

## **Tecnologias Híbridas na Construção Naval: Um Caminho para a Eficiência Energética e Redução de Emissões de CO2**

*Heitor Victorino de Lira*  
*Daniel Cardoso das Neves*  
*Ryan Cavalcante Soares*

### **RESUMO**

O transporte marítimo global é fundamental para o comércio internacional, conectando mercados e facilitando o movimento de mercadorias essenciais. As principais rotas marítimas, como o Canal de Suez, o Canal do Panamá e o Estreito de Malaca, desempenham papel crucial na logística mundial, permitindo a circulação eficiente de cargas como petróleo, grãos e produtos manufaturados. No entanto, o setor enfrenta desafios, como o aumento dos custos de frete e os impactos ambientais, especialmente as emissões de CO<sub>2</sub>. Em resposta a esses desafios, inovações tecnológicas estão sendo implementadas, como o *Pyxis Ocean*, um navio com propulsão híbrida equipado com *WindWings*, velas rígidas que utilizam a energia do vento para reduzir o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa. Essa tecnologia pode descarbonizar navios de carga em até 30%, uma contribuição significativa para os objetivos de sustentabilidade da indústria marítima. O uso de tecnologias como a automação de portos e navios autônomos, junto à adoção de combustíveis alternativos, promete transformar o setor, promovendo maior eficiência e responsabilidade ambiental. Além disso, plataformas como *MarineTraffic Live* oferecem monitoramento em tempo real, contribuindo para a segurança e otimização das rotas. O futuro do comércio marítimo dependerá de práticas mais ecológicas, avanços tecnológicos e adaptação a novas condições climáticas.

Palavras-chave: Navios; Gases; Pyxis Ocean; Tráfego; WingWind.

### **ABSTRACT**

This scientific article aims to explore in a didactic and engaging manner the use of ships with hybrid systems, such as sails, as an economic and sustainable alternative. The goal is to reduce dependence on fossil fuels, promoting energy efficiency and decreasing greenhouse gas emissions. Through research, we seek to deepen the understanding of the construction processes of hybrid ships aimed at sustainability and energy efficiency. This academic work will present the results of the analysis of practical performance and the mechanical characteristics related to the application of these systems.

Keywords: Ships; Gases; Pyxis Ocean; Traffic; WingWind.

## **INTRODUÇÃO**

### **Problema de Pesquisa:**

Qual é o impacto da implementação de sistemas híbridos de propulsão (vela e motor) na eficiência energética e nas emissões de gases de efeito estufa no transporte marítimo global?

### **Hipótese:**

A implementação de sistema híbrido de propulsão em navios tem grande potencial para reduzir significativamente a emissão de CO<sub>2</sub> no planeta. Pouca atenção é dada no sentido de observar a emissão de gás carbônico em navios enquanto o grande foco de estudos foi dado para veículos elétricos em vias rodoviárias.

### **Objetivo Geral:**

Esta pesquisa irá analisar o impacto da implementação de sistemas híbridos com propulsão com vela em navios comerciais, investigando sua eficácia na redução do consumo de combustível e das emissões de gases de efeito estufa, com o intuito de avaliar a viabilidade econômica e ambiental de sua adoção no transporte marítimo global.

### **Objetivo Específico:**

Levantar por meio de pesquisa bibliográfica estudos na área que demonstrem índices de emissão de CO<sub>2</sub> e informações sobre o primeiro navio com vela metálica o Navio Pyxis Ocean, apoiada por sistema inteligente que já está em operação.

### **Justificativa:**

O transporte marítimo segundo Cisneros (2011, p.1): depende essencialmente da energia dos derivados do petróleo e, em consequência, produz emissões de CO<sub>2</sub>, SOX, NOX e material particulado entre outros. Hoje o transporte aquaviário responde por aproximadamente 4,5% das emissões de carbono, 4% das emissões de óxidos de enxofre e 7% das emissões de óxido de nitrogênio, transporte marítimo emite por ano aproximadamente 3% dos gases de efeito estufa depositados na atmosfera. A frota global tem cerca de 100 mil navios, que consomem 300 milhões de toneladas de combustível anualmente, gerando 1,076 milhão de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub>.

