

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CC(T) JAMES BATISTA

**OS DESAFIOS DA AUTORIDADE MARÍTIMA BRASILEIRA PARA
MITIGAR AS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA:
Os caminhos a serem percorridos até 2050**

Rio de Janeiro

2024

CC(T) JAMES BATISTA

**OS DESAFIOS DA AUTORIDADE MARÍTIMA BRASILEIRA PARA
MITIGAR AS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA:
Os caminhos a serem percorridos até 2050**

Monografia apresentada à Escola de
Guerra Naval, como requisito parcial
para a conclusão do Curso Superior.

Orientador: CC(RM3-EN) VICTOR
CABRAL DA HORA ARAGÃO DE
CARVALHO

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2024

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

DEDICATÓRIA

Dedico este projeto aos meus familiares, principalmente aos meus pais, Emerildo (*In Memoriam*) e Aparecida Elisa, à minha esposa, Susana, e à minha amada filha, Julia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder o dom da vida e por me proporcionar saúde e sabedoria todos os dias.

Aos meus pais, Emerildo (*In Memoriam*) e Aparecida Elisa, cujos valores éticos e morais a mim transmitidos moldaram o meu caráter e as minhas atitudes.

Aos meus irmãos, Karina e Tiago, obrigado pela companhia ao longo dos anos e pelo apoio e incentivo que sempre me dispensaram, em especial a minha irmã, grande orientadora e incentivadora para permanecer com os meus projetos acadêmicos.

À minha esposa, Susana, e minha querida filha, Julia, pela compreensão das minhas ausências, pelo apoio e amor incondicional, os quais me fortaleceram para que este trabalho fosse concluído.

Aos meus amigos, da Gerência Especial de Vistorias, Inspeções e Perícias Técnicas da DPC, pelo apoio no transcorrer do curso.

À equipe da Disciplina de Metodologia Científica, a Capitão de Mar e Guerra (RM1-T) Chiara e ao Suboficial Rodrigues, pelo apoio e incentivo ao longo dos meses durante a escrita deste trabalho.

Ao meu orientador, Capitão de Corveta (RM3-EN) Victor Cabral da Hora Aragão de Carvalho, pelos ensinamentos, orientações precisas e profissionalismo que me auxiliaram na realização deste trabalho.

Por fim, aos irmãos de arma do Quadro Técnico do CFO-2008, pela camaradagem e tempo de estudos durante esta caminhada.

Interessa-me o futuro porque é o lugar
onde vou passar o resto de minha vida.

Woody Allen

RESUMO

A partir do Acordo de Paris, diversos Estados-Membros comprometeram-se a adotar medidas para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, com o objetivo de manter a temperatura média global abaixo de 2° C, acima dos níveis pré-industriais. A Organização Marítima Internacional emitiu uma Estratégia global para a redução das emissões desses gases pelas embarcações até 2050, para auxiliar a Organização das Nações Unidas a atingir essa meta. Com base nesse acordo, o Brasil emitiu a Contribuição Nacionalmente Determinada para cumprir com o compromisso assumido, com a finalidade de reduzir as emissões líquidas de gases do efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030. De acordo com esse compromisso, este trabalho pretende identificar as possíveis causas das mudanças climáticas no âmbito do Poder Marítimo, analisando os problemas causados pelas embarcações que contribuem para a emissão desses gases, especialmente o dióxido de carbono; e, conseqüentemente, para as alterações climáticas. Ao final, procurou descrever as possíveis soluções que a Autoridade Marítima Brasileira poderá estabelecer, por meio das Normas da Autoridade Marítima, para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, realizadas pelas embarcações que navegam nas águas jurisdicionais brasileiras.

Palavras-chave: Gases do Efeito Estufa. Mudanças climáticas. Descarbonização de navios. Combustíveis alternativos.

ABSTRACT

The challenges of the Brazilian Maritime Authority to mitigate greenhouse gas emissions:

The paths to be followed until 2050

Following the Paris Agreement, several Member States committed to adopting measures to mitigate greenhouse gas emissions, with the aim of keeping the global average temperature below 2° C, above pre-industrial levels. The International Maritime Organization has issued a Global Strategy to reduce emissions of these gases from vessels by 2050, to help the United Nations achieve this goal. Based on this agreement, Brazil issued the Nationally Determined Contribution to fulfill the commitment assumed, with the purpose of reducing net greenhouse gas emissions by 37% by 2025 and 43% by 2030. In accordance with this commitment, this work aims to identify the possible causes of climate change within the scope of Maritime Power, analyzing the problems caused by vessels that contribute to the emission of these gases, especially carbon dioxide; and, consequently, to climate change. Finally, it sought to describe the possible solutions that the Brazilian Maritime Authority could establish, through the Maritime Authority's Standards, to mitigate greenhouse gas emissions, carried out by vessels sailing in Brazilian jurisdictional waters.

Keywords: Greenhouse gases. Climate changes. Decarbonization of ships. Alternative fuels.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Gráfico 1 — Emissões de CO₂ emitida pelos navios que utilizam *Bunker* Marítimo no mundo, comparando os Países Desenvolvidos com os Países em Desenvolvimento e o Brasil 17
- Gráfico 2 — As projeções das medidas a serem adotadas até 2050, comparando com as medidas de curto e médio prazo e sem adoção de medidas para mitigar a emissão de GEE 18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Arqueação Bruta
AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
AM	Autoridade Marítima
APS	Medidas Anunciadas
BIM	Bibliotecas Integradas da Marinha
CDA	Capitania, Delegacia e Agências
CII	Indicador de Intensidade de Carbono
CND	Contribuição Nacionalmente Determinada
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
DPC	Diretoria de Portos e Costas
E-DIESEL	Diesel sintético de Fischer-Tropsch produzido a partir de hidrogênio renovável e CO ₂ capturado
EEXI	Índice de Eficiência Energética
FT-DIESEL	Diesel sintético de Fischer-Tropsch produzido a partir de biomassa
FuelEU	Combustível renovável e hipocarbônico da União Europeia
GEE	Gases do Efeito Estufa
GNL	Gás Natural Liquefeito
HFO	<i>Heavy Fuel Oil</i>
IGF	Código Internacional de Segurança para Navios que utilizam gases ou outros combustíveis de baixo ponto de inflamação
IMO	International Maritime Organization (Organização Marítima Internacional)
LESTA	Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário
MARPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios
MEPC	Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho
NORMAM	Normas da Autoridade Marítima
NZE	Zero Emissões
ONU	Organização das Nações Unidas
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SDCD	Sistema de Coleta de Dados
SEEMP	Plano de Gestão de Eficiência Energética do Navio
STEPS	Não Sejam Adotadas Medidas
UE	União Europeia

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
CO ₂	Dióxido de Carbono
KM	Quilômetro
MtCO ₂	Milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono
MTPA	Milhões de toneladas métricas por ano
NO _x	Óxidos de Azoto
SO _x	Óxidos de Enxofre
%	Porcento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	O TRANSPORTE MARÍTIMO.....	16
2.2	O ACORDO DE PARIS E O COMPROMISSO DO BRASIL.....	18
2.3	MEDIDAS IMPLEMENTADAS PELA IMO.....	19
2.4	MEDIDAS ADOTADAS PELA UNIÃO EUROPEIA.....	22
2.5	MEDIDAS ADOTADAS PELO BRASIL.....	23
3	MEDIDAS PARA MITIGAR AS EMISSÕES DOS GASES DO EFEITO ESTUFA PROVENIENTES DE EMBARCAÇÕES.....	25
3.1	MEDIDAS OPERACIONAIS E ALTERAÇÕES DE PROJETOS A SEREM ADOTADAS NO CURTO E MÉDIO PRAZO PARA MITIGAR A EMISSÃO DOS GEE PELOS NAVIOS.....	25
3.1.1	Eficiência energética dos navios.....	26
3.1.2	Utilização de energia elétrica dos portos.....	27
3.1.3	Obrigatoriedade de limpeza dos cascos.....	28
3.1.4	Lubrificação do casco com ar.....	29
3.1.5	Navegação assistida por ventos.....	30
3.2	MEDIDAS DE LONGO PRAZO PARA MITIGAR OS EFEITOS DE GASES DO EFEITO ESTUFA UTILIZANDO A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO TRANSPORTE MARÍTIMO.....	32
3.2.1	A utilização do Gás Natural Liquefeito como alternativa de combustível... ..	32
3.2.2	A utilização dos biocombustíveis nos motores marítimos.....	34
3.2.3	Hidrogênio, o combustível de emissão zero de gás carbônico.....	36
3.3	FORMAÇÃO DE PESSOAL PARA O COMBATE ÀS EMISSÕES DE GEE.....	37
4	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as mudanças climáticas têm afetado de forma significativa a vida humana em diversos lugares do planeta, causando, entre outras alterações, inundações, aumento das temperaturas, derretimento das geleiras e aumento dos níveis dos oceanos. As atividades que queimam combustíveis fósseis, que liberam gases do efeito estufa (GEE), contribuem para as mudanças climáticas e estão relacionadas às rotinas das cidades em todos os continentes, às produções industriais de diversos setores, ao uso de fertilizantes na agricultura e ao uso de diversos meios de transporte. Os governos mundiais têm procurado encontrar a solução mais adequada para os problemas causados pelos GEE. No que diz respeito ao Poder Marítimo, as Autoridades Marítimas (AM) têm discutido possíveis soluções para minimizar essas alterações nos fóruns da Organização Marítima Internacional (IMO).

Ao longo dos anos, foram realizadas conferências e fóruns de debates, nos quais os países buscavam soluções para diminuir as emissões. Dentre os compromissos assumidos, merece destaque o Acordo de Paris, realizado em 2015, onde diversos países se comprometeram a adotar medidas que reduzam as emissões de GEE. Além das ações a serem tomadas, a IMO realizou diversos estudos sobre os GEE, com o objetivo de contribuir para a mitigação desses gases emitidos pelas embarcações.

