icct
CONSELHO INTERNACIONAL
DE TRANSPORTE LIMPO

JUNHO 2025

Hubs verdes: O potencial dos portos brasileiros no fornecimento de combustíveis marítimos renováveis

MARICRUZ FUN SANG CEPEDA, KETAN GORE, AND XIAOLI MAO

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Ministério de Portos e Aeroportos do Brasil pela contribuição para este estudo, em especial a Marina Bailão, Flávia Nico, Tatiana Gontijo e Larissa Carolina Amorim. Agradecemos também aos revisores do ICCT Bryan Comer, Yuanrong Zhou, Shiyue Mao e Guido Giovanelli Haytzmann pelas valiosas revisões, e a Jennifer Callahan e Amy Smorodin pelo trabalho de edição. Este estudo foi financiado graças ao importante apoio da Crux Alliance.

Conselho Internacional de Transporte Limpo
Rua Purpurina, 400, Sala 01111
São Paulo – SP, 05435-030

comunicacao@theicct.org | www.icctbrasil.org.br | LinkedIn: ICCT Brasil

© 2025 CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO (ID 394)

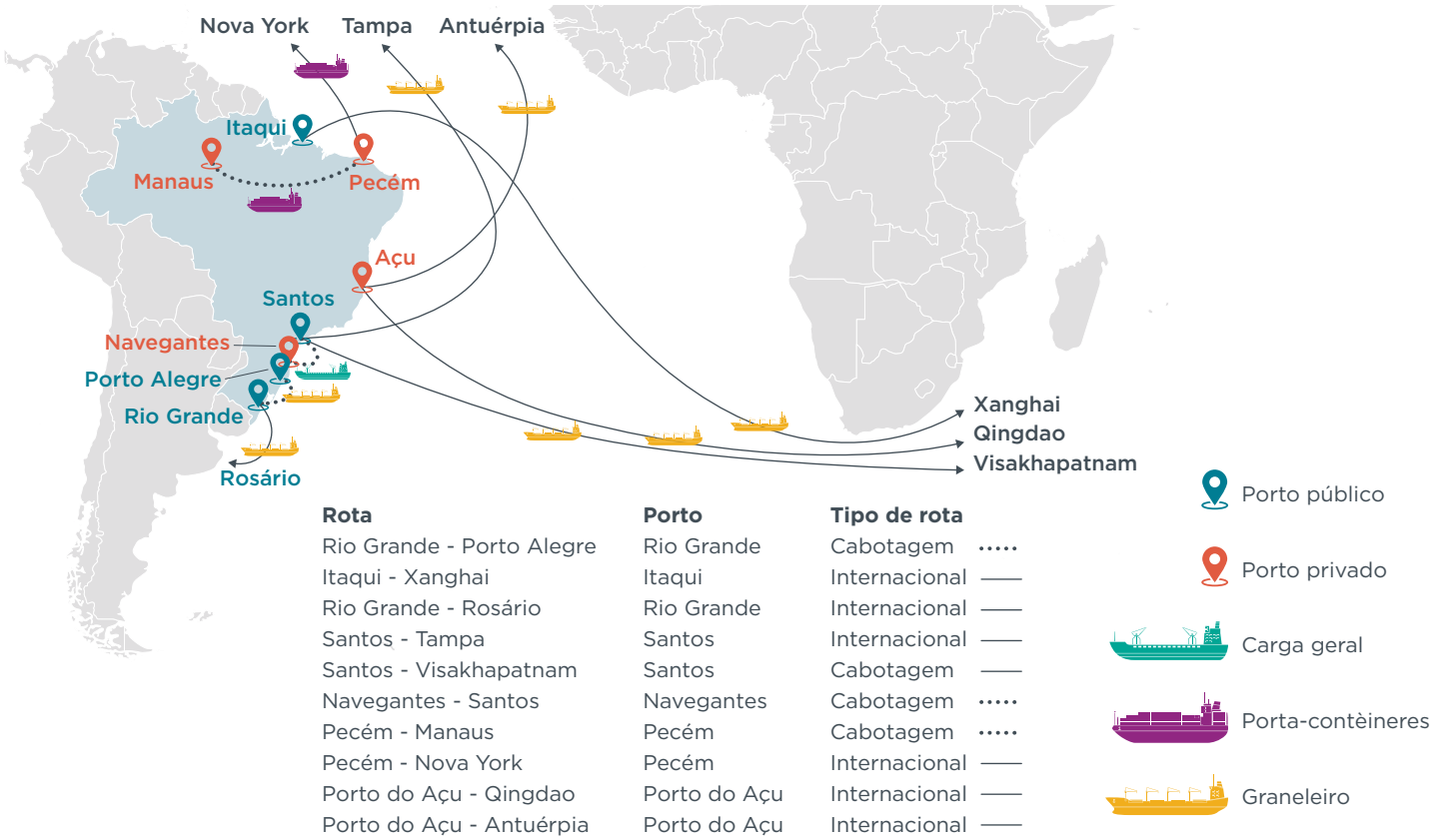
RESUMO EXECUTIVO

Os abundantes recursos de energia renovável e a localização estratégica do Brasil permitem que o país exerça um papel singular na ampliação da produção de combustíveis renováveis destinados ao setor de transporte marítimo. Este estudo explora o potencial dos portos brasileiros para se tornarem polos estratégicos de fornecimento de hidrogênio renovável e seus derivados, amônia renovável e metanol renovável. Analisamos as melhores condições para a produção e comercialização dessas fontes de energia, suas potenciais aplicações em corredores verdes marítimos e o nível de preparo dos portos, considerando fatores como infraestrutura existente e capacidade logística. Também avaliamos o tráfego marítimo atual e estimamos a demanda potencial de abastecimento com combustíveis marítimos renováveis para apoiar embarcações de emissão zero, em rotas internacionais e domésticas, a partir dos portos selecionados. Esse trabalho contribui para fundamentar futuros investimentos e decisões políticas voltados ao desenvolvimento da infraestrutura de transporte marítimo sustentável no Brasil.

Nossa avaliação do nível de preparo dos portos identificou seis portos brasileiros como candidatos a polos de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis. Três são portos públicos—Santos, Rio Grande e Itaqui—e três são privados—Pecém, Navegantes e Porto do Açu. Entre as 10 rotas amostrais que movimentam commodities estratégicas, como minério de ferro e carga conteinerizada, entre os portos candidatos e portos ao redor do mundo, estimamos que cinco rotas poderiam ser completamente percorridas com o uso direto de hidrogênio líquido renovável em célula de combustível, sem a necessidade de reabastecimento durante o trajeto. Constatamos ainda que todas as rotas poderiam ser completadas sem reabastecimento, caso as embarcações utilizem amônia e metanol derivados de hidrogênio renovável em motores de combustão interna. Para completar com sucesso as 10 rotas, com pelo menos um navio operando em cada uma, seriam necessárias 1.785 toneladas de hidrogênio, considerando o consumo mínimo de combustível renovável em todas as rotas. Por outro lado, considerando o consumo máximo de combustível renovável, a necessidade total seria de 1.911 toneladas. Isso corresponde a uma demanda de eletricidade renovável entre 82 e 92 GWh.

Figura ES1

Portos candidatos a polos estratégicos de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis e rotas de referência



Rota	Porto	Tipo de rota
Rio Grande - Porto Alegre	Rio Grande	Cabotagem ·····
Itaqui - Xanghai	Itaqui	Internacional ——
Rio Grande - Rosário	Rio Grande	Internacional ——
Santos - Tampa	Santos	Internacional ——
Santos - Visakhapatnam	Santos	Cabotagem ——
Navegantes - Santos	Navegantes	Cabotagem ·····
Pecém - Manaus	Pecém	Cabotagem ·····
Pecém - Nova York	Pecém	Internacional ——
Porto do Açu - Qingdao	Porto do Açu	Internacional ——
Porto do Açu - Antuérpia	Porto do Açu	Internacional ——

CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

Investimentos direcionados à produção de energia renovável, armazenamento e instalações de abastecimento nesses portos poderiam acelerar a criação de corredores verdes marítimos. Apoiar essas iniciativas estaria alinhado aos objetivos do Brasil para a descarbonização do transporte marítimo e liderança na transição global rumo à navegação sustentável.

ÍNDICE

Resumo executio ..... **i**

Introdução **1**

Contexto **2**

Produção energia renovável e potencial no Brasil 2

Portos e corredores verdes marítimos 3

Metodologia **6**

Nível de preparo dos portos 6

Critério 1: Uso atual e potencial acesso à energia renovável 6

Critério 2: Capacidade do porto 7

Critério 3: Infraestrutura portuária 8

Critério 4: Localização estratégica e conectividade 9

Critério 5: Compromisso com a descarbonização 10

Cenários de ponderação 10

Demanda potencial por combustível marítimo renovável 11

Resultados e discussão **14**

Nível de preparo dos portos 14

Análise da demanda por abastecimento 15

Seleção de rotas e demanda de energia 15

Demanda por abastecimento e demanda implícita por eletricidade renovável 17

Conclusão **21**

Referências **23**

Apêndice A. Cenários de ponderação **26**

Apêndice B. Abastecimento em portos no Brasil **27**

Apêndice C. Pontuações dos critérios para os 30 principais portos **28**

Apêndice D. Resultados detalhados da viabilidade nas 10 rotas selecionadas **33**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Os 10 portos com maior pontuação no Critério 1 7

Tabela 2 Os 10 portos com maior pontuação no Critério 2 8

Tabela 3 Os 10 portos com maior pontuação no Critério 3 8

Tabela 4 Os 10 portos com maior pontuação no Critério 4 9

Tabela 5 Os 10 portos com maior pontuação no Critério 5 10

Tabela 6 Fatores de ponderação por cenário 11

Tabela 7 Características dos combustíveis 12

Tabela 8 Pontuações finais de nível de preparo portuário, top 10 portos privados e top 10 portos públicos 14

Tabela 9 Seleção de rotas para análise da demanda por abastecimento 15

Tabela 10 Emissões operacionais de CO_2 e volumes de consumo de combustível nas rotas marítimas selecionadas 17

Tabela 11 Demanda implícita por hidrogênio renovável e eletricidade renovável das rotas selecionadas que conectam portos candidatos no Brasil 20

Tabela 12 Demanda total por hidrogênio renovável e eletricidade renovável para os portos candidatos 20

Tabela A1 Atribuição de pesos a cada um dos cinco critérios no Cenário 2, com base em pesos iguais 26

Tabela A2 Atribuição de pesos a cada um dos cinco critérios no Cenário 1, com base em pesos iguais 26

Tabela A3 Atribuição de pesos a cada um dos cinco critérios no Cenário 3, com base em pesos iguais 26

Tabela B1 Serviços de abastecimento em portos brasileiros 27

Tabela C1 Critério 1: Uso atual e potencial de energia renovável, 30 principais portos 28

Tabela C2 Critério 2: Capacidade do porto em 2023, 30 principais portos 29

Tabela C3 Critério 3: Infraestrutura portuária, 30 principais portos 30

Tabela C4 Critério 4: Papel nas principais rotas comerciais e pontuação de conectividade em 2023, 30 principais portos 31

Tabela C5 Critério 5: Compromisso com a descarbonização e pontuação, 30 principais portos 32

Tabela D1 Viabilidade tecnológica do uso de combustível marítimo renovável para atender às rotas selecionadas 33

LISTA DE FIGURAS

Figura ES1 Portos candidatos a polos estratégicos de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis e rotas de referência ii

Figura 1 Custos estimados de produção nas três principais regiões 3

Figura 2 Capacidade de movimentação de carga por portos públicos e privados no Brasil em 2023 4

Figura 3 Os 20 portos no Brasil que mais movimentaram carga em 2023 4

Figura 4 Rotas internacionais consideradas no estudo 16

Figura 5 Rotas de cabotagem brasileiras consideradas no estudo 16

Figura 6 Estimativa de LH_2 necessário versus disponível por rota 18

Figura 7 Estimativa de NH_3 necessário versus disponível por rota 18

Figura 8 Estimativa de MeOH necessário versus disponível por rota 19

INTRODUÇÃO

O setor de transporte marítimo enfrenta uma crescente pressão para se descarbonizar. Essa demanda surge de diversas fontes, incluindo órgãos reguladores, como a Organização Marítima Internacional (IMO, do inglês *International Maritime Organization*), e da crescente exigência global por práticas sustentáveis por parte de consumidores, organizações ambientais e governos comprometidos com a mitigação das mudanças climáticas. Embora diversos combustíveis alternativos e tecnologias tenham potencial para reduzir a pegada de carbono do transporte marítimo, o hidrogênio renovável e seus derivados (como amônia e o metanol) têm se destacado como candidatos promissores para alcançar reduções significativas nas emissões. Os abundantes recursos de energia renovável existentes no Brasil e sua localização estratégica posicionam o país como um potencial líder no emergente mercado desses combustíveis.

