo e gás, principalmente nas operações de apoio logístico e na construção dos poços de petróleo e gás, mas através da emissão de gases pela queima de combustíveis promove a degradação do meio ambiente.



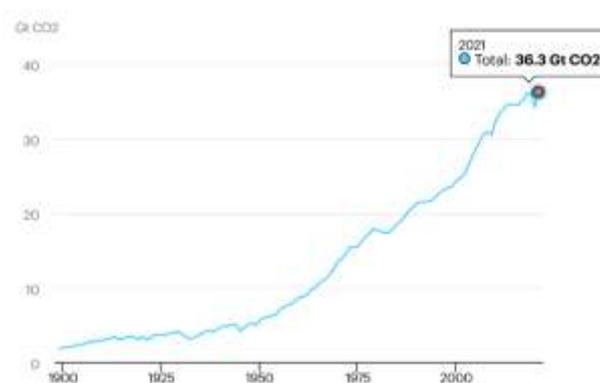
Assim, um dos impactos ambientais mais importantes nos serviços de apoio marítimo com embarcações é a poluição do ar. A exaustão de gases e partículas proveniente da queima de combustíveis das embarcações são um contribuinte significativo e crescente para as emissões totais do setor de transportes. É importante conhecer a intensidade da poluição do ar pela queima de combustível (pegada de carbono) que depende da atividade das embarcações quando em operação, navegação ou em carregamento nos portos. Estes gases emitidos poderão variar em concentração, mas sempre serão compostos por NOx, SOx, CO2 e partículas suspensas (IMO, 2014).

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em apresentar a análise comparativa dos principais métodos de estimativas de emissão de gases baseado no consumo de combustíveis e demonstrar os impactos no cálculo para a neutralização da pegada de carbono pela fixação de carbono por plantio de árvores em ações de compensação na busca do equilíbrio ambiental em atividades executadas por fontes emissoras pela queima de combustíveis fósseis envolvendo serviços com embarcações marítimas de apoio.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Para La Rovere (2001), a partir da Revolução Industrial começava a grande transição para os combustíveis fósseis. É apresentada na Figura 2 que, desde 1900, as emissões de CO2 a partir da queima de combustíveis fósseis têm aumentado consideravelmente

**Gráfico 1:** Emissão de CO2 em Gton entre os anos de 1900 e 2021



Fonte: IEA, 2022.



Para Goldemberg (2012) os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis e nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo.

Historicamente, a expansão da economia tem ocorrido juntamente com o aumento dos níveis de emissões de CO<sub>2</sub>, resultado de um modelo de desenvolvimento altamente dependente da energia obtida por meio da queima de combustíveis fósseis. Para os estudiosos da ciência ambiental, esta vinculação entre a atividade econômica e os fósseis alcançou níveis inaceitáveis, uma vez que os prejuízos ambientais, em especial aqueles associados ao aquecimento global, exigem a reversão de situação instalada e tornam imperativa a busca de um novo padrão de desenvolvimento (Aquino et al., 2017).

Nicolau et al. (2020) ressaltam que com o advento da revolução industrial, registra-se um aumento substantivo no uso dos recursos naturais não renováveis e na produção de resíduos cujos impactos à natureza, estima-se, está no centro da ameaça aos diferentes ecossistemas. O que antes significava consumo dos recursos para atender as necessidades humanas básicas passou para um padrão de consumo que se justificava para garantir o processo de acumulação de capital.

A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6.938/81 classifica a poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que prejudiquem direta ou indiretamente a saúde, segurança e o bem-estar da população, condições adversas às atividades sociais, econômicas, a biota, estéticas ou sanitárias, que lancem matéria ou energia fora de padrões ambientais.

Santos et al. (2012) e Lima Junior et al. (2022) abordam que a realização do inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) possui o objetivo de verificar a emissão de gases em concentrações consideradas contribuintes à mudança climática. Este inventário é produto da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) Lei nº 12.187/09 que determina ao país reduzir suas emissões entre 36,0 e 38,9 % em relação ao ano de 2005.



