



CIÊNCIAS EMPRESARIAIS

ESCOLA SUPERIOR
POLITÉCNICO SETÚBAL

BARBARA DE
PAULA
FONTAINHA

INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE INTENSIDADE DE CARBONO NOS PORTOS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Dissertação submetida como requisito para
obtenção do grau de Mestre em Ciências
Empresariais

ORIENTADORES

Professor Doutor Tiago Pinho

Professora Doutora Ana de Jesus Mendes

Outubro - 2024



CIÊNCIAS EMPRESARIAIS

ESCOLA SUPERIOR
POLITÉCNICO SETÚBAL

BARBARA DE
PAULA
FONTAINHA

INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE INTENSIDADE DE CARBONO NOS PORTOS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

JÚRI

Presidente: Prof.^a Coordenadora Maria Dulce da Costa
Matos Coelho

Vogal Arguente: Prof. Adjunto Convidado Vítor Manuel
dos Ramos Caldeirinha

Orientador: Prof. Coordenador Tiago Miguel Santa Rita
Simões de Pinho.

AGRADECIMENTOS

Toda honra e glória sejam dadas a Ti, Senhor Deus!

Pai, agradeço a Ti em primeiro lugar, pois o Teu cuidado e direcionamento me fortaleceram e me guiaram para concluir mais esta etapa da minha vida.

É com grande satisfação que expresso minha gratidão pela conclusão desta fase acadêmica e a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante esta jornada.

Em especial, sou grata aos meus orientadores, Professor Doutor Tiago Pinho, Professora Doutora Ana de Jesus Mendes e à co-orientadora Professora Doutora Marcela Castro. O apoio inestimável de cada um de vocês, os conselhos, a dedicação, a exigência e a disponibilidade foram fundamentais para a realização deste trabalho. Agradeço profundamente por todo o aprendizado e pela valiosa contribuição que proporcionaram.

Estendo meus agradecimentos às organizações e aos participantes deste estudo, que generosamente disponibilizaram informações essenciais, conferindo relevância a esta pesquisa.

Aos meus pais e irmãos, deixo meu mais sincero agradecimento pelo apoio incondicional e por todos os incentivos ao longo desta etapa.

Ao meu marido, Júlio, sou imensamente grata pelo apoio, paciência, compreensão e amor. Obrigada por estar sempre ao meu lado, pelas palavras de incentivo e por nunca duvidar de mim, especialmente nos momentos mais desafiadores. E ao meu filho Bento, que, sem saber, foi uma das minhas maiores inspirações e forças para não desistir nesta caminhada.

Aos meus amigos, de vida e de trabalho (em especial ao grupo Gilvan, João e Liandra), agradeço pela amizade, incentivo e apoio constantes recebidos. A todos vocês, minha profunda gratidão!

RESUMO

Este estudo analisa o impacto do regulamento do *Carbon Intensity Indicator* (CII), adotado pela Organização Marítima Internacional, sobre as operações portuárias. O objetivo principal é avaliar as implicações da regulamentação nas atividades portuárias, com foco nas percepções de gestores de quatro portos em Portugal, mas com relevância internacional.

Este estudo é relevante porque, embora a eficiência energética dos navios tenha sido amplamente abordada na literatura, ainda há uma escassez de análises sobre as medidas práticas e operacionais relacionadas ao CII, nos Portos. A descarbonização das operações marítimas é crucial no combate às mudanças climáticas, e esta pesquisa visa contribuir para o entendimento do tema ao explorar como a regulamentação do CII pode impactar não apenas a eficiência dos navios, mas também as operações e a infraestrutura Portuária.

O estudo utilizou uma metodologia híbrida multidimensional, combinando as metodologias de Revisão Integrativa da Literatura, análise bibliométrica VOSviewer, Análise PESTEL/SWOT e Entrevistas. Essa abordagem híbrida permitiu uma análise retrospectiva da literatura sobre eficiência energética, além de uma exploração qualitativa das percepções dos gestores quanto ao impacto do CII e aos fatores internos e externos que influenciam sua adoção.

Entre as contribuições, os resultados indicam que, embora o CII tenha como principal objetivo aumentar a eficiência dos navios, ele também gera impactos significativos nas operações e infraestruturas portuárias. A regulamentação exige adaptações substanciais nas práticas operacionais dos portos, o que reforça a necessidade de adaptação para atender às metas de descarbonização no setor marítimo e sugere que os portos poderão desempenhar um papel estratégico na transição para práticas mais sustentáveis.

Palavras-Chave: Indicador de Intensidade de Carbono, Descarbonização, Transporte Marítimo, Porto.

ABSTRACT

This study analyzes the impact of the Carbon Intensity Indicator (CII) regulation adopted by the International Maritime Organization on port operations. The main objective is to assess the implications of the regulation on port activities, focusing on the perceptions of managers from four ports in Portugal, but with international relevance. In addition, the research aims to break down the calculation of the CII to better understand the variables involved and how the regulation can influence future maritime operations and the role of ports.

This study is relevant because, although the energy efficiency of ships has been widely addressed in the literature, there is still a dearth of analysis on the practical and operational measures related to the CII in ports. The decarbonization of maritime operations is crucial in the fight against climate change, and this research aims to contribute to the understanding of the subject by exploring how IIC regulation can impact not only the efficiency of ships but also Port operations and infrastructure.

The study used a multidimensional hybrid methodology, combining the methodologies of Integrative Literature Review, VOS viewer bibliometric analysis, PESTEL/SWOT Analysis, and Interviews. This hybrid approach allowed for a retrospective analysis of the literature on energy efficiency, as well as a qualitative exploration of managers' perceptions of the impact of the IIC and the internal and external factors that influence its adoption.

Among the contributions, the results indicate that although the IIC's main objective is to increase the efficiency of ships, it also has significant impacts on port operations and infrastructure. The regulation requires substantial adaptations to ports' operational practices, which reinforces the need to adapt to meet decarbonization targets in the maritime sector and suggests that ports could play a strategic role in the transition to more sustainable practices.

Keywords: Carbon Intensity Indicator, Decarbonization, Maritime Transport, Port.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	ix
INTRODUÇÃO	1
Contextualização do Tema	1
Objetivos e Justificação da Pesquisa	3
1. REVISÃO DA LITERATURA	6
1.1. Descarbonização no Transporte Marítimo	6
1.1.1 Regulamentações Marítimas para Descarbonização	9
1.1.1.1 EEDI – Energy Efficiency Design Index	11
1.1.1.2 SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan	12
1.1.1.3 DCS – Data Collection System	13
1.1.1.4 EEXI – Energy Efficiency Existing Ship Index	13
1.1.1.5 CII – <i>Carbon Intensity Indicator</i>	14
2.2. Índice de Intensidade de Carbono (CII)	15
2.2.1 Conceito e Diretrizes do Índice de Intensidade de Carbono	15
2.2.2 Procedimentos para cálculo de conformidade do CII	16
2.2.3 CII nas Operações Marítimas	19
2.2.4 Reflexos do CII nas Operações Portuárias	21
2. METODOLOGIA	25
2.1 Estratégia de Pesquisa	25
2.2 Métodos Utilizados	25
2.2.1 Revisão Integrativa da Literatura	26

2.2.2	Análise Bibliométrica.....	28
2.2.3	Entrevistas	29
2.2.4	Análise PESTLE e SWOT aplicados nos Portos Portugueses	30
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1	Análise Bibliométrica.....	35
3.1.1-	Visualização de rede e palavras-chaves	35
3.1.2-	Produção de investigação científica do país	37
3.2	Revisão integrativa da literatura.....	39
3.3	Análise PESTLE / SWOT	41
3.4	Entrevistas	46
3.4.1	Caracterização dos Entrevistados.....	46
3.4.2	Caracterização dos Portos	47
3.4.3	Procedimento.....	48
3.4.3.1	Dados das Entrevistas.....	48
3.4.3.2	Análise das Entrevistas.....	55
3.5	Estratégias Adoção CII nos Portos Portugueses	58
4.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS..	62
	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – GUIÃO DE ENTREVISTA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diretrizes do cálculo CII.....	16
Figura 2: Etapas de cálculos do CII	17
Figura 3: Sistema de classificação do CII	18
Figura 4: As 10 prioridades ambientais para os portos europeus em 2023.....	24
Figura 5: Mapa Mental - Estratégia de investigação.....	26
Figura 6: Revisão Integrativa da Literatura.....	27
Figura 7: Análise SWOT/PESTLE da influência do CII nos Portos Portugueses	32
Figura 8: Análise das palavras-chaves	35
Figura 9: Rede por palavras-chaves interconexões com o CII.....	37
Figura 10: Overlay por países	38
Figura 11: Capacidade instalada nos terminais de contentores.....	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Redução de fator CII	18
Tabela 2: Panorama da Performance dos portos de Portugal.....	48
Tabela 3: Compreensão sobre o papel do CII	49
Tabela 4: Potencial do CII na promoção da eficiência energética	50
Tabela 5: Adoção de medidas de incentivo à Eficiência Energética.....	50
Tabela 6: Principais desafios de implementação.....	51
Tabela 7: Medidas já implementadas para os navios	51
Tabela 8: Parcerias ou programas com stakeholders	52
Tabela 9: Impacto nas operações	52
Tabela 10: Medidas de mitigação das operações	53
Tabela 11: Incentivo económico	53
Tabela 12: Adaptações aos regulamentos	53
Tabela 13: Planos futuros.....	54
Tabela 14: Maiores desafios futuros	54
Tabela 15: Perspetivas futuras.....	55

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: IMO - Principais Regulamentações	11
Quadro 2: Termos de pesquisa e cadeias de caracteres.....	27
Quadro 3: Critérios de inclusão e exclusão.....	28
Quadro 4: Análise PESTEL/ SWOT da Influência do CII nos Portos.....	40
Quadro 5: Principais Desafios para os Portos na Implementação do CII	45
Quadro 6: Principais Oportunidades para os Portos na Implementação do CII.....	46
Quadro 7: Temas e códigos.....	49
Quadro 8: Estratégias para adoção do CII com base no fator político	58
Quadro 9: Estratégias para adoção do CII com base no fator económico.....	58
Quadro 10: Estratégias para adoção do CII com base no fator social.....	59
Quadro 11: Estratégias para adoção do CII com base no fator tecnológico	59
Quadro 12: Estratégias para adoção do CII com base no fator ecológico.....	60
Quadro 13: Estratégias para adoção do CII com base no fator legal	60

LISTA DE ABREVIATURAS

<i>CII</i>	<i>Carbon Intensity Indicator</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
DCS	<i>Data Collection System</i>
DWT	<i>Deadweight Tonnage</i>
EEDI	<i>Energy Efficiency Projects Index</i>
EEXI	<i>Energy Efficiency Existing Ship Index</i>
EPL	Limite de Potência de Eficiência
FEDER	Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GNL	Gás Natural Liquefeito
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
MARPOL	<i>International Convention for the Prevention of Pollution from Ships</i>
MEPC	<i>Marine Environment Protection Committee</i>
MRV	<i>Monitoring, reporting and verification regime</i>
OPS	<i>Onshore Power Supply</i>
PRR	Programa de Recuperação e Resiliência
SEEMP	<i>Ship Energy Efficiency Management Plan</i>
TAB	Arqueação Bruta

INTRODUÇÃO

O capítulo contextualiza a dissertação sobre a implementação do Indicador de Intensidade Carbônica (CII) no transporte marítimo, destacando os seus objetivos, relevância e justificção, com ênfase nas implicações para a sustentabilidade e eficiência operacional dos portos.

Contextualização do Tema

O *Carbon Intensity Indicator* (CII) é uma métrica recentemente introduzida pela Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization* - IMO) para quantificar e controlar as emissões de carbono das embarcações marítimas. Este indicador visa facilitar a descarbonização do setor marítimo (IMO, 2023a) refletindo a crescente urgência em mitigar os impactos ambientais do transporte marítimo.

A introdução do CII faz parte de um conjunto de mecanismos que a IMO criou para rastrear o progresso das embarcações internacionais em direção às metas de redução de emissões no transporte marítimo. Este esforço torna-se ainda mais relevante, considerando que o setor marítimo representa um papel essencial no comércio global, movimentando cerca de 90% das mercadorias internacionais (Rauca & Batrinca, 2023a) e dados indicam que as emissões de CO₂ provenientes de toda a indústria naval aumentaram de 977 milhões de toneladas em 2012 para 1.076 milhões de toneladas em 2018, refletindo um aumento de 9,6% nas operações do setor (IMO, 2020) . Na Europa, por exemplo, o transporte marítimo emitiu 144 milhões de toneladas de CO₂ em 2019 (Klopott *et al.*, 2023). À medida que a procura por transporte aumenta, as emissões também tendem a crescer, o que ressalta a necessidade urgente de soluções para descarbonizar o setor (Kim & Eom, 2023)

Reconhecendo essa necessidade, a IMO tem implementado diversas iniciativas desde a década de 1970 para mitigar o impacto ambiental do transporte marítimo. Um marco importante foi a adoção do Anexo VI da Convenção MARPOL em 2011, que introduziu regulamentações obrigatórias de eficiência energética, como o *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) e o *Ship Energy Efficiency Management Plan* (SEEMP)(IMO, 2023b). Essas iniciativas pavimentaram o caminho para a criação de novos instrumentos de monitorização, como o CII, implementado em 2023, que procura controlar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no transporte marítimo.

A partir de 2021, o CII e o *Energy Efficiency Existing Ship Index* (EEXI) foram incorporados ao Anexo VI da MARPOL, tornando obrigatória a comunicação do volume anual de intensidade de carbono emitido por cada navio, que receberá sua classificação de acordo com o CII. Segundo Rauca & Batrinca (2023b) foi a primeira vez que um sistema formal de classificação é estabelecido para os navios, sinalizando a importância da redução das emissões de GEE no setor.

Nesse contexto, o CII quantifica a intensidade de carbono das embarcações ao avaliar as emissões de CO₂ em relação ao volume de carga movimentada e à distância percorrida (Psaraftis & Zis, 2021; Rauca & Batrinca, 2023c). Com essa classificação, a IMO pretende incentivar a redução de emissões e alinhar o setor às metas de descarbonização, que preveem uma redução de 40% nas emissões até 2030 e 50% até 2050, em comparação aos níveis de 2008 (IMO, 2023c; Sou *et al.*, 2022a)

No entanto, o impacto do CII não se limita às operações dos navios. À medida que os navios ajustam as suas velocidades e rotas para cumprir os requisitos do índice, esses novos padrões operacionais podem afetar diretamente a eficiência e a infraestrutura portuária. Estudos indicam que cerca de 40% das encomendas de novas embarcações já incluem navios que operam com múltiplos combustíveis, exigindo mudanças significativas nas infraestruturas dos portos, que agora precisam oferecer soluções de abastecimento de energia com baixas emissões (Unctad, 2022a). Além disso, os portos estão sendo reposicionados como "plataformas energéticas", em vez de meros *hubs* de transbordo, ampliando seu papel na transição para um setor marítimo de baixo carbono (Klopott *et al.*, 2023).

Embora avanços tenham sido alcançados neste campo, um desafio notável destacado por Kim & Eom (2023b) diz respeito à execução e eficácia dessas estratégias. É pertinente observar que apenas um quarto da frota, conforme indicado pelos dados da EU-MRV do período de 2021 a 2030, aderirá ao regulamento CII, deixando assim uma quantidade substancial de 75% não compatível. No entanto, para Kim *et al.* (2023a) um grande desafio é a necessidade urgente de adaptações e investimentos em infraestrutura portuária.

Além disso, a iniciativa de aumentar a eficiência energética dos navios estabelece um elevado padrão de certificação e uniformidade na frota marítima global, oferecendo uma forma quantificável de acompanhar e monitorizar os efeitos ambientais das atividades marítimas. Assim, os *stakeholders* do setor marítimo estão a direcionar a sua atenção para as classificações do CII, transformando-o em um instrumento regulatório significativo que pode impactar as operações marítimas e o setor portuário (Kim & Eom, 2023c).

Apesar das investigações existentes sobre a implementação do CII nas operações marítimas, a literatura ainda é limitada no que tange à sua influência e aos fatores relacionados às operações portuárias. Não foram encontrados estudos dedicados à compreensão do alcance do CII especificamente nos portos, uma lacuna que consideramos essencial para o avanço teórico e empírico sobre essa regulamentação emergent.

A literatura existente, sobre o CII na indústria marítima, direciona seus estudos, maioritariamente, nos aspectos técnicos e operacionais da descarbonização como o desenvolvimento de combustíveis e tecnologias alternativas (Halim *et al.*, 2018) e a otimização de rotas e velocidades (Bayraktar & Yuksel, 2023a; Yuan *et al.*, 2023a; Bayraktar & Yuksel, 2023). No entanto, é evidente que os portos têm um papel fundamental na transição para a descarbonização do setor (Alamouh *et al.*, 2022) reforçando que as implicações mais amplas do CII sobre a infraestrutura e as atividades portuárias ainda não foram amplamente exploradas (Mallouppas & Yfantis, 2021).

Assim, a lacuna de pesquisa reside na compreensão de como a implementação do CII influenciará as operações e as infraestruturas portuárias à medida que os navios se esforçam para reduzir sua intensidade de carbono, é provável que alterem seus padrões operacionais (Mallouppas & Yfantis, 2021).

Objetivos e Justificação da Pesquisa

Os objetivos desta pesquisa foram elaborados visando analisar a influência do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nas operações portuárias e identificar os desafios e oportunidades decorrentes da implementação de práticas operacionais de eficiência energética no setor. Este estudo justifica-se pela necessidade de compreender como o CII está a modificar as práticas operacionais no transporte marítimo e os desdobramentos do efeito desta regulamentação para os portos, considerando que as novas exigências de redução de emissões de gases de efeito de estufa estão a transformar rapidamente o setor.

Um dos pontos cruciais é a análise dos fatores aumentam a adaptação dos portos para uma transição energética de suas operações e infraestrutura de forma resiliente e competitiva. Nesse contexto, alguns estudiosos, como Sou *et al.* (2022) sugerem que medidas imediatas de curto prazo devem ser acompanhadas de ações mais duradouras e estruturais, como por exemplo o foco na descarbonização do cabaz energético, e não apenas na redução do consumo de energia das operações. A adoção de estratégias multidimensionais para reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa é vital, uma vez que nenhuma métrica

única será suficiente para alcançar as metas de descarbonização estabelecidas para o setor (Klopott *et al.*, 2023).

Autores destacam que as medidas políticas propostas pela Organização Marítima Internacional (IMO) se concentram principalmente na melhoria da eficiência técnica dos navios, com menor ênfase na eficiência operacional (Sou *et al.*, 2022). No entanto, nenhuma dessas abordagens isoladamente será suficiente para a redução significativa das emissões.

Apesar do progresso alcançado na execução do Indicador de Intensidade de Carbono (CII), a compreensão de como esse marco regulatório influencia as escolhas estratégicas e operacionais dos armadores e operadores portuários permanece limitada em virtude da recente aplicação do Índice. Além disso, existe uma lacuna significativa na literatura acadêmica sobre a relação entre o CII e a necessidade de modificações operacionais para os operadores portuários, embora já exista sinalizado pelas diretrizes da IMO propostas a serem desenvolvidas nos portos.

No geral, as iniciativas da IMO visam a descarbonização das operações decorrentes do setor marítimo, à nível internacional, e os reflexos delas já abrangem não apenas embarcações, sobretudo de maneira indireta aos portos, ao sugerir a necessidade de investimentos para avanço na infraestrutura portuária para fornecimento de energia renovável para usos marítimos e costeiro, fontes de combustível de baixo carbono e emissão zero, além do aperfeiçoamento da eficiência operacional e logística nos sistemas portuários (IMO, 2018).

Perante este cenário, a pesquisa organiza-se em torno da seguinte pergunta de partida:

Como o *Carbon Intensity Indicator* (CII) tem impactado as práticas de eficiência energética e descarbonização nas operações portuárias e marítimas, e quais os principais desafios e oportunidades para os portos portugueses na adaptação de suas práticas operacionais e infraestruturas?

Nesse contexto, este estudo busca oferecer uma visão mais abrangente sobre as adaptações necessárias, tanto em termos de compliance com o CII quanto na adoção de práticas inovadoras que apoiem a redução das emissões de carbono. Assim, a pesquisa visa contribuir com soluções práticas para os portos, oferecendo insights sobre como enfrentar os desafios impostos pelo CII e, ao mesmo tempo, explorar oportunidades para otimizar suas operações e reduzir as emissões do setor de forma estratégica e eficiente.

Dessa forma, não apenas avaliar o impacto do CII no setor, mas também compreender como ele se insere no contexto mais amplo de transição para uma operação portuária mais sustentável dos portos portugueses e a nível mundial.

Objetivo Geral: Analisar a influência do Índice de Intensidade de Carbono (CII) nas operações portuárias, identificando os desafios e oportunidades para a adaptação das infraestruturas e práticas operacionais dos portos.

Objetivos Específicos

1. Identificar os principais fatores, externos e internos, que influenciam na adaptação dos Portos ao CII.
2. Identificar os desafios e as oportunidades dos portos portugueses na adoção do CII para a transição energética de suas operações.
3. Propor estratégias para otimizar a adaptação dos portos aos critérios do CII, com foco na eficiência energética, redução de emissões e competitividade no setor marítimo.

1. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, será apresentado o referencial teórico com base na literatura existente, abordando os principais conceitos e teorias que fundamentam o estudo. A revisão da literatura foi conduzida de acordo com os parâmetros metodológicos aplicados na base de dados selecionada, com o objetivo de oferecer uma compreensão aprofundada do contexto de implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII), além disso, será destacado as implicações operacionais e o impacto nas práticas de sustentabilidade e eficiência energética do setor portuário.

1.1. Descarbonização no Transporte Marítimo

As consequências das mudanças climáticas estão cada vez mais presentes em todo o mundo e, embora a maioria reconheça o problema, muitos ainda não compreendem a verdadeira dimensão das transformações climáticas. Estudos Europeus apontaram que, em 2020, a temperatura global foi a mais alta já registada desde o último século e o mundo que vivemos está 1,1° C mais quente, em comparação ao período pré-industrial (Rauca & Batrinca, 2023d; UNEP, 2019a).

O facto é que, embora exista aumento de estudos voltados para a recuperação da qualidade do clima, as emissões de GEE continuam a aumentar, a uma taxa de 1,5% ao ano na última década, atingindo um recorde de 55.3 GtCO₂ por ano (UNEP, 2019a), o que levou o Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC) a estabelecer que, até 2030, as emissões teriam de ser 25% e 55% inferiores às de 2018 e limitar o aquecimento global a menos de 2°C e 1,5°C, respetivamente (Mallouppas & Yfantis, 2021; UNEP, 2019b).

Estratégias e ações para reversão desse cenário precisam ser implementadas o quanto antes e a urgência dar-se pela probabilidade de fenómenos meteorológicos extremos que podem ir além dos riscos climáticos, portanto, “todos os stakeholders — incluindo órgãos governamentais, organizações de vários níveis, corporações, sociedade civil e cidadãos individuais” (UNEP, 2019b), devem estar preparados e em busca de estratégias que procurem o controlo do aumento da temperatura global enquanto essa intervenção ainda é viável.