O ICCT realizou diversos estudos sobre a demanda potencial por hidrogênio renovável e seus derivados, bem como sobre a oportunidade de criação de corredores verdes marítimos (Mao et al., 2020; Georgeff et al., 2020; Sturrup & Stolz, 2023; Mao et al., 2024; United States Maritime Administration, 2023). Este relatório dá continuidade a esses estudos e investiga o potencial dos portos brasileiros para atuarem como polos de abastecimento de combustíveis derivados do hidrogênio renovável—incluindo hidrogênio líquido renovável (RE-LH_2), amônia renovável (RE-NH_3) e metanol renovável (RE-MeOH)—bem como a demanda potencial por esses combustíveis nesses portos. Primeiramente, apresentamos um modelo analítico de avaliação do nível de preparo dos portos, que classifica a adequação dos portos brasileiros para o abastecimento de hidrogênio renovável considerando o potencial de energia renovável, a infraestrutura e a capacidade logística. Em seguida, analisamos a atividade de navegação de, para e entre portos no Brasil, a fim de estimar a demanda energética dos navios com base no uso atual de combustíveis. Por fim, calculamos a demanda equivalente por combustíveis marítimos renováveis, caso esses mesmos navios, com as mesmas capacidades e rotas, fossem navios de emissão zero.

CONTEXTO

Apesar da eficiência energética inerente ao transporte marítimo, impulsionada por sua alta capacidade de carga, esse setor continua sendo um contribuinte significativo para as emissões globais antropogênicas de dióxido de carbono (CO_2) devido à sua escala (Balcombe et al., 2019). Um relatório da UN Trade and Development (2023) indicou que as emissões globais de CO_2 provenientes do transporte marítimo atingiram 848 milhões de toneladas em março de 2023, um aumento de 20% em relação a março de 2013. Para mitigar os impactos climáticos da navegação, a IMO adotou uma estratégia para alcançar emissões líquidas zero de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do transporte marítimo até, ou por volta de, 2050. A estratégia também estabelece marcos indicativos que preveem a redução total das emissões de GEE em 20% (almejando 30%) até 2030 e em 70% (almejando 80%) até 2040, ambas em relação aos níveis de 2008 (IMO, 2023). Embora a IMO tenha estabelecido diversas medidas técnicas e operacionais para melhorar a eficiência energética dos navios, o uso de combustíveis alternativos capazes de alcançar emissões de GEE nulas ou próximas de zero ao longo de seu ciclo de vida será essencial para reduzir as emissões do setor marítimo (Van Hoecke et al., 2021).

Os eletrocombustíveis, também conhecidos como e-combustíveis ou combustíveis sintéticos, representam uma via promissora para a descarbonização de setores de transporte de difícil eletrificação, como o transporte marítimo. Esses combustíveis são produzidos utilizando eletricidade renovável para alimentar a eletrólise da água e gerar hidrogênio. Esse hidrogênio renovável é um e-combustíveis que pode ser utilizado diretamente ou processado para a produção de outros e-combustíveis. Por exemplo, o hidrogênio renovável pode ser combinado com CO_2 capturado por meio da síntese de Fischer-Tropsch para produzir hidrocarbonetos líquidos, como e-diesel ou e-metanol. Alternativamente, pode reagir com nitrogênio para produzir e-amônia. Atualmente, a produção de e-combustíveis é intensiva em energia e apresenta custos significativamente mais elevados que os combustíveis fósseis. Embora avanços tecnológicos e ganhos de escala possam reduzir esses custos no futuro, alcançar a paridade de custos com os combustíveis fósseis ainda é um desafio para a adoção em larga escala (Carvalho et al., 2023; Zhou et al., 2022; Baldino & Searle, 2021; Mao et al., 2025).

A produção global de hidrogênio atingiu 97 milhões de toneladas em 2023, e apenas 0,1% desse total foi produzido por eletrólise alimentada por eletricidade renovável (International Energy Agency, 2024). No entanto, as projeções de expansão da capacidade de eletrolisadores indicam que, até 2050, o hidrogênio renovável poderá representar entre 50% e 65% do suprimento total (Gulli et al., 2024). Um estudo que estimou os custos na bomba (incluindo a produção do combustível e os custos de abastecimento) nos Estados Unidos concluiu que o hidrogênio renovável e a maioria dos combustíveis sintéticos eram mais de três vezes mais caros do que o combustível marítimo tradicional, mas tendem a se tornar mais competitivos ao longo do tempo (United States Maritime Administration, 2023). A produção de hidrogênio renovável a custos competitivos depende do acesso a fontes abundantes e de baixo custo de energia renovável, e o Brasil está excepcionalmente bem-posicionado para atender a essa demanda, devido aos seus vastos recursos de energia renovável e à expectativa de crescimento da geração de eletricidade a partir de fontes eólica e solar (International Renewable Energy Agency, 2022; Carvalho et al., 2023).

PRODUÇÃO ENERGIA RENOVÁVEL E POTENCIAL NO BRASIL

A grande extensão territorial do Brasil e a diversidade de seu clima contribuem para uma elevada geração de energia solar fotovoltaica, geralmente na faixa intermediária

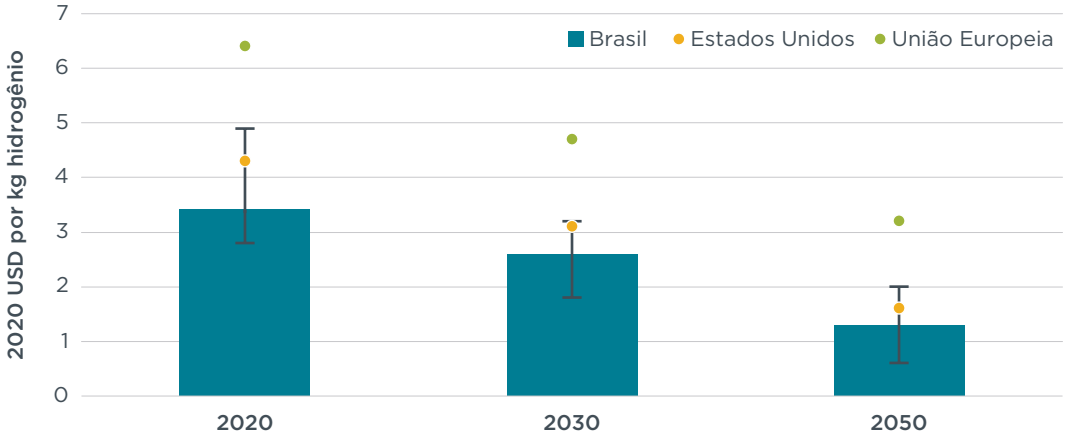
de 3,5 a 4,5 kWh/kWp.[1] Embora não seja a mais alta globalmente, essa faixa indica um potencial solar substancial. Em contraste, a maioria dos países da União Europeia, exceto aqueles no sul da Europa, apresenta uma geração solar fotovoltaica inferior a 3,5 kWh/kWp (Suri et al., 2020).

Além da energia eólica e solar, o Brasil conta com uma infraestrutura bem estabelecida e extensa para a produção de biocombustíveis. Essa rede de oleodutos, instalações de armazenamento e sistemas de distribuição representam uma vantagem significativa para uma potencial transição à produção de metanol. Como o metanol é um promissor transportador de hidrogênio, a adaptação dessa infraestrutura poderia reduzir substancialmente os custos capitais associados ao desenvolvimento de uma economia do hidrogênio no Brasil.

Em 2023, as matérias-primas renováveis corresponderam a aproximadamente 89% da oferta doméstica de eletricidade no Brasil, sendo a hidrelétrica responsável por 60%, seguida da energia eólica (14%), dos biocombustíveis (8%) e da geração solar fotovoltaica com 7% (International Energy Agency, 2023; Silva et al., 2023; Ferreira et al., 2023; Khare et al., 2023; Empresa de Pesquisa Energética, 2024). Um estudo anterior do ICCT projetou que a produção de hidrogênio renovável no Brasil seria mais econômica do que na União Europeia e nos Estados Unidos (Carvalho et al., 2023). Essa vantagem de custo, ilustrada na Figura 1, resulta diretamente da abundância de recursos energéticos renováveis de baixo custo no país.

Figura 1

Custos estimados de produção nas três principais regiões



Fonte: Carvalho et al. (2023)

CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

O setor emergente de hidrogênio renovável no Brasil, com projetos-piloto em andamento, pode atingir a produção de 1 milhão de toneladas anuais até 2030 (Klevstrand, 2023). Esse cenário depende da ampliação tecnológica, do desenvolvimento de infraestrutura e da paridade de custos com os combustíveis fósseis.

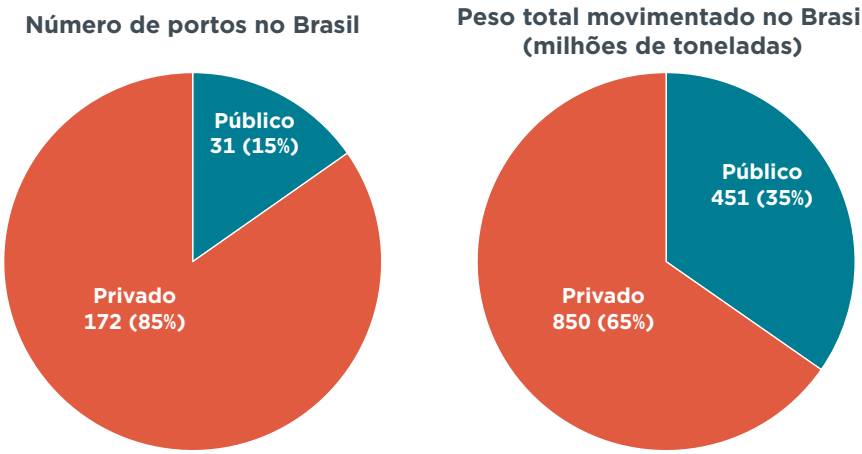
1 Essencialmente, kWh/kWp indica quanta energia, em quilowatt-hora, o sistema fotovoltaico solar produz para cada quilowatt de sua capacidade de pico em um determinado período, geralmente um dia ou um ano. Isso ajuda a avaliar a eficiência e a eficácia dos sistemas de energia solar na captação e conversão da luz solar em eletricidade.

PORTOS E CORREDORES VERDES MARÍTIMOS

No Brasil, os portos públicos representam 15% do total de portos, mas movimentam 35% da carga em peso (Figura 2). A Figura 3 destaca a distribuição geográfica dos 20 portos que mais movimentaram carga em 2023.

Figura 2

Capacidade de movimentação de carga por portos públicos e privados no Brasil em 2023

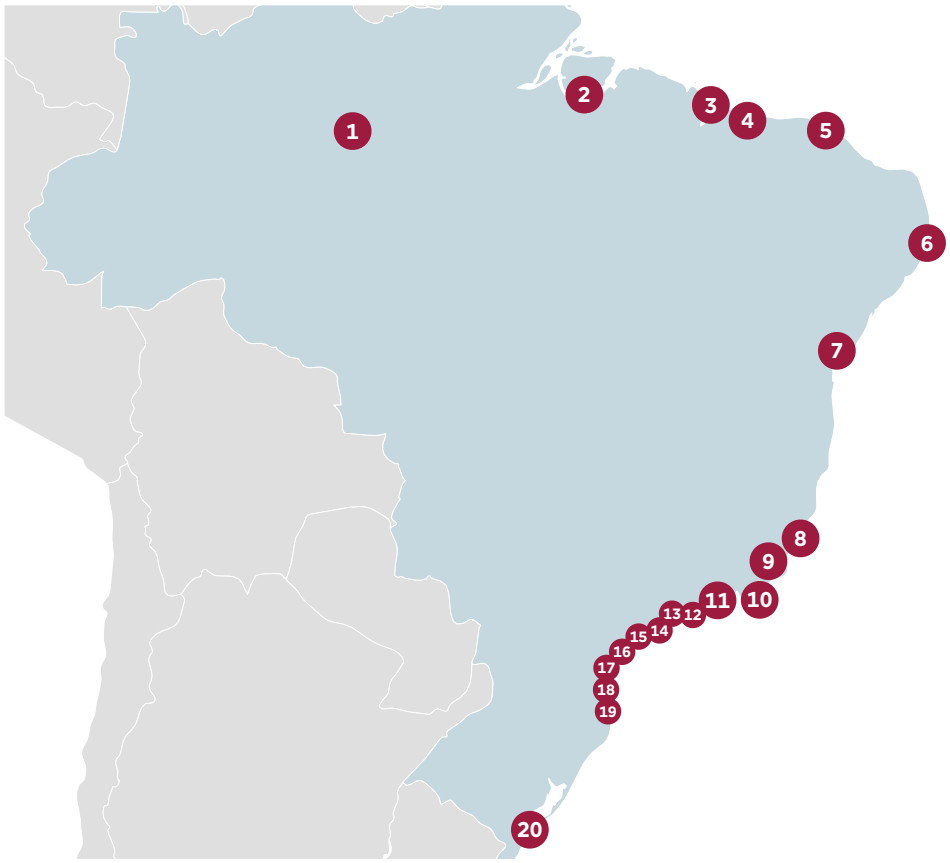


Fonte: Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), 2024

CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

Figura 3

Os 20 portos no Brasil que mais movimentaram carga em 2023



20 PORTOS NO BRASIL

1. Santarem
2. Vila do Conde
3. Itaqui
4. Ponta da Madeira
5. Pecém
6. Suape
7. Madre de Deus
8. Praia Mole
9. Tubarão
10. Porto do Açu
11. Rio de Janeiro
12. Sepetiba
13. Itaguai
14. Angra dos Reis
15. Santos
16. São Sebastião
17. Paranaguá
18. São Francisco do Sul
19. Navegantes
20. Rio Grande

Fonte: ANTAQ (2024)

CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

O desenvolvimento dos portos como polos de hidrogênio envolve sua integração em toda a cadeia de valor do hidrogênio, desde a produção e o armazenamento até o transporte, a distribuição e o abastecimento de navios (Fages et al., 2023). Isso requer investimentos substanciais em unidades de produção (eletrolisadores e plantas de síntese de eletrocombustíveis), armazenamento, oleodutos e infraestrutura dedicada de abastecimento.