Mediante aos objetivos estabelecidos para a estimativa das emissões e o arcabouço legal que determinam marcos para a mitigação e/ou anulação dos impactos (Neutralização) das emissões, foram desenvolvidas várias iniciativas para cálculo das emissões de gases do efeito estufa, conforme levantamento mostrado no Quadro 1.

**Quadro 1:** Principais ferramentas e banco de dados para cálculo emissão GEE.

<i>Métodos</i>	<i>Responsável</i>	<i>Descrição</i>
BOTTOM UP E TOP DOWN	IPCC, 2006 agência ligada a ONU.	Desenvolvido pelo IPCC (Painel Intergovernamental de mudança do clima), baseia-se nas emissões de dióxido de carbono equivalente através dos dados de produção e consumo de energia e permite que sejam estudados diversos outros gases além do CO <sub>2</sub> .
DEFRA	Departamento de meio ambiente do governo inglês.	Banco de dados de fatores de emissão para combinação de diferentes tipos de veículos, combustível e fatores de utilização de capacidade.
US EPA 2005 Environmental Protection Agency	EPA, agência de proteção ambiental do governo dos EUA.	Calculadora de GEE desenvolvida para converção dados de emissões ou energia para a quantidade equivalente de emissões de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ). Emissões anuais de carros, residências ou usinas elétricas. Atua na estratégia de redução de gases de efeito estufa, metas de redução ou outras iniciativas.
Programa GHG Protocol	Metodologia publicado pelo <i>World Resources Institute (WRI)</i> em 2010. Seguido pelo Brasil através do Ministério do Meio Ambiente.	Abordagem bem estruturada e com grande aceitação para medição de emissões no nível corporativo ou de produto. Divide as emissões em 03 grandes escopos como direta, indiretas e biomassa não fósseis.
World Ports Climate Initiative (WPCI)	Associação internacional de portos e ancoragem (IAPH).	Abordagem com grande aceitação para transporte marítimo de curto percurso, longo percurso e terminais.
Norma ISO 14.064	A versão brasileira da norma ISO 14064	Detalha e orienta as organizações para quantificação e elaboração de relatórios de



	foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental – ABNT/ por meio de seu Subcomitê de Mudanças Climáticas.	emissões e remoções de gases de efeito estufa. Inclui requisitos para projeto, desenvolvimento, gerenciamento, emissão de relatórios e verificação do inventário de GEE de uma organização.
Metodologia ACV (Análise do Ciclo de Vida)	Iniciativa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) que visa estimular a prática de avaliação do ciclo de vida desde 2002.	Metodologia que avalia os impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida e é aplicada para estimar as emissões de GEE associadas.

Fonte: Adaptado de Nicolau et al., 2020.

A realização de inventário de emissão de GEE em dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq.) é uma medida padrão estabelecida para quantificar as emissões e tem como principal objetivo o de permitir o conhecimento do perfil de emissão, e a partir deste, realizar um planejamento para a sua redução, bem como a neutralização de carbono como uma forma de mitigação ambiental, em que empresas, instituições e cidadãos têm a possibilidade de compensar suas emissões de CO<sub>2</sub> por meio do plantio de árvores que fixam carbono através do processo de fotossíntese durante o crescimento e desenvolvimento (Santos et al, 2010).

Quando as medições diretas não são possíveis pode-se estimar as emissões de GEE. Desta forma o SEEG (2023) define que as estimativas de emissões atmosféricas se baseiam em dois parâmetros principais, o primeira compreende a taxa de atividade (distância percorrida, energia consumida e carga transportada, no caso do transporte de cargas) e o segundo parâmetro é o fator de emissão (quantidade de gases emitidos por unidade da taxa de atividade). E esclarece que as emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes (dióxido de carbono equivalente) são estimadas convertendo os demais gases por meio dos fatores de equivalência GWP (Global Warming Potential) do quinto relatório de avaliação do IPCC (AR5) como exemplo para o metano (CH<sub>4</sub>), o fator aplicado é 28 e para o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o fator aplicado é 265.



Para Auvinen et al (2011) as estimativas de emissões de GEE possuem suas principais metodologias baseados dois grandes fundamentos, a primeira consiste no consumo de combustíveis e o segundo, nas metodologias baseadas em atividades. As metodologias baseadas no consumo de combustíveis usam dados reais como base para estimar as emissões associadas, considerando o tipo do combustível, composição e nos pressupostos em relação à sua combustão.