A movimentação dos navios nos oceanos são uma das principais formas de movimentação de mercadorias no mundo, representando cerca de 90% do comércio global, no entanto, seu impacto ambiental tem sido uma preocupação crescente nas últimas décadas, especialmente devido às elevadas emissões de gases de efeito

estufa (GEE) associadas ao consumo de combustíveis fósseis. As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de navios atingem cerca de 3% do total global, contribuindo significativamente para o aquecimento global (IMO, 2020, P. 1). Além disso, a poluição do ar relacionada aos gases NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> provenientes da combustão nos motores marítimos agrava problemas de saúde pública, afetando comunidades costeiras e os ecossistemas marinhos. Diante deste cenário, soluções inovadoras que visem reduzir o consumo de combustível e, conseqüentemente, as emissões de GEE tornam-se urgentes. A proposta de implementação de sistemas híbridos de propulsão que combinam velas mecânicas e motores a combustão aparece como uma solução promissora. A utilização de energia eólica, por meio de velas mecânicas, pode reduzir significativamente o consumo de combustível fóssil em rotas de longa distância, o que é crucial para o transporte marítimo, caracterizado por viagens que duram semanas ou até meses em mar aberto. Além disso, a integração com sistemas de energia solar pode ser considerada uma abordagem complementar para aumentar ainda mais a eficiência energética das embarcações. Também aponta Cisneros (2021, P. 1), a dependência de derivados do petróleo no transporte marítimo gera elevadas emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, contribuindo diretamente para a poluição atmosférica. Nesse sentido, qualquer medida que consiga mitigar esses impactos é digna de atenção e estudo. Estudos preliminares indicam que a adoção de sistemas híbridos de propulsão pode reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em até 20%, especialmente em rotas de grande curso, onde o uso da força do vento pode ser maximizado. Essa redução, embora pareça modesta, pode representar uma diminuição significativa nas emissões totais, considerando o número de embarcações envolvidas no comércio internacional. Atualmente, a frota mundial é composta por aproximadamente 100 mil navios, responsáveis por cerca de 1,076 milhão de toneladas de emissões anuais de CO<sub>2</sub>. Assim, uma redução de 20% poderia evitar a emissão de centenas de milhares de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Além dos benefícios ambientais, o uso de velas mecânicas pode trazer vantagens econômicas substanciais. Com a alta volatilidade nos preços dos combustíveis, reduzir a dependência de motores a combustão pode proporcionar uma economia considerável para as empresas de transporte marítimo. Essa economia pode se traduzir em custos operacionais mais baixos, tornando as empresas mais competitivas, especialmente em um cenário onde regulações ambientais mais rigorosas estão se tornando comuns. Em algumas regiões do mundo, como a União Europeia, existem incentivos financeiros para empresas que adotam

tecnologias sustentáveis, o que pode acelerar ainda mais a transição.

No contexto atual, em que a pressão para que as indústrias se tornem mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis cresce rapidamente, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias que favoreçam a transição para uma economia de baixo carbono são essenciais. A adoção de sistemas de propulsão híbridos, que aproveitem fontes de energia renovável, como o vento e a energia solar, pode ser uma estratégia crucial para garantir o futuro do transporte marítimo, sem comprometer os esforços globais para a mitigação das mudanças climáticas. Portanto, a escolha deste tema é justificada pela necessidade premente de encontrar alternativas sustentáveis para o transporte marítimo, que continua sendo uma peça central no comércio global. A implementação de sistemas híbridos de propulsão com velas mecânicas apresenta-se como uma solução inovadora, com potencial de reduzir consideravelmente as emissões de gases de efeito estufa, sem comprometer a eficiência e a competitividade das operações logísticas. Este estudo buscará, assim, fornecer uma análise profunda sobre os impactos ambientais, econômicos e operacionais dessa tecnologia, destacando sua viabilidade e possíveis desafios para a indústria marítima global, incluindo a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a adaptação de infraestruturas e o treinamento de pessoal para operar essas novas tecnologias.