O Brasil tornou-se um importante polo para projetos planejados de hidrogênio renovável, com investimentos anunciados que somam US$ 21 bilhões (aproximadamente R$ 105 bilhões, com base na cotação de maio de 2025) destinados à construção de plantas industriais. Esses compromissos, em sua maioria provenientes de empresas privadas e consórcios, estão concentrados principalmente em portos estratégicos no Nordeste, como Pecém (Ceará) e Suape (Pernambuco), além do Porto do Açu, no Rio de Janeiro (Aranha 2023). A concentração dos investimentos no Nordeste é estrategicamente vantajosa, uma vez que a região responde por 82% da capacidade de geração de energia solar e eólica do Brasil (Carvalho et al., 2023).

Adicionalmente, o Brasil aprovou recentemente a Lei nº 15.097 (2025), que cria um marco regulatório abrangente para a geração de energia eólica offshore. Essa legislação foi elaborada para facilitar e regulamentar leilões e investimentos no desenvolvimento de projetos de energia eólica no mar, estabelecendo diretrizes e procedimentos claros. O novo marco, aliado à infraestrutura existente e planejada, oferece uma base sólida para o desenvolvimento de capacidades de abastecimento de hidrogênio.

Os corredores verdes marítimos são definidos como rotas estabelecidas entre dois ou mais portos nas quais são utilizados combustíveis de emissão zero (Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping, 2022; Global Maritime Forum, 2022). Até fevereiro de 2024, havia 57 iniciativas de corredores verdes marítimos em operação globalmente (DNV, 2024). Ao concentrar esforços e recursos em rotas específicas, os interessados podem acelerar o desenvolvimento da infraestrutura de abastecimento necessária e estimular a demanda por combustíveis renováveis para o transporte marítimo. A natureza focada dos corredores verdes marítimos simplifica o envolvimento das partes interessadas e permite a implementação de regulamentações direcionadas (Mao et al., 2024).

METODOLOGIA

Adotamos uma abordagem em duas etapas para avaliar o potencial dos portos brasileiros em se tornarem polos de abastecimento de hidrogênio renovável. Do lado da oferta, avaliamos o nível de preparo dos portos para fornecer hidrogênio líquido renovável (RE-LH_2), amônia renovável (RE-NH_3) e metanol renovável (RE-MeOH), utilizando um modelo analítico multifatorial que combina critérios quantitativos e qualitativos. Do lado da demanda, analisamos o tráfego marítimo existente e estimamos a potencial demanda inicial por abastecimento de combustíveis marítimos renováveis no contexto dos corredores verdes marítimos. Este é um estudo de pré-viabilidade, no qual realizamos uma triagem inicial de portos candidatos, que posteriormente receberam uma avaliação mais aprofundada.

NÍVEL DE PREPARO DOS PORTOS

Há diversos fatores a considerar ao avaliar o nível de preparo de um porto para desenvolver infraestrutura de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis. Após consulta a especialistas do setor marítimo e portuário, definimos cinco critérios para essa avaliação na triagem inicial dos portos candidatos:[2]

1. Uso atual e potencial acesso à energia renovável
2. Capacidade do porto
3. Infraestrutura portuária
4. Localização estratégica e conectividade
5. Compromisso com a descarbonização

Nossas principais fontes de dados sobre os portos foram o banco de dados público da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e o *World Port Index.* A base da ANTAQ fornece informações sobre todos os portos públicos e privados do Brasil (203 no total), incluindo localização, tipos de movimentação de cargas e volumes de importação/exportação (ANTAQ, 2024). O *World Port Index* fornece dados sobre o tipo de porto, calado máximo, comprimento, instalações de carga e outras características (National Geospatial-Intelligence Agency, 2024). Também coletamos informações em websites de portos individuais sobre a infraestrutura de abastecimento existente, disponibilidade de terrenos para expansão e participação na Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos (ABDP).[3] Quando as informações não estavam disponíveis, consultamos especialistas do Ministério de Portos e Aeroportos do Brasil para obter esclarecimentos adicionais.

Para cada critério, atribuímos a cada porto uma pontuação de 1 a 5, sendo 5 a classificação mais alta. Também elaboramos três cenários de ponderação, utilizados para combinar as pontuações dos cinco critérios em uma pontuação final para cada porto (ver detalhes no Apêndice A).

Critério 1: Uso atual e potencial acesso à energia renovável

Como o RE-LH_2, o RE-NH_3 e o RE-MeOH são produzidos utilizando eletricidade renovável, um fator-chave na avaliação do nível de preparo de um porto é o acesso a recursos abundantes de energias renováveis. Em conformidade com a abordagem adotada por Mao et al. (2024), que avaliou os mesmos critérios para o setor marítimo

2 O ICCT assinou um memorando de entendimento com o Ministério de Portos e Aeroportos do Brasil e realizou consultas com representantes da Secretaria Nacional de Portos. Essas discussões envolveram especialistas responsáveis por políticas portuárias, regulamentação, gestão e planejamento de infraestrutura.

3 A ABDP é um fórum que promove a colaboração e o compartilhamento de conhecimento para acelerar a descarbonização dos setores portuário e marítimo do Brasil. Reúne diversos atores para implementar ações estratégicas, facilitar debates e desenvolver estratégias eficazes de descarbonização.

da China, consideramos apenas os recursos de energia eólica offshore próximos aos portos, devido a dois fatores: (1) em comparação com a energia solar, a necessidade de área de terra para parques eólicos é muito menor; e (2) em comparação com a eletricidade gerada por parques eólicos remotos, o custo de transporte de eletricidade é mínimo para a produção de combustíveis no próprio porto.

Este critério inclui tanto considerações quantitativas quanto qualitativas. Com base no *Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2021* (Empresa de Pesquisa Energética, 2021; Brasil em Mapas, 2023), estabelecemos a principal fonte de geração de eletricidade de cada estado brasileiro. Caso o sistema de monitoramento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) certifique que a geração de eletricidade de um estado é predominantemente de fontes renováveis—incluindo hidrelétrica, eólica e solar—categorizamos o porto localizado nesse estado como tendo um "alto" uso atual de energia renovável. Utilizamos dados de velocidade do vento para avaliar o potencial de acesso à energia eólica offshore dos portos (World Bank, 2020). Este indicador quantitativo reflete diretamente a disponibilidade de recursos para o desenvolvimento de parques eólicos offshore. Os 10 portos com maior pontuação nesse critério estão apresentados na Tabela 1. Os resultados detalhados para os 30 principais portos, segundo este critério, encontram-se no Apêndice C.

Tabela 1

Os 10 portos com maior pontuação no Critério 1

Nome do porto	Estado	Uso atual de energia renovável	Velocidade do vento offshore (m/s)	Pontuação
Terminal Petrolífero de Guamaré	RN	Alto	>10	5
Pelotas	RS	Alto	>10	5
Porto Alegre	RS	Alto	>10	5
Rio Grande	RS	Alto	>10	5
São Francisco do Sul	SC	Alto	9	5
Imbituba	SC	Alto	8,75	5
Pecém	CE	Alto	8	4
Fortaleza	CE	Alto	7,75	4
Natal	RN	Alto	8	4
Antonina	PR	Alto	6	4

Critério 2: Capacidade do porto

Este critério quantitativo avalia a capacidade dos portos com base nos dados de movimentação de cargas da base de dados da ANTAQ. A Tabela 2 apresenta os 10 principais portos brasileiros classificados de acordo com o volume de carga movimentado em 2023, seus principais tipos de carga, o tipo de porto (público ou privado) e as pontuações atribuídas. As pontuações refletem a capacidade relativa de cada porto, sendo 5 a pontuação máxima e as demais pontuações representando níveis progressivamente menores de capacidade, com base na distribuição dos volumes de carga. No Brasil, tanto os portos públicos quanto os privados apresentam alta atividade. O Porto de Santos, o maior do país, movimentou 166 milhões de toneladas de carga em 2023, incluindo granéis sólidos e líquidos, cargas conteinerizadas e carga geral. Da mesma forma, o Porto do Açu é um importante porto especializado em granéis sólidos, carga geral e gás natural liquefeito. Os resultados detalhados para os 30 principais portos estão disponíveis no Apêndice C.

Tabela 2

Os 10 portos com maior pontuação no Critério 2

Nome do porto	Principal tipo de carga	Volume total de carga em 2023 (milhões de toneladas)	Tipo de porto	Pontuação
Santos	Granel sólido – Soja	166	Público	5
Ponta da Madeira	Granel sólido – Minério de ferro	166	Privado	5
Porto do Açu	Granel líquido e gasoso – Petróleo bruto	84	Privado	4
Tubarão	Granel sólido – Minério de ferro	76	Privado	4
Paranaguá	Granel sólido – Soja	66	Público	4
Angra dos Reis	Granel líquido e gasoso – Petróleo bruto	64	Privado	4
São Sebastião	Granel líquido e gasoso – Óleos de petróleo	59	Privado	4
Itaguaí	Granel sólido – Minério de ferro	56	Público	4
Rio Grande	Granel sólido – Soja	40	Público	3
Vila do Conde	Granel sólido – Coríndon artificial	38	Público	3

Critério 3: Infraestrutura portuária

Para o critério qualitativo de infraestrutura portuária, focamos na disponibilidade de áreas e na capacidade de abastecimento. Um porto maior possui mais potencial para oferecer serviços de abastecimento, pois pode receber um maior número de navios e embarcações de maior porte; além disso, um porto com acesso a áreas disponíveis para futuras expansões apresenta mais potencial para fornecer abastecimento de combustíveis marítimos renováveis, já que é necessário espaço para a instalação de unidades de produção desses combustíveis. Embora atualmente não existam operações de abastecimento de RE-LH_2, RE-NH_3 ou RE-MeOH no Brasil, um porto que já possua infraestrutura de abastecimento de combustíveis marítimos tradicionais apresenta maior potencial do que um porto que não possua essa estrutura. No Brasil, há 18 portos que comercializam combustível para navios, quase exclusivamente óleo combustível residual e óleo destilado (ver a lista de portos de abastecimento no Apêndice B). As pontuações finais dos 10 principais portos segundo este critério estão apresentadas na Tabela 3. As pontuações dos 30 principais portos estão disponíveis no Apêndice C.

Tabela 3

Os 10 portos com maior pontuação no Critério 3

Nome do porto	Área (milhões m^2)	Calado máximo (m)	Área para expansão	Instalação de abastecimento	Pontuação
Santos	7,9	15,0	Sim	Sim	5
Itaqui	2,6	23,0	Sim	Sim	5
São Sebastião	0,4	23,0	Sim	Sim	4
Rio Grande	5,5	12,8	Sim	Sim	4
Suape	3,2	17,3	Sim	Sim	4
Paranaguá	0,1	13,3	Sim	Sim	4
Salvador	0,3	14,7	Sim	Sim	4
Maceió	0,3	10,5	Sim	Sim	4
Recife	0,1	12,0	Sim	Sim	4
Angra dos Reis	0,1	9,0	Sim	Sim	4

Critério 4: Localização estratégica e conectividade

A localização estratégica e a conectividade são fatores cruciais para determinar a aptidão de um porto como polo de abastecimento, pois indicam a demanda por esse serviço. Essa demanda é essencial para alcançar economias de escala capazes de compensar os elevados custos de investimento na oferta de combustíveis marítimos renováveis (United States Maritime Administration, 2023).

Segundo Carvalho e Costa (2024), os principais parceiros comerciais do Brasil incluem Argentina, China, Rússia e Estados Unidos. Os principais produtos de exportação, em termos de valor, são minério de ferro, soja, petróleo bruto e açúcar. Já os principais produtos de importação são commodities de maior valor agregado, como autopeças, equipamentos de telecomunicações e gás natural. No transporte doméstico, o petróleo bruto e seus derivados dominam a demanda por serviços de transporte (Carvalho & Costa, 2024).