De acordo com Simão et al (2022) e Azarkamand, S. et al (2020) as metodologias baseadas em consumo de combustíveis são preferenciais quando os registros históricos estão disponíveis e pode ser utilizado para avaliar cenários futuros de melhoria. Já as abordagens baseadas em atividades fornecem uma metodologia que, embora não seja tão precisa para medir as emissões históricas de CO<sub>2</sub> como as abordagens baseadas no consumo de combustíveis, é muito melhor para situações de planejamento. Nos métodos baseados em atividade, algumas medidas de atividade, como quilômetros percorridos pelo veículo ou tonelada-km movidas, são multiplicadas por um fator de nível macro para estimar as emissões totais de CO<sub>2</sub>.

A utilização de combustíveis fósseis promove emissões ao longo de seu ciclo de vida, as quais são responsáveis por uma das mais relevantes categorias de impacto ambiental: o aquecimento global devido ao efeito estufa. Esta categoria de impacto está relacionada à emissão de gases de efeito estufa (GEE), tem como principais gases causadores o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Os estudos comparativos das emissões oriundas entre o uso do biodiesel e o entre o diesel de petróleo devem considerar os respectivos combustíveis, pois os impactos ambientais estão geralmente associados à utilização do combustível e da matéria-prima usada no seu preparo ou obtenção, à emissão de poluentes e à produção de resíduos (SEEG, 2023).

O biodiesel resulta da conversão de diferentes tipos de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal em uma substância com viscosidade e características de combustão semelhantes às do diesel de petróleo. Isto se dá através de reação química entre triglicerídeos ou ácidos graxos e um álcool de pequena cadeia carbônica (geralmente, metanol ou etanol). A substituição do diesel de petróleo por biodiesel, quando possível, concorrerá para a melhoria



do balanço energético pela característica renovável e por consequência para a elegibilidade de uma maior quantidade de créditos de carbono (Dos Reis et al, 2013).

Santos et al (2010) e Rogelj et al (2021) apresentam como prática de neutralizar emissões (Net zero) o plantio de árvores equivalentes à emissão de gases. Uma vez que, ao longo do tempo de crescimento, a árvore sequestra dióxido de carbono da atmosfera para fazer a fotossíntese e compor sua estrutura. Essa é uma ação ambiental que gera diversos benefícios, porém elas irão demorar entre 15 e 20 anos para absorver as emissões de carbono. Os créditos de carbono são também uma forma indicada para neutralizar ou compensar as emissões, pois equivalem à redução ou absorção de uma tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, e o conceito vem sendo amplamente debatido como pagamento por serviços ambientais, no incentivo a projetos socioambientais certificados e auditados, conforme diretrizes definidas pelo Protocolo de Kyoto.

Para Elshkaki e Shen (2022) no contexto da transição energética para a estabilização do clima, a magnitude da crise global em relação ao aumento de temperatura é diretamente proporcional ao CO<sub>2</sub> emitido cumulativo na atmosfera, de modo que adicionar qualquer quantidade de CO<sub>2</sub> aumentará as quantidades futuras de aquecimento. Por isso, alcançar emissões líquidas de zero é uma meta cada vez mais desafiadora em todo o mundo e é fundamental uma transição energética rápida e abrangente das fontes de energia, incluindo reduções drásticas no uso de combustíveis fósseis, melhorias substanciais em eficiência energética e gerenciamento do carbono emitido. Além disso, a transição energética deve ser conciliada com os objetivos de desenvolvimento sustentável e considerar a infraestrutura de energia fóssil existente.