Nesse contexto, à medida que as apreensões em relação às alterações climáticas ganham visibilidade crescente, órgãos de regulamentação e diversos setores do mercado têm procurado medidas destinadas a aliviar os impactos no clima, até mesmo colocando em prática estratégias, em algumas áreas, visando emissões líquidas zero (Sou *et al.*, 2022b).

Uma área importante do mercado que tem surgido como principal objeto de diálogo entre atores políticos(Wang *et al.*, 2021) e tornou-se prioridade para elaboração de estratégias e metodologias eficazes para o avanço da descarbonização é a indústria marítima, uma vez que o setor de transporte marítimo internacional contribuiu significativamente para as emissões globais de gases com efeito de estufa (GEE).

De acordo com estudos sobre o setor, a quantidade de CO₂ emitidos nas operações da indústria marítima aumentaram de 2,76% em 2012 para 2,89% em 2018(Dewan & Godina, 2023a; IMO, 2020). Já entre 2020 e 2021, segundo o relatório das Nações Unidas (Unctad, 2022) as emissões totais da frota mundial atingiram a marca de 4,7%, com a maioria dos aumentos provenientes de navios porta-contentores, graneis sólidos e navios de carga geral(Unctad, 2022; Yuan *et al.*, 2023a).

Para além desses resultados, o comércio global de mercadorias é predominantemente realizado por embarcações marítimas, e prevê-se o aumento no volume de operações de transporte via marítima (Mallouppas & Yfantis, 2021; Rehmatulla *et al.*, 2017). A nível da EU (União Europeia), com base nos dados recolhidos desde 2018 ao abrigo do *monitoring, reporting and verification* regime (MRV), o transporte marítimo é também um emissor significativo de CO₂, que representou entre 3% e 4% das emissões totais de CO₂ da EU(Comissão Europeia, 2021; Klopott *et al.*, 2023).

Para Sou *et al.*, (2022c) existem quatro fatores que potenciam as emissões de gases no transporte marítimo internacional, são eles: 1) o comércio marítimo, 2) a intensidade energética, 3) a intensidade carbónica do combustível utilizado e 4) utilização da capacidade dos navios.

Com base nesses fatores, embora a indústria marítima seja área fundamental para facilitar o comércio global e promover o avanço económico, simultaneamente, tem contribuído substancialmente para as emissões de gases com efeito de estufa através de suas operações de transporte, recaindo sobre o sector uma pressão crescente para implantar medidas de mitigação da poluição, face ao seu impacto ambiental e fazer a transição para um futuro mais sustentável (Mallouppas & Yfantis, 2021).

Para resolver esta questão, a Organização Marítima Internacional, que é a agência especializada das Nações Unidas responsável por um transporte marítimo seguro, eficiente e pela prevenção da poluição causada por navios(IMO, 2018), implementou regulamentos para reduzir as emissões de gases CO₂ do sector marítimo.

Em 2011, por meio da MEPC.203(62), a IMO adotou o primeiro conjunto de regulamentos internacionais obrigatórios, tais como estabeleceu normas de emissão de CO₂ com a criação do Índice de Eficiência Energética na Conceção (EEDI) para os navios recém-

construídos e a obrigatoriedade do plano de gestão da eficiência energética dos navios (SEEMP) em todos os navios, destinados a reforçar a eficiência energética das embarcações marítimas, através da inclusão ao abrigo do anexo IV da convenção de MARPOL((IMO, 2023b).

Entretanto, com o aumento das pressões de combate ao clima e o aumento na quantidade de emissão de gases poluentes na industria maritima, o órgão empreendeu outras medidas adicionais de reforço, que englobam quadros regulatórios suplementares, entre eles, a adoção da Estratégia Inicial de GEE, em 2018 e, em 2023, a Estratégia de Redução das Emissões de GEE dos Navios (IMO, 2023b).

Todavia, foi através da estratégia inicial da IMO para navios, adotada em 2018, que se iniciou o verdadeiro empenho e pressão para elaboração e monitorização de metas, onde, através MEPC.304(72), estabeleceu objectivos muito ambiciosos para o transporte marítimo internacional, nomeadamente (IMO, 2018):

- Estabeleceu previsão de reduzir as emissões carbónicas das operações do transporte marítimo, em pelo menos 40% até 2030, em relação a 2008;
- A redução das emissões anuais totais de GEE do transporte marítimo internacional em pelo menos 50% até 2050, em relação a 2008;
- Aumentar essa redução para 70% até 2050;
- Atingir emissões zero de gases com efeito de estufa o mais rapidamente possível durante este século, ou seja, até 2100.

De acordo com a IMO (2018) esta estratégia inicial fez parte da primeira etapa do plano de elaboração de estratégias voltadas para a redução das emissões de gases com efeito de estufa pelos navios (o roteiro) e revisão programada para 2023.

Em 2023, os Estados-membros da Organização Marítima Internacional (IMO) adotaram a Estratégia de 2023 revista pelo Comité de Protecção do Ambiente Marinho (MEPC 80), com níveis de ambição para a redução das emissões de gases com efeito de estufa dos navios, dentre eles (IMO, 2023c):

1. Diminuição da intensidade de carbono do navio através de uma melhoria da eficiência energética dos navios novos;
2. Intensidade de carbono do transporte marítimo internacional deve diminuir as emissões de CO₂ por trabalho de transporte, em pelo menos 40 % até 2030, em comparação com 2008;
3. Utilização de tecnologias, combustíveis e/ou fontes de energia com emissões nulas ou quase nulas de gases com efeito de estufa, para representar, pelo menos,

5%, procurando 10% da energia utilizada pelo transporte marítimo internacional até 2030;

4. Emissões de GEE do transporte marítimo internacional para atingir zero líquido.

Para além, a estratégia estabeleceu objetivos de alcançar zero emissões líquidas de GEE do transporte marítimo internacional até 2050 e compromete-se a facilitar a implementação de combustíveis alternativos com emissões desprezíveis até 2030, entre eles: reduzir o total anual de emissões de GEE em pelo menos 20%, procurando 30%, até 2030, em comparação com 2008; e reduzir o total anual de emissões de GEE em, pelo menos, 70%, procurando 80%, até 2040, em comparação com 2008.

1.1.1 Regulamentações Marítimas para Descarbonização

O estabelecimento de normas relevantes de eficiência energética para navios e a futura redução das emissões de GEE foi o principal objetivo da IMO para a elaboração de medidas de mitigação no transporte marítimo internacional (Kim *et al.*, 2023).

A transição para uma indústria marítima descarbonizada exige uma abordagem holística, que combine avanços tecnológicos e melhorias nas práticas operacionais, bem como apoio político para implementar e fiscalizar as medidas regulatórias estabelecidas pelo setor. Como principal entidade reguladora, a IMO estruturou um quadro global de transformação que abrange uma série de medidas técnicas e operacionais voltadas à vigilância e mitigação das emissões de GEE, criando assim um novo capítulo na descarbonização das operações marítimas (Zhang *et al.*, 2024).

Entre as mais importantes medidas adotadas, estão o Energy Efficiency Design Index (EEDI) e o Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), que introduzem requisitos de eficiência energética para novos navios e navios em operação, respetivamente (IMO, 2011, 2021a). Essas medidas técnicas obrigam armadores a adotar tecnologias para melhorar o desempenho energético das embarcações, impactando diretamente no consumo de combustível e na emissão de CO₂.

Além das regulamentações técnicas, a IMO também introduziu medidas operacionais, como o Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) e o *Carbon Intensity Indicator* (CII), que visam monitorizar e gerir a eficiência energética das operações marítimas diárias (IMO, 2021d). O SEEMP, por exemplo, exige que todos os navios elaborem planos operacionais para otimizar o consumo de combustível, enquanto o CII mede a intensidade de carbono de cada embarcação, ou seja, a quantidade de CO₂ emitida por tonelada/milha

transportada. Segundo estudos recentes, essas medidas têm potencial para reduzir significativamente as emissões, desde que sejam implementadas corretamente (IMO, 2021d).

Outra regulamentação relevante é o Data Collection System (DCS), estabelecido em 2019, que obriga os navios a reportar dados de consumo de combustível e emissões de CO₂ para a IMO. Esses dados são cruciais para a monitorização contínua das emissões globais do setor e para o desenvolvimento de futuras políticas de redução de emissões (IMO, 2016a).

No contexto da União Europeia (UE), as regulamentações da IMO servem como base normativa, entretanto, UE adaptou e intensificou algumas diretrizes para refletir aos seus próprios objetivos climáticos, relativamente com exigências mais rigorosas, segundo apontam os estudos, em virtude da insatisfação da UE com o progresso da IMO.

Todavia, essa postura causou controvérsias no setor, entre alguns aspectos, no que respeita à imposição de medidas baseadas no mercado (Psaraftis & Zis, 2021) e vai contra as expectativas e metas de redução de CO₂, uma vez que um limite de velocidade sugerido na EU não reduz automaticamente a quantidade de CO₂ emitida à escala global (Cariou & Cheaitou, 2012).

Nesse cenário, a Comissão Europeia a integrar o transporte marítimo ao sistema de comércio de emissões da União Europeia (EU ETS), independentemente de qualquer possível progresso feito pela Organização Marítima Internacional (Klopott *et al.*, 2023), o que promoveu um debate significativo nos círculos da indústria marítima, particularmente entre os proprietários de navios.

O Bloco Europeu, em 2021, adotou a Lei Europeia do Clima, que estabelece o objetivo de reduzir as emissões de GEE em 55% até 2030 e criou um pacote legislativo "Fit for 55" com a elaboração de propostas específicas para o transporte marítimo, como a expansão do EU ETS para o setor e desenvolvimento de infraestruturas de combustíveis alternativos, reforçando os esforços da UE para descarbonizar o transporte marítimo (Klopott *et al.*, 2023).

No contexto das normas internacionais, apresenta-se no Quadro 1 as principais regulamentações desenvolvidas diretamente pela IMO para a promoção da descarbonização, através da eficiência dos navios.

Quadro 1: IMO - Principais Regulamentações

Regulamentação (Indicador)	Definição	Medida	Ano	Aplicabilidade	Regulamentação
EEDI (Energy Efficiency Design Index) (IMO, 2018)	Índice de eficiência energética para novos navios	Técnica	2011	Navios novos	MARPOL Anexo VI MEPC.203(62)
SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) (IMO, 2016b)	Plano de gestão da eficiência energética das embarcações	Operacional	2013	Todos os navios	MARPOL Anexo VI MEPC.203(62) MEPC.282 (70) MEPC.328 (76)
DCS (Data Collection System) (IMO, 2017)	Sistema de recolha de dados sobre consumo de combustível	Técnica/ Operacional	2016	Todos os navios	MARPOL Anexo VI, MEPC.278(70)
EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) (IMO, 2021b)	Índice de eficiência para navios existentes	Técnica	2021	Navios em operação	MARPOL Anexo VI, MEPC.328(76) MEPC.334(76)
CII (Carbon Intensity Indicator) (IMO, 2021h)	Indicador de intensidade de carbono	Operacional	2023	Todos os navios	MARPOL Anexo VI MEPC.328(76)

1.1.1.1 EEDI – Energy Efficiency Design Index

O *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) é uma regulamentação técnica estabelecida pela IMO e foi introduzido pela resolução MEPC.203(62) durante a 62^a sessão do Comité de Proteção do Meio Ambiente Marinho (MEPC) em 2011(IMO, 2022). Esta regulamentação estabelece um padrão mínimo de eficiência energética para novos navios, exigindo que embarcações construídas após 1 de janeiro de 2013 considerem um índice de eficiência que correlaciona o consumo de combustível, capacidade de transporte e a distância percorrida(IMO, 2022a).

Os autores Sou *et al.* (2022b) consideram que o EEDI mede a eficiência energética técnica (de projeto) dos navios e a sua implementação é vista como um marco para a melhoria da eficiência energética no transporte marítimo, uma vez que foi adotado como uma base comparativa e para promoção de inovações relacionadas com a eficiência energética dos navios de mar (Bayraktar & Yuksel, 2023b).

Para Sou *et al.* (2022b), o Índice de Design de Eficiência Energética (EEDI) serve como um instrumento para aumentar a eficiência técnica durante a fase de projeto; no entanto, pode não representar com precisão avanços genuínos na eficiência energética enquanto as embarcações estão em operação ativa. De acordo com Rehmatulla *et al.*(2017) essa regulamentação aumentará o rigor de eficiencia de cinco em cinco anos até 2030. O EEDI é

aplicável a todos os tipos de embarcações de grande porte, incluindo graneleiros, petroleiros e porta-contentores, o que garante uma ampla abrangência da política(Lee, 2024a).

1.1.1.2 SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan

O *Ship Energy Efficiency Management Plan* (SEEMP) é uma regulamentação implementada pela IMO com o objetivo de melhorar a eficiência energética das operações marítimas, complementando o EEDI. Implementado como parte das emendas ao Anexo VI da Convenção MARPOL tornou-se obrigatório e deve ser aplicado a bordo a partir de 1 de janeiro de 2023.

Este regulamento visa promover a gestão contínua e eficaz do consumo de combustível a bordo de navios, procurando reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e melhorar o desempenho energético das embarcações em operação(IMO, 2016b). Para Yeremenko (2022), o SEEMP destina-se a aumentar a eficiência energética das embarcações através de métodos economicamente viáveis, estabelecendo simultaneamente quadros para a execução de atividades de transporte marítimo.

Em contraste com o EEDI, que enfatiza os parâmetros de eficiência de projeto de embarcações recém-construídas, o SEEMP representa uma diretiva operacional que obriga todas as embarcações marítimas, independentemente do seu ano de construção, a implementar uma estratégia de gestão de energia que melhore a utilização de combustível ao longo de suas atividades operacionais, aumentando assim a sua eficiência operacional geral(Yeremenko, 2022).

Para os autores Rauca & Batrinca (2023e) o sucesso da adoção do SEEMP III reside na exatidão dos dados operacionais dos navios, nos objectivos de desempenho alinhados, nos procedimentos de avaliação e melhoria e na estratégia de medidas corretivas. Adicionalmente, as regras SEEMP são as primeiras normas globais de eficiência energética universalmente vinculativas para todo o sector marítimo internacional(Yeremenko, 2022).

Mallouppas & Yfantis (2021) destacam que as melhorias oferecidas pelo SEEMP são a otimização da velocidade do navio, o aumento da frequência de limpeza do casco ou da hélice, ou mesmo a escolha de diferentes rotas para chegar a um destino (o que inclui evitar condições meteorológicas adversas), e que através da sua implementação, o sector marítimo é hoje 5% a 20% mais ecológico do que era antes da sua adoção Yeremenko (2022).

Nesse contexto, alguns especialistas apontam desafios na aplicação uniforme do SEEMP, em virtude do aumento do volume de operações, da carga de trabalho, do aumento das

inspeções por parte das entidades reguladoras, entre outros desafios enfrentados pelos operadores marítimos, incorreu-se no aumento das dificuldades técnicas na execução do SEEMP a bordo dos navios(Dewan & Godina, 2023).

1.1.1.3 DCS – Data Collection System

O Sistema de Recolha de Dados (DCS) foi implementado pela OMI para regular a redução das emissões de gases com efeito de estufa no setor marítimo, com a sua regulamentação a entrar em vigor em outubro de 2016, após adoção pelo MEPC 70 e alteração ao Anexo VI da Convenção MARPOL.

Esse sistema consiste na obrigatoriedade de que os navios registem e comuniquem o seu consumo de fuelóleo, com vista a fundamentar outras medidas da OMI para reduzir as emissões de GEE dos navios(IMO, 2016a). O principal objetivo do DCS é criar uma base de dados global e padronizada sobre o consumo de combustível pelos navios, contribuindo para uma monitorização precisa das emissões de CO₂ no setor marítimo. Adicionalmente, de acordo com os termos deste regulamento, os dados devem ser anónimos, de modo que não seja possível identificar um navio específico(IMO, 2017).

De maneira geral, o DCS é fundamental para o desenvolvimento de uma base regulatória sólida para a descarbonização do setor marítimo, fornecendo dados fiáveis sobre as emissões de CO₂ dos navios, que apoiam a implementação de medidas baseadas em evidências e o cumprimento das metas globais de redução de emissões até 2050.

1.1.1.4 EEXI – Energy Efficiency Existing Ship Index

O *Energy Efficiency Existing Ship Index* (EEXI) é um regulamento que foi elaborado com o objetivo de melhorar a eficiência energética de navios existentes. Na reunião do Comité de Proteção do Ambiente Marinho (MEPC 76), em junho de 2021, a IMO adoptou alterações aos regulamentos e inclui este novo regulamento ao Anexo VI da MARPOL, entretanto, somente em 2023 é que o regulamento entrou em vigor, juntamente com CII(IMO, 2021b, 2023c).

Este regulamento complementa o EEDI, uma vez que se aplica a novos navios, enquanto o EEXI se concentra em embarcações que já estão em operação e indica as emissões de CO₂ (em gramas) de cada embarcação de até 400GT por cada tonelada de carga transportada por uma milha náutica (ClassNK, 2021).

O EEXI estabelece um índice de eficiência energética que avalia a quantidade de CO₂ emitido por tonelada de carga transportada em uma milha náutica (IMO, 2021b). Para (Bayraktar & Yuksel, 2023b), o EEXI mede o sucesso da eficiência energética de um navio em relação a um ponto de base e o seu principal objetivo é reduzir as emissões de CO₂ por transporte efetuado pelos navios existentes e o EEXI, como um dos indicadores técnicos, não está relacionado com a operação dos navios (Zhang *et al.*, 2024).

A análise do índice é composta por dois valores, o EEXI exigido e o EEXI atingido. Para estar em conformidade, o EEXI atingido deve ser inferior ao EEXI exigido (Wiliyan *et al.*, 2023).

Em cumprimento ao EEXI, os operadores marítimos devem avaliar o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono das suas embarcações em alinhamento com os critérios estabelecidos pela IMO para obter a certificação do navio. De acordo com Zhang *et al.* (2024) uma parte considerável da frota marítima é impactada por este regulamento devido às velocidades operacionais das embarcações, uma vez que a adesão à norma EEXI pode exigir que os operadores mitiguem as emissões dos seus navios.

A metodologia de certificação do EEXI implica que cada navio deve possuir ou emitir um ficheiro técnico, e este dossier técnico contempla dados do navio, dados obtidos e cálculo do EEXI exigido, para análise de sensibilidade e pela verificação da conformidade (Wiliyan *et al.*, 2023).

1.1.1.5 CII – Carbon Intensity Indicator

O *Carbon Intensity Indicator* (CII) é uma das mais recentes regulamentações criadas pela IMO para promover a descarbonização do setor marítimo. Implementado em janeiro de 2023, o CII avalia e classifica os navios com base na quantidade de dióxido de carbono (CO₂) emitido por unidade de trabalho, ou seja, por tonelada de carga transportada por milha.

O objetivo deste indicador é monitorizar e melhorar continuamente a eficiência energética das embarcações, incentivando a redução das emissões de carbono e alinhando o transporte marítimo com as metas globais de redução de gases de efeito estufa.

A regulamentação do CII foi aprovada durante a 76^a sessão do Comité de Proteção do Meio Ambiente Marinho através da resolução MEPC.328(76). Nesse contexto, foram estabelecidos fatores de redução da intensidade de carbono e a obrigatoriedade da aplicação da classificação em navios com mais de 5.000 toneladas de arqueação bruta (TAB) que realizam viagens internacionais.

De acordo com Rauca & Batrinca (2023f), o indicador de intensidade de carbono (CII) faz parte da Parte III do SEEMP, e destina-se a ajudar as companhias marítimas a alcançar e melhorar seu desempenho e eficiência energética, sendo considerada uma medida eficaz a curto prazo para reduzir as emissões de carbono e a intensidade de carbono do setor de transporte marítimo(Sun *et al.*, 2023).

Por outro lado, a introdução do CII é amplamente vista como uma oportunidade para incentivar inovações tecnológicas e operacionais. Contudo, atualmente não há imposição da implementação de tecnologias específicas para cumprir os requisitos do CII.

Nesse contexto, o *Carbon Intensity Indicator* constitui um marco nas regulamentações de descarbonização do transporte marítimo, introduzindo uma abordagem quantitativa para monitorizar e reduzir as emissões de carbono, embora inicialmente se concentre nas emissões dos navios. Apesar de sua aplicabilidade ser recente, o setor marítimo já reconhece seus impactos na promoção de práticas mais eficientes e sustentáveis. Esta regulamentação será explorada ao longo deste trabalho, com o objetivo de aprofundar a discussão sobre sua influência nas operações portuárias.

2.2. Índice de Intensidade de Carbono (CII)

A Organização Marítima Internacional (IMO) começou a investigar a inclusão do Índice de Intensidade de Carbono (CII) em 2021, no âmbito das suas iniciativas para reduzir as emissões de carbono nas operações marítimas. O CII, em funcionamento desde 2023, foi criado para monitorizar e reduzir as emissões de carbono das embarcações, sendo um dos principais instrumentos no combate às alterações climáticas no setor marítimo.

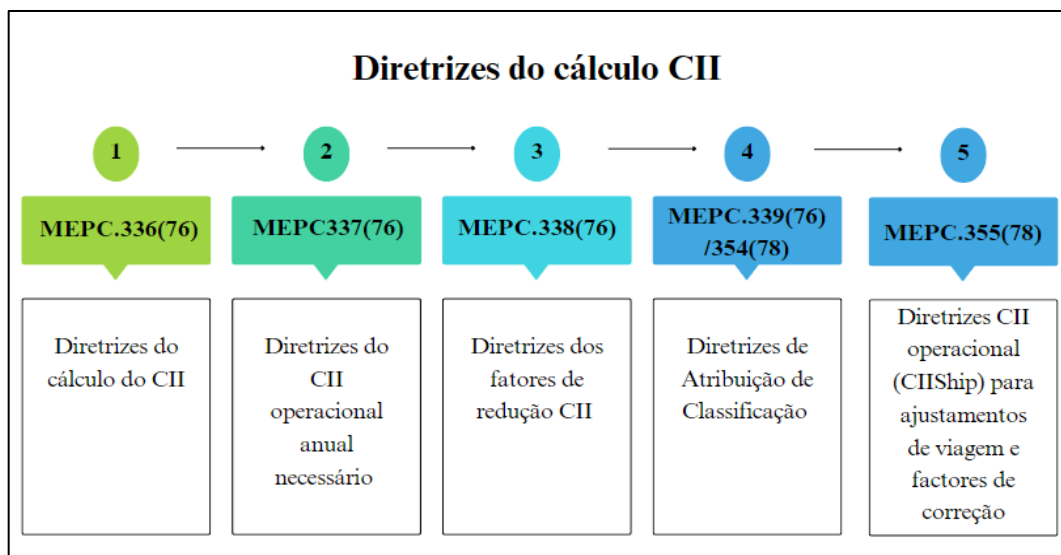
2.2.1 Conceito e Diretrizes do Índice de Intensidade de Carbono

Conceptualmente, o CII quantifica a intensidade de carbono associada às operações de cada embarcação, correlacionando a massa de dióxido de carbono (CO₂) emitida com a distância percorrida em milhas náuticas(IMO, 2018).