Este critério foi avaliado com base em uma série de fatores quantitativos e qualitativos. Primeiramente, os portos públicos, todos gerenciados pelo Ministério de Portos e Aeroportos, foram considerados mais estrategicamente relevantes que os portos privados, em razão de seu papel na infraestrutura nacional. Em segundo lugar, portos com rotas de navegação estabelecidas com os principais parceiros comerciais foram considerados mais importantes estrategicamente. Por fim, a conectividade foi avaliada com base no número de rotas de conexão, tanto internacionais quanto de cabotagem, por refletir a amplitude do impacto econômico. As pontuações estão apresentadas na Tabela 4, juntamente com o principal tipo de carga movimentado nessas rotas. Os resultados para os 30 principais portos estão disponíveis no Apêndice C.

Tabela 4
Os 10 portos com maior pontuação no Critério 4

Nome do porto	Cabotagem			Internacional			Tipo de porto	Pontuação
	Rota típica (estado)	Número de rotas de conexão	Principal tipo de carga	Rota típica (país)	Número de rotas de conexão	Principal tipo de carga		
Santos	RJ	15	Petróleo e derivados	China	135	Soja	Público	5
Rio Grande	PE	14	Contêineres	China	103	Soja	Público	5
Rio de Janeiro	SP	14	Petróleo e derivados	Estados Unidos	107	Contêineres	Privado	5
Itaqui	MA	13	Petróleo e derivados	China	57	Soja	Público	5
Suape	SP	14	Petróleo e derivados	Estados Unidos	58	Óleos de petróleo	Público	5
Itaguaí	CE	11	Contêineres	China	73	Minério de ferro	Público	5
Imbituba	CE	10	Contêineres	Estados Unidos	53	Coque de petróleo	Público	5
Fortaleza	CE	14	Petróleo e derivados	Argentina	24	Trigo	Público	4
Vitória	SC	13	Ferro e aço	China	41	Ferro fundido	Público	4
Navegantes	SC	11	Contêineres	China	60	Contêineres	Privado	4

Critério 5: Compromisso com a descarbonização

Este critério avalia o compromisso dos portos em investir proativamente em iniciativas de descarbonização. Analisamos informações públicas disponíveis, incluindo os portais eletrônicos institucionais dos portos e notícias, considerando três aspectos: (1) projetos em processo de licenciamento para complexos eólicos offshore; (2) participação na ABDP; e (3) incorporação de novas fontes de geração de energia no plano estratégico do respectivo porto. Essa avaliação teve como objetivo identificar os portos que estão ativamente implementando estratégias de descarbonização e demonstrando compromisso com operações portuárias sustentáveis.

Cada porto foi avaliado com base nesses três aspectos, sendo atribuída uma pontuação de 5 para "Sim" (aspecto atendido) e de 1 para "Não" (aspecto não atendido). Para o Critério 5, a pontuação final foi determinada pela média das pontuações obtidas nos três aspectos. Um porto só poderia alcançar a pontuação máxima de 5 caso atendesse a todos os aspectos; pontuações inferiores indicam um nível decrescente de compromisso, com menos aspectos sendo contemplados. A Tabela 5 apresenta as pontuações dos 10 principais portos segundo este critério, e os resultados para os 30 principais portos estão disponíveis no Apêndice C.

Tabela 5

Os 10 portos com maior pontuação no Critério 5

Nome do porto	Região do porto	Projetos de eólica offshore em licenciamento	Participação na ABDP	Inclusão de energia renovável no planejamento estratégico	Pontuação
Rio Grande	Sul	Sim	Sim	Sim	5
Rio de Janeiro	Sudeste	Sim	Sim	Sim	5
Itaqui	Nordeste	Sim	Sim	Sim	5
Itaguaí	Nordeste	Sim	Sim	Sim	5
Fortaleza	Nordeste	Sim	Sim	Sim	5
Navegantes	Sul	Sim	Sim	Sim	5
Pecém	Nordeste	Sim	Sim	Sim	5
Porto do Açu	Sudeste	Sim	Sim	Sim	5
Angra dos Reis	Sudeste	Sim	Sim	Sim	5
Santos	Sudeste	Não	Sim	Sim	4

Cenários de ponderação

Avaliamos os cinco critérios por meio de três cenários de ponderação: pesos iguais, com base em consulta a especialistas e preferência pela infraestrutura portuária (Tabela 6). Os detalhes completos estão disponíveis no Apêndice A.

Cenário 1: Pesos iguais para todos os cinco critérios. Este cenário simplifica a avaliação ao atribuir a mesma importância a todos os fatores. No entanto, pode não refletir com precisão as prioridades das partes interessadas ou situações em que alguns critérios tenham maior relevância que outros.

Cenário 2: Com base em consulta a especialistas. Neste cenário, os pesos são atribuídos com base em percepções e recomendações de especialistas do setor, incluindo contribuições de profissionais do Ministério de Portos e Aeroportos do Brasil. Esse cenário baseia-se na experiência e no conhecimento das partes interessadas que compreendem o contexto específico e os ambientes operacionais dos portos,

buscando refletir uma compreensão mais detalhada sobre quais fatores são mais importantes na avaliação dos portos.

Cenário 3: Preferência pela infraestrutura portuária. Este cenário destaca a importância das capacidades físicas e da logística, que normalmente são os fatores limitantes para os portos na consideração de iniciativas voltadas aos corredores verdes marítimos.

Tabela 6
Fatores de ponderação por cenário

Critério	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
C1: Uso atual e potencial acesso à energia renovável	20%	21%	17,5%
C2: Capacidade do porto	20%	18%	17,5%
C3: Infraestrutura portuária	20%	19%	30%
C4: Localização estratégica e conectividade	20%	23%	17,5%
C5: Compromisso com a descarbonização	20%	19%	17,5%

DEMANDA POTENCIAL POR COMBUSTÍVEL MARÍTIMO RENOVÁVEL

Analisamos o tráfego marítimo existente, os padrões de rotas e o consumo de energia nos portos selecionados de interesse utilizando o modelo *Systematic Assessment of Vessel Emissions (SAVE)* do ICCT (Mao et al., 2025). Com base nos dados das rotas comerciais, identificamos rotas específicas ou pares de portos. Para garantir uma avaliação abrangente, incluímos rotas internacionais e domésticas que conectam o Brasil com os principais parceiros comerciais e cobrimos os principais tipos de carga transportados.

Após o estabelecimento das rotas de interesse, selecionamos navios amostrais que operam nessas rotas. Utilizando as metodologias desenvolvidas por Mao et al. (2024), avaliamos apenas a demanda por combustível de um grupo selecionado de navios de emissão zero operando nas principais rotas comerciais que conectam os portos candidatos. Após a definição dos navios de interesse, utilizamos o modelo SAVE para estimar a demanda de energia nos portos, assumindo que todos os navios abasteceram combustível suficiente para suportar pelo menos a próxima viagem antes da partida. Em seguida, essa demanda energética foi convertida para o equivalente em combustíveis marítimos renováveis utilizando a Equação 1.

$$V_{comb_nec_i} = \frac{E_{requerida_i}}{DV_{comb} \times \eta_{comb}} \times margem\ comb \quad (1)$$

Onde:

$V_{comb_nec_i}$ é o volume do sistema de combustível necessário para fornecer energia suficiente para completar o trecho *i*, em m³

$E_{requerida_i}$ é a energia requerida para completar o trecho *i*, em kWh (calculada pelo modelo SAVE)

DV_{comb} é a densidade volumétrica do sistema de combustível, em kWh/m³ (ver Tabela 7)

η_{comb} é a eficiência de conversão do respectivo combustível em energia:

- LH_2: 54% (baseado em célula a combustível)
- MeOH: 50% (baseado em motor de combustão interna)
- NH_3: 50% (baseado em motor de combustão interna)

margem comb é a margem de segurança de 1,2, assumindo que todos os navios transportam a bordo mais combustível do que o mínimo necessário

Tabela 7

Características dos combustíveis

Combustível	Densidade (kg/m³)[a]	Densidade energética (kWh/kg)	Densidade volumétrica (kWh/m³)[b]
RE-LH_2	40	33,3	1.332
RE-NH_3	602	5,2	3.112
RE-MeOH	790	5,5	4.369

[a] Estas são premissas de sistema adotadas por Mao et al. (2024)
[b] A densidade volumétrica é obtida pela multiplicação da densidade (kg/m³) pela densidade energética (kWh/kg)

A massa total de eletrocombustível necessária foi estimada utilizando a Equação 2, com base no volume calculado do sistema de combustível e na densidade do eletrocombustível.

$$m_{comb} = \frac{\frac{E_{requerida_i}}{DE_{comb} \times \eta_{fuel}} \times margem\ comb}{1.000} \quad (2)$$

Onde:

m_{comb} é a massa total dos eletrocombustíveis considerados (em toneladas)

DE_{comb}é a densidade energética dos eletrocombustíveis

Como o RE-LH_2, o RE-NH_3 e o RE-MeOH possuem densidade energética inferior à dos combustíveis marítimos tradicionais, é possível que um navio não consiga completar sua rota original ao adotar essas opções de combustível, sendo necessário reabastecer ao longo do trajeto. Avaliamos a viabilidade tecnológica utilizando a Equação 3.

$$N_{reabast_i} = \frac{V_{comb_nec_i}}{V_{capac_comb_l}} \quad (3)$$

Onde:

$V_{reabast_i}$ é o número de vezes que um navio precisará reabastecer em um único trecho i

$N_{capac_comb_l}$ é a capacidade de volume disponível de combustível correspondente a bordo do navio l, em m³

Apenas se o número de paradas para reabastecimento de uma determinada opção de combustível for zero, essa opção é considerada viável. Caso múltiplas opções de combustível sejam viáveis para um navio na rota selecionada, todas as opções foram mantidas. Como resultado, ao calcular a demanda associada por hidrogênio renovável (Equação 4), apresentamos um intervalo de valores em vez de um único valor.

$$m_H2_implíc = m_comb \times \left(\frac{LHV_comb}{\eta \times LHV_H2} \right) \quad \textbf{(4)}$$

Onde:

m_H2_implíc é a massa implícita de hidrogênio necessária para a produção de MeOH e NH_3

LHV é o poder calorífico inferior (*lower heating value*) do combustível. Para H_2, 120 MJ/kg; para MeOH, 19,9 MJ/kg; e para NH_3, 18,6 MJ/kg, de acordo com IMO (2022) e IMO (2024)

η é a eficiência de conversão. Para MeOH, 79%, e para NH_3, 84%, de Brynolf et al. (2018) e Moritz et al. (2023)

Por fim, convertemos a demanda implícita por hidrogênio renovável em demanda por eletricidade renovável e a comparamos com a capacidade atual de geração de eletricidade renovável a partir de energia eólica no Brasil (International Energy Agency, 2023). Essa etapa concluiu a análise de viabilidade dos portos candidatos como futuros polos de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

NÍVEL DE PREPARO DOS PORTOS

As pontuações finais e a classificação dos portos brasileiros estão apresentadas na Tabela 8, de acordo com os três cenários de ponderação. Os portos públicos e privados foram analisados separadamente, uma vez que possuem diferentes modelos de negócios e, consequentemente, distintos processos de tomada de decisão. Essa separação também garante uma representação equilibrada em nossa análise.

Os diferentes cenários de ponderação resultaram em apenas pequenas variações na classificação final, e os três portos melhor classificados de cada grupo (destacados em cinza) permaneceram nas três primeiras posições em todos os cenários.

Tabela 8

Pontuações finais de nível de preparo portuário, top 10 portos privados e top 10 portos públicos

Portos privados								
Nome do porto	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Cenário de ponderação 1	Cenário de ponderação 2	Cenário de ponderação 3
Pecém	4,5	3,0	3,3	3,8	5,0	3,9	3,9	3,8
Navegantes	4,0	3,0	2,8	4,0	5,0	3,8	3,8	3,6
Porto do Açu	2,5	4,0	3,0	3,5	5,0	3,6	3,6	3,5
Angra dos Reis	2,5	4,0	3,5	3,3	5,0	3,6	3,7	3,6
São Sebastiao	4,0	4,0	4,3	3,0	2,3	3,5	3,5	3,6
Ponta da Madeira	2,5	5,0	3,3	2,8	3,7	3,4	3,4	3,4
Itapoá	4,5	3,0	1,8	4,0	3,7	3,4	3,4	3,2
Tubarão	3,0	4,0	3,0	3,0	3,7	3,3	3,3	3,3
Guamaré Oil Terminal	5,0	2,0	2,5	3,3	3,7	3,3	3,3	3,2
Praia Mole	3,0	3,0	3,3	3,3	3,7	3,2	3,2	3,2
Portos Públicos								
Nome do porto	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Cenário de ponderação 1	Cenário de ponderação 2	Cenário de ponderação 3
Santos	4,0	5,0	4,5	5,0	3,7	4,4	4,4	4,4
Rio Grande	5,0	3,0	4,3	4,8	5,0	4,4	4,4	4,4
Itaqui	2,5	3,0	4,5	4,5	5,0	3,9	3,9	4,0
Itaguaí	2,5	4,0	3,3	4,5	5,0	3,8	3,9	3,8
Fortaleza	4,5	2,0	2,8	4,3	5,0	3,8	3,7	3,6
São Francisco do Sul	5,0	3,0	3,0	3,8	3,7	3,7	3,7	3,6
Imbituba	5,0	2,0	3,0	4,5	3,7	3,7	3,6	3,6
Rio de Janeiro	2,5	3,0	2,8	4,8	5,0	3,6	3,6	3,5
Paranaguá	4,0	4,0	3,8	3,5	2,3	3,5	3,5	3,5
Suape	2,5	3,0	4,0	4,5	2,0	3,2	3,2	3,3

Observação: O sombreamento destaca os três portos mais bem classificados, que também ocupam as primeiras posições em todos os cenários de ponderação.