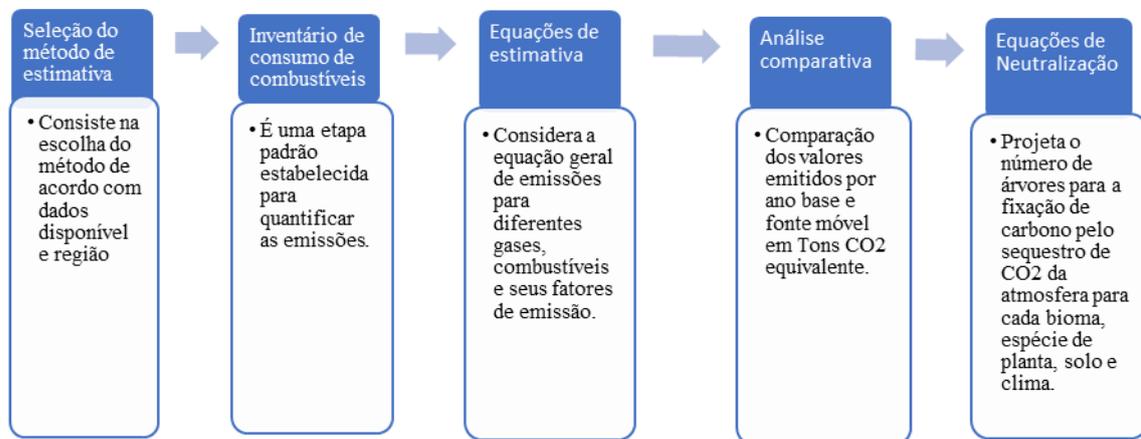
### 3 METODOLOGIA

Este artigo utilizou como metodologia descritiva e quantitativa das etapas para a estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> aplicada a fontes móveis como embarcações de apoio marítimo até a neutralização. Compreendendo a seleção do método para medição de emissão de CO<sub>2</sub>, levantamento dos dados de inventário de consumo de combustível, equacionamento das emissões de CO<sub>2</sub> considerando cada metodologia selecionada, análise comparativa das



emissões por método e por fim cálculo de neutralização das emissões considerando a fixação do carbono por árvores no bioma de Mata Atlântica em um horizonte de 20 anos. Assim, através da metodologia científica quantitativa foi possível aplicar a análise comparativa entre os quatro principais métodos de estimativas de emissão de CO<sub>2</sub> equivalentes, conforme etapas descritas abaixo.

**Figura 2:** Etapas do método de estimativa de emissões e neutralização de GEE.



Fonte: Adaptado de Santos et al., 2010.

### 3.1 Seleção do método para medição de emissão

A escolha do método para avaliar as estimativas das emissões de GEE como CO<sub>2</sub> é uma etapa importante para o desenvolvimento de práticas de gestão das emissões, com objetivo de mitigar os impactos no aquecimento global. Entretanto, devido à grande variedade de métodos existentes, a escolha do método que deve ser usado pode causar confusão nos gestores e devem ser selecionados de acordo com a aplicabilidade, dados disponíveis e similaridades regionais (Simões et al, 2022).



### 3.2 Inventário de consumo de combustível

Segundo WRI (2012), o inventário de consumo de combustíveis é o primeiro passo que uma organização precisa fazer é identificar os problemas e oportunidades em capturar os GEE. Para isso, é necessário elaborar o relatório de emissões, por meio de cálculo e o planejamento dos inventários através da adoção de metas, limites operacionais e organizacionais com a função de identificar as atividades emissoras de GEE direta e indiretamente. Os inventários de emissões visando quantificar e estimar podem ser aplicados considerando os principais métodos mundialmente difundidos são o IPCC (2006), US EPA (2005), GHG *Protocol* e DEFRA.

### 3.3 Equação para a estimativa de emissão de gases

Estimativas de emissões atmosféricas se baseiam em dois conjuntos principais de Informações. A quantidade de atividade desenvolvida como exemplos a distância percorrida, energia consumida, carga transportada e o fator de emissão como a taxa de gases emitidos por unidade de atividade em exemplo dos fatores mais usuais temos a tonelada por quilômetro, quilogramas por litro, entre outros.

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por consumo de diversos tipos de combustíveis (tanto em sistemas de combustão móvel como estacionária) emprega-se a equação geral de emissões considerando os diferentes métodos, tipos de gases emitidos e combustíveis (Santos et al., 2010).

$$\text{Emissão } k = \sum (CC_{lj} * EF_j) \quad \text{Eq. (1) equação geral de emissões}$$

Onde:

Emissão k = Emissão de gás k (Kg);

K = Tipo de gás emitido (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, outros)

CC<sub>lj</sub> = Combustível consumido (L);

EF<sub>j</sub> = Fator de emissão do combustível j (Kg.L<sup>-1</sup>);

j = Tipo de combustível (Álcool, Biodiesel, Diesel, Gasolina e GLP).