O Brasil, por sua vez, desde 2009, instituiu a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas, conforme a Lei nº 12.187, e assumiu o compromisso de reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões de GEE até 2020 (Brasil, 2009). No entanto, conforme demonstrado na nota à imprensa nº 157/2020 do Ministério das Relações Exteriores, o Brasil, com base no ano de 2005, apresentou à Organização das Nações Unidas (ONU), em cumprimento à Convenção — Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, uma nova Contribuição Nacionalmente Determinada (CND) ao Acordo de Paris, reafirmando o compromisso de reduzir as emissões líquidas totais de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030 (Brasil, 2020).

A AM faz parte do Poder Marítimo e tem, dentre outras, a atribuição de prevenção da poluição ambiental causada por embarcações. É importante salientar que o Brasil é signatário da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL), sendo de responsabilidade da Diretoria de Portos e Costas

(DPC), como representante da AM, a normatização da convenção no Brasil. No entanto, vale ressaltar que as embarcações que operam exclusivamente no Brasil e, conseqüentemente, não realizam viagens internacionais, não são obrigadas a cumprir todas as regras estabelecidas na MARPOL, sendo isentas da fiscalização realizada pelos agentes da AM.

No âmbito do Poder Marítimo, uma das principais preocupações é a queima de combustíveis fósseis pelas embarcações, com destaque para a emissão de Dióxido de Carbono (CO₂). Dessa forma, atendendo ao objetivo de identificar as possíveis causas das mudanças climáticas no âmbito do Poder Marítimo, esta pesquisa analisou os problemas causados pelas embarcações que contribuem para a emissão de GEE e, conseqüentemente, para as alterações climáticas. Além disso, procurou descrever as possíveis soluções que a AM poderá estabelecer, por meio das Normas da Autoridade Marítima (NORMAM), para que as embarcações que operam no País promovam a mitigação dos efeitos nocivos dos gases emitidos por elas.

Estudos têm buscado soluções para a emissão de GEE no transporte marítimo e a mitigação dos seus efeitos nas mudanças climáticas. De acordo com Cisneros (2012), existem três maneiras de diminuir a emissão de poluentes na indústria do transporte marítimo: o uso de tecnologias que alteram o projeto do navio; a adoção de medidas operacionais, como o recebimento de energia elétrica nos portos e terminais, a geração de bolhas no casco, a navegação com auxílio do vento e a redução da velocidade durante a navegação; e a revisão dos conceitos de dimensionamento da frota. Por outro lado, Silva e Magalhães (2022) demonstraram que o uso de biocombustíveis no transporte marítimo internacional, como uma alternativa para atingir as metas estabelecidas pela IMO em sua estratégia inicial de descarbonização, é melhor compreendido quando se consideram as principais peculiaridades e especificidades do setor de navegação e os antecedentes históricos relacionados à temática de combate às emissões de GEE.

Dessa forma, é crucial analisar as possíveis ações que a AM poderá tomar para estabelecer novos procedimentos nas NORMAM, que poderão ser implantados nas embarcações que operam no País, de forma a diminuir a emissão de GEE.

O objeto desta pesquisa foi descrever as possíveis ações a serem tomadas pela AM para mitigar os problemas causados pelas embarcações que navegam em

Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB¹) e contribuem para a emissão de gases GEE. Além disso, são apresentadas como questões de pesquisa: a AM poderá adotar alguma medida para mitigar a emissão de gases GEE pelas embarcações que operam em AJB? A AM poderá determinar que sejam implementadas alterações nas embarcações com o objetivo de diminuir a emissão de GEE? Realizar fiscalizações nas embarcações auxiliará a AM no combate à emissão de GEE? As hipóteses desta pesquisa são que as NORMAM poderão estabelecer alterações a serem implantadas nas embarcações que operam somente no Brasil e realizar a implantação da fiscalização dessas novas alterações por meio de vistorias e inspeções navais, de modo a mitigar os efeitos da emissão dos GEE.

Com base nas regras estabelecidas nas convenções da IMO, como o Anexo VI da MARPOL, nos relatórios do Comitê de Proteção do Meio Marinho e nas NORMAM para embarcações empregadas na navegação em mar aberto, navegação interior e operação de embarcações estrangeiras em AJB, esta pesquisa analisou os problemas causados pelas embarcações que contribuem para a emissão dos GEE. Foram analisadas, ainda, as possíveis ações a serem estabelecidas pela AM para normatizar novos procedimentos, de modo a mitigar a emissão de GEE liberados pelas embarcações na navegação em AJB, tendo como objetivo avaliar a necessidade de realizar alterações nas NORMAM para atender a esta finalidade.

As pesquisas bibliográficas e documentais foram usadas como procedimento metodológico. A pesquisa bibliográfica visou ao entendimento sobre o tema com buscas de artigos científicos, dissertações e teses. As palavras-chave utilizadas foram: gases do efeito estufa emitidos pelas embarcações; mudanças climáticas com as navegações marítimas; dióxido de carbono; e mitigação dos efeitos dos gases do efeito estufa. As buscas foram realizadas nas plataformas Google acadêmico, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Rede de Bibliotecas Integradas da Marinha (Rede BIM), repositórios de universidades e fundações de pesquisas.

1 “Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), compreendem as águas interiores e os espaços marítimos, nos quais o Brasil exerce jurisdição, em algum grau, sobre atividades, pessoas, instalações, embarcações e recursos naturais vivos e não-vivos, encontrados na massa líquida, no leito ou no subsolo marinho, para os fins de controle e fiscalização, dentro dos limites da legislação internacional e nacional. Esses espaços marítimos compreendem a faixa de 200 milhas marítimas contadas a partir das linhas de base, acrescida das águas sobrejacentes à extensão da Plataforma Continental além das 200 milhas marítimas, onde ela ocorrer” (Brasil, 2022a).

Em relação à pesquisa documental, foram realizadas consultas às convenções da IMO, às NORMAM e à legislação brasileira; e buscas de relatórios dos Comitês da IMO, de apresentações de palestras sobre a transição energética dos meios marítimos, de matérias jornalísticas contendo as ações adotadas pelos armadores e de boletins com ênfase nos efeitos dos GEE, utilizando como palavras-chave: biocombustíveis; descarbonização de navios; e navios verdes.

Além desta Introdução, o desenvolvimento foi conduzido de acordo com os seguintes capítulos: Capítulo 2, Referencial Teórico, onde foram abordados os documentos utilizados no Brasil e no exterior sobre as emissões de GEE; Capítulo 3, em que foram analisadas as medidas para mitigar as emissões dos GEE realizadas por embarcações e as hipóteses que a AM poderá adotar para mitigar a emissão dos GEE; e, por fim, a Conclusão, em que foram apresentadas as conclusões do que foi fundamentado ao longo das seções anteriores, de forma a ressaltar as ações que poderão ser adotadas pelas NORMAM.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão apresentadas as convenções e legislações nacionais e internacionais que tratam da redução da emissão de gases do efeito estufa pelos navios, bem como suas aplicações, tanto no Brasil quanto no exterior.

2.1 O TRANSPORTE MARÍTIMO

Aproximadamente 95% do comércio exterior no Brasil é realizado por meio da navegação marítima (Santos *et al.*, 2022), onde milhares de navios de diferentes bandeiras levam e trazem suas mercadorias para os portos nacionais e internacionais. Além do comércio exterior e do fato de o Brasil ter cerca de 8.500 km de costa navegável (Santos *et al.*, 2022), onde está situada a Amazônia Azul, a navegação de cabotagem² é utilizada por diversos armadores, devido à grande capacidade de transporte de cargas em relação aos outros meios de transporte. Nesse contexto, o Brasil instituiu o Programa de Estímulo ao Transporte por

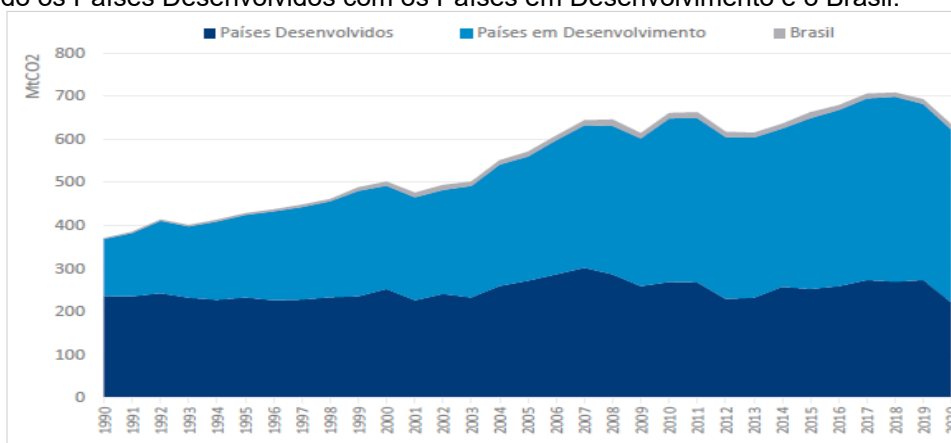
2 Navegação de Cabotagem — “é a navegação realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis interiores” (Brasil, 2023a).

Cabotagem, por meio da Lei nº 14.301/2022, conhecida como “BR do Mar”, que tem entre os seus principais objetivos: ampliar e melhorar a qualidade desse tipo de navegação; incentivar a concorrência e a competitividade dos serviços prestados pelos navios da cabotagem, incluindo a flexibilização do afretamento de embarcações estrangeiras para transportar as cargas entre portos brasileiros; e estimular o desenvolvimento da indústria naval brasileira (Brasil, 2022b).

Todavia, devido às dimensões continentais das Águas Jurisdicionais Brasileiras e ao grande número de embarcações que nelas navegam, há uma grande quantidade de emissões de gases poluentes, o que pode prejudicar a saúde pública da população brasileira. Dessa forma, o País adotou medidas para atender aos acordos internacionais e mitigar os efeitos, sobretudo dos GEE.

Aguiar, Cardoso e Guitarrari (2023) demonstraram, no Gráfico 1, o aumento da emissão de CO₂ em função do aumento do transporte marítimo internacional, motivo pelo qual a IMO adotou as medidas para reduzir a emissão de gases na atmosfera. No entanto, entre os anos de 2013 e 2014, período logo após a emissão do relatório do Terceiro Estudo da IMO sobre a redução de gases do efeito estufa e da adoção de novos procedimentos para o controle das descargas na atmosfera, realizadas por navios, ocorreu uma leve queda na emissão de CO₂. Enquanto que no ano de 2020, no início da pandemia da *Coronavirus Disease-2019 (COVID-19)*, quando os níveis de emissões estavam em seu máximo, há um segundo período de queda na emissão de CO₂. Além disso, percebe-se que os países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, emitiram mais CO₂ do que os países desenvolvidos.