Cinco dos seis portos mais bem classificados (três privados e três públicos) obtiveram altas pontuações no Critério 5, compromisso com a descarbonização. A única exceção é o Porto de Santos, que, apesar de ser o maior e um dos portos mais conectados e estrategicamente importantes do Brasil, obteve uma pontuação mais baixa. Isso se deve principalmente ao fato de não haver projetos de energia eólica offshore existentes ou planejados, que são a principal fonte de energia renovável considerada para a produção de hidrogênio renovável neste estudo. O Porto do Açu e Porto de Itaqui apresentaram pontuações intermediárias em relação ao acesso à energia renovável (Critério 1), mas obtiveram melhores resultados nos demais critérios. As pontuações do Critério 3 indicam que, em comparação com os portos públicos, a maioria dos portos privados possui infraestrutura insuficiente para estar pronta para o abastecimento de combustíveis marítimos renováveis. Por fim, de acordo com as pontuações do Critério 4, os portos públicos parecem ser mais conectados e apresentam uma vantagem estratégica em relação aos portos privados. Embora os portos privados estejam sujeitos à regulação, o Ministério de Portos e Aeroportos do Brasil exerce maior influência sobre os portos públicos devido ao seu papel na administração, no planejamento e na própria natureza da gestão pública portuária. Selecionamos seis portos, sendo os três principais de cada tipo, como portos candidatos iniciais para se tornarem futuros polos de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis: Pecém, Navegantes, Porto do Açu, Santos, Rio Grande e Itaqui.

ANÁLISE DA DEMANDA POR ABASTECIMENTO

Seleção de rotas e demanda de energia

No Critério 4, localização estratégica e conectividade, foram identificadas as principais rotas e tipos de cargas para cada porto (Tabela 4). Com base nessas informações e nos padrões de tráfego de navios nos portos brasileiros, obtidos por meio do nosso modelo SAVE, selecionamos 10 rotas conectando os seis portos candidatos como rotas de referência (Tabela 9). Essa seleção abrange tanto rotas internacionais (Figura 4) quanto viagens de cabotagem (Figura 5), envolvendo navios que transportam os principais tipos de commodities comercializadas no Brasil e rotas que conectam o país aos seus maiores parceiros comerciais.

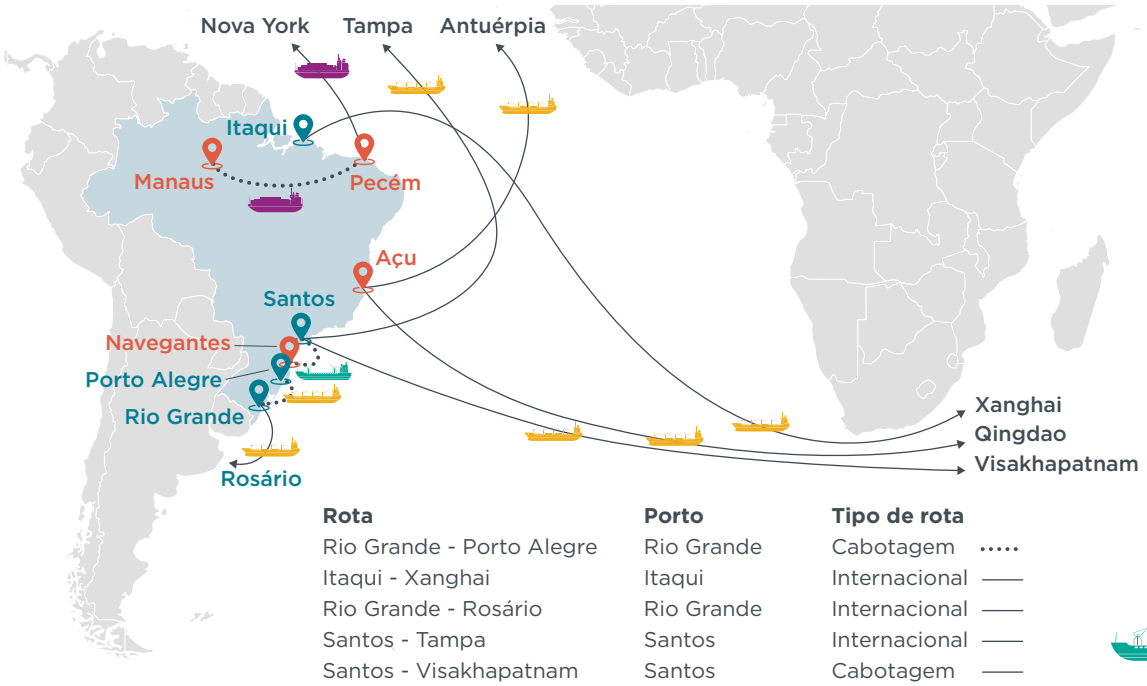
Tabela 9

Seleção de rotas para análise da demanda por abastecimento

Porto	Rota	Tipo de rota	Classe de navio
Santos	Santos – Tampa (Estados Unidos)	Internacional	Graneleiro
Santos	Santos – Visakhapatnam (Índia)	Internacional	Graneleiro
Porto do Açu	Porto do Açu – Qingdao (China)	Internacional	Graneleiro
Porto do Açu	Porto do Açu – Antuérpia (Bélgica)	Internacional	Graneleiro
Pecém	Pecém – Nova York (Estados Unidos)	Internacional	Porta-contêineres
Itaqui	Itaqui – Xangai (China)	Internacional	Graneleiro
Rio Grande	Rio Grande – Rosário (Argentina)	Internacional	Graneleiro
Rio Grande	Rio Grande – Porto Alegre	Cabotagem	Graneleiro
Navegantes	Navegantes – Santos	Cabotagem	Carga geral
Pecém	Pecém – Manaus	Cabotagem	Porta-contêineres

Figura 4

Rotas internacionais consideradas no estudo



Rota	Porto	Tipo de rota
Rio Grande - Porto Alegre	Rio Grande	Cabotagem ·····
Itaqui - Xanghai	Itaqui	Internacional ——
Rio Grande - Rosário	Rio Grande	Internacional ——
Santos - Tampa	Santos	Internacional ——
Santos - Visakhapatnam	Santos	Cabotagem ——
Navegantes - Santos	Navegantes	Cabotagem ·····
Pecém - Manaus	Pecém	Cabotagem ·····
Pecém - Nova York	Pecém	Internacional ——
Porto do Açu - Qingdao	Porto do Açu	Internacional ——
Porto do Açu - Antuérpia	Porto do Açu	Internacional ——

CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

Figura 5

Rotas de cabotagem brasileiras consideradas no estudo

Rota	Porto
Rio Grande - Porto Alegre	Rio Grande
Navegantes- Santos	Navegantes
Pecém - Manaus	Pecém

CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

Selecionamos um navio para cada rota escolhida, representando hipoteticamente o primeiro navio de emissão zero a ser abastecido com combustível marítimo renovável nos portos candidatos selecionados. A Tabela 10 apresenta um panorama do consumo de combustível e das emissões associadas de CO_2 para uma viagem nessas rotas.

Tabela 10

Emissões operacionais de CO_2 e volumes de consumo de combustível nas rotas marítimas selecionadas

Rota	Classe de navio	Distância (milhas náuticas)	Tonelagem de porte bruto (DWT, do inglês *deadweight tonnage*)	Consumo de combustível (toneladas)	Emissões de CO_2 (toneladas)	Índice de eficiência anual (g CO_2/dwt-nm)
Santos – Tampa	Graneleiro	5.420	40.261	232	723	3,3
Pecém – Nova York	Porta-contêiner	3.300	83.557	459	1.432	5,2
Porto do Açu – Qingdao	Graneleiro	10.064	176.330	1.062	3.307	1,9
Porto do Açu – Antuérpia	Graneleiro	5.162	31.837	351	1.085	6,7
Santos – Visakhapatnam	Graneleiro	8.568	82.997	632	1.969	2,8
Itaqui – Xangai	Graneleiro	12.141	324.272	1.466	4.564	1,2
Rio Grande – Rosário	Graneleiro	1.131	35.956	79	247	6,1
Navegantes – Santos	Carga geral	226	62.014	21	65	4,6
Pecém – Manaus	Porta-contêiner	1.542	37.968	137	425	7,3
Porto Alegre – Rio Grande	Graneleiro	158	45.601	11	35	4,8
Total		**47.712**	**920.723**	**4.449**	**13.862**	

No total, os 10 navios amostrais consumiram 4.449 toneladas de combustível, resultando na emissão de 13.862 toneladas de CO_2. A rota mais longa analisada, Itaqui–Xangai, tem uma extensão de mais de 12.000 milhas náuticas. As rotas para a China e Índia (Porto do Açu–Qingdao, Itaqui–Xangai e Santos–Visakhapatnam), operadas principalmente por navios graneleiros transportando commodities como minério de ferro, apresentaram índices anuais de eficiência (AER, do inglês *annual efficiency ratio*) relativamente baixos, um indicador utilizado para medir a intensidade de carbono. Nessas rotas, a média ficou abaixo de 3 g CO_2/dwt-nm, o que está em conformidade com a compreensão de que navios graneleiros são, em geral, mais eficientes (Mao et al., 2025). Por outro lado, outras rotas apresentaram maior intensidade de carbono. A rota Porto do Açu–Antuérpia, também operada por um navio graneleiro, registrou um AER de 6,7 g CO_2/dwt-nm. Além disso, as rotas de cabotagem brasileiras analisadas (Navegantes–Santos, Pecém–Manaus e Porto Alegre–Rio Grande) apresentaram, em geral, valores mais altos de AER, o que provavelmente reflete o impacto das distâncias mais curtas e do uso de embarcações menores e, potencialmente, menos eficientes. A rota de contêineres Pecém–Manaus apresentou o maior AER, com 7,3 g CO_2/dwt-nm.

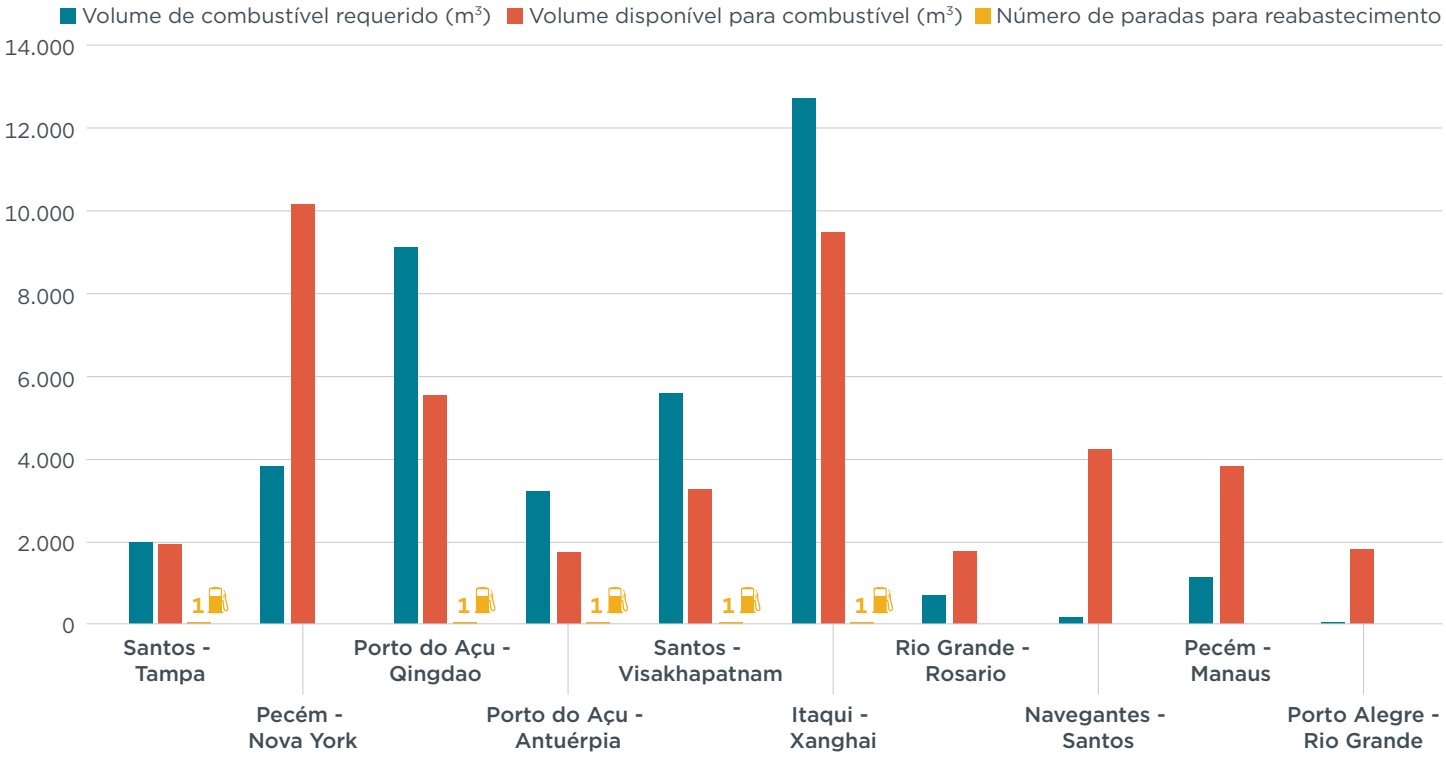
Demanda por abastecimento e demanda implícita por eletricidade renovável