Além disso, o CII constitui um elemento fundamental do Plano de Gestão de Eficiência Energética de Navios (SEEMP) Parte III, que se tornou obrigatório para implementação a bordo dos navios a partir de 1 de janeiro de 2023. O SEEMP Parte III apresenta uma estrutura estratégica para as embarcações executarem e avaliarem iniciativas de eficiência energética, de acordo com os protocolos internacionais de sustentabilidade (Rauca & Batrinca, 2023g).

A IMO determina que as embarcações exibam melhorias anuais na intensidade de carbono, estimulando assim os avanços tecnológicos e a otimização das vias marítimas. Os padrões associados ao CII passaram por revisões desde sua criação em 2023, com o objetivo de refinar a execução dos cálculos e garantir uma integração efetiva no setor marítimo. A Figura 1 apresenta as diretrizes adotadas desde a implementação do indicador.

Figura 1: Diretrizes do cálculo CII



As modificações, que são incorporadas aos marcos regulatórios, foram executadas com base no *feedback* da indústria e são projetadas para garantir o alcance das metas de redução de emissões sem prejudicar a competitividade das operações marítimas (Sou *et al.*, 2022a), além de incentivar a práticas sustentáveis num setor tradicionalmente responsável por grandes emissões globais de CO₂ (Mallouppas & Yfantis, 2021).

2.2.2 Procedimentos para cálculo de conformidade do CII

Os critérios de cálculo do CII foram totalmente disponibilizados em 2023, juntamente com a sua implementação, onde a estrutura de padrão para o cálculo do Indicador de Intensidade de Carbono de cada embarcação é construído com base na proporção da massa total de dióxido de carbono CO₂ (M) liberada por trabalho total de transporte (W) realizado ao longo de um ano civil especificado(IMO, 2022b).

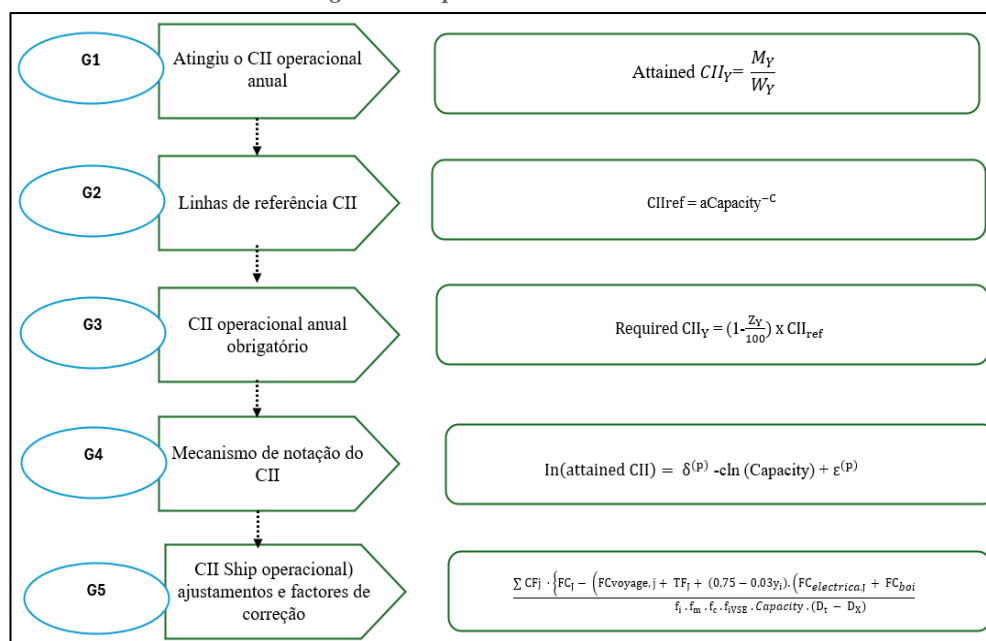
A fórmula que define o CII também incorpora o trabalho em trânsito (W), que é obtido multiplicando a capacidade da embarcação (C), medida em termos de porte bruto ou arqueação

bruta, pela distância percorrida (D) (Psaraftis & Zis, 2021). A capacidade de carga da embarcação depende do tipo de navio, conforme definido pela IMO.

O relatório de orientação no MEPC.353 (78) utilizou dados de intensidade de carbono de 2019 como referência devido à escassez de dados em 2008(IMO, 2022c).

O CII operacional anual representa o resultado obtido por uma embarcação nas suas operações, onde os níveis de intensidade de carbono são determinados comparando os valores resultantes com os padrões CII obrigatórios. A figura 2 apresenta as principais expressões matemáticas relacionadas com as orientações da IMO para o cálculo do CII:

Figura 2: Etapas de cálculos do CII



Fonte: G1 (IMO, 2021c); G2 (IMO, 2021d); G3 (IMO, 2021f); G4 (IMO, 2021h); G5(IMO, 2022d).

É importante destacar que, em relação ao fator de redução Z% será imputado ao cálculo anualmente (G4), iniciou a 5% em 2023, com aumento anual definido de 2% ao ano(ClassNK, 2023), contudo, o percentual a partir de 2027-2023 serão estabelecidos na próxima revisão do indicador prevista para 2026.O CII para cada ano subsequente é reduzido em Z% em relação à linha de base de 2019, de acordo com a tabela 1.

O resultado do CII operacional anual obtido, representará eficácia operacional da embarcação comparado a um valor de referência pré-estabelecido.

Tabela 1: Redução de fator CII

Ano	Fator de redução em relação a 2019
2023	5%
2024	7%
2025	9%
2026	10%
2027-2030	Previsto 2026.

Fonte: (IMO, 2021g)

Dentro da escala de classificação, o desempenho da embarcação é classificado como “A” (limite superior), “B” (moderado superior), “C” (moderado), “D” (moderado inferior) ou “E” (limite inferior). As classificações “A”, “B” ou “C” são necessárias para conformidade; embarcações que recebem um “D” por três anos ou um “E” por um ano devem implementar medidas corretivas. A representação das classificações de conformidade do CII é ilustrada na Figura 3.

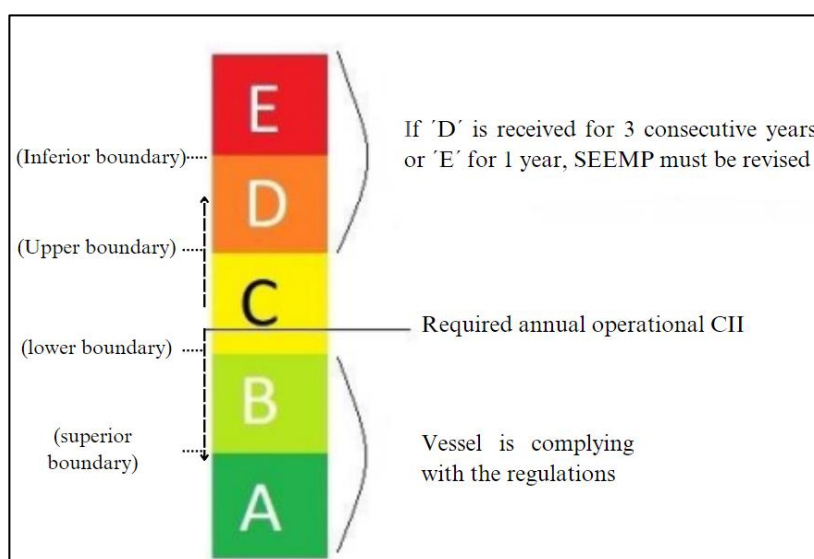


Figura 3: Sistema de classificação do CII

Adaptado de: Rauca & Batrinca (2023h)

A depender do resultado da classificação, a IMO recomenda às companhias marítimas que adotem atualizações e modernizações nos seus navios que apresentam uma classificação mais baixa. Em contrapartida, ao atribuir uma classificação ao navio com base no seu desempenho de carbono, o CII permite que as companhias marítimas ajustem suas operações

de maneira a reduzir o impacto ambiental, incentivando uma transição para práticas mais sustentáveis(IMO, 2023c; S.-W. Kim & Eom, 2023).

Cada navio recebe uma classificação anual de A a E, sendo que as classificações mais baixas (D e E) indicam a necessidade de medidas corretivas para alcançar a conformidade (IMO, 2021c; H. Kim *et al.*, 2023c; Yuan *et al.*, 2023c).

Além disso, uma classificação CII mais elevada indica um melhor desempenho ambiental do navio, especialmente no que diz respeito às emissões de carbono, mas resulta geralmente em custos operacionais mais elevados para os armadores(Zhang *et al.*, 2024). Nesse cenário os autores Kim *et al.* (2023) observaram que existe uma diferença média de 30% nos custos operacionais ao serem feitos os cálculos entre a eficiência do CII a depender do peso.

Outros estudos sobre a aplicação prática dos cálculos do CII apontam algumas divergências quanto ao propósito do indicador, onde destacam que o CII oferece tanto oportunidades quanto desafios (Zhang *et al.*, 2024) , uma vez que a fórmula de cálculo do CII pode não capturar adequadamente todas as variáveis operacionais, como rotas de navegação específicas e condições climáticas, isso pode resultar em uma avaliação imprecisa do desempenho real dos navios em termos de intensidade de carbono(Wang *et al.*, 2021).

Para Kim *et al.*(2023), a aplicação dos requisitos da IMO CII com base no DWT, ao invés do volume da carga transportada, resulta em imprecisões na estimativa da eficiência energética e destacam a necessidade do volume real da carga no cálculo, uma vez que com a utilização da tonelagem do peso morto (DWT), em vez da carga real transportada, leva a uma sobrestimação das emissões de CO₂ nas operações.

Já os autores Ghaforian Masodzadeh *et al.* (2024) afirmam que a fórmula CII é insuficiente devido à inexistência dos dados de velocidade de viagem e curso de lastro de alguns navios. Além disso, outro ponto destacado é a necessidade de avaliações precisas do consumo de combustível e das emissões de GEE, adaptadas ao tipo e tonelagem específicos de cada navio, em vez de depender de um padrão de consumo único para todos(Kim & Choi, 2023).

2.2.3 CII nas Operações Marítimas

A implementação do CII tem sido amplamente investigada como uma ferramenta crítica para a redução das emissões de CO₂ no setor marítimo. Vários estudos destacam que a regulamentação é um importante instrumento para medir e classificar a eficiência energética dos navios, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), conforme definido pela IMO.

De acordo com Ejder *et al.* (2024) as classificações do CII têm se mostrado eficazes para monitorizar o desempenho ambiental dos navios, promovendo a descarbonização do setor, no entanto, outros estudos sublinham desafios na sua implementação, apontando para mudanças e adaptações operacionais necessárias para que as embarcações consigam atingir classificações positivas (Wang *et al.*, 2021).

Entre os desafios operacionais, Tran *et al.* (2023) evidencia que o CII afeta diretamente as operações de navegação, onde estudos indicam que a redução da velocidade (*slow steaming*) dos navios, embora ajude a diminuir as emissões, pode gerar efeitos adversos no mercado marítimo, como o aumento de custos operacionais e a redução da competitividade internacional (Herdzik, 2023; Zhang *et al.*, 2024).

Outros métodos, como a otimização de rotas e a chegada *just-in-time*, também são citados como soluções viáveis para contribuir com o cumprimento estabelecidos pelo CII (Yuan *et al.*, 2023c; Zincir, 2023). Tais abordagens operacionais contribuem para uma redução significativa de emissões de CO₂ e melhoram a eficiência energética dos navios, principalmente por meio da adaptação tecnológica (Kim & Eom, 2023).

Já sobre medidas técnicas, uso de combustíveis alternativos, adaptação de motores convencionais, eletrocombustíveis e energia limpa para abastecimento e redução de emissão de gases, são outras bases de estudo de aplicação para melhoria do CII. De acordo com Gianni *et al.* (2022), tecnologias como os motores de combustão interna de duplo combustível e as células de combustível de óxido sólido (SOFC), combustíveis alternativos como Amônia e GNL têm mostrado grande potencial para mitigar as emissões de GEE.

Em contraponto, estudos sobre energia limpas, apontam o uso de energia solar fotovoltaica como uma solução eficaz para reduzir o consumo de combustível em embarcações de curta distância, com uma economia de até 15,5% no consumo de combustível para geração de eletricidade (Martínez-López *et al.*, 2023), entretanto, o seu aperfeiçoamento é necessário para sua adoção em larga escala. Adicionalmente, a utilização dos eletrocombustíveis e a sua adesão a depender do tipo de navio, resultará em aumentos significativos no custo total e poderá levar a uma redução da capacidade de carga, necessitando de alterações nos padrões de reabastecimento para grandes embarcações (Gray *et al.*, 2024).

Outro estudo destaca o impacto do redesenho da hélice em navios porta-contentores, que pode aumentar a eficiência energética em até 9%, melhorando a classificação do CII (Lee, 2024b), além da limpeza do casco, redução da força de arrasto, dispositivos de poupança de energia, são outras medidas discutidas como soluções para cumprir os regulamentos como o CII (Bayraktar & Yuksel, 2023a).

Entretanto, o CII não só impulsiona a sustentabilidade, mas também impõe desafios económicos. O custo elevado de tecnologias de redução de emissões coloca uma pressão significativa sobre os armadores, particularmente aqueles que operam frotas menores (Herdzik, 2023a), além dos custos de modernização dos sistemas de propulsão para atender às regulamentações da IMO, podem exigir uma revisão das práticas de frete e contratos de transporte marítimo para adesão de forma eficiente (Sou *et al.*, 2022).

A revisão da literatura também sugere que, embora as medidas de eficiência energética possam gerar economia de combustível de até 23,3%, as barreiras financeiras continuam a ser um desafio para a adesão plena ao CII (Zincir, 2023).

Pesquisas recentes enfatizam a importância dos portos nos resultados do CII (Klopott *et al.*, 2023), uma vez que a classificação de embarcações CII é influenciado pelos tempos de espera nos portos e a eficiência operacional (S. W. Kim & Eom, 2023). Algumas tecnologias como *Onshore Power Supply* (OPS) conectam embarcações à rede elétrica durante a atracação no porto para reduzir as emissões, mas ainda não há grande adoção pelos portos que são bastante relutantes em investir em infraestrutura sem uma procura clara para este tipo de práticas (Abu Bakar *et al.*, 2023; Braidotti *et al.*, 2023).

Entretanto, a adoção implementação global do CII nos portos está avançando num ritmo lento e com desafios significativos para se adaptar às normas ambientais da IMO.

2.2.4 Reflexos do CII nas Operações Portuárias

Atualmente, a descarbonização e transição energética são temas centrais no setor marítimo e o *Carbon Intensity Indicator* (CII), implementado pela Organização Marítima Internacional (IMO), desempenha um papel fundamental na redução de emissões de CO₂, na promoção da eficiência energética e adaptação tecnológica.

Nesse contexto, os objetivos do CII expandem-se e geram reflexos, também, nas operações dos portos, uma vez que as novas diretrizes da regulamentação começam a estimular o desenvolvimento de medidas operacionais que promovam práticas mais sustentáveis e mais eficientes energeticamente, um exemplo disso é a implementação de tecnologias como o *Onshore Power Supply*, que permite aos navios se conectarem à rede elétrica terrestre durante a atracação, desligando seus motores auxiliares e, assim, minimizando a poluição nas operações portuárias (Cullinane & Haralambides, 2021).

A eficiência das operações portuárias pode ser aperfeiçoada por meio da otimização de rotas e de um planeamento operacional eficiente. Rauca & Batrinca (2023i) sugerem, por

exemplo, que práticas como a chegada *just-in-time* dos navios ajudam a melhorar a classificação no CII, ao reduzir as emissões durante o tempo de espera para atracação.

Esse estudo destaca a importância do papel dos operadores portuários na classificação do CII, especialmente considerando que o tempo de operação influencia o cálculo de emissões. Dados da Unctad (2022) reforçam essa necessidade, apontando um aumento de 13,7% no tempo médio de atendimento dos navios porta-contentores entre 2020 e 2021, o que evidencia a urgência de ajustes operacionais para melhorar a eficiência nas operações portuárias.

Por outro lado, Gibbs *et al.* (2014) argumentam que, embora seja vantajoso abordar as emissões das operações portuárias, a maior parte das emissões de CO₂ ocorre durante o trânsito das embarcações, o que revela aos portos que poderiam ter um impacto mais expressivo se direcionassem seus esforços para influenciar as emissões no tráfego marítimo.

Nesse contexto, demonstra-se que os portos, além de se adaptarem às procuras das embarcações, podem liderar iniciativas de descarbonização e eficiência energética, criando um ambiente operacional mais limpo, sustentável e com eficiência operacional (ESPO, 2023).

Para se posicionarem de forma competitiva e alinhada às metas globais de descarbonização, os portos necessitam de infraestruturas modernizadas que possam suportar tecnologias inovadoras e combustíveis sustentáveis. De acordo com Azarkamand *et al.* (2020) e Klopott *et al.* (2023) os portos, ao se tornarem *hubs* de energia renovável e inovação tecnológica, contribuem significativamente para a descarbonização das operações marítimas. Essa transformação, no entanto, exige investimentos substanciais para acomodar novas tecnologias, como o hidrogênio e a amônia, combustíveis alternativos que, apesar de promissores, apresentam desafios técnicos e financeiros consideráveis (RoyalHDHV, 2022).

Recentes estudos têm destacado a importância dos portos atuando como facilitadores essenciais para a integração de fontes alternativas de combustível e a adoção de metodologias operacionais sustentáveis (RoyalHDHV, 2022), o que destaca a importância de crescimento e prioridade no desenvolvimento dentro desse âmbito nos portos.

Entretanto, é evidenciado que a transição para esses combustíveis envolve a criação de uma infraestrutura especializada e altos investimentos, um exemplo disso são a implementação de novas tecnologias, como o *Onshore Power Supply* (OPS) são fundamentais para reduzir as emissões nos portos, mas enfrentam barreiras de custo e disponibilidade, especialmente em portos menores com limitações financeiras (Uzun *et al.*, 2024), o que foi reforçado também por Herdzik (2023a) ao apontar que, para muitos portos, a implementação dessas tecnologias pode representar um desafio significativo, dado o investimento inicial elevado.

Para Monios *et al.*(2024) os portos devem-se ajustar aos efeitos das mudanças climáticas e procurar a descarbonização através de vários desafios, entre eles as modificações nos contratos de concessão e nas relações comerciais. Nesse sentido, a transição energética está prestes a precipitar transformações significativas nas operações portuárias, exigindo alterações na logística, infraestrutura, conectividade, armazenamento e cadeias de abastecimento pertencentes a produtos energéticos emergentes (ESPO, 2024b).

Assim, os portos não são mais vistos como nós logísticos, e sim, cada vez mais, são plataformas estratégicas para garantir uma capacidade de rede adequada promovendo a necessidade de combustíveis diversos e transportadores de energia inovadores, bem como combustíveis alternativos(RoyalHDHV, 2022).

Nesse cenário, direcionando o foco para a União Europeia, os portos europeus têm sido pioneiros na implementação de políticas voltadas para a descarbonização e eficiência energética. A União Europeia (UE), através de regulamentos como o Pacto Ecológico Europeu e o Regulamento RTE-T, tem direcionado investimentos significativos para adaptar os portos às metas climáticas, como a neutralidade de carbono até 2050. Roterdão, Antuérpia e Hamburgo estão na vanguarda do desenvolvimento de infraestruturas para combustíveis alternativos, como hidrogénio e o GNL, além da implementação de tecnologias como o OPS, que reduz as emissões durante a atracação de navios (ESPO, 2024).

Nos últimos três anos, a Europa desenvolveu uma série de iniciativas para fortalecer sua resiliência e autonomia estratégicas. A recuperação económica, o plano *RepowerEU* e o plano industrial *Net-Zero* refletem o comprometimento europeu com a sustentabilidade, mas, é necessário fortalecer o apoio das autoridades nacionais, regionais e locais para facilitar o licenciamento e a implementação dessas políticas (ESPO, 2024).

De acordo com dados da ESPO, em 2023, 69% dos portos europeus já possuíam certificações ambientais, refletindo um foco crescente em mudança climática, eficiência energética e qualidade do ar. A figura 4 evidencia as 10 prioridades ambientais dos portos europeus para 2023.

Em outra adoção de políticas, o pacote “*Fit for 55*” introduzido pela Comissão Europeia em 2021, alterou o regulamento de Infraestrutura de combustível alternativo e incluiu disposições para eletricidade e GNL nos principais portos da rede RTE-T até 2025, e 2030 para a implementação de eletricidade(López *et al.*, 2024).

Todavia, o facto é que, enquanto os legisladores estão formulando medidas para o *FIT-for-55*, as partes interessadas estão avaliando as implicações práticas e as etapas preparatórias para a implementação, juntamente com uma meta de redução de emissões recém-introduzida

para 2040, que para os portos europeus, a redução deverá ser de 90% nas emissões líquidas de GEE pressionando os *stakeholders* envolvidos a procurarem diligentemente os compromissos estabelecidos sob a estrutura “*Fit-for-55*” (ESPO, 2024).



Figura 4: As 10 prioridades ambientais para os portos europeus em 2023.

Fonte: (ESPO, 2023)

Nesse cenário, os portos portugueses como Sines e Leixões têm avançado nas suas iniciativas de descarbonização, mas enfrentam desafios relacionados à adaptação tecnológica e à modernização de sua infraestrutura, em que a ausência de sistemas avançados de monitorização e combustíveis alternativos coloca-os em desvantagem em comparação com os grandes portos do Norte da Europa.

Já Antuérpia, Hamburgo e Roterdão têm se posicionado como verdadeiras plataformas energéticas, indo além do simples transporte de mercadorias e assumindo um papel ativo na produção e distribuição de energia renovável. Isso torna-os cruciais para o fornecimento de energia sustentável na Europa. Além disso, eles têm investido em tecnologias de automação e digitalização, otimizando operações portuárias e, ao mesmo tempo, reduzindo a pegada de carbono (RoyalHDHV, 2022).

Em resumo, embora os portos europeus estejam liderando iniciativas de descarbonização, há uma disparidade regional que precisa ser superada, especialmente em termos de adaptação tecnológica e infraestrutura nos portos do Sul da Europa. A transição energética para alcançar as metas de neutralidade de carbono até 2050 exigirá investimentos contínuos e cooperação entre os *stakeholders* para garantir que todos os portos, independentemente de sua localização, possam se adaptar às novas procuras climáticas e de eficiência energética.

2. METODOLOGIA

Neste capítulo será descrita a abordagem metodológica utilizada para a formulação dos procedimentos de recolha de dados que visam alcançar os objetivos do estudo pretendido.

2.1 Estratégia de Pesquisa

Neste subcapítulo Neste capítulo, abordaremos o percurso metodológico do estudo, com base nos objetivos, os procedimentos de investigação, métodos de amostragem, recolha, análise e interpretação dos dados, de forma a garantir o rigor e consistência dos resultados. Segundo Creswell's (2009), os trabalhos de investigação são constituídos por planos e procedimentos que abrangem desde a formulação de hipóteses gerais até os métodos detalhados para recolha e análise de dados..

2.2 Métodos Utilizados

A metodologia utilizada neste estudo baseou-se no aproveitamento de uma abordagem múltipla de recolha de dados, através da utilização quatro metodologias analíticas distintas: revisão integrativa da literatura, avaliação bibliométrica por meio do sistema VOSviewer, investigação qualitativa por meio de entrevistas realizadas com quatro gestores portuários de Portugal que possuem ampla experiência no assunto em questão e análise estratégica de dados utilizando as estruturas PESTEL/SWOT.