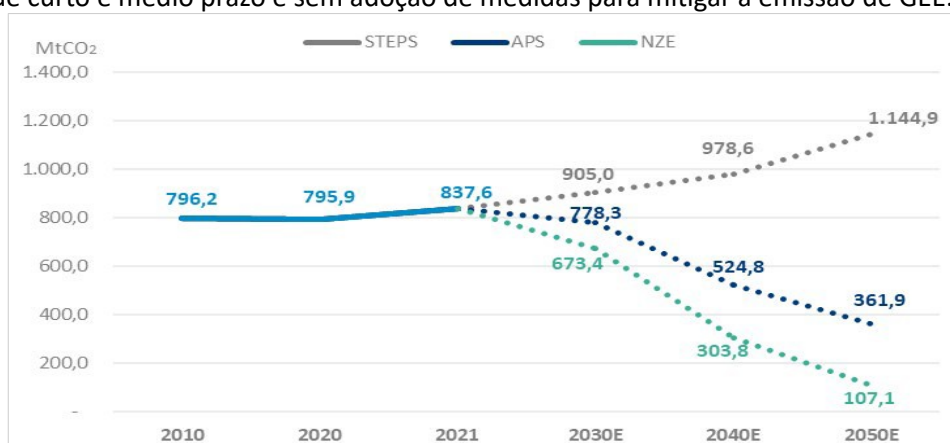
Gráfico 1 — Emissões de CO₂ emitidas pelos navios que utilizam *Bunker* Marítimo no mundo, comparando os Países Desenvolvidos com os Países em Desenvolvimento e o Brasil.



Fonte: Aguiar, Cardoso e Guitarrari, 2023.

No Gráfico 2, Aguiar, Cardoso e Guitarrari (2023) avaliaram três cenários diferentes quanto à adoção de medidas para atingir a meta de zero emissões (NZE) de CO₂ até 2050. No primeiro cenário, esses autores estimaram que, se todas as medidas de curto, médio e longo prazo fossem adotadas, seriam emitidos cerca de 107,1 milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono (MtCO₂). No segundo cenário, se fossem adotadas apenas algumas das medidas anunciadas (APS), seriam emitidos 361,9 MtCO₂ até 2050, o que representaria três vezes mais do que o estimado no primeiro cenário. No terceiro cenário, em que não sejam adotadas medidas (STEPS), os autores estimaram que a emissão de CO₂ atingiria quase dez vezes mais do que o estimado no primeiro cenário. Além disso, na hipótese de que nenhuma medida fosse adotada entre os anos de 2021 e 2050, haveria um aumento de 40% nas emissões de CO₂.

Gráfico 2 — As projeções das medidas a serem adotadas até 2050, comparando com as medidas de curto e médio prazo e sem adoção de medidas para mitigar a emissão de GEE.



Fonte: Aguiar, Cardoso e Guitarrari, 2023.

2.2 O ACORDO DE PARIS E O COMPROMISSO DO BRASIL

Em 1992, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima foi assinada pelo Brasil na Rio-92; ela tratava do tema do efeito estufa e do aquecimento global. Nessa Conferência, ficou estabelecido que os países desenvolvidos deveriam tomar medidas para combater o aquecimento global e retornar suas emissões antrópicas de GEE, por volta do ano 2000, aos níveis anteriores a 1990 (Brasil, 2004). Em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (ONU, 2015),

ocorrida em Paris, foram discutidos novamente os problemas causados pelos GEE. Os países concordaram com a meta de manter a temperatura média global abaixo de 2° C, acima dos níveis pré-industriais, e de preferência limitando o aumento em 1,5 ° C. Dessa forma, concluíram que essa meta diminuiria os riscos e os efeitos das alterações climáticas.

O acordo estabeleceu que cada país deveria elaborar um plano, denominado CND, com os objetivos a serem alcançados para a redução das emissões. Dessa forma, o Brasil enviou à ONU uma nova CND, de modo a atingir as metas estabelecidas, alcançando a sua neutralidade em 2060. Conforme consta na nota à imprensa nº 157/2020, a CND emitida pelo Brasil é uma das mais ambiciosas do mundo, destacando-se pelo compromisso de reduzir as emissões absolutas, diferente da maioria dos países em desenvolvimento; por incluir toda a economia, e não apenas setores específicos; e pela magnitude das metas a serem atingidas, de 37% até 2025 e 43% até 2030%, superando alguns países desenvolvidos (Brasil, 2020).

2.3 MEDIDAS IMPLEMENTADAS PELA IMO

A IMO foi criada pela ONU em 1948, visando tratar exclusivamente dos assuntos marítimos, sendo uma organização técnica e a maior parte do seu trabalho realizada por meio de comitês e subcomitês. Os principais objetivos da IMO estão relacionados à promoção de mecanismos de cooperação, desenvolvendo padrões globais para a navegação marítima internacional; ao transporte marítimo seguro; à prevenção da poluição hídrica; e à remoção dos obstáculos ao tráfego marítimo. A IMO dividiu os assuntos por sete subcomitês, sendo eles: elemento humano, treinamento e vigilância; implementação de instrumentos IMO; navegação, comunicações e busca e resgate; prevenção da poluição e resposta; projeto e construção de navios; sistemas e equipamentos para navios; e transporte de cargas e contêineres (IMO, 2013).

Em novembro de 1973, a Assembleia da IMO criou o Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho (MEPC), com o objetivo de coordenar as ações da Organização para prevenir e controlar a poluição do meio ambiente por navios (IMO, 2013). Em 1973, a IMO criou a MARPOL, tendo emitido um protocolo complementar em 1978, devido a uma série de acidentes envolvendo navios petroleiros, passando

a ser conhecida como MARPOL 73/78 (IMO, 2002). A atual Convenção contém seis anexos técnicos que tratam das regras para prevenir a poluição por óleo, substâncias líquidas nocivas a granel, substâncias perigosas transportadas embaladas, esgoto, lixo e poluição do ar atmosférico (IMO, 2005). A MARPOL é aplicada a navios com arqueação bruta³ (AB) maior ou igual a 400 e que sejam utilizados na navegação internacional. Cada Estado-Membro deve tomar as medidas necessárias para implementar essa convenção em seus respectivos países; e, caso julgue necessário, poderá determinar que os navios que realizem navegação de cabotagem cumpram algumas regras específicas (IMO, 2002).

Após as ações realizadas pela ONU em relação às poluições provocadas pelas descargas de gases para a atmosfera, a IMO tomou algumas medidas para minimizar os efeitos dos gases emitidos pelas embarcações. Foram definidos procedimentos que as AM deveriam implementar em seus países. Em maio de 2005, foi implementado o Anexo VI da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, que estabeleceu quais medidas deveriam ser tomadas pelas embarcações para prevenir a poluição atmosférica causada por navios. Algumas das medidas previstas naquele período eram o controle das emissões de Óxido de Azoto (NO_x) provenientes dos gases de escape dos navios e a proibição das emissões deliberadas de substâncias destrutivas da camada de ozônio. As zonas de controle das emissões estabeleciam normas mais rigorosas para o NO_x e as partículas (IMO, 2005). Em 2011, a IMO estabeleceu novos procedimentos obrigatórios para melhorar a eficiência energética técnica e operacional das embarcações, de modo a diminuir as emissões de GEE; contudo, segundo a MARPOL, esses procedimentos não são válidos para todas as embarcações, somente para aquelas que possuem AB maior ou igual a 400 e que são usadas na navegação entre portos internacionais (IMO, 2011).

É importante salientar que o Acordo de Paris não estabelece uma abrangência das medidas a serem tomadas pela aviação internacional e pelo transporte marítimo em relação às emissões de gases emitidos pelas aeronaves e pelas embarcações, sendo de responsabilidade das Organizações Internacionais da Aviação Civil e Marítimas a criação de procedimentos para diminuir a emissão de GEE. Segundo as principais conclusões obtidas pelo estudo da IMO (2021), consta

³ Arqueação bruta significa "a arqueação bruta calculada de acordo com os regulamentos de medição de arqueação contidos no Anexo I da Convenção Internacional sobre Medição de Arqueação de Navios, 1969" (IMO, 2002).

que, em 2018, as emissões de GEE aumentaram 9,6% em relação ao ano de 2012, o que significa que o meio de transporte marítimo emitiu quase 3,0% do total de emissões antropogênicas globais no ano de 2018. No entanto, no estudo em questão, a intensidade de carbono apresentou uma melhora de 11% em relação ao período anterior, refletindo o crescimento da atividade com ganhos de eficiência. Esse estudo também apresentou as projeções de emissões de GEE para as próximas décadas, devido à crescente demanda pelo transporte marítimo, e revelou que, caso não sejam tomadas medidas para diminuir as emissões de gases, haverá um aumento de 50% dessas emissões até 2050 em relação a 2018, sendo que o CO₂ representaria 17% das emissões globais (IMO, 2021).

Para atingir as metas estabelecidas no Acordo de Paris e prevenir novas mudanças climáticas, é preciso adotar novas medidas para diminuir as emissões de gases, sobretudo o dióxido de carbono. Dessa forma, a IMO lançou, em 2018, a Estratégia Inicial para a Redução das Emissões de GEE das embarcações. Posteriormente, em função dos resultados obtidos no Quarto Estudo de Gases do Efeito Estufa, a IMO revogou a Estratégia Inicial e publicou uma nova estratégia para a redução das emissões de GEE dos navios, em julho de 2023, durante a 80ª Sessão do Comitê de Proteção do Meio Ambiente da IMO — MEPC.377-80; essa sessão apresentou as novas metas e medidas a serem adotadas a longo e médio prazo no processo de descarbonização do setor marítimo (IMO, 2023).