### **Metodologia:**

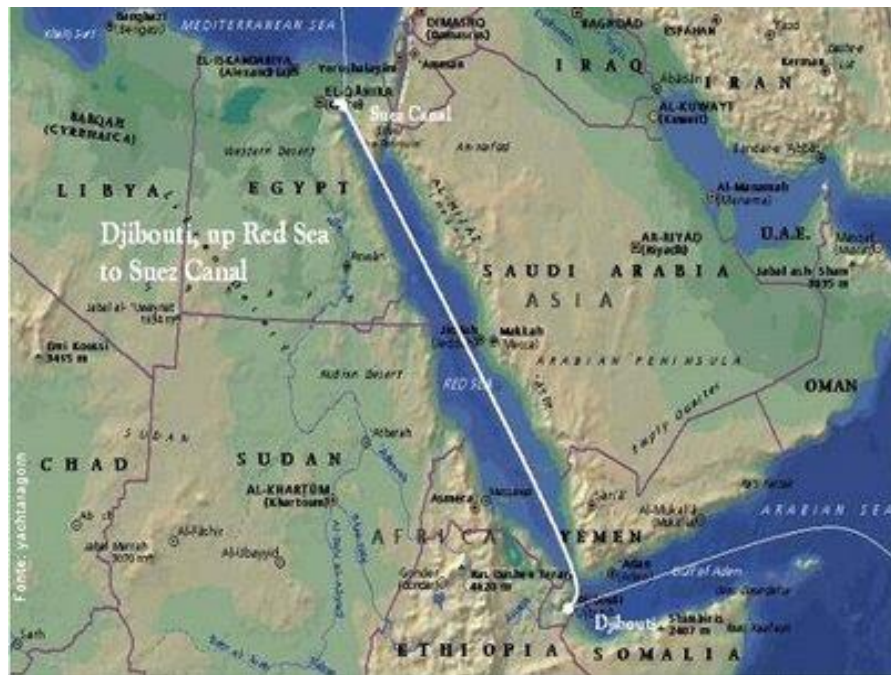
Este trabalho utiliza uma abordagem quantitativa, com foco descritivo, para analisar a implementação de navios híbridos, com motores a combustão e velas mecânicas. A pesquisa será realizada por meio de coleta de dados primários, obtidos através de análise de dados. Além disso, serão analisados dados secundários disponíveis em relatórios e estudos de caso relevantes.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **Transporte Marítimo Global**

O tráfego marítimo é o movimento de embarcações e navios em rotas específicas pelos oceanos, mares, rios e canais ao redor do mundo. É uma parte essencial do comércio internacional, permitindo o transporte de mercadorias, matérias-primas, petróleo, gás natural e até mesmo passageiros de um país para outro, dentre essas rotas, as marítimas são as com mais impacto e influência na logística mundial devido

ao custo-benefício e a capacidade de transportar uma quantidade altíssima de carga. As rotas mais utilizadas, como afirma a Cronos [...] (2024, P.1) no tráfego marítimo são elas, rota do Canal de Suez localizada no Egito, conectando o Mar Mediterrâneo ao Mar Vermelho. É uma das rotas mais curtas para o comércio entre a Europa e a Ásia, permitindo que navios evitem a longa viagem ao redor da África. Aproximadamente 12% do comércio marítimo mundial passa por aqui. O canal é vital para o transporte de petróleo, gás natural e produtos manufaturados;



Rota do Canal do Panamá, fica no Panamá, conectando o Oceano Atlântico ao Oceano Pacífico. Dentro do comércio europeu essa rota tem grande influência para o comércio entre a América do Norte e do Sul, além de facilitar o transporte entre os EUA e a Ásia. O canal reduz significativamente a distância de navegação, economizando tempo e custos para as embarcações maximizando os seus processos. É especialmente importante para o transporte de grãos, produtos eletrônicos e automóveis;



Rota do Estreito de Malaca, de acordo com a Faz Comex (2024, P. 2) o estreito está entre a Malásia e a Indonésia. Uma das rotas marítimas mais movimentadas do mundo, conectando o oceano Índico ao mar da China meridional. para o comércio entre a China, Japão, Coreia do Sul e o Ocidente essa rota é indispensável. É uma rota crítica para o transporte de petróleo e gás natural, com um alto volume de tráfego de navios elevando de forma brutal as emissões de gee, devido ao fluxo alto nesta rota;

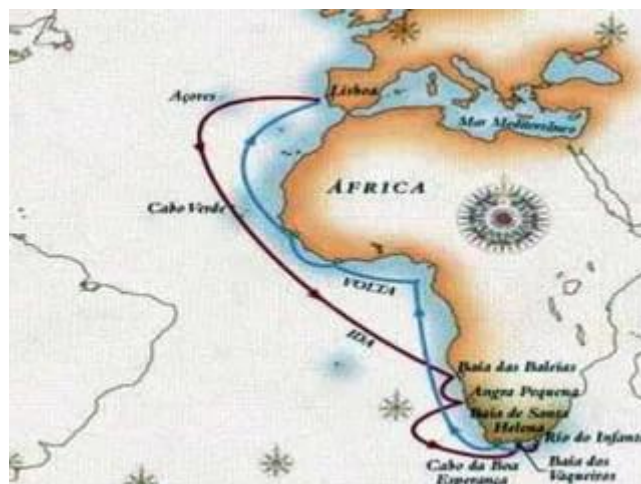
Já a rota Transatlântica, entre a América do Norte e a Europa, facilita o comércio de mercadorias como alimentos, eletrônicos, roupas e automóveis entre os dois continentes. O comércio transatlântico é um dos maiores do mundo, envolvendo várias rotas e conexões portuárias que afetam diretamente a economia global.



