

Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ)
Superintendência de Estudos e Projetos Hidroviários (SEPH)

**DIAGNÓSTICO SOBRE DESCARBONIZAÇÃO NO SETOR
PORTUÁRIO, ABRANGENDO A ADEQUAÇÃO DOS PORTOS
BRASILEIROS NO QUE SE REFERE À RECEPÇÃO DE
EMBARCAÇÕES COM COMBUSTÍVEL VERDE,
PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA, ELETRIFICAÇÃO DE
EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS E SISTEMAS OPS.**

EIXO 3 – ESTUDO DE CASO

SUMÁRIO EXECUTIVO

AGENDA PLURIANUAL DE ESTUDOS 2021/2024

Brasília/DF

2025

Sumário

1	APRESENTAÇÃO	6
2	INTRODUÇÃO.....	8
2.1	OBJETIVOS	9
2.1.1	Objetivo Geral	9
2.1.2	Objetivos Específicos	9
3	METODOLOGIA	10
4	PRINCIPAIS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO.....	12
4.1	DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO... 13	13
4.2	TIPOS DE MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO	14
4.3	ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO EM ANDAMENTO	16
5	GUIA DE BOAS PRÁTICAS E RECOMENDAÇÕES PARA A DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR PORTUÁRIO BRASILEIRO.....	22
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
	REFERÊNCIAS	29

Listas de Figuras

Figura 1: Portos Selecionados para Estudo de Caso do Eixo 3.....	11
Figura 2: Estrutura metodológica e etapas do desenvolvimento do estudo do Eixo 3.....	12
Figura 3: Produtos do Eixo 3 em formato de linha do tempo	12
Figura 4: Danos diversos das mudanças climáticas.	14
Figura 5: Iniciativas de Transição Energética Identificadas no Eixo 3	18
Figura 6: Iniciativas de Eletrificação de Equipamentos identificados no Eixo 3	18
Figura 7: Iniciativas de uso de combustíveis do futuro identificadas no Eixo 3	20
Figura 8: Exemplo de Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC).....	23
Figura 9: Itinerário para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro (Parte 1)	24
Figura 10: Itinerário para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro (Parte 2).....	25
Figura 11: Itinerário para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro (Parte 3).....	26

Listas de Tabelas

Tabela 1: Histórico de visitas nos portos e terminais selecionados para os estudos de caso do Eixo 3	11
Tabela 2: Diferenciação das medidas de descarbonização regulatórias e voluntárias	15
Tabela 3: Desafios e Necessidades dos Porto e Terminais Portuários Selecionados.....	22

NÃO DIAGRAMADO

Listas de Siglas

ABDP	Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BMWE	Ministério Federal da Economia e Energia da Alemanha
CO2e	Dióxido de Carbono Equivalente
GEE	Gás de Efeito Estufa
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
H2Uppp	Programa Internacional de Incentivo ao Hidrogênio
H2V	Hidrogênio verde
IDA	Índice de Desempenho Ambiental
IMO	Organização Marítima Internacional
I-REC	<i>International Renewable Energy Certificate</i>
MARPOL	<i>International Convention for the Prevention of Pollution from Ships</i>
MoU	Memorando de Entendimento
MPOR	Ministério de Portos e Aeroportos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OPS	<i>On-shore Power Supply</i>
SBTi	<i>Science Based Targets initiative</i> (metas baseadas na ciência)

Diagnóstico sobre decarbonização no setor portuário, abrangendo a adequação dos portos brasileiros no que se refere à recepção de embarcações com combustível verde, produção de energia eólica, eletrificação de equipamentos portuários e sistemas OPS -Eixo 3
Sumário Executivo

RESUMO

O objetivo principal deste estudo é examinar e compartilhar as práticas adotadas pelos portos e terminais selecionados — os Portos Organizados de Santos, Paranaguá e Itaqui, além dos Terminais de Uso Privado do Açu e de Pecém — no que se refere à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), à promoção da transição energética, à implementação de estratégias de decarbonização e à aplicação de tecnologias baseadas em hidrogênio verde (H_2V). No tocante ao Sumário Executivo, inicialmente, são expostos os seus objetivos geral e específicos. Adiante, é abordada a metodologia utilizada neste trabalho, a qual baseou-se na metodologia adotada ao longo de todo o estudo, reunindo e organizando os principais resultados obtidos, sintetizando as informações conforme os obstáculos enfrentados na implementação das ações de decarbonização e as próprias estratégias propostas para promover a decarbonização. A seguir, são divulgados os principais resultados do Estudo de Caso. Na sequência, evidenciam-se os aspectos mais relevantes do Guia de Boas Práticas e Recomendações. Por fim, destacam-se as principais percepções obtidas ao longo de todo o estudo, em especial, no que se refere à relevância da liderança da ANTAQ e do MPOR para conduzir a transição energética no setor portuário brasileiro, com foco em fontes renováveis. Esse processo demanda estratégias inovadoras, regulação eficaz, investimentos estruturados e cooperação internacional, além de ações como diagnósticos de emissões, capacitação, monitoramento e incentivos. Tais esforços posicionam os portos nacionais para liderar a transformação sustentável e alinhar-se às melhores práticas globais, assegurando competitividade e resiliência futuras.

Palavras-chave: Portos. Terminais Portuários. Decarbonização. Transição Energética. Hidrogênio Verde.

Diagnosis on Decarbonization in the Port Sector, covering the Adaptation of Brazilian Ports regarding the Reception of Green Fuel Vessels, Wind Energy Production, Electrification of Port Equipment, and OPS Systems - Axis 3

ABSTRACT

The primary objective of this study is to examine and share the practices adopted by selected ports and terminals — the Organized Ports of Santos, Paranaguá, and Itaqui, as well as the Private Use Terminals of Açu and Pecém — with regard to reducing greenhouse gas (GHG) emissions, promoting the energy transition, implementing decarbonization strategies, and applying green hydrogen (H_2V)-based technologies. Regarding the Executive Summary, it begins by presenting its general and specific objectives. Subsequently, the methodology employed in this study is discussed, which is aligned with the overall approach adopted throughout the research. This methodology involved gathering and organizing the main findings, synthesizing the information according to the challenges encountered in implementing decarbonization actions and the strategies proposed to advance decarbonization. Next, the main results of the Case Study are presented. This is followed by a summary of the most relevant aspects of the Guide to Good Practices and Recommendations. Finally, the study highlights key insights gained throughout the research, particularly the crucial role of ANTAQ and MPOR in leading the energy transition of the Brazilian port sector toward the use of renewable sources. This transition requires innovative strategies, effective regulation, structured investments, and international cooperation, along with actions such as emissions diagnostics, capacity building, monitoring, and incentives. These efforts position Brazilian ports to lead the sustainable transformation and align with global best practices, ensuring future competitiveness and resilience.

Keywords: Ports. Port Terminals. Decarbonization. Energy Transition. Green Hydrogen.

1 APRESENTAÇÃO

Trata-se do sumário executivo relativo ao projeto designado "P38 - Diagnóstico sobre descarbonização no setor portuário, abrangendo a adequação dos portos brasileiros no que se refere à recepção de embarcações com combustível verde, produção de energia eólica, eletrificação de equipamentos portuários e sistemas OPS", constante da Agenda Plurianual de Estudos - 2021/2024, aprovada pelo [Acórdão nº 115-2024-ANTAQ](#), como um dos itens do planejamento institucional que visa dar transparência e previsibilidade à competência legal da Agência na produção de estudos e geração de conhecimento sobre o setor regulado de forma a reduzir as assimetrias de informação entre a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e os agentes econômicos regulados.