A estratégia atual tem como objetivo aumentar a contribuição da IMO para os esforços globais de descarbonização do setor marítimo, abordando as emissões provenientes do transporte marítimo internacional, de acordo com o Acordo de Paris e seus objetivos; com a Agenda 2030 das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável e os objetivos de desenvolvimento sustentável; e para identificar as medidas a serem implementadas pelo setor de transporte marítimo internacional, incluindo incentivos à investigação, ao desenvolvimento e ao monitoramento das emissões de GEE (IMO, 2023). A IMO identifica os níveis de ambição a serem alcançados pelos navios, por meio dessa estratégia, tendo em vista que serão implantadas melhorias: na eficiência energética nos navios novos; na inovação tecnológica para a diminuição de emissões de gases; e na utilização de combustíveis com zero ou quase zero de emissões de GEE; melhorias estas que são consideradas fundamentais para se atingir o nível global de ambição. Sendo assim, é esperado que a Autoridade Marítima Brasileira tome as medidas

necessárias para atingir as metas estabelecidas pela IMO, por meio da implementação de novos procedimentos nas NORMAM.

Com relação aos pontos a serem verificados para alcançar emissões zero de GEE provenientes do transporte marítimo internacional, a estratégia da IMO de 2023 previa uma redução anual de emissão de GEE, em comparação com a emissão do ano de 2008, de pelo menos 20%, com o objetivo de atingir 30% até 2030; e, posteriormente, uma redução de pelo menos 70%, com o objetivo de atingir 80% até 2040. A IMO estabeleceu que as medidas a serem adotadas serão consideradas em termos de curto, médio e longo prazos, sendo que as medidas de curto prazo deveriam ser adotadas até o ano de 2023; as medidas de médio prazo devem ser adotadas até o ano de 2030; e as medidas de longo prazo, até 2050. A revisão está programada para ocorrer em 2028, com o objetivo de avaliar as metas atingidas e verificar se será necessário adotar novas medidas para se atingir as metas estabelecidas pela IMO (IMO, 2023).

Por meio da MARPOL, a IMO adotou, como medida de curto prazo para mitigar os efeitos dos GEE emitidos pelos navios, a coleta de dados e a emissão de relatório anual de consumo de óleo combustível dos navios com AB maior ou igual a 5.000, o qual alimentará o Plano de Gestão de Eficiência Energética do Navio (SEEMP).

2.4 MEDIDAS ADOTADAS PELA UNIÃO EUROPEIA

Em 13 de setembro de 2023, a União Europeia (UE) publicou o Regulamento nº 2023/1805, que trata da utilização de combustíveis renováveis e hipocarbônicos nos transportes marítimos (UE, 2023), reforçando o compromisso climático da UE, que prevê a redução das emissões de GEE até 2030 em pelo menos 55%, em relação aos níveis existentes em 1990; para, assim, atingir a neutralidade climática até 2050. A fim de atender a esses compromissos, a UE emitiu o regulamento em questão, específico para o transporte marítimo. A comparação realizada com outros tipos de transporte mostrou que, apesar de ser o mais eficiente em termos de emissões de carbono por tonelada por km, o transporte marítimo emite cerca de 11% do total de emissões de CO₂ provenientes dos meios de transporte; e entre 3% e 4% de todas as emissões de CO₂ na UE.

O regulamento nº 2023/1805 será aplicado a todos os navios com AB superior a 5.000, sem distinção de bandeira (UE, 2023). Os armadores devem realizar o monitoramento, informando a quantidade e o tipo de combustível utilizado pelos navios, seja durante a navegação ou atracado. Além disso, devem informar os tipos de motores (principais e auxiliares); e se são utilizadas propulsões eólicas, de modo a demonstrar o efetivo cumprimento dos limites estabelecidos de intensidade das emissões de GEE conforme a energia utilizada pelos navios. A UE (2023) também definiu que, a partir de 1 de janeiro de 2025, os inspetores dos Estados-Membros deverão calcular e fixar a intensidade média anual das emissões de GEE provenientes da energia utilizada pelos navios, bem como o saldo de conformidade dos navios em relação ao limite, e deverão determinar se o navio cumpriu a sua obrigação de usar a energia elétrica dos portos, quando atracado. Além disso, a Comissão Europeia criará e garantirá o funcionamento de uma base de dados eletrônica que registrará o desempenho de cada navio, assegurando a sua conformidade com o regulamento da UE para combustíveis renováveis e hipocarbônicos nos transportes marítimos, denominada “base de dados FuelEU” (UE, 2023). Após cumprir esses procedimentos, o Estado-Membro deverá emitir uma declaração de conformidade FuelEU, atestando que o navio cumpriu os requisitos do regulamento da União Europeia, os limites de intensidade das emissões de GEE provenientes da energia utilizada e a obrigação de utilização de energia elétrica nos portos.

2.5 MEDIDAS ADOTADAS PELO BRASIL

A Marinha do Brasil tem, dentre outras atribuições subsidiárias, conforme estabelecido na Lei Complementar nº 97, as atribuições de prover a segurança da navegação aquaviária; e de implementar e fiscalizar o cumprimento de leis e regulamentos, no mar e nas águas interiores, em coordenação com outros órgãos do Poder Executivo, federal ou estadual, quando necessário, devido às suas competências específicas. De acordo com o estabelecido nesta Lei Complementar, devido à especificidade dessas atribuições, é de competência do Comandante da Marinha o trato desses assuntos, denominado de AM para esse fim.

Por sua vez, o Comandante da Marinha, por meio da Portaria nº 37/MB/MD, nomeou o Diretor de Portos e Costas como Representante da AM nos assuntos

relacionados à segurança da navegação e ao meio ambiente, ficando este diretor responsável, dentre outras atribuições, a de estabelecer requisitos e elaborar normas para a prevenção da poluição por parte de embarcações, plataformas ou instalações de apoio. A DPC é a diretoria especializada responsável por emitir as orientações técnicas necessárias para as 69 Capitânicas, Delegacias e Agências (CDA) das Capitânicas dos Portos em todo o território nacional.

O Brasil tem a Lei nº 9.537, específica sobre a Segurança do Tráfego Aquaviário em AJB, conhecida como LESTA. Nela, estão descritas algumas das responsabilidades da AM para promover a implementação e a execução desta lei, “com o propósito de assegurar a salvaguarda da vida humana e a segurança da navegação, no mar aberto e hidrovias interiores, e a prevenção da poluição ambiental por parte de embarcações, plataformas ou suas instalações de apoio” (Brasil, 1997). Segundo Brasil (1997), a LESTA tem, ainda, como atribuições, a elaboração de normas, figurando estas entre as principais para o tráfego e a permanência das embarcações nas águas sob jurisdição nacional, bem como para a sua entrada e saída de portos, atracadouros, fundeadouros e marinas; e a realização de inspeções navais e vistorias. De acordo com a LESTA, as normas que surgirem a partir desta lei deverão obedecer, no que for possível, aos atos e resoluções internacionais ratificados pelo Brasil, especialmente os que dizem respeito à salvaguarda da vida humana nas águas, à segurança da navegação e ao controle da poluição ambiental causada por embarcações (Brasil, 1997).

A DPC, por exemplo, emitiu as normas da AM sobre poluição hídrica causada por embarcações, plataformas e suas instalações de apoio — NORMAM-20/DPC, em 14 de junho de 2005, para estabelecer os procedimentos a serem seguidos em caso de lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em AJB; e também para a gestão de água de lastro, de acordo com o estabelecido nas convenções da IMO, visando prevenir a poluição do meio hídrico causada pelas embarcações nos casos de descarga de óleos combustíveis e a eliminação dos riscos da introdução de espécies aquáticas invasoras no Brasil (Brasil, 2005).

3 MEDIDAS PARA MITIGAR AS EMISSÕES DOS GASES DO EFEITO ESTUFA PROVENIENTES DE EMBARCAÇÕES

Nesta seção, analisaremos as medidas existentes para mitigar as emissões dos GEE provenientes de embarcações, apresentando as medidas de curto e médio prazo, por meio de alterações nas embarcações e adoção de medidas operacionais; e as medidas de longo prazo, por meio da transição energética dos navios, que compreende a descarbonização a partir da alteração dos combustíveis utilizados pelos motores propulsores e auxiliares dos navios. Tais procedimentos e alterações poderão ser adotados pela Autoridade Marítima Brasileira, com a inclusão dessas medidas em suas Normas da Autoridade Marítima, de modo que o Brasil cumpra com o seu compromisso, realizado por meio da CND; e para atingir as metas estabelecidas pela IMO para a redução da emissão de GEE até o ano de 2050.

Os gases emitidos pelos navios estão relacionados aos tipos de combustível utilizados nas máquinas propulsoras e auxiliares, sendo que, na maioria dos navios, o combustível utilizado é o “óleo pesado”, que é a tradução para o termo em inglês “*Heavy Fuel Oil*” (HFO), popularmente conhecido como “*bunker*”. Além disso, a potência dos motores, a velocidade, o tempo de viagem e as rotas dos navios influenciam diretamente no seu consumo. De acordo com Cisneros (2012), em média, os navios empregados nas travessias marítimas internacionais têm um consumo na faixa de 5 a 350 toneladas diárias; enquanto os navios pequenos da navegação de cabotagem consomem de 2 a 10 toneladas. Dessa forma, podemos concluir que, se reduzirmos o consumo de combustíveis, diminuiremos a emissão dos gases do efeito estufa.

3.1 MEDIDAS OPERACIONAIS E ALTERAÇÕES DE PROJETOS A SEREM ADOTADAS NO CURTO E MÉDIO PRAZO PARA MITIGAR A EMISSÃO DOS GEE PELOS NAVIOS

Está prevista, para o ano de 2028, a emissão de um novo estudo a ser realizado pela IMO, o qual analisará a efetividade das medidas determinadas pelos Estados-Membros e adotadas pelos navios, com o objetivo de verificar se as metas estabelecidas surtiram efeitos. Dessa forma, a Autoridade Marítima Brasileira deverá incluir procedimentos a serem adotados pelos navios, para atingir as metas

estabelecidas pela IMO. A seguir, apresentaremos alguns dos procedimentos existentes que estão diretamente relacionados à diminuição da emissão de gases realizada pelas embarcações e que a DPC poderá implementar por meio das NORMAM.