### 3.4 Análise comparativa da emissão

Esta etapa consiste em analisar as emissões sob tutela de diferentes metodologias e torna possível avaliar a importância de se inventariar emissões, porém tomando os cuidados para não incorrer em subestimativas ou superestimativas, procurando apontar de forma coerente os patamares de emissões de dióxido de carbono para direcionar eficiente e eficazmente as medidas mitigadoras.

Para Auvinen et al. (2011) é essencial a harmonização do cálculo de emissões para o desenvolvimento de um padrão que seja usado pela indústria em nível mundial e que ainda é preciso entregar resultados que permitam identificar as melhores práticas na indústria no que diz respeito à sua eficiência e sustentabilidade. Uma estreita cooperação entre as empresas, as pesquisas e os órgãos governamentais são necessárias para o desenvolvimento de uma metodologia global.

### 3.5 Neutralização das emissões (Net zero)

A neutralização acontece quando você quantifica as emissões de carbono de uma atividade e depois realiza uma ação, na mesma proporção, porém de redução dessas emissões. Os benefícios passam pela viabilização de uma nova tecnologia que impacte menos o meio ambiente, pela preservação de florestas nativas e até pelo desenvolvimento das comunidades estabelecidas próximas as fontes emissoras.

Rogelj et al (2021) enfatizam que todos os caminhos compatíveis com o acordo de Paris disponíveis para atender ao uso de emissões líquidas zero de gases de efeito estufa precisam aplicar uma combinação de três estratégias como a redução rápida de grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, reduções profundas em gases de efeito estufa não-CO<sub>2</sub> e formas relevantes de para a remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Azevedo e Quintino (2010) definem neutralização por biomassa como a retirada do CO<sub>2</sub> da atmosfera e conversão pela fotossíntese através da absorção deste gás e liberação de O<sub>2</sub> e assim fixação do carbono (C) nos troncos, galhos, folhas e raízes que representam 50% de sua massa e os outros 50% por água. E abordam que é possível estimar o número de



espécies arbóreas nativas para plantio visando neutralizar o CO<sub>2</sub> emitido em um período através da equação abaixo:

$$N = \left[ \frac{E_t}{F_f} \right] \cdot 1,2 \cdot 0,5 \quad \text{Eq. (2) Número de espécies arbóreas nativas.}$$

Onde:

N = Número de árvores;

E<sub>t</sub> = Emissão total de GEE (toneladas CO<sub>2</sub> eq)

F<sub>f</sub> = Fator de Fixação de Carbono em biomassa no bioma do plantio;

1,2 = Fator de de compensação de perdas de mudas;

0,5 = Fator de imprecisão dos fatores de emissão.

Assim, cada árvore da Mata Atlântica absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) equivalente ao longo de seus primeiros 20 anos. É o que comprovou um estudo realizado pelo Instituto Totum e pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ, 2013), da Universidade de São Paulo em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

