

Armadores e a Agenda da IMO 2030: caminhos para a descarbonização do modal marítimo

Paula Sousa De Vasconcelosⁱ

ii

RESUMO

A Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu, no âmbito da Agenda 2030, metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) que impactam diretamente o setor de transporte marítimo. Considerado o principal meio de escoamento do comércio internacional, responsável por aproximadamente 90% da circulação de mercadorias no mundo, o transporte marítimo ainda responde por cerca de 3% das emissões globais de GEE (SILVA et al., 2021). A transição para práticas sustentáveis exige dos armadores adaptações significativas, incluindo a adoção de combustíveis alternativos e novas tecnologias de eficiência energética. O presente estudo tem como objetivo analisar os caminhos adotados pelos armadores diante da agenda da IMO 2030, com foco na descarbonização do modal marítimo, destacando os principais desafios e oportunidades globais. A pesquisa, de natureza qualitativa e baseada em revisão bibliográfica, permitiu identificar que, embora haja avanços em combustíveis alternativos e digitalização de processos, os armadores ainda apresentam lentidão no processo de adaptação, em função de custos elevados, limitações tecnológicas e incertezas regulatórias.

PALAVRAS-CHAVE: Armadores; IMO 2030; Descarbonização; Transporte marítimo; Sustentabilidade

ABSTRACT

The International Maritime Organization (IMO) has established, within the framework of the 2030 Agenda, targets for reducing greenhouse gas (GHG) emissions that directly impact the maritime transport sector. Considered the main channel for international trade, responsible for approximately 90% of global cargo movement, maritime transport still accounts for about 3% of global GHG emissions (SILVA et al., 2021). The transition to sustainable practices requires significant adaptations from shipowners, including the adoption of alternative fuels and new energy efficiency technologies. This study aims to analyze the strategies adopted by shipowners in response to the IMO 2030 agenda, focusing on the decarbonization of the maritime sector and highlighting the main global challenges and opportunities. The research, qualitative in nature and based on a literature review, revealed that although there has been progress in alternative fuels and process digitalization, shipowners still show slowness in adapting due to high costs, technological limitations, and regulatory uncertainties.

Keywords: Shipowners; IMO 2030; Decarbonization; Maritime transport; Sustainability.

ⁱ Aluna, FATEC Praia Grande e paula.vasconcelos@fatec.sp.gov.br.

ii

1. INTRODUÇÃO

O transporte marítimo ocupa um papel central na dinâmica do comércio internacional contemporâneo, sendo responsável por cerca de 90% das trocas globais de mercadorias (SILVA et al., 2021). Apesar de sua confiança em eficiência logística e econômica, o setor responde por aproximadamente 2,89% das emissões globais de gases de efeito estufa (IMO, 2020), configurando-se como um dos principais vetores de impacto ambiental no cenário mundial. Essa característica coloca o modal marítimo no centro da discussão sobre sustentabilidade e mudanças climáticas, tornando-o um dos alvos prioritários das políticas internacionais voltadas para a descarbonização.

Nesse contexto, a assinatura do Acordo de Paris em 2015 representou um marco histórico, ao estabelecer o compromisso de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para limitar esse aumento a 1,5 °C (UNFCCC, 2015). Ainda que o transporte marítimo não tenha sido especificado de forma explícita no texto do acordo, a pressão internacional para que setores de grande relevância econômica reduzam suas emissões fez com que a Organização Marítima Internacional (IMO) assumisse protagonismo na construção de metas específicas para o modal.

Paralelamente, a Agenda 2030 das Nações Unidas, aprovada no mesmo ano, consolida os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abrangem dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade. O setor marítimo se conecta diretamente a diversos ODS, com destaque para o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), o ODS 14 (Vida na Água) e o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura). Assim, a transformação do transporte marítimo em direção à descarbonização não se restringe apenas a uma questão setorial, mas integra-se a um esforço global de governança climática.

Em 2018, a IMO aprovou uma Estratégia Inicial de Redução de Emissões de GEE, que estabelece como meta reduzir em 40% a intensidade de carbono por carga transportada até 2030, em comparação com os níveis de 2008, e alcançar reduções de pelo menos 70% até 2050. Esses objetivos colocam os armadores, agentes responsáveis pela operação e gestão das embarcações, no centro da transição energética do modal, uma vez que são eles que devem modernizar frotas e implementar tecnologias digitais (SILVA; MAGALHÃES, 2023). Um marco

precursor dessa estratégia foi a regulamentação IMO 2020, renovada em janeiro de 2020, que limitou o teor de enxofre no combustível marítimo a 0,5% (contra 3,5% anterior), reduzindo emissões de óxidos de enxofre (SOx) e partículas finas (IMO, 2018). Sua implementação envolveu desafios, como o aumento de custos para armadores devido à adoção de combustíveis de baixo enxofre ou sistemas de lavagem de gases, além de variações regionais na disponibilidade de infraestrutura de abastecimento, ou que evidenciou desigualdades entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (TURRA et al., 2019).

A literatura destaca ainda que o desafio de descarbonizar o transporte marítimo não é apenas técnico, mas também econômico e político. Custos elevados de pesquisa e desenvolvimento, falta de infraestrutura para abastecimento de combustíveis alternativos e incertezas regulatórias tornam o processo de transição lento e desigual entre diferentes regiões do mundo (KITZMANN; ASMUS, 2006; TURRA et al., 2019). Nesse sentido, autores como Ferreira (2024) apontam que a transição energética marítima deve ser entendida também como uma arena de disputas geopolíticas, onde países e empresas buscam não apenas reduzir emissões, mas também garantir vantagens competitivas no comércio internacional.

A relevância deste estudo reside em múltiplas dimensões. Academicamente, contribui para o avanço do conhecimento em Comércio Exterior, explorando a interseção entre logística internacional e sustentabilidade ambiental, preenchendo lacunas na literatura sobre a adaptação de cadeias logísticas às metas climáticas. Socialmente, destaca os impactos globais da descarbonização marítima, como a redução de emissões que afetam as comunidades costeiras e a saúde pública, alinhando-se aos ODS. Assim, oferece diretrizes para armadores e formuladores de políticas sobre estratégias viáveis para cumprir as regulamentações como a IMO 2020 e 2030, potencializando a eficiência logística e a competitividade no comércio internacional. Pessoalmente, este trabalho representa uma oportunidade de aplicar conhecimentos teóricos num tema emergente, desenvolvendo capacidades de pesquisa e análise crítica, além de estimular a formação profissional num setor em transformação.