3.1.1 Eficiência energética dos navios

A IMO, por meio das emendas do Capítulo VI da MARPOL, tem obrigado os Estados-Membros a realizar o monitoramento da quantidade de CO₂ emitida pelos navios que possuem arqueação bruta a partir de 400 e que são empregados na navegação internacional desde 1º de janeiro de 2023 (IMO 2021). Esse monitoramento tem sido realizado por meio do cálculo técnico do Índice de Eficiência Energética (EEXI); por meio do cálculo operacional do Indicador de Intensidade de Carbono (CII) anual; e pela classificação do CII associada, sendo que, no Brasil, esse monitoramento está sendo realizado pelas Organizações Reconhecidas⁴, credenciadas pela DPC, as quais recebem o nome de Sociedades Classificadoras e são reconhecidas para atuarem em nome da AM. Referente à classificação do CII associada que reflete a eficiência energética operacional dos navios, de acordo com o relatório de consumo de óleo combustível emitido pelo sistema de coleta de dados (SDCD) da IMO, ela é obrigatória somente para navios de arqueação bruta igual ou superior a 5.000AB. O fator anual de redução da intensidade carbônica deve ser equivalente ao existente até a sua implementação, em 2023. Após esse período, a quantidade de CO₂ deverá ser reduzida em 2% no período de 2023 a 2026; e a redução deverá ser reforçada para o período de 2027 a 2030 (IMO, 2023).

A partir dessas informações, a Autoridade Marítima determinará a classificação de intensidade de carbono operacional do navio, que pode ser de “A” a “E”. Os navios mais eficientes recebem a classificação “A”; enquanto aqueles que tiverem menos equipamentos para eliminar as emissões de CO₂ recebem a classificação “E”, sendo considerados os mais ineficientes. Os navios com mais de 5.000AB que forem classificados como do tipo “E”, ou que estiverem por três anos consecutivos como do tipo “D”, deverão elaborar um plano de medidas corretivas.

4 Organizações Reconhecidas — “Entidade Especializada autorizada para atuar em nome da AM Brasileira na regularização e controle de embarcações nos aspectos relativos à segurança da navegação, à salvaguarda da vida humana e à prevenção da poluição ambiental” (Brasil, 2023c).

Conforme consta na MARPOL, o procedimento é aplicado somente para navios que realizem a navegação internacional e que possuam arqueação bruta maior ou igual a 400, no caso do EEXI; e no caso do CII associado, para navios com arqueação bruta maior ou igual a 5.000AB (IMO, 2021). A Autoridade Marítima poderá incluir como obrigatórios estes procedimentos a todos os navios que realizem a navegação de cabotagem, por meio das Normas da Autoridade Marítima para embarcações empregadas na navegação em mar aberto — NORMAM-201/DPC; e das Normas da Autoridade Marítima para Operação de Embarcações Estrangeiras em AJB — NORMAM-203/DPC, nas quais não existem procedimentos estabelecidos sobre a emissão de GEE realizada pelas embarcações, somente para embarcações que sejam empregadas na navegação internacional e que tenham estes valores de arqueação bruta. A fiscalização ficaria a cargo dos Inspectores Navais lotados nas CDA das Capitânicas dos Portos, a fim de verificar se os navios que estão operando na navegação de cabotagem também estão auxiliando o Brasil para cumprir as metas de redução da emissão dos GEE.

3.1.2 Utilização de energia elétrica dos portos

Algumas medidas operacionais que poderão ser adotadas pelos armadores, proprietários ou tripulantes dos navios não estão relacionadas diretamente com as medidas à serem adotadas pela Autoridade Marítima Brasileira para incluí-las como procedimentos nas NORMAM, como, por exemplo, o planejamento da viagem e da navegação eficiente, desempenhada pelos tripulantes, quando são realizadas as análises das condições meteorológicas e definida a melhor rota de navegação a ser desenvolvida, evitando rotas com previsões de mau tempo e otimizando a utilização de correntes marítimas, para auxiliar na velocidade de cruzeiro a ser mantida, reduzindo, conseqüentemente, o consumo de combustível do navio; nos ajustes dos calados⁵ e do trim⁶; nas regulagens no piloto automático; no reaproveitamento do calor gerado a bordo; dentre outras medidas operacionais.

Neste sentido, uma medida de curto prazo a ser implementada pelo Representante da Autoridade Marítima Brasileira, por meio da NORMAM da Diretoria

5 Calado “é a distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio naquele ponto” (Fonseca, 2019).

6 Trim é “a medida da inclinação, isto é, a diferença entre os calados” avante e a ré; “é expresso em metros ou em pés, dependendo da medida empregada no calado do navio” (Fonseca, 2019).

de Portos e Costas, e que seria possível verificar o seu cumprimento utilizando os Inspectores Navais das CDA das Capitânicas dos Portos, seria a utilização da energia de terra fornecida pelos portos e terminais aos navios atracados, medida que auxiliará na redução do consumo de combustíveis e na redução da emissão de gases pelos navios, tendo como fator contribuinte, para a execução dessa medida operacional, a economia de gastos por parte dos armadores e proprietários dos navios, uma vez que tal medida refletirá diretamente na economia do consumo de combustíveis dos navios.

A União Europeia, por exemplo, estabeleceu regras, por meio dos regulamentos UE 2023/1804 e UE 2023/1805, que obrigam alguns tipos de navios a usarem a energia fornecida pelos portos e terminais, para evitar o uso de motores auxiliares, que utilizam combustíveis fósseis e que emitem uma grande quantidade de CO₂. Com tal medida operacional normatizada pela NORMAM, a emissão de gases durante a permanência dos navios atracados seria reduzida para zero. Além dos navios que realizam a navegação de cabotagem e de longo curso, os rebocadores portuários também poderão ser obrigados a adotar essa medida de curto prazo, quando estiverem atracados aguardando para realizar uma manobra de atracação de navios nos portos e terminais.

Uma das medidas que a DPC poderá adotar será a inclusão desse procedimento na NORMAM-201/DPC e nas Normas da Autoridade Marítima para Operação de Embarcações Estrangeiras em AJB — NORMAM-203/DPC, onde os Inspectores Navais das CDA das Capitânicas dos Portos ficariam responsáveis por verificar o cumprimento deste item das NORMAM.

3.1.3 Obrigatoriedade de limpeza dos cascos

Ainda dentro das medidas de curto prazo a serem adotadas pela Autoridade Marítima Brasileira, está a questão das vistorias em seco. Durante esse tipo de vistoria para a renovação do Certificado de Segurança da Navegação, não consta na NORMAM-201/DPC (Brasil, 2023a) a obrigatoriedade de ser realizada a limpeza do casco e dos hélices dos navios, por meio de raspagem, com o objetivo de eliminar a rugosidade do casco e dos hélices, retirando a bioincrustação marinha (processo natural de colonização e crescimento de organismos em superfícies submersas, tais como mexilhões e cracas) existente, a qual resulta no aumento da resistência ao

avanço, diminuição da velocidade e aumento da potência requerida da máquina propulsora, o que acarreta o aumento do consumo de combustíveis para manter a velocidade de cruzeiro do navio e, conseqüentemente, o aumento da emissão de GEE.

Fato comprovado por Tadros, Ventura e Soares (2023), quanto aos efeitos da rugosidade do casco e do hélice ao longo de 10 anos de operação sobre o desempenho de um tipo de navio graneleiro operando em águas calmas, onde os autores consideraram o casco do navio, o motor instalado com um consumo mínimo e um hélice otimizado. Os autores verificaram que a rugosidade do casco tem efeito dominante sobre o desempenho do navio. Quando acrescentaram o efeito da rugosidade do hélice, concluíram que o aumento do consumo de combustível após 10 anos de operação poderia ser 24% maior, quando comparado com um navio novo e sem nenhuma rugosidade no casco e nos hélices.

Ao incluir a raspagem do casco e dos hélices como procedimento obrigatório nas vistorias de renovação e intermediárias de casco na NORMAM-201/DPC, as embarcações diminuirão o consumo de combustíveis e auxiliarão na mitigação da emissão de gases do efeito estufa.

3.1.4 Lubrificação do casco com ar

Uma das medidas de médio prazo a serem adotadas para atingir as metas estabelecidas pela IMO, é a lubrificação do casco com a utilização de um sistema de ar, que fornece bolhas de ar no fundo do casco para diminuir a resistência ao atrito, com a redução do contato direto do casco com a água, e ganhar no avanço ao deslocamento, resultando em um consumo menor de combustível e, conseqüentemente, na redução da emissão dos GEE. Kim e Steen (2023) afirmam que, ao se utilizar esse sistema, existe um ganho de energia proporcional à medida que a espessura nominal da camada de ar aumenta, fato referenciado no projeto idealizado pela *Mitsubishi Heavy Industries*, que instalou o sistema de lubrificação a ar como teste em um navio, e obteve 12% de economia de energia no deslocamento, o que demonstra a eficiência do sistema.

No estudo realizado por Kim e Steen (2023), foram apresentados três conceitos distintos sobre o sistema de lubrificação a ar: o conceito de bolhas de ar, que injeta microbolhas de ar na parte inferior do casco; o conceito de filme de ar, que

cobre a superfície inferior com uma camada de ar contínua, devido ao aumento do fluxo de ar; e o conceito de cavidade de ar, que preenche a área rebaixada abaixo do casco com ar. Como resultados alcançados, eles obtiveram um percentual de economia de energia entre 3% e 6% para o conceito de microbolhas de ar; entre 4% e 12% no conceito de filme de ar; e entre 16% e 22% no conceito de cavidade de ar.

A Diretoria de Portos e Costas, como representante da Autoridade Marítima, poderá incluir na NORMAM-201/DPC (para as embarcações a serem empregadas na navegação de cabotagem) ou nas Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior⁷ — NORMAM-202/DPC, que as embarcações novas a serem construídas para operarem em AJB deverão prever a instalação de um dos três conceitos de sistema de lubrificação do casco com ar, sendo verificado o seu funcionamento, de modo contínuo, pelos vistoriadores navais, em suas vistorias de renovação fluando do certificado de segurança da navegação; ou, de modo inopinado, por meio das inspeções navais, a serem realizadas pelos inspetores navais das CDA das Capitânicas dos Portos.