Como os demais estudos contidos na citada Agenda, este tem o condão de subsidiar com maior confiabilidade as decisões regulatórias da Agência que envolvam a matéria, produzindo evidências mais assertivas, robustas e eficazes. Nesse contexto, integra a sequência de estudos prescritos à Gerência Especial de Estudos da Superintendência de Estudos e Projetos Hidroviários (GEE/SEPH), destinados a desenvolver conhecimento e agregar valor às diversas competências exercidas por outras setoriais técnicas da ANTAQ.

Este sumário também é resultado da cooperação entre a ANTAQ e a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), por meio do Programa Internacional de Incentivo ao Hidrogênio (H2Uppp)¹, financiado pelo Ministério da Economia e Ação Climática (BMWK) da Alemanha. Seu objetivo é avaliar as iniciativas de descarbonização e projetos de hidrogênio verde e derivados nos portos e terminais portuários brasileiros, e suas adequações para receber embarcações com combustível verde, produzir energia renovável, eletrificar equipamentos portuários e instalar sistemas *On-shore Power Supply* (OPS)², entre outras iniciativas correlatas.

O Projeto P38 foi subdividido em três eixos analíticos principais:

- a) Eixo 1: Revisão da Experiência Internacional;

¹ O Programa Internacional de Incentivo ao Hidrogênio (H2Uppp) do Ministério Federal da Economia e Energia (BMWE) da Alemanha promove projetos e o desenvolvimento do mercado do hidrogênio verde em países emergentes e em desenvolvimento, como parte da Estratégia Nacional para o Hidrogênio.

² Sistemas OPS são sistemas que fornecem energia elétrica às embarcações, por meio da rede elétrica terrestre, enquanto atracados. Quando atracados, as embarcações utilizam seus motores auxiliares, geralmente movidos a diesel, para gerar eletricidade.

- b) Eixo 2: Diagnóstico da Descarbonização dos Portos, Infraestrutura e Aplicações de Hidrogênio nos Portos;
- c) Eixo 3: Estudo de Caso.

O Eixo 1 foi elaborado pela ANTAQ e teve como foco o levantamento das principais ações regulatórias implementadas pela Organização Marítima Internacional (IMO) e por outras nações, visando a diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no setor de transporte marítimo. O eixo também proporcionou uma contextualização das iniciativas para a descarbonização das atividades das embarcações e da operação portuária.

O Eixo 2 foi desenvolvido pela Cooperação Brasil-Alemanha - GIZ, com foco no Diagnóstico de Descarbonização, Infraestrutura e o uso do Hidrogênio nos Portos. Seus propósitos incluem avaliar como as infraestruturas portuárias estão preparadas para receber embarcações que utilizam combustíveis de zero carbono, mapear iniciativas voltadas para a redução de emissões nos portos, identificar o potencial do hidrogênio verde para fins de exportação e desvinculação de carbono, além de elaborar um guia de recomendações a partir desse diagnóstico. A elaboração do diagnóstico contou com a colaboração da ANTAQ e do Ministério dos Portos e Aeroportos (MPOR).

Os Eixos 1 e 2 já foram concluídos e estão disponíveis nos sites da ANTAQ e da GIZ.

O presente relatório trata do Eixo 3, mais especificamente sobre Sumário Executivo, que compila os pontos mais importantes da contextualização, metodologia, resultados, conclusões e recomendações, o qual foi realizado com base em aplicação de questionário, entrevistas semiestruturadas com representantes dos portos organizados e terminais de uso privado selecionados (Porto Organizado do Itaqui/MA, Terminal de Uso Privado do Pecém/CE, Porto Organizado de Paranaguá/PR, Porto Organizado de Santos/SP e Terminal de Uso Privado do Açu/RJ), além de visitas técnicas para levantamento de campo.

Em relação ao Eixo 3, a ANTAQ celebrou um contrato com a empresa Envex Engenharia e Consultoria Ltda., registrado sob o número CONT-SAF-ANTAQ nº 08/2024, para realizar serviços de levantamento de dados e análise das práticas de portos e terminais portuários escolhidos. O objetivo é identificar medidas e iniciativas que promovessem a diminuição das emissões de GEE. Além disso, a empresa deve apresentar um guia com boas práticas e recomendações para apoiar o setor portuário na contribuição para a transição energética, focando na descarbonização do transporte marítimo, na infraestrutura e no uso de hidrogênio e seus derivados.

Adicionalmente, o Eixo 3 abrange o Relatório Consolidado Final da Análise das Experiências de Portos e Terminais Portuários Selecionados Quanto à Redução das Emissões

de Gases de Efeito Estufa, Transição Energética, Descarbonização e Aplicações De Hidrogênio Verde (ENVEK, 2025b), em sua versão completa, e o Guia de Boas Práticas e Recomendações para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro. (ENVEK, 2025a)

2 INTRODUÇÃO

O setor portuário é essencial para o comércio global e o desenvolvimento econômico, especialmente, em países como o Brasil, que dependem fortemente de cadeias de exportação e importação. Como centros logísticos e de transporte de mercadorias em larga escala, os portos e terminais portuários têm impacto direto na competitividade das economias e na eficiência das cadeias produtivas. Nesse contexto, a sustentabilidade das operações portuárias é crucial não apenas para a redução de custos logísticos, mas, também, para atender às crescentes demandas de descarbonização e mitigação de impactos ambientais que colocam os portos no centro dos esforços globais para combater as mudanças climáticas.

O processo de descarbonização do setor portuário brasileiro está alinhado às diretrizes internacionais de mitigação climática, como o Acordo de Paris (MCTI, 2021) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (NU, 2024). O compromisso do Brasil em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 59% e 67% até 2035, em comparação aos níveis de 2005, com vistas à neutralidade de emissões até 2050 (MMA, 2024), reforça a importância de soluções para reduzir o impacto ambiental das atividades portuárias. Objetivos de emissões líquidas zero até 2050 dificilmente serão alcançados sem a colaboração e o compromisso de todos os setores da economia na descarbonização de suas atividades (SBTi, 2020). Nesse cenário, a redução das emissões de GEE, a transição energética e a adoção de combustíveis limpos tornam-se pilares fundamentais para o desenvolvimento de um setor portuário mais sustentável e competitivo, ajudando o país a atingir essas metas.

Isso reforça a importância de soluções que reduzam o impacto ambiental das atividades portuárias. Nesse cenário, a redução das emissões de GEE, a transição energética e a adoção de combustíveis limpos são prementes para o desenvolvimento de um setor portuário mais sustentável e competitivo.

O processo de descarbonização envolve uma série de iniciativas, desde a elaboração de inventários de emissões até a adoção de tecnologias inovadoras e de combustíveis alternativos. Os inventários de emissões são categorizados nos escopos 1, 2 e 3 que permitem identificar as fontes de emissões e planejar suas reduções de forma eficaz. A transição energética, por sua

vez, busca substituir fontes de energia fósseis por alternativas renováveis, como a eletrificação de equipamentos e o fornecimento de energia em terra para embarcações atracadas, os chamados sistemas *On-shore Power Supply* (OPS) (ou, simplesmente, Sistema OPS), considerando que a energia elétrica seja de fonte renovável, como solar e eólica, para fornecer energia às embarcações. Em termos de vetores energéticos e combustíveis limpos, o hidrogênio verde (H_2V) é uma das soluções mais promissoras, especialmente, para setores de difícil eletrificação, como os setores marítimo e portuário (Silva et al. 2024).