Diante desse panorama, o objetivo geral deste estudo é analisar como os armadores estão se adaptando às metas de descarbonização propostas pela IMO, especialmente no contexto da Estratégia 2030, identificando seus desafios, estratégias e impactos na logística internacional.

Para alcançar esse propósito, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar as principais regulamentações internacionais voltadas para a redução de emissões no transporte marítimo, com ênfase na IMO 2020 e nas metas da IMO 2030.
2. Examinar as estratégias adotadas pelos armadores para reduzir emissões, incluindo inovação tecnológica, digitalização de processos e modernização de frotas.
3. Avaliar os impactos econômicos e operacionais da transição energética no setor marítimo.

Portanto, compreender como os armadores estão reagindo às metas da IMO 2030 e como se posicionarem diante dos compromissos globais reforçados a partir do Acordo de Paris é importante para avaliar os caminhos da descarbonização do setor marítimo. A análise do presente trabalho busca justamente identificar as estratégias, desafios e oportunidades que emergem desse processo, contribuindo para o debate sobre a sustentabilidade.

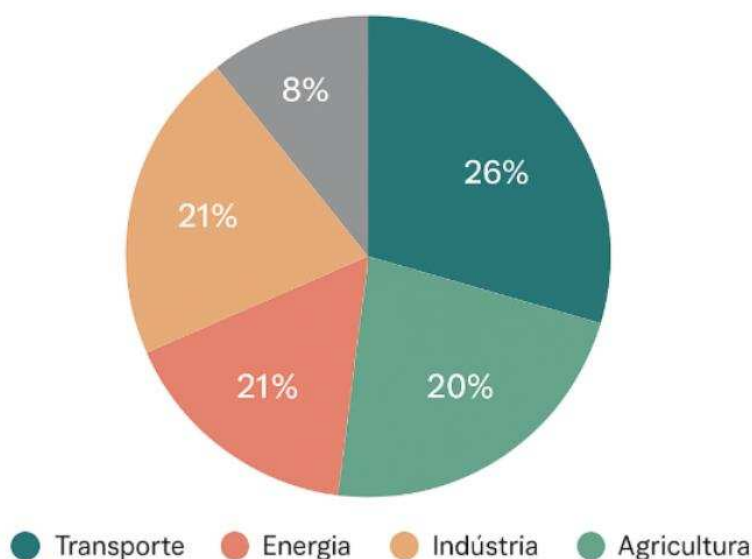
2. ORGANIZAÇÃO MARÍTIMA INTERNACIONAL (IMO)

A Organização Marítima Internacional (IMO), criada em 1948 e estabelecida em 1959 como agência especializada das Nações Unidas, desempenha função central na regulação do transporte marítimo internacional, estabelecendo normas voltadas à segurança, à proteção ambiental e à eficiência operacional da navegação global. Desde sua fundação, a IMO tem desenvolvido um arcabouço normativo que acompanha a expansão do comércio marítimo mundial e responde às crescentes preocupações ambientais decorrentes desse setor (SILVA et al., 2021).

Conforme apresentado na Figura 1, o setor de transporte é responsável por cerca de 26% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), evidenciando sua relevância no agravamento das mudanças climáticas. Nesse contexto, as regulações ambientais promovidas pela Organização Marítima Internacional assumem papel essencial, uma vez que a mitigação dessas emissões depende da adoção de padrões operacionais mais sustentáveis no âmbito da navegação internacional.

Dentro desse cenário mais amplo, o transporte marítimo contribui com aproximadamente 3% das emissões globais de gases de efeito estufa. Embora essa participação seja menor quando comparada à de outros modais, sobretudo o rodoviário, responsável pela maior parcela dessas emissões, ela permanece significativa diante da expansão contínua do comércio internacional e da crescente demanda por rotas marítimas. Assim, mesmo proporcionalmente inferior, o modal marítimo requer atenção estratégica, reforçando a necessidade de avanços normativos e tecnológicos orientados à redução de seu impacto climático.

FIGURA 1 - Emissões globais de GEE por setor econômico



Fonte: Internacional Maritime Organization (2020)

Entre os tratados mais relevantes administrados pela organização está a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL 73/78)¹, que se tornou o principal instrumento global de controle das diversas fontes de poluição provenientes de embarcações. Originalmente voltada às descargas de óleo, a MARPOL foi continuamente atualizada para abranger outros poluentes, como substâncias químicas nocivas, águas de lastro, resíduos sólidos, esgoto sanitário, emissões atmosféricas e efluentes associados a operações portuárias.

¹ A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL 73/78) é o principal tratado internacional voltado ao controle e à prevenção da poluição ambiental decorrente das operações marítimas. Ela abrange derramamento de óleo, substâncias nocivas líquidas, cargas perigosas, esgotos, lixo e emissões atmosféricas, estruturada em seis anexos que estabelecem padrões obrigatórios para navios e portos. A MARPOL é administrada pela Organização Marítima Internacional (IMO) e representa o marco regulatório global para a sustentabilidade no transporte marítimo.

As emendas mais recentes reforçam padrões de eficiência energética e limites de emissões atmosféricas, alinhando-se às metas internacionais de descarbonização

A Convenção MARPOL 73/78 constitui o principal tratado internacional voltado à prevenção da poluição decorrente da operação de navios. Divide-se em seis anexos que regulam a poluição por óleo (Anexo I), substâncias líquidas nocivas (Anexo II), cargas prejudiciais transportadas em embalagens (Anexo III), esgoto (Anexo IV), lixo (Anexo V) e emissões atmosféricas (Anexo VI), sendo este último responsável pelos limites de enxofre e padrões de eficiência energética.