Em relação à viabilidade tecnológica de substituir as necessidades atuais de combustível pelas alternativas analisadas, nossos resultados na Figura 6 mostram que o uso de RE-LH_2 sem a necessidade de paradas para reabastecimento é viável nas cinco rotas mais curtas, incluindo três rotas de cabotagem (Navegantes–Santos, Pecém–Manaus e Porto Alegre–Rio Grande) e duas rotas internacionais (Pecém–Nova York e Rio Grande–Rosário). Para as demais rotas internacionais, caso utilizem RE-LH_2, seria necessária uma parada para reabastecimento em todas as cinco rotas. As Figuras 7 e 8 mostram que tanto o RE-NH_3 quanto o RE-MeOH oferecem, de forma consistente,

maior viabilidade em todas as rotas analisadas, não sendo necessárias paradas para reabastecimento em nenhuma delas.

Figura 6

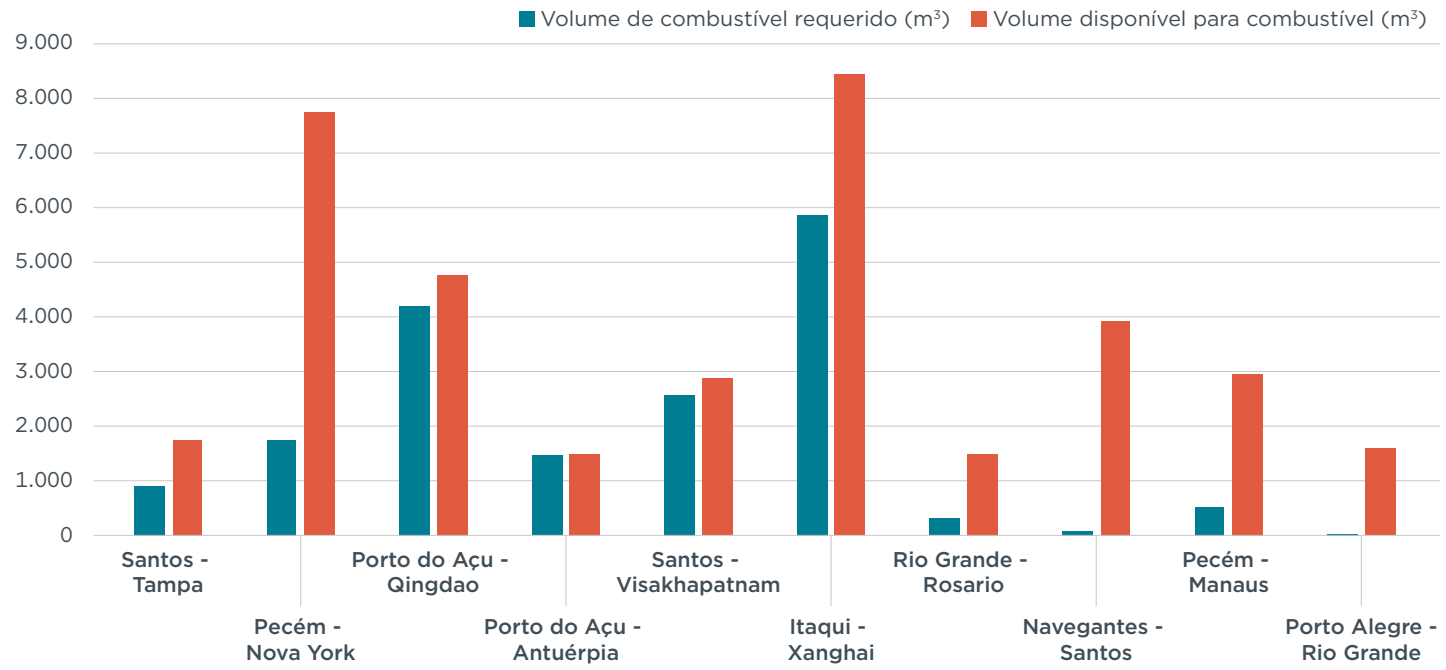
Estimativa de LH_2 necessário versus disponível por rota



CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

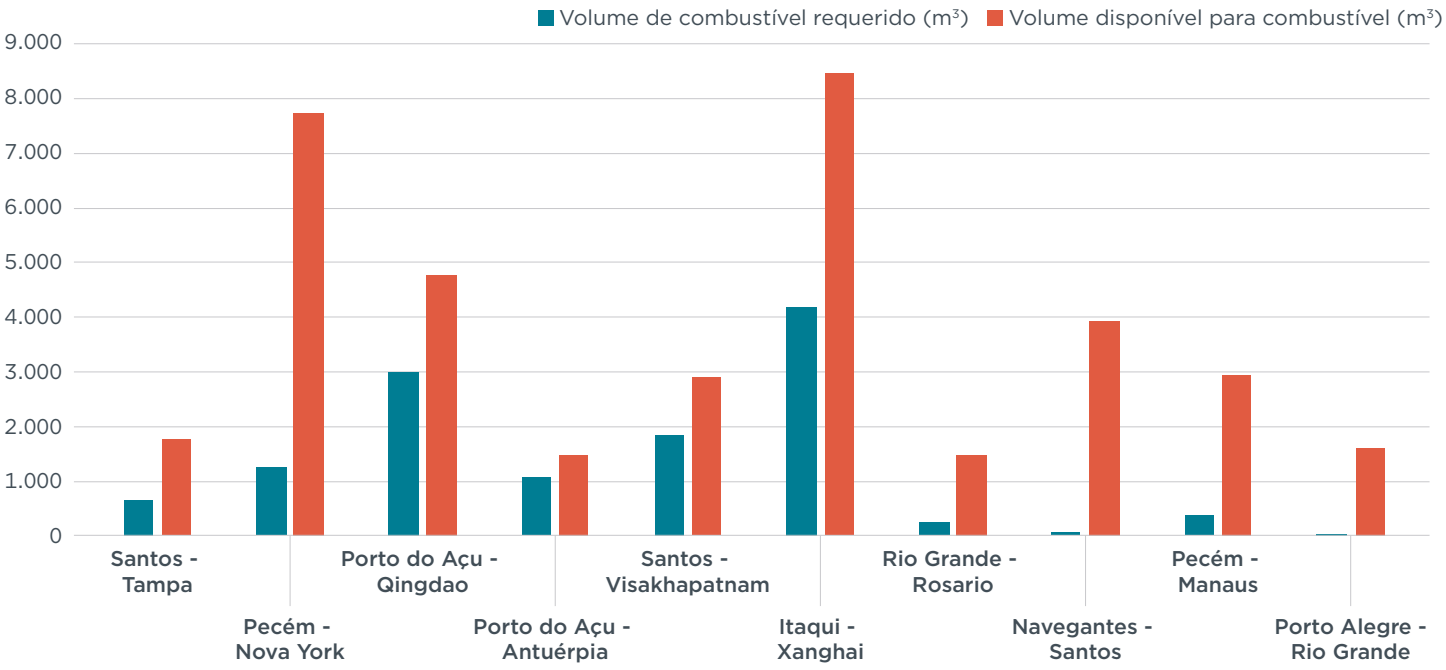
Figura 7

Estimativa de NH_3 necessário versus disponível por rota



CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

Figura 8
Estimativa de MeOH necessário versus disponível por rota



CONSELHO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE LIMPO **THEICCT.ORG**

Como o RE-NH_3 e o RE-MeOH são produzidos a partir do RE-LH_2, convertemos a demanda estimada para essas opções de combustíveis e calculamos a demanda implícita por RE-LH_2 para as rotas em que o RE-NH_3 ou o RE-MeOH foram identificados como opções de combustível viáveis. Para as rotas em que mais de uma opção de combustível é viável, apresentamos o intervalo da demanda implícita por RE-LH_2. Em seguida, estimamos a demanda correspondente por eletricidade renovável necessária para a produção de RE-LH_2 (Tabela 11). Embora o uso direto de RE-LH_2 seja energeticamente mais eficiente devido às perdas de energia inerentes à sua conversão em RE-NH_3 ou RE-MeOH, a viabilidade tecnológica do RE-LH_2 não está garantida em rotas mais longas, devido aos grandes volumes necessários. Além disso, embora o RE-NH_3 exija menos hidrogênio como insumo do que o RE-MeOH, seu grau de maturidade técnica para aplicações marítimas é atualmente mais baixo. Considerando todas as rotas analisadas, atender à demanda por combustíveis exigiria entre 1.785 e 1.910 toneladas de hidrogênio (independentemente do combustível marítimo renovável utilizado), o que se traduz em uma demanda por eletricidade renovável entre 82 e 92 GWh. Para contextualizar, um eletrolisador de 1 MW pode produzir cerca de 500 kg de hidrogênio renovável por dia (Zhou & Searle, 2022), e o maior eletrolisador em construção possui uma capacidade de 4 GW (International Energy Agency, s.d.). Essa demanda total representa uma pequena fração (menos de 1%) da produção anual projetada de hidrogênio renovável no Brasil, estimada em 1 milhão de toneladas até 2030 (Klevstrand, 2023).

Tabela 11

Demanda implícita por hidrogênio renovável e eletricidade renovável das rotas selecionadas que conectam portos candidatos no Brasil

Rota	Demanda implícita por RE-LH2 (toneladas)				Demanda implícita por energia renovável (GWh)
	RE-LH2	RE-NH3	RE-MeOH	Total	Total
Santos – Tampa		98	105	98–105	4,7–5
Pecém – New York	142	183	196	142–196	7–9
Porto do Açu – Qingdao		425	455	425–455	20–22
Porto do Açu – Antuérpia		140	150	140–150	6,7–7
Santos – Visakhapatnam		253	271	253–271	12–13
Itaqui – Shanghai		586	627	586–627	28–30
Rio Grande – Rosario	25	32	34	25–34	1–2
Navegantes – Santos	6	8	9	6–9	0,3–0,4
Pecém – Manaus	42	55	58	42–58	2–3
Rio Grande – Porto Alegre	3	4	5	3–5	0,2
Total	**219**	**1.785**	**1.911**	**1.785–1.911**	**82–92**

Observação: células em branco representam rotas nas quais essa opção de combustível não foi considerada viável.

Na Tabela 12, agregamos a demanda por hidrogênio renovável de todas as rotas que conectam cada porto candidato, no nível de porto. Itaqui apresenta a maior demanda, entre 586 e 627 toneladas de RE-LH_2 e entre 28 e 30 GWh de eletricidade renovável, proveniente de uma única rota. Em seguida, destaca-se o Porto do Açu, com uma demanda entre 565 e 605 toneladas de RE-LH_2 (27–29 GWh) ao longo de duas rotas analisadas. Santos, com rotas atendidas por navios graneleiros e porta-contêineres, apresenta uma demanda de 351 a 376 toneladas de RE-LH_2 (17–18 GWh). Pecém, que opera com navios porta-contêineres e de carga geral, apresenta uma demanda de 184 a 254 toneladas de RE-LH_2 (9–12 GWh). Rio Grande, atendido por navios graneleiros, possui uma demanda de 28 a 39 toneladas de RE-LH_2 (1,2–2 GWh). Navegantes, que possui uma rota de carga geral, apresenta uma demanda de 6 a 9 toneladas de RE-LH_2 (0,3–0,4 GWh). Os portos públicos (destacados em cinza na Tabela 12) representariam cerca de 43% da demanda total por RE-LH_2. Vale destacar que essa estimativa de demanda considera apenas uma viagem em cada rota; esse valor pode ser substancialmente ampliado com a implementação de corredores verdes marítimos.