Devido ao potencial do Brasil em produzir energia renovável, a aplicação do H_2V desponta como uma alternativa adequada para alcançar as metas brasileiras de descarbonização (Agência Senado, 2023). Adicionalmente, a sua produção em larga escala pode posicionar o Brasil como um líder mundial na produção e exportação dessa tecnologia (IEE USP, 2024; CREA-RJ, 2025).

Esse trabalho é, portanto, parte de um esforço maior para a formação de um setor portuário nacional mais limpo e eficiente, capaz de atender às demandas ambientais globais e aumentar sua competitividade no cenário internacional. A seguir estão especificados os objetivos que nortearam o Sumário em questão.

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

A motivação geral deste relatório é fornecer um panorama sobre as atividades realizadas e dos principais resultados obtidos no Eixo 3, em especial, quanto à análise e disseminação das experiências dos portos e terminais portuários selecionados — Porto Organizado do Itaqui/MA, Terminal de Uso Privado do Pecém/CE, Porto Organizado de Paranaguá/PR, Porto Organizado de Santos/SP e Terminal de Uso Privado do Açu/RJ — em relação às suas iniciativas de redução de emissões de GEE, transição energética, descarbonização e aplicação de H_2V .

2.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral supracitado, traçou-se os seguintes objetivos específicos:

- Reportar as principais iniciativas e estratégias de descarbonização e transição energética adotadas pelos portos selecionados;

- Elencar os desafios e oportunidades no processo de descarbonização destas instalações portuárias nacionais; e
- Destacar a relevância da aplicação de Hidrogênio Verde no setor portuário do país.

3 METODOLOGIA

O Sumário Executivo foi elaborado com base na metodologia adotada ao longo do estudo, reunindo e organizando os principais resultados obtidos. As informações obtidas durante o desenvolvimento do estudo foram sintetizadas e organizadas em duas categorias principais: os obstáculos enfrentados na implementação das ações de descarbonização e as próprias estratégias propostas para promover a descarbonização.

No Eixo 2, "Diagnóstico da Descarbonização dos Portos, Infraestrutura e Aplicações de Hidrogênio nos Portos", foi realizado o mapeamento das instalações portuárias brasileiras por meio de um questionário focado em 4 áreas: dados gerais, gestão de emissões de GEE, iniciativas de redução de emissões, e análise das oportunidades e desafios da infraestrutura portuária.

O Eixo 3 aprofundou as informações do Eixo 2, atualizando e reanalizando as respostas do questionário nas 5 instalações portuárias selecionadas pela ANTAQ, GIZ e MPOR (Figura 1). Essas instalações portuárias foram selecionadas devido as suas métricas no Índice de Desempenho Ambiental (IDA), por seus projetos em andamento em transição energética, bem como por suas experiências em descarbonização ou em aplicações de H₂V.

Figura 1: Portos Selecionados para Estudo de Caso do Eixo 3



Fonte: ENVEX (2025c).

Visitas técnicas às instalações portuárias selecionadas foram realizadas, conforme a Tabela 1. Essas visitas proporcionaram aprofundar os conhecimentos adquiridos no Eixo 2.

Tabela 1: Histórico de visitas nos portos e terminais selecionados para os estudos de caso do Eixo 3

Porto	Data	Responsável	Função
Porto Organizado do Itaqui/MA	29 e 30/07/2024	Luane Lemos	Gerente de Meio Ambiente
Terminal de Uso Privado do Pecém/CE	31 e 01/08/2024	Ieda Passos	Analista de Desenvolvimento Logístico
		Francisco Wilame	Gerente de Meio Ambiente
Porto Organizado de Paranaguá/PR	05 e 06/08/2024	Thales Trevisan	Gerente de Meio Ambiente
Terminal de Uso Privado do Açu/RJ	07 e 08/08/2024	Fernanda Sossai	Gerente Geral Desenvolvimento Portuário e ESG
Porto Organizado de Santos/SP	04 e 05/09/2024	Bruno Takano	Gerente de Sustentabilidade

Fonte: ENVEX (2025c).

Foram elaborados relatórios individuais sobre as instalações portuárias visitadas, focando em suas iniciativas de descarbonização. As informações obtidas no levantamento bibliográfico e nas visitas técnicas foram organizadas para fornecer um panorama geral da descarbonização do setor portuário brasileiro em seus desafios e oportunidades, seguindo as etapas e estrutura metodológica detalhadas na Figura 2. Esse esforço culminou na elaboração do Guia de Boas Práticas e Recomendações para redução de emissões de GEE, transição energética e uso de hidrogênio verde no setor, além de vários outros produtos, como mostrado na Fonte: ENVEX (2025c).

Figura 3.

Figura 2: Estrutura metodológica e etapas do desenvolvimento do estudo do Eixo 3.



Fonte: ENVELEX (2025c).

Figura 3: Produtos do Eixo 3 em formato de linha do tempo



Fonte: ENVELEX (2025c).

No capítulo a seguir, são apresentados, os principais resultados do Eixo 3.

4 PRINCIPAIS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Os resultados do estudo foram sintetizados e organizados neste tópico, separados em desafios para implementação das medidas de descarbonização; e quanto às medidas de descarbonização em si.

4.1 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO

No que tange a motivação do setor portuário para seu engajamento no processo de descarbonização, foi consensual entre os atores que usar tão somente os argumentos de pressões/acordos internacionais e questões ambientais não são suficientes para que as iniciativas de redução de emissão sejam efetivamente implementadas. Do ponto de vista prático, a descarbonização do setor portuário brasileiro é desafiadora, sobretudo, por questões econômicas, tecnológicas, regulatórias e mercadológicas que impactam as operações portuárias e de sua cadeia de valor. Inexoravelmente, esse processo de descarbonização implica diversas incertezas, tais como:

- Financeiras, uma vez que, geralmente, as ações de descarbonização geram mais custos do que receitas para as instalações portuárias;
- Tecnológicas, pois ainda há pouca disponibilidade de fornecedores de equipamentos elétricos e de sistemas OPS, o que torna algumas ações de descarbonização um investimento de alto risco e, portanto, de baixa atratividade para os tomadores de decisão, sobretudo, em contextos em que não há garantias de retorno financeiro no curto prazo ou incentivos regulatórios robustos que ancorem a seleção das medidas;
- Mercadológicos, uma vez que ainda existe uma indefinição de qual tecnologia irá substituir os combustíveis fósseis marítimos, bem como o fato de que algumas soluções, como o uso de HVO, muitas vezes não são implantadas por falta desse combustível em larga escala no mercado brasileiro; e
- Regulatório, pois a falta de um cronograma nacional, que estabeleça a substituição gradativa de combustíveis fósseis por metanol, ou outro vetor energético, dificulta o planejamento dos portos em preparar a infraestrutura necessária para o abastecimento dos navios com combustíveis alternativos em seus *píeres*.

A avaliação da questão financeira que envolve os investimentos para contenção das mudanças climáticas não poderia ignorar os custos indiretos desse fenômeno. Um estudo encomendado pelo governo alemão estimou que os danos financeiros das mudanças climáticas até o ano de 2050 vão acumular na Alemanha a soma entre 280 e 900 bilhões de euros (BMWK, 2023). No Brasil, a ANAC autorizou 426 milhões de reais somente para consertar os danos

ocorridos no aeroporto de Porto Alegre após as enchentes no primeiro semestre de 2024 (CNN, 2024).