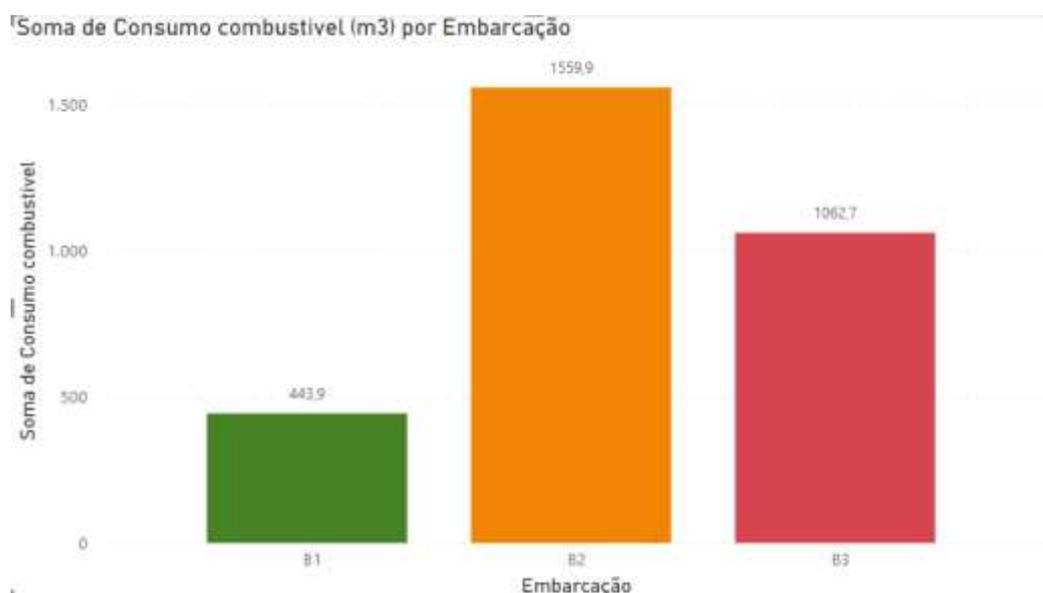
Muitas adaptações têm sido feitas nos métodos de estimativas de emissões de GEE para possibilitar a aplicação a nível local ou regional. De acordo com Auvinen et al (2011) é desejável aplicar os fatores de emissão modelados e calculados com base em dados reais da região, para cada item a ser inventariado, o que se torna complexo e oneroso. Para que ações mitigadoras sejam planejadas e executadas de forma eficiente e eficaz, faz-se necessário conhecer as atividades que emitem GEE e determinar o método a ser utilizado dependendo das características da unidade a ser inventariada e, no caso de resultados conflitantes como estes, optar pela alternativa mais otimista ou pessimista será uma decisão a ser tomada com base na experiência da equipe de inventário.

Conforme os objetivos estabelecidos para este artigo aplicamos para fins de comparação os valores estimados de emissão do gás CO<sub>2</sub> correspondendo a 97% das emissões, considerando os quatro principais métodos o IPCC, EPA, GHG protocol e DEFRA. Assim



como, respeitou-se o recorte do consumo de diesel combustível e biodiesel 100% para três embarcações com atuação nos serviços marítimos em operações de apoio na intervenção dos poços de petróleo e gás nas bacias de Santos, Campos e Espírito Santos, durante todo o ano de 2022 (Gráfico 02).

**Gráfico 2:** Consumo de diesel em metros cúbicos por embarcação no ano de 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Como iniciativa para a neutralizar as emissões líquidas do gás CO<sub>2</sub> pela fixação de carbono por plantio de árvores foi utilizado a convenção que 1 tonelada de carbono estocada na floresta equivale 3,67 (44/12) toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes sequestrados da atmosfera correspondendo o período de crescimento mais intenso de 20 anos no bioma de Mata Atlântico. Então, cada árvore absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) equivalente neste bioma ao longo dos primeiros 20 anos, conforme Azevedo & Quintino (2010) apud Santos et al (2010). Assim, avaliamos os impactos dos diferentes métodos de estimativa na mitigação das emissões e nos investimentos em áreas de plantios ou áreas recuperadas.



A Tabela 2 apresenta os dados das emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes das três embarcações durante todo o ano de 2022 considerando os quatro principais métodos de estimativa e os dois tipos de combustíveis sugeridos como alvo da análise comparativa. Demonstra também o número de árvores no bioma de mata atlântica necessários para sequestrar e neutralizar o CO<sub>2</sub> equivalente emitido, bem como a área de plantio necessária para suportar qualquer iniciativa de neutralização dos impactos promovidos pela emissão de GEE considerando a premissa de 6 m<sup>2</sup> de área por cada árvore.