Segundo Creswell's (2009) esta recolha abrangente de dados não apenas gera *insights* profundos, mas também os organiza sistematicamente em categorias ou temas bem definidos que realmente encapsulam a totalidade dos dados recolhidos.

Este trabalho de investigação foi elaborado de acordo com a estrutura descrito abaixo, e o que se segue ilustrará de forma descritiva e através de quadro o processo de pesquisa bibliográfica, bem como a abordagem sistemática adotada para identificar, analisar, sintetizar e relatar as descobertas com transparência (Snyder, 2019).

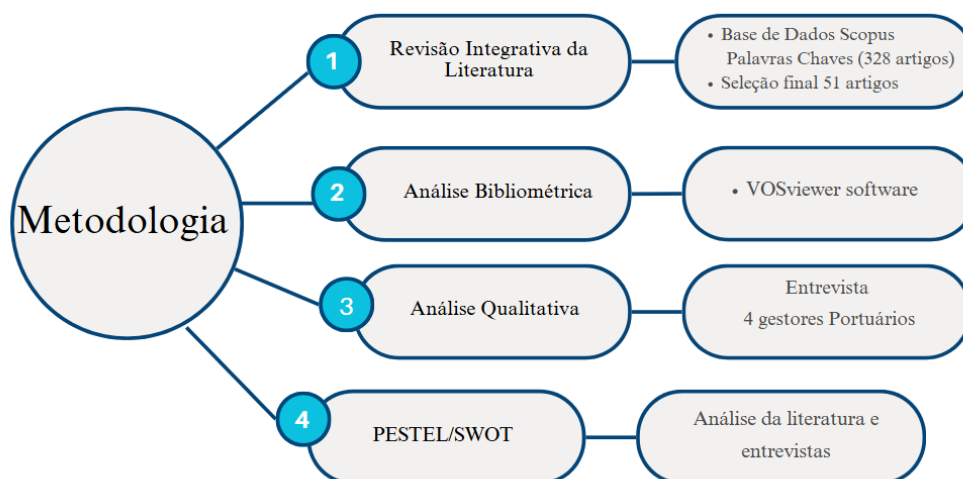


Figura 5: Mapa Mental - Estratégia de investigação

2.2.1 Revisão Integrativa da Literatura

A primeira etapa consistiu na revisão integrativa da literatura, que seguiu diretrizes rigorosas para a identificação, seleção e análise de publicações relevantes no campo sobre a análises e adoção do CII no caminho da descarbonização e da eficiência energética no transporte marítimo e nos portos. Este método foi adotado por se considerar uma poderosa ferramenta de pesquisa que analisa e combina a literatura existente para criar ideias e pontos de vista futuros de uma questão (Torraco, 2005).

Este tipo de revisão é amplamente utilizado em pesquisas académicas para abordar tópicos maduros ou emergentes e, neste estudo, ao investigar uma questão emergente, o objetivo é inicialmente propor conceitualizações e modelos preliminares, em vez de visitar modelos antigos sobre o assunto e, em vez disso, busca unir ideias e pontos de vista de vários campos ou tradições de pesquisa (Snyder, 2019).

A etapa realizada para a prática da abordagem da revisão integrativa da literatura foi realizada de acordo com cinco fases (Figura 5):

1) Identificação do tema e definição da investigação

O estudo iniciou-se com uma revisão bibliográfica na base de dados Scopus, essencial para avaliar a investigação existente e desenvolver objetivos e questões de investigação. Foram identificadas lacunas na adoção do CII, resultando na formulação do problema de investigação.

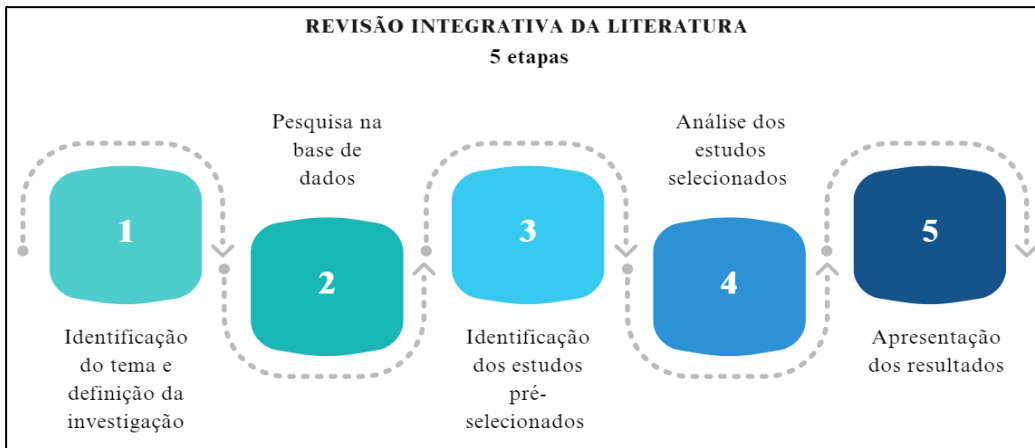


Figura 6: Revisão Integrativa da Literatura

2) Pesquisa na base de dados

Foram selecionados os termos de pesquisa e a base de dados *Scopus*, na qual apresentou o resultado inicial através das palavras-chaves aplicadas no total de 328 (Quadro 2).

Quadro 2: Termos de pesquisa e cadeias de caracteres

Quadro 2: Categorias de combinações de termos de pesquisa e cadeias de caracteres

Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
carbon AND intensity AND indicator	decarbonization	maritime AND transport*	port
OR	OR	OR	OR
carbon AND intensity	OR decarbonisation	AND ships	AND maritime
OR			OR
carbon AND emission			marine
OR			OR
ghg AND emissions			seaport*

Posteriormente, para aperfeiçoar a revisão, a seleção foi refinada por meio de 2 (dois) estágios baseados em critérios de inclusão e exclusão (Quadro 3):

- 1º estágio: o critério inclusão foi utilizado para filtrar e avaliar a relevância de todos os estudos por meio da aplicação de filtros;
- 2º estágio: o critério de exclusão foi praticado por meio da avaliação de títulos e resumos, levando à inclusão apenas de estudos considerados relevantes; Nesta etapa a pesquisa apresentou 328 artigos.

Quadro 3: Critérios de inclusão e exclusão

Quadro 3: Critérios de inclusão e exclusão		
Filtro	Critério 1º (inclusão)	Critério 2º (exclusão)
Ano publicação	2018-2024	outros
Área Temática	Engenharia/Ciência Ambiental/ Energia/Ciências Sociais/ Negócios,	outros
Tipo de Documento	Artigos/ Artigos de conferência	outros
Estágio da Publicação	Final	
Tipo de fonte	Jornal/ Conferência	outros
Língua	Inglês	outros
Artigos revistos	relevante para responder questões do estudo, por abordar aspectos da metodologia do CII para eficiência energética dos navios, descarbonização nas operações marítima Atas de conferências, relatórios técnicos e regulamentos aprimoram o	Conceito macro geral de artigos sobre sustentabilidade, marinha, oceânica, portos verdes, e poluentes atmosféricos de outros tipos de transportes, calculos financeiros e economicos, a descarbonização em outros
Demais fontes		Pesquisas repetitivas e abaixo do padrão e/ou abordadas por artigos revistos
Acesso aberto	Totalmente aberto	Demais encontrados

3) Identificação dos estudos pré-selecionados

Foi realizado um exame detalhado dos títulos, resumos e palavras-chave para identificar os estudos relevantes, seguido da avaliação dos critérios de inclusão. Os resultados foram organizados numa tabela abrangente catalogando os estudos selecionados para a revisão integrativa.

4) Análise dos estudos selecionados

Na quarta etapa, os resultados foram analisados e avaliados por meio da categorização do conteúdo. O conteúdo foi organizado em seis aspetos principais com base na análise estratégica PESTEL sobre o CII: fatores políticos, económicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais.

5) Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos que tiveram maior importância para a revisão foram articulados de forma descritivas e organizadas sistematicamente em um formato conciso para promover o levantamento da amostra.

2.2.2 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica foi utilizada para avaliar a produção científica sobre o Carbon Intensity Indicator (CII) no setor marítimo, identificando padrões e tendências. Esta técnica

permite uma análise quantitativa de publicações, com foco em citações, autores, países e revistas relevantes, sendo essencial para compreender a evolução e dinâmica do campo de estudo e mapear o impacto do conhecimento ao longo do tempo.

Conforme destacado por Donthu *et al.* (2021), a bibliometria é valiosa porque possibilita a exploração dos aspetos evolutivos de um campo específico e identifica áreas de desenvolvimento. Essa metodologia permite a mensuração da influência de estudos específicos e facilita a identificação de redes de colaboração entre autores e instituições, promovendo uma visão estruturada das principais contribuições académicas no tema do CII.

Para Jimenez *et al.* (2022), a análise bibliométrica usa metodologias estatísticas para avaliar publicações académicas, gerando estatísticas descritivas sobre palavras-chave, redes de autores, periódicos, instituições e países, baseando-se na contagem de citações e frequência de ocorrência.

A pesquisa utilizou a metodologia de revisão integrativa da literatura, processando os dados no software VOSViewer para visualização e análise bibliométrica. Isto permitiu identificar tendências, áreas de enfoque, palavras-chave predominantes e redes de colaboração no contexto do CII e no panorama académico global. A abordagem da contagem integral foi aplicada para uma análise abrangente da produção científica.

2.2.3 Entrevistas

A Análise Qualitativa é outra abordagem que compõe a estratégia de pesquisa pois consideramos a mais adequada uma vez que serve como um instrumento metodológico para a exploração e compreensão dos significados que indivíduos ou coletivos atribuem a uma questão social ou humana (Creswell, 2009).

Creswell (2009) também destaca que, por meio da implementação dessa metodologia, os pesquisadores qualitativos se esforçam para construir uma representação abrangente do problema, o que exige a articulação de diversas perspectivas.

Nesse contexto, a entrevista foi utilizada como ferramenta para aquisição de informações pois tal abordagem é adaptável, facilitando um exame abrangente baseado em um tamanho de amostra comparativamente modesto, enquanto concentra a investigação nas perspectivas dos participantes (Young *et al.*, 2018).

A recolha de dados iniciou-se com a escolha dos entrevistados para assegurar uma amostra representativa por conveniência, de forma a abranger a população relevante dos principais operadores portuários em Portugal, que têm uma grande influência no mercado.

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com 4 (quatro) gestores portuários experientes, utilizando um guião com 15 questões abertas e padronizadas (Apêndice A).

Esses participantes foram selecionados por sua experiência prática e conhecimento aprofundado sobre o impacto do CII em operações portuárias. Esta abordagem permitiu a análise comparativa de dados e a investigação de temas emergentes, de forma a compreender o impacto do CII na eficiência energética das operações do marítimo e portuário.

O conteúdo divide-se em cinco blocos de questões: o primeiro aborda o conhecimento e a importância do CII no setor marítimo; o segundo incide sobre a implementação do CII nos portos, incluindo infraestruturas e desafios; o terceiro analisa os impactos nas operações portuárias; o quarto discute aspetos económicos e regulatórios do CII; e o quinto explora o futuro da eficiência energética nos portos.

As entrevistas foram realizadas via Microsoft Teams, com duração de 30 a 45 minutos, começando com a explicação dos objetivos específicos e solicitando consentimento para gravação e transcrição.

Além disso a amostra foi representada por quatro principais portos em Portugal, devido atuarem em aproximadamente 90% no total de operação no mercado em Portugal, nos quais os portos selecionados foram: Porto de Leixões, Porto de Lisboa, e Porto de Setúbal e Porto de Sines.

Para assegurar a validade das informações coletadas, as percepções e opiniões qualitativas dos gestores foram analisadas e correlacionadas de acordo com cada âmbito do bloco de perguntas do guião, buscando promover uma análise integrada que refletisse as perspectivas de cada porto em relação ao contexto deste estudo. Esse processo foi essencial para identificar padrões consistentes e validar os resultados obtidos, fortalecendo as conclusões do estudo.

2.2.4 Análise PESTLE e SWOT aplicados nos Portos Portugueses

O sistema portuário português é composto por 26 portos de interesse geral, geridos por autoridades portuárias. A supervisão dessas operações cabe ao Ministério das Infraestruturas e da Habitação, que é responsável pela definição de diretrizes políticas, regulamentações e normas que orientam as operações portuárias em Portugal.

Entre os principais portos estão Sines, Leixões, Lisboa e Setúbal, que desempenham um papel crucial no transporte marítimo internacional e nas cadeias globais de abastecimento, especialmente no mercado português. Esses portos possuem uma localização estratégica e

instalações adequadas para diferentes tipos de carga, embora cada um se especialize em segmentos específicos de operações, apesar disso, os portos portugueses enfrentam desafios significativos no que diz respeito à modernização das suas infraestruturas e à implementação de tecnologias sustentáveis, que são essenciais para o cumprimento das metas de descarbonização e para a aplicação do *Carbon Intensity Indicator* (CII).

À medida que a transição para um transporte marítimo mais sustentável se torna central nas agendas globais, a análise do contexto dos portos portugueses é fundamental. Portos europeus como Roterdão, Antuérpia e Hamburgo têm liderado a implementação de estratégias voltadas para a eficiência energética, oferecendo exemplos de inovação para o setor. No entanto, os portos portugueses ainda apresentam atrasos e barreiras à adaptação às medidas energéticas que precisam ser superadas para alinhar suas práticas com as exigências de descarbonização estabelecidas pela UE e pela Organização Marítima Internacional (IMO).

Segundo Agyekum *et al.* (2024), a metodologia PESTEL é uma abordagem fundamental para a gestão estratégica, oferecendo uma visão abrangente dos fatores externos que afetam a operação e o planejamento de longo prazo das organizações e aplicada no contexto portuário contribuirá para uma visão panorâmica em qual o setor portuário está e os desafios e oportunidades que envolvem a adoção do CII em suas práticas operacionais.

Além disso, a análise SWOT complementa a PESTEL (figura 7), ao permitir uma avaliação das capacidades internas dos portos, bem como das oportunidades que podem ser exploradas para melhorar suas operações e aumentar sua competitividade no mercado internacional.

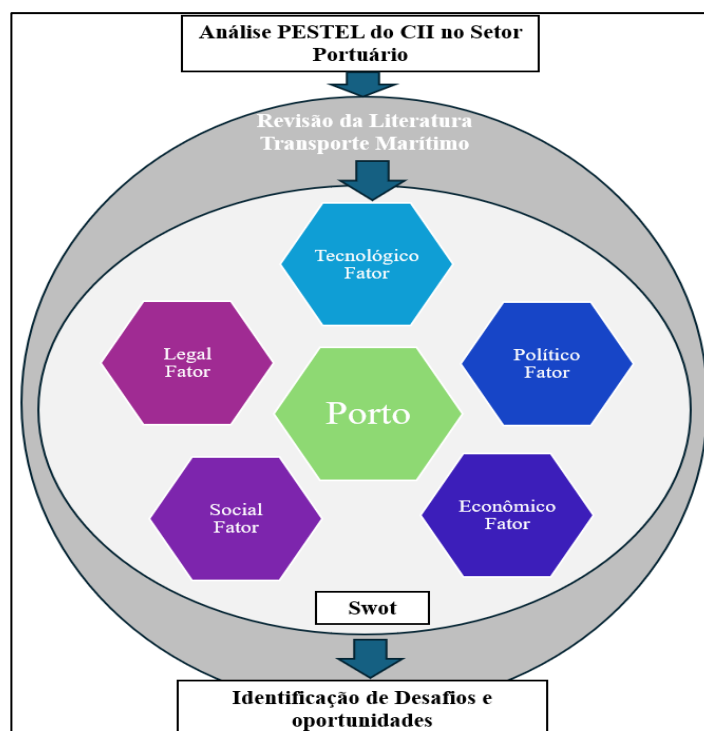


Figura 7: Análise SWOT/PESTLE da influência do CII nos Portos Portugueses

Adaptado de: (Christodoulou & Cullinane, 2019) e (Agyekum et al., 2024).

Dado o ambiente complexo e multidimensional em que os portos operam, este estudo utiliza a sinergia entre as análises SWOT e PESTLE para identificar os fatores cruciais que influenciam o desenvolvimento bem-sucedido de estratégias e práticas operacionais, a partir dos estudos empíricos na indústria marítima, na revisão de literatura adotada.

A análise dos fatores são agrupados em seis categorias — política, econômica, social, tecnológica, jurídica e ambiental — com base no tipo de influência que exercem no sistema, utilizando a análise PESTLE e simultaneamente, a análise SWOT identifica fatores internos e externos que afetam o contexto das operações portuárias, considerando especialmente a influência do CII, deste modo, essa abordagem integrada permite uma avaliação mais completa das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que moldam a transição para práticas portuárias mais sustentáveis e eficientes.

Por meio dessa análise, os portos podem alinhar suas estratégias operacionais com as demandas de eficiência energética e descarbonização impostas pelas regulamentações internacionais e incluir cada vez mais em estratégias de sustentabilidade a partir do CII em suas operações, uma vez que ao examinar as prioridades ambientais dos portos, é evidente que grande parte das metas focam nas operações terrestres (López et al., 2024). Sendo assim, no

âmbito da indústria marítima, especificamente no que diz respeito à dinâmica operacional dos portos, as dimensões do PESTEL abordam aspetos relevantes sobre cada contexto:

Fatores Políticos:

A dimensão política envolve ações governamentais nas economias globais para auxiliar no desenvolvimento de projetos ou dos negócios, isso inclui ações políticas comerciais e fiscais, restrições de mercado e regulamentações ambientais. Essas políticas podem afetar o sucesso afetar o cenário de atuação seja do empreendimento ou projeto.

Nesse sentido as determinações políticas que sustentam o Indicador de Intensidade de Carbono (CII) são essenciais para a transição energética e a descarbonização marítima de forma eficiente e com aderência pelos *stakeholders* envolvidos.

A governança transfronteiriça é outro aspeto essencial, já que as operações marítimas afetam diversas partes interessadas de diferentes nações. A colaboração entre governos, autoridades portuárias e entidades como a IMO é necessária para garantir a conformidade com as regulamentações internacionais. Nesse sentido, a Europa precisa promover um clima político que permita que várias partes interessadas no ecossistema portuário avancem em direção à neutralidade líquida, resiliência, segurança e inteligência(ESPO, 2024c).

Fatores Económicos:

Na dimensão económica, o crescimento da economia global é crucial para melhorar o transporte marítimo, levando ao aumento do consumo, produção e transações que impulsionam o movimento de cargas marítimas. Além disso, o desenvolvimento económico facilita o investimento em infraestrutura portuária e logística, vitais para manter a capacidade de serviço e a retenção de clientes, no entanto, o cenário geopolítico e económico global impõe desafios significativos. Exemplos disso incluem a pandemia de COVID-19 e o conflito entre a Rússia e a Ucrânia, que impactaram as operações comerciais europeias, agravaram as incertezas no comércio internacional e revelaram vulnerabilidades nas cadeias globais de abastecimento.

Fatores Sociais:

As dimensões sociais como os hábitos de consumo, refletem o comportamento social e as dinâmicas culturais do mercado, sendo moldados por fatores como a expansão populacional e a crescente consciência ambiental. A procura por produtos sustentáveis vem crescendo, impulsionada por preferências regionais e convenções culturais. No setor marítimo, as condições de trabalho e questões como a igualdade de género também afetam a operação dos portos, com interrupções relacionadas a queixas dos trabalhadores e desafios para garantir a inclusão das mulheres no setor.

Fatores Tecnológicos:

A dimensão tecnológica passa pela atualização e adoção de tecnologias que facilitem a implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nas operações portuárias e na adaptação das infraestruturas aos combustíveis sustentáveis. É uma ferramenta essencial para atingir objetivos de descarbonização e melhorar a eficiência energética, cumprindo os padrões internacionais da Organização Marítima Internacional (IMO).

Nesse contexto, um dos caminhos tecnológicos mais em evidência no setor portuário, é a transformação profunda do setor através da digitalização e a inteligência artificial, tornando-o mais eficiente, seguro e sustentável, assim como também, a adoção de tecnologias inteligentes como sensores, drones e câmaras permitem que os portos europeus monitorizem suas operações em tempo real, melhorando a precisão das informações, a segurança e a detecção de poluição.

Fator Ecológico:

As preocupações com os impactos climáticos no meio ambiente impulsionam o desenvolvimento de políticas ambientais. Regulamentos foram implementados para eficiência energética, combustíveis alternativos, monitorização de poluição, gerenciamento de resíduos, proteção da biodiversidade e práticas sustentáveis. Existem restrições adicionais para a infraestrutura costeira para proteger os ecossistemas circundantes.

Fatores Legal:

A estrutura legal é fundamental para garantir a segurança, justiça e ordem nas operações portuárias, abrangendo leis comerciais, regulamentações ambientais e de propriedade intelectual. No setor marítimo, as conformidades com essas regulamentações internacionais são necessária para cumprir os padrões de segurança e ambientais, além de proteger os interesses comerciais, que são estabelecidos pelos principais organismos internacionais do setor, como a Organização Marítima Internacional (IMO) e a União Europeia (ESPO, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo apresenta os resultados e a discussão dos dados obtidos, alinhando-os com os objetivos do estudo e foram organizados em categorias metodológicas. A análise destaca fatores críticos que afetam a adoção do CII, além de explorar desafios e oportunidades para a transição sustentável no setor.

3.1 Análise Bibliométrica

A análise abaixo representará resultados obtidos através do acoplamento de dados na ferramenta bibliométrica VOSviewer.

3.1.1- Visualização de rede e palavras-chaves

A análise bibliométrica no VOSViewer revelou 1015 palavras-chave de autor, com a maior produção anual de investigação científica a decorrer em 2021, altura em que foram publicados 615 documentos. Com base nos dados obtidos (figura 8), foram encontrados um total de 20 clusters com ligações de 3350 e uma força total de ligação de 3364.

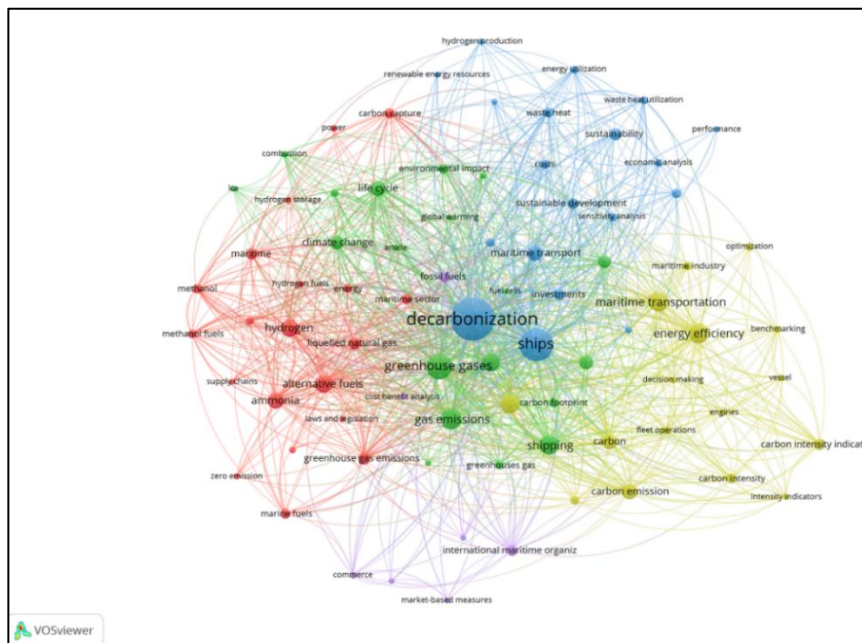


Figura 8: Análise das palavras-chaves

O gráfico de rede analisado revela que as palavras-chave referente ao primeiro cluster, representado pela cor verde, está centrado em termos como "decarbonization" (descarbonização) (117), "Ships" (57), "greenhouse gases" (gases de efeito estufa) (57) e "gas emissions" (emissões de gases) (38). Este grupo aborda diretamente os esforços para reduzir as emissões de carbono no setor marítimo, destacando a importância da mitigação das mudanças climáticas e da redução da pegada de carbono das operações de transporte.