Além dos danos financeiros, existem outros danos não quantificáveis monetariamente e, portanto, não incluídos nos números supracitados. Danos como mortes prematuras, perdas de saúde, de qualidade de vida, de biodiversidade, entre outros demonstrados na Figura 4. Quando se trata das mudanças climáticas, esses prejuízos são ainda mais relevantes e preocupantes. Não fazer a transição energética e não investir em descarbonização, de modo geral implica “pagar mais caro” em amplas esferas.

Figura 4: Danos diversos das mudanças climáticas.

	Danos materiais	Danos imateriais
Danos diretos	 <ul style="list-style-type: none"> • Casas e infraestrutura destruídas • Perda de produção industrial por falta de mão de obra • Perdas de colheitas • Perdas na silvicultura • Custos para o sistema de saúde 	 <ul style="list-style-type: none"> • Mortes • Danos à saúde • Perdas de bem-estar • Perdas na biodiversidade local • Comprometimento do ecossistema
Danos indiretos	 <ul style="list-style-type: none"> • Perda de produção por falta de insumos • Perdas de vendas por redução da demanda 	 <ul style="list-style-type: none"> • Perdas na biodiversidade global • Comprometimento da paisagem • Problemas emocionais pela perda ou danos causados de parentes • Instabilidade política

Fonte: Adaptada de Hirschfeld et al. (2021)

Em síntese: ações de mitigação são necessárias porque a alternativa de continuar operando como antes é mais onerosa do que os investimentos em descarbonização. Assim, todos os setores econômicos do país devem preparar-se para a redução de suas emissões de GEE, inclusive o setor portuário.

4.2 TIPOS DE MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO

Descarbonizar o setor portuário exige o desenvolvimento de ações estratégicas que visem regular as políticas de redução de emissões nacionais; reduzir custos logísticos ou operacionais; desenvolver tecnologias específicas; aumentar a competitividade internacional das instalações portuárias, bem como prepará-las para atender a um comércio exterior exigente e engajado no combate às mudanças do clima. Nesse cenário, o processo de descarbonização requer uma série

de iniciativas que envolvem desde a elaboração de inventários confiáveis de emissões até a eletrificação das operações portuárias e a utilização de combustíveis alternativos. As medidas de descarbonização podem ser diferenciadas em Medidas Regulatórias e Medidas Voluntárias, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2: Diferenciação das medidas de descarbonização regulatórias e voluntárias

Medidas Regulatórias	Medidas Voluntárias
<ul style="list-style-type: none"> •Têm grande impacto no setor marítimo; •Caráter obrigatório; e •Éxito histórico. <p>Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) limitou a partir de 2020 o teor de enxofre em 0,5% nos combustíveis de navios, a partir de 01/01/2020 (IMO 2020); e ▪ Meta da IMO de emissões líquidas zero em 2050 para navios, com as metas intermediárias de redução de 20 a 30% das emissões de GEE até 2030 e 70 a 80% em 2040, em relação às emissões do ano de 2008 (IMO, 2023). 	<ul style="list-style-type: none"> •Normalmente partem da iniciativa individual do porto; •São incentivadas pelo mercado e por agentes reguladores; •Elaboração e publicação de Inventários de GEE; •Elaboração de Planos de Descarbonização; •Publicação de metas de descarbonização assumidas; •Implementação de medidas como: energia renovável, OPS, eletrificação de equipamentos, otimização logística, etc; •Grupos de trabalho para avançar os estudos e implementação das metas; e •Parcerias Estratégicas. <p>Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Participação dos portos na Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos (ABDP); e ▪ Plano de Descarbonização do Porto do Açu (PAO, 2024).

Fonte: ENVEX (2025c).

Em relação as **parcerias estratégicas**, destaca-se a iniciativa de implementação de corredores de transportes ecológicos (corredores verdes) que ajudam cidades e portos a reduzir as emissões da navegação global, ao mesmo tempo em que se melhora a qualidade do ar para as comunidades costeiras. Corredores marítimos verdes permitem que cidades e instalações portuárias transformem ambições climáticas em ações e colocam uma pressão ambiental nos portos do mundo inteiro. Isso porque as iniciativas de descarbonização para uso desses corredores verdes podem se tornar no futuro um padrão regulamentado, tornando-se assim obrigatório, também para os portos brasileiros. Adicionalmente, esses corredores verdes são uma oportunidade econômica para os portos enquanto pontos de abastecimento de navios movidos a combustíveis de baixo carbono derivados de hidrogênio verde, como metanol e amônia verdes.

4.3 ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO EM ANDAMENTO

O estudo de caso do Eixo 3 possibilitou ainda identificar as estratégias de descarbonização em andamento nas instalações portuárias selecionadas. Foram identificados e mencionados:

- Elaboração Inventários de GEE e de Plano de Descarbonização;
- Iniciativas em transição energética como eletrificação de equipamentos, compra de energia elétrica do grid; implementação de energias renováveis (solar, eólica e hidrelétrica);
- Projetos de substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis; e
- Aplicações de H₂V.

Das cinco instalações portuárias visitadas, três tinham inventário de emissão de GEE elaborado e publicado, e outros dois portos estavam em fase da contratação. Vale salientar que os desafios para a elaboração de um Plano de Descarbonização são bem maiores do que para a elaboração dos inventários de GEE. Isso se dá pelo fato de o Plano de Descarbonização requerer conhecimento não apenas das emissões de GEE, mas também das estratégias, das tecnologias e dos investimentos necessários para a redução efetiva das emissões. Para isso, ainda há pouca expertise disponível no Brasil. Apenas um dos portos visitados possuía seu plano de descarbonização publicado, os demais contratados ou em fase de contratação.

A transição energética compreende a migração do uso de combustíveis fósseis para o uso de outras fontes de energia limpa, seja de energias renováveis, como a eólica e a solar, ou de vetores energéticos e combustíveis de baixo carbono, como o hidrogênio verde e seus derivados (amônia, metanol, combustível de aviação sustentável, dentre outros). Durante as visitas constatou-se que a energia renovável está disponível nos portos, praticamente, em forma de energia elétrica com certificado I-REC³ e em energia solar, sobretudo, para abastecimento de prédios administrativos. A

³O Certificado I-REC (*International Renewable Energy Certificate*) atesta que a energia elétrica comprada foi gerada a partir de fontes renováveis, mesmo sem ter sido produzida localmente e que, fisicamente, provenha da rede elétrica convencional.

Figura 5 mostra os cenários de substituição da energia elétrica convencional por energia renovável nos portos e terminais portuários selecionados no Eixo 3.

NÃO DIAGRAMADO

Figura 5: Iniciativas de Transição Energética Identificadas no Eixo 3



Fonte: ENVEX (2025c).

As substituições de equipamentos de pequeno porte movidos a combustão, como empilhadeiras, por maquinários elétricos estão em andamento em todos os portos, conforme citado na Figura 6. Já equipamentos a combustão de maior porte, que não se movimentam sobre trilhos, como caminhões internos, guindastes móveis e *reach stacker*, enfrentam maiores dificuldades para serem eletrificados.

Figura 6: Iniciativas de Eletrificação de Equipamentos identificados no Eixo 3



Fonte: ENVEX (2025c).

Os desafios para esses maquinários pesados a combustão serem substituídos por outros elétricos estão ligados, sobretudo, à amplitude de movimento necessária para as movimentações

dos contêineres e cargas, bem como pela necessidade do uso de baterias, o que requer desenvolvimento tecnológico e a instalação da infraestrutura de carregamento e a disponibilidade da rede elétrica para este consumo no porto, além de potência adicional. Uma oportunidade para esses maquinários pesados a combustão é a utilização direta de hidrogênio ou células a combustível por ter alto valor energético, como uso de empilhadeiras que utilizam células a combustível de hidrogênio (Still, 2025).