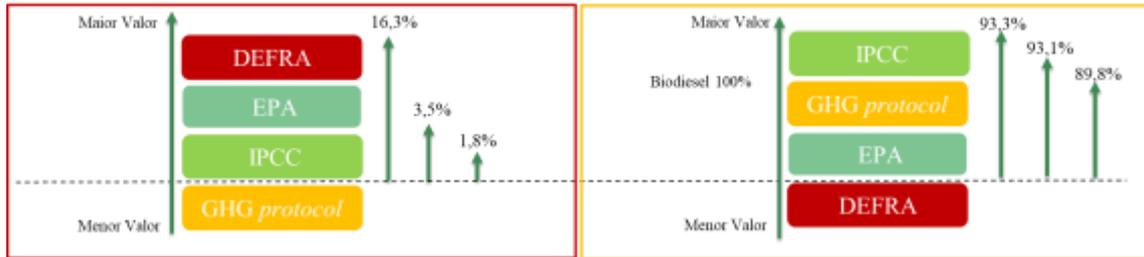
**Tabela 2:** Estimativa de emissão de CO<sub>2</sub> eq., número de arvores e área de plantio.

<i>Escopo (EI)</i>	<i>Tipo de Combustível</i>	<i>Método de Estimativa</i>	<i>Fator de Emissão (Kg CO<sub>2</sub> eq. / L)</i>	<i>Referência</i>	<i>Emissão Ton. CO<sub>2</sub> eq/Ano</i>	<i>Nº de árvores M.A. / Ano</i>	<i>Área de Plantio (m<sup>2</sup>) / Ano</i>
<i>Fator de emissão para combustão Móvel</i>	<i>Diesel 100%</i>	<i>IPCC</i>	2,650	IPCC 2006	8.126	49.812	298.870
		<i>US EPA</i>	2,697	AR 42	8.270	50.695	304.171
		<i>GHG Protocol</i>	2,603	BEN 2021	7.982	48.928	293.569
		<i>DEFRA</i>	3,110	UK Gov 2022	9.537	58.458	350.749
	<i>Biodiesel 100%</i>	<i>IPCC</i>	2,500	IPCC 2006	7.666	46.992	281.953
		<i>US EPA</i>	2,497	AR 42	7.657	31.013	186.078
		<i>GHG Protocol</i>	2,431	BEN 2021	7.455	45.695	274.171
		<i>DEFRA</i>	0,168	UK Gov 2022	514	3.148	18.891

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A maior variação encontrada entre os métodos para o combustível 100% diesel compreendeu o valor de 16,3% de redução de área de plantio entre os métodos DEFRA e GHG *protocol*. A maior variação entre os métodos para o combustível 100% biodiesel compreendeu o valor de 93,3% de redução de área de plantio entre os métodos IPCC e DEFRA, conforme apresentada na Figura 3.



**Figura 3:** Variações da estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> entre os métodos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

E por fim, comparando as variações entre os métodos e tipos de combustível foi possível constatar uma redução de área plantio de até 94,6% entre o método DEFRA. Pois este método considera o carbono equivalente sequestrado e fixado durante o crescimento da planta geradora de Biodiesel ao contrário dos outros métodos.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que os métodos elencados para a comparação permitem estimar os gases de efeito estufa como CO<sub>2</sub> equivalente emitidos por fontes geradores móveis, principalmente adotando como ferramenta, as etapas de estimativas e neutralização por plantio de árvore.

E apesar das variações entre os diferentes métodos no fator de emissões e a especificidade no fator de fixação de carbono para cada bioma, as organizações podem determinar o número de árvores nativas de um determinado bioma e a área de plantio para neutralizar suas emissões como maneira de mitigação ambiental.

A utilização do biodiesel como combustível apresenta grandes vantagens quando o método selecionado contabiliza o CO<sub>2</sub> absorvido/fixado pelas plantas geradoras de bioenergia durante seu crescimento e como resultado a propõe um menor fator de emissão, como exemplo o método DEFRA. Mas constatamos que não é uma prática comum aplicada por todos os métodos de estimativa.

E por fim, destacamos que os objetivos deste trabalho foram atingidos através da comparação dos principais métodos de estimativa de emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>



equivalente) considerando suas variações relevantes entre os métodos e os tipos de combustíveis mais utilizados por fontes geradoras móveis como no caso das embarcações marítimas em serviços de apoio na costa brasileira.

## 6 REFERÊNCIAS

Aquino, C.N.P.; Pereira, L.A.C; Rangel, J.J.A; Shimoda, E.; *Desacoplamento entre emissões de CO2 e crescimento econômico no Brasil e em outros países*. Artigo científico publicado em VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/RJ, v.19, p. 23-52, 2017.