Rota do Cabo da Boa Esperança é localizada no Sul da África, contornando o Cabo da Boa Esperança. Utilizada quando o Canal de Suez está fechado ou quando navios preferem essa rota por questões de segurança ou condições climáticas.

Impacto: Embora seja uma rota mais longa e cara, ela ainda é crucial para o transporte de mercadorias, especialmente para navios que transportam petróleo e minérios entre a África, Europa e Ásia.

Essas rotas desempenham um papel vital no comércio africano e asiático, conectando mercados e facilitando a movimentação de mercadorias essenciais;



Hoje em dia essas são algumas das rotas mais utilizadas por quase, se não todas as embarcações comerciais e não comerciais do mundo, elas foram pensadas para atender as expectativas de importação e exportação da forma mais eficiente possível

preservando a segurança do navio, cargas e tripulação. Promovendo evoluções no comércio global também clicando a economia. A revista (Forbes, 2020, p. 3): aponta ultimamente o frete dos contêineres vem tendo aumentando significativo em seus valores devido aos aumentos em Ataques no Mar Vermelho, gargalos nos portos do Brasil e demanda alta em meio a temporada de pico pressionam preços. Terminais de contêineres brasileiros estão com demanda alta e enfrentam filas as turbulências no comércio marítimo global e nos portos brasileiros elevaram os fretes da navegação de contêineres a um patamar próximo ao da pandemia nos últimos meses. Com o início da temporada de pico, os preços devem seguir pressionados ao menos até o fim do ano, segundo especialistas.

A principal rota de importação do país, da Ásia para o Brasil, que no auge da crise logística gerada pela pandemia em 2021 superou os US\$ 10 mil por contêiner, hoje está em cerca de US\$ 7.250, no mercado de curto prazo, segundo a consultoria Solve Shipping. Em julho, o preço chegou a bater US\$ 9.350, mas recuou após empresas de navegação reforçarem a rota nas últimas semanas segundo CALDERARO (2021). Dominado por vários tipos de navios, cada um com funções essenciais para a economia global.

Hoje em dia os navios que estão sendo mais utilizados são eles, Navios petroleiros são cruciais para o transporte de petróleo bruto e derivados, atendendo à alta demanda por energia, esses navios são projetados para movimentar grandes volumes, enfrentam desafios como a necessidade de regulamentações ambientais rigorosas devido ao risco de derrames. No entanto navios porta-contêineres se destacam no comércio internacional, facilitando o transporte eficiente de mercadorias. Com a automação dos portos e a padronização dos contêineres, esses navios têm se tornado cada vez mais eficientes, reduzindo custos e tempos de espera.