Outra forma de substituição de energia de combustão por energia renovável são os sistemas de OPS que estão sendo planejados, testados ou implantados em todos os portos analisados com sucesso. Essas estruturas já estão disponíveis para embarcações de pequeno porte, como rebocadores e barcos de apoio em três das cinco instalações portuárias visitadas.

Sistemas de OPS ainda são incipientes no Brasil, uma vez que poucos navios de grande porte são equipados para esta tecnologia, sobretudo, os navios cargueiros, que são os tipos de navios predominantes nos portos brasileiros. A pouca demanda por essa tecnologia torna os investimentos para sistemas de OPS dos portos onerosos e sem perspectiva evidente de retorno financeiro, até o momento. Isso foi relatado por todos os portos como principal entrave para a implementação dos Sistemas de OPS.

Os portos têm usado biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis no que é possível, mas, principalmente, em veículos leves do tipo *Flex Fuel*, nos quais a gasolina é facilmente substituída por etanol. Quando se trata do óleo diesel, essa substituição se torna mais complexa. Teoricamente, o óleo diesel poderia ser substituído pelo *Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO), um tipo de óleo diesel sintético. Porém, todo HVO disponível hoje no Brasil é importado.

Ainda não há ampla disponibilidade de combustíveis renováveis no mercado brasileiro para a substituição de óleo diesel para as máquinas e *biobunker* para os navios. Portanto, a falta de um cronograma para oferta desses combustíveis no país adia as decisões de investimento, pois os portos não consideram viável investir sem previsão clara de disponibilidade do insumo, de mercado consumidor e de retorno financeiro.

Isso vale também para o *Biobunker*, ou *Bunker One* (nome comercial), que é um tipo de combustível para navios no qual há mistura de até 7% de Biodiesel ao Diesel Marítimo (Eixos, 2024). O Biobunker é o combustível que constitui um primeiro passo para a descarbonização da frota de navios, entretanto, não estava disponível em nenhum dos cinco portos visitados.

Em relação aos possíveis combustíveis alternativos para navios, como H₂V e seus derivados Amônia Verde (NH₃) e Metanol Verde (CH₃OH), alguns portos têm Memorandos de Entendimento (MoU, da sigla em inglês) assinados com portos europeus para geração ou comercialização desses combustíveis no futuro, mas nenhuma infraestrutura encontra-se instalada no momento. Isso se dá porque a instalação é a última etapa, após MoU, pré-contrato e licenciamento das atividades. Áreas licenciadas e pré-contratos para a fabricação de hidrogênio e seus derivados já estão em andamento em alguns atores visitados. A Figura 7 mostra o resumo do status de implantação de cada um desses combustíveis nos portos estudados.

Figura 7: Iniciativas de uso de combustíveis do futuro identificadas no Eixo 3



Fonte: ENVEX (2025c).

Pode-se perceber que a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis nos portos brasileiros ainda enfrenta desafios significativos, sobretudo, do ponto de vista tecnológico, financeiro e mercadológico. Embora existam ações iniciais, como o uso de etanol em veículos leves nos portos, a falta de infraestrutura robusta para fornecimento diversificado e abundante de biocombustíveis no setor portuário propriamente dito é um entrave importante.

A incipienteza de Diesel, Amônia, Hidrogênio e Metanol Verdes limita o avanço de soluções mais sustentáveis e constituem desafios adicionais para a expansão desse mercado. Isso ocorre porque a previsão é de que esses produtos tendam a ser inicialmente mais caros do que os combustíveis convencionais. Assim, o uso de combustíveis verdes, em maior escala, requer um quadro regulatório que torne seu uso obrigatório.

A transição energética requer investimentos em áreas portuárias onde as instalações portuárias têm o poder de decisão, como na aquisição de equipamentos elétricos, painéis fotovoltaicos ou na instalação de infraestrutura para o carregamento de baterias, bem como para o armazenamento de combustíveis de baixo carbono. Outros investimentos necessários estão fora do alcance do poder de decisão dos portos, que são os investimentos na matriz energética do país, para que os combustíveis de baixo carbono estejam disponíveis no mercado brasileiro.

Por um lado, há portos que são apenas usuários de um mercado de combustíveis do qual eles dependem, pois as operações portuárias e a movimentação de navios requerem uma grande quantidade desses insumos para geração de energia. No entanto, há outros portos, com áreas e perspectiva de energia limpa disponíveis, que visam as oportunidades de fabricação e comercialização que os combustíveis de baixo carbono trazem. Em parceria com investidores, há, nesses portos, investimentos maciços na transição energética.

O processo da descarbonização está vinculado também com a migração do uso de combustíveis para o uso da eletricidade como forma de energia, desde que advinda de fontes renováveis. Isso significa que os portos, quando descarbonizados, terão um consumo de energia elétrica bem maior do que era consumido no início do processo da descarbonização. Essa migração para o uso da eletricidade requer uma reestruturação e ampliação do abastecimento dos portos com energia elétrica.

Nos portos privados, nos quais existem planos de geração de H₂V e derivados, essa reestruturação do fornecimento de energia renovável está inclusa no projeto estrutural do porto. Já nos portos organizados, qualquer reestruturação terá que ser sincronizada com os fornecedores locais de energia elétrica. Portanto, trata-se de um processo no qual vários atores participam, com interesses e projetos diferentes, e os portos têm autonomia compartilhada em tomar decisões estratégicas, o que pode dificultar o avanço das tratativas e da implementação da tecnologia ou ser uma oportunidade de aprimorar mecanismos de governança focados em novos modelos de negócio para os portos.

A descarbonização é um desafio mundial e, para isso, o mundo precisa de hidrogênio verde (H₂V). A comunidade europeia estima precisar 20 milhões de toneladas de H₂V, por ano, sendo a metade disso importado de países nos quais há condições favoráveis para a fabricação de H₂V, como o Brasil, partindo de portos brasileiros aptos para esta comercialização (H2 Energy News, 2022). Embora o uso de H₂V nos portos brasileiros ainda esteja em fase de projeto e prospecção, há iniciativas significativas em andamento que visam transformar essa realidade.

Na Tabela 3 foram listados os principais pontos citados pelos portos como desafios, necessidades e oportunidades.

Tabela 3: Desafios e Necessidades dos Porto e Terminais Portuários Selecionados.

Desafios	Necessidades ou ações que podem ajudar a resolver estes desafios
Alta demanda de investimento e inovação	<ul style="list-style-type: none"> • Uma linha de crédito para a descarbonização seria desejável; • Os recursos financeiros necessários são os principais gargalos para se descarbonizar (viabilidade financeira), a baixa disposição do mercado brasileiro de optar por produtos de menor pegada de carbono e a maturidade tecnológica de alguns vetores da descarbonização como o hidrogênio.
Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> • A implementação de uma governança climática é fundamental para implantação do plano, uma vez que demandará esforços não somente das equipes diretamente envolvidas na temática, como de todas as equipes da companhia; • Dentro do plano de descarbonização é fundamental estabelecer um cronograma de implantação das iniciativas propostas, que deve ser reavaliado anualmente. Vale ressaltar que a viabilidade de cada alternativa e potencial de redução de emissões é muito variável de acordo com as características de cada operação. Uma recomendação para um porto pode não ser viável para outro, que também dependem de políticas públicas. O estabelecimento desse tipo de <i>roadmap</i> deve levar em conta impactos em custos e competitividade do Brasil.
Regulamentação	<ul style="list-style-type: none"> • É necessário um ambiente regulatório favorável para novas tecnologias para descarbonização; • Os órgãos ambientais podem incentivar a adoção de práticas de descarbonização pelas empresas através da facilitação de autorizações para implantação de iniciativas que tragam uma redução de emissão nas licenças de cada atividade. Novos projetos que apresentem uma baixa pegada de carbono em comparação com projetos existentes devem ser incentivados pelos órgãos ambientais, como por exemplo: estabelecimento de governança e rito administrativo para dar maior celeridade a estes projetos, redução nas taxas de licenciamento e de compensação ambiental.
Parcerias	<ul style="list-style-type: none"> • É necessária uma compreensão da temática por parte dos controladores, conselho e executivos da companhia, que devem estar cientes dos riscos e oportunidades relacionados à transição energética para tomada de decisão e aprovação do plano e iniciativas propostas.