3.1.5 Navegação assistida por ventos

As companhias de navegação estão cada vez mais empenhadas em aprimorar as suas rotas de navegação e reduzir os seus tempos, seja nas operações de carga e descarga de contêineres ou de graneis líquidos ou sólidos; nos abastecimentos de consumíveis para os navios ou seus tripulantes; nos períodos de espera nos fundeadouros para entrar no porto; ou na navegação de cabotagem ou de longo curso, sempre com o objetivo de entregar as mercadorias nos menores períodos de tempo. Antigamente, no início das travessias marítimas, as embarcações utilizavam somente as velas para navegar, as quais poderiam ser utilizadas, nesse momento, para mitigar a emissão de GEE. Porém, em virtude dessa corrida contra o tempo, a utilização desse tipo de propulsão seria inviável, uma vez que ele não proporciona uma operação contínua sob determinadas condições climáticas para as embarcações navegarem.

No entanto, uma medida de médio prazo que pode contribuir para a redução da emissão de GEE é a navegação assistida por ventos, com a utilização de um

⁷ Navegação Interior “é a realizada em hidrovias interiores, assim considerados rios, lagos, canais, lagoas, baías, angras, enseadas e áreas marítimas consideradas abrigadas” (Brasil, 2023b).

sistema de propulsão híbrido, optando por um dos diversos tipos de propulsão por energia eólica, em acréscimo à propulsão convencional dos navios mercantes, o que resultará em uma redução significativa do consumo de combustível e da emissão de gases do efeito estufa na atmosfera. Por estar sempre disponível no mar, o vento utilizado para auxiliar as viagens dos navios é mais vantajoso quando comparado com as demais técnicas ambientais de energias renováveis, sendo que essa tecnologia, utilizando a energia eólica, pode ser instalada em navios novos ou já existentes, como uma fonte alternativa e adicional de energia para auxiliar os sistemas de propulsão convencionais.

Os pesquisadores Lu e Ringsberg (2019) realizaram um estudo com as tecnologias de propulsão assistida com *Flettner Rotors*⁸, *DynaRig*⁹ e *Wingsails*¹⁰, utilizando um navio petroleiro com 250 metros de comprimento, 40 metros de boca e 14 metros de calado de projeto, navegando pelo oceano Atlântico. Ao simular essas três tecnologias, a tecnologia *Flettner Rotors* obteve os melhores resultados, chegando a 8,9% de economia de consumo de combustível, quando comparada com a propulsão convencional e sem ser assistida por ventos; seguida da tecnologia *Wingsails*, que obteve 8,8% de economia; e da tecnologia *DynaRig*, que obteve o pior desempenho, com 5,6% de economia. Ao analisar as três tecnologias do estudo dos autores, e caso o armador opte por utilizar a tecnologia que obteve o menor desempenho no consumo de combustível, conclui-se que, ao ser utilizada essa tecnologia, ocorrerá uma redução da emissão de GEE.

Como um sistema de propulsão híbrido com navegação assistida por ventos pode ser instalado em navios já existentes, a Diretoria de Portos e Costas, por meio da NORMAM-201/DPC, poderá exigir que os armadores e proprietários de navios que realizem a navegação de cabotagem e/ou a de longo curso, escolhendo uma das três tecnologias e a instalem até o ano de 2028, de modo a reduzir o consumo de combustíveis fósseis dos navios.

8 *Flettner Rotors* “é uma estrutura cilíndrica rotativa movida a eletricidade, com uma extremidade instalada verticalmente no convés. Ao utilizar o efeito *Magnus*, o impulso para frente é gerado enquanto o cilindro está girando através do vento” (Lu e Ringsberg, 2019).

9 *DynaRig* são as velas macias tradicionais já existentes.

10 *Wingsails* são velas rígidas. “O perfil de uma *Wingsails*, especialmente a espessura da forma do aerofólio, é capaz de gerar um forte efeito de sustentação e fornecer uma forte força propulsiva, diminuindo o arrasto induzido que diminui a velocidade de um navio” (Lu e Ringsberg, 2019).

3.2 MEDIDAS DE LONGO PRAZO PARA MITIGAR OS EFEITOS DE GASES DO EFEITO ESTUFA UTILIZANDO A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO TRANSPORTE MARÍTIMO

As medidas mencionadas anteriormente contribuirão para atingir o resultado das metas intermediárias estabelecidas na Estratégia da IMO. No entanto, até o ano de 2050, os navios precisarão aprimorar o processo de descarbonização de seus motores, a fim de garantir uma transição energética eficiente no transporte marítimo.

Esse processo é complexo e será muito lento, motivo pelo qual foi classificado como medida de longo prazo, em função da imprescindibilidade de realizar alterações dos tipos de combustíveis dos navios para combustíveis alternativos e que emitam baixa quantidade de gases GEE; e, principalmente, da necessidade de instalação de novos motores propulsores e auxiliares; ou, ainda, da necessidade de realizar a criação de sistemas híbridos, com a utilização de mais de uma tecnologia ou tipo de combustível dos navios, para que possam continuar suas operações e mitigar, ou eliminar, a emissão de gases nocivos ao meio ambiente e à saúde da população.

Os chamados combustíveis alternativos apresentam uma grande vantagem sobre os combustíveis fósseis na mitigação de GEE, uma vez que os primeiros emitem menos gases, principalmente o CO₂. Sendo que existem diversos tipos de combustíveis alternativos que podem ser utilizados nos navios, com o objetivo de atingir a meta final estipulada pela IMO, que inclui o uso de hidrogênio, gás natural liquefeito e biocombustíveis.

Nesse contexto, a medida inicial que a AM Brasileira deverá adotar para auxiliar nas medidas de descarbonização dos navios está relacionada às NORMAM, quanto aos tipos de combustíveis que os navios comerciais podem utilizar para o consumo próprio, uma vez que, atualmente, está estabelecido nas NORMAM (Brasil, 2023a) que não é permitido usar combustíveis com ponto de fulgor abaixo de 60 °C e, devido aos principais combustíveis verdes, que emitem baixa quantidade de CO₂ ou até mesmo zero emissão de CO₂, não atenderem a este requisito.

3.2.1 A utilização do Gás Natural Liquefeito como alternativa de combustível

Um dos principais combustíveis alternativos, considerado como intermediário na transição energética da descarbonização dos navios e que possui uma baixa quantidade de emissão de CO₂, é o gás natural liquefeito (GNL). Uma grande vantagem desse combustível é que ele já está sendo utilizado por alguns navios, e, apesar de ser de origem fóssil, ele possui características que auxiliam na qualidade do ar, pois emite baixas quantidades de óxidos de enxofre (SO_x), NO_x e partículas e que reduz os impactos nas emissões diretas de GEE.

Balcombe *et al.* (2018) afirmam que, quando o gás natural é resfriado até -162° C, ele se liquefaz e ocupa um espaço 600 vezes menor do aquele que ocupam os tanques de armazenamento dos navios movidos a combustíveis fósseis. Outro fator importante é que o GNL proporciona uma redução entre 20% e 30% das emissões de CO₂, em comparação ao diesel marítimo e ao óleo combustível pesado, sendo mais atrativo comercialmente, uma vez que o seu valor é mais baixo do que esses combustíveis. No entanto, essas vantagens não poderão ser atingidas caso não seja utilizado o motor mais adequado, pois poderá ocorrer a fuga de metano, que, comparado com o gás carbônico, emite mais gases do efeito estufa, e, conseqüentemente, poderá prejudicar as ações para mitigar as emissões de GEE. Estima-se que ocorra essa fuga entre 2% e 5% do rendimento total; sendo que, nos motores de dois tempos de combustível duplo de alta pressão, essas fugas são substancialmente mais baixas. Moreira (2019), por sua vez, afirma que há duas maneiras de se minimizar essas fugas: com a melhoria contínua de tecnologia da câmara de combustão; e com a utilização de catalisadores que impedem a oxidação do metano não queimado. Isto pode ser alcançado por meio da sincronização correta da válvula de admissão de gás e com o uso de tecnologia de pré-câmara, permitindo a combustão completa em todos os cilindros o tempo todo.

O estudo realizado por Alam *et al.* (2024), no *Global LNG Outlook*, revela um aumento substancial na capacidade total de liquefação global, estimado em 666,5 milhões de toneladas métricas por ano (MTPA) até o final de 2028, o que representa um aumento de aproximadamente 40%. Dessa forma, a conclusão dos autores é de que o aumento da capacidade total de liquefação atenderá à demanda de navios nos próximos anos.

Nesse cenário, a AM poderá determinar que os armadores que optarem pelo GNL como combustível alternativo instalem motores de combustão interna, equipados com tecnologia para aprimorar o processo de combustão; e que utilizem esses catalisadores que impedem a oxidação do metano não queimado. Além disso, a AM poderá incluir como obrigatório o cumprimento do Código Internacional de Segurança para Navios que utilizam gases ou outros combustíveis de baixo ponto de inflamação — Código IGF, por intermédio das NORMAM, a fim de que todos os navios projetados ou adequados para utilizar esse tipo de combustível cumpram os requisitos para a disposição e instalação de máquinas propulsoras e auxiliares, equipamentos e sistemas para esses navios, de forma a minimizar o risco para o navio, sua tripulação e o meio ambiente, mantendo a segurança da navegação de cabotagem e de interior; e auxiliando o Brasil a alcançar as metas estabelecidas pela IMO.

3.2.2 A utilização dos biocombustíveis nos motores marítimos

O Brasil detém uma grande experiência na produção de biocombustíveis, que são combustíveis líquidos de hidrocarbonetos de composição e propriedades semelhantes ao óleo combustível, mas que são produzidos a partir de fontes renováveis (biomassas) como matérias-primas para a produção de combustíveis para motores de combustão interna, assim como ocorre nos veículos automotores terrestres, que utilizam o etanol há mais de três décadas como combustível, inclusive com a utilização da tecnologia de motores que funcionam com mais de um tipo de combustível, os chamados motores flex, que funcionam tanto com gasolina quanto com etanol.