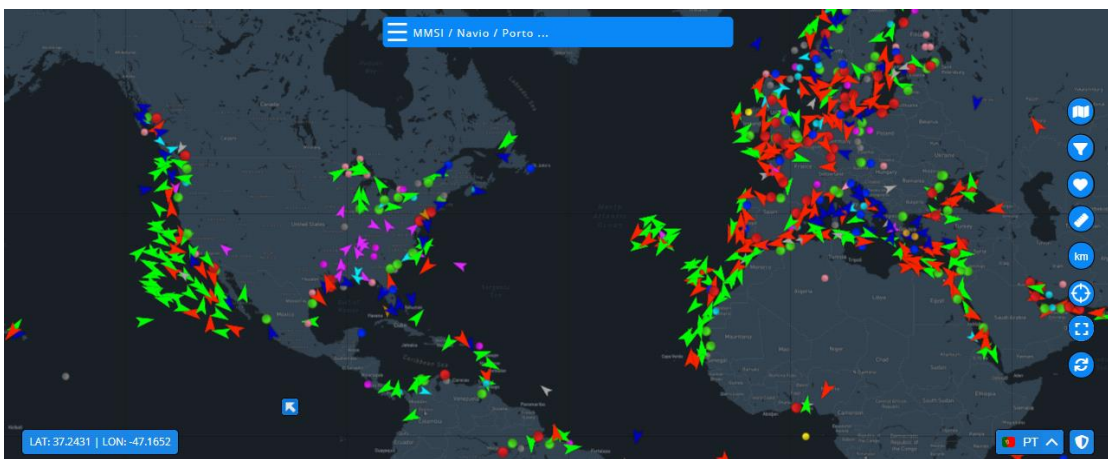
Já os graneleiros são projetados para transportar produtos agrícolas a granel, como trigo e soja, sendo essenciais para a segurança alimentar. Com sistemas que minimizam perdas, eles operam em rotas estratégicas que atendem à demanda global por alimentos. Navios de carga geral oferecem versatilidade, transportando uma variedade de mercadorias, desde produtos industriais a bens de consumo. Embora sejam úteis, podem ser menos eficientes em comparação com navios especializados. Os navios ro-ro, Roll-on e Roll-off são ideais para o transporte de veículos, permitindo o carregamento rápido graças a rampas que facilitam o embarque e desembarque.



Eles são populares para o transporte de automóveis e equipamentos pesados, já navios de cruzeiro, embora focados no turismo, têm um impacto significativo na economia de destinos turísticos. Com itinerários que atraem milhões de passageiros, eles contribuem para a geração de receitas locais. Por fim, os navios de pesquisa estão se tornando cada vez mais relevantes devido ao aumento da preocupação com a sustentabilidade. Equipados com tecnologia avançada, esses navios são utilizados para monitorar ecossistemas marinhos e realizar estudos ambientais.

Diferentes tipos de navios desempenham papéis fundamentais no comércio e na pesquisa marítima, refletindo a complexidade e a interconexão da economia global em 2024.

No site <https://marinetraffic.live> pode-se extrair informações de extrema importância por oferece rastreamento em tempo real de navios que podem ajudar na segurança dos navios por não ficarem à deriva sem o monitoramento necessário. Ele utiliza dados de Automatic Identification System (AIS) para mostrar a localização, velocidade e direção dos navios, e nele podemos ver as rotas mais movimentadas, navios mais utilizados



O Marine Traffic Live é extremamente importante para profissionais da navegação por várias razões por que ele tem rastreamento em tempo que permite monitorar a localização e o movimento de embarcações em tempo real, o que é crucial para a logística e o planejamento de rotas.

Ademais, para a segurança, profissionais podem identificar embarcações próximas e potenciais riscos de colisão, ajudando a evitar acidentes no mar, o gerenciamento de portos também é analisado. Informações sobre a chegada e partida de navios ajudam

na alocação eficiente de berços e no planejamento das operações portuárias. Os dados históricos de tráfego marítimo disponíveis no site podem ser utilizados para análise de tendências, otimização de rotas e previsão de demanda, facilita a comunicação entre diversas partes interessadas, como armadores, operadores portuários e agentes de carga, melhorando a coordenação nas operações marítimas. Ajuda profissionais da área com informações de mercado, acompanhar a movimentação de navios mercantes pode fornecer insights sobre o comércio global e as flutuações no mercado. Esses fatores fazem do Marine Traffic uma ferramenta valiosa para quem trabalha na indústria marítima, contribuindo para operações mais seguras e eficientes.

As tendências do tráfego marítimo para o futuro incluem sustentabilidade, indústria está se movendo em direção a práticas mais ecológicas, com o uso de combustíveis alternativos e navios com propulsão híbrida mais eficientes em termos de energia, também terá uma grande crescente em relação a tecnologia e digitalização o uso de tecnologias como inteligência artificial, big data e Internet das Coisas (IoT) para otimizar operações e monitorar navios em tempo real deve aumentar e conseqüentemente a automação, espera-se um crescimento na automação de portos e navios, com sistemas autônomos sendo cada vez mais utilizados para melhorar a eficiência e segurança.

Mudanças climáticas serão algo a ser estudado porque o tráfego marítimo precisará se adaptar a novos padrões climáticos, como rotas alteradas e impactos ambientais, exigindo planejamento estratégico. Crescimento do Comércio Global naval é consequência do crescimento da Ásia que continuará a impulsionar o tráfego marítimo, essas tendências irão moldar o futuro do setor marítimo, promovendo maior eficiência e responsabilidade ambiental.