Fonte: ENVEX (2025c).

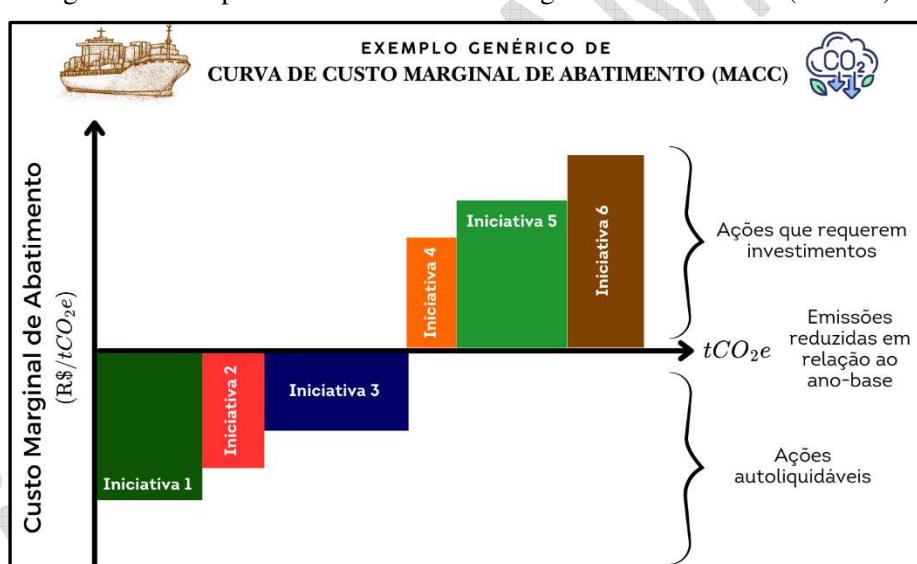
5 GUIA DE BOAS PRÁTICAS E RECOMENDAÇÕES PARA A DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR PORTUÁRIO BRASILEIRO

As ações de descarbonização podem ser enquadradas em quatro categorias:

- Substituição de energia elétrica da rede integrada por energia elétrica 100% renovável com certificado I-REC ou de instalações próprias (painéis fotovoltaicos, energia eólica, energia hidrelétrica, dentre outras);
- Substituição de equipamento a combustão fóssil por maquinário que use energia elétrica renovável, como a troca de empilhadeiras a GLP por elétricas ou células a combustível de hidrogênio verde, ou instalação de sistemas OPS;

- Substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis como *Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO), biometano ou combustíveis sintéticos de baixo carbono (H₂V, metanol verde, amônia verde); e
- Investimentos em infraestrutura que possibilitem a transição energética tais como pontos de carregamento de baterias ou a adequação da rede elétrica como subestações para poder abastecer navios atracados com a energia elétrica do continente, como sistemas OPS.

Cada uma das opções de mitigação tem seu custo de implantação e o rendimento de redução de Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂e) esperado. Estas duas informações se condensam no valor monetário de investimento por toneladas de CO₂e reduzida, denominado também de Curva de Custo Marginal de Abatimento (sigla inglês, *Marginal Abatement Cost Curve – MACC*). Colocando os custos marginais de abatimento em ordem crescente, constrói-se a curva MACC, exemplificada na **Figura 8: Exemplo de Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC)**.



Fonte: ENVEEX (2025c).

O eixo vertical indica o custo marginal de abatimento por tonelada de CO₂e. Valores negativos significam que a iniciativa rende mais do que custa. Por exemplo, um caminhão que gasta menos combustível pode economizar mais no decorrer do seu uso do que foi necessário de investir para obter esta tecnologia. Já as iniciativas 4 a 6, com MACC positivo, requerem investimentos e, por isso, são executados somente após a implementação dos projetos 1 a 3 que são mais autoliquidáveis.

O eixo horizontal indica a quantidade de CO₂e abatido. A coluna mais larga (iniciativa 3) é a que mais reduz a emissão de CO₂e. A soma das larguras de colunas corresponde com a quantidade total de redução planejada dentro no horizonte de tempo para cumprir com a meta

de descarbonização. Dessa forma, todos os Planos de Descarbonização requerem a construção de MACC, ou ferramenta similar, como base para justificar a priorização de projetos.

Por fim, as atividades do Eixo 3 culminaram na sugestão de um itinerário para descarbonização do setor portuário brasileiro. Essa proposta foi compilada no “Guia de Boas Práticas e Recomendações para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro: Redução de Emissões, Transição Energética e Aplicações de Hidrogênio Verde” (Figuras 9 a 11) e resumida a seguir:

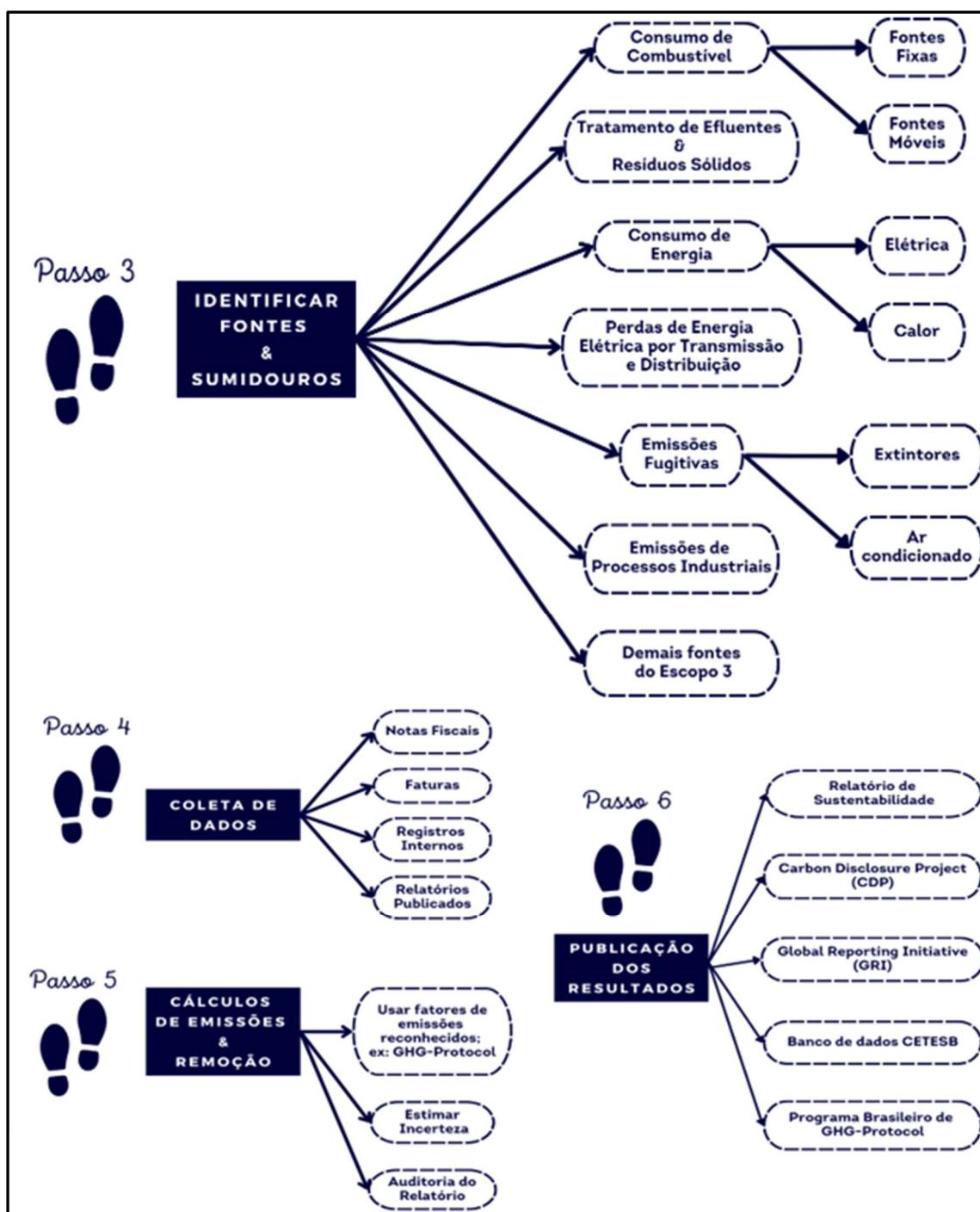
- Passo 1: Definição da abrangência do inventário de GEE;
- Passo 2: Definição de ano-base e período de referência;
- Passo 3: Identificação de fontes e sumidouros;
- Passo 4: Coleta de dados;
- Passo 5: Cálculo de emissões e remoção de poluentes;
- Passo 6: Publicação dos resultados;
- Passo 7: Identificação da vocação do porto nas aplicações de hidrogênio;
- Passo 8: Elaboração do plano de descarbonização; e
- Passo 9: Estabelecimento de reduções de emissões alinhadas com as metas baseadas na ciência (do inglês, *Science Based Targets initiative — SBTi*).

Figura 9: Itinerário para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro (Parte 1)



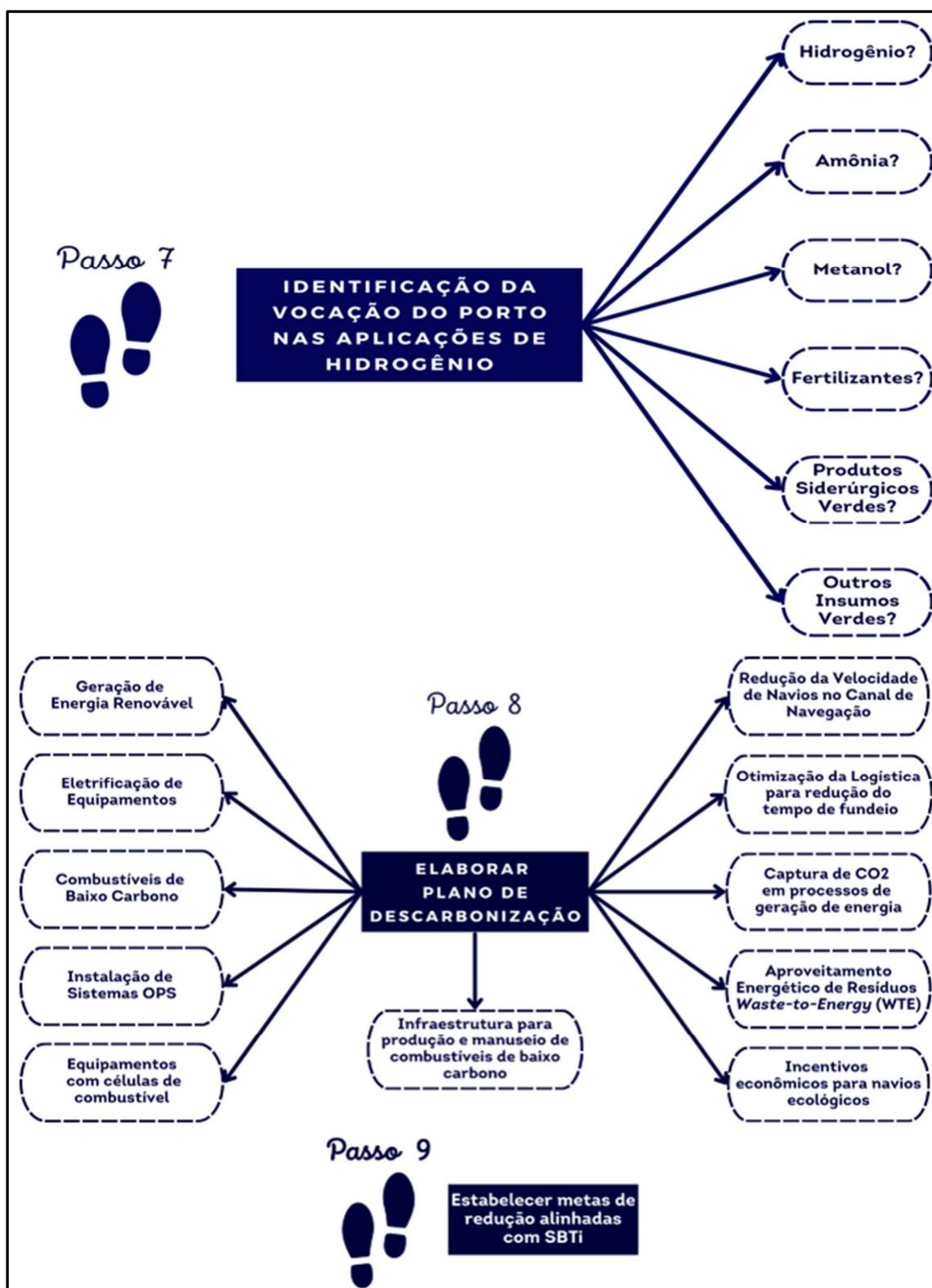
Fonte: ENVEX (2025c).

Figura 10: Itinerário para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro (Parte 2)



Fonte: ENVEX (2025c).

Figura 11: Itinerário para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro (Parte 3)



Fonte: ENVEEX (2025c).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ações de descarbonização foram identificadas em todas as instalações portuárias selecionadas para o Estudo de Caso do Eixo 3. Dentro das suas possibilidades, os portos aplicam e ampliam medidas de descarbonização pela geração e uso de energia elétrica renovável, pela substituição de processos de combustão por energia elétrica renovável e pelo uso de combustíveis de baixo carbono, quando disponíveis.

Dificuldades iniciais devido à falta de expertise no processo de descarbonização de operações portuárias foram superadas a partir de parcerias formadas com portos europeus e troca de informações entre portos brasileiros como, por exemplo, a partir da Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos (ABDP). Também, percebe-se um aumento muito expressivo do conhecimento por parte dos Portos e Terminais sobre o assunto devido às ações do MPOR, ANTAQ, ABDP, GIZ (por meio do H2Upp — Programa Internacional de Incentivo ao Hidrogênio) e outras associações setoriais que têm se dedicado a divulgar e debater o assunto.