O Brasil, para cumprir o seu compromisso com o Acordo de Paris, emitiu a lei nº 13.576, que trata da Política Nacional de Biocombustíveis, chamada de RenovaBio, a qual estabelece diretrizes para contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de GEE, na produção, comercialização e no uso de biocombustíveis, de modo a incentivar o seu uso nos principais meios de transporte. É importante salientar que os biocombustíveis ainda produzem CO₂ na combustão dos motores, mas, ao analisar o seu ciclo de vida, a biomassa absorve esse CO₂ durante o crescimento, o que torna a emissão desse tipo de combustível neutra (McKinlay, Turnock e Hudson, 2020). Além disso,

conforme verificado no estudo realizado por Van der Kroft e Pruyn (2021), com a utilização de biocombustível *drop-in*¹¹, a adequação aos sistemas dos motores propulsores já existentes será mais acessível aos armadores, sem a necessidade de realizar grandes ajustes; ou, quando for necessário, serão realizadas pequenas adequações nas máquinas e seus equipamentos. O emprego dos biocombustíveis *drop-in* poderá alcançar reduções de GEE da ordem de 80%, quando comparado com o óleo combustível pesado, utilizando-se matérias-primas que são encontradas em abundância no Brasil, como os óleos vegetais derivados da biomassa de palma (dendê), do girassol e da soja; dos resíduos oleosos, utilizando o sebo como matéria-prima; dos resíduos agrícolas, incluindo os resíduos de grãos nesta categoria; e dos resíduos florestais.

Ademais, conforme trabalho realizado por Szklo *et al.* (2020), para analisar as alternativas de descarbonização do setor de navegação marítima no Brasil, com a utilização de combustíveis renováveis em substituição aos combustíveis fósseis utilizados atualmente nos navios, foram analisados 13 tipos de biocombustíveis, quanto aos impactos ambientais, técnicos e econômicos, incluindo a avaliação dos seus potenciais de produção e de mitigação de emissão de GEE. Nesse estudo, foram identificados os cinco melhores biocombustíveis, sendo que o óleo vegetal direto obteve o melhor desempenho; seguido pelo óleo vegetal hidrotratado; pelo diesel sintético de Fischer-Tropsch produzido a partir de biomassa (FT-diesel); pelo biometanol; e, por fim, pelo diesel sintético de Fischer-Tropsch produzido a partir de hidrogênio renovável e CO₂ capturado (eletrodiesel/e-diesel).

A grande vantagem desses combustíveis é a possibilidade de serem usados nos mesmos motores que utilizam o *bunker* como combustível, exceto o biometanol. Ainda nesse cenário, os dois biocombustíveis mais bem avaliados (óleo vegetal: direto e hidrotratado) são os preferidos para serem empregados na descarbonização do setor marítimo, principalmente em relação à diminuição das emissões de GEE, que, em média, podem ser reduzidas em cerca de 75%. Destaca-se, ainda, segundo os autores, que o FT-diesel alcançou o potencial de 97% de redução nas emissões quando comparado com o óleo diesel pesado (Szklo *et al.*, 2020).

De acordo com o estudo de Szklo *et al.* (2020), ao utilizar essas matérias-primas para a produção do biocombustível *drop-in*; e dos óleos vegetais direto e

11 Biocombustíveis *drop-in* — são combustíveis que “podem ser misturados gradualmente na mistura de combustíveis existente” tradução livre (Van der Kroft e Pruyn, 2021).

hidrotratado, do FT-diesel e do biometanol, haverá uma capacidade superior à demanda de combustível para ser utilizada nos navios que operam na navegação de cabotagem e de interior.

Com base nas conclusões desses estudos realizados por Szklo *et al.* (2020), a AM Brasileira poderá estabelecer como meta a ser alcançada, em uma primeira fase das medidas de longo prazo para mitigar os efeitos das emissões de GEE realizadas pelos navios, determinar que os navios realizem essa transição energética com a utilização dos biocombustíveis *drop-in* e dos óleos vegetais direto e hidrotratado, do FT-diesel e do biometanol, até 2040, por meio da implantação de regras a serem adotadas pelos navios que realizam a navegação de cabotagem por meio da NORMAM-201/DPC e pelas embarcações empregadas na navegação interior por meio da NORMAM-202/DPC, com a utilização de biocombustíveis.

3.2.3 Hidrogênio, o combustível de emissão zero de gás carbônico

Nessa caminhada para encontrar o combustível mais eficiente, para os navios deixarem de emitir CO₂ até 2050, o hidrogênio é o forte candidato. Além da vantagem de não emitir gás carbônico, o hidrogênio tem a capacidade de gerar energia por meio de combustão interna, utilizando um dispositivo de pós-combustão com um conversor catalítico seletivo, ou por meio de uma célula de combustível. Há diversas formas de se produzir o hidrogênio, incluindo os combustíveis fósseis, mas a produção de hidrogênio por eletrólise utiliza apenas água e eletricidade, sendo essa forma totalmente isenta de emissões de GEE, quando se utiliza eletricidade renovável (McKinlay, Turnock e Hudson, 2020). Além disso, Tomos *et al.* (2023) definem que a alta densidade energética do hidrogênio, a natureza renovável e as suas emissões de combustão não tóxicas, emitindo somente vapores de água, são as principais razões para o interesse no uso do hidrogênio como combustível.

A utilização desse tipo de combustível deverá ser projetada para os novos navios, pois eles necessitam de alterações nos tipos de motores a serem utilizados, em virtude das diferentes taxas de queima do hidrogênio quando comparado com os combustíveis fósseis utilizados nos navios (Hoang *et al.*, 2023). As células de combustíveis são mais eficientes para extrair energia desse tipo de combustível, o que seria incluído nessa nova fase de novos projetos de navios.

Atualmente, o grande desafio para a utilização deste combustível em navios é o seu armazenamento. Conforme Hoang *et al.* (2023), existem três formas de se armazenar hidrogênio: em estado gasoso, líquido ou sólido. O gás comprimido é o método mais simples e prático de se armazenar o hidrogênio, podendo ser mantido à temperatura ambiente. Contudo, o seu custo é superior em comparação com os outros estados do hidrogênio, devido aos materiais necessários para a construção de seus tanques. Para o armazenamento do hidrogênio no estado líquido, os tanques deverão ser construídos com um tanque interno contendo o hidrogênio e, na sua parte externa, deverá ter um isolamento térmico, de modo a evitar a ebulição do fluido criogênico, devido ao calor do ambiente. No estado sólido, a grande vantagem seria a capacidade gravimétrica e volumétrica do sistema de armazenamento; entretanto, o custo de produção em escala comercial ainda é alto. Por esse motivo, os autores sugerem que sejam realizadas pesquisas adicionais para viabilizar a utilização comercial do hidrogênio em estado sólido em navios.

A IMO ainda não tem uma norma específica para a utilização do hidrogênio como combustível marítimo e que defina como ele deverá ser armazenado, motivo pelo qual a AM deverá manter o acompanhamento e a sua participação nos fóruns da IMO sobre o assunto, de modo que possa se antecipar e incluir novos procedimentos nas NORMAM, para que os responsáveis técnicos dos projetos de navios incluam esses tipos de motores a serem utilizados e para que seja planejado como será o armazenamento do hidrogênio a bordo desses navios, pois, dependendo do estado, poderá ser necessário o seu armazenamento em recipientes altamente pressurizados e em temperaturas criogênicas (McKinlay, Turnock e Hudson, 2020).

3.3 FORMAÇÃO DE PESSOAL PARA O COMBATE ÀS EMISSÕES DE GEE

Algumas medidas a serem alcançadas foram definidas como de curto, médio e longo prazo, as quais foram sugeridas para serem implementadas pela AM. Essas medidas terão alguns impactos na vida dos tripulantes, quando eles estiverem embarcados em navios que utilizem combustíveis alternativos ou equipamentos que tenham sido instalados para mitigar as emissões de GEE. Dessa forma, por esses combustíveis serem relativamente novos, a AM deverá rever os currículos dos cursos de formação de pessoal aquaviário e as NORMAM, para realizar uma

qualificação eficiente, de modo que os profissionais possam desenvolver as suas atividades sem colocar as suas vidas em risco. Além disso, as companhias de navegação brasileiras deverão realizar essas adequações nos navios, de forma que sejam atingidas as metas estabelecidas pela IMO, por meio das alterações a serem emitidas pela AM.

Dentre as principais alterações a serem implementadas, é sugerido o aperfeiçoamento da formação desses profissionais que comporão os cartões de tripulação de segurança dos navios; bem como a conscientização para se realizar um planejamento eficiente e seguro, com a análise para otimizar o consumo de combustíveis dos navios nos procedimentos operacionais, de modo que a tripulação possa, por meio desses procedimentos, mitigar a emissão de GEE.

Ademais, ao contrário das medidas de curto e médio prazo — nas quais os tripulantes já executam as operações e não necessitam realizar aperfeiçoamentos adicionais para desenvolver essas atividades —, para o uso de combustíveis alternativos, é necessário realizar treinamentos adicionais para as tripulações das seções de máquinas, uma vez que esses combustíveis não são utilizados atualmente nos navios, e também devido às alterações que deverão ser realizadas nos arranjos internos das praças de máquinas, nos motores à combustão interna, no manuseio de equipamentos e no monitoramento dos sistemas dos navios que utilizarão combustíveis alternativos com baixo ponto de fulgor.

4 CONCLUSÃO

Para atingir as metas da IMO de emissão nula ou quase nula de GEE, nos anos de 2030 e 2050, a AM deverá determinar que os armadores que operam em AJB cumpram novos procedimentos, que serão incluídos por meio das NORMAM, especialmente para os navios que estão dispensados de cumprir as convenções da IMO devido à sua AB, ou por não realizar viagens internacionais. Os inspetores navais lotados nas CDA das Capitânicas dos Portos terão um papel fundamental na fiscalização desses novos procedimentos, visando auxiliar a AM no combate à emissão de GEE.

A maioria dos países está em busca de soluções para mitigar as emissões de GEE, empregando tecnologias para melhorar a eficiência energética dos navios e

apoiar a disponibilidade global e a adoção de combustíveis com baixo teor de carbono, ou sem carbono. Algumas regiões, como a União Europeia, estão adotando medidas coletivas para atingir as metas estabelecidas pela IMO. Esta ação da UE demonstra a relevância das medidas a serem tomadas pelas AM por meio de normatizações, para que sejam mitigadas as emissões de GEE.