### **Navio Pyxis Ocean**

A indústria marítima global é um dos principais contribuintes para as emissões de CO<sub>2</sub> no mundo. De acordo com a Organização Marítima Internacional (IMO, 2020, p. 2), o transporte marítimo representa cerca de 2-3% das emissões globais de gases de efeito estufa. Em 2022, a região foi responsável por 44% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. Europa, Ásia Central e América do Norte, as próximas na lista das regiões mais emissoras, representam respectivamente 17% e 15% das emissões. Com isso a

empresa Cargill resolveu tomar medidas a respeito do caso, trabalhando em um projeto de navio de propulsão híbrida chamado Pyxis Ocean, um navio cargueiro equipado com velas rígidas, cada uma com a altura de um prédio de 10 andares, partiu em sua viagem inaugural e alcançou as águas abertas em agosto de 2023 e durante os primeiros seis meses de testes navegou pelos Oceanos Índico, Pacífico, Atlântico Norte e Sul, além de passar pelo Cabo Horn e Cabo da Boa Esperança. O navio Pyxis Ocean testará as velas WindWings. Em uma rota internacional média, as WindWings podem poupar 1,5 toneladas de combustível por WindWing ao dia, com a possibilidade de poupar mais em rotas transoceânicas. Isto pode significar que os proprietários de navios economizam óleo combustível pesado (HFO) em c\$ 800 por tonelada, o que irá se tornar ainda mais importante ao economizar em futuros combustíveis que, sem dúvida, irão custar muito mais. Projetadas para aproveitar a energia aérea tradicional para ajudar a reduzir o uso de combustível – e as emissões de CO<sub>2</sub> da indústria naval. Os criadores da vela estimam que a tecnologia poderia descarbonizar os navios de carga em cerca de 30%, à medida que o setor marítimo tenta atingir emissões líquidas zero até 2050. A redução prevista crescerá ainda mais caso a utilização de combustíveis diferentes seja posta como opção. O Pyxis Ocean foi equipado com dois WindWings, cada um medindo 37,5 m de altura. Essas velas produzidas com o mesmo material das turbinas eólicas promovendo leveza e resistência para a tecnologia, foram instaladas no estaleiro COSCO, na China em Shangai de onde o Pyxis Ocean zarpuou e realizou a viagem inaugural do navio, traçando uma rota da China ao Brasil.

As WindWings são o coração desse salto ambiental e tecnológico, e porque as escolher, as velas têm um design patenteado de asa de três elementos é único no mercado e proporciona 2,5 vezes mais sustentação do que uma asa de elemento único e elas utilizam princípios aeronáuticos comprovados, funcionando como uma asa de avião para maximizar o empuxo, automaticamente a eficiência com cambagem totalmente ajustável e posicionamento do ângulo de ataque, solução completa pronta para uso, desde o conceito até a manutenção contínua.

O projeto é uma colaboração entre a BAR Technologies (que desenvolveu as velas), Cargill Ocean Transportation, Mitsubishi Corporation e Yara Marine. “A indústria marítima é extremamente difícil de descarbonizar”, disse o presidente da Cargill, Jan Dieleman (2023, P. 1). “Portanto, não há muitas ferramentas que você tenha. Portanto, é muito importante que nós, como usuários da indústria marítima, também nos

envolvamos em algumas das inovações e realmente façamos a indústria avançar.”

A indústria naval se comprometeu em reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa para zero “até ou próximo de 2050”. Apesar de ser apenas uma promessa, pretende ser um sinal aos governos sobre onde avaliar os seus objetivos vinculativos. O compromisso teria sido ainda mais flexível se não fosse um “forte impulso de última hora” por parte de pequenas nações insulares e outros países costeiros economicamente menos desenvolvidos, que levou a um plano que oferece uma oportunidade de limitar o aquecimento global a 1,5 graus Celsius. Este é o limite que os especialistas em clima concordam que o mundo precisa de evitar para poupar a Terra dos piores cenários de alterações climáticas.

Fuller, representante de Belize nas Nações Unidas, enfatizou a relevância dos dados na busca por um futuro sustentável: "Acreditamos firmemente na necessidade de limitar o aumento da temperatura global a 1,5 graus Celsius, pois isso é fundamental para a sobrevivência do nosso planeta" (UN Climate Change, 2023, P. 1). Embora esses números possam ter suas limitações, eles representam uma oportunidade significativa para alcançarmos essa meta.