Tabela 12

Demanda total por hidrogênio renovável e eletricidade renovável para os portos candidatos

Porto	Número de rotas analisadas	Demanda por RE-LH_2 (toneladas)	Demanda por eletricidade renovável (GWh)
Santos	2	351–376	17–18
Itaqui	1	586–627	28–30
Rio Grande	2	28–39	1,2–2
Porto do Açu	2	565–605	27–29
Pecém	2	184–254	9–12
Navegantes	1	6–9	0,3–0,4
Total	**10**	**1.720–1910**	**82–92**

Observação: portos públicos estão destacados em cinza.

CONCLUSÃO

Esta análise de pré-viabilidade explorou o potencial dos portos brasileiros para atuarem como polos de abastecimento de combustíveis marítimos renováveis. Inicialmente, realizamos uma triagem dos portos com base em uma estrutura analítica multifatorial para o nível de preparo e, em seguida, quantificamos a demanda potencial de abastecimento para esses combustíveis nos portos selecionados.

Identificamos seis portos candidatos: três públicos (Santos, Itaqui e Rio Grande) e três privados (Porto do Açu, Pecém e Navegantes) para uma avaliação mais aprofundada. Santos, o maior porto da América Latina, obteve altas classificações em quatro dos cinco critérios de nível de preparo analisados, embora tenha apresentado apenas um nível moderado de compromisso com a descarbonização devido à ausência de projetos eólicos offshore em andamento ou planejados. Porto do Açu e Itaqui apresentaram altas pontuações em todos os critérios, exceto no acesso potencial à energia eólica offshore. De modo geral, os portos públicos tiveram desempenho superior aos privados, especialmente em termos de infraestrutura, localização estratégica e conectividade. Em uma escala de 1 a 5, os seis portos candidatos selecionados apresentaram pontuações ponderadas entre 3,5 e 4,4.

Com base no tráfego de navios em 2023, identificamos 10 rotas conectando esses seis portos candidatos tanto ao mercado doméstico quanto aos principais mercados internacionais. Em 2023, estimou-se que os navios amostrais nessas rotas consumiram mais de 4.449 toneladas de combustível e emitiram aproximadamente 13.862 toneladas de CO_2 em uma única viagem. A eficiência operacional varia conforme a rota, e rotas mais eficientes poderiam ser priorizadas na implantação de navios de emissão zero, considerando o potencial de economia no consumo de combustível.

Consideramos o RE-LH_2, o RE-NH_3 e o RE-MeOH como combustíveis alternativos passíveis de serem fornecidos nesses portos. Enquanto a utilização direta do RE-LH_2 foi considerada viável em apenas metade das rotas, o RE-NH_3 e o RE-MeOH mostraram-se viáveis em todas as rotas, sem a necessidade de paradas adicionais para reabastecimento. No total, estimamos que, para substituir o consumo de combustíveis fósseis nas rotas e viagens analisadas, seriam necessárias aproximadamente 1.785 a 1.910 toneladas de hidrogênio renovável para a produção dos diversos tipos de combustíveis marítimos renováveis de uso final, o que implica uma demanda de 82 a 92 GWh de eletricidade renovável gerada por instalações de energia eólica offshore. Para efeito de comparação, em 2023, a usina hidrelétrica de Itaipu, a maior do Brasil, gerou aproximadamente 83.000 GWh de eletricidade (Itaipu Binacional, 2023). Assim, a demanda de 82 a 92 GWh representa cerca de 0,1% da produção anual de energia de Itaipu. Embora essa demanda represente apenas 0,2% da produção planejada de hidrogênio renovável no Brasil, ela pode se expandir rapidamente uma vez que os serviços de abastecimento nos portos sejam implementados. Em um estudo futuro, pretendemos quantificar essa demanda ampliada por combustíveis marítimos renováveis no Brasil e explorar os potenciais benefícios econômicos e climáticos.

No entanto, para concretizar todo o potencial dessas alternativas de combustíveis renováveis, são necessários investimentos substanciais e esforços colaborativos entre todas as partes envolvidas, incluindo autoridades portuárias, empresas de navegação e agências governamentais. Iniciativas como o acordo Brasil–Noruega para estabelecer corredores marítimos sustentáveis estão tratando da necessidade de estudos abrangentes para o desenvolvimento de corredores verdes marítimos (Machado, 2025). Além disso, em 19 de fevereiro de 2025, Brasil e Portugal assinaram um memorando de entendimento focado no desenvolvimento de portos em ambos os países, incluindo explicitamente a criação de corredores verdes marítimos (Ministerio dos Portos e Aeroportos, 2025). Esses acordos reforçam o crescente compromisso

internacional com a promoção de práticas marítimas sustentáveis e destacam a importância das parcerias bilaterais para acelerar a transição para um transporte marítimo mais limpo.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2024). *Estatístico aquaviário.* https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html#

Aranha, C. (2023, 21 de julho). Brazilian ports get ready for energy transition with green hydrogen. *CZ Insights.* https://www.czapp.com/analyst-insights/brazilian-ports-get-ready-for-energy-transition-with-green-hydrogen/

Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management, 182*, 72–88. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080

Baldino, C., & Searle, S. (2021, 14 de junho). GO big or GO home with e-fuels and hydrogen. *International Council on Clean Transportation Staff Blog.* https://theicct.org/go-big-or-go-home-with-e-fuels-and-hydrogen/

Brasil em Mapas. (2023). Main source of electricity in each Brazilian state. https://brasilemapas.wordpress.com/2023/02/26/principal-fonte-de-energia-de-cada-estado-do-brasil/

Brynolf, S., Taljegard, M., Grahn, M., & Hannsson, J. (2018). Electrofuels for the transport sector: A review of production costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81*, 1887–1905. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.288

Carvalho, F., Osipova, L., & Zhou, Y. (2023). *Life-cycle greenhouse gas emissions of hydrogen as a marine fuel and cost of producing green hydrogen in Brazil.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/maritime-brazil-hydrogen-costs-mar23/

Carvalho, F., & Costa, G. (2024). *Coastal shipping in Brazil in 2021.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/coastal-shipping-in-brazil-in-2021-mar24/

DNV. (2024, 25 de março). Key considerations for establishing a green shipping corridor. *Maritime Impact.* https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/key-considerations-for-establishing-a-green-shipping-corridor/

Empresa de Pesquisa Energética. (2021). *Anuário estatístico de energia elétrica.* Ministério de Minas e Energia. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf

Empresa de Pesquisa Energética. (2024). *Summary report 2024.* https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublishingImages/Paginas/Forms/Publicaes/Summary%20Report%202024.pdf

National Geospatial-Intelligence Agency. (2024). *World Port Index* [Dataset]. https://fgmod.nga.mil/apps/WPI-Viewer/

Fages, E., Weichenhain, U., Schillaci, G., & Audouin, C. (2023, 12 de setembro). Ports and green hydrogen: Match made in heaven? *Roland Berger.* https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Ports-and-green-hydrogen-Match-made-in-heaven.html

Ferreira, M., Santos, J., Da Silva, L., Abrahao, R., Gomes, F., & Braz, H. (2023). A new index to evaluate renewable energy potential: A case study on solar, wind and hybrid generation in northeast Brazil. *Renewable Energy, 217*, 119182. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119182

Georgeff, E., Mao, X., Rutherford, D., *Liquid hydrogen refueling infrastructure to support a zero-emission U.S.–China container shipping corridor.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/liquid-hydrogen-refueling-infrastructure-to-support-a-zero-emission-u-s-china-container-shipping-corridor/

Global Maritime Forum. (2022). *Green corridors: Definitions and approaches.* https://globalmaritimeforum.org/insight/green-corridors-definitions-and-approaches/

Gulli, C., Heid, B., Noffsinger, J., Waardenburg, M, & Wilthaner, M. (2024). *Global energy perspective 2023: Hydrogen outlook.* McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-hydrogen-outlook

International Energy Agency. (s.d.). *Electrolysers.* Acessado em 27 de março de 2025, https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/electrolysers

International Energy Agency. (2023). *Brazil - Sources of electricity generation.* https://www.iea.org/countries/brazil/electricity

International Energy Agency. (2024). *Global hydrogen review 2024.* https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf

International Maritime Organization. (2022). Resolution MEPC.364(79) 2022 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364%2879%29.pdf

International Maritime Organization. (2023). Resolution MEPC.377(80) 2023 IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/MEPC%2080/Annex%2015.pdf

International Maritime Organization. (2024). Resolution MEPC.391(81) 2024 guidelines on life cycle GHG intesity of marine fuels (2024 LCA guidelines). https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.391(81).pdf

International Renewable Energy Agency. (2022). *Geopolitics of the energy transformation: The hydrogen factor.* https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen

Itaipu Binacional. (2023). *Produção ano a ano.* https://www.itaipu.gov.br/energia/producao-ano-ano

Khare, V., Jain, A,, & Bhuiyan, M. (2023). Perspective of renewable energy in the BRICS country. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 5,* 100250. https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100250

Klevstrand, A. (2023, 17 de fevereiro). Which ten countries will be the biggest producers of green hydrogen in 2030? *Hydrogen Insight.* https://www.hydrogeninsight.com/production/exclusive-which-ten-countries-will-be-the-biggest-producers-of-green-hydrogen-in-2030-/2-1-1405571

Machado, N. (2025, 27 de fevereiro). Brasil tenta entrar na rota dos corredores marítimos sustentáveis. *Eixos.* https://eixos.com.br/newsletters/dialogos-da-transicao/brasil-tenta-entrar-na-rota-dos-corredores-maritimos-sustentaveis/

Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping. (2022). *Green corridors: Feasibility phase blueprint*. https://cms.zerocarbonshipping.com/media/uploads/documents/220929_Green-Corridors_Feasibility-Blueprint.pdf

Mao, X., Meng, Z., Comer, B., & Decker, T. 2025. *Greenhouse gas emissions and air pollution from global shipping, 2016–2023.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/greenhouse-gas-emissions-and-air-pollution-from-global-shipping-2016-2023-apr25/

Mao, X., Meng, Z., Osipova, L., Comer, B., Cho, H. J., & Sturrup, E. (2025). *Systematic Assessment of Vessel Emissions (SAVE) V2025.03.1 Documentation.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.github.io/SAVE-doc/

Mao, X., Rutherford, D., Osipova, L., & Comer, B. (2020). *Refueling assessment of a zero-emission container corridor between China and the United States: Could hydrogen replace fossil fuels?* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/refueling-assessment-of-a-zero-emission-container-corridor-between-china-and-the-united-states-could-hydrogen-replace-fossil-fuels/

Mao, X., Zhou, Y., Meng, Z., & Cho, H. J. (2024). *Green shipping corridors: Screening first mover candidates for China's coastal shipping based on energy use and technological feasibility.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/green-shipping-corridors-for-chinas-coastal-shipping-aug24/

Ministerio dos Portos e Aeroportos. (2025, 19 de fevereiro). *Ministro Silvio Costa Filho assina memorando de entendimento com governo Português para desenvolvimento de portos nos dois países* [Comunicado de imprensa]. https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/ministro-silvio-costa-filho-assina-memorando-de-entendimento-com-governo-portugues-para-desenvolvimento-de-portos-nos-dois-paises

Moritz, M., Schönfisch, M., & Schulte, S. (2023). Estimating global production and supply costs for green hydrogen and hydrogen-based green energy commodities. *International Journal of Hydrogen Energy, 48*(25), 9139–54. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.046

Lei No. 15.097, de 10 de janeiro de 2025, https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15097.htm

Silva, D. D., Cardoso, E.M., Basquerotto, C., Pereira, J.A., Turra, A.E., & Feldhaus, J. (2023). Outlook on the Brazilian scenario of floating photovoltaic solar energy. *Energy Reports, 10*, 4429–4435. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.11.004

Sturrup, E., & Stolz, D. (2023). *Jones Act shipping case studies: Feasibility of U.S. domestic green corridors with hydrogen and wind assist.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/jones-act-shipping-case-studies-dec23/

Suri, M., Betak, J., Rosina, K., Chrkavy, D., Suriova, N., Cebecauer, T., Caltik, M., & Erdelyi, B. (2020). *Global photovoltaic power potential by country.* Energy Sector Management Assistance Program e World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/466331592817725242

United States Maritime Administration. (2023). *Feasibility study of future energy options for Great Lakes shipping.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/feasibility-study-of-future-energy-options-for-great-lakes-shipping-march24/

UN Trade and Development. (2023). *Review of maritime transport 2023.* https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023

Van Hoecke, L., Laffineur, L., Campe, R., Perreault, P., Verbruggen, S., & Lenaerts, S. (2021). Challenges in the use of hydrogen for maritime applications. *Energy & Environmental Science, 14*(2), 815–43. https://doi.org/10.1039/D0EE01545H

World Bank. (2020). *Offshore wind technical potential in Brazil.* https://documents1.worldbank.org/curated/en/902341586847107376/pdf/Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Brazil-Map.pdf

Zhou, Y., & Searle, S. (2022). *Cost of renewable hydrogen produced onsite at hydrogen refueling stations in Europe.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/fuels-eu-onsite-hydro-cost-feb22/