As medidas operacionais e as alterações de projetos apresentadas neste estudo, como medidas de curto e médio prazo, sozinhas, não atingirão totalmente as metas estabelecidas pela IMO; portanto, elas devem ser trabalhadas em conjunto com a transição energética dos combustíveis alternativos, para atingir a plenitude das metas da IMO até 2050. Os armadores deverão escolher o tipo de combustível alternativo mais adequado, que deverá ser implementado em sua frota, e é desejável que eles não dependam somente de um tipo de combustível, de modo que não haja escassez de combustível, sobretudo nessa fase inicial de transição, em que a produção desses combustíveis alternativos ainda está em fase de testes e a produção em grande escala ainda não atingiu a sua totalidade.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Ana Beatriz; CARDOSO, João Victor Marques; e GUITARRARI, Luiza. **Transição energética no transporte marítimo**. [s.l.]. Artigo, Fundação Getúlio Vargas, Energia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/3b41355e-5856-4b25-a241-6acb4dfa74aa>. Acesso em: 31 mai. 2024.

ALAM, Shafiqul; DOLEMAN, Christopher; ISAAD, Haneea; JAIN, Purva; JALLER-MAKAREWICZ, Ana M.; KIM, Michelle; MORRISON, Kevin; PEH, Ghee; REYNOLDS, Sam; RUNCIMAN, Joshua; e WILLIAMS-DERRY, Clard. **Global LNG Outlook 2024-2028. Institute for Energy Economics and Financial Analysis**. [s.l.]. 2024. Disponível em: https://ieefa.org/sites/default/files/2024-04/Global%20LNG%20Outlook%202024-2028_April%202024%20%28Final%29.pdf. Acesso em: 5 jul. 2024.

BALCOMBE, Paul; BRIERLEY, James; LEWIS, Chester; SKATVEDT, Line; SPEIRSA, Jamie; HAWKES, Adam; e STAFFELL, Iain. **How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies** Energy Conversion and Management. London, United Kingdom, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080>. Acesso em: 3 jul. 2024.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 3/MB/MD, de 15 de dezembro de 2022**. Estabelece o conceito para a expressão “Águas Jurisdicionais Brasileiras” perante a Marinha do Brasil. Brasília, DF, 2022a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/gcm/in-3-2022-mb-md.html>. Acesso em: 26 mai. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima — PNMC e dá outras providências. Brasília, DF, 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 22 mar. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.301, de 07 de janeiro de 2022**. Institui o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem (BR do Mar). Brasília, DF, 2022b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14301.htm. Acesso em: 22 mai. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Brasília, DF, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9537.htm. Acesso em: 22 mar. 2024.

BRASIL. **Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto — NORMAM-201/DPC**. Rio de Janeiro, RJ, 2023a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dpc/normam/normam-201.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2024.

BRASIL. **Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior — NORMAM-202/DPC**. Rio de Janeiro, RJ, 2023b. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dpc/normam/normam-202.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2024.

BRASIL. **Normas da Autoridade Marítima para Reconhecimento de Entidades Especializadas — NORMAM-331/DPC**. Rio de Janeiro, RJ, 2023c. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dpc/normam/normam-331.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2024.

BRASIL. **Normas da Autoridade Marítima sobre poluição hídrica causada por embarcações, plataformas e suas instalações de apoio — NORMAM-20/DPC**. Rio de Janeiro, RJ, 2005. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-52-2005_190364.html. Acesso em: 18 mai. 2024.

BRASIL. **Nota à imprensa nº 157/2020, do Ministério das Relações Exteriores, de 8 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre Apresentação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris. Brasília, DF: Ministério das Relações Exteriores, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris. Acesso em: 23 mar. 2024.

BRASIL. **Protocolo de Quioto e Legislação correlata**. Brasília, DF, 2004. 3. v. Coleção Ambiental. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70328/693406.pdf?sequence=2>. Acesso em: 5 mai. 2024.

CISNEROS, Juan Carlos Montoya. **Redução dos impactos ambientais causados por emissões de gases no transporte marítimo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2011.tde-03042012-081921>. Acesso em: 3 mai. 2024.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 8. ed. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2019.

HOANG, Anh Tuan; PANDEY, Ashok; OSÉS, Francisco Javier Martinez de; CHEN, Wei-Hsin; SAID, Zafar; NG, Kim Hoong; AGBULUT, Ümit; TARELKO, Wieslaw; ÖLÇER, Aykut I.; e NGUYEN, Xuan Phuong. **Technological solutions for boosting hydrogen role in decarbonization strategies and net-zero goals of world shipping: Challenges and perspectives**. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113790>. Acesso: em 5 jul. 2024.

IMO — Organização Marítima Internacional. **2023 IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships — Resolution MEPC.377(80)**. London, United Kingdom. 2023. Disponível em: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Resolution%20MEPC.377\(80\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Resolution%20MEPC.377(80).pdf). Acesso em: 20 abr. 2024.

IMO — Organização Marítima Internacional. **Amendments to the annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, MARPOL Annex VI — Resolution MEPC.132(53)**. London, United Kingdom, 2005.

Disponível em: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.132\(53\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.132(53).pdf). Acesso em: 11 mai. 2024

IMO — Organização Marítima Internacional. **Amendments to the annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, MARPOL Annex VI — Resolution MEPC.203(62)**. London, United Kingdom, 2011. Disponível em: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.203\(62\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.203(62).pdf). Acesso em: 7 mai. 2024.

IMO — Organização Marítima Internacional. **Amendments to the annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, MARPOL Annex VI — Resolution MEPC.328(76)**. London, United Kingdom, 2021. Disponível em: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.328\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.328(76).pdf). Acesso em: 7 mai. 2024.

IMO — Organização Marítima Internacional. **Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios — MARPOL**. London, United Kingdom, 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/146179256/Marpol-Version-2-1-Omi>. Acesso em: 11 mai. 2024.

IMO — Organização Marítima Internacional. **Fourth IMO GHG Study 2020, Full Report**. London, United Kingdom, 2021. Disponível em: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth IMO GHG Study 2020 - Full report and annexes.pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf). Acesso em: 21 abr. 2024.

IMO — Organização Marítima Internacional. **IMO What it is**. London, United Kingdom, 2013. Disponível em: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/Documents/What%20it%20is%20Oct%202013_Web.pdf. Acesso em: 11 mai. 2024.

KIM, Young Rong; e STEEN; Sverre. **Potential energy savings of air lubrication technology on merchant ships**. Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology (NTNU). Trondheim, Norway, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2023.100530>. Acesso em: 1 jun. 2024

LU, Ruihua; e RINGSBERG, Jonas W. **Ship energy performance study of three wind-assisted ship propulsion technologies including a parametric study of the Flettner rotor technology, Ships and Offshore Structures**. London, United Kingdom, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17445302.2019.1612544>. Acesso em: 20 mai. 2024.

MCKINLAY, Charles J.; TURNOCK, Stephen R.; e HUDSON, Dominic A. **Route to zero emission shipping: Hydrogen, ammonia or methanol?** Maritime Engineering, University of Southampton, United Kingdom, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.066>. Acesso em: 5 jul. 2024.

MOREIRA, Paulo Jorge Pires. **O Gás Natural Liquefeito como combustível alternativo: Evidências de Portugal**. Tese de Doutorado em Sustentabilidade e

Desenvolvimento. 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/download/82274854/TESE_PT.pdf. Acesso em: 3 jul. 2024.

ONU — Organização das Nações Unidas. **Adoption of the Paris agreement**. Paris, France, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2024.

SANTOS, Thauan; BEIRÃO, André Panno; FILHO, Moacyr Cunha de Araujo; e CARVALHO, Andréa Bento. **Economia Azul — Vetor para o desenvolvimento do Brasil**. São Paulo, SP: Essential Idea Editora, 2022. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/livro_economia_azul/book.html. Acesso em: 17 mai. 2024.

SILVA, Paulo Max Villas da; MAGALHÃES, Diogo Franco. **Estratégia de Descarbonização da Organização Marítima Internacional (IMO): Biocombustíveis Nacionais como Fonte Alternativa de Energia no Transporte Marítimo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Altos Estudos em Defesa) — Escola Superior de Defesa, Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1551>. Acesso em: 3 mai. 2024.

SZKLO, Alexandre; PEREIRA, Joana Portugal; ROCHEDO, Pedro R. R.; SCHAEFFER, Roberto; CARVALHO, Francielle; MÜLLER-CASSERES, Eduardo; POGGIO, Matheus; NOGUEIRA, Tainan; FONTE, Clarissa Bergman; WEI, Huang Ken; e IMPÉRIO, Mariana. **Perspectivas de Produção de Combustíveis Marítimos de Emissão Neutra de Carbono no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/combustivel-do-futuro/subcomites-1/combustiveis-maritimos-1/documentos-subcomite/PerspectivasdeProduodeCombustveisMartimosnoBrasil.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

TADROS, Mina; VENTURA, Manuel; e SOARES, Carlos Guedes. **Effect of Hull and Propeller Roughness of Ship Fuel Consumption**. *Journal of Marine Science and Engineering*. [s. l.] 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse11040784>. Acesso em: 25 mai. 2024.

TOMOS, Branwen Ap Dafydd; STAMFORD, Laurence; WELFLE, Andrew; e LARKIN, Alice. **Decarbonising international shipping — A life cycle perspective on alternative fuel options**. Manchester, United Kingdom, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117848>. Acesso em: 9 jul. 2024.

UE — União Europeia. **Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC**. Brussels, Belgium, 2023. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805>. Acesso em: 20 abr. 2024.

VAN DER KROFT, Douwe F. A.; e PRUYN, Jeroen F. J. **A Study into the Availability, Costs and GHG Reduction in Drop-In Biofuels for Shipping Under Different Regimes between 2020 and 2050**. Department of Maritime and Transport

Technology, Delft University of Technology. [s. l.] 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/su13179900>. Acesso em: 16 jun. 2024.