A energia eólica apresenta um grande potencial para contribuir para os objetivos de sustentabilidade, embora a sua adoção enfrente desafios. Segundo Gordon, diretor-gerente da Clarksons Research, “o número de navios que utilizam esta tecnologia duplicou nos últimos 12 meses. No entanto, isso parte de uma base bastante baixa: na frota marítima internacional e na carteira de pedidos de novas construções de mais de 110.000 navios, menos de 100 possuem atualmente tecnologia assistida pelo vento.” (Clarksons Research, 2024, P. 1).

### **E como essas velas são aplicadas aos navios?**

Uma equipe de engenheiros navais é acionada para analisar as configurações da embarcação, bem como a localização em as velas serão implantadas. Bom a instalação começa com um projeto detalhado que considera o tipo de navio, dimensões e a posição ideal para as velas, para a melhor eficiência dos navios

uma equipe interna de arquitetos navais avalia a posição de acordo com a estabilidade e manobrabilidade do navio, bem como restrições físicas de outros equipamentos de convés, heliponto, guindastes etc. Paralelamente, os aerodinamicistas otimizam sua posição usando CFD para garantir que o desempenho de cada WindWing seja

maximizado e a interferência com a estrutura do navio e outros WindWings seja minimizada. Cada WindWing economiza em média 1,5 t de combustível e 4,7 t de CO<sub>2</sub> por dia em rotas globais típicas, quando calculada a média em todas as estações. Dito isso, podemos conferir no vídeo ( BARtech [...], 2021) exemplos práticos de como as velas se comportam na hora de paradas nos portos para receber ou descarregar suas cargas, elas têm um mecanismo próprio, as velas fazem uma sequência de movimentos para se adaptar as máquinas que vão encher ou esvaziar os reservatórios do navio da forma a reduzir o máximo de riscos e aumentar a eficiência. Também em outro vídeo ( Pyxis [...], 2023) é mencionado por alguns dos CEOs e diretores da empresa Cargill que estão envolvidos com o Pyxis Ocean se reunirão em um evento exclusivo para discutir inovações sustentáveis, com foco especial no projeto WindWings. Durante a apresentação, eles compartilharão insights. Além de explorar os desafios enfrentados durante a instalação e operação, os líderes também destacarão os benefícios econômicos e ambientais associados a essa tecnologia sustentável, trazendo uma inovação tecnológica e conscientização ambiental.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este artigo salienta a importância da adoção de sistemas de propulsão híbridos que combinem velas mecânicas e motores de combustão interna para o transporte marítimo. Esta abordagem se revela uma opção viável para enfrentar o desafio crescente das emissões de gases com efeito de estufa. A investigação mostra que estes sistemas têm um grande potencial para reduzir o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>, com alguns estudos a sugerirem reduções de emissões até 20% em rotas de longo curso. Para além dos benefícios ambientais, a tecnologia também traz benefícios económicos, como a redução dos custos operacionais, especialmente em tempos de volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis.

Um exemplo deste progresso é a viagem inaugural do Pyxis Ocean com velas Windwings. Este mostra como a combinação de tecnologias tradicionais e renováveis pode acelerar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono no sector do transporte marítimo. Se forem amplamente adoptados, estes sistemas poderão contribuir significativamente para reduzir a pegada de carbono da frota global, tornando o transporte marítimo um sector mais sustentável e em conformidade com os objetivos globais em matéria de alterações climáticas.

No entanto, para que esta transição seja efetiva, é necessário um investimento contínuo na investigação, no desenvolvimento, na adaptação das infraestruturas marítimas e na formação das tripulações para operarem estas novas tecnologias. Com a crescente pressão para uma regulamentação ambiental mais rigorosa e incentivos mais fortes para práticas empresariais sustentáveis, o transporte marítimo híbrido tem potencial para se tornar parte integrante da descarbonização global, ajudando o sector marítimo a cumprir os seus objetivos de redução das emissões até 2050.

## REFERÊNCIAS

AIP. *A comprehensive review of emission reduction technologies for marine transportation*. 2023. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/jrse/article-abstract/15/3/032702/2891447/A-comprehensive-review-of-emission-reduction?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 31 out. 2024.

CISNEROS, J.C.M. *Maritime CO<sub>2</sub> SO<sub>x</sub> NO<sub>x</sub> emissions fuel shipping global trade*. 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-03042012-081921/pt-br.php>. Acesso em: 31 out. 2024.