Auvinen, H. *et al*, *Existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics*. [S. l.: s. n.], 2011.

Azarkamand, S. et al, *Review of initiatives and methodologies to reduce CO2 emissions and Climate change effects in Ports*. International Journal of Environmental Research and Public Health, Barcelona/Spain, doi 10.3390, May 2020.

Azevedo, M. F. C.; Quintino, I., *Manual Técnico: Um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas*. Rio de Janeiro: Ambiental Company, 17 p, 2010.

\_\_\_\_\_. *CO2 Emissions from fuel combustion, global energy review 2021 Edition*. Paris: OECD/ IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>. Acesso em 12 dez. 2022.

DEFRA. *Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations*. London: DEFRA, 2023.

Dos Reis, E. F., et al., *Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande – PB, p.565–571, 2013.

Elshkaki, A.; Shen, L. *Energy Transition towards Carbon Neutrality*. Energies 2022, 15, 4967. <https://doi.org/10.3390/en15144967>. 2022.

EPA. *Emission facts: average carbon dioxide emissions resulting from gasoline and diesel fuel*. Washington: EPA, 2005.

ESALQ. *Arvore da mata atlântica retira CO2 da atmosfera*. USP ESALQ, 2013. Disponível em: [http://www.esalq.usp.br/acom/clipping\\_semanal/2013/3marco/23\\_a\\_29/files/assets/download/s/page0013](http://www.esalq.usp.br/acom/clipping_semanal/2013/3marco/23_a_29/files/assets/download/s/page0013). Acesso em: 06 de junho. 2023.



Goldemberg, j.; lucon, O. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

IMO (International Maritime Organization). *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*. Disponível em: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/ThirdGreenhouseGasStudy/GHG3ExecutiveSummaryandReport.pdf>. Acesso em 16 de novembro de 2022.

IPCC. *Intergovernmental Panel Climate Change 2022: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 01 de novembro 2022.

Lima Junior, R.N.C.; Oliveira, M.M.; Corrêa, S.M.; Saraiva, V.B.; *Caracterização da Emissão de Gases de Efeito Estufa do Lixão em Cabo Frio, RJ*. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 12, n. 01, p. 26 - 40, jan-abr 2022. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>. Acesso em 12 dez. 2022.

La Rovere, E., *Energia, desenvolvimento e o meio ambiente global*. In: MAGRINI, A.; SANTOS, M. A. (Ed.). Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/Instituto Virtual Internacional de Mudanças Climáticas, 2001.

Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. *Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências*. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20072010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2009/lei/112187.htm). Acesso em: 25 de novembro 2022

Nicolau, O.N.B; Chaves, G.L.D.;Zanchetta, I.T.; *Avaliação do consumo energético e emissões de dióxido de carbono do transporte rodoviário do Brasil (2016-2026)*. Biblioteca digital de periódicos da UFPR: Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 54, 205-226, jul./dez. 2020.

Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., Reisinger, Andy. *Three ways to improvenet-zero emissions targets*. Nature. Volume 591. Páginas 365 a 368. 2021.

Santos, D.R.R.; Picanço, A.P.; Maciel, G.F.; Serra, J.C.V., *Estudo de neutralização dos gases de efeito estufa da universidade federal do tocantins - reitoria e campus universitário de palmas: uma forma de mitigação ambiental*. Publicação Revista RGA. Pág. 29 – 40. Tocantins: UFT. 2010.

SEEG. *Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)*, 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/entenda-as-estimativas/>. Acesso em: 06 de junho. 2023.



Simão, L. E. et al, *Transporte Rodoviário de Cargas: Como selecionar um método para cálculo de emissão de CO2 da sua frota?*. Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis/SC, v.15, edição especial, jun./jul. 2022.

US EPA. 2008. *United State Environmental Protection Agency. Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol Core Module Guidance: Direct Emissions from Mobile Combustion Sources*. Disponível em: [epa.gov/stateply/documents/resources/mobilesource\\_guidance.pdf](http://epa.gov/stateply/documents/resources/mobilesource_guidance.pdf). Acessado em: 17/05/2023.