Zhou, Y., Searle, S., & Pavlenko, N. (2022). *Current and future cost of e-kerosene in the United States and Europe.* International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/fuels-us-eu-cost-ekerosene-mar22/

APÊNDICE A. CENÁRIOS DE PONDERAÇÃO

Tabela A1

Atribuição de pesos a cada um dos cinco critérios no Cenário 1, com base em pesos iguais

Critérios	Pesos
Uso atual e potencial de energia renovável	20%
Capacidade do porto	20%
Infraestrutura portuária	20%
Localização estratégica e conectividade	20%
Compromisso com a descarbonização	20%

Tabela A2

Atribuição de pesos a cada um dos cinco critérios no Cenário 2, com base em consulta a especialistas

Critérios	Pesos
Uso atual e potencial de energia renovável	21%
Capacidade do porto	18%
Infraestrutura portuária	19%
Localização estratégica e conectividade	23%
Compromisso com a descarbonização	19%

Tabela A3

Atribuição de pesos a cada um dos cinco critérios no Cenário 3, com base na preferência pela infraestrutura portuária

Critérios	Pesos
Uso atual e potencial de energia renovável	17.5%
Capacidade do porto	17.5%
Infraestrutura portuária	30.0%
Localização estratégica e conectividade	17.5%
Compromisso com a descarbonização	17.5%

APÊNDICE B. ABASTECIMENTO EM PORTOS NO BRASIL

Tabela B1

Serviços de abastecimento em portos brasileiros

Nome do porto	Disponibilidade para abastecimento
Angra dos Reis	HSFO, MGO, VLSFO
Belém	HSFO, MGO, VLSFO
Fortaleza	HSFO, MGO, VLSFO
Itaqui	HSFO, MGO, VLSFO
Maceió	HSFO, MGO, VLSFO
Manaus	HSFO, MGO, VLSFO
Niterói	HSFO, MGO, VLSFO
Santos	HSFO, MGO, VLSFO
São Sebastiao	HSFO, MGO, VLSFO
Tubarão	HSFO, MGO, VLSFO
Vila do Conde	HSFO, MGO, VLSFO
Paranaguá	HSFO, MGO, VLSFO, IFO 180, IFO 380
Recife	HSFO, MGO, VLSFO, IFO 180, IFO 380
Rio de Janeiro	HSFO, MGO, VLSFO, IFO 180, IFO 380
Rio Grande	HSFO, MGO, VLSFO, IFO 180, IFO 380
Salvador	HSFO, MGO, VLSFO, IFO 180, IFO 380
Madre de Deus	MGO
Suape	MGO, VLSFO

Observação: HSFO = óleo combustível de alto teor de enxofre; MGO = óleo diesel marítimo; VLSFO = óleo combustível de muito baixo teor de enxofre, IFO = óleo combustível intermediário

APÊNDICE C. PONTUAÇÕES DOS CRITÉRIOS PARA OS 30 PRINCIPAIS PORTOS

Tabela C1

Critério 1: Uso atual e potencial de energia renovável, 30 principais portos

Nome do porto	Fonte principal de energia é renovável	Velocidade do vento offshore (m/s)	Pontuação
Rio Grande	alta disponibilidade	>10	5,0
São Francisco do Sul	alta disponibilidade	9	5,0
Imbituba	alta disponibilidade	8,75	5,0
Guamaré Oil Terminal	alta disponibilidade	>10	5,0
Pelotas	alta disponibilidade	>10	5,0
Porto Alegre	alta disponibilidade	>10	5,0
Pecém	alta disponibilidade	8	4,5
Fortaleza	alta disponibilidade	7,75	4,5
Itapoá	alta disponibilidade	6,5	4,5
Salvador	alta disponibilidade	6,5	4,5
Natal	alta disponibilidade	8	4,5
Santos	alta disponibilidade	6	4,0
Navegantes	alta disponibilidade	6	4,0
São Sebastiao	alta disponibilidade	6	4,0
Paranaguá	alta disponibilidade	6	4,0
Itajaí	alta disponibilidade	6	4,0
Maceió	alta disponibilidade	6	4,0
Belém	alta disponibilidade	5,75	4,0
Vila do Conde	alta disponibilidade	5,75	4,0
Madre de Deus	alta disponibilidade	6	4,0
Aratu	alta disponibilidade	6	4,0
Antonina	alta disponibilidade	6	4,0
Ilhéus	alta disponibilidade	6	4,0
Santana	alta disponibilidade	4	3,5
Trombetas	alta disponibilidade	3	3,5
Santarém	alta disponibilidade	3	3,5
Juruti	alta disponibilidade	3	3,5
Corumbá	alta disponibilidade	2,5	3,5
Praia Mole	baixa disponibilidade	8,3	3,0
Tubarão	baixa disponibilidade	8,3	3,0
Vitoria	baixa disponibilidade	8,3	3,0

Tabela C2

Critério 2: Capacidade do porto em 2023, 30 principais portos

Nome do porto	Capacidade de carga total em 2023 (toneladas)	Pontuação
Santos	166.377.121	5,0
Ponta da Madeira	166.334.878	5,0
Porto do Açu	84.155.255	4,0
Tubarão	75.996.732	4,0
Paranaguá	66.451.870	4,0
Angra dos Reis	64.472.457	4,0
São Sebastiao	58.525.636	4,0
Itaguaí	55.777.025	4,0
Rio Grande	40.133.860	3,0
Vila do Conde	38.344.468	3,0
Pecém	37.999.283	3,0
Itaqui	36.329.965	3,0
Sepetiba	35.874.166	3,0
Rio de Janeiro	27.921.197	3,0
São Francisco do Sul	27.490.404	3,0
Suape	24.015.152	3,0
Madre de Deus	23.982.481	3,0
Praia Mole	17.857.712	3,0
Santarém	16.452.458	3,0
Navegantes	14.235.009	3,0
Trombetas	12.606.492	3,0
Itapoá	11.726.201	3,0
Ponta Ubu	9.310.956	2,0
Imbituba	7.696.745	2,0
Vitoria	7.488.179	2,0
Aratu	7.216.498	2,0
Juruti	5.689.731	2,0
Manaus	5.626.181	2,0
Salvador	5.430.185	2,0
Belém	5.184.679	2,0

Tabela C3

Critério 3: Infraestrutura portuária, 30 principais portos

Nome do porto	Calado máximo	Área (milhões de m²)	Existência de área de expansão	Disponibilidade de abastecimento	Pontuação
Santos	7,94	15,0	disponível	disponível	5
Itaqui	2,68	23,0	disponível	disponível	5
São Sebastiao	0,40	23,0	disponível	disponível	4
Rio Grande	5,56	12,8	disponível	disponível	4
Suape	3,23	17,3	disponível	disponível	4
Paranaguá	0,17	13,3	disponível	disponível	4
Salvador	0,36	14,7	disponível	disponível	4
Maceió	0,33	10,5	disponível	disponível	4
Recife	0,11	12,0	disponível	disponível	4
Angra dos Reis	0,12	9,0	disponível	disponível	4
Vila do Conde	3,75	22,0	não disponível	disponível	4
Manaus	0,09	11,5	disponível	disponível	4
Belém	0,33	7,9	disponível	disponível	4
Ponta da Madeira	0,60	25,0	disponível	não disponível	3
Itaguaí	7,20	18,5	disponível	não disponível	3
Pecém	1,90	15,2	disponível	não disponível	3
Praia Mole	1,13	17,0	disponível	não disponível	3
Niterói	0,03	7,0	disponível	disponível	3
Porto do Açu	0,09	21,7	disponível	não disponível	3
Tubarão	0,01	23,3	não disponível	disponível	3
São Francisco do Sul	1,20	12,8	disponível	não disponível	3
Imbituba	1,55	13,5	disponível	não disponível	3
Aratu	4,00	14,8	disponível	não disponível	3
Sepetiba	10,00	19,8	não disponível	não disponível	3
Rio de Janeiro	0,21	14,2	não disponível	disponível	3
Madre de Deus	0,22	14,0	não disponível	disponível	3
Navegantes	0,40	11,0	disponível	não disponível	3
Trombetas	0,11	11,6	disponível	não disponível	3
Fortaleza	0,32	11,0	não disponível	disponível	3
Barra dos Coqueiros	2,00	9,5	disponível	não disponível	3

Tabela C4

Critério 4: Papel nas principais rotas comerciais e pontuação de conectividade em 2023, 30 principais portos

Nome do porto	Número de rotas de conexão de cabotagem entre estados	Número de países envolvidos em rotas internacionais	Tipo de porto	Pontuação
Santos	15	135	público	5,0
Rio Grande	14	103	público	4,8
Rio de Janeiro	14	107	público	4,8
Itaqui	13	57	público	4,5
Suape	14	58	público	4,5
Itaguaí	11	73	público	4,5
Imbituba	10	53	público	4,5
Fortaleza	14	24	público	4,3
Vitoria	13	41	público	4,3
Navegantes	11	60	privado	4,0
Itapoá	11	80	privado	4,0
Itajaí	9	14	público	3,8
Salvador	12	117	público	3,8
Pecém	12	36	privado	3,8
São Francisco do Sul	5	37	público	3,8
Paranaguá	14	85	público	3,5
Recife	4	15	público	3,5
Vila do Conde	12	78	público	3,5
Porto do Açu	7	30	privado	3,5
Santana	1	23	público	3,5
Porto Alegre	3	13	público	3,5
Maceió	10	28	público	3,3
Angra dos Reis	8	18	privado	3,3
Belém	11	22	público	3,3
Praia Mole	3	32	privado	3,3
Aratu	13	43	público	3,3
Madre de Deus	13	25	público	3,3
Guamaré Oil Terminal	9	7	privado	3,3
Natal	2	13	público	3,3
São Sebastiao	16	26	privado	3,0

Tabela C5

Critério 5: Compromisso com a descarbonização e pontuação, 30 principais portos

Nome do porto	Projetos de eólica offshore em licenciamento	Participação na ABDP	Uso de novas fontes de geração de energia no plano estratégico portuário	Pontuação
Rio Grande	sim	sim	sim	5,0
Rio de Janeiro	sim	sim	sim	5,0
Itaqui	sim	sim	sim	5,0
Itaguaí	sim	sim	sim	5,0
Fortaleza	sim	sim	sim	5,0
Navegantes	sim	sim	sim	5,0
Pecém	sim	sim	sim	5,0
Porto do Açu	sim	sim	sim	5,0
Angra dos Reis	sim	sim	sim	5,0
Santos	não	sim	sim	3,7
Imbituba	sim	sim	não	3,7
Vitoria	sim	sim	não	3,7
Itapoá	sim	não	sim	3,7
Itajaí	sim	sim	não	3,7
São Francisco do Sul	sim	sim	não	3,7
Porto Alegre	sim	sim	não	3,7
Praia Mole	sim	sim	não	3,7
Guamaré Oil Terminal	sim	sim	não	3,7
Niterói	sim	sim	não	3,7
Tubarão	sim	sim	não	3,7
Pelotas	sim	sim	não	3,7
Ponta da Madeira	sim	sim	não	3,7
Sepetiba	sim	não	sim	3,7
Paranaguá	não	sim	não	2,3
Santana	sim	não	não	2,3
Maceió	não	sim	não	2,3
Belém	não	sim	não	2,3
Madre de Deus	não	sim	não	2,3
Natal	sim	não	não	2,3

APÊNDICE D. RESULTADOS DETALHADOS DA VIABILIDADE NAS 10 ROTAS SELECIONADAS

Tabela D1

Viabilidade tecnológica do uso de combustível marítimo renovável para atender às rotas selecionadas

Rota	Volume de combustível requerido (m^3)			Volume de combustível disponível (m^3)			Número de paradas para reabastecimento		
	LH_2	NH_3	MeOH	LH_2	NH_3	MeOH	LH_2	NH_3	MeOH
Santos - Tampa	1.971	911	649	1.952	1.758	1.758	1	0	0
Pecém - New York	3.817	1.764	1.257	10.174	7.752	7.752	0	0	0
Porto do Açu - Qingdao	9.124	4.217	3.005	5.570	4.787	4.787	1	0	0
Porto do Açu - Antuérpia	3.210	1.484	1.057	1.750	1.487	1.487	1	0	0
Santos - Visakhapatnam	5.586	2.582	1.839	3.272	2.890	2.890	1	0	0
Itaqui – Shanghai	12.718	5.878	4.188	9.474	8.456	8.456	1	0	0
Rio Grande-Rosario	717	332	236	1.767	1.492	1.492	0	0	0
Navegantes- Santos	184	85	60	4.221	3.924	3.924	0	0	0
Pecém - Manaus	1.133	524	373	3.842	2.950	2.950	0	0	0
Porto Alegre - Rio Grande	77	36	25	1.842	1.605	1.605	0	0	0

www.icctbrasil.org.br

comunicacao@theicct.org

linkedin.com/icct-brasil

icct
CONSELHO INTERNACIONAL
DE TRANSPORTE LIMPO