Nesse contexto, o Anexo VI da MARPOL se tornou um divisor de águas. Em janeiro de 2020 entrou em vigor o limite global máximo de 0,5% de enxofre em combustíveis marítimos, conhecido como IMO 2020, representando uma das mais abrangentes iniciativas regulatórias ambientais do setor. Esse marco resultou em significativa redução das emissões de dióxido de enxofre (SO_x), material particulado e poluentes tóxicos associados, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar em regiões costeiras e rotas internacionais (TURRA; JACOBI; LAUDA-RODRIGUEZ, 2019).

Além das medidas de controle de poluentes atmosféricos, a IMO vem se destacando pelo protagonismo na agenda climática internacional. Em 2018, a organização aprovou sua estratégia inicial de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), estabelecendo três pilares centrais: (a) reduzir a intensidade de carbono do transporte marítimo internacional em pelo menos 40% até 2030 e 70% até 2050; (b) reduzir o total absoluto de emissões em pelo menos 50% até 2050; e (c) avançar para a completa descarbonização do setor neste século (IMO, 2020). Em 2023, a IMO revisou essas metas, tornando-as mais ambiciosas e alinhadas às recomendações científicas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A nova estratégia estabelece a meta de neutralidade climática do setor marítimo até 2050, reforçando a necessidade de introdução de combustíveis alternativos e tecnologias de baixa emissão (IMO, 2023).

Ao integrar padrões ambientais mais rigorosos, estimular a inovação tecnológica e promover iniciativas de capacitação para países em desenvolvimento, a IMO se consolida como ator fundamental para a transição energética marítima e para a modernização das cadeias logísticas internacionais, influenciando diretamente armadores, portos, fornecedores de combustíveis e governos. Como ressalta a UNCTAD (2023), o setor marítimo constitui a espinha dorsal do comércio

global, sendo responsável por mais de 80% do volume total transportado. Consequentemente, a capacidade de adaptação às normas da IMO garante a competitividade, previsibilidade e sustentabilidade no cenário internacional.

2.1. METAS E REGULAMENTAÇÕES DA IMO PARA 2030

Estudos recentes demonstram que a redução de emissões prevista para 2030 poderá ser alcançada por meio da combinação entre medidas de eficiência energética, como introduzidas pelo EEXI² e pelo CII³, e práticas rigorosas de gestão operacional, incluindo a redução operacional de velocidade, estratégia que tem se mostrado eficaz para diminuir o consumo energético sem comprometer a segurança da navegação (CE DELFT, 2012).

O papel regulatório do EEXI e do CII torna-se especialmente significativo na década de 2020, consolidando-se até 2030 como mecanismos de fiscalização contínua. O EEXI, ao exigir que embarcações existentes alcancem índices mínimos de eficiência energética, obriga os armadores a modernizar motores, ajustar configurações de potência e revisar parâmetros técnicos de operação. Paralelamente, o CII impõe uma lógica anual de avaliação, classificando os navios conforme seu desempenho ambiental e penalizando aqueles que não se mantêm dentro das categorias satisfatórias. A literatura aponta que entre 30% e 40% da frota mundial deve enfrentar restrições operacionais, sobretudo limites de velocidade, para garantir notas compatíveis com os padrões exigidos até 2030 (KONG et al., 2023). Esse conjunto de medidas reforça que, mais do que diretrizes, as metas da IMO se materializam como instrumentos de coerção regulatória capazes de alterar a dinâmica global da navegação.

Outro elemento central das metas de 2030 é o avanço no uso de combustíveis alternativos, que embora não seja uma exigência direta da IMO no curto prazo, se estabelece como movimento inevitável diante das pressões internacionais por descarbonização. A literatura especializada demonstra que o metanol verde e os biocombustíveis avançados despontam como alternativas

² Índice de Eficiência Energética para Navios Existentes, criado pela IMO para avaliar e limitar a potência e o desempenho energético de navios já em operação, exigindo adequações técnicas para redução de consumo e emissões.

³ Indicador anual de intensidade de carbono que classifica os navios conforme a quantidade de CO₂ emitida por tonelada-milha transportada, atribuindo notas e impondo planos corretivos para classificações insatisfatórias.

tecnicamente viáveis para implementação antes de 2030, enquanto o uso do LNG⁴ permanece controverso devido às emissões fugitivas de metano, que podem anular parte dos benefícios climáticos associados ao combustível (BALCOMBE et al., 2019; BICER; DINCER, 2021). A consolidação desses combustíveis está intimamente ligada ao desenvolvimento de infraestrutura portuária, que ainda permanece insuficiente em grande parte do mundo, como destaca a UNCTAD (2023).

Embora as metas de 2030 se concentrem na redução da intensidade de carbono e não estabeleçam obrigação de diminuição absoluta das emissões, diversos estudos projetam que políticas regionais, como por exemplo na Europa, o ETS marítimo⁵ e o FuelEU Maritime⁶, devem pressionar o setor a alcançar reduções totais entre 10% e 20% já nesta década (FABER et al., 2020). Isso significa que, ainda que a IMO adote abordagem gradual, a convergência de regulações internacionais tende a elevar a ambição climática do transporte marítimo, exigindo dos armadores planejamento financeiro e operacional mais robusto.

Assim, as metas da IMO para 2030 não representam apenas obrigações técnicas, mas constituem uma reestruturação abrangente da governança climática marítima. Elas articulam eficiência, inovação tecnológica e responsabilidade ambiental, redefinindo a competitividade internacional e impondo aos armadores o desafio de se adequar a um setor em transformação acelerada. Ao mesmo tempo, abrem oportunidades estratégicas para países e empresas que se anteciparem à transição energética, construindo vantagens competitivas na economia marítima global.

3. GESTÃO AMBIENTAL E SUA APLICAÇÃO NO SETOR PORTUÁRIO E POR ARMADORES

Visto o panorama regulatório estabelecido pela IMO, bem como seus impactos operacionais e ambientais sobre o modal marítimo, torna-se necessário compreender como tais diretrizes se materializam no cotidiano das operações

⁴ Gás natural liquefeito utilizado como combustível marítimo de transição, caracterizado por menor emissão de CO₂, porém alvo de críticas devido às emissões fugitivas de metano

⁵ Sistema europeu de comércio de emissões que, a partir de 2024, passou a incluir o transporte marítimo, exigindo que armadores comprem créditos proporcionalmente às emissões de CO₂ de suas operações.