A pesquisa neste cluster sugere que a descarbonização é uma prioridade central, tanto do ponto de vista regulatório quanto ambiental, com o objetivo de limitar o impacto climático das emissões da indústria naval.

Já o cluster amarelo foca em palavras-chave como "*energy efficiency*" (eficiência energética), "*carbon intensity*" (intensidade de carbono) e "*fleet operations*" (operações de frota), com uma abordagem técnica voltada para a otimização das operações marítimas. O principal objetivo aqui é aprimorar a eficiência energética, reduzindo a intensidade de carbono das frotas e implementando tecnologias que possibilitem operações mais sustentáveis.

O cluster azul está relacionado a temas como "*maritime transportation*" (transporte marítimo), "*sustainability*" (sustentabilidade) e "*economic analysis*" (análise económica), e explora a necessidade de equilibrar práticas sustentáveis com a viabilidade económica do setor.

O cluster vermelho destaca termos como "*alternative fuels*" (combustíveis alternativos), "*hydrogen*" (hidrogénio) e "*methanol*" (metanol), e está diretamente associado ao desenvolvimento de tecnologias de baixa emissão. O foco identificado aqui é a inovação em combustíveis que possam substituir os fósseis, como o hidrogénio e o metanol, que apresentam grande potencial para reduzir drasticamente as emissões no setor marítimo.

Por fim, o cluster roxo abrange temas como "*commerce*" (comércio) e "*market-based measures*" (medidas baseadas no mercado), refletindo a importância das políticas económicas e regulatórias no controle das emissões de carbono. Este grupo aborda iniciativas como créditos de carbono e taxas de carbono, que procuram regular o setor marítimo através de mecanismos de mercado, promovendo a conformidade com as regulamentações ambientais.

A interconexão entre esses clusters revela que a transição para um setor marítimo mais sustentável requer uma abordagem multidimensional, na qual a inovação tecnológica, a regulação económica e a adoção de práticas sustentáveis são complementares.

A figura 9 demonstra que a descarbonização e a redução das emissões de carbono são temas centrais na investigação do setor marítimo, com várias frentes de ação em desenvolvimento, sobretudo em relação ao Indicador de Intensidade Carbónica (CII), que impõe metas rígidas de emissões.

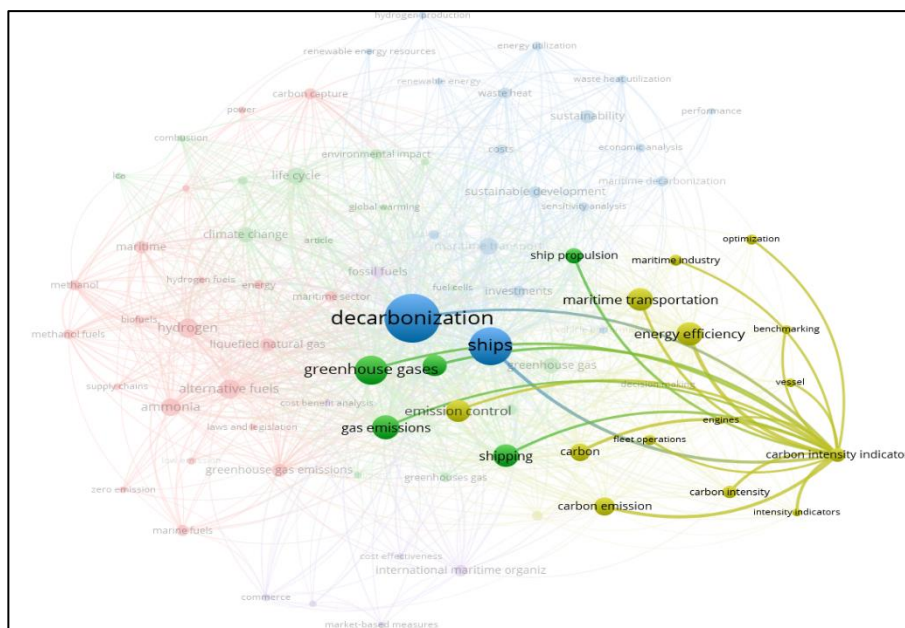


Figura 9: Rede por palavras-chaves interconexões com o CII

Com base nesta centralidade da descarbonização como tema principal é destacado o foco contínuo na necessidade latente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa no setor marítimo e a análise também revela que os tópicos associados ao *Carbon Intensity Indicator* (CII) estão fortemente ligados à eficiência energética e otimização de operações marítimas.

O ponto de destaque nas conexões, situado na interseção entre as palavras eficiência energética (*energy efficiency*), transporte marítimo (*maritime transportation*), e o *Carbon Intensity Indicator* (CII), revela uma forte relação entre a busca por maior eficiência nas operações e a introdução de regulamentações mais rigorosas para medir e controlar as emissões. Essas conexões sugerem que medir a intensidade de carbono não é suficiente por si só; há uma necessidade contínua de otimização de processos e melhorias tecnológicas para reduzir o consumo de combustível e, portanto, as emissões associadas.

Além disso, a conexão de CII com termos como benchmarking, otimização, e propulsão de navios (*ship propulsion*) evidencia que as empresas estão utilizando essas métricas para comparar seu desempenho ambiental com o de outros *players* da indústria.

3.1.2- Produção de investigação científica do país

A produção científica em rede de coautoria é ilustrada na Figura 10. As dez principais nações são lideradas pelo Reino Unido, que possui 31 artigos académicos, seguido pela Suécia, que tem 18. Na sequência estão a Noruega (17), Dinamarca (16), China (11), Itália (11), Grécia (8), Coreia do Sul (7), Austrália (7) e Espanha (7).

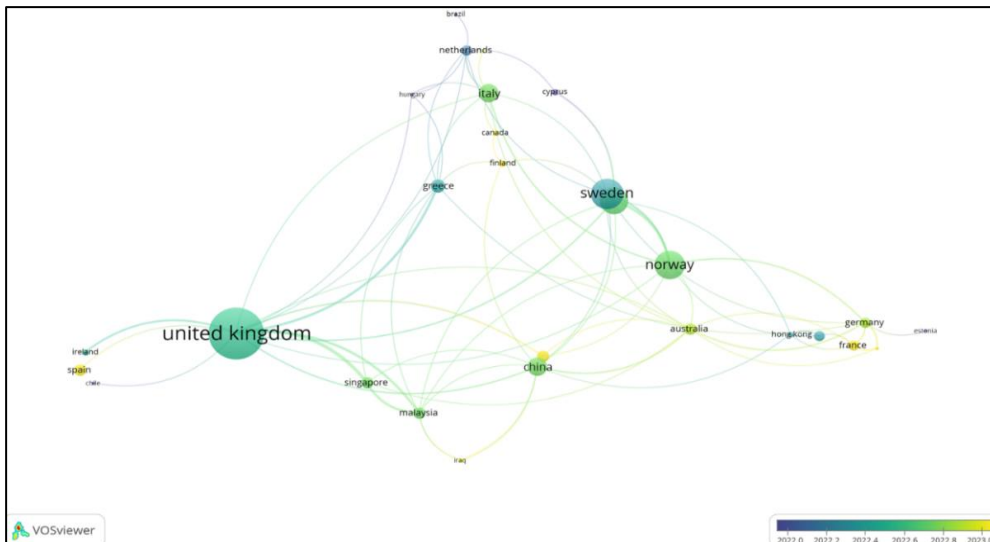


Figura 10: Overlay por países

A visualização de rede de coautoria por país ilustra a produção científica e as colaborações entre nações ao longo do tempo. Esses países destacam-se como os maiores nós da rede, indicando uma significativa contribuição científica e uma forte interação entre si.

O gráfico de *overlay* mostra claramente que o Reino Unido se destaca como o maior nó, refletindo seu papel central na pesquisa científica global, seguido por Suécia e Noruega.

A análise das conexões entre os países revela que a forte colaboração entre essas nações europeias é, em parte, motivada por interesses compartilhados em áreas de pesquisa, como sustentabilidade e inovação tecnológica. Além disso, a colaboração com países como China e Singapura evidência o caráter global e interdisciplinar da ciência moderna, onde a troca de conhecimento entre diferentes regiões do mundo é fundamental para o avanço de áreas críticas, como inteligência artificial (IA), biotecnologia e mudanças climáticas.

O tom verde-azulado presente nos maiores nós do gráfico sugere que essas colaborações estão se mantendo consistentes ao longo do tempo, enquanto tons mais amarelados em países como França e China indicam um aumento mais recente nas parcerias científicas, já o Reino Unido, Suécia e Noruega, por exemplo, têm sido protagonistas em grandes projetos colaborativos, especialmente no contexto europeu.

Ou seja, representativamente, o cluster central, dominado pelo Reino Unido, Suécia e Noruega, reflete uma rede densa de colaborações entre essas nações europeias, possivelmente relacionadas a áreas como energia e clima, na qual sustenta a posição dos países entre os quais mais devolvem e estão adotando medidas voltadas às eficiências das operações no transporte marítimo e à descarbonização dos seus portos. Em destaque neste levantamento, Portugal ocupou a 15ª posição após outros países do bloco europeu, como França (13ª) e Polónia(14ª).

3.2 Revisão integrativa da literatura

A revisão da literatura enfatiza a importância do Indicador de Intensidade de Carbono (CII) como uma medida regulatória emergente fundamental no setor marítimo para o avanço da eficiência energética e descarbonização das operações na indústria. Embora o foco inicial esteja nas implicações para o desempenho e a atualização da frota de embarcações, os portos desempenham um papel central na implementação dessa regulamentação.

Conforme Klopott *et al.* (2023), as medidas de eficiência energética não devem se limitar às embarcações, mas precisam ser respaldadas por uma infraestrutura portuária preparada para atender às novas solicitações do setor.

Um dos principais desafios identificados é a necessidade de os portos se posicionarem não apenas como nós de conexão na cadeia logística, mas como facilitadores da transição energética, especialmente no fornecimento de combustíveis alternativos (ESPO, 2024c). A regulamentação do CII exige que as embarcações operem com combustíveis de baixo carbono, o que reflete nos portos a procura de adaptação das suas infraestruturas para o armazenamento e abastecimento desses combustíveis. No entanto, a revisão da literatura apontou que muitos portos ainda estão em fase inicial de desenvolvimento dessas capacidades, o que pode dificultar o cumprimento das metas climáticas da IMO até 2050 (deManuel-López *et al.*, 2024).

Além disso, a análise PESTEL/SWOT realizada neste estudo destacou que, apesar dos desafios, a implementação do CII também oferece oportunidades significativas para os portos, e com os mesmos a adaptarem suas infraestruturas e investirem em tecnologias mais limpas, os portos poderão melhorar sua competitividade global, atraindo operadores que buscam reduzir suas emissões de carbono. Isso reforça o papel estratégico dos portos na cadeia de abastecimento global, uma vez que a disponibilidade de combustíveis alternativos será um fator crítico para a eficiência operacional das embarcações no futuro (ESPO, 2024a).

Por outro lado, os portos enfrentam barreiras financeiras e técnicas significativas para atender às exigências do CII. A necessidade de investir em infraestruturas de armazenamento e distribuição de combustíveis alternativos, como hidrogênio e metanol, representa um desafio financeiro, especialmente para portos menores com recursos limitados. A revisão também identificou que, embora haja incentivos governamentais e financiamento da União Europeia para apoiar a transição energética, muitos portos ainda encontram dificuldades para aceder a esses fundos e implementar as mudanças necessárias de forma eficaz (Herdzik, 2023b).

O quadro seguinte apresenta um resumo dos fatores externos e internos identificados na literatura que influenciam os portos. Nesta classificação, as “forças” representam atributos que

oferecem vantagens competitivas, enquanto as “fraquezas” identificam os principais desafios enfrentados. Já as “oportunidades” destacam caminhos promissores para crescimento e inovação, e as “ameaças” apontam riscos potenciais que podem impactar negativamente a adoção de práticas sustentáveis. Todos esses elementos são analisados à luz do desenvolvimento da eficiência energética por meio do CII nos portos, sendo categorizados nas dimensões da análise PESTLE/SWOT, conforme demonstração no quadro 4:

Quadro 4: Análise PESTEL/ SWOT da Influência do CII nos Portos

Fatores PESTEL	Forças(S)	Fraquezas(W)	Oportunidades(O)	Ameaças(T)
Político	Localização geoestratégica dos portos ibéricos para o comércio internacional (deManuel-López <i>et al.</i> , 2024)	Infraestrutura antiga que não atende às novas exigências de eficiência (Unctad, 2022)	Promoção de políticas nacionais que incentivem o uso de combustíveis alternativos (RoyalHDHV, 2022)	Adaptação às normas da IMO, que exigem uma modernização significativa das infraestruturas (Klopott <i>et al.</i> , 2023)
	Apoio regulatório da UE e IMO para descarbonização dos portos (ESPO, 2024c)	Baixo investimento em inovação e tecnologias verdes (RoyalHaskoningDHV, 2022).	Colaboração com a UE para aceder a financiamentos destinados à transição energética (Azarkamand <i>et al.</i> , 2020)	Pressão regulatória para cumprir prazos de descarbonização, podendo levar a custos adicionais (Herdzik, 2023a)
Económico	Aumento da procura por transporte sustentável (RoyalHaskoningDHV, 2022)	Baixa margem de lucro para portos de menor tráfego (Alamouh <i>et al.</i> , 2022)	Aumento da competitividade dos portos que implementarem tecnologias sustentáveis (deManuel-López <i>et al.</i> , 2024)	Necessidade de altos investimentos para modernização das operações e infraestrutura (Herdzik, 2023)
	Parcerias estratégicas com <i>stakeholders</i> locais e internacionais (Puig <i>et al.</i> , n.d.)	Alto custo inicial de adaptação tecnológica como OPS (<i>Onshore Power Supply</i>) (López <i>et al.</i> , 2024)	Captação de investimentos em energia renovável e infraestrutura verde (ESPO, 2024a)	Custos futuros de transporte provavelmente serão mais altos e mais voláteis (Unctad, 2022)
	Possibilidade de inovação e implementação de tecnologias sustentáveis (Uzun <i>et al.</i> , 2024)	Incerteza em relação às regulamentações futuras que podem impactar operações (Monios <i>et al.</i> , 2024)	Diversificação de receitas através da oferta de serviços sustentáveis (ESPO, 2024c)	Impacto das tarifas portuárias na atração de novos negócios (Herdzik, 2023)
Social	Capacidade de adaptação às procuras sociais crescentes por práticas sustentáveis (RoyalHDHV, 2022)	Preocupações com o emprego local na transição para novas tecnologias (RoyalHaskoningDHV, 2022)	Aumento da conscientização ambiental entre a população sobre a importância da descarbonização (Alamouh <i>et al.</i> , 2022)	Resistência de comunidades locais a mudanças nas operações portuárias (Gibbs <i>et al.</i> , 2014)

	Capacidade de criar conexões de inovação e sustentabilidade entre os <i>stakeholders</i> (RoyalHDHV, 2022)	Dificuldades na capacitação dos trabalhadores para novas tecnologias (Dewan & Godina, 2023b)	Iniciativas comunitárias para a promoção de práticas sustentáveis no ambiente portuário ((ESPO, 2019)	Dificuldades na comunicação entre <i>stakeholders</i> (Monios <i>et al.</i> , 2024)
Tecnológico	Digitalização e IA aumentam a eficiência e reduzem emissões operacionais (Bielenia & Podolska, 2023).	Desafios na integração de tecnologias de descarbonização (Uzun <i>et al.</i> , 2024).	Uso de tecnologias como gêmeos digitais e automação para otimizar operações e reduzir consumo de combustível (Wei <i>et al.</i> , 2023)	Ausência de regulamentos internacionais vinculativos para que os portos invistam em infraestruturas de combustíveis alternativos (Klopott <i>et al.</i> , 2023)
	Adoção de sistemas de <i>Onshore Power Supply</i> (OPS) para reduzir as emissões durante a atracação (Uzun <i>et al.</i> , 2024)	Necessidade de capacitação técnica para os operadores portuários (Dewan & Godina, 2023b)	Desenvolvimento de soluções para otimização da logística portuária (Alamouh <i>et al.</i> , 2022)	Desafios na integração de tecnologias de descarbonização (Uzun <i>et al.</i> , 2024)
Ecológico	Portos desempenham papel essencial na transição para combustíveis alternativos e redução de emissões (Klopott <i>et al.</i> , 2023)	Desafios na gestão de resíduos durante a transição (RoyalHDHV, 2022)	Melhoria da qualidade do ar e redução das emissões de GEE (ESPO, 2022)	Risco de impactos ecológicos devido à modernização das infraestruturas (RoyalHaskoningDHV, 2022)
	Implementação de práticas de economia circular (RoyalHDHV, 2022)	Aumento da pressão ambiental para a redução das emissões (deManuel-López <i>et al.</i> , 2024)	Expansão da infraestrutura de combustíveis alternativos, como hidrogênio e GNL, nos portos(ESPO, 2023)	Desafios na gestão de resíduos durante a transição (ESPO, 2023)
Legal	Apoio do governo para regulamentações que impulsionem a inovação (RoyalHDHV, 2022)	Dificuldades em cumprir múltiplas legislações (Marrero & Martínez-López, 2023)	Criação de um quadro legal que favoreça a sustentabilidade no setor portuário (Klopott <i>et al.</i> , 2023)	Complexidade regulatória que pode atrasar a implementação (Monios <i>et al.</i> , 2016)

3.3 Análise PESTLE / SWOT

A análise combinada dos fatores PESTLE e SWOT proporcionou uma estrutura abrangente para compreender as dinâmicas que influenciam os portos portugueses no contexto da implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII) e das metas relacionadas à descarbonização das operações na União Europeia.

Ao avaliar os fatores políticos, económicos, sociais, tecnológicos, legais e ambientais (PESTLE), foram mapeadas as influências externas e internas que moldam o cenário portuário e, também, identificar as oportunidades e desafios que afetam os portos. Paralelamente, a análise SWOT permite explorar as forças e fraquezas internas dos portos, identificando áreas estratégicas para aperfeiçoar a eficiência operacional e atender às exigências de

sustentabilidade. Nesse contexto, de acordo com os resultados obtidos foram identificados os seguintes pontos de acordo com fatores PESTEL:

1. Fatores Políticos

A implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nos portos é profundamente influenciada por fatores políticos, uma vez que a pressão regulatória para descarbonizar o setor marítimo vem principalmente de políticas internacionais e regionais. A Organização Marítima Internacional (IMO), com seu compromisso de reduzir a intensidade de carbono do transporte marítimo em pelo menos 40% até 2030, cria uma estrutura política global para que os portos e operadores se ajustem a essas metas. Governos nacionais e blocos económicos, como a União Europeia, também desempenham um papel essencial ao traduzirem esses compromissos globais em políticas locais. O Pacto Ecológico Europeu (*Green Deal*), por exemplo, reforça essas metas e estipula medidas adicionais para a transição ecológica no setor de transporte marítimo, impactando diretamente as operações portuárias.

No âmbito nacional, o sucesso da implementação do CII dependerá do comprometimento dos governos em criar um ambiente político que facilite essa transição. Isso inclui o desenvolvimento de legislações específicas que incentivem a adoção de práticas sustentáveis nos portos, bem como a disponibilização de incentivos fiscais e subsídios para investimentos em tecnologias limpas.

Nesse contexto, o recente relatório publicado pela *European Sea Ports Organisation*(ESPO) destaca que a gestão portuária europeia planeia aproximadamente 80 bilhões(ESPO, 2024c) de euros em investimentos até 2034 e que cada vez mais são orientados para o alinhamento com a agenda ecológica e resiliente da UE.

No entanto, apesar desses avanços, os portos enfrentam incertezas quanto à regulamentação dos combustíveis, suscitando preocupações económicas e operacionais. Isto sublinha a necessidade de políticas estáveis e de financiamento contínuo para apoiar a transição ecológica.

2. Fatores Económicos

Os fatores económicos influencia fortemente os portos, já que a adaptação às novas regulamentações ambientais geralmente envolve altos custos iniciais. A modernização da infraestrutura portuária para suportar novas tecnologias de monitorização e redução de emissões exigirá investimentos significativos.

Nesse cenário, os altos custos para a modernização da infraestrutura, como a instalação de sistemas de eletrificação, o que coloca uma pressão financeira significativa sobre suas

operações, contudo, podem ser mitigados por programas como o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e o Programa de Recuperação e Resiliência (PRR) podem ser fontes importantes de apoio financeiro para portos que buscam investir em tecnologias sustentáveis. Nesse contexto, o setor portuário enfrenta desafios no investimento em sistemas avançados de monitorização de emissões e melhorias de eficiência energética. Estes investimentos são cruciais para o desenvolvimento e adaptação do sector, mas podem ser difíceis para portos mais pequenos ou menos rentáveis, que têm acesso limitado ao capital e ao financiamento.

3. Fatores Sociais

Já o fator social exerce uma influência estratégica fundamental na adoção eficaz do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nos portos, pois a conscientização crescente sobre as mudanças climáticas pressiona autoridades e empresas a adotarem práticas mais sustentáveis, em que o apoio público, especialmente das comunidades locais afetadas pelas operações portuárias, é essencial para que a implementação do CII seja bem-sucedida.

Isso se deve ao impacto direto que essas operações têm na qualidade do ar e na saúde pública, aspectos cada vez mais valorizados. Portos que conseguem reduzir sua pegada ambiental fortalecem a aceitação pública e cumprem um papel essencial nas metas globais de descarbonização. A adoção de práticas sustentáveis, como a redução das emissões, pode gerar maior aceitação e apoio da população, além de melhorar a imagem dos portos, tornando-os mais competitivos e alinhados com os interesses sociais.

O relatório setorial da Comissão Europeia, previsto para 2025, procura fortalecer o diálogo social nos portos, identificando as principais organizações envolvidas em questões laborais. Em 2023, as mulheres representaram 43,08% dos profissionais portuários em reuniões da ESPO, uma iniciativa importante para aumentar a inclusão no setor(ESPO, 2022), assim como a disponibilidade de pessoal qualificado para ativos industriais de baixo carbono e desenvolvimento de infraestrutura é essencial(RoyalHDHV, 2022).

Outro ponto importante é fortalecimento do ambiente de trabalho dentro dos portos é uma ação estratégica que contribui para o ecossistema social envolvente. A capacitação dos trabalhadores portuários e a promoção de equidade de gênero nas oportunidades de emprego são passos relevantes para a sustentabilidade social, onde o envolvimento ativo dessas partes interessadas pode não apenas acelerar a adoção de medidas sustentáveis, mas também fomentar uma cultura de sustentabilidade entre os trabalhadores, as empresas portuárias e o público em geral.

4. Fatores Tecnológicos

Dentro da análise estratégica no qual os portos encontram-se, a tecnologia desempenha um papel central na implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII), já que a redução de emissões de carbono depende diretamente da adoção de inovações tecnológicas no setor portuário. A introdução de tecnologias avançadas de monitorização de emissões é essencial para medir com precisão a eficiência energética das embarcações e garantir a conformidade com os requisitos do CII. Ferramentas de *Big Data*, sensores de última geração e sistemas integrados de monitorização serão necessários para capturar dados em tempo real e permitir a avaliação contínua das emissões. Portanto, os portos precisarão investir em sistemas de IoT (Internet das Coisas) e soluções de automação para gerir de forma eficiente essas novas necessidades.

Além da monitorização, a transição energética será um fator tecnológico-chave. Para cumprir as metas estabelecidas pelo CII, os portos precisarão incentivar o uso de combustíveis alternativos, bem como desenvolver estratégias que visem promover o uso de fontes de energia renováveis, como a eletrificação das operações portuárias por meio de *Onshore Power Supply* (alimentação elétrica a partir da terra). Essas tecnologias exigem infraestrutura avançada e significativa modernização das instalações portuárias, o que pode ser desafiador, mas fundamental para reduzir as emissões de carbono de forma eficaz.

Entretanto, os desafios tecnológicos são expressivos, especialmente devido aos altos custos envolvidos e à necessidade de atualização contínua. A digitalização e a automação de processos também são elementos críticos para alcançar as metas do CII, mas exigem investimentos substanciais que nem todos os portos conseguem absorver de forma imediata

5. Fatores Ecológicos

Os fatores ecológicos representam outro aspecto importante na implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nos portos, uma vez que o objetivo central do CII é reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) no setor marítimo e promover operações portuárias mais sustentáveis. Investimentos em tecnologias como *Onshore Power Supply* (OPS) permitirá a redução tanto as emissões de carbono quanto de outros poluentes atmosféricos, assim também os projetos de energia renovável, como solar e eólica, reforçam o compromisso do porto com a redução da pegada ambiental em suas operações, alinhando-se às pressões ecológicas locais e às exigências internacionais de descarbonização.

A Europa estabeleceu ambiciosas metas climáticas e energéticas, como a redução de 55% das emissões de gases de efeito estufa até 2030 e alcançar emissões líquidas nulas até 2050. Parte dessas metas inclui aumentar a capacidade de energias renováveis para 42,5% até

2030, com foco em hidrogénio limpo e energia eólica *offshore*, procurando autonomia estratégica e segurança energética (ESPO, 2024b). Essas metas exigem não só a produção dentro da União Europeia, mas também a diversificação das fontes de energia importadas, o que coloca os portos no centro dessa transição.

A reserva de investimentos em 2023 demonstra que 84% dos projetos visam diretamente ou indiretamente á busca da sustentabilidade e eficiência energética das operações, o que representa um avanço significativo em relação a 2018, contudo, ajustes nas políticas e medidas devem ser feitos à medida que novos desafios e incoerências surgem durante a implementação das metas estabelecidas (ESPO, 2024).

6. Fatores Legais

O quadro legal é fundamental para a implementação bem-sucedida do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nos portos, uma vez que as normas internacionais, como as diretrizes do MARPOL Annex VI da Organização Marítima Internacional (IMO), estabelecem os padrões globais para a redução de emissões de gases de efeito estufa no setor marítimo.

A criação de um arcabouço legal robusto, que integre o CII com outras regulamentações ambientais, é essencial para garantir a descarbonização eficaz do setor, promovendo a redução contínua das emissões e facilitando a monitorização e a fiscalização dos limites estabelecidos.

Na União Europeia, os portos também são sujeitos a leis ambientais rigorosas, como o *European Emission Trading System* (ETS) e o Regulamento MRV (Monitorização, Relatório e Verificação), que monitoram as emissões de CO₂ das embarcações que operam em águas europeias. Já na área portuária, em especial nos portos europeus, metas já foram estabelecidas pela UE através da Diretiva de Eficiência Energética na qual visa reduzir o consumo de energia em 32,5% até 2030 e aumentar a eficiência energética (RoyalHDHV, 2022).

A falta de mecanismos de fiscalização e sanções claras por incumprimento podem dificultar iniciativas de redução das emissões de carbono no setor marítimo. Nesse sentido, a harmonização das regulamentações em todos os Estados-Membros é essencial, como defende a ESPO, garantindo segurança jurídica para os investidores e alinhamento entre as legislações locais e europeias (ESPO, 2024b).

Com base das informações ressaltadas através da análise PESTE/SWOT, literatura e entrevista, destacam-se os principais desafios e oportunidades que são apresentadas nos Quadro 6 e Quadro 7.

Quadro 5: Principais Desafios para os Portos na Implementação do CII

Desafios	Descrição
----------	-----------

Adaptação da infraestrutura	Portos precisam de atualizar sua infraestrutura para oferecer combustíveis alternativos como GNL e eletrificação dos terminais.
Alto custo de investimentos em infraestrutura	O investimento necessário para modernizar os portos com tecnologias de energia limpa e abastecimento é elevado.
Incerteza regulatória e governança	A falta de padronização global e a multiplicidade de regulamentações podem dificultar a implementação uniforme do CII.
Resistência dos <i>stakeholders</i> e operadores portuários	Mudanças operacionais e financeiras exigem reorganização logística, o que pode gerar resistência dos operadores portuários.
Capacitação tecnológica e operacional	Necessidade de formação e adaptação dos operadores e trabalhadores portuários para o uso de novas tecnologias.
Integração com cadeias globais de suprimento	A pressão para reduzir emissões pode afetar a eficiência logística e a integração com cadeias de suprimento globais.

Quadro 6: Principais Oportunidades para os Portos na Implementação do CII

Oportunidades	Descrição
Posicionamento estratégico como plataforma energética	Portos podem se tornar <i>hubs</i> de energia limpa, fornecendo eletricidade e combustíveis alternativos, como GNL e hidrogênio.
Melhoria da eficiência energética	Implementação do CII incentiva portos a melhorar suas operações logísticas, aumentando a eficiência energética das operações.
Atração de novos investimentos	Portos que adotarem práticas sustentáveis e alinhadas ao CII podem atrair investimentos internacionais em infraestrutura.
Conformidade com as metas de descarbonização da IMO	Portos que adotarem o CII estarão à frente no cumprimento das metas ambientais globais, garantindo sustentabilidade futura.
Promoção de inovação tecnológica	A transição incentivada pelo CII pode impulsionar a adoção de tecnologias verdes, como sistemas de eletrificação e automação.
Fortalecimento da imagem e reputação	Portos sustentáveis ganham visibilidade no mercado global, promovendo sua reputação e atraindo mais negócios.

3.4 Entrevistas

Este subcapítulo elucida os resultados obtidos a partir das entrevistas realizadas com os participantes desta investigação, juntamente com um exame dos resultados alcançados considerando os objetivos deste estudo.

3.4.1 Caracterização dos Entrevistados

Neste estudo, a amostra foi selecionada com base na relevância do contexto portuário e na facilidade de contato com os participantes, devido à atuação comum no setor marítimo. A amostra é composta por 4 (quatro) representantes dos quadros de gestão dos principais portos de Portugal, com foco nas áreas de sustentabilidade e desenvolvimento de negócios sustentáveis, abrangendo os portos mais representativos em termos de volume de operação e participação no mercado.

No que diz respeito às áreas de atuação relacionadas à sustentabilidade e/ou transição Energética, 2 (Dois) portos têm departamentos específicos para políticas de eficiência energética, 1 (um) porto tem uma área dedicada à sustentabilidade, e 1 (um) porto tem um departamento de gestão de negócios portuários e logísticos focado na sustentabilidade das operações. Já em relação ao perfil dos participantes, 3 (três) entrevistados são do sexo masculino e 1 (um) é do sexo feminino. Todos possuem formação de mestrado em engenharia, o que proporciona uma base técnica sólida para as discussões sobre sustentabilidade e eficiência no contexto portuário.

Para assegurar a confidencialidade, os nomes das organizações e dos participantes foram omitidos, garantindo o sigilo dos dados e dos resultados apresentados no estudo.

3.4.2 Caracterização dos Portos

Relativamente à escolha dos quatro principais portos em Portugal, foi devido representarem em aproximadamente 90% no total de operação no mercado em Portugal, conforme demonstração na figura 11:

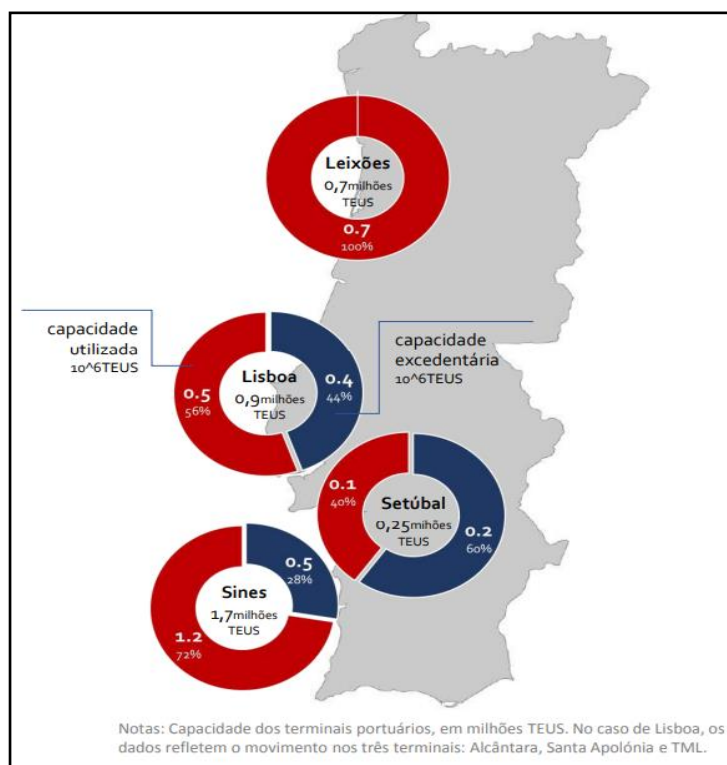


Figura 11: Capacidade instalada nos terminais de contentores

Fonte: (ACP, 2016)

Na Tabela 2, encontram-se as informações consolidadas da performance dos 4 portos em Portugal no ano de 2023.

Tabela 2: Panorama da Performance dos portos de Portugal

Porto	Porte Empresarial	Nº Total de Colaboradores	Carga Movimentada (10 ³ t) 2023	Acumulado (10 ³ t) TEU (2023)	% Mercado (2023)
Porto A	Médio	~150 colaboradores	~6,3 milhões t	~157,4	7,6%
Porto B	Grande	~350 colaboradores	~42,9 milhões t	~1665,3	51,6%
Porto C	Grande	~240 colaboradores	~14,6 milhões t	~701,8	17,6%
Porto D	Grande	~270 colaboradores	~11,4 milhões t	~419,4	13,7%

Fontes: (APS, 2024); (APDL, 2024); (APL, 2024), (APSS, 2024)

3.4.3 Procedimento

As entrevistas foram organizadas através do envio de convites por e-mail às autoridades dos quatro principais portos portugueses: Porto A, Porto B, Porto C e Porto D. O convite convocou a participação numa entrevista e incluiu um questionário para orientar perguntas aos representantes portuários.

Dos quatro representantes, dois optaram por responder apenas por escrito via e-mail, enquanto outros dois concordaram em participar de entrevistas realizadas online, por meio do Microsoft Teams. As entrevistas online, realizadas a 1 de junho e a 1 de agosto de 2024, tiveram uma duração total aproximada de 1,5 horas e foram gravadas com o consentimento dos participantes, que permitiram a gravação e a transcrição de suas respostas.

Os participantes selecionados para as entrevistas foram os mais informados sobre as questões discutidas, atuando como representantes ou substitutos dos seus departamentos. Durante as entrevistas, mostraram-se cautelosos mas responderam rapidamente às perguntas. Apesar de não solicitarem confidencialidade, as informações fornecidas foram essenciais, oferecendo uma perspetiva holística e uma compreensão mais aprofundada do tema.

As entrevistas ocorreram entre os meses de maio e outubro de 2024, proporcionando dados significativos e enriquecendo a análise ao incluir as diferentes perspetivas dos principais portos portugueses envolvidos na pesquisa.

3.4.3.1 Dados das Entrevistas

Após a realização das entrevistas, estas foram transcritas para documentação eletrónica e, posteriormente, submetidas à análise de conteúdo. Esta técnica consiste em uma abordagem metodológica que organiza e interpreta os dados de forma sistemática e imparcial, com o objetivo de identificar padrões e temas relevantes (Roberto *et al.*, 2023).

Para iniciar a análise, foi realizada uma leitura preliminar das transcrições, procurando conhecer e reconhecer o material recolhido e obter impressões iniciais sobre os dados (Bardin, 2016).

Em seguida, foi conduzida uma leitura mais aprofundada das respostas dos entrevistados, etapa na qual se aplicou a análise categorial, permitindo identificar e agrupar semelhanças entre elementos através da codificação, criando assim categorias de análise (Roberto *et al.*, 2023). Após a codificação, foram elaboradas sinopses das entrevistas numa classificação de análise vertical, com temas principais na primeira coluna e categorias na segunda. Esta estrutura possibilitou uma análise detalhada dos discursos, conforme quadro 7:

Quadro 7: Temas e códigos

Temas Principais	Códigos estabelecidos	Questões
1. Conhecimento sobre o CII e sua Importância	Compreensão e Relevância do CII	(A)
	Potencial do CII na promoção da eficiência energética	(B)
2. Implementação do CII no Porto	Adoção de medidas de incentivo à EF	(C)
	Principais Desafios de implementação	(D)
	Medidas já implementadas	(E)
	Parcerias ou programas com <i>stakeholders</i>	(F)
3. Impactos nas Operações Portuárias	Impacto nas operações	(G)
	Medidas de combate a mitigação das operações	(H)
4. Aspetos Económicos e Regulatórios	Incentivos económicos	(I)
	Adaptação às regulamentações	(J)
5. Futuro da Eficiência Energética no Porto	Planos Futuros	(K)
	Maiores desafios futuros	(L)
	Perspetivas futuras	(M)

3.4.3.1.1 Conhecimento sobre o CII

Em relação ao primeiro bloco de perguntas, a compreensão sobre o papel do CII no setor marítimo e o potencial que este regulamento representa foram apresentadas as seguintes respostas pelos entrevistados, e estão representados na tabela 3.

Tabela 3: Compreensão sobre o papel do CII

Categorias	Compreensão sobre o papel do CII
Porto A	"O indicador de Intensidade de carbono é muito importante para o transporte marítimo e no transporte marítimo..."; - Através da questão do aquecimento global, pela necessidade de descarbonização é importante..."
Porto B	"É bastante importante e mais um passo importante naquilo que é descarbonização dos portos e do setor marítimo...". - "permite logo fazer a caracterização quase como uma etiqueta energética dos navios".
Porto C	"subscreveu a plataforma <i>Ship Review</i> da <i>OceanScore</i> através da qual tem acesso não só a esse índice (entre outros) para cada navio...". "Faz uso da plataforma <i>Ship Review</i> (não especificamente do <i>Carbon Intensity Indicator</i>) para coleta de dados relativos às emissões porto a porto".
Porto D	"A utilização deste indicador pode ser importante para os portos para aferir do seu próprio desempenho (emissões de GEE de âmbito 3) e por poder funcionar como ferramenta para "premiar"/navios com melhores desempenhos".

Três entrevistados reconheceram o potencial do CII para melhorar a eficiência energética, enquanto um demonstrou ceticismo quanto ao impacto imediato, afirmando que o indicador por si só pode não gerar mudanças rápidas, embora as taxas associadas a ele possam influenciar o setor (tabela 4).

Tabela 4: Potencial do CII na promoção da eficiência energética

Categorias	Potencial do CII na promoção da eficiência energética
Porto A	"Não sei se o indicador em si proporciona agora, garantidamente, mas as taxas que são aplicáveis tanto para base desse tipo de indicadores garantidamente estão a ter efeito isso, não há dúvida...".
Porto B	É muito importante este indicador porque os armadores os mais conhecidos vão também obrigar a melhorar as emissões, portanto, ao obterem melhores classificações, obter o melhor indicador, vai diminuir e reduzir os gases de efeito estufa", "é um potencial, é enorme"
Porto C	"... poderá criar um incentivo à eficiência energética, contribuindo assim para menores consumos de energia e consequentemente para reduzir as emissões de GEE. "Poderá igualmente incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias na construção de navios mais eficientes..."
Porto D	"Uma vez que o CII permite medir o desempenho real dos navios, tal como os indicadores de sustentabilidade, permite fazer o benchmarking dos navios, e permite aos seus clientes incentivar ou pressionar para que esse desempenho melhore. Isso é cada vez mais importante"

3.4.3.1.2 Implementação do CII no Porto

Em resposta ao segundo bloco de perguntas, sobre a adoção de medidas de eficiência energética nos portos, todos os entrevistados comprometeram-se a adotar práticas para melhorar a eficiência energética nos portos. Três portos adotaram medidas tarifárias e um implementou ações operacionais. Esses dados estão detalhados na Tabela 5.

Tabela 5: Adoção de medidas de incentivo à Eficiência Energética

Categorias	Adoção de medidas de incentivo à Eficiência Energética
Porto A	"incentivos dentro do tarifário para navios que tenham o Prémio Verde, ou seja, navios que emitem menos CO ₂ tem um desconto que agora 3%"
Porto B	"ainda não temos a nível dos armadores e o porto" as nossas medidas, nós temos o serviço de pilotagem associado ao Porto e vamos ter lanchas de pilotos 100% elétricas".
Porto C	"os navios que melhor desempenho ambiental reduzindo as tarifas relativas aos serviços que presta no porto C
Porto D	"5% no tarifário traduzida num "Prémio Verde" aos navios ou embarcações que sejam titulares do Certificado do <i>Bureau Green Award</i> de Roterdão ou de Certificação no âmbito da ISO 14001 e cumpram os respetivos requisitos"

Entre os resultados sobre os desafios, os entrevistados apontaram dificuldades com a metodologia CII, incluindo compreensão dos cálculos e transparência dos resultados. Outro destacou os desafios em equilibrar sustentabilidade e taxas da UE e alinhamento com os stakeholders, enquanto um ainda não utiliza o CII para cálculos de CO₂. Esses dados estão na Tabela 6.

Tabela 6: Principais desafios de implementação

Categorias	Principais Desafios de implementação
Porto A	"dificuldade nessa área de cálculo e de acesso ao indicador...". "Devia estar mais divulgado, serem oficiais e não, de empresas particulares, não é?"
Porto B	- "lidar com uma série de <i>Stakeholders</i> " - "Fazer o Balanço entre aquilo que é o equilíbrio entre o negócio portuário e entre aquilo que é a parte da sustentabilidade" - "as penalizações e taxas que são implementadas pela União Europeia..."
Porto C	O Porto C ainda não recorre ao CII nas suas atividades
Porto D	"Não tenho conhecimento"

Em relação à implementação de medidas de eficiência energética para melhorar o CII dos navios que atracam nos portos, dois entrevistados relataram adoção de iniciativas no aspeto comercial, para incentivar práticas sustentáveis nos portos. Um não respondeu, e outro não soube informar. Esses dados estão na tabela 7.

Tabela 7: Medidas já implementadas para os navios

Categorias	Medidas já implementadas para os navios
Porto A	"incentivos dentro do tarifário para navios que tenham o Prémio Verde, ou seja, navios que emitem menos; menos CO Tem um desconto que agora 3%"
Porto B	- "ainda não foram. feitas nenhuma...". - "Nós temos uma nova subestação de alta tensão, está que já foi, está praticamente concluída, está a entrar ao serviço, vai entrar..."
Porto C	"Não respondeu"

Porto D	“Não tenho conhecimento”
----------------	--------------------------

Dois entrevistados referiram a ausência de parcerias para melhorar as operações marítimas portuárias, enquanto um destacou a importância do alinhamento com armadores e de explorar colaborações com armadores. Um entrevistado não tinha conhecimento do assunto. A informação consta na tabela 8.

Tabela 8: Parcerias ou programas com stakeholders

Categorias	Parcerias ou programas com stakeholders
Porto A	"Não existe neste momento, assim, nenhuma parceria com os armadores...,
Porto B	Eu acho que não, a minha resposta é esta. Eu acho que ainda não é o negócio ainda se sobrepõe à questão ambiental e a questão de sustentabilidade..."
Porto C	Foi realizado um inquérito em 2022 com os principais armadores que utilizam o porto no sentido de perceber as principais necessidades e tendências futuras das embarcações relativamente à descarbonização do transporte marítimo.
Porto D	“Não tenho conhecimento”

3.4.3.1.3 Impactos nas Operações Portuárias

No terceiro bloco de perguntas, todos os entrevistados afirmaram que o CII poderia influenciar futuras operações portuárias por meio de mudanças operacionais, como OPS, maior disponibilidade de combustível, redução de rotas, aumento de taxas para armadores e reduções de emissões por meio de embarcações mais eficientes. Os resultados da análise são apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Impacto nas operações

Categorias	Impacto nas operações
Porto A	"Sim pode vir a acontecer... <i>Onshore power supply</i> , que é eletricidade..." fazerem mais bancas.", "precisam de abastecer mais combustível em Portos". "Em princípio começar a receber navios mais, mais modernos, "acontecer também que as cargas, passem não vir de tão Longe, Menos da Ásia ou da América também ". "pode, pode aumentar transbordo."
Porto B	" Ainda não temos afetado ou não afeta diariamente as operações diárias, mas no futuro de certeza absoluta, quando houver maiores restrições, "Mas quando, as taxas forem superiores ou forem aplicadas, certeza que vão afetar, porque lá está navios terão maior eficiência"
Porto C	"... a estimativa relativa às emissões anuais que ocorrem no porto são de 46.435,77 ton (38.169 ton em navegação e 8.266,75 ton em manobra), pelo que quanto mais eficientes foram os navios menores serão as emissões anuais em porto".
Porto D	“Pode afetar por duas vias: “se for necessário alterar o planeamento de chegadas (<i>just-in-time</i>) ou se for necessário adotar a navegação <i>slow steaming</i> ”

No contexto do terceiro bloco de perguntas aos entrevistados indicaram ter uma estratégia para reduzir as emissões de CO₂. Todos relataram um desenvolvimento mínimo em

estratégias para descarbonizar as operações portuárias. Os resultados dessa análise são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Medidas de mitigação das operações

Categorias	Medidas de Mitigação das operações
Porto A	"Existem alguns equipamentos que já trabalham ..., mas ainda são muito poucos"; "Nada é feito... nessas áreas ainda está tudo a ser pensado. a ser desenvolvido".
Porto B	" estamos a começar a dar os primeiros passos para isso"; "Neste momento, aquilo que nós estamos a fazer, sobretudo do âmbito do projeto N... “ “terminal <i>multipurpose</i> ; agora adquiriu uma grua e já pode funcionar num regime 100% elétrico” “O nosso terminal de granéis líquidos, que é o terminal mais antigo, está a estudar a possibilidade de outros negócios”. “queremos é primeiro de tudo eletrificar, funcionar tudo forma de fontes de energia 100% renováveis e de forma elétrica”.
Porto C	Sim. O Porto C desenvolveu em 2019 um Roteiro da Transição Energética com vista à neutralidade carbónica até 2035, com um plano de ação de curto, médio e longo prazo com vista a atingir este desafiante compromisso...”
Porto D	“trabalhar no sentido de disponibilizar OPS aos navios em cais”

3.4.3.1.4 Aspetos Económicos e Regulatórios

Já em relação ao quarto bloco de perguntas inseridas no guião dos entrevistados informaram desconhecem os benefícios económicos atrelados á adoção da regulamentação CII ou ligada á eficiência energética nos portos. Entretanto pontuou benefícios que não estavam ligados á modo econômico. Resultados dessa análise encontram-se na tabela 11.

Tabela 11: Incentivo económico

Categorias	Incentivos Económicos
Porto A	". Ainda não acho que ainda não há assim nenhum benefício..."
Porto B	Eu não, não conheço. Há efetivamente sendo muito direto. Eu não conheço benefícios económicos ou não, não desconheço a poderá existir. Vai existir de certeza, tem a ver com a as taxas de algumas sanções que a própria União Europeia já está a aplicar.
Porto C	Sim. Maior eficiência energética no transporte marítimo implicará redução de emissões carbónicas contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos habitantes na envolvência do porto assim como para a melhoria da imagem do porto. Estas questões contribuirão para a redução do risco de reclamações e das pressões da comunidade.
Porto D	“Os principais benefícios económicos para os portos derivam do impacto ambiental das suas operações e da sua imagem”

No quarto bloco de perguntas, todos os entrevistados indicaram que estão formulando estratégias para cumprir os regulamentos da UE que exigem OPS para embarcações atracadas. Os resultados da análise são apresentados na tabela 12.

Tabela 12: Adaptações aos regulamentos

Categorias	Adaptação aos Regulamentos
Porto A	"OPS até 2030, está-se a adaptar no porto" "Também de novos combustíveis, o Porto também está a trabalhar nisso" "vamos tentando medir o carbono dos navios".
Porto B	"construir os OPS os tais ditos carregadores de veículos elétricos".
Porto C	"prevê a instalação de OPS nos terminais de contentores e de passageiros (incluindo cruzeiros) até 2030 (cumprir com o <i>FuelEU Maritime Regulation</i> e o AFIR do designado Pacote <i>Fit For 55</i>).
Porto D	"Estamos a implementar o sistema OPS para navios de cruzeiros e navios de carga", "para produzir energia a partir de fontes renováveis", "projeto de navegação interior", "no sentido de uma maior digitalização e otimização de processos".

3.4.3.1.5 Futuro da Eficiência Energética no Porto

Todos os inquiridos ao quinto bloco de questões afirmaram ter planos futuros para desenvolver estratégias operacionais focadas na descarbonização através da eficiência energética nas operações portuárias, os resultados da análise são apresentados na tabela 13.

Tabela 13: Planos futuros

Categorias	Planos futuros
Porto A	... incentivar e melhorar os aumentar os incentivos, no tarifário". "Estão obrigar os concessionários a ter Instalações Elétricas eles próprios também incentivarem os navios através das suas taxas navios menos poluentes.". "Mais gruas e equipamentos elétricos.". "Há também temos a produção elétrica.", agora cidade através da energia solar no Porto e de vento. "temos também a participação, isto é, transporte marítimo nas eólicas offshore".
Porto B	"...até 2045 de sermos 100% <i>Carbon Free</i> e livres de emissões de gases de efeito estufa", "implementar a energia eólica do futuro", " ter também sistemas <i>storage</i> ...". "baterias e pontos de armazenamento para evitar os excedentes". "eletrificar o nosso Porto todo até às nossas concessões" "produção de energia de fontes de energia renovável, tornarmos 100% renováveis". Compensar as partes "no futuro, implementar a energia eólica". "Também temos o plano de descarbonização da nossa frota, e se puder ser uma energia limpa da qual podemos fornecer a parte de energia elétrica..."
Porto C	<i>Roadmap</i> prevê resumidamente o planeamento de ações no âmbito dos 7 principais vetores: 1. Fornecimento de energia elétrica aos navios (OPS - <i>Onshore Power Supply</i>). 2. Produção de energia a partir de fontes renováveis. 3. Eletrificação das operações portuárias. 4. Reforço da infraestrutura elétrica. 5. Digitalização. 6. Promoção de combustíveis alternativos. 7. Monitorização contínua da qualidade do ar
Porto D	"Sistema OPS e restantes projetos, já referidos"

Os entrevistados apontaram desafios para a adoção da eficiência energética nos portos, incluindo custos e investimentos elevados, questões regulatórias, concorrência com outros portos, velocidade dos avanços tecnológicos, e incertezas sobre o futuro dos combustíveis e das infraestruturas portuárias. Os resultados detalhados encontram-se na tabela 14.

Tabela 14: Maiores desafios futuros

Categorias	Maiores desafios futuros
Porto A	"essencialmente os custos que isso tudo tem...", "tarifária e comercial mais agressiva em termos ambientais", "concorrência com outros terminais"
Porto B	"...certeza absoluta que o maior desafio é a parte do setor dos navios". "Onde está aqui num limbo muito grande". "avanço muito rápido de diversas tecnologias e os prazos muito curtos. "o maior desafio está do lado dos navios,
Porto C	Os maiores desafios prendem-se com as questões financeiras e regulatórias
Porto D	"por um lado, a incerteza no futuro dos combustíveis, que virão a ser utilizados pelos navios, logo há dúvidas sobre que infraestruturas serão necessárias do lado dos portos" "quaisquer que sejam as infraestruturas, o investimento nos portos é sempre muito elevado".

Por fim, às análises do quinto bloco de questões sobre o futuro da eficiência energética nos portos, a tabela 15, apresenta as perspetivas futuras dos inquiridos em relação ao futuro das operações portuárias.

Tabela 15: Perspetivas futuras

Categorias	Perspetivas futuras
Porto A	"Será essa questão dos o OPS para os navios no futuro, ou seja, da energia elétrica para os navios. Está previsto vários terminais de apoio às eólicas offshore. "O incentivo também que os navios e os camiões, ao comboio também. "Caminhões menos poluentes ou elétricos", "além dos equipamentos elétricos, portanto, será à volta disto".
Porto B	"Investimentos e implementação de novos sistemas tecnológicos", "fontes de energia renovável solar", " painéis fotovoltaicos", energia eólica. ".. os novos combustíveis". "...nós queremos ser 100% autossuficientes, termos produção de fontes de energia renovável e conseguimos em todos os períodos do Porto (365 dias por ano, 24 horas)" "construir no futuro uma comunidade para conseguimos também importar, exportar energia, elétrica..."
Porto C	"...estabeleceu metas ambiciosas, visando a neutralidade carbónica até 2035, adiantando-se às metas europeias em 15 anos, e ambicionando a autossuficiência energética. Estamos otimistas de que atingiremos as metas a que nos propusemos..."
Porto D	"Através do desenvolvimento dos projetos que já foram referidos" "Incentivar os operadores e os navios a adotar medidas de redução de emissões .."

3.4.3.2 Análise das Entrevistas

Com base nas análises das entrevistas foram relevados outros aspetos principais que apresentam pontos comuns e divergentes nas perceções e abordagens sobre a implementação do *Carbon Intensity Indicator* (CII) por parte dos gestores portuários portugueses.

Os quatro portos analisados destacam que o *Carbon Intensity Indicator* (CII) tem potencial de ser um regulamento para o setor marítimo que contribuirá para uma efetiva redução das emissões de carbono e para o alinhamento das operações portuárias com as metas globais de descarbonização da IMO e pela União Europeia (UE), tal como destacado pelo Porto B “É bastante importante e mais um passo importante naquilo que é descarbonização dos portos e do setor marítimo...”. A visão compartilhada pelos entrevistados reflete as observações da literatura, que reconhece o CII como um marco regulatório essencial para guiar o setor marítimo rumo a práticas mais sustentáveis(ESPO, 2024c).

Entretanto, ainda não é unanimidade a adoção do CII como principal indicador voltado para a monitorização de emissões de CO₂ e o promotor de incentivo á adoção de medidas voltadas para a eficiência energética.

Os portos destacaram a necessidade urgente de modernizar suas infraestruturas para atender às exigências do CII, enfatizando os investimentos em tecnologias de monitorização de emissões e em sistemas de energia limpa. Um exemplo concreto dessa adaptação foi dado pelo Porto D, que mencionou a implementação do *Onshore Power Supply* - “Estamos a implementar o sistema OPS para navios de cruzeiros e navios de carga”, permitindo que navios desliguem seus motores auxiliares enquanto atracados, reduzindo assim as emissões de carbono. Dentre todos os entrevistados já se encontram em andamento o projeto de implementação do OPS em suas instalações. Contudo, o porto A apontou como um grande desafio "essencialmente os custos que isso tudo tem...”.

Outra medida já praticada pelos Portos, são os incentivos financeiros oferecidos a navios certificados, através da redução das taxas portuárias, o que evidencia o compromisso com práticas sustentáveis. Os portos A e D destacaram que a aplicação se equivale a um “Prémio Verde” aos navios que emitem menos CO₂ em suas operações.

Essas iniciativas estão alinhadas com a literatura, que ressalta a importância de os portos adaptarem suas infraestruturas para o uso de combustíveis alternativos e fontes de energia renovável, e o estímulo a adoção de navios eficiente através de aplicação de taxas de redução de serviços, garantindo assim a eficiência energética e o cumprimento das metas ambientais.

A necessidade de parcerias interinstitucionais e colaborações estratégicas foi outro ponto amplamente reconhecido pelos entrevistados. Tanto Porto A quanto Porto B e Porto C ressaltaram que o sucesso da implementação do CII dependerá da sinergia entre vários *stakeholders*, incluindo armadores, fornecedores marítimos e órgãos governamentais. Isso reflete uma visão colaborativa, essencial para superar os desafios de descarbonização nas operações portuárias, como também sustentado na literatura (RoyalHDHV, 2022).

A colaboração entre diferentes atores é vista como uma estratégia indispensável para que os portos possam atingir as metas estabelecidas pela IMO e pela UE, e assegurar que a transição para práticas mais verdes seja eficiente e integrada, entretanto, esse é um fator apontado como uma das dificuldades no avanço de medidas mais consistentes voltadas para eficiência energética, pelo porto B ", "certeza absoluta que o maior desafio é a parte do setor dos navios". "Onde está aqui num limbo muito grande".

Entre os principais pontos de concordância diz respeito sobre que todos os portos reconhecem a necessidade de realizar grandes investimentos em infraestrutura e tecnologia para atender às exigências para contribuir pelo setor a melhor classificação pelo CII aos donos de navio. No entanto, a obtenção de financiamento para esses investimentos foi apontada como um dos maiores desafios, pelos Portos A e D, como destacado pelo Porto A "essencialmente os custos que isso tudo tem são muito altos...".

Além disso, todos os entrevistados enfatizaram a necessidade de uma coordenação clara entre os *stakeholders* envolvidos nas operações portuárias. A ausência de uma estratégia colaborativa bem definida tem sido um desafio significativo, dificultando a implementação eficaz do CII em um setor tão diversificado e complexo como o marítimo. A falta de uma estratégia coordenada pode comprometer os esforços para se alcançar as metas globais de descarbonização, conforme indicado tanto pelos entrevistados quanto pela literatura (Unctad, 2022).

No que diz respeito às perspectivas futuras, os entrevistados acreditam que as medidas para a redução das emissões de gases de efeito de estufa nas operações portuárias irão influenciar diretamente a competitividade dos portos. Além disso, os participantes destacaram que a adaptação da infraestrutura portuária para atender à procura crescente de combustíveis alternativos e energias renováveis será fundamental para garantir que as operações portuárias estejam alinhadas com as exigências ambientais globais (Klopott *et al.*, 2023).

Por fim, os entrevistados ressaltaram que o CII, embora desafiador, oferece uma oportunidade única de reconfigurar o papel dos portos na cadeia logística global. Um insight interessante revelado pelas entrevistas é a percepção do CII como uma oportunidade de reposicionamento estratégico para os portos. No Porto B, por exemplo, o entrevistado destacou que o CII representa uma oportunidade para o porto se tornar um *hub* global de energia renovável, já que investimentos em energia solar e eólica estão em andamento e para o Porto D o potencial benefício econômico é o de aumentar a aceitação social e política da população da localização na qual esta inserida. Esses *insights* refletem uma visão otimista do papel que os portos podem desempenhar na transição energética global, alinhando-se com a literatura, que

vê os portos como facilitadores da mudança para uma economia de baixo carbono (ESPO, 2024c).

3.5 Estratégias Adoção CII nos Portos Portugueses

Com base nos resultados identificados no quadro 5, foram sugeridas estratégias baseadas na **Matriz TOWS**, que de acordo com Pasaribu *et al.* (2023) são elaboradas com base nas seguintes categorias: SO (relaciona oportunidades com as forças), WO (minimizando fraquezas explorando oportunidades), ST (superando ameaças com pontos fortes) e WT (atividades defensivas para minimizar fraquezas e evitar ameaças), onde foram cruzados os fatores e identificadas as seguintes sugestões estratégicas (quadros 8 a 13):

Quadro 8: Estratégias para adoção do CII com base no fator político

Fator Político x SWOT	
SWOT	Ações Estratégicas
SO (Forças e Oportunidades)	Explorar a localização geoestratégica dos portos ibéricos e o apoio regulatório da UE para incentivar a atração de investimentos em infraestruturas verdes e combustíveis alternativos.
	Parcerias com a UE para fortalecer a posição competitiva e aceder a fundos de descarbonização.
WO (Fraquezas e Oportunidades)	Modernizar infraestruturas antigas através de financiamento da UE para atender às normas de descarbonização da IMO.
	Implementar políticas que incentivem o investimento privado em tecnologias verdes, mitigando a falta de inovação
ST (Forças e Ameaças)	Utilizar a localização estratégica dos portos para compensar o impacto dos custos adicionais de adaptação às novas normas
	Reforçar a colaboração com entidades europeias para enfrentar a pressão regulatória de prazos.
WT (Fraquezas e Ameaças)	Desenvolver uma agenda política que direcione mais recursos para inovação e adaptações tecnológicas, minimizando a ameaça de custos elevados de conformidade regulatória.
	Criar incentivos fiscais para modernizar infraestruturas antigas, : reduzindo riscos de conformidade e custo

Quadro 9: Estratégias para adoção do CII com base no fator económico

Fator Económico x SWOT	
SWOT	Ações Estratégicas
SO (Forças e Oportunidades)	Alavancar o aumento da demanda por transporte sustentável para diferenciar os portos portugueses como hubs de sustentabilidade, atraindo novos negócios
	Explorar a possibilidade de receitas adicionais com serviços sustentáveis, aproveitando a crescente procura por práticas ecológicas.
	Atrair investidores para modernização, com foco em portos de menor tráfego e baixa margem de lucro, oferecendo serviços sustentáveis como diferencial

WO (Fraquezas e Oportunidades)	Buscar financiamentos para reduzir o custo de implementação de tecnologias de Cold Iron e OPS.
ST (Forças e Ameaças)	Utilizar parcerias estratégicas para dividir custos altos de adaptação e resistir à volatilidade dos custos de transporte.
	Desenvolver programas de capacitação para reduzir impacto de altos investimentos em novas operações.
WT (Fraquezas e Ameaças)	Diversificar as fontes de receita para compensar a dependência de modelos económicos antigos e incertezas no transporte.
	Reduzir impacto de tarifas altas através de modelos de parceria e otimização operacional.

Quadro 10: Estratégias para adoção do CII com base no fator social

Fator Social x SWOT	
SWOT	Ações Estratégicas
SO (Forças e Oportunidades)	Desenvolver campanhas que demonstrem os benefícios das práticas sustentáveis dos portos, alinhando com a conscientização pública.
	Utilizar a capacidade adaptativa para atrair a atenção de <i>stakeholders</i> sociais e promover práticas <i>eco-friendly</i> .
WO (Fraquezas e Oportunidades)	Mitigar preocupações com emprego local oferecendo capacitação para tecnologias verdes e novas operações portuárias.
	Reforçar a comunicação entre <i>stakeholders</i> para reduzir resistência das comunidades locais.
ST (Forças e Ameaças)	Envolver a comunidade em iniciativas sustentáveis para criar aceitação em torno da transição tecnológica.
	Implementar estratégias de sensibilização para desmistificar a transição portuária.
WT (Fraquezas e Ameaças)	Investir em campanhas para aumentar o apoio à modernização das operações, reduzindo a resistência local
	Promover programas de comunicação para envolver <i>stakeholders</i> e superar barreiras culturais.

Quadro 11: Estratégias para adoção do CII com base no fator tecnológico

Fator Tecnológico x SWOT	
SWOT	Ações Estratégicas
SO (Forças e Oportunidades)	Acelerar a adoção de IA e digitalização para reforçar a eficiência operacional e reduzir emissões
	Implementar gémeos digitais e automação em portos estratégicos para otimizar operações.
WO (Fraquezas e Oportunidades)	Mitigar o déficit de integração tecnológica desenvolvendo parcerias com empresas de inovação.
	Fortalecer a capacitação técnica dos operadores para suportar tecnologias de OPS e automação.
ST (Forças e Ameaças)	Utilizar a vantagem tecnológica para responder rapidamente a pressões ambientais e regulatórias.
	Incentivar inovação através da criação de uma infraestrutura flexível que permita rápida adaptação a regulamentações.
	Criar um plano de integração que torne as novas tecnologias mais acessíveis, minimizando a resistência.

WT (Fraquezas e Ameaças)	Desenvolver uma política de atualização contínua para que os portos estejam alinhados com os avanços tecnológicos.
-------------------------------------	--

Quadro 12: Estratégias para adoção do CII com base no fator ecológico

Fator Ecológico x SWOT	
SWOT	Ações Estratégicas
SO (Forças e Oportunidades)	Explorar o novo papel direcionado aos portos na transição para combustíveis alternativos para se posicionar como líder na sustentabilidade marítima.
	Adotar práticas de economia circular para fortalecer a imagem ecológica dos portos portugueses.
WO (Fraquezas e Oportunidades)	Mitigar desafios de gestão de resíduos investindo em tecnologias avançadas de reciclagem e tratamento.
	Reforçar a infraestrutura ecológica para lidar com as procuras ambientais, reduzindo riscos de não conformidade.
ST (Forças e Ameaças)	Adotar práticas ecológicas para contrabalançar as ameaças regulatórias e posicionar os portos como ecologicamente responsáveis.
	Adotar tecnologias limpas para enfrentar a pressão ambiental crescente e minimizar os impactos ecológicos.
WT (Fraquezas e Ameaças)	Ampliar o sistema integrado de gestão ambiental para reduzir o impacto dos riscos ecológicos, com a adesão das infraestruturas de combustíveis sustentáveis
	Criar parcerias com entidades ambientais para ampliar as práticas de gestão sustentável nos portos.

Quadro 13: Estratégias para adoção do CII com base no fator legal

Fator Legal x SWOT	
SWOT	Ações Estratégicas
SO (Forças e Oportunidades)	Utilizar conformidade regulatória para obter incentivos fiscais e subsídios.
	Antecipar futuras legislações para manter vantagem competitiva e atrair investimentos.
WO (Fraquezas e Oportunidades)	Investir em assessoria jurídica para garantir conformidade com novos regulamentos internacionais.
	Aceder a financiamento para modernizar tecnologias em conformidade com requisitos legais.
ST (Forças e Ameaças)	Posicionar a conformidade como vantagem competitiva para enfrentar ameaças externas.
	Colaborar com órgãos reguladores para influenciar e se adaptar a exigências futuras.
WT (Fraquezas e Ameaças)	Implementar um programa de <i>compliance</i> para prevenir sanções regulatórias e minimizar riscos.
	Criar um plano de mitigação para reduzir o impacto de multas e adequar operações às exigências legais.

A avaliação estratégica propõe medidas para ajudar os portos a cumprirem os requisitos ambientais globais, com foco na adaptação ao Indicador de Intensidade Carbónica (CII). As

estratégias visam transformar desafios em vantagens competitivas sustentáveis, mitigar os riscos regulatórios e de mercado, e promover a eficiência operacional e o compromisso com a sustentabilidade portuária.

4. LIMITAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Apesar das contribuições desta pesquisa para a compreensão do impacto do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nas operações portuárias e marítimas, algumas limitações precisam ser reconhecidas. A principal delas foi o acesso restrito a dados operacionais detalhados, uma vez que informações sobre emissões e custos são protegidas por confidencialidade corporativa. Isso forçou a pesquisa a depender predominantemente de entrevistas qualitativas, limitando a profundidade das análises quantitativas. Outra limitação significativa foi a amostra de entrevistados, que incluiu apenas representantes dos quatro maiores portos de Portugal. Embora esses portos sejam relevantes, a amostra restrita não reflete a diversidade de experiências que podem ser encontradas em outros portos, tanto nacionais quanto internacionais. Isso restringe a aplicabilidade das conclusões a outros contextos com diferentes desafios e infraestruturas.

A constante evolução das regulamentações internacionais, como as políticas da Organização Marítima Internacional (IMO), também foi um fator limitador. Durante o período de pesquisa, muitas dessas regulamentações estavam ainda em fase de implementação, o que pode afetar a relevância temporal dos dados recolhidos e das percepções obtidas.

A pesquisa também se restringiu geograficamente aos portos portugueses, limitando a possibilidade de extrapolar os resultados para outras regiões com diferentes infraestruturas e contextos económicos. Esse foco restrito pode não capturar as complexidades culturais e regulatórias que influenciam a implementação do CII em outros países. Além disso, a escassez de análises sobre as respostas operacionais e tecnológicas dos portos foi uma limitação significativa. A falta de dados mais detalhados sobre essas adaptações limita a análise das soluções tecnológicas implementadas para melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões nas operações portuárias.

Por fim, a ausência de uma maior variedade de *stakeholders*, como armadores e especialistas em tecnologia sustentável, limitou a análise. A inclusão dessas vozes poderia ter oferecido uma visão mais completa dos desafios e oportunidades relacionados ao CII, especialmente no que tange às inovações tecnológicas e adaptações operacionais dos portos para cumprir os novos requisitos. Perante estas limitações, embora os resultados obtidos ofereçam contribuições ao campo de estudo, há uma clara necessidade de futuras investigações que possam ampliar o objetivo desta pesquisa, explorando diferentes categorias de portos, modelos de governança e contextos geográficos.

Para além, estudos futuros são essenciais para ampliar a compreensão sobre o impacto do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nas operações portuárias e marítimas, especialmente em

um cenário de mudanças rápidas nas regulamentações ambientais e no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. Embora esta pesquisa tenha abordado questões cruciais sobre a implementação do CII, muitas áreas permanecem inexploradas, criando um campo fértil para investigações adicionais que possam responder a questões emergentes sobre a eficácia e os desafios dessa regulamentação.