CLARKSONS. *Maritime & Shipping Decarbonisation*. 2023. Disponível em: <https://www.clarksons.com/home/green-transition/>. Acesso em: 31 out. 2024.

CORDEIRO, G.F.D. *Tradição e Inovação na Navegação à Vela no N.E. "Sagres"*. 2022. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/42097>. Acesso em: 31 out. 2024.

CRONOS LOGÍSTICA. *As 5 Rotas Marítimas Mais Importantes do Mundo*. 2024. Disponível em: <https://cronoslogistics.com.br/as-5-rotas-maritimas-mais-importantes-do-mundo/>. Acesso em: 31 out. 2024.

FAZ COMEX. *Saiba o que é o Estreito de Malaca*. 2024. Disponível em: <https://www.fazcomex.com.br/comex/estreito-de-malaca-o-que-e/>. Acesso em: 31 out. 2024.

LEX LATIN. *A China continua interessada em promover novas rotas de trânsito interoceânico na América Central*. 2023. Disponível em: <https://br.lexlatin.com/reportagens/canal-do-panama-e-preciso-buscar-alternativas-de-transito>. Acesso em: 31 out. 2024.

MARTINS, L.P.A. *Os canais de Suez e do Panamá estão na mínima histórica de comércio. Como isso afeta o mundo?* 2024. Disponível em: <https://exame.com/mundo/os-canais-de-suez-e-do-panama-estao-no-minimo-historico-de-comercio-como-isso-afeta-o-mundo/>. Acesso em: 31 out. 2024.

IMO, *International Maritime Organization*. *Fourth Greenhouse Gas Study*. 2020. Disponível em: <https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>. Acesso em: 31 out. 2024.

ONISHCHENKO, O. *A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime*

*Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation.* 2024. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-68372-5\\_28](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-68372-5_28). Acesso em: 31 out. 2024.

UN CLIMATE CHANGE. *Enhancing Climate Transparency in Latin America and the Caribbean.* 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/news/enhancing-climate-transparency-in-latin-america-and-the-caribbean>. Acesso em: 31 out. 2024.

UN TRADE & DEVELOPMENT. *Port performance and maritime trade and transport facilitation.* 2023. Disponível em: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023ch4\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023ch4_en.pdf). Acesso em: 31 out. 2024.

UN TRADE & DEVELOPMENT. *Review of maritime transport.* 2023. Disponível em: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf). Acesso em: 31 out. 2024.

UN TRADE & DEVELOPMENT. *World shipping fleet, services, and freight rates.* 2023. Disponível em: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023ch2\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023ch2_en.pdf). Acesso em: 31 out. 2024.

ELEMENTO ECO. *Inventário GEE2.* Disponível em: [https://elemento.eco.br/inventariogee2/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA6Ou5BhCrARIsAPoTxrAdPyxulc7ddRaFC40\\_Wh6fCzRtv2xkqYkZBA8bhin4ddMYDpyZog8aAhLLEALw\\_wcB](https://elemento.eco.br/inventariogee2/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA6Ou5BhCrARIsAPoTxrAdPyxulc7ddRaFC40_Wh6fCzRtv2xkqYkZBA8bhin4ddMYDpyZog8aAhLLEALw_wcB). Acesso em: 12 nov. 2024.

GUIA MARÍTIMO. *IMO assegura acordo para redução de emissões até 2050.* Disponível em: <https://www.guiamaritimo.com.br/noticias/maritimo/imo-assegura-acordo-para-reducao-de-emissoes-ate-2050#:~:text=A%20IMO%20afirma%20que%20mant%C3%A9m,uma%20transi%C3%A7%C3%A3o%20justa%20e%20equitativa>. Acesso em: 13 nov. 2024.

WindWings - *Tudo sobre as velas mecânicas windwings* Disponível em: <https://www.bartechologies.uk/commercial-ships/windwings/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

*“Para o fechamento de notas foi dado maior peso na apresentação oral na feira tecnológica da Etecamp, com isso, levando-se em conta maior consideração de nota final pela defesa e demonstração da apropriação da pesquisa pelo grupo. Deixo assim registrado que embora possam haver pendências e alguns erros no artigo, seja de parte escrita ou norma, a avaliação levou em conta o desenvolvimento integral realizado pelos alunos, considerando inclusive como primeira experiência realizada em pesquisa científica sendo de nível do ensino básico” Prof. André Zanatto.*