⁶ Regulamento europeu que estabelece limites progressivamente mais rígidos para o teor de carbono dos combustíveis marítimos, estimulando o uso de alternativas de baixa emissão até 2050.

portuárias e na atuação direta dos armadores. Isso porque as metas de descarbonização não recaem apenas sobre os navios, mas exigem uma reestruturação integrada de toda a cadeia logística marítima. Assim, este capítulo apresenta a gestão ambiental aplicada aos portos e às empresas de navegação, evidenciando como esses agentes precisam atuar de forma conjunta para atender às exigências internacionais de sustentabilidade.

Para compreender a evolução da sustentabilidade nos portos, é importante destacar que, segundo Correa (2015, p. 47):

A gestão ambiental portuária consiste no conjunto de ações planejadas e contínuas destinadas a prevenir, mitigar ou compensar os impactos ambientais decorrentes das atividades operacionais de um porto, integrando aspectos legais, administrativos e operacionais em um sistema de melhoria contínua.

Essa definição reforça a necessidade de visão sistêmica e atuação preventiva, alinhada às boas práticas internacionais.

A gestão ambiental portuária tem evoluído de forma significativa nas últimas décadas, impulsionada por normativas internacionais, pressões da sociedade civil, exigências de mercado e pela ampliação da consciência ambiental no setor produtivo. No entanto, essa evolução não ocorre de maneira homogênea em todos os portos, especialmente nos países em desenvolvimento, onde persistem desafios estruturais, tecnológicos e culturais. A complexidade das operações portuárias, aliada ao elevado volume de cargas e à diversidade de atividades, torna o gerenciamento dos impactos ambientais uma tarefa multifacetada, exigindo integração entre diferentes agentes públicos e privados.

Um dos principais obstáculos para o fortalecimento da gestão ambiental é a dificuldade de romper com práticas historicamente reativas. Em muitos portos, as ações ambientais ainda se concentram em soluções corretivas, atuando somente após a ocorrência de danos, em vez de adotar abordagens preventivas e estratégias de gestão baseadas em risco. Essa realidade é reflexo de fatores como falta de capacitação técnica, limitada cultura organizacional voltada à sustentabilidade e priorização de objetivos econômicos imediatos. Nesse contexto, as análises de Kitzmann e Asmus (2006, p. 1055) são particularmente esclarecedoras ao destacarem que:

No entanto, é preciso ir além, abandonando de vez a postura defensiva e reativa, pois nada é mais 'moderno' do que ser proativo, antecipar-se aos problemas. Como a proatividade também é característica da gestão ambiental, por qual motivo o sistema portuário nacional ainda não aderiu

a essa modernidade? Uma das explicações pode estar no fato de que a gestão ambiental provoca mudanças profundas, tanto estruturais quanto culturais, que definem um novo modus operandi portuário. Para se fazer gestão ambiental é essencial preparar-se, qualificar-se, investir, mudar estruturas, processos e rotinas. É por isso que do ponto de vista dos empreendedores, geralmente preocupados com o lucro imediato, a gestão ambiental sempre foi identificada como custo adicional. No entanto, essa lógica vem sendo superada por outra, que identifica a preservação ambiental como fator de vantagem competitiva sustentável, especialmente quando somada às ações de responsabilidade social corporativa. (KITZMANN; ASMUS, 2006, p. 1055).

Essa citação evidencia que o desafio da sustentabilidade portuária não é apenas técnico, mas também cultural e gerencial. A transição para uma postura proativa requer investimentos consistentes, treinamento de equipes, atualização de procedimentos operacionais, modernização das estruturas portuárias e, principalmente, uma mudança na percepção sobre o papel da gestão ambiental no desempenho econômico. Nos últimos anos, entretanto, observa-se uma transformação gradual nesse cenário, impulsionada por demandas globais associadas às cadeias logísticas sustentáveis e pelas novas exigências de certificações ambientais internacionais, que passaram a considerar o desempenho ambiental dos portos como fator de competitividade.

Entre os avanços mais relevantes, destaca-se a implantação de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) alinhados à ISO 14001, que promovem padronização de procedimentos e melhoria contínua. Outro ponto importante é a adoção de tecnologias voltadas à redução de emissões atmosféricas, como sistemas de abastecimento elétrico para navios atracados (cold ironing), combustíveis alternativos (GNL, metanol e biocombustíveis) e monitoramento em tempo real da qualidade do ar e da água. Esses mecanismos fortalecem a governança ambiental e ampliam a capacidade de controle sobre os impactos das operações portuárias.

Adicionalmente, iniciativas de portos verdes (green ports) e portos inteligentes (smart ports) vêm se consolidando como tendência global, associando sustentabilidade e inovação digital. O uso de sensores, sistemas de gestão integrada, análise de dados e automação contribui para reduzir desperdícios, aprimorar o uso de recursos e aumentar a eficiência operacional. Tais práticas demonstram que investimentos ambientais podem gerar vantagens competitivas, como redução de custos, melhor reputação institucional e preferência em contratos internacionais.

No Brasil, destaca-se o Índice de Desempenho Ambiental (IDA), criado pela ANTAQ como instrumento de avaliação e ranqueamento da performance ambiental dos portos públicos brasileiros. O IDA mensura indicadores como gestão de resíduos, controle de efluentes, monitoramento da qualidade da água, eficiência energética, programas de mitigação de impactos e conformidade legal. A cada ciclo anual, os portos recebem pontuação e são classificados em um ranking nacional, permitindo comparar desempenhos e estimular práticas ambientais mais avançadas. Em 2023, por exemplo, os portos de Suape, Itaquí e Itajaí se destacaram entre os mais bem avaliados, demonstrando avanço na governança ambiental e na adesão às boas práticas internacionais da IMO, conforme mostra a figura abaixo do Ranking IDA 2023.

FIGURA 2 - Ranking IDA 2023



Fonte: Agência Nacional de Transporte Aquaviários (ANTAQ)

Apesar desses progressos, a consolidação de uma gestão ambiental portuária robusta depende da articulação entre atores governamentais, autoridades portuárias, operadores privados, usuários dos terminais e comunidades locais. A sustentabilidade portuária exige governança integrada, políticas públicas consistentes e mecanismos que incentivem a inovação em todas as etapas do processo logístico.

Assim como os portos, os armadores também desempenham papel central na gestão ambiental marítima, uma vez que são responsáveis pela operação direta das embarcações. A adoção de medidas como eficiência energética (EEXI), monitoramento contínuo de emissões (CII), utilização de combustíveis alternativos, instalação de scrubbers⁷, otimização de rotas e digitalização dos sistemas de bordo

⁷ **Scrubbers** são sistemas instalados nos navios para **limpar os gases de exaustão**, removendo

demonstra que a gestão ambiental dos navios está intrinsecamente conectada às práticas dos portos. Navios mais limpos e eficientes exigem infraestrutura portuária adequada, ao mesmo tempo em que portos sustentáveis criam condições para que os armadores cumpram as metas da IMO. Dessa forma, a sustentabilidade do setor somente se consolida quando portos e armadores atuam de forma articulada e integrada, compartilhando dados, tecnologias e padrões operacionais compatíveis.

Portanto, o avanço ambiental no setor só será pleno quando alinhado a estratégias de longo prazo que conciliem eficiência econômica, responsabilidade social e preservação ambiental, elementos que serão aprofundados nos próximos itens deste trabalho.

4. INOVAÇÕES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA MARÍTIMA

Após compreendidas as bases da gestão ambiental portuária e o papel dos armadores na redução de impactos ambientais, torna-se necessário avançar para o debate sobre as soluções tecnológicas que viabilizam a descarbonização. Se a gestão ambiental estabelece diretrizes e práticas de controle, a transição energética representa a dimensão operacional e inovadora dessa transformação, envolvendo novos combustíveis, digitalização e equipamentos de alta eficiência. Por isso, o capítulo a seguir aprofunda as principais inovações em combustíveis verdes, tecnologias embarcadas e infraestrutura portuária, demonstrando como esses elementos sustentam as metas climáticas da IMO.

A transição energética do setor marítimo representa um desafio multidimensional, que envolve inovação tecnológica, reestruturação das cadeias de abastecimento, investimentos em infraestrutura portuária e articulação entre políticas públicas e regulações internacionais. A descarbonização do transporte marítimo depende da adoção de tecnologias de eficiência energética, combustíveis alternativos e sistemas digitais de monitoramento e gestão, conforme estabelecido pela Estratégia Inicial de GEE da IMO (SILVA; MAGALHÃES, 2023).

Entre as alternativas energéticas em desenvolvimento, os biocombustíveis drop-in se destacam devido à sua compatibilidade com motores marítimos existentes, dispensando alterações estruturais significativas e permitindo inserção

principalmente o **dióxido de enxofre (SO_x)** antes que sejam liberados na atmosfera. Normalmente utilizam água (lavagem úmida) ou filtros (lavagem seca) para cumprir os limites ambientais da IMO.

gradual no mercado. Por possuírem propriedades físico-químicas semelhantes ao óleo combustível marítimo tradicional, esses biocombustíveis se apresentam como solução rápida e de menor custo de implementação. Contudo, sua disponibilidade em larga escala ainda depende de cadeias de produção consolidadas, padronização internacional e certificações ambientais que garantam sustentabilidade de ponta a ponta (IEA, 2023).

Além dos biocombustíveis, outras alternativas vêm ganhando destaque: amônia verde, hidrogênio verde e metanol verde. A amônia, por não emitir CO₂ durante a combustão, vem sendo considerada uma das opções mais promissoras, embora apresente desafios técnicos significativos, como toxicidade, inflamabilidade e necessidade de adaptações nos sistemas de armazenamento e motores. O hidrogênio verde, por sua vez, exige infraestrutura complexa e ainda possui custos elevados de produção. Entretanto o metanol verde apresenta maior maturidade tecnológica, inclusive com navios já projetados para sua utilização, mas enfrenta dificuldades logísticas relacionadas à disponibilidade e ao armazenamento seguro (SILVA; MAGALHÃES, 2023; IEA, 2023).

A inovação tecnológica no setor marítimo vai além dos combustíveis. A digitalização e a automação desempenham papel essencial no aumento da eficiência energética das embarcações. Tecnologias como Internet of Things (IoT), inteligência artificial, Big Data Analytics e sistemas autônomos integram a nova geração de Smart Ships, capazes de monitorar motores, otimizar rotas, reduzir tempos de espera em portos e diminuir o consumo energético total. Kneipp (2024) ressalta que a digitalização da cabotagem e das operações de navios porta-contêineres permite aprimoramento significativo na eficiência de motores, contribuindo diretamente para a redução de emissões ao longo de toda a viagem.

Embora promissoras, essas tecnologias enfrentam barreiras substanciais. Díaz-Rodríguez et al. (2021) aponta que os altos custos de investimento inicial, a falta de padronização internacional e a incerteza regulatória constituem entraves centrais para a adoção em larga escala. A infraestrutura portuária também se torna um desafio crítico, já que a transição energética demanda tanques especializados, pontos de abastecimento compatíveis com novos combustíveis e sistemas avançados de segurança operacional. Além disso, a capacitação técnica das tripulações e dos gestores portuários torna-se fator fundamental para a efetiva incorporação dessas tecnologias.

No âmbito geopolítico, Ferreira (2024) argumenta que a transição energética marítima está profundamente inserida em disputas internacionais por hegemonia tecnológica e controle das cadeias produtivas da energia. Países que dominarem a produção de combustíveis verdes, infraestrutura portuária e tecnologias de propulsão tendem a exercer maior influência no sistema interestatal. Nesse contexto, armadores e portos que anteciparem investimentos em combustíveis alternativos, digitalização e eficiência energética poderão ocupar posições privilegiadas nas cadeias de valor globais.

Exemplos concretos reforçam esse movimento é o Porto de Roterdã que opera desde 2022 um corredor verde para abastecimento de hidrogênio e metanol, enquanto Singapura expandiu seu programa nacional de testes para bunkering de GNL e amônia. Do lado dos armadores, destaca-se a NYK Line, que apresentou os conceitos Super Eco Ship 2030 e Super Eco Ship 2050, projetados com propulsão elétrica híbrida, hidrogênio líquido, células de combustível e sistemas inteligentes de controle energético. As iniciativas de descarbonização se materializam em embarcações de nova geração lançadas pelos principais armadores globais. A Maersk, por exemplo, inaugurou em 2023 o Laura Maersk, primeiro navio porta-contêineres do mundo movido a metanol verde, marco que simboliza a transição energética do setor e que está ilustrado na Figura 3. De forma semelhante, a CMA CGM apresentou, em 2024, o CMA CGM Iron, seu primeiro navio dual-fuel preparado para operar com metanol, o qual compõe o conjunto de embarcações de baixa emissão da companhia e está representado na Figura 4.

FIGURA 3 - Navio Laura Maersk



Fonte: Marine Traffic

FIGURA 4 - Navio CMA CGM Iron

Fonte: Marine Traffic

Outro elemento fundamental é a precificação do carbono, apontada pelo World Bank (2023) como mecanismo de incentivo econômico capaz de acelerar a descarbonização do transporte marítimo. A adoção de taxas de carbono, comércio de créditos ou mercados regulados pode estimular investimentos em inovação verde, embora também gere debates sobre impactos nos custos logísticos e na competitividade entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

No âmbito financeiro, instrumentos de mercado têm exercido influência crescente sobre a adoção de práticas sustentáveis. Índices como o Dow Jones Sustainability Index (DJSI) e o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) da B3 avaliam empresas com base em critérios ambientais, sociais e de governança, estimulando investimentos responsáveis. Iniciativas globais como a Sustainable Stock Exchanges (SSE), da ONU, promovem transparência e relatórios ESG entre as bolsas de valores. Além disso, plataformas especializadas, como a Green Impact Exchange (GIX), operam exclusivamente voltadas ao financiamento de projetos verdes, incluindo os setores marítimo e portuário.

Assim, a transição energética do setor marítimo constitui uma transformação sistêmica que articula tecnologia, política e governança global. O sucesso dessa transição depende da cooperação entre Estados, empresas, armadores, portos e organismos internacionais, bem como do desenvolvimento de infraestrutura, capacitação técnica e marcos regulatórios coesos, capazes de garantir que o setor avance rumo à neutralidade climática projetada para 2050.

5. DESIGUALDADE NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: CONTRASTES

REGIONAIS

A transição energética no transporte marítimo expõe desigualdades regionais profundas, com países desenvolvidos liderando por meio de regulação rigorosa, adoção tecnológica e infraestrutura avançada, enquanto nações em desenvolvimento, como o Brasil, enfrentam barreiras que retardam a mudança. Essa dinâmica reforça disputas geoeconômicas, onde o domínio de tecnologias limpas define influência global.

Os países desenvolvidos, especialmente na União Europeia, estabelecem uma vanguarda com políticas econômicas rigorosas. A UE implementou o Regime de Comércio de Emissões (ETS) para o setor marítimo em 2024, integrando o transporte oceânico ao mercado de carbono e exigindo reduções de emissões entre 10% e 20% nesta década por meio de iniciativas como o FuelEU Maritime. Esse regime pressionou os armadores a adotarem combustíveis sustentáveis, contrastando com abordagens fragmentadas em outras regiões. Tecnicamente, empresas líderes como Maersk e CMA CGM operam embarcações pioneiras, como a Laura Maersk (a metanol verde) e a CMA CGM Iron (a amônia), impulsionadas por subsídios e parcerias. Infraestruturalmente, portos como Roterdã e Singapura expandem terminais para abastecimento de GNL, hidrogênio e amônia, tornando-se polos de inovação que atraem investimentos globais.

Em contrapartida, os países em desenvolvimento lutam contra obstáculos econômicos e institucionais. No Brasil, custos elevados de combustíveis sustentáveis, até 2,5 vezes superiores ao combustível tradicional, e incertezas regulatórias, evidenciadas pelo impacto do IMO 2020, retardam a adaptação. A ausência de uma política nacional para combustíveis limpos no transporte marítimo, aliada à fragmentação entre órgãos como ANTAQ, Marinha e Ministério de Portos, limita os investimentos. Embora o Brasil tenha vantagens em termos de entrada de biocombustíveis, como biodiesel e etanol, devido à sua matriz energética limpa, uma falta de regulamentação específica impede sua adoção no setor oceânico. Além disso, a gestão portuária brasileira sofre de desintegração entre práticas ambientais e inovação, contrastando com os “portos inteligentes” globais e perpetuando desigualdades.

Essa transição reflete uma disputa por hegemonia tecnológica e geoeconômica, onde nações europeias e asiáticas dominam tecnologias limpas,

moldando padrões internacionais. O Brasil, com potencial como “referência verde do Atlântico Sul”, precisa investir em regulação, infraestrutura e parcerias para evitar a marginalização, promovendo uma transição mais equitativa.

6. DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA OU PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e pesquisa exploratória, fundamentada exclusivamente em revisão bibliográfica, com o objetivo de analisar os avanços, desafios e diretrizes relacionados à descarbonização do setor marítimo. O levantamento das fontes contemplou artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos e documentos institucionais publicados entre 2006 e 2025, com destaque para produções da IMO (2020; 2023), UN (2015), IEA (2023) e UNCTAD (2023), além de estudos acadêmicos que discutem gestão ambiental portuária, eficiência energética, políticas internacionais e transição energética (KITZMANN; ASMUS, 2006; SILVA et al., 2021; TURRA; JACOBI; LAUDA-RODRIGUEZ, 2019; KNEIPP, 2024; FERREIRA, 2024; SILVA; MAGALHÃES, 2023). As buscas foram realizadas em bases como Scielo, Google Scholar e repositórios institucionais, priorizando materiais com relevância temática, rigor científico e aderência ao objeto de estudo.

Após a seleção do material, procedeu-se à análise interpretativa do conteúdo, relacionando conceitos, tendências e evidências apresentados pelas diferentes fontes. Essa etapa permitiu compreender a evolução das discussões sobre sustentabilidade marítima, as estratégias globais de mitigação de emissões e os desdobramentos dessas políticas para o contexto brasileiro. Assim, a metodologia adotada, restrita à revisão bibliográfica, forneceu suporte teórico adequado para a construção das análises apresentadas no trabalho, conforme o escopo definido.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apontam que a descarbonização marítima avança de forma gradual e desigual entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. O estudo da IMO (2020) mostra redução de 30% na intensidade de carbono desde 2008, porém

as emissões absolutas continuam crescendo devido à expansão do comércio marítimo global.

Empresas líderes, como Maersk e CMA CGM, já operam embarcações movidas a metanol verde e amônia, demonstrando viabilidade tecnológica e comprometimento ambiental. A União Europeia, por sua vez, implementou o Regime de Comércio de Emissões (ETS) para o setor marítimo em 2024, integrando o transporte oceânico ao mercado de carbono (UNCTAD, 2023). Essas iniciativas reforçam o papel da regulação econômica na aceleração da transição energética.

No Brasil, o potencial para uso de biocombustíveis marítimos é expressivo, dada a disponibilidade de biomassa e infraestrutura consolidada de produção de etanol e biodiesel. Silva e Magalhães (2023) destacam que os biocombustíveis drop-in podem ser incorporados às embarcações com ajustes mínimos, representando uma solução imediata e economicamente viável. Entretanto, persistem desafios como a ausência de regulamentação específica para o uso marítimo desses combustíveis e a limitação de investimentos privados.

Além disso, a modernização portuária ainda é limitada. Kitzmann e Asmus (2006) já alertavam para a falta de integração entre gestão ambiental e inovação tecnológica. Apesar de avanços recentes, como o Programa BR do Mar e o Plano Nacional de Logística (PNL, 2022), ainda há lacunas na infraestrutura de abastecimento e monitoramento ambiental.

A transição energética afeta diretamente os custos operacionais dos armadores, influenciando o preço do frete marítimo e, consequentemente, a competitividade das exportações brasileiras. Estudos da IEA (2023) indicam que o custo de combustíveis sustentáveis pode ser até 2,5 vezes superior ao bunker tradicional, exigindo incentivos fiscais e linhas de crédito verde para garantir viabilidade econômica.

Entretanto, há ganhos intangíveis relacionados à imagem corporativa, acesso a novos mercados e atração de investimentos internacionais. O cumprimento das metas da IMO torna-se um diferencial competitivo para armadores e operadores portuários comprometidos com a sustentabilidade.

Ferreira (2024) analisa que o domínio sobre tecnologias de baixo carbono se tornou elemento estratégico no cenário internacional. Países com expertise em energia renovável, como o Brasil, a Noruega e o Japão, tendem a exercer maior

influência nas cadeias globais de valor. O Brasil, ao investir em infraestrutura verde e biocombustíveis marítimos, pode fortalecer sua posição como líder do Atlântico Sul em logística sustentável.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descarbonização do setor marítimo desponta como um dos principais desafios estruturais e estratégicos da economia global contemporânea. O transporte marítimo, enquanto sustenta 90% do comércio internacional, é também responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa. A Organização Marítima Internacional (IMO), ao propor metas de redução de 40% até 2030 e de 70% até 2050, estabelece um novo paradigma de governança climática, no qual a sustentabilidade se converte em eixo central de competitividade e inovação.

Ao longo da pesquisa, verificou-se que a resposta dos armadores às exigências ambientais tem sido marcada por uma combinação de avanços tecnológicos e obstáculos econômicos. O desenvolvimento de combustíveis alternativos, como biocombustíveis “drop-in”, amônia, metanol verde e hidrogênio, representa um salto significativo rumo à transição energética. Contudo, o custo de produção e a falta de infraestrutura global para sua adoção em larga escala ainda limitam sua expansão (IEA, 2023; SILVA; MAGALHÃES, 2023). Países desenvolvidos, especialmente na Europa e Ásia, têm liderado esse processo graças a políticas públicas de incentivo e regulação fiscal (UNCTAD, 2023).

No caso brasileiro, as análises indicam que o país possui vantagens comparativas relevantes: matriz energética limpa, forte base agrícola e experiência consolidada na produção de biocombustíveis. Entretanto, há lacunas institucionais e operacionais que comprometem a adoção efetiva de práticas descarbonizantes. Entre os desafios identificados estão: (a) a ausência de uma política nacional voltada ao uso de combustíveis sustentáveis no transporte marítimo; (b) a escassez de linhas de crédito verde específicas para o setor naval; e (c) a necessidade de integração entre os marcos regulatórios da ANTAQ, da Marinha e do Ministério de Portos e Aeroportos.

As implicações econômicas também são expressivas. A transição energética tende a elevar o custo de frete marítimo no curto prazo, impactando diretamente a

balança comercial e a competitividade das exportações brasileiras (IEA, 2023). Contudo, a médio e longo prazo, o cumprimento das metas ambientais traz ganhos estratégicos em termos de acesso a novos mercados, atração de investimentos estrangeiros e reputação internacional. A adesão a padrões globais de sustentabilidade deixa de ser uma obrigação e passa a representar um diferencial competitivo.

Do ponto de vista geopolítico, o estudo corrobora a visão de Ferreira (2024), segundo a qual a transição energética é também uma disputa por hegemonia tecnológica e geoeconômica. Países que controlam rotas de abastecimento e tecnologias limpas tendem a reconfigurar a hierarquia do comércio global. Nesse cenário, o Brasil tem potencial para se consolidar como hub verde do Atlântico Sul, desde que invista em políticas públicas integradas, infraestrutura portuária sustentável e diplomacia ambiental ativa.

Do ponto de vista social e ambiental, a descarbonização marítima possui efeitos multiplicadores positivos. A redução de emissões contribui para mitigar impactos sobre comunidades costeiras, melhorar a qualidade do ar e fortalecer a governança dos oceanos, pilares fundamentais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 13 e 14). Além disso, estimula a geração de empregos verdes, a formação de novas competências profissionais e o fortalecimento da economia azul brasileira.

Por fim, reconhece-se que este estudo, de natureza bibliográfica, limita-se à análise teórica e documental. Recomenda-se que futuras pesquisas realizem estudos empíricos sobre a viabilidade econômica dos combustíveis alternativos no Brasil, bem como modelagens quantitativas do impacto financeiro das metas da IMO. Também seria pertinente investigar o papel das universidades e centros de pesquisa na criação de soluções tecnológicas locais para o setor marítimo.

Em síntese, a descarbonização do transporte marítimo deve ser compreendida como um imperativo estratégico, capaz de alinhar o comércio exterior brasileiro às exigências do século XXI. Trata-se de um movimento irreversível, que exige cooperação entre Estado, iniciativa privada e organismos internacionais. Os armadores que se anteciparem à transição não apenas garantirão conformidade ambiental, mas também estarão melhor posicionados para competir em uma economia global cada vez mais orientada pela sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

BALCOMBE, P.; BOUTSIOUKIS, N.; BRIFFA, S.; WOOLEY, R.; SPEIRS, J.; HAWKES, A. How clean is LNG? An assessment of upstream greenhouse gas emissions from LNG supply chains. *Energy Policy*, v. 133, p. 110–993, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421519305804?via%3Dihub>. Acesso em: 13 de Novembro de 2025

BICER, Y.; DINCER, I. Clean fuel options for marine transportation: Hydrogen, ammonia, methanol, and biofuels. *Energy Conversion and Management*, v. 231, p. 113–140, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113839>. Acesso em: 13 de Novembro de 2025.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura; EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA – EPL. Plano Nacional de Logística – PNL 2035. Brasília: EPL, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2021/10/PNL_2035v1291021.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.

CE DELFT. Impacts of slow steaming on maritime transport. Delft: CE Delft / ICCT, 2012. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/CEdelft_slow_steaming_2012.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.

CORRÊA, F. M. Gestão ambiental portuária: conceitos, práticas e desafios. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. Disponível em: <https://www.editorainterciencia.com.br/produto/gestao-ambiental-portuaria/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

DÍAZ-RODRÍGUEZ, M.; RAIMBAULT, N.; PENA, A.; RIZZO, R. Challenges and opportunities of alternative fuels in maritime transport: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 152, p. 111–650, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111650>. Acesso em: 13 nov. 2025.

FABER, J.; HANAYAMA, S.; ZHANG, S.; PEREDA, P.; COMBE, M.; HUPE, J.; LIU, Y.; PRADA, K.; RENSMA, A.; JACOBSEN, B.; et al. Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020 – Final Report. Delft: CE Delft; International Maritime Organization, 2020. Disponível em: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>. Acesso em: 13 de Novembro de 2025.

FERREIRA, A. C. Desenvolvimento e geoeconômica da energia: uma antropologia da transição energética e dos confrontos por hegemonia no sistema interestatal. *Horizontes Antropológicos*, Porto Alegre, v. 30, n. 70, p. e700405, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/ha/a/Zfj7K4YDJMZ9VNYMLZHTMqC/?lang=pt>. Acesso em: 18 de maio de 2025

IEA – International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives 2023*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology->

[perspectives-2023](#). Acesso em: 17 setembro 2025.

IMO – Fourth IMO GHG Study 2020. Londres: International Maritime Organization, 2020. Disponível em: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>. Acesso em: 18 maio 2025.

IMO – IMO GHG Strategy 2023. Londres: International Maritime Organization, 2023. Disponível em: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/IMO-2023-GHG-Strategy.aspx>. Acesso em: 18 maio 2025.

KNEIPP, Rafael Barros. Eficiência energética de navios porta-contêineres operando em cabotagem. Universidade federal do Rio, Rio De Janeiro, 2024. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno_upl//THESIS/10004555/dissertao_rafael_barros_kneipp_rafa_kneipp_20250210124553253.pdf. Acesso em: 13 de agosto de 2025

KITZMANN, D.; ASMUS, M. Gestão ambiental portuária: desafios e possibilidades. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 40, n. 6, p. 1041- 1060, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/DKtz4RryT43yKsPxD6WFR5s/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 de maio de 2025

KONG, Y.; LEE, J.; PARK, J.; SEO, Y. Impacts of the IMO Carbon Intensity Indicator (CII) regulation on ship operation and required operational measures. Marine Policy, v. 150, p. 105–196, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105196>. Acesso em: 17 setembro 2025.

SILVA, B. O. da et al. IMO e a Agenda 2030: a contribuição da Organização Marítima Internacional para o desenvolvimento sustentável. Revista de Direito e Negócios Internacionais, v. 1, n. 2, p. 93-122, 2021. Disponível em: <https://mlawreview.emnuvens.com.br/mlaw/article/download/41/89/373>. Acesso em: 18 de maio de 2025

SILVA, P. M. V.; MAGALHÃES, D. F. A Estratégia de Descarbonização da Organização Marítima Internacional (IMO): Biocombustíveis Nacionais como Fonte Alternativa de Energia no Transporte Marítimo. Brasília: Escola Superior de Defesa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.esg.br/handle/123456789/1551>. Acesso em: 18 de maio de 2025.

TURRA, A.; JACOBI, P. R.; LAUDA-RODRIGUEZ, Z. L. Oceanos e a Agenda Internacional e Nacional. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 22, e0006, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/R5SwWYGXDYBxbCBwPbGczPk/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2025

UNCTAD – Review of Maritime Transport 2023. Genebra: United Nations, 2023. Disponível em: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>. Acesso em: 17 setembro 2025.

UN – Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Nova York: United Nations, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 17 setembro 2025.

UNITED NATIONS. Paris Agreement. Paris: UNFCCC, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf . Acesso em: 17 setembro 2025.

WORLD BANK. State and Trends of Carbon Pricing 2023. Washington, DC: World Bank, 2023. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/39677>. Acesso em: 13 nov. 2025.