Dada a complexidade do CII e sua conexão com regulamentações ambientais e o uso de combustíveis renováveis, futuras pesquisas devem considerar uma análise aprofundada sobre a correlação entre o CII e as opções de combustíveis sustentáveis. Além disso, é importante explorar como uma maior cooperação entre portos e companhias marítimas pode viabilizar a escolha de infraestruturas que facilitem a adoção desses combustíveis. As lacunas identificadas na presente pesquisa oferecem várias oportunidades para investigação futura em diversas áreas.

Inicialmente, um campo de estudo para maior aprofundamento seria uma exploração mais detalhada das perspectivas dos diferentes *stakeholders*, como outros portos, armadores, operadores logísticos e reguladores no período pós regulamentação do CII implementado, pois sem essa visão holística, a implementação do CII pode gerar tensões entre as partes envolvidas, além de limitar a eficácia das políticas adotadas. Estudos com essa abordagem seriam particularmente úteis para entender como o CII influencia o alinhamento estratégico entre as partes envolvidas e quais adaptações são necessárias para melhorar a sua aceitação.

Além disso, existe uma carência de estudos que investiguem o impacto do CII em portos menores e em economias emergentes. A maioria dos estudos existentes concentra-se em grandes portos de economias desenvolvidas, onde os recursos são mais abundantes. Pesquisas que investiguem o impacto do CII em contextos de menor capacidade financeira permitirão uma visão mais equitativa, considerando as adaptações e o suporte que esses portos e economias podem precisar para cumprir com as regulamentações sem prejudicar sua competitividade.

Outro ponto importante a destacar é a falta de integração entre o CII e outras iniciativas ambientais globais, onde há poucos estudos que investiguem como este critério interage com outras regulamentações e políticas ambientais, no que a falta de sinergia entre essas iniciativas pode criar conflitos regulatórios e aumentar os custos para os operadores portuários e marítimos. Futuras pesquisas devem abordar essas interações para maximizar o impacto positivo do CII e reduzir os possíveis conflitos com outras medidas, principalmente, no contexto europeu para que não torne os portos portugueses menos atrativos.

Por fim, a falta de evidências sobre a viabilidade econômica da conformidade com o CII, e os impactos colaterais no comércio internacional, como o aumento dos custos logísticos e operacionais, também são áreas de investigação que precisam de maior atenção.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma análise abrangente da influência do *Carbon Intensity Indicator* (CII) nas operações portuárias e no setor marítimo. Os resultados obtidos mostram que o CII terá um impacto significativo nas operações marítimas e portuárias, alinhando-se às metas de descarbonização estabelecidas para 2050 pela IMO e reforçadas pela legislação da União Europeia (UE). Até 2024, as evidências indicam uma crescente aceitação dessa norma nas operações portuárias portuguesas, o que reflete uma mudança gradual no setor.

No contexto político, ficou evidente que Portugal precisa avançar rapidamente as suas estratégias voltadas para a transição energética e para a descarbonização dos portos. O desenvolvimento de políticas voltadas para o cumprimento das metas ambientais globais não pode ser adiado, pois a falta de uma resposta coordenada pode afetar a competitividade dos portos portugueses, uma vez que os principais portos na União Europeia estão orientados para uma rápida transição energética e com investimentos fortes em projetos voltados para práticas sustentáveis encontram-se na Suécia, Noruega, Espanha e o Reino Unido.

Os resultados indicam que a implementação de um plano estratégico nacional, integrando as medidas de eficiência energética, permitirá a Portugal posicionar-se como líder em sustentabilidade portuária, tal como outros portos europeus já avançaram.

As entrevistas com os gestores portuários também destacaram a necessidade de incluir todos os *stakeholders* — armadores, gestores de navios, transitários, fornecedores marítimos e entidades académicas — em todas as etapas de planeamento e implementação das estratégias portuárias. Essa abordagem colaborativa é fundamental para garantir que as metas de descarbonização sejam atingidas de maneira eficiente. O envolvimento contínuo desses grupos facilitará a adaptação tecnológica e a adoção de combustíveis alternativos, como o hidrogénio e a amónia, essenciais para o futuro das operações portuárias sustentáveis.

Um dos principais desafios identificados foi o custo elevado para modernizar as infraestruturas portuárias, especialmente para os portos de menor porte. A necessidade de financiamento a longo prazo e incentivos governamentais surge como uma solução viável para mitigar os desafios financeiros. Este estudo confirma que, embora o CII seja amplamente aceite como uma ferramenta essencial para mudanças positivas, sua implementação exige um planeamento estratégico robusto para que portos com menos recursos consigam atender às exigências da regulamentação.

Além disso, a análise SWOT revelou que, apesar dos custos elevados, a adaptação rápida ao CII pode proporcionar vantagens competitivas de longo prazo. Portos que investirem

na modernização de suas infraestruturas e no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, como o *Onshore Power Supply* (OPS), estarão mais bem posicionados para atrair negócios de armadores comprometidos com a descarbonização. Por outro lado, os portos que demorarem a adotar essas mudanças podem enfrentar dificuldades para cumprir as metas ambientais, afetando sua reputação e competitividade.

Em conclusão, o *Carbon Intensity Indicator* não é apenas um regulamento de medida operacional direcionado às embarcações, mas sim um potencial indicador para uma transformação maior no setor marítimo. Exige uma abordagem colaborativa entre as autoridades portuárias, armadores e partes interessadas para equilibrar os custos iniciais com os benefícios de longo prazo. À medida que o setor se adapta às novas exigências ambientais, espera-se que o CII desempenhe um papel central na transição para práticas mais sustentáveis e eficientes no transporte marítimo.

REFERÊNCIAS

- Abu Bakar, N. N., Bazmohammadi, N., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2023). Electrification of onshore power systems in maritime transportation towards decarbonization of ports: A review of the cold ironing technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113243>
- ACP. (2016). Terminais portuários e infraestruturas logísticas em Portugal_análise da oportunidade para construção de um novo terminal de águas profundas. <https://acec.pt/doc/terminais-portuarios-e-infraestruturas-logisticas-em-portugal-analise-da-oportunidade-para-construcao-de-um-novo-terminal-de-aguas-profundas/>
- Agyekum, E. B., Khan, T., Dankwa Ampah, J., Giri, N. C., Fendzi Mbasso, W., & Kamel, S. (2024). Review of the marine energy environment-a combination of traditional, bibliometric and PESTEL analysis. *Heliyon*, 10(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27771>
- Alamouh, A. S., Ölçer, A. I., & Ballini, F. (2022). Port greenhouse gas emission reduction: Port and public authorities' implementation schemes. *Research in Transportation Business and Management*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100708>
- Azarkamand, S., Wooldridge, C., & Darbra, R. M. (2020). Review of initiatives and methodologies to reduce CO2 emissions and climate change effects in ports. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Issue 11, pp. 1–17). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113858>
- Bardin, Laurence(2016). *Análise de Conteúdo*. Tradução Luis Antero Reto. São Paulo: Edições 70, 2016. 3º Reimpressão. Editora Almedina Brasil.
- Bayraktar, M., & Yuksel, O. (2023a). A scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index (EEXI) and carbon intensity indicator (CII) regulations. *Ocean Engineering*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114295>
- Bielenia, M., & Podolska, A. (2023). Carbon footprint generated by individual port websites. The missing idea in the concept of green ports. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1211454>
- Braidotti, L., Bertagna, S., Rappoccio, R., Utzeri, S., Bucci, V., & Marinò, A. (2023). On the inconsistency and revision of Carbon Intensity Indicator for cruise ships. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103662>

- Cariou, P., & Cheaitou, A. (2012). The effectiveness of a European speed limit versus an international bunker-levy to reduce CO₂ emissions from container shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(2), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.10.003>
- Christodoulou, A., & Cullinane, K. (2019). Identifying the main opportunities and challenges from the implementation of a port energy management system: A SWOT/PESTLE analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/su11216046>
- Chuah, L. F., Mokhtar, K., Mhd Ruslan, S. M., Bakar, A. A., Abdullah, M. A., Osman, N. H., Bokhari, A., Mubashir, M., & Show, P. L. (2023a). Implementation of the energy efficiency existing ship index and carbon intensity indicator on domestic ship for marine environmental protection. *Environmental Research*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115348>
- ClassNK. (2021). *Outlines of EEXI regulation EEDI Section of Marine GHG Certification Department*.
- ClassNK. (2023). *CII (Carbon Intensity Indicator). Marine GHG Certification Department*. (https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/seemp/CII_en.pdf)
- Comissão Europeia. (2021). *Regulamento do Parlamento Europeu do Conselho* EGULAMENTO DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. (https://ec.europa.eu/transport/media/media-corner/publications_en)
- Creswell, John W Research (2009). *Research Design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 3rd ed. Ed. SAGE Publications Ltd.
- Cullinane, K., & Haralambides, H. (2021). Global trends in maritime and port economics: the COVID-19 pandemic and beyond. In *Maritime Economics and Logistics* (Vol. 23, Issue 3, pp. 369–380). Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/s41278-021-00196-5>.
- deManuel-López, F., Díaz-Gutiérrez, D., Camarero-Orive, A., & Parra-Santiago, J. I. (2024). Iberian Ports as a Funnel for Regulations on the Decarbonization of Maritime Transport. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/su16020862>
- Dewan, M. H., & Godina, R. (2023a). Roles and challenges of seafarers for implementation of energy efficiency operational measures onboard ships. *Marine Policy*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105746>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

- Ejder, E., Dinger, S., & Arslanoglu, Y. (2024). Decarbonization strategies in the maritime industry: An analysis of dual-fuel engine performance and the carbon intensity indicator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114587>
- ESPO. (2019). *Environmental Report: EcoPorts in Sights 2019*. <https://www.espo.be/media/Environmental%20Report-2019%20FINAL.pdf>
- ESPO. (2022). *Annual Report 2022-2023_Europe Seaport Organizations*.
- ESPO. (2023). *ESPO Environmental Report 2023-EcoPorts in Sights*. (www.ecoslc.eu)
- ESPO. (2024a). *A Net-zero, smart, resilient, and competitive Europe: Europe's ports are part of solution*.
- ESPO. (2024b). *A net-zero, Smart, Resilient and Competitive Europe: Europe's Ports are part of the solution*.
- ESPO. (2024c). *The Investment Pipeline and Challenges of European Ports Report prepared for the European Sea Ports Organisation (ESPO), in cooperation with Peter de Langen*.
- Ghaforian Masodzadeh, P., Ölçer, A. I., Ballini, F., & Gonzalez Celis, J. (2024). Live carbon-tracking mechanism for ships, a methodology to mitigate uncertainties in the carbon intensity calculations. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.101004>
- Gianni, M., Pietra, A., Coraddu, A., & Taccani, R. (2022). Impact of SOFC Power Generation Plant on Carbon Intensity Index (CII) Calculation for Cruise Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/jmse10101478>
- Gibbs, D., Rigot-Muller, P., Mangan, J., & Lalwani, C. (2014). The role of sea ports in end-to-end maritime transport chain emissions. *Energy Policy*, 64, 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.024>
- Gray, N., O'Shea, R., Smyth, B., Lens, P. N. L., & Murphy, J. D. (2024). An assessment of decarbonisation pathways for intercontinental deep-sea shipping using power-to-X fuels. *Applied Energy*, 376. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124163>
- Halim, R. A., Kirstein, L., Merk, O., & Martinez, L. M. (2018). Decarbonization pathways for international maritime transport: A model-based policy impact assessment. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072243>
- Herdzik, J. (2023). Possibilities of Fulfillment and Consequences of Introducing the Carbon Intensity Indicator in International Shipping. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 25, 250–255. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.026>

- IMO. (2011). *MEPC.203(62). 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 (inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI)*.
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203%2862%29.pdf>
- IMO. (2016a). *IMO Data Collection System (DCS)*.
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Data-Collection-System.aspx>
- IMO. (2016b). *MEPC 282 70_Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)*. <https://edocs.imo.org/Final>
- IMO. (2017). *ANNEX 17 Resolution MEPC.293(71) (adopted on 7 July 2017) 2017 Guidelines for the development and management of the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database*.
- IMO. (2018). *Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships Contents*.
<http://www.imo.org>
- IMO. (2020). *Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020_ Full Report*.
- IMO. (2021a). *Cutting GHG emissions from shipping-10 years of mandatory rules*.
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/DecadeOfGHGAction.aspx>
- IMO. (2021b). *Guidelines on Survey and Certification of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)*.
- IMO. (2021c). *MEPC.336(76)- Guidelines on Operational Carbon Intensity Indicators and the Calculation Methods (CII Guidelines, G1)*.
- IMO. (2021d). *MEPC.337(76) Guidelines on the reference lines for use with Operational Carbon Intensity Indicators (CII Reference Lines Guidelines, G2)*.
- IMO. (2021e). *MEPC.337(76)-2021 Guidelines on the reference lines for use with Operational Carbon Intensity Indicators (CII Reference Lines Guidelines, G2)*.
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx>
- IMO. (2021f). *MEPC.338(76) Guidelines on the operational carbon intensity reduction factors relative to reference lines (CII Reduction Factor Guidelines, G3)*.
- IMO. (2021g). *MEPC.338(76)-Guidelines on the operational carbon intensity reduction factors relative to reference lines (CII Reduction Factor Guidelines, G3)*.
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx>

- IMO. (2021h). *MEPC.339(76)-2021 Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII Rating Guidelines, G4)*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx>
- IMO. (2022a). *Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index(EEDI)*.
- IMO. (2022b). *MEPC.352(78)-2022 Guidelines on Operational Carbon Intensity Indicators and the Calculation Methods (CII Guidelines, G1)*. <https://www.ccs.org.cn/ccswzen//articleDetail?id=202212210561846752>
- IMO. (2022c). *MEPC.353(78) 2021 Guidelines on the reference lines for use with operational carbon intensity indicators (CII Reference Lines Guidelines, G2)*.
- IMO. (2022d). *MEPC.355(78) Interim Guidelines on correction factors and voyage adjustments for CII calculations (CII GUIDELINES, G5)*.
- IMO. (2023a). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*[OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx). <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
- IMO. (2023b). *IMO's work to cut GHG emissions from ships Acting to cut emissions from ships*.<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>
- IMO. (2023c). *Revised GHG reduction strategy for global shipping adopted*. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted-.aspx>
- Jimenez, V. J., Kim, H., & Munim, Z. H. (2022). A review of ship energy efficiency research and directions towards emission reduction in the maritime industry. *Journal of Cleaner Production*, 366. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132888>
- Kim, H., Yeo, S., Lee, J., & Lee, W. J. (2023a). Proposal and analysis for effective implementation of new measures to reduce the operational carbon intensity of ships. *Ocean Engineering*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114827>
- Kim, J.-S., & Choi, J.-H. (2023a). A study on analysis of green house gaseous emitted from ships through operation information. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 7(2–3). <https://doi.org/10.1080/25725084.2023.2234163>

- Kim, S. W., & Eom, J. O. (2023b). Ship Carbon Intensity Indicator Assessment via Just-in-Time Arrival Algorithm Based on Real-Time Data: Case Study of Pusan New International Port. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813875>
- Klopott, M., Popek, M., & Urbanyi-Popiołek, I. (2023). Seaports' Role in Ensuring the Availability of Alternative Marine Fuels—A Multi-Faceted Analysis. *Energies*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/en16073055>
- Lee, S. S. (2024a). Analysis of the effects of EEDI and EEXI implementation on CO2 emissions reduction in ships. *Ocean Engineering*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116877>
- Lee, S. S. (2024b). Evaluating the safety of the redesigned shafting system following the propeller redesign aimed at enhancing CII and EEXI. *Results in Engineering*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102352>
- Mallouppas, G., & Yfantis, E. A. (2021). Decarbonization in Shipping industry: A review of research, technology development, and innovation proposals. In *Journal of Marine Science and Engineering* (Vol. 9, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/jmse9040415>
- Marrero, Á., & Martínez-López, A. (2023). Decarbonization of Short Sea Shipping in European Union: Impact of market and goal based measures. *Journal of Cleaner Production*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138481>
- Martínez-López, A., Ballester-Falcón, P., Mazorra-Aguiar, L., & Marrero, A. (2023). Solar photovoltaic systems for the Short Sea Shipping's compliance with decarbonization regulations in the European Union. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103506>
- Monios, J., Wilmsmeier, G., Tello, G. A. M., & Pomaska, L. (2024). A new conception of port governance under climate change. *Journal of Transport Geography*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103988>
- Monios, Jason., Notteboom, D. Theo., Wilmsmeier, Gordon., & Rodrigue, J.-P. (2016). *PortReport-No 1-2016-4*
- Pasaribu, R. D., Shalsabila, D., & Djatmiko, T. (2023). Revamping business strategy using Business Model Canvas (BMC), SWOT analysis, and TOWS matrix. *Heritage and Sustainable Development*, 5(1), 1–18. <https://doi.org/10.37868/hsd.v5i1.125>
- Psaraftis, H. N., & Zis, T. (2021). Impact assessment of a mandatory operational goal-based short-term measure to reduce GHG emissions from ships: the LDC/SIDS case study.

- International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 21(3), 445–467.
<https://doi.org/10.1007/s10784-020-09523-2>
- Puig, M., Wooldridge, C., Darbra, R. M., & Chair, E. (n.d.). *ESPO Environmental Report- EcoPorts in Sights 2022 3 PREPARED BY*. www.ecoslc.eu
- Rauca, L., & Batrinca, G. (2023a). Impact of Carbon Intensity Indicator on the Vessels' Operation and Analysis of Onboard Operational Measures. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151411387>
- Rehmatulla, N., Calleya, J., & Smith, T. (2017). The implementation of technical energy efficiency and CO2 emission reduction measures in shipping. *Ocean Engineering*, 139, 184–197. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.04.029>
- Roberto, P., Valle, D., De, J., & Ferreira, L. (2023). *Content Analysis in the perspective of bardin: contributions and limitations for qualitative research in education*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.7697>
- RoyalHDHV. (2022). *The new energy landscape Impact on and implications for European ports*.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sou, W. S., Goh, T., Lee, X. N., Ng, S. H., & Chai, K.-H. (2022). Reducing the carbon intensity of international shipping – The impact of energy efficiency measures. *Energy Policy*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113239>
- Sun, L., Wang, X., Lu, Y., & Hu, Z. (2023). Assessment of ship speed, operational carbon intensity indicator penalty and charterer profit of time charter ships. *Heliyon*, 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20719>
- Torraco, R. J. (2005). Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Tran, T. T., Browne, T., Veitch, B., Musharraf, M., & Peters, D. (2023). Route optimization for vessels in ice: Investigating operational implications of the carbon intensity indicator regulation. *Marine Policy*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105858>
- Unctad. (2022). *Review of Maritime Transport 2022*. <https://unctad.org/rmt2022>
- UNEP. (2019a). *Emissions gap report 2019_United Nations Environment Programme (2019)*. UNEP. https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019?_ga=2.161391669.944065394.1727026830-127901379.1709135354

- UNEP. (2019b). *How climate change is making record-breaking floods the new normal*. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-climate-change-making-record-breaking-floods-new-normal>
- Uzun, D., Okumus, D., Canbulat, O., Anil Gunbeyaz, S., Karamperidis, S., Hudson, D., Turan, O., & Allan, R. (2024). Port energy demand model for implementing onshore power supply and alternative fuels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104432>
- Wang, S., Psaraftis, H. N., & Qi, J. (2021). Paradox of international maritime organization's carbon intensity indicator. *Communications in Transportation Research*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2021.100005>
- Wei, Q., Liu, Y., Dong, Y., Li, T., & Li, W. (2023). A digital twin framework for real-time ship routing considering decarbonization regulatory compliance. *Ocean Engineering*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114407>
- Wiliyan, R., Made Ariana, I., & Widhi, D. (2023). Evaluation of Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) on Container Ship in Indonesian Shipping. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1198(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1198/1/012025>
- Yeremenko, K. (2022). International Maritime Organization and Decarbonization of Maritime Industry: Mandate and Instruments. *Lex Portus*, 8(3), 30–57. <https://doi.org/10.26886/2524-101X.8.3.2022.2>
- Young, J. C., Rose, D. C., Mumby, H. S., Benitez-Capistros, F., Derrick, C. J., Finch, T., Garcia, C., Home, C., Marwaha, E., Morgans, C., Parkinson, S., Shah, J., Wilson, K. A., & Mukherjee, N. (2018). A methodological guide to using and reporting on interviews in conservation science research. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 10–19. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12828>
- Yuan, Q., Wang, S., & Peng, J. (2023a). Operational efficiency optimization method for ship fleet to comply with the carbon intensity indicator (CII) regulation. *Ocean Engineering*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115487>
- Zhang, Q., Guan, H., Chen, S., & Wan, Z. (2024). Towards decarbonization: How EEXI and CII regulations affect container liner fleet deployment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104277>
- Zincir, B. (2023). Slow steaming application for short-sea shipping to comply with the CII regulation. *Brodogradnja*, 74(2), 21–38. <https://doi.org/10.21278/brod74202>

APÊNDICE A – GUIÃO DE ENTREVISTA

Data:

Breve contextualização sobre o tema da entrevista: “A Influência do Índice de Intensidade de Carbono na Estratégia de Descarbonização do Transporte Marítimo e seus Efeitos no Sector Portuário”.

Perguntas:

Nome:

Qual a sua função:

Sector:

Bloco 1- Conhecimento sobre o CII

- A. Como o senhor descreveria o *Carbon Intensity Indicator* (CII), qual a sua relevância para o transporte marítimo e qual é o desafio para os portos?
- B. Na sua visão, qual é o potencial do CII para melhorar a eficiência energética das embarcações e, conseqüentemente, reduzir as emissões de gases de efeito estufa?

Bloco 2- Implementação do CII no Porto X

- C. O Porto X já implementou medidas para incentivar a utilização de navios mais eficientes em termos de energia? Se sim, poderia compartilhar algumas dessas iniciativas?
- D. Quais são os principais desafios enfrentados na implementação do CII no Porto X e como a administração portuária está lidando com esses desafios?
- E. Existem parcerias ou programas em andamento com empresas de transporte marítimo para incentivar a utilização de navios mais eficientes?

Bloco 3- Impactos nas operações portuárias:

- F. Como a eficiência energética dos navios afeta ou afetará as operações diárias do Porto X?
- G. Existem medidas específicas que estão sendo tomadas para mitigar os impactos das emissões de CO₂ e outras poluentes provenientes das operações portuárias?

Bloco 4- Aspectos económicos e regulatórios:

- H. Conhece quais são os benefícios económicos associados à adoção de medidas de eficiência energética no transporte marítimo e no Porto X?
- I. Como o Porto X está se adaptando às regulamentações e diretrizes internacionais relacionadas à eficiência energética e redução de emissões?

Bloco 5- Futuro da eficiência energética no Porto X

- J. Quais são os planos futuros do Porto X para reduzir as emissões relacionadas às operações de atendimento às embarcações?
- K. Na sua opinião, quais são os maiores desafios que o setor enfrenta atualmente em relação à descarbonização nas operações e como o Porto X planeja lidar com esses desafios no futuro?
- L. Por fim, quais são as perspectivas futuras do Porto X em relação à adoção de medidas de redução de emissões de gases e sustentabilidade das operações portuárias?