Embora existam iniciativas consensuais, como a instalação de placas fotovoltaicas e a substituição de equipamentos a combustão por equipamentos elétricos, outros desafios ainda permanecem. Investimentos em infraestrutura para novos combustíveis aguardam ainda uma definição do mercado. Pedidos para abastecer navios com H₂V, NH₃ ou metanol são ainda embrionários. À medida que os novos navios demandarem combustíveis mais limpos, os portos irão, gradativamente, adaptar suas infraestruturas às necessidades dos clientes em relação a esses combustíveis.

A transição energética, por ser uma mudança profunda no sistema produtivo de uma sociedade, requer um cronograma de transição oficial ou plano geral. Portanto, estabelecer o diálogo, a cooperação e interação entre o setor privado, governos e organizações ambientais envolvidas é premente.

O processo de descarbonização nos portos é progressivo. No entanto, a boa vontade dos portos em implantar as medidas de descarbonização entra em conflito muitas vezes com desafios práticos. Assim, a ausência de navios preparados para sistemas OPS, a insuficiência de provimento de combustíveis verdes e a falta de um cronograma que estabeleça prazos obrigatórios para a migração dos combustíveis fósseis para os combustíveis verdes são atualmente os principais entraves para a descarbonização de operações portuárias. Nesse contexto, a construção de MACC pode ajudar a priorizar projetos.

Apesar dos desafios atuais, inerentes às complexidades do processo de descarbonização e do setor portuário, acredita-se que os portos e as tecnologias de mitigação possam evoluir gradualmente para atingir os objetivos globais de operarem com emissões líquidas zero até 2050. Vale ressaltar que pequenas ações de descarbonização podem trazer benefícios importantes para a redução das emissões de GEE, contribuindo, assim, para a mitigação das mudanças climáticas. Ao longo deste Sumário Executivo foram elencadas as principais recomendações ou orientações como um itinerário de descarbonização do setor portuário brasileiro, sintetizando as ações sugeridas.

Por fim, reafirma-se o impacto e a importância do projeto como um todo, incluindo os três eixos, o qual serve como ferramenta relevante para apoiar o desenvolvimento do país no que tange à sua modernização para atendimento aos compromissos assumidos internacionalmente em relação às emissões de GEE e mudanças climáticas. Reitera-se que o esforço conjunto dos vários atores envolvidos e a cooperação e parcerias, como esta que viabilizou este projeto, são essenciais para atingir estes nobres objetivos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA SENADO. Debate aponta importância do hidrogênio verde para descarbonizar economia. *Senado Notícias*, Brasília, 26 abr. 2023. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/04/26/debate-aponta-importancia-do-hidrogenio-verde-para-descarbonizar-economia>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO DE JANEIRO (CREA-RJ). Brasil tem potencial para liderar a produção mundial de hidrogênio verde. *Notícias CREA-RJ*, 23 abr. 2025. Disponível em: <https://www.crea-rj.org.br/brasil-tem-potencial-para-liderar-a-producao-mundial-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

EIXOS. Biocombustíveis: Bunker One se prepara para comércio internacional de biocombustíveis marítimos produzidos no Brasil. *Editorial da Eixo*, 14 maio 2024. Disponível em: <https://eixos.com.br/empresas/bunker-one-se-prepara-para-comercio-internacional-de-biocombustiveis-maritimos-produzidos-no-brasil/>. Acesso em: 13 set. 2024.

ENVEV ENGENHARIA E CONSULTORIA (ENVEV). Guia de Boas Práticas e Recomendações para a Descarbonização do Setor Portuário Brasileiro: Redução de Emissões, Transição Energética e Aplicações de Hidrogênio Verde. Eixo 3 – Estudo de Caso (Produto 8). 2025a. Disponível em: https://sei.antaq.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_processo_exibir.php?iI3OtHvPArITY_997V09rhsSkbDKbaYSycOHqqF2xsM0IaDkkEyJpus7kCPb435VNEAb16AAxmJKUdrsNWVIqQxjlx8jOtq8oYQrNgrc_gfTqc0HsaIw6GvQy-1RDYF0U. Acesso em: 18 jan. 2025.

ENVEV ENGENHARIA E CONSULTORIA (ENVEV). Análise das Experiências de Portos e Terminais Portuários Selecionados quanto à Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa, Transição Energética, Descarbonização e Aplicações de Hidrogênio Verde. Eixo 3 – Estudo de Caso. Produto 7 – Relatório Consolidado Final. Curitiba/PR. 2025b. Disponível em: https://sei.antaq.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_processo_exibir.php?iI3OtHvPArITY_997V09rhsSkbDKbaYSycOHqqF2xsM0IaDkkEyJpus7kCPb435VNEAb16AAxmJKUdrsNWVIqQxjlx8jOtq8oYQrNgrc_gfTqc0HsaIw6GvQy-1RDYF0U. Acesso em: 18 jan. 2025.

ENVEV ENGENHARIA E CONSULTORIA (ENVEV). Análise das Experiências de Portos e Terminais Portuários Selecionados quanto à Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa, Transição Energética, Descarbonização e Aplicações de Hidrogênio Verde. Eixo 3 – Estudo de Caso. Produto 10 – Sumário Executivo. Curitiba/PR. 2025c. Disponível em: https://sei.antaq.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_processo_exibir.php?iI3OtHvPArITY_997V09rhsSkbDKbaYSycOHqqF2xsM0IaDkkEyJpus7kCPb435VNEAb16AAxmJKUdrsNWVIqQxjlx8jOtq8oYQrNgrc_gfTqc0HsaIw6GvQy-1RDYF0U. Acesso em: 29 abr. 2025.

H2 ENERGY NEWS. EU prepares plan for 20 million tons of H2. 11 maio 2022. Disponível em: <https://energynews.biz/eu-prepares-plan-for-20-million-tonsof-h2/>. Acesso em: 21 dez. 2024.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Hidrogênio verde: o Brasil se tornará uma potência mundial? 28 ago. 2024. Disponível em:

<https://www.iee.usp.br/noticia/hidrogenio-verde-o-brasil-se-tornara-uma-potencia-mundial/#brasil>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. 2023. Disponível em: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Acordo de Paris. 2021.** Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/accompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>. Acesso em: 07 ago. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (MMA). **COP29: Brasil entrega à ONU nova NDC alinhada ao Acordo de Paris. 2024.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris>. Acesso em: 30 dez. 2024.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL (NU). **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 03 dez. 2024.

PORTO DO AÇU OPERAÇÕES (PAO). **Relatório de Sustentabilidade 2023.** São João da Barra: PAO, 2024. Disponível em: <https://esg.portodoacu.com.br/wp-content/uploads/2024/07/Relatorio-de-Sustentabilidade-2023-Porto-do-Acu.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

SCIENCE BASED TARGETS. **Fundamentos para o Estabelecimento de Metas Corporativas de Emissões Líquidas-Zero Baseadas na Ciência: versão 1.0 (Sumário Executivo).** 2020. Disponível em: https://sciencebasedtargets.org/resources/files/Net-Zero_Full-Paper_Brazilian-Portuguese.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

SILVA, F. A. R.; YAMASHITA, Y.; SANTOS, L. C. R. *Green Hydrogen and its Relevance in the Decarbonization of the Brazilian Port Sector*. Seven Editora, [S. l.], p. 110-139, 2024.

STILL. **Tecnologia de célula de combustível STILL.** 2025. Disponível em: <https://www.still.com.br/competencia-em-solucoes/sistemas-de-energia/tecnologia-de-celula-de-combustivel-